

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第 115 号
NIES Research Project Report, No.115

SR - 115 - 2016

東アジア広域環境研究プログラム (重点研究プログラム)

East Asian Environment Research Program

平成 23 ~ 27 年度
FY2011 ~ 2015

NIES



国立研究開発法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<http://www.nies.go.jp/>

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第 115 号

NIES Research Project Report, No.115

SR - 115 - 2016

東アジア広域環境研究プログラム (重点研究プログラム)

East Asian Environment Research Program

平成 23 ～ 27 年度

FY2011 ～ 2015

国立研究開発法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<http://www.nies.go.jp/>

重点研究プログラム「東アジア広域環境研究プログラム」

(期間：平成 23 ～ 27 年度)

プログラム総括：大原利真（平成 23 ～ 25 年度）

高見昭憲（平成 26 ～ 27 年度）

執 筆 者：高見昭憲、佐藤 圭、清水 厚、上田佳代、吉野彩子、谷本浩志、猪俣 敏、
岡本祥子、池田恒平、永島達也、清水英幸、青野光子、越川 海、東 博紀、
王 勤学、水落元之、岡寺智大、秋山千亜紀、古市尚基

編 者：永島達也

序

本報告書は、平成23～27年度の5年間にわたって実施した「東アジア広域環境研究プログラム」の研究成果を取りまとめたものです。

東アジア地域では急速な経済発展に伴って様々な環境問題が顕在化し日本にも影響を及ぼしています。そこで、東アジアにおける代表的な広域環境問題である大気・海洋汚染を対象とし、観測やシミュレーションを統合して汚染の実態や発生メカニズムの解明を行い、環境負荷とその応答の関係を定量的に評価できるシステムを構築しました。

大気汚染を対象とした研究では、半球規模から北東アジア、都市域までのマルチスケールの観測を実施し、その結果に基づいて大気質モデルを改良し、近年の大気汚染トレンドの再現と大気汚染に対する国内外の寄与割合の解明、オゾンの植物への影響、粒子状物質の健康影響などを明らかにしました。海洋汚染に関しては、中国長江流域での観測に基づく汚濁負荷量の予測モデルの構築、東シナ海域での観測や室内実験に基づいた陸棚域での生態系の実態解明を行い、陸域の負荷がもたらす海洋環境の応答予測モデルを構築しました。更に、社会環境システム研究センターと連携して、近未来（2030年）における大気汚染物質と水質汚濁物質の排出動態に関する将来シナリオを構築し、本プログラムで開発したマルチスケールでかつ多くの媒体を包括する大気・陸域・海洋モデルを連結して、東アジアにおける環境を予測しました。特に大気・陸域の汚染防止対策を行うことによって実現される環境保全に対する効果を定量的に評価しました。

本研究の成果は、東アジアの大気・陸域・海洋の環境を統合的に管理するための総合的な施策を検討するうえで役に立つものと確信しています。

最後に、本研究をすすめるにあたり、国内外の大学、各種研究機関、国内の地方自治体の研究機関をはじめ、多くの方々にご協力とご支援をいただきました。ここに深く感謝いたします。

平成28年11月

国立研究開発法人 国立環境研究所

理事長 住 明 正

目 次

1 東アジア広域環境研究プログラムの概要	1
1.1 研究プログラム全体の目的と構成	1
1.2 研究プログラムの成果の概要	2
1.2.1 プロジェクト1「観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価」	2
1.2.2 プロジェクト2「広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明」	4
1.2.3 プロジェクト1、2連携研究「大気・海洋モデルを統合した東シナ海環境の将来予測」	5
2 研究の成果	6
2.1 観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価（プロジェクト1）	6
2.1.1 大陸規模モニタリングによる半球規模大気汚染の時空間変動の解明（サブテーマ1）	6
(1) 目的と経緯	6
(2) 方法	6
(3) 結果と考察	7
2.1.2 アジア地域における包括的観測による日本への越境大気汚染の実態解明（サブテーマ2）	13
(1) 目的と経緯	13
(2) 方法	13
(3) 結果と考察	14
2.1.3 モデルシミュレーションによる汚染機構の解明と影響・対策評価（サブテーマ3）	20
(1) 目的と経緯	20
(2) 方法	21
(3) 結果と考察	23
2.2 広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明（プロジェクト2）	35
2.2.1 長江流域圏から東シナ海への汚濁負荷量の予測手法の開発（サブテーマ1）	35
(1) 目的と経緯	35
(2) 流域圏水と物質循環評価モデルの開発	36
(3) 汚濁負荷発生量の推定	38
(4) 観測データによる接合モデルの精度検証	40
(5) 長江流域圏からの汚濁負荷流出量の再現	41
(6) まとめ	43
2.2.2 東シナ海陸棚域の生態系劣化機構の解明（サブテーマ2）	43
(1) 目的と経緯	43
(2) 東シナ海の乱流観測と数値実験による乱流スキームの改良	45
(3) 真光層深度の推定式の開発	47
(4) 真光層内の鉛直 Chl.a 現存量の解析	48
(5) 渦鞭毛藻 <i>P. dentatum</i> の鉛直分布動態の実験的再現	49
(6) 流動・生態系モデルの改良と再現精度の検証	50
(7) 長江流入負荷の変化に対する東シナ海の応答について	53
(8) まとめ	54

2.2.3 陸域・海域統合環境管理に向けた陸域負荷削減シナリオの検討と 海域環境の応答予測（サブテーマ3）	55
(1) 目的と経緯	55
(2) AIM/CGE を活用した水質汚濁負荷物質発生量の将来予測手法の開発	55
(3) 中国における排水管理規制の動向解析	58
(4) 対策（負荷削減）シナリオの設定とその効果予測	60
(5) 長江流域からの汚濁負荷流出量の将来変化予測	61
(6) まとめ	63
2.3 大気・海洋モデルを統合した東シナ海環境の将来予測（プロジェクト1、2連携）	66
(1) 目的と経緯	66
(2) 方法	67
(3) 結果と考察	68

[資料]

1 研究の組織と研究課題の構成	77
1.1 研究の組織	77
1.2 研究課題と担当者	79
2 研究成果発表一覧	80
2.1 誌上発表	80
2.2 口頭発表	93

1 東アジア広域環境研究プログラムの概要

1.1 研究プログラム全体の目的と構成

東アジア地域では急速な経済発展に伴って様々な環境問題が深刻化し、それが広域越境汚染のような具体的な問題として我が国にも影響を及ぼしている。そのため、東アジアにおける持続可能社会、及び、広域越境汚染の Win-Win 解決に向けた2国間・多国間の枠組みを構築するための中長期戦略を提示することが強く求められているが、その基礎となる問題発生に関する科学的知見、及び人間活動による環境負荷と広域汚染の定量的関係を評価する科学的手法の開発・活用が不十分な状況にある。

そこで、第二期中期計画におけるアジア自然共生研究プログラムの蓄積をもとに、東アジアにおける代表的な広域環境問題である大気・海洋汚染を対象とし、観測とモデルを統合することにより、これらの問題の発生メカニズムを解明する。汚染発生に関わる空間スケールの重層性を考慮したマルチスケールモデルを構築し、大気から海洋と陸域への物質負荷も考慮して、環境負荷と広域環境応答の関係を定量的に評価すること目的とした。更に、「環境都市システムプログラム」や社会環境システム研究センターと連携して削減シナリオの提示及びその影響評価シミュレーションを実施し、東アジアの広域環境問題の解決に資することを目的とした。

研究プログラムの構成は以下のとおりである。プロジェクト1では「観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価」というテーマで主に大気環境の汚染を取り扱い、その下に3つのサブテーマを配置した。プロジェクト2では「広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明」というテーマで、主に陸域から河川を通して海洋に至る汚染を取り扱い、その下に3つのサブテーマを配置した。サブテーマも含めたプログラムの構成を図1に示す。

プロジェクト1：観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価

東アジアではオゾン・エアロゾルの前駆物質排出量が急増し、地域規模で大気汚染が深刻化している上、半球規模で大気質が変化している。このような状況下、日本においてもオゾンの環境基準見直しの機運が高まるとともに、PM_{2.5}の環境基準が新しく制定された。しかしながら、オゾンやPM_{2.5}に関する大気汚染には、国外からの越境汚染に加えて国内における生成も影響するため定量的理解が困難である。そこで本研究では、地上・船舶・航空機による野外観測、宇宙からの衛星観測、全球・領域化学輸送モデルを統合的に使用して、半球／東アジア／日本域のマルチスケール大気汚染の実態と発生機構を解明するとともに、将来予測と対策シナリオ・影響の評価を行う。それにより、東アジア地域における広域大気環境管理のための国際的枠組みの策定に寄与する研究を行った。

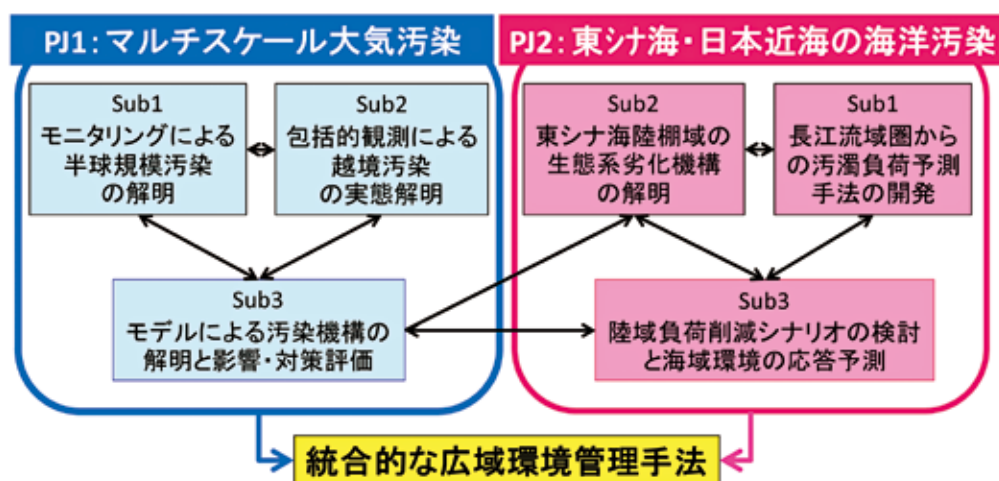


図1 東アジア広域環境研究プログラムの全体構成

プロジェクト2：広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変動の解明

東アジア陸域起源の汚濁負荷増大が東シナ海陸棚域における赤潮発生等の広域海洋環境劣化を引き起こしていることが懸念される。本プロジェクトでは、東シナ海や日本近海の環境保全、あるいは中国国内の汚濁負荷削減施策の推進に資することを目的として、長江流域圏の汚濁負荷推計、海域への汚濁輸送と海洋生態系への影響機構の把握、陸域起源汚濁負荷が及ぼす海洋環境への影響評価のための数理モデルの開発を行う。特に、陸域汚濁負荷推計では、土地利用や環境政策の変化に応じて予測可能な手法の確立と将来の陸域負荷削減シナリオを提示し、海洋生態系モデルとの連携により、陸域・海域の統合的広域環境管理オプションの定量的な評価を行った。

1.2 研究プログラムの成果の概要

1.2.1 プロジェクト1「観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価」

アジアにおけるオゾンやPM_{2.5}のトレンドや年々変動、半球規模におけるアジアの発生源の寄与に関する理解が進んだ。また、アジア大陸からの越境汚染の影響を強く受ける九州地域において大気汚染物質の観測と粒子状物質の健康影響調査を行った。また、マルチスケールの化学輸送モデルを用いた解析がさらに進んだ。

具体的には、アジアにおけるバックグラウンドオゾンが過去20年間にわたって増加してきたこと、その増加は欧米における減少傾向と比較して対照的であることが明らかとなった。PM_{2.5}については、日本の南方ではアジア大陸起源の寄与が大きい一方、北方ではシベリアの森林火災の寄与が大きいことが分かった。また、これらオゾンやPM_{2.5}の前駆物質である揮発性有機化合物や窒素酸化物について、中国やシベリアにおけるバイオマスバーニングからの排出インベントリを評価するとともに、年間排出量を見積もった。

北部九州地区において粒子状物質の総合的観測を行い化学組成や粒子の混合状態、鉛直および空間分布の知見を得た。黄砂情報、微小粒子状物質の質量濃度、および化学組成のデータと、福岡及び熊本県内の健康アウトカム情報を結合し、粒子状物質の健康影響に評価した。PM_{2.5}の影響は福岡で見られ、黄砂の影響は熊本、福岡で見られた。

全球規模及び領域規模の大気化学輸送モデルからなる、東アジアを対象としたマルチスケールの大気質計算システムが構築され、2000年代以降における東アジアの大気質再現実験を実行し、他サブテーマ等で得られた観測データとの比較による検証、地域別の排出量に関する感度実験、将来対策シナリオの評価実験などを行った。植物に対するオゾン影響を評価し、ブナを対象としてその影響の大きい地域を明らかにした。また、オゾンに対するストレス反応の結果生じる遺伝子発現の変化などを明らかにし、ブナにおけるオゾンストレスの診断手法として利用できる可能性を示した。

サブテーマ (1) 大陸規模モニタリングによる半球規模大気汚染の時空間変動の解明

衛星、地上、船舶などの観測に基づき、半球規模の大気汚染の実態と発生機構を解明した。アジアにおけるバックグラウンドオゾンの長期変化傾向は、過去20年間にわたって増加してきたことが、欧米における観測データとの比較研究から確かめられた。急激な経済成長を遂げる中国の越境汚染が考えられ、モデルでは定性的な増加傾向は説明可能であるものの、半分程度しか再現できず、今後の観測データとモデル改良の努力が望まれる。また、PM_{2.5}には長期変化傾向が見られなかったが、とくに日本の北方で、大きな増加が見られる年があり、モデルと衛星データを用いて調べたところ、シベリアの森林火災がPM_{2.5}の環境基準レベル超過に影響していたことが分かった。また、オゾンやエアロゾルの生成に重要な窒素酸化物(NO_x)や揮発性有機化合物(NMVOCs)について、衛星観測や野外観測のデータを利用して、シベリアと中国におけるバイオマスバーニングからの排出インベントリを評価するとともに、年間排出量を見積もった。NMVOCsについては、多くの成分で概ね整合的であったが、これまで考慮されていなかった成分や、過大または過小評価だった成分が見いだされた。NO_xは過去の報告が過小評価だった可能性が指摘された。こうして既存の排出インベントリを改良することにより、サブテーマ (3) でのモデルによるオゾンやエアロゾルの再現性が高まった。

サブテーマ (2) アジア地域における包括的観測による日本への越境大気汚染の実態解明

粒子状物質(PM_{2.5})の観測から都市大気における越境大気汚染の影響を把握するとともに、粒子状物質がもたらす

健康影響調査をした。福岡県の福岡大学においてエアロゾル質量分析計などを用いて、微小粒子状物質の化学組成とガス状物質の観測を行った。北部九州地区では冬季から春季にかけてイベント的に高濃度になる場合もあるが、平均的な濃度はおおむね同程度であった。因子分析の手法を用いて解析したところ、春季に日本西方からの越境輸送が卓越する場合には、都市大気においても長距離輸送の影響が80%以上と推定された。PM_{2.5}濃度別の化学組成分析では、濃度が高い場合(35 µg/m³以上)では硫酸塩と酸化された有機物の割合が高く、濃度が低い場合(10 µg/m³以下)では硝酸塩と酸化されていない有機物の割合が高くなった。PM_{2.5}濃度が高い時は越境大気汚染の影響が大きいことが化学組成からも明らかとなった。

個別粒子の分析手法(ToF-SIMS)を用い粒子の混合状態を調べたところ、長崎県福江島では黒色炭素を含む粒子の割合が25%となり、越境大気汚染の影響を受けていることが分かった。金属元素の解析からは、バナジウムなどの成分が観察され、東シナ海を通行する船舶の排気ガスの影響があると推定された。PAHなどの有機物を用いて発生源を推定したところ、冬季から春季は石炭燃焼が主要な発生源と推定された。

福江島・長崎(大村)の両地点のライダーによって得られた大気境界層内の黄砂消散係数・球形粒子消散係数(年平均値)は、本州よりも高いことが示された。ただし自由対流圏下部ではその特徴は見えにくかった。また、両地点のライダーデータは環境省黄砂の健康影響に関する疫学研究等を行うワーキンググループにおいて曝露指標として活用された。

福岡において観測された黄砂データ、微小粒子状物質の質量濃度、および化学組成のデータと、福岡県内の健康アウトカム情報を結合し、福岡におけるPM化学成分濃度と急性心筋梗塞との関連について統計的な検討を実施した。解析の結果、硝酸塩および有機物についてリスクが通常より高い(オッズ比が1を超える)場合が見られた。PM_{2.5}濃度と急病による救急搬送件数との関連を調査した結果、福岡では、PM_{2.5}濃度が10 µg/m³上昇すると、その日の急病による救急搬送は約1%増加した。しかし、熊本では増加しなかったことから、PM_{2.5}濃度と疾患の関係には地域差があることが推察された。脳梗塞とPM_{2.5}との関連についても疫学的検討を行ったところ、PM_{2.5}濃度が高くなると脳梗塞が増加した。黄砂による影響について、福岡では救急搬送件数が増加し、熊本では急性心筋梗塞のオッズ比が一日後に高くなることを明らかにした。

サブテーマ(3) モデルシミュレーションによる汚染機構の解明と影響・対策評価

マルチスケール化学輸送モデルを用いた東アジア大気質の長期再現実験を行い、オゾンおよびPM_{2.5}の汚染構造を評価し、2030年の排出対策シナリオを用いた対策評価実験を行った。また、観測・実験的研究およびモデル計算結果を利用し、オゾンが植生に及ぼす影響を評価した。

全球規模及び領域規模の大気化学輸送モデルからなる、東アジアを対象としたマルチスケールの大気質計算システムが構築され、これに inputs する各種大気汚染物質の排出量インベントリデータを包括的に収集・加工し、環境研における大気環境モデリング研究において基盤となるシステムの整備・調整が進められた。同システムを用いて、2000年から2012年における東アジアの大気質再現実験を行い、計算結果を他サブテーマや環境研が関連する観測プロジェクト等で得られたオゾンやPM_{2.5}の成分濃度などと詳しく比較することによって大気質の現実再現性の検証が行われ、日本における地表オゾンの変化傾向(2000年から2009年までの増加とそれ以降の傾向変化およびその地域特性)や地表PM_{2.5}濃度の経度方向の違いなどに関しておおむね良好な再現性が確認された。一方、夏期における地表オゾンの過大バイアスが東、東南アジアの海洋およびその周辺地域でひろく確認され、PM_{2.5}の成分別に過小・過大評価などのバイアスも詳しく調べられ、これらを改善するためのモデル改良と調整が行われた。こうして評価・調整されたモデルを用いて、東アジアのいくつかの領域での排出量を変化させる感度実験を行い、当該領域における排出量変化の影響を調べ、特に国内外の排出量変化が我が国の大気質に及ぼす影響を評価した。

オゾンによる大気汚染が日本の植生に与える影響を評価するため、その基礎となる暴露-作用関係を、冷温帯の代表的樹木であるブナを対象に、環境制御室における低濃度長期暴露実験を行って導出するとともに、水ストレスとの複合影響を検討し、相加的作用を認めた。また、実際のブナ林におけるオゾン濃度の観測も合わせて行った。この暴露-作用関係とモデル計算データとを用いて、オゾンによるブナの成長阻害割合の地域特性を評価し、影響の大きい地域やそ

の経年変化を明らかにした。また、植物内においてオゾンに対するストレス反応の結果生じる遺伝子発現、ホルモン生成、酸化還元物質の変化などを環境制御実験等から明らかにし、ブナにおけるオゾンストレスの診断手法として利用できる可能性を確認した。

1.2.2 プロジェクト2「広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明」

サブテーマ (1) 長江流域圏から東シナ海への汚濁負荷量の予測手法の開発

長江流域から海域への汚濁負荷流出量を評価するシステムを構築した。長江流域を対象とした水物質循環モデルを開発し、長江下流の大通観測点をはじめとする現地観測データを用いてモデルの精度を向上させた。流域内の社会経済活動の変化に伴う汚濁負荷量を把握するための汚濁物質の物質収支モデルの開発を行い、流域面の汚濁負荷発生源の過去30年間に亘る定量的な分布変動を明らかにした。水物質循環モデルを用いた2000年代の長江から海域への汚濁負荷量の解析では、硝酸態窒素が1980年代と比較して約3倍増加し、過去10年の汚濁負荷流出量は高止まりの傾向状態が継続していることが示された。PJ2・サブテーマ3が設定・解析した2030年の水質汚濁負荷発生シナリオ及びインベントリを水物質循環モデルに導入し、長江水質ならびに陸域経由の東シナ海への汚濁負荷量の予測を行った。産業部門の単位産出額当たりの汚濁負荷発生量（原単位）を2000年代と同等に設定した「なりゆき」シナリオでは、長江経由の東シナ海への汚濁負荷量が現在の1.9倍に増加するが、現在の日本の排水処理技術が中国国内で普及することを仮定した「日本水準」シナリオでは、1.1倍の増加に抑制されることが示された。

サブテーマ (2) 東シナ海陸棚域の生態系劣化機構の解明

陸起源汚濁負荷が海洋環境に及ぼす影響を評価得るシステムを構築した。海洋観測や室内実験で取得したデータ・知見を基に、海洋流動・生態系モデルの改良・再現精度向上を図り、河川経由の汚濁負荷や黒潮・台湾暖流等に含まれる栄養塩供給に対する東シナ海及び日本近海の低次生態系の応答を解析した。流動・生態系モデルを用いた2000年代の東シナ海再現計算では、陸域の水物質循環モデルで算定した長江流域からの汚濁負荷変動、ならびにPJ1が解析した大気経由の窒素沈着を活用し、それぞれの影響を定量的に評価した。りんに対する窒素の濃度比（N/P比）が著しく高い長江希釈水の流入および大気からの窒素沈着は、中国沿岸域・黄海・東シナ海の表層無機窒素濃度を上昇させ、特に窒素制限下の黄海では一次生産の増大に寄与していた。一方、東シナ海陸棚は、りん制限海域であるため総一次生産量への影響は黄海と比較して小さいものの、高N/P比の条件下で優占化しやすいと報告されている渦鞭毛藻の一次生産量が有意に増加することが示された。この東シナ海流動・生態系モデルに、2030年における水質汚濁負荷発生シナリオ（サブテーマ3）に基づく陸域経由の負荷流出予測結果（サブテーマ1）を導入し、2030年の長江汚濁流出に対する東シナ海環境の応答予測を行った。汚濁流出量が2000年代の1.9倍に増加する「なりゆき」シナリオでは、陸棚表層における窒素濃度への影響が大きく、その結果、高N/P比海域の拡大と渦鞭毛藻の優占化を伴う植物プランクトン現存量の増大が予測された。汚濁流出量が1.1倍の増加に抑制された「日本水準」シナリオでは、「なりゆき」シナリオほどの窒素濃度や植物プランクトン現存量の増加はないものの、渦鞭毛藻の優占化は継続し、水質改善には至らないことが示された。

サブテーマ (3) 陸域・海域統合環境管理に向けた陸域負荷削減シナリオの検討と海域環境の応答予測

今後の中国社会経済の成長が東シナ海・日本近海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の予測および効果的な汚濁負荷削減方策の検討を実施するため、社会環境システム研究センターがAIM/CGEモデルを用いて計算した2030年までの中国省別・産業部門別総産出額予測結果に基づき、中国陸域の汚濁負荷発生量の予測を行った。予測シナリオとして、2000年代の排水処理率（産出額に対する汚濁負荷発生原単位）が維持される「なりゆき」シナリオ、中国第12次5カ年計画の規制達成を仮定した「中国規制達成」シナリオならびに現在の日本の排水処理技術が普及することを仮定した「日本水準」シナリオを設計した。2030年における中国総産出額は、2000年代前半と比較して約4倍の増加が予測されている。2002年の化学的酸素要求量（COD_{Cr}）発生量に対する2030年の発生量の増加率は、「なりゆき」シナリオでは6.6

倍に達するが、「日本水準」シナリオでは1.3倍の増加に抑えられた。全窒素および全りん増加率は、「なりゆき」シナリオではそれぞれ2.4倍、2.5倍に達するが、「日本水準」シナリオではそれぞれ1.2倍、1.3倍の増加に留まった。また、「日本水準」シナリオで算定された中国全体の発生負荷量は「中国規制達成シナリオ」のそれをわずかながら下回ることを示された。今後の排水処理技術の普及推進によって水環境への負荷増大を抑制できる可能性が示唆された。

1.2.3 プロジェクト1、2連携研究「大気・海洋モデルを統合した東シナ海環境の将来予測」

共通の将来の社会経済シナリオに基づいた、大気汚染物質と水質汚濁負荷の将来発生量シナリオを用い、将来の東アジアにおける大気汚染と、長江からの汚染流入および大気からの汚染沈着を考慮に入れた東シナ海の海洋汚染を評価・検討した。

社会環境システム研究センターによって開発された将来の社会経済シナリオのうち、社会システム・制度・技術等の変化に慎重で、社会変革にかかるトランジションコストを気にかける社会である Conventional Society Scenario (CNV) を基礎として、温暖化対策・大気汚染対策の強化を行わない場合（なりゆき）と、2050年に温室効果気体（GHG）の排出量を1990年比で半減させることを目標とした温暖化対策に加えて、我が国並みの大気汚染対策を広く東アジア各国に適用した場合（対策）について策定された二つの将来シナリオから、それぞれ2030年における大気汚染物質の排出量を使って、領域規模の大気化学輸送モデル（CTM）による将来の東アジア大気質評価実験を行った。日本域における大気汚染物質の地表濃度に対するそれぞれの場合の影響を見ると、オゾンに対してはなりゆきの場合が現状（2005年）に比べて約20%増加してしまうが、対策を取った場合でも約2%程度の減少にとどまり、対策の効果は限定的であった。また、PM_{2.5}に対しては、なりゆきの場合が同約67%の増加となるのに対し、対策を取った場合には約半分まで減少し、大きな効果が期待できることが分かった。一方、大気から東シナ海への窒素沈着量は、なりゆきの場合が現在に比べて約80%もの大幅な増加となり、対策を取った場合では微減（約3%）にとどまった。

上記大気化学輸送モデルで算定された窒素沈着量（プロジェクト1）と長江流域の汚濁負荷流出量（プロジェクト2サブテーマ1・3）の将来予測結果を流動・生態系モデル（プロジェクト2サブテーマ2）に導入し、将来のアジア地域における大気汚染・長江流域における水質汚濁対策が東シナ海環境に及ぼす影響を統合的に予測した。大気汚染と水質汚濁それぞれの対策の有無を組み合わせた計4つの計算条件で数値シミュレーションを実施し、特に初夏の東シナ海陸棚域の栄養塩と一次生産に着目してこれらの変化・応答を解析した。現在から将来にかけて、並びに大気汚染・水質汚濁対策の有無による海域への窒素流入量の変化は、東シナ海全体の窒素現存量と比較すると微々たるもの（1%程度）であるが、大気沈着・河川流出はいずれも表層に窒素が流入するため、東シナ海の渦鞭毛藻の一次生産への影響は大きいことが示された。陸棚域における渦鞭毛藻への影響を指標とした場合、今後のアジア地域・中国の経済成長のもと東シナ海環境を現状維持するためには大気汚染・水質汚濁の両対策が必要であること、長江流域の水質汚濁対策よりもアジア地域の大気汚染対策の方がわずかではあるが効果が大きいことが明らかになった。

2 研究の成果

2.1 観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価（プロジェクト1）

2.1.1 大陸規模モニタリングによる半球規模大気汚染の時空間変動の解明（サブテーマ1）

(1) 目的と経緯

東アジアではオゾン・エアロゾルの前駆物質排出量が急増し、地域規模で大気汚染が深刻化している上、半球規模で大気質が変化している。このような状況下、日本においてもオゾンの環境基準見直しの機運が高まるとともに、微小粒子状物質（PM_{2.5}）の環境基準が新しく制定された。しかしながら、オゾンやPM_{2.5}に関する大気汚染には、国外からの越境汚染に加えて国内における生成も影響するため定量的理解が困難である。また、東アジア域には人為起源発生源の他にも、黄砂や森林火災、火山など自然由来の発生源が存在しており、大気環境に影響を及ぼしていると考えられる。オゾンやエアロゾルの大気汚染に関する実態解明や対策を進める上で、人為起源及び自然起源の各発生源による寄与を理解することが必要である。そこで本研究では、地上・船舶・航空機による野外観測、宇宙からの衛星観測、全球・領域化学輸送モデルを統合的に使用して、半球／東アジア／日本域のマルチスケール大気汚染の実態と発生機構を解明するとともに、将来予測と対策シナリオ・影響の評価を行う。それにより、東アジア地域における広域大気環境管理のための国際的枠組みの策定に寄与することを目的とし、具体的に以下の3つに取り組んだ。

まず、八方尾根における観測を中心に、東アジアにおける対流圏オゾンの長期変化傾向を解析した^{4,2)}。また、オゾンおよびエアロゾルの前駆物質の排出については、人為起源の排出が議論されてきたが、ここではバイオマスバーニングからの排出について、これまで過小評価されてきた可能性がある農業残渣の燃焼や北方森林の火災など、いわゆるバイオマスバーニングからの排出について検討し、オゾンやエアロゾル前駆物質として重要な窒素酸化物（Nitrogen Oxides, NO_x）および揮発性有機化合物（Non-methane Volatile Organic Compounds, NMVOCs）の排出インベントリの改良に貢献した^{3,5)}。エアロゾルについては、健康や気候への影響が懸念される大気汚染物質であり、日本では2009年に環境基準が定められたPM_{2.5}に注目し、PM_{2.5}の越境汚染と環境基準に及ぼす影響を検討した。現在まで一般大気環境測定局における環境基準の達成率はいまだ低く、環境基準の達成には人為起源だけでなく自然起源も含めた各発生源による寄与を定量的に理解することが必要だと考えられており、人為起源以外にも、大気汚染物質の重要な発生源であり大気環境への影響が懸念されてきた森林火災に注目し、わが国におけるPM_{2.5}濃度に及ぼす影響について解析を行った⁶⁾。

(2) 方法

本研究では、東アジア域における対流圏オゾンの変動要因をより詳細に理解するために、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク EANET（Acid Deposition Monitoring Network in East Asia）のデータを用いるとともに、EANETの観測地点の一つである長野県の白馬八方尾根に設置された国設八方尾根酸性雨観測所（北緯36.7度、東経137.8度、標高1840m）において、オゾンの連続観測に加えて波長スキャン型キャビティリングダウン分光分析計を用いた二酸化炭素、一酸化炭素およびメタンの連続観測を行った。EANETの一つである国設八方尾根酸性雨観測所は、北アルプス白馬連峰の唐松岳から延びる稜線上の、日本海の南およそ25kmの場所に位置しており、東アジアからの越境汚染の影響評価に適したサイトである。オゾン濃度の測定には、紫外線吸収式の装置（Dylec製、モデル1100）を使用し、一酸化炭素濃度の測定には、波長スキャンキャビティリングダウン方式（WS-CRDS; Wavelength-Scanned Cavity Ring-Down Spectroscopy）の装置（Picarro製、モデルG2401）を使用した。WS-CRDSを用いた測定では、水蒸気濃度の変動に伴う圧力広がり効果と希釈効果があることが知られており、その効果を除去するために、観測所壁面の採取口から引き込まれた大気は、装置導入前に電子冷却器とパーマピュアドライヤーを通して除湿した⁷⁾。八方尾根における観測では、純空気に微量成分を添加・希釈することで、濃度の異なる3本のワーキング標準ガスを準備し、現場でのキャリブレーションに使用した。高压シリンダー内では、一酸化炭素濃度が時間とともに増加してしまうという問題があるため、使用前でワーキング標準ガスの一酸化炭素濃度測定を行い、その効果を補正して較正を行った。

化学輸送モデルとしては、米国環境保護庁（Environmental Protection Agency：EPA）が中心となって開発しているコミュニティモデルである Community Multi-scale Air Quality model（CMAQ）を使用し、気象場は米国大気研究センター（National Center for Atmospheric Research：NCAR）などによるコミュニティ領域気象モデル Weather Research and Forecasting model（WRF）ver. 3.3.1 を用いて計算した。モデル領域は、東経 115 度、北緯 37 度を中心としたランベルト座標系で投影され、98×94 グリッドで構成される。モデルの水平解像度は 80 km×80 km で、鉛直方向には地表面から 50 hPa までを 37 層に分けた。WRF の計算の初期条件及び側面境界条件には、米国国立気象局（National Centers for Environmental Prediction：NCEP）による水平解像度 $1^\circ \times 1^\circ$ 、6 時間毎の全球客観解析データ（FNL（Final）Operational Global Analysis data, ds083.2）を使用し、領域内の水平風速と気温、比湿については 3D grid nudging を用いて同化した。CMAQ の化学反応モジュールには SAPRC-99（Statewide Air Pollution Research Center, Version 99）を、エアロゾル過程には AERO5（fifth generation CMAQ aerosol module）と呼ばれるモジュールを使用した。AERO5 では、熱力学平衡モデル ISORROPIA によって、無機成分のガス—粒子間の分配が計算される。二次有機エアロゾルについては、芳香族化合物やイソプレン、モノテルペン等からの生成が考慮されている。海塩粒子は気象場に応じて、発生量がモデル内で算出される。粒子は Aitken モード、accumulation モード、coarse モードの 3 つの対数正規分布で表現されており、Aitken モードと accumulation モードの質量濃度の和を $PM_{2.5}$ 濃度とした。成分としては、硫酸塩、硝酸塩、アンモニウム塩、ナトリウム塩、塩化物、元素状炭素、有機物、一次粒子の $PM_{2.5}$ から算出した。

人為起源の排出量には、REAS（Regional Emission Inventory in Asia）ver. 2.1 の最も新しい対象年である 2008 年の月平均値を使用した⁸⁾。REAS には発生源として燃料燃焼や産業プロセス、農業活動などが含まれており、化学物質としては、 SO_2 、 NO_x 、 CO 、NMVOCs、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、ブラックカーボン（BC）、有機炭素（OC）、 NH_3 、 CH_4 を取り扱っている。バイオマス燃焼による月平均排出量には、GFED（Global Fire Emission Database）ver. 3.1 を使用した。生物起源 NMVOCs の排出量には、MEGAN（Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature）ver. 2 による 2000 年の月平均推計値を用いた。

衛星データとしては、欧州宇宙機関（ESA; European Space Agency）の DUP（Data User Programme）内のプログラムの一つである TEMIS（Tropospheric Emission Monitoring Internet Service, <http://www.temis.nl/index.php>）で公表されているデータを利用した。具体的には、ERS-2 衛星搭載の GOME（Global Ozone Monitoring Experiment）センサー、MetOp 衛星搭載の GOME-2 センサー、ENVISAT-1 衛星搭載の SCIAMACHY センサーによって観測された月平均対流圏 NO_2 鉛直カラム濃度である。一酸化炭素の衛星観測データとしては、Terra 衛星搭載の MOPITT（Measurement of Pollution in the Troposphere）センサーによる観測結果を用いた⁹⁾。また、排出インベントリは、エネルギー消費量や人口分布等の統計量に基づいて計算を行うボトムアップ法で作成された REAS ver. 1.1¹⁰⁾ および ver. 2.1⁸⁾ を用いた。REAS はアジア域に特化したインベントリであり、上述した大気化学輸送モデルの入力条件としても広く用いられている。

(3) 結果と考察

a) 東アジアにおける対流圏オゾンの長期変化

八方尾根におけるオゾン濃度は、他の北半球中高緯度におけるこれまでの観測結果と同様、春季に高く夏季に減少する傾向を示した。本プロジェクトにおける観測に加えて、EANET によって得られたデータをプロットすると、1998 年以降の時間変動を見ることができる。オゾン濃度は 2007 年まで増加する傾向が見られた。特に、高パーセンタイル値での増加が著しく、95 パーセンタイル値の増加率は 2.1 ppbv yr^{-1} 、75 パーセンタイル値の増加率は 1.3 ppbv yr^{-1} という非常に大きな値であった。この結果は、Tanimoto¹¹⁾ によって八方尾根におけるオゾン濃度について報告された増加率である約 1 ppbv yr^{-1} （1998–2006 年）と整合的であった。最近では、オゾン濃度は近年頭打ちとなり、2007 年にピークを迎えて 2008 年以降は減少しているように見える（図 2）。日本におけるオゾン濃度増加の原因として、東アジアからの越境汚染の急激な増加が考えられるが、大気化学輸送モデルによる計算では、人為起源の排出の増加だけでは観測されたような急激な増加の半分程度しか再現できなかった¹²⁾。そこで、八方尾根のオゾン濃度と、中国の NO_x 排出量および対流圏 NO_2 鉛直カラム濃度との比較を行った。ボトムアップ法で作成された排出インベントリ REAS から得ら

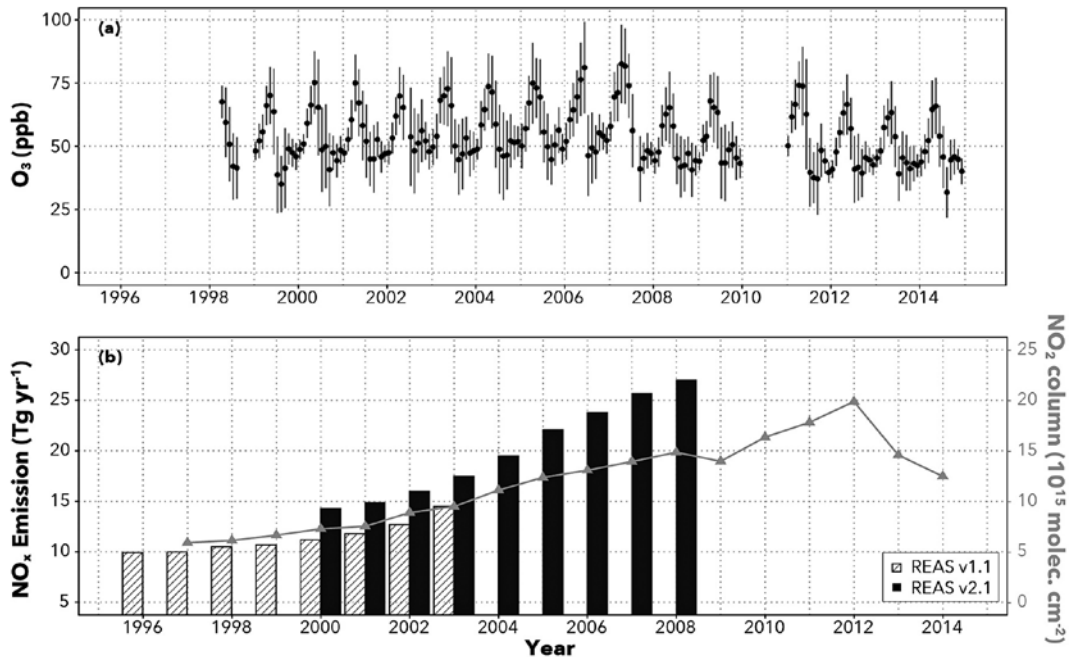


図2 (上) 八方尾根における1998年以降のオゾン濃度の長期変化と、(下) REAS インベントリによる中国におけるNO_x 排出量の推計値(左軸)と衛星観測による対流圏NO₂ カラム量の推移(右軸)

れた中国のNO_x 排出量および、ERS-2 衛星搭載のGOME (Global Ozone Monitoring Experiment) センサー、MetOp 衛星搭載のGOME-2 センサー、ENVISAT-1 衛星搭載のSCIAMACHY センサーによって観測された対流圏NO₂ 鉛直カラム濃度はともに、2002年から急激な上昇を示し、2005年以降やや減速した。NO₂ カラム濃度の増加は、2008-2009年にかけて一度停滞し、その後再び増加し、2012年以降急激に減少した。この2008-2009年の停滞は、北京オリンピックによる排出源対策とリーマンショックによる景気減退の影響であると考えられる。NO₂ カラム濃度傾向の変化の時期(2008-2009年および2012-2013年)とオゾン濃度傾向の変化の時期(2007-2008年および2011-2012年)にはおよそ一年のずれがあり、どちらの場合にもオゾン濃度の変化の方が早い、その因果関係はまだ不明である。中国国内でのNO_x 排出量変化のタイミングの地域間のずれを反映している可能性もある。日本の地上ステーションで観測された対流圏オゾン濃度について、2000年以降10年間分のデータをアップデートして、北米や欧州における同緯度帯の地上観測データと比較する解析を継続した。2000年代後半までは、日本における地上オゾン濃度は欧米を上回る増加率で増加していたが、2008年以降その増加傾向が緩やかなり減少している様子が八方尾根ほかいくつかの場所でも見られた(図3)。

八方尾根における一酸化炭素は、オゾンほど連続的に観測がなされておらず、2000年代に入って連続観測が途絶えていた。本プロジェクトで再開して得られたデータを見ると、2010年代の一酸化炭素濃度は1990年代に比べて低く、特に夏季で約50 ppbv程度の減少が見られた。国際線定期旅客便を使った温室効果ガス観測のデータと比較したところ、整合的であった。中国の一酸化炭素排出量は、2000-2001年から急激に増加し続け、2005年以降減速しながらもその傾向は続いた(図4)。しかしながら、Terra 衛星搭載のMOPITT センサーによる観測では、中国東部の一酸化炭素カラム濃度は1-1.6% yr⁻¹ (2000-2012年)で減少しているという報告がされている⁹⁾。数値モデルや観測データによる濃度情報を拘束条件にして排出量を最適化するトップダウン推定で、2005-2010年の中国からの一酸化炭素排出量を推定した計算では、中国からの一酸化炭素排出量は、2005年から2007年にかけて増加し、2007年のピーク後減少し、2010年に再び増加へと転じたと言われている。弓本・鶴野¹³⁾が、八方尾根では、2004年5月から2013年6月の期間、一酸化炭素観測が行われていなかったため、この期間の変動を排出インベントリや衛星観測データと比較することはできない。そこで、ウィルコクソンの順位和検定(Wilcoxon rank sum test)を用いて、1996-2004年の期間と2013-2014年の期間の一酸化炭素濃度レベルの比較を行ったところ、全ての場合で、1996-2004年よりも2013-2014年の一酸化炭素濃

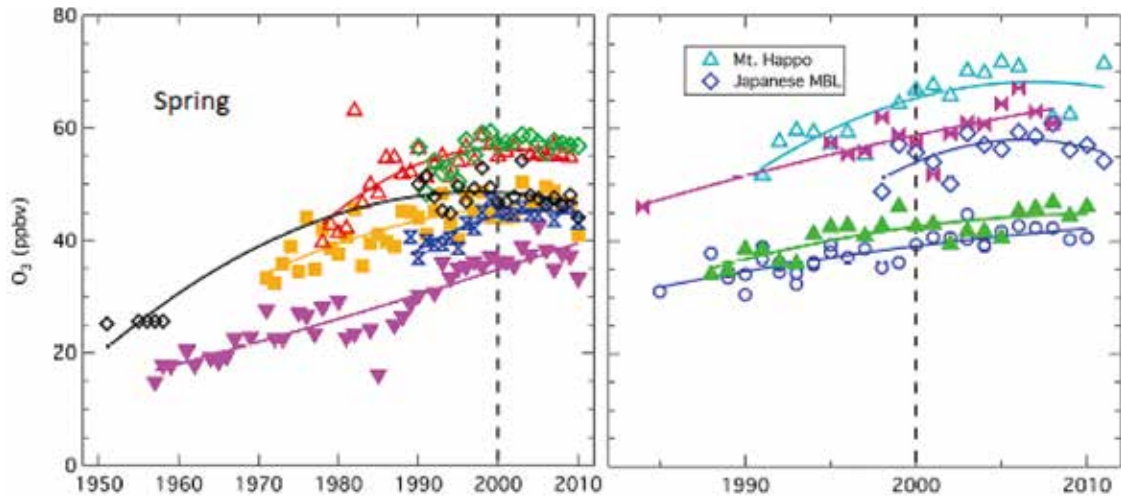


図3 八方尾根（右図の△）と日本の地上観測所（利尻、竜飛岬、佐渡の平均。◇）および欧州アルプス（左図。Jungfrauoch、Zugspitze、Arosa、Hohenpeissenberg、Mace Head、Arkona-Singst）と北米西海岸上空（右図の○、▲）における対流圏オゾン濃度の長期変化

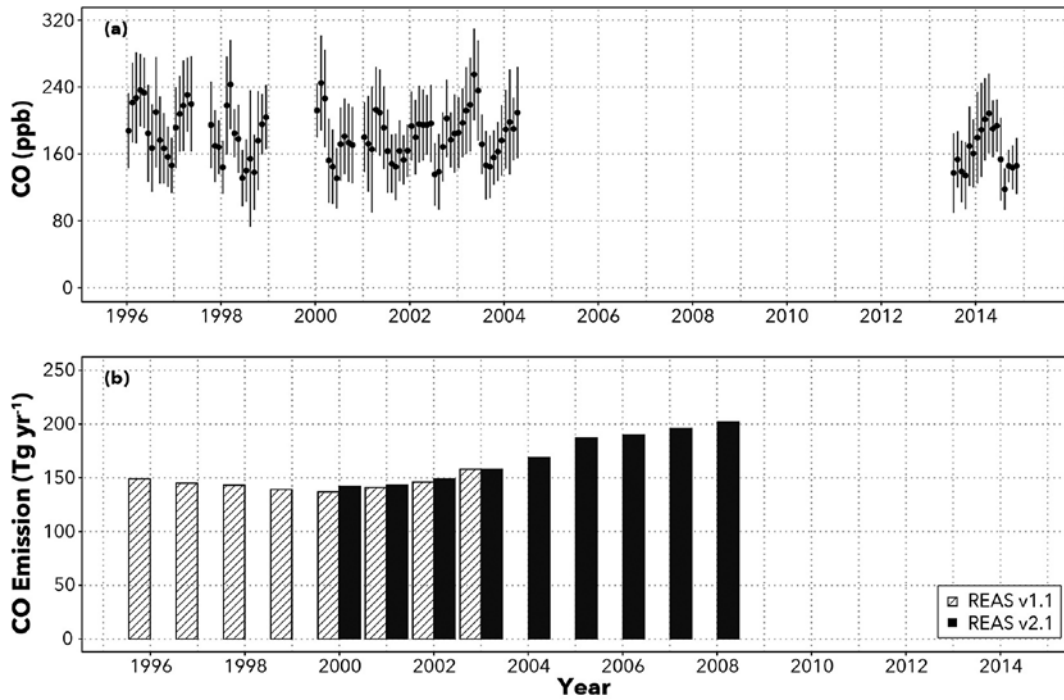


図4 (上) 八方尾根における1996年以降の一酸化炭素濃度の長期変化と、(下) REAS インベントリによる中国における一酸化炭素出量の推計値（左軸）

度レベルの方が有意に低かった。全濃度とバックグラウンド濃度は、秋季と冬季に最も二期間の差が大きく、続いて春季、そして夏季となっている。また、季節毎に比較すると、全濃度とバックグラウンド濃度の二期間の差はほぼ同じである。汚染濃度の二期間の差は、他の二つの濃度よりも全季節で大きい。そして、春季と夏季には、汚染濃度の方が他の二つの濃度よりも2 ppb程度大きいだけだが、秋季と冬季には20 ppb前後の違いがある。これは、秋季と冬季の汚染濃度が近年大きく減少したことを意味し、冬季の大きな減少の要因の一つとして考えられるのは、中国からの冬季一酸化炭素排出量の減少である。PM₁₀、PM_{2.5}、や黒色炭素粒子に加えて、一酸化炭素の排出量は、民生部門の化石・バイオ燃料の燃焼からの排出によって決まり、夏季に低く冬季に高いことが知られている⁸⁾。また、2007年以降、中国では住居用石炭・バイオ燃料の消費が減少していることから、一酸化炭素濃度の減少傾向と整合的である。

b) バイオマスバーニングが大気汚染に及ぼす影響

シベリアやアラスカなど北方森林の火災から大気中に放出される成分である NO_x に関する系統的な報告はこれまでなかったため、GOME および SCIAMACHY という二つの衛星センサーによって観測されたデータを用いて森林火災からの NO_x 放出とその影響に関する解析を行った。1998 年から 2004 年までの 7 年間にシベリアで大規模な森林火災が起こった年（1998 年、2002 年、2003 年）と火災が小規模だった年（1999 年、2000 年、2001 年、2004 年）の特徴を調べたところ、シベリアにおける森林火災由来の二酸化窒素（NO₂）カラムの増大が検出された。1998 年、2002 年、2003 年における偏差をみると、人為起源の発生源が支配的な地域と比べると弱いものの、有意な増加が見られた。得られた NO₂ カラムの年々変動をバイオマスバーニングのインベントリである GFED による NO_x 放出量の推計値と比較したところ、両者の推移が定性的に良く一致した（図 5）。

また、森林火災時における GOME および SCIAMACHY による対流圏 NO₂ カラム量の偏差と、MODIS から導出された Fire Radiative Power (FRP) との相関関係を解析すると、1998 年、2002 年、2003 年といった大規模火災時に FRP と NO₂ カラム量の増加分との間に非常に良い相関関係が見いだされ（図 6）、FRP が森林火災からの NO_x 排出に対する適切な指標となることが初めて見出された。これは、時間的には月平均値、空間的には 100 km 四方のデータを用いているなど、非常に解像度が荒いため、今後、時間的・空間的解像度を高め、小規模火災の影響を適切に考慮すること、短時間の変動を捉えることが今後の重要な課題となった。

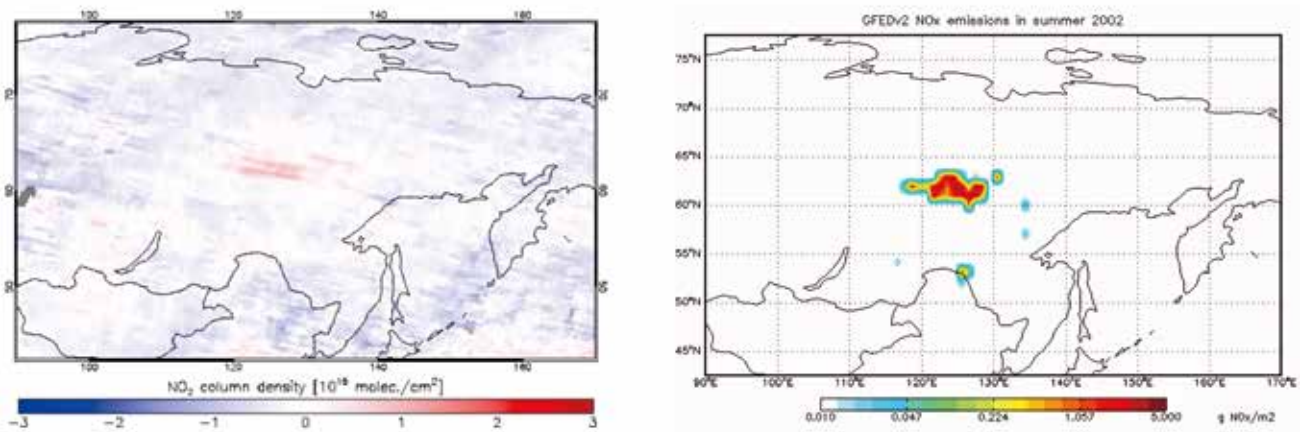


図 5 (左) 衛星観測によって検出された 2002 年夏季における対流圏二酸化窒素カラム量の増大、(右) GFED インベントリによって推定された窒素酸化物の放出源の分布。

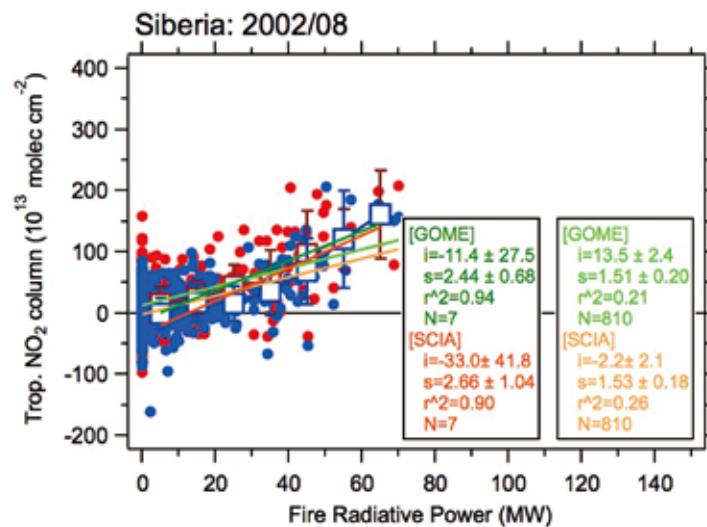


図 6 シベリアにおける森林火災による対流圏 NO₂ カラムの増大と FRP の相関

c) PM_{2.5}の越境汚染と日本の環境基準

日本におけるPM_{2.5}の時系列データを長期トレンドや年々変動の観点で調べた。2001年から東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）等の観測所で測定されているPM_{2.5}質量濃度の変動を調べた結果、シベリアの森林火災が大規模だった2003年の春季と2008年の春季に、北海道・利尻島（北緯45.1度、東経141.2度）で月平均値が大きく増加していたことが分かった（図7の矢印）。この時期にシベリアで大規模な森林火災が発生したことが分かっており、利尻で観測された高濃度PM_{2.5}汚染とシベリア森林火災との関係について、衛星観測データや領域化学輸送モデルを用いて、メカニズムと影響を解析した。

利尻は清浄な地域に位置するので、通常、月平均濃度は10 μg/m³弱と低い値になっている。また、日平均濃度の環境基準値（35 μg/m³）を超えた高濃度日は多くても3回であり、その多くは黄砂が原因であった（表1）。一方、2003年と2008年の春季は、35 μg/m³を超過している日数がそれぞれ6回と4回と多くなっており、平年よりも多いことが分かった（表1）。例えば、利尻では2003年5月4日からPM_{2.5}濃度が日平均濃度の環境基準値である35 μg/m³を断続

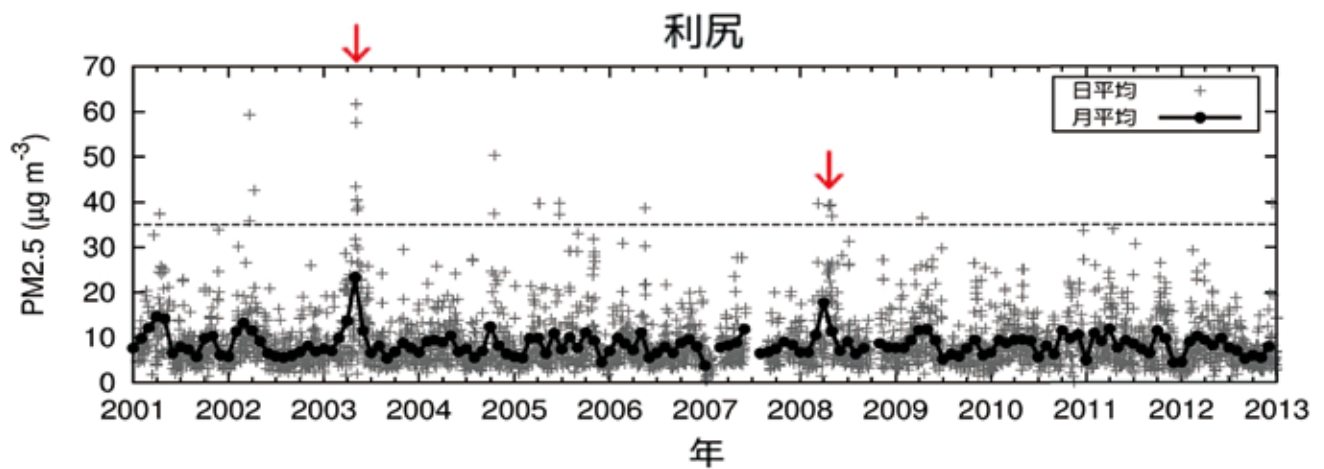


図7 利尻島における2001-2012年のPM_{2.5}質量濃度の日平均値（+）と月平均値（●）。点線は日平均濃度に対する大気環境基準値（35 μg/m³）を示す。横軸の1目盛りは3ヶ月ごとに区切られている。

表1 利尻において日平均濃度が環境基準値（35 μg/m³）を超えた高濃度日の日数および年平均濃度。括弧内は高濃度日の内、利尻に近い気象官署（稚内、旭川）において黄砂が目視観測された日数を示す。

年	高濃度日の日数（日）	年平均濃度（μg/m ³ ）
2001	1（1）	9.0
2002	3（3）	8.0
2003	6	9.8
2004	2	8.2
2005	3（1）	8.2
2006	1	8.1
2007	0	7.6
2008	4	9.1
2009	1	8.4
2010	0	8.6
2011	0	8.5
2012	1	7.5

的に超過し、最高 $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に達する高濃度なイベントが8日までの約5日間にわたって観測された。また、衛星観測データ MODIS による利尻島を含むグリッドのエアロゾル光学的厚さ (AOD) の値においても上昇 (1.2-1.6) が確認された。

代表的な例として、2003年5月における領域化学輸送モデル (WRF/CMAQ) によるシミュレーション結果を示す。高濃度 $\text{PM}_{2.5}$ 気塊は大規模な森林火災の発生していたバイカル湖の東側から中国東北部、ロシア沿海地方を通り、北海道に到達していたことが分かった (図8左)。WRF/CMAQ モデルによるシミュレーションは過小評価するものの、このイベントの濃度上昇のタイミングや時間変動を概ね再現することができていた。2003年と2008年の春季から夏季にかけて、特に日本の北部で $\text{PM}_{2.5}$ が高濃度になっていたことが分かった。

一方、シベリア森林火災からの排出量をゼロにしたシミュレーションでは、観測のような濃度上昇は再現されず、利尻における環境基準値の超過がシベリアの森林火災の影響によって起こされていたことが示された。また、MODIS 衛星観測によるエアロゾルの光学的厚さ (図8右) から、汚染気塊がシベリアから北日本に輸送される様子が同様に確認された。一方、シベリアで大規模な森林火災が発生した2003年は、影響が最も大きい利尻では月平均値は平年と比べ約2倍高くなっていた。その結果、利尻の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は笠岳や隠岐よりも高く、分布の傾向が平年とは逆になっていたことが分かる (図9)。国内3地点の長期平均した値を見ると、通常の年は隠岐 (島根県) で最も高く、笠岳 (宮城県)、利尻の順に低くなっており、日本における $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は、西側の方が高く東に向かうに従い低くなる傾向のあることが分かった⁶⁾。

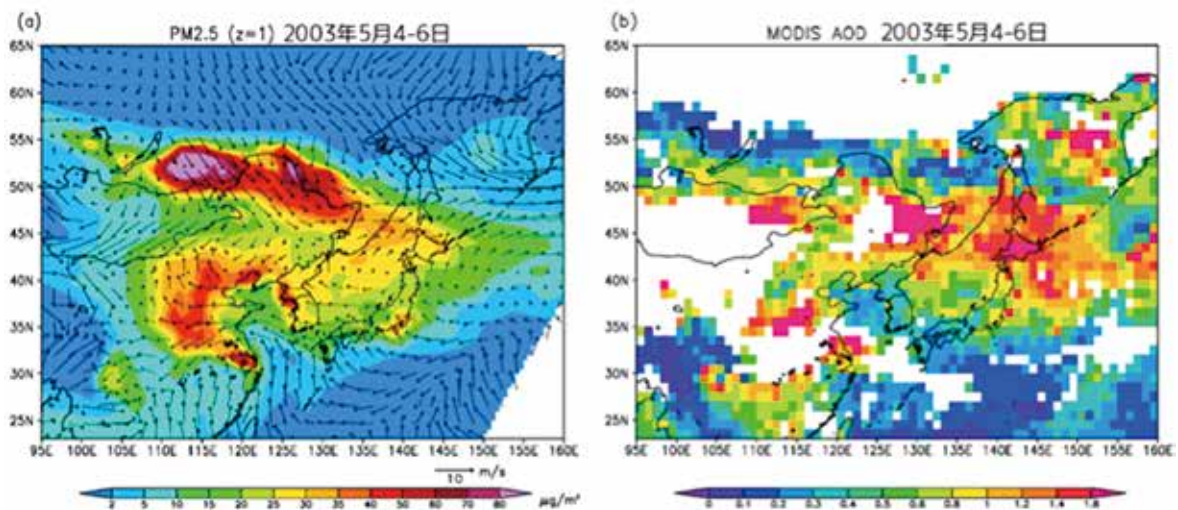


図8 (左) 領域化学輸送モデル (WRF/CMAQ) による地表付近の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) と水平風速 (m/s) および (右) 衛星観測 (MODIS) によるエアロゾルの光学的厚さ。2003年5月4-6日の平均値を示す。

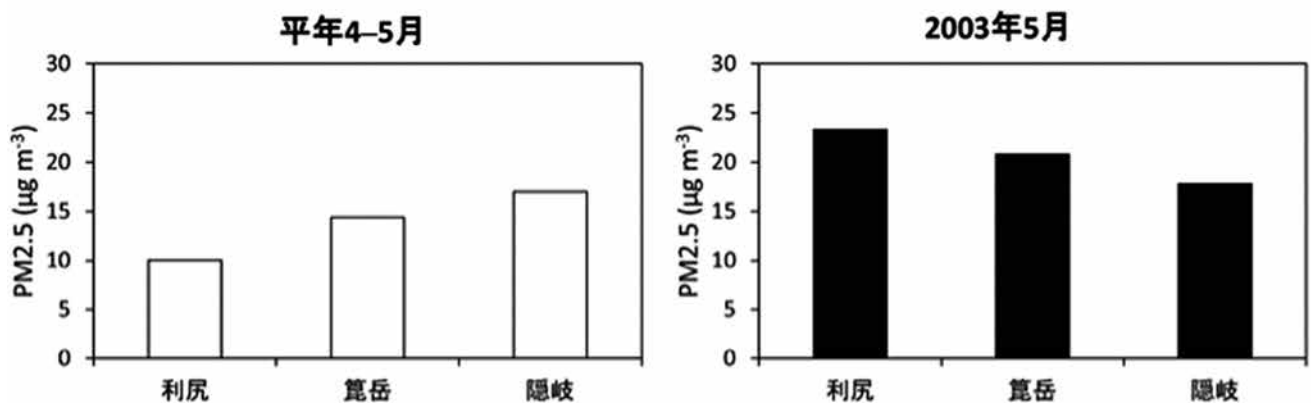


図9 利尻と笠岳、隠岐における $\text{PM}_{2.5}$ の2001-2012年の春季 (4-5月) 平均濃度 (左) および、シベリアで大規模な森林火災が発生した2003年5月の月平均濃度 (右) の比較。長期平均値は2003年と2008年を除いて算出している。

以上のように、衛星、地上、船舶などの観測に基づき、半球規模の大気汚染の実態と発生機構を解明した。アジアにおけるバックグラウンドオゾンの長期変化傾向は、過去 20 年間にわたって増加してきたことが、欧米における観測データとの比較研究から確かめられた。急激な経済成長を遂げる中国の越境汚染が考えられ、モデルでは定性的な増加傾向は説明可能であるものの、半分程度しか再現できず、今後の観測データとモデル改良の努力が望まれる。また、PM_{2.5}には長期変化傾向が見られなかったが、とくに日本の北方で、大きな増加が見られる年があり、モデルと衛星データを用いて調べたところ、シベリアの森林火災がPM_{2.5}の環境基準レベル超過に影響していたことが分かった。また、オゾンやエアロゾルの生成に重要な窒素酸化物 (NO_x) や揮発性有機化合物 (NMVOCs) について、衛星観測や野外観測のデータを利用して、シベリアと中国におけるバイオマスバーニングからの排出インベントリを評価するとともに、年間排出量を見積もった。NMVOCs については、多くの成分で概ね整合的であったが、これまで考慮されていなかった成分や、過大または過小評価だった成分が見いだされた。NO_x は過去の報告が過小評価だった可能性が指摘された。こうして既存の排出インベントリを改良することにより、モデルによるオゾンやエアロゾルの再現性が高まった。

2.1.2 アジア地域における包括的観測による日本への越境大気汚染の実態解明 (サブテーマ 2)

(1) 目的と経緯

東アジア地域では、経済発展に伴いエネルギー需要が多くなり、大気汚染物質などの排出量が増加している⁸⁾。2008 年のアジア全体での二酸化硫黄の排出量は 56.9 Tg で、そのうち中国が 33.5 Tg を占めていた。近年二酸化硫黄の排出は低減しているといわれているが、代わりに窒素酸化物が増加している。アジア全体での窒素酸化物の 2008 年の排出量は 53.9 Tg であったが、そのうち中国は 27.0 Tg を占めている。ちなみに 2008 年の日本の硫黄酸化物、窒素酸化物の排出量はそれぞれ 0.8 Tg、2.2 Tg である。このように中国における硫黄酸化物や窒素酸化物の排出量が多い。

日本、特に九州北部地域は冬季から春季にかけて大陸からの季節風の風下にあたり、中国で排出された大気汚染物質の影響、すなわち、越境大気汚染の影響を受ける。2003 年には長崎県福江島でエアロゾル質量分析計を用いた粒子の化学組成分析が行われ、後方流跡線解析などのデータも併用し、硫酸イオン濃度が高い時には、中国沿岸部から粒子状物質が輸送されて来ることが報告されている¹⁴⁾。また、沖縄県北部の辺戸岬でも観測が行われ、越境大気汚染の化学組成分析と輸送パターンについて同様の報告がある¹⁵⁾。さらに、2007 年以降、九州北部地域ではしばしば高濃度の粒子状物質を観測している¹⁶⁾。

国内では 2009 年に微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の環境基準が設定され、年平均値は 15 μg m⁻³ 以下、日平均値は 35 μg/m³ 以下と定められた¹⁷⁾。年々濃度は下がっているが、環境基準未達成の地域も 30–50% 程度ある。また、九州やそれ以外の地域でも、1 時間値が 35 μg m⁻³ を超える高濃度になることもあり、越境大気汚染のみならず、国内での大気汚染物質や前駆物質の排出も考慮する必要がある。

本サブテーマでは、長崎県福江島に設置された福江島大気観測施設と、福岡市内の福岡大学などで観測を行い、その結果を比較解析するなどして、越境大気汚染が九州北部地区に与える影響を検討した。

(2) 方法

福岡市での化学組成分析の自動観測は福岡大学理学部 18 号館で行った (東経 130.4 度、北緯 33.6 度)。エアロゾルの化学組成と質量濃度はエアロゾル質量分析計 (Quadrupole Aerosol Mass Spectrometer, Q-AMS、エアロダイナ社) を用いて分析した。Q-AMS は吸引した粒子とガスをエアロダイナミックレンズによって分離する。この際、エアロダイナミックレンズの特性により、吸引される粒子の粒径は大体 PM₁ 程度である。粒子はガスに比べて質量が大きいので、このレンズによって粒子のビームが形成される。約 600°C に加熱した蒸発器に衝突した粒子に含まれる一部の成分は気化し、電子衝撃法によってイオン化される。イオンは四重極質量分析計で分析され、粒子の化学組成分析を行う^{14, 18, 19)}。600°C で蒸発する成分は硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム、塩化物イオン、有機化合物である。黒色炭素 (元素状炭素)、土壌成分、海塩 (NaCl) などは蒸発しないため測定できない。硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオン (それぞれ SO₄、NO₃、NH₄ と表記) の質量濃度は、それぞれのフラグメントイオンの強度を基に定量した。有機物 (Org

と表記)は Q-AMS で測定した全質量から既知の無機イオンや窒素、酸素などのガス成分を引いた残りである。大気中のエアロゾルの採取は 4 階の窓からステンレスの配管を突き出し、配管の先に PM_{2.5} のサイクロン (URG-2000-30ED) を取り付け、壁から約 1 m 離して行った。

福江島観測所は五島市三井楽にあり、島の西方に位置する (東経 128.7 度、北緯 32.8 度)。プレハブの建物に、簡易型エアロゾル質量分析計 (Aerosol mass speciation monitor, ACSM、エアロダイナ社) を用いて、粒子の化学組成を測定した。原理は Q-AMS と同じである²⁰⁾。大気中のエアロゾルの採取はプレハブからステンレスの配管を屋上にあげ地上から約 3 m の高さで行った。配管の先に PM_{2.5} のサイクロン (URG-2000-30ED) を取り付け粗大粒子をカットした。福江島で採取した粒子を用いて内部構造の分析も行った。

Q-AMS、ACSM で測定される有機物の質量スペクトルを用いて、Positive Matrix Factorization (PMF) 法により有機物の特性を分析した。PMF 法はマイナスの値をとらないという制限のもと、質量スペクトルを炭化水素の特性を持つスペクトル (Hydrocarbon-like Organic Aerosol; HOA)、酸化された有機物の特性を持つスペクトル (Oxygenated Organic Aerosol; OOA) といった因子に分ける方法である²⁰⁾。

上記の自動測定器による観測とともに、ハイボリウムエアサンプラーを用いて有機化合物の捕集を行い、多環芳香族炭化水素 (Poly Aromatic Hydrocarbon; PAH) などの分析を行った。観測方法および分析方法の詳細は他の論文に記した²²⁾。2009 ~ 2012 年に 6 回の集中観測を行った。福岡大学および福江島大気環境観測施設に設置したハイボリウムエアサンプラーを用いて TSP を石英繊維フィルターに捕集した。フィルターは 1 日ごとに交換した。フィルター抽出物を GC/MS 法により分析し、PAH および *n*-アルカンの 1 日平均濃度を決定した。これらの観測から、福岡市で 74 日、福江島で 84 日分のデータを得た。本稿では、このうち 2010 年春、2010 年冬、および 2011 年夏の 3 回の集中観測で得られた結果を中心に報告する。

国立環境研究所が環境省・地方環境研究所・大学等のサポートを受け運用するライダーネットワーク (AD-Net) においては、晴天時に黄砂による消散係数および球形粒子 (主に人為汚染粒子) による消散係数の鉛直プロファイルが 15 分毎に推定される²³⁾。このうち高度 500 m (大気境界層内) および 2500 m (自由対流圏下部) における両消散係数の時系列からパーセントイル値を各地点で計算し、その水平分布を求めた。

健康影響については PM_{2.5} 質量濃度 (日平均濃度)、化学組成のデータ、および黄砂飛来情報 (気象庁による目視) と健康アウトカム情報 (救急搬送数、心筋梗塞発生) を結合し、統計的手法を用いてそれらの関連について解析を行った。

(3) 結果と考察

a) 福岡における観測と解析

福岡大学で春季に Q-AMS を用いた観測を行い、化学組成などの解析から越境大気汚染とローカルな汚染の寄与を解析した²⁴⁾。図 10 に示す通り、主要な化学組成は硫酸イオン、硝酸イオン、有機物であり、平均値はそれぞれ 3.4 ± 1.8 、 2.0 ± 2.3 、 $5.7 \pm 2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。観測期間中降雨は観測されなかった。3 月 19 日 19:50 から 3 月 20 日の 10 時までを第 1 期間 (図では 1st Period) とした。この期間は硫酸イオン濃度が高く、また、Q-AMS で測定した粒径分布も長距離輸送の場合において典型的にみられる、600 nm にピークを持つ一峰分布であった。第 2 期間 (図では 2nd Period) は 3 月 22 日 0:00 から 3 月 22 日 23:50 までで、有機物が相対的に多く、また 200 nm と 600 nm にピークを持つ二峰分布を示した。後方流跡線解析や Chemical Weather Forecasting System (CFORS) と呼ばれる大気質シミュレーションモデルの結果も併用し、第 1 期間は越境大気汚染が卓越し、第 2 期間はローカルな大気汚染もかなりの寄与がある期間であることが明らかとなった。

PMF 法を用いて有機物のスペクトルを解析した。2 成分での解析結果を図 11 にスペクトルを示す。2 成分に分解した場合には、COO フラグメントに相当する $m/z=44$ のシグナルが卓越する質量スペクトルと、アルデヒドや炭化水素のシグナルが卓越する質量スペクトルに分離した、 $m/z=44$ のシグナルが卓越する質量スペクトルは不揮発性の OOA (Low Volatile (LV)-OOA) と考えられる。3 成分では、アルデヒドと炭化水素シグナルが分離しそれぞれ半揮発性の Semi Volatile (SV)-OOA, HOA と同定された。第 1 期間では、2 成分の場合は OOA と HOA はそれぞれ 4.4 と

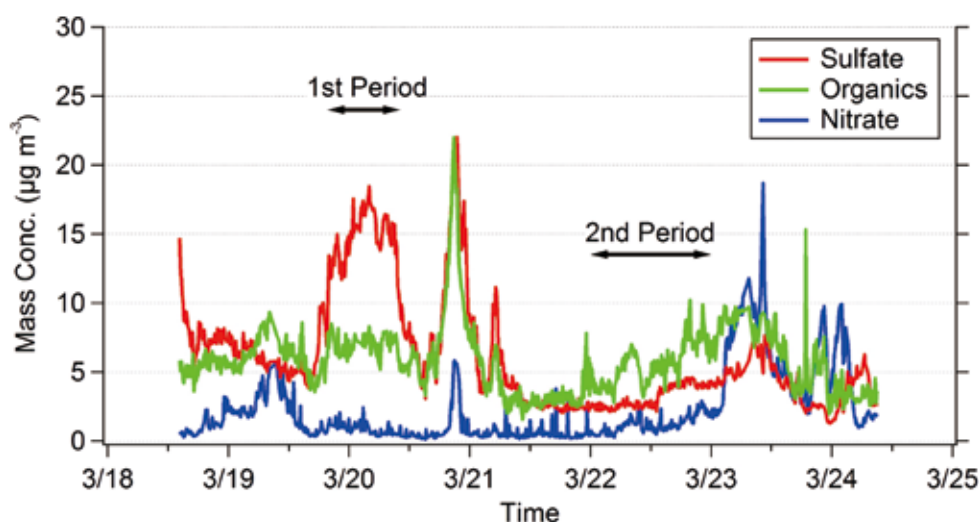


図 10 Q-AMS で測定した福岡における粒子の化学組成の変動

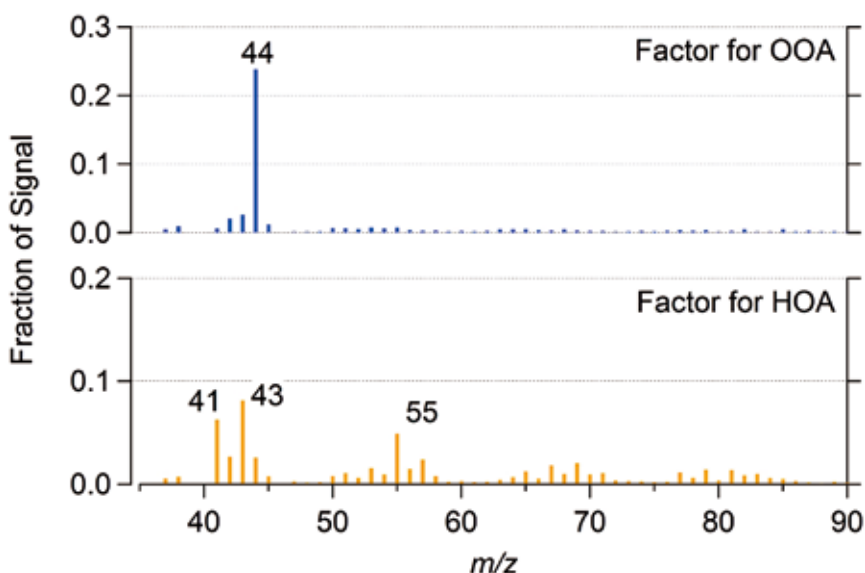


図 11 PMF 法による有機物の因子解析 (2 成分の場合)

2.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ であり、63%と37%の割合であった。3成分では、LV-OOA、SV-OOA、HOAは、それぞれ3.9、2.0と1.1 $\mu\text{g m}^{-3}$ であり、55%、30%、15%の割合であった。いずれの場合も、越境大気汚染が卓越している場合には、酸化された有機物の割合がかなり高くなることが明らかになった。これは長距離輸送されてくる間に酸化されるためと考えられる。過去の北半球での結果と比較すると²⁵⁾、OOAが67%、HOAが37%で今回の観測の結果と整合性がある。春季の場合、越境輸送が卓越する場合には長距離輸送の影響が60–80%以上を占め、ローカルな影響は15%程度と推定された。また、硫酸イオンとLV-OOAも良い相関を示しており、中国の影響が示唆された。第2期間では2成分の場合はOOAとHOAはそれぞれ2.3と3.2 $\mu\text{g m}^{-3}$ であり、42%と58%の割合であった。3成分では、LV-OOA、SV-OOA、HOAは、それぞれ2.0、2.0と1.5 $\mu\text{g m}^{-3}$ であり、36%、36%、28%の割合であった。2成分での解析では、HOAの割合が高く、あまり酸化されていない有機物の割合が高いことを示している。3成分の場合でも、LV-OOAの割合が第1期間と比較してかなり低く、ローカルな影響が比較的大きい場合には、酸化された有機物の割合が低くなることが明らかになった。このPMFの解析結果に基づき、この期間の26%の期間で、越境大気汚染が卓越していたと推定された。福岡の大気環境において越境大気汚染の寄与はかなり大きいと考えられる。

b) 福岡、福江における通年観測と解析

福岡、福江島において2012年に通年観測したエアロゾル化学成分を、PM_{2.5}測定値の一日平均値10 µg/m³以下、10～35 µg/m³、35 µg/m³以上の3パターンに場合分けした時のそれぞれの割合を図12に示す。福江島においては、硫酸イオンの割合が最も高く、PM_{2.5}濃度にかかわらず50%近くに達していた。硝酸イオンの割合は4%以下と低かった。それに対して、福岡ではPM_{2.5}濃度が35 µg/m³以上と高い時は硫酸イオンの占める割合が最も高く50%近くに達しており、硝酸イオンの割合は4%と福江島と同程度であった。PM_{2.5}濃度が10 µg/m³以下と低い時は有機物の割合が最も高く、また硝酸イオンが12%を超えて高かった。

AMSによって得られた有機エアロゾルの質量スペクトルをPMF法により解析した。福岡、福江島共に質量スペクトルを2つのファクターに分類した。図13に分類した有機エアロゾルの質量スペクトルを示す。ファクター1はm/z=44 (COO⁺フラグメント)に大きなスペクトルが見られ、これはかなり酸化(aging)が進んだ蒸気圧の低い有機エアロゾル(LV-OOA)であると考えられる。ファクター2にはm/z=41、43、55、57にスペクトルが見られた。m/z=43 (CH₂CHO⁺フラグメント)は部分的に酸化されたアルデヒドのような半揮発性の有機エアロゾル(SV-OOA)であると考えられる。m/z=41 (C₃H₅⁺)、43 (C₃H₇⁺)、55 (C₄H₇⁺)、57 (C₄H₉⁺)はほとんど酸化されていないアルカンのような排出されて間もないフレッシュな有機エアロゾル(HOA)であると考えられる^{19, 26-29}。Q-AMSではm/z=43のCH₂CHO⁺フラグメントとC₃H₇⁺フラグメントを分けることができないため、ファクター2はSV-OOAとHOAが混合している。福岡、福江島共に類似したマススペクトルが見られるが、福江島においてはm/z=44のシグナルが大きく、m/z=55、57のシグナルは小さかった。

得られた2つのファクターを、エアロゾル化学成分と同様にPM_{2.5}測定値別に場合分けした時のそれぞれのファクターの割合を図14に示す。福岡において、PM_{2.5}濃度が10 µg/m³以下と低い時にファクター2 (SV-OOAとHOA)の割合が高く、60%近くに達していた。PM_{2.5}濃度が高くなるに従って、ファクター1 (LV-OOA)の割合が高くなり、35 µg/m³以上では60%を超えていた。これに対し、福江島においてはPM_{2.5}濃度にかかわらずファクター1 (LV-OOA)の占める割合が高く、約70%に達していた。

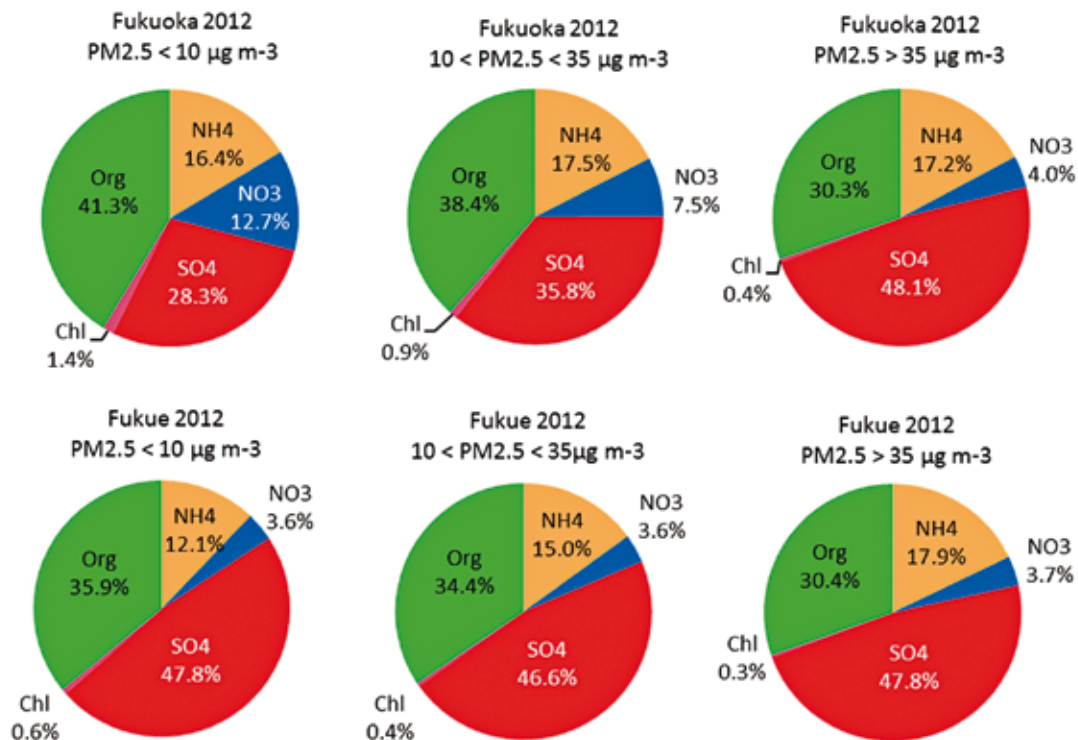


図12 Q-AMS、ACSMにより測定したエアロゾル化学組成の割合 (NH₄:アンモニウムイオン、NO₃:硝酸イオン、SO₄:硫酸イオン、Chl:塩化物イオン、Org:有機物)。上段:福岡、下段:福江島

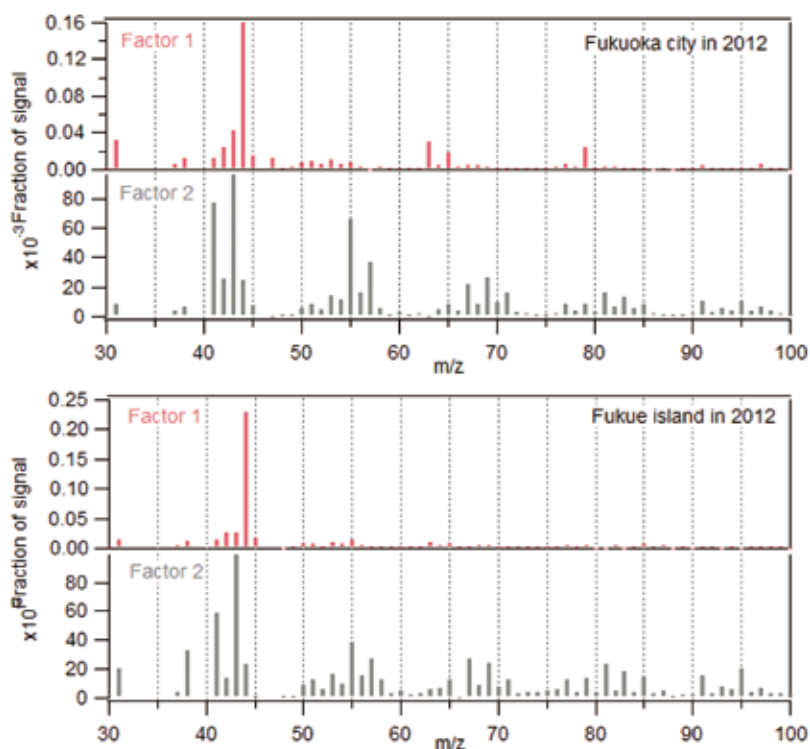


図 13 PMF 解析による各ファクターの質量スペクトル。上段：福岡，下段：福江島

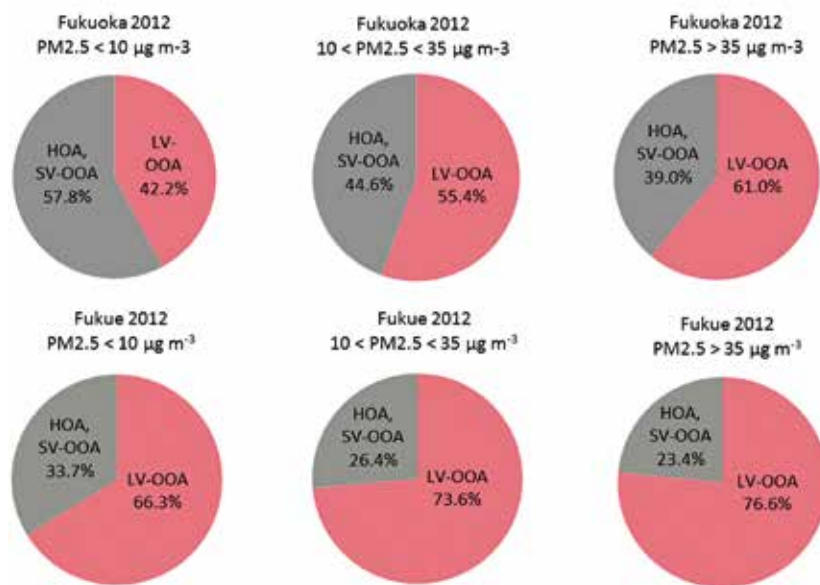


図 14 PMF 解析による各ファクターの割合。上段：福岡，下段：福江島

福江島で $PM_{2.5}$ 濃度にかかわらず、硫酸塩や LV-OOA の占める割合が高いという結果は、福江島の大気質が主に長距離輸送された大気汚染物質の影響を受けていることを示している。それに対して、福岡では $PM_{2.5}$ 濃度の変化に伴い、エアロゾル化学成分および有機エアロゾル組成が変化している。これらの結果は、福岡の大気質が長距離輸送された大気汚染物質とローカルに発生した大気汚染物質の両方の影響を受けていることを示している。すなわち、 $PM_{2.5}$ 濃度が高い時は長距離輸送による越境大気汚染の影響が大きく、 $PM_{2.5}$ 濃度が低い時はローカル汚染の影響が大きいと考えられる^{14, 16, 30-32)}。後方流跡線解析や化学天気予報 (chemical weather forecasting system, CFORS) では、 $PM_{2.5}$ 濃度が高い時は中国大陸から気塊が輸送されていることを示しており、これらの結果を裏付けている³³⁾。

c) PAH から見た越境大気汚染の現状

東アジアにおける有機エアロゾルの排出は、この地域の経済発展に伴って急激に増加してきた^{34, 35)}。人間活動によって排出される有機エアロゾルのマーカー物質として多環芳香族炭化水素 (PAH) や *n*-アルカンが知られる。PAH は有害な化合物であり、ベンゾ [*a*] ピレンおよびジベンズ [*a,h*] アントラセンは、それぞれグループ 1 (発がん性がある) およびグループ 2 (おそらく発がん性がある) に分類される³⁶⁾。我々のグループは先行プロジェクトにおいて沖縄県辺戸岬で PAH および *n*-アルカンの観測を行ってきた^{37, 38)}。観測の結果、汚染輸送イベント中に辺戸岬で観測した PAH 濃度の最大値は、国内諸都市で観測される PAH 濃度と同レベルであることが明らかとなった。この結果から、西日本の諸都市では、ローカルに排出される PAH と同レベルの PAH が域外から輸送されることが予想された。本研究では、福岡市で観測される有機エアロゾルに輸送成分が占める割合を議論する目的で、長崎県福江島および福岡市において PAH および *n*-アルカンの同時観測を行った。福江島周辺には主要な発生源がなく主に長距離輸送された PAH が観測される一方、福岡市では長距離輸送成分に加えてローカルに排出された PAH が観測されると仮定した。

図 15 は福岡市 (FC) と福江島 (FI) で観測された PAH の濃度および発生源指標を示す。同日の結果同士を比較すると福岡市の PAH 濃度は福江島と同程度か福江島より高かった。福岡市と福江島の濃度が同程度の日には福岡で輸送が卓越しており、福岡市の濃度が福江島よりも高い日には輸送された成分に加えてローカルな影響があると考えられる。福岡市における輸送の寄与率の高さの指標として福岡市の PAH 濃度に対する福江島の PAH 濃度の比 (FI/FC 比) を評価した。春、冬、および夏の FI/FC 比は、それぞれ 0.66、0.75、および 0.27 であった。大陸からの輸送が卓越する春冬には、輸送の影響がローカルよりもやや強いと考えられる。発生源指標の結果から、春冬に福岡市と福江島の PAH がいずれも石炭燃焼由来または植物燃焼由来であった。また、夏には福岡市と福江島の PAH はいずれも石油燃焼由来であった。大陸では石油利用よりも石炭利用が卓越し、国内ではその逆である³⁹⁾。福岡市と福江島で同様な季節変化が見られたことは、福岡市で観測される PAH が広域汚染の影響を強く受けていることを示していた。

図 16 は、福岡市と福江島で観測された *n*-アルカンの濃度および発生源指標を示す。春、冬、および夏に観測された *n*-アルカンに関する FI/FC 比は、それぞれ 0.40、0.35、および 0.38 であった。福岡市の *n*-アルカンに輸送成分が占める割合は PAH の場合よりやや低かったが、輸送成分の寄与はローカル成分と大差なかった。発生源指標の結果は、冬に福岡市と福江島の *n*-アルカンがいずれも石油由来であることを示していた。春夏の福岡市と福江島の *n*-アルカンの結果にはいずれも石油由来成分に加えて植物ワックスの影響が見られた。植物ワックスの影響が春夏に高まることに地域性はないと考えられるが、もし春夏に福岡市でローカルな成分の影響が非常に強ければ福岡市では石油由来の成分の影響が福江島よりも強く出てよいはずである。しかし、春夏にも福岡市と福江島に有意な違いは見られず、福岡市でのローカルな影響が非常に強いという仮定は成り立たないと考えられる²²⁾。

d) 福江島での個別粒子解析

飛行時間型二次イオン質量分析計 (Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometer: TOF-SIMS) では、二次イオンとして放出される化学種を分析することで粒子状物質に含まれる化学物質の種類や分布を分析することができる^{30, 39)}。2011 年春に長崎福江島において捕集した試料を分析し粒子の構造を解析した。

大陸から輸送されたと考えられる日の微小粒子では典型的に 3 種類の粒子が観察された。模式図を図 17 に示す。Type A は硫酸塩の周囲を有機物が被覆していた。Type B は中心に土壌粒子 (Ca、Mg など) が存在し、その周囲を硫酸塩が覆い、その外側を有機物が被覆していた。Type C は硫酸塩の縁に黒色炭素が存在し、硫酸塩と黒色炭素の周囲を有機物が被覆していた。TOF-SIMS の分析は超高真空中で行われるため、必ずしも大気中で Type A-C のような構造をしていたかどうかは明確ではないが、大気中での粒子の構造の手がかりとなる解析を行うことができた。硫酸塩や有機物は太陽光を散乱するが、黒色炭素や土壌成分は吸収するため、黒色炭素などを含む微小粒子の内部構造の解明は重要である。

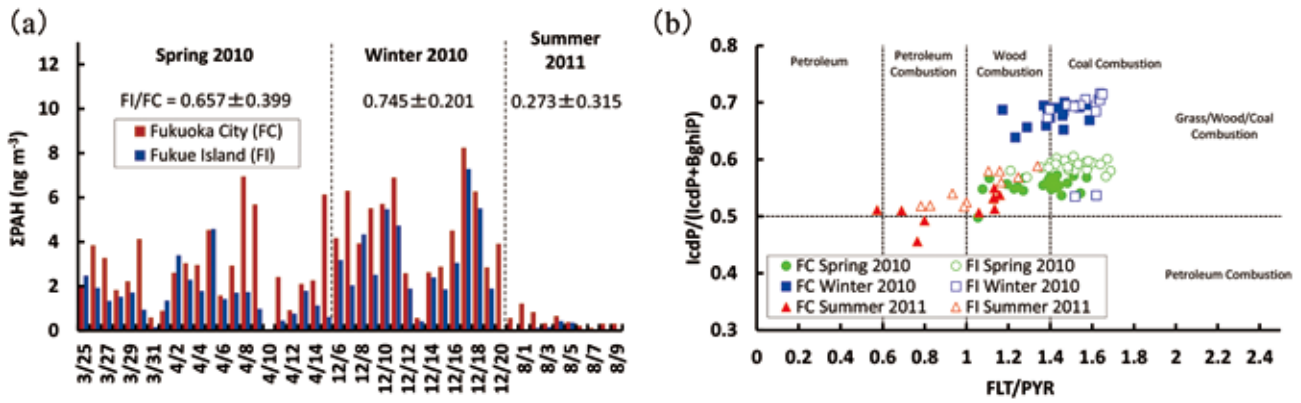


図 15 福岡市 (FC) と福江島 (FI) で観測された PAH の (a) 濃度と (b) 発生源指標

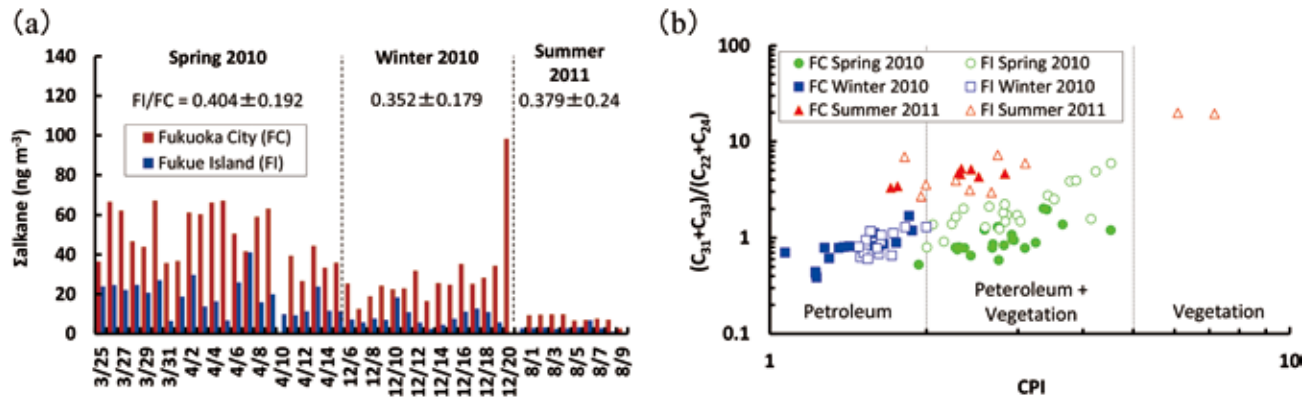
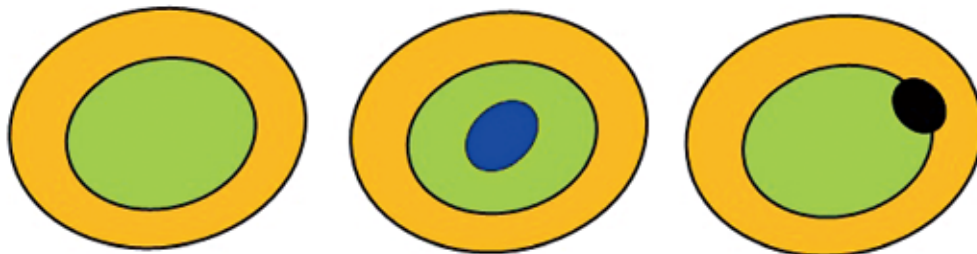


図 16 福岡市 (FC) と福江島 (FI) で観測された *n*-アルカンの (a) 濃度と (b) 発生源指標



黄色:有機物、緑:硫酸塩、青:土壌粒子、黒:黒色炭素

図 17 左から TypeA, B, C の模式図

e) ライダー観測

図 18 に高度 500 m における 3-5 月の黄砂消散係数および通年の球形粒子消散係数の統計分布を示す。国内で黄砂・球形粒子ともに東西で差が見られ、いずれも福江・長崎を含む西日本で高くなっている。高度 2500 m の図は省略するが、同様の傾向はより弱くなって存在する。

国内におけるライダーの常時観測から、西日本において黄砂・球形粒子の両成分ともに東日本よりも高い消散係数を示していた。発生源がゴビ砂漠等ユーラシア大陸内部に存在する黄砂のみならず、人為汚染粒子を中心とした球形粒子でも同様の傾向が見られることから、領域規模の輸送が同じように重要であることが示唆される。また、ライダーネットワークの黄砂消散係数は環境省「黄砂の健康影響に関する疫学研究等を行うワーキンググループ」にも提供され、長崎県内で実施されたプロスペクティブおよびレトロスペクティブ研究における暴露指標として利用された。

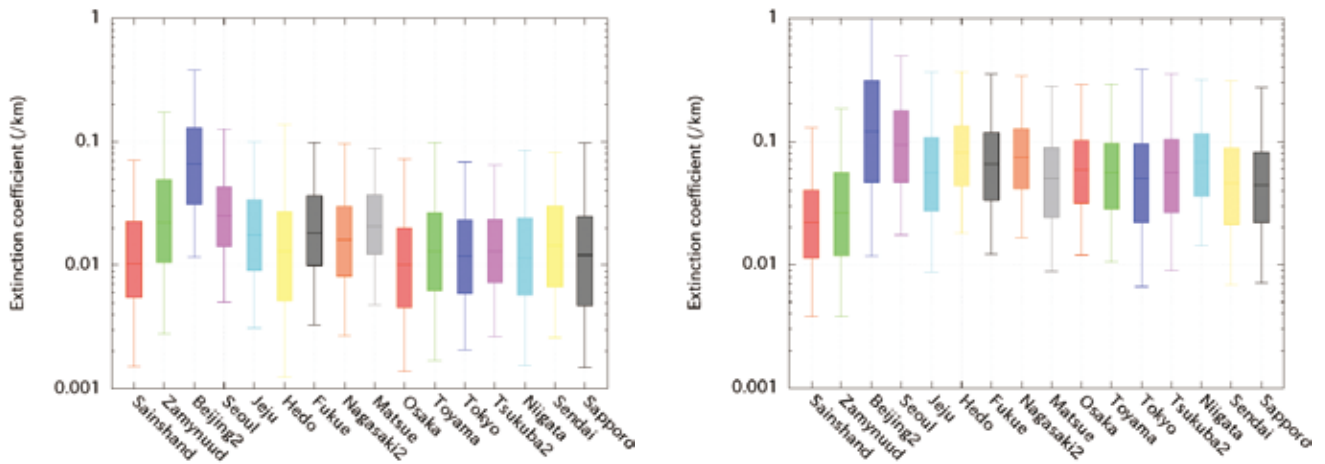


図 18 高度 500m における黄砂および球形粒子の消散係数統計分布（下から 5-25-50-75-95 パーセンタイル値）。左から 5 つまで蒙中韓、その右 11 地点が国内で東西順（辺戸岬から札幌）。縦軸は対数。

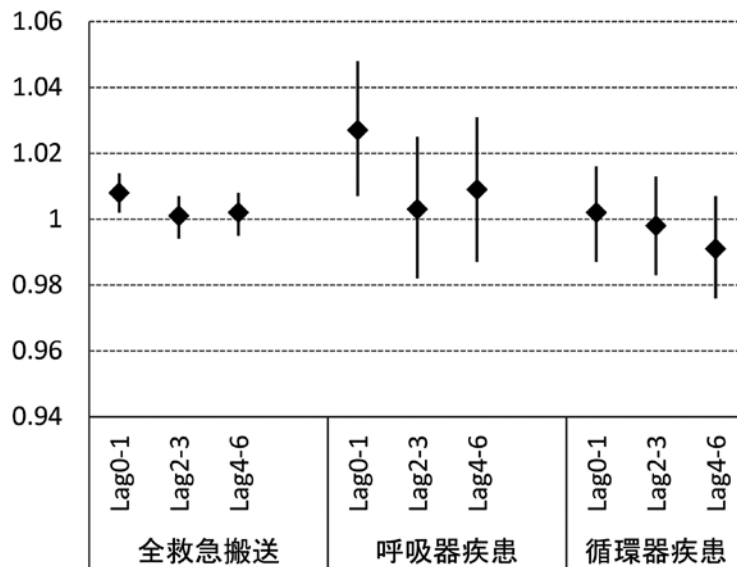


図 19 PM_{2.5} 濃度が 10 µg/m³ 増加した場合のオッズ比（左から、単汚染物質モデル、NO₂, Ox, SO₂ で調整したモデル）

f) 福岡における疫学調査

PM_{2.5} 濃度は、急病による救急搬送との間に有意な正の関連がみられ（図 19）、特に呼吸器疾患による救急搬送との関連が強かった⁴⁰。全国主要都市での検討では、PM_{2.5} 濃度が 10 µg/m³ 増加すると、その日の急病による救急搬送は約 1% 増加したが、地域差がみられた。一方、福岡において捕集された PM の化学成分濃度と急性心筋梗塞との関連については、硝酸塩および有機物について、リスクが通常より高い（オッズ比が 1 を超える）場合が見られた。また、黄砂の飛来により心筋梗塞のリスクは上昇することが観察された⁴¹。

PM_{2.5} や黄砂曝露により、循環器疾患、呼吸器疾患の発症が増加する可能性があるが、PM_{2.5} 濃度と疾患の関係には地域差があることが推察された。また、成分組成により健康影響が異なる可能性が示唆された。

2.1.3 モデルシミュレーションによる汚染機構の解明と影響・対策評価（サブテーマ 3）

(1) 目的と経緯

東アジア地域では、近年の急速な経済発展に伴う大気汚染物質排出量の増加と歩みを同じくして大気汚染問題が広域化・深刻化し、わが国への広範な影響が危惧されるようになってきた。また、国内においては、1970 年代から継続的

に実施・強化が行われてきた大気汚染対策が奏功して、二酸化硫黄 (SO_2)、窒素酸化物 (NO_x)、炭化水素などの観測される濃度には減少傾向が認められるものの、1980年代半ば以降、光化学オキシダント濃度には漸増傾向が見られており、その原因の究明と対策の検討が急務とされてきた。加えて、2009年には微小粒子状物質 ($\text{PM}_{2.5}$) の環境基準が設定され、中国などの大都市における $\text{PM}_{2.5}$ の激甚汚染が度々報道されるに従い、 $\text{PM}_{2.5}$ 汚染とそれに対する越境輸送の影響に社会的な関心が高まった。近年のこうした問題に対して、国立環境研究所では、これまでもラボ実験、様々な手法による大気観測、数値モデルシミュレーションなどの調査研究を実施してきた⁴²⁾。中でも、数値モデルを用いたシミュレーション研究では、全球規模の化学輸送モデル (Chemical Transport Model: CTM) や化学気候モデル (Chemistry Climate Model: CCM)、領域規模の CTM を用いて、対流圏オゾン (O_3) の発生源別寄与解析や将来の濃度予測実験、東アジアにおける春季地表 O_3 のトレンド解析、同じく東アジアの硫酸塩エアロゾルや日本における硝酸沈着量の時空間変動解析・トレンド解析などの研究が行われ、それぞれに東アジアの大気汚染に関する貴重な知見を提供してきた。しかしながら、これらの研究は統一的な実験設定で実施されてきたわけではないため、個々の研究で得られた結果を統合的に理解しようとするのが簡単ではない場合もあった。こうした背景を踏まえ、本サブテーマでは、全球規模から地域規模、国規模までを統一的に表現できる数値モデルの体系 (システム) 構築を目指した。このシステムは、全球規模と領域規模の CTM、及びこれらに inputs する各種大気汚染物質の排出量インベントリデータとで構成され、東アジアにおける大気汚染について、多様な (マルチ) 空間スケールが重畳した構造として明らかにするための基盤となるものである。このシステムを使って近年の東アジアにおける大気質の状況を再現する数値シミュレーションを行い、更に各種感度実験を実施して東アジア大気汚染の構造解明を進めた。また、将来の東アジアにおける大気汚染対策シナリオに基づいた数値シミュレーションを行って対策の効果を評価した (なお、この将来シナリオ評価は、プロジェクト2で開発された海洋モデルと連携して行ったため、その内容は2.3節において詳述する)。

一方、このような東アジアにおける大気汚染のわが国における影響として、森林植生への影響に着目した研究を合わせて進めた。近年、日本各地の山地森林域においては、冷温帯の代表的森林として国内に広く分布するブナ林の衰退が問題となっている。これまでの様々な調査研究から越境大気汚染を含む O_3 曝露や温暖化・乾燥化による水欠乏の影響が指摘されているが、その影響の程度については明らかにはなっていない。そこで、山地森林域での O_3 汚染やブナ衰退度のモニタリングを実施し、更に、ブナに O_3 曝露と水欠乏を与えて成長量変化を評価する実験、及びその結果と数値モデルシミュレーション結果とを連携した日本各地のブナ林衰退リスクの推定を行った。また、植物は、 O_3 に暴露された時のようなストレス状態において、可視被害や成長阻害、品質の低下などの影響を受けるが、そうしたストレスの大きさを定量的に把握してストレス診断を行うために、これまでモデル植物を対象に開発してきた、遺伝子発現解析や傷害ホルモン測定等の手法によるストレス診断手法をブナに応用するための研究を行った。

(2) 方法

全球規模から地域・国規模までのマルチ空間スケールにおける大気質の変化を表現するため、全球規模の CTM である CHASER⁴³⁾ と、地域気象モデル WRF⁴⁴⁾ の気象場データを利用する領域規模の CTM である CMAQ⁴⁵⁾ を用いて、マルチモデル-マルチスケール CTM システムを構築した (図 20)。全球 CTM の CHASER では、 O_3 、水素酸化物 (HO_x)、 NO_x 、メタン (CH_4)、一酸化炭素 (CO)、非メタン炭化水素 (NMHC) が関係する 140 個の光化学反応が考慮されており、気体反応に加えて SO_2 からの硫酸塩エアロゾル生成も計算される。CHASER の水平分解能は T63 (緯度×経度 = $1.9^\circ \times 200 \text{ km}$) であり、計算された主要な化学成分の濃度を、領域 CTM の CMAQ に側面 (東西南北) 境界条件として与え、更に空間詳細な計算を行う。この際、異なる水平分解能を持った CMAQ で 2 段階の空間ダウンスケールを行うことにより、水平分解能 60 km (東アジア全体) と 15 km (日本全体) という異なる空間スケールに応じた大気質変化の検討を可能とした。CMAQ の化学反応計算には、SAPRC-99 を、エアロゾル過程には AERO5 と呼ばれる計算モジュールを使用した。CMAQ ではエアロゾル粒子を、粒径別に、エイトケンモード、集積モード、粗大モードの 3 つに分けて取り扱っており、観測データとの比較の際にはエイトケンモードと集積モードの質量濃度の和をもって $\text{PM}_{2.5}$ 濃度とした。AERO5 で計算が可能なエアロゾルの成分は、硫酸イオン (SO_4^{2-})、硝酸イオン (NO_3^-)、アンモニウムイオン

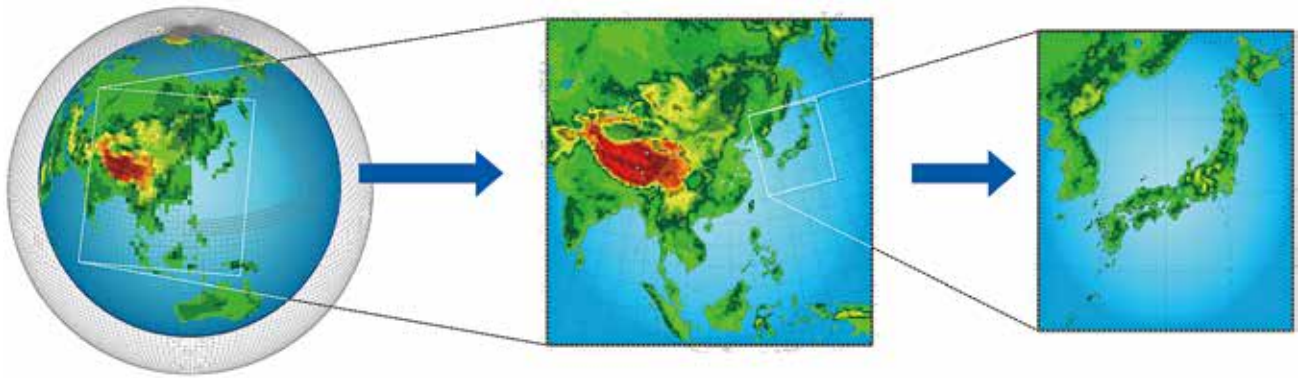


図 20 構築されたマルチモデル-マルチスケール CTM システム

(NH_4^+)、元素状炭素 (BC)、有機物 (OC)、ナトリウムイオン、塩化物イオン、およびその他一次粒子であり、観測された全 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度との比較に際してはこれらの総和を用いた。

上記の CTM システムの気象場を駆動するため、米国国立気象局 (NCEP) による水平解像度 $1^\circ \times 1^\circ$ 、6 時間毎の全球客観解析データを用いた。近年の東アジアにおける大気質変動を再現するために必要な大気汚染物質に関して、その多様な発生源 (人為起源、バイオマス燃焼起源、植生起源、火山起源) からの排出量データの整備を行い、2000 年から 2012 年までの東アジア大気質再現実験を行った。人為起源の排出量データとしては、日本を除くアジア域で REAS v2.1⁸⁾、日本においては JATOP^{46,47)} のデータを用いた。これらには、日本における固定発生源対策、自動車排出ガス規制、VOC 蒸発発生源対策などによる排出量の長期変化、日本国内の休日と平日による自動車からの排出量の違い、中国における中長期の大気汚染対策に伴う排出係数の変化や春節に伴う産業・社会活動等の変動が含まれている。なお、REASv2.1 は 2008 年までの期間しかカバーしていないため、2009 年以降は 2008 年値を繰り返し用いている。バイオマス燃焼による排出量と植生からの NMHC 排出量については、それぞれ、GEFED v3.1⁴⁸⁾ と MEGAN v2.1⁴⁹⁾ を用い、後者においては WRF による気象場の計算値を用いて排出量の推定を行った。火山噴火による SO_2 の放出量は、AEROCOM⁵⁰⁾ および気象庁のデータ⁵¹⁾ を用いた。計算は、東アジア全体を含む 60 km の水平分解能を用いた 13 年間の通し計算と、それを境界条件として日本全域を対象とした 15 km の水平分解能を用いた複数年 (2000、2005、2009、2010、2012 年) の計算を行った。計算された大気汚染物質の地表濃度に関して、国内外の観測データとの比較を通して再現性の評価を行った。用いた観測データは、環境省による大気汚染物質広域監視システム (AEROS) による常時監視局モニタリングデータ、国立環境研究所による沖縄・辺戸岬での長期観測データ、同じく国立環境研究所による定期貨物船を用いたアジア近海での海上観測データ、関連する推進費研究 (5B-1101 など) で観測された $\text{PM}_{2.5}$ の成分データなどである。

上記システムを用いて、東アジアにおける大気汚染の構造を理解するための感度実験を行った。2012 年を対象にした通常の実験 (標準実験) に対して、日本とそれ以外の東アジアの二領域に関して、10 の排出部門 (輸送部門・産業部門・発電部門・船舶・固定蒸発発生源・バイオマス燃焼・植生起源・火山・その他 NH_3 ・その他) からの大気汚染物質排出量をそれぞれ 20% 削減する感度実験を行い、両実験の差をとって各領域・部門の大気汚染物質への寄与を見積もった。実験は、計算コストの関係で、冬季 (1-2 月)、春季 (4-5 月)、夏季 (7-8 月) を対象に実施している。更にサブテーマ 2 と協力し、感度実験から見積もられた発生源別の寄与を用いて、 $\text{PM}_{2.5}$ への長期暴露及び短期暴露に起因する死亡数に対する発生源別の寄与を評価した。

山地森林域でのモニタリング調査では、地方環境研究所等の協力を得て、北海道から九州に至る様々な地域で、ブナ等の樹木衰退に係る、目視衰退度調査、葉緑素含有量 (SPAD) 計測、パッシブサンプラーによる O_3 濃度計測を、2008 年より実施し、地域変化や経年変動等を解析した。また、2~3 年生のブナの苗木を材料として、環境制御室を用い、気温 25/15°C (昼/夜)、相対湿度 65/70% (昼/夜) のもとで次の二つの実験を行った: ① 0~200ppb レベルの O_3 短期 (24 時間) 曝露影響実験、② O_3 曝露と水欠乏処理の長期 (3~6 ヶ月) 複合影響実験。後者では、 O_3 濃度を、日平均 70 ppb (昼 120 ppb、夜 40 ppb)、50 ppb (昼 100 ppb、夜 20 ppb)、0 ppb の 3 段階に設定した。また、水欠乏処理は、250 ml/3 日の

灌水区（22 週間の降水量換算で総計 1,300 mm 程度）を 100%とし、80%、60%、40%、あるいは 70%、50%の灌水処理を行った。実験開始前後に乾重等を計測し、生長解析法により相対生長率（RGR）等を算出し影響を比較した。この実験から、暴露-作用関数を、AOT40（5～10月のブナ生育期における6:00～18:00のO₃時間平均濃度のうち40 ppb以上の濃度を積算したもの）とRGRの関係式として導出した。更に、環境省第5回自然環境保全基礎調査（1994～1998）の植生調査-3次メッシュデータからブナの分布域を抽出し、そこに、数値モデルシミュレーション結果から計算したAOT40と上記の関係式から計算されるRGRの変化を重ねて、国内におけるブナ林のリスクマップを作成した。O₃暴露によるブナのストレス診断法に関しては、日本海側型（福島産）と太平洋側型（神奈川産）の二つのブナ生態型について、同様の苗木を用い、室温25℃、相対湿度70%、光強度300 μmol PPFDのチャンバー内で濃度200 ppbのO₃に48時間暴露してO₃による酸化ストレスの評価を行った。対象として同様の苗木をO₃暴露しない他は同条件のチャンバー内に静置した。暴露開始後24時間と48時間に葉を採取し、ガスクロマトグラフを用いて葉からの傷害ホルモン（エチレン）産生量を測定した。あわせて、暴露開始後0時間、2時間における葉でのエチレン生合成系遺伝子（ACO1）の定常的に発現している遺伝子（ELF）に対する相対的な発現量も調べた。

(3) 結果と考察

a) マルチスケールCTMによる東アジア大気質の再現実験：観測データによる検証と発生源別寄与解析

モデルで計算された、日本域での2000年～2012年における大気汚染物質の経年変化を各種の観測データを用いて検証した。まずは日本全域の平均的な長期傾向の再現性を評価するために、AEROSの常時監視局における観測データとの比較を行った（図21）。図2左列に示した一次汚染物質（NO_x、SO₂、NMHC）地表濃度のモデル計算値は、観測値の20～50%程度の値となり、明らかな過小評価になっているものの、入力した我が国における排出量の減少傾向を反映して、観測されているような長期の減少傾向を示していることが分かる。こうした一次汚染物質の過小評価の原因としては、排出量データの不備とモデルの水平分解能の不足が考えられる。このうち水平分解能の違いが与える影響に関して、60 kmと15 kmの水平分解能で計算した結果を比較すると、15 kmの分解能の場合に、地表濃度が約2倍に計算される場合があり（例えば、関東などの都市域において）、SO₂の場合はこれによりモデル計算値が観測値にかなり

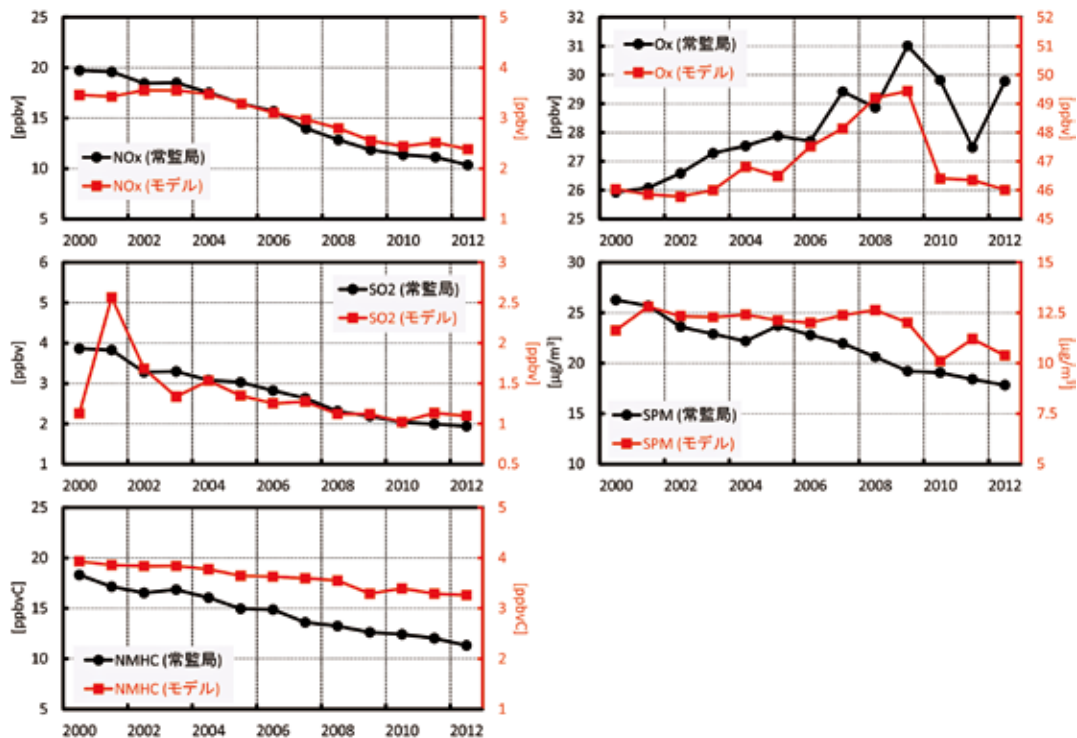


図 21 日本域における大気汚染物質の地表濃度の年平均値の経年変化（2000年～2012年）
常時監視局における観測濃度（黒）と60kmスケールモデル計算濃度（赤）

近くなる。ただし、NO_x の場合は 15 km の分解能で計算しても依然として過小評価となっている。地表濃度の過小評価を考慮して、モデルと観測の濃度減少傾向を相対減少率（線形トレンド値を期間平均の濃度で除す）として比較すると、モデル計算における相対減少率は観測から求められるものよりいずれの成分でも小さくなっているが、成分毎に観測との相違の程度が異なっており、SO₂ や NO₂ ではモデル計算による相対減少率は観測された減少率の 8 割程度、NO_x では 6 割程度の値となり、NMHC の場合は 4 割程度にとどまることが分かった。これらの情報は、各一次汚染物質の排出量データの精度向上に役立つことが期待される。一方、二次汚染物質である光化学オキシダント（O_x：主成分は O₃）に関して、日本ではその地表濃度に増加傾向のあることが知られている。モデルは 2000 年から 2009 年に掛けての O₃ 増加傾向とそれ以降の増加の停滞傾向を良く再現しており、O₃ が増加する 2000–2009 年における増加率も観測 0.44 ppbv/年に対しモデルが 0.47 ppbv/年と定量的にも良く再現していることが分かった。また、観測によれば、O₃ が増加する期間（2000–2009 年）において、西日本ほど増加率が大きい傾向になっているが、このことをモデルは比較的良く再現しており、これは大陸からの越境大気汚染による影響が大きいことを示唆している。更にこの増加率が春や秋に大きく、夏と冬は比較的小さくなる季節的な変化もモデルは観測と整合的であった。一方、2010 年以降はそれまでのほぼ一貫した増加傾向とは異なり一旦大きく減少する変化が観測されている。観測されたこの O₃ 濃度減少には、西日本・南日本の方が東日本・北日本に比べて大きいという地域的な傾向や、4 月～9 月の暖候期に 2009 年と 2010 年の濃度差（濃度減少）が大きくなるという季節的な特徴がみられるが、モデル計算においても地域特性や季節特性も含めて類似の傾向が再現された。今回の計算では、日本を除くアジア域での人為起源大気汚染物質の排出量は 2008 年以降同じデータが使われており、2010 年以降にモデルで計算された観測と類似した変化は、それ以外の要因（国内発生源ないしは気象場の変動）によるものと考えられる。このように、モデルによって日本の地表 O₃ の長期変化傾向は良く再現されることが確認されたが、実際には年平均値でみた場合に最大 20 ppbv 程度の正のバイアスが存在している。このバイアスは暖候期（4 月–10 月）に大きくなる傾向があり、バイアスの見られる範囲は日本の周辺だけではなく、少なくともおおそ北緯 10 度以北の海上（東シナ海、南シナ海、フィリピン海）においても見られることが、サブテーマ 1 で得られた定期貨物船による観測データとの比較から確認された（図 22）。なお、このバイアスは大陸に近い東シナ

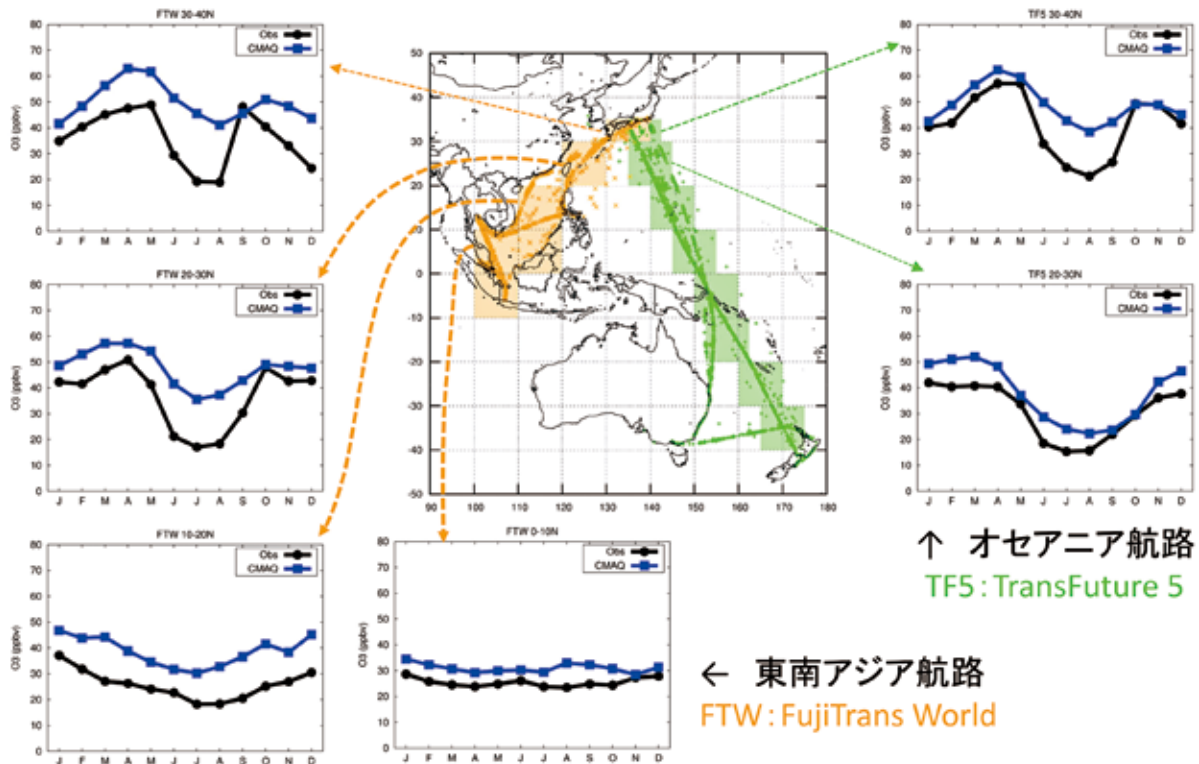


図 22 定期貨物船（東南アジア航路：FTW、オセアニア航路：TF5）において観測されたオゾン濃度の各緯度帯（10 度間隔）別平均値の季節変化（黒線）と同様に集計したモデル計算値（青線）の比較
中央図は各航路のルートと各図で平均を求めた領域を示す

海・南シナ海を往来するアジア航路での比較においてより顕著に見られる傾向があり、大陸からの汚染空気の影響から離れた太平洋域を航行するオセアニア航路ではバイアスが小さくなっている。

図2の右列に示したSPM（浮遊粒子状物質）の観測値では2000年～2012年にほぼ継続して減少する傾向がみられるが、モデルでは濃度の計算値自体が観測値の半分程度と過小評価になっており、また同期間中の継続的な減少傾向は再現されず、2009年以降にやや濃度が減少に転じるという結果となっている。現状のCMAQでは、観測されるSPMには含まれている土壌性ダスト（黄砂など）が考慮されておらず、濃度の過小評価の一部はこれが原因と考えられる。一方、PM_{2.5}の成分濃度再現性に関して、本サブテーマと関連する環境研究総合推進費（5B-1101など）で観測された、北海道から九州にかけての国内13地点におけるPM_{2.5}成分データを用いて濃度再現性の評価を行った。2012年単年の比較ではあるものの、全国的に、SO₄²⁻には冬季と春季を中心に過小評価傾向があり、NO₃⁻には主に冬季と春季に過大評価傾向、OCとBCには年間を通じて過小評価傾向のあることが分かった（図23）。またこの比較では、モデルの水平分解能による再現性の違いも見ることができ、NO₃⁻では15 km

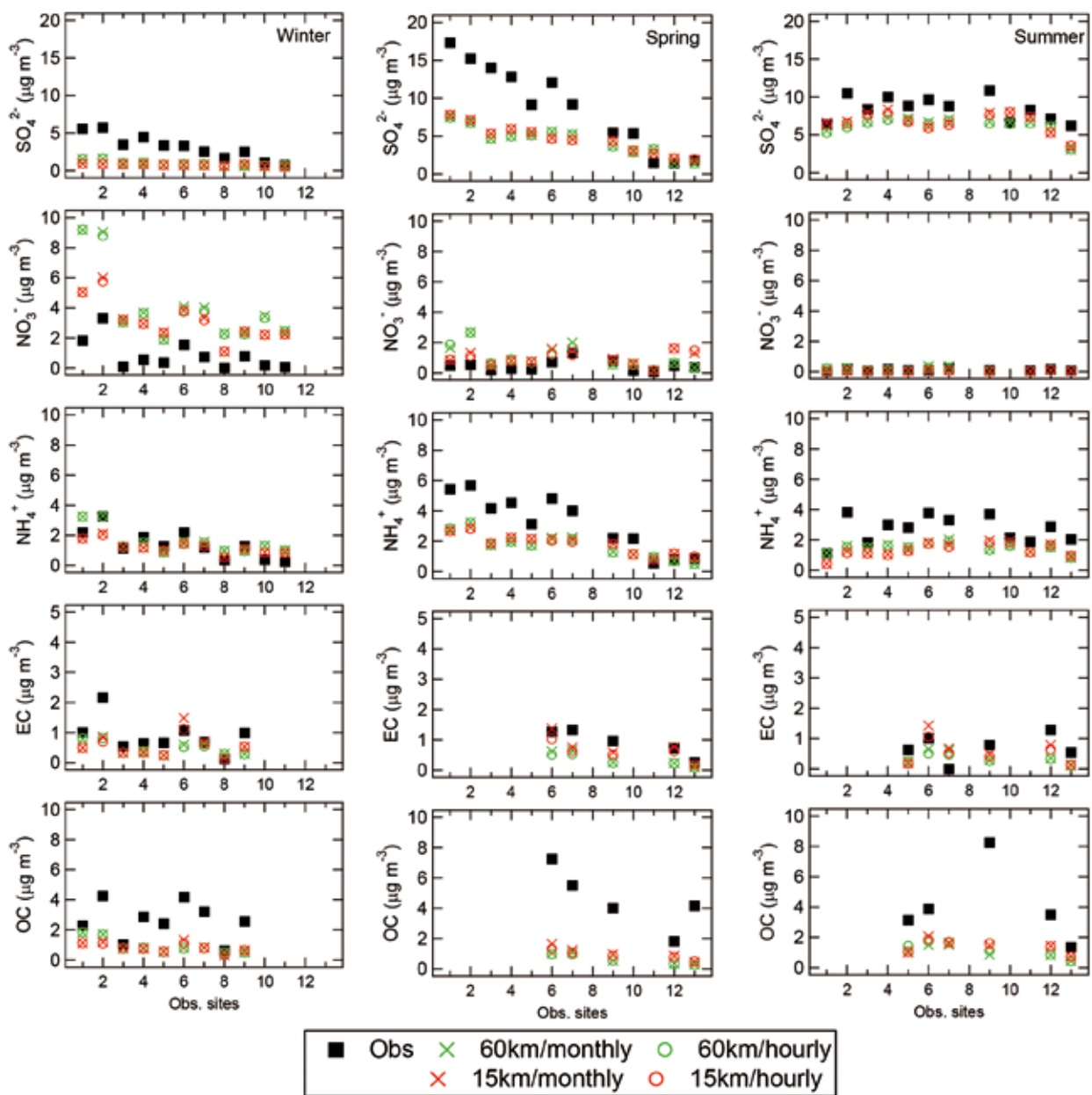


図23 日本国内13地点(横軸)におけるPM_{2.5}成分(上から、SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺、BC、OC)の観測値(■)とモデル計算値(緑: 60 km スケール計算、赤: 15 km スケール計算)の各季節(冬(左列)、春(中列)、夏(右列))平均値の比較

の水平分解能を使用した場合に再現性の良くなることが確認された。これには排出量データとモデル自体の水平高分解能化が共に影響していると考えられる。更に、国立環境研究所による沖縄・辺戸岬での長期観測データとの比較も行った（図24）。沖縄・辺戸岬ではQ-AMSと呼ばれるエアロゾル質量分析計を用いて粒径の小さな粒子状物質（粒径 < 1 μm : PM_{10} 相当）を成分毎に観測している。この観測値とモデル計算値の比較から、 SO_4^{2-} と CH_4^+ に関しては総じて濃度レベル、変動のタイミングともに良く再現されていることが分かる。2007年以降、特に SO_4^{2-} において比較的明瞭な濃度の減少傾向が観測されているが、このような傾向はモデル計算でも良く捉えられている。観測された近年の SO_4^{2-} 減少傾向に関しては、越境大気汚染の経年変化との関係から本サブテーマにおいても大きな関心を寄せているが、今回の計算では、日本を除くアジア域での人為起源大気汚染物質の排出量は2008年以降固定されており、モデルで計算された SO_4^{2-} の減少傾向は排出量変化以外の減少要因の存在を示唆するものとして興味深い。一方、モデルで計算された NO_3^- は、図4で国内の他地点での比較結果と同様に、冬季を中心に過大評価傾向を示し、経年傾向に関する観測値との比較は難しかった。このように、 $\text{PM}_{2.5}$ のモデル計算値には上記のような問題点のあることが分かったが、これらに対する対応を検討し、 NO_3^- の冬季・春季を中心とした過大評価に関しては硝酸ガス (HNO_3) とアンモニア (NH_3) の乾性沈着速度を5倍程度に大きくすることで著しい過大評価傾向の改善が見込まれること、またOCに関しては、揮発性基底関数モデル (VBS) と称するこれまでよりもより詳細な化学過程と、NMHCの大気中における酸化過程を導入することによって、特に春季と夏季における過小評価に一定の改善が図られることが確認された（図25）。なお、ここではVBS導入の都合上、CMAQの化学反応計算とエアロゾル過程の計算スキームをそれぞれ、CB05およびAERO6に変更している²⁰⁾。

以上のように、本サブテーマで開発・整備がなされたCTMシステムによって計算された東アジア大気質、特にわが国における代表的な大気汚染物質である O_3 と $\text{PM}_{2.5}$ に関して、再現性の良い部分と悪い部分などの特徴を把握することができ、 $\text{PM}_{2.5}$ に関しては、そうした特徴を踏まえた対応策の採用によって一定の再現性向上を達成することが出来た。次にこの改善されたシステムを用いて、東アジアにおける大気汚染の構造を理解するため、大気汚染物質の排出領域・排出部門毎の寄与率を評価する感度実験を行った。図26は、 $\text{PM}_{2.5}$ の年平均濃度が高い関東と九州における、 $\text{PM}_{2.5}$ に対する日本国内の寄与、国外からの寄与、および火山と国際船舶からの寄与に関して夏季と冬季に分けて評価した結果である（国内寄与は更に、詳細な部門に分けて表示）。関東と九州で、国内寄与と国外寄与の相対的な大きさに顕著な違いがあり、関東では夏季、冬季共に国内寄与が国外寄与より大きな割合を占めており、輸送、産業、固定蒸発発生

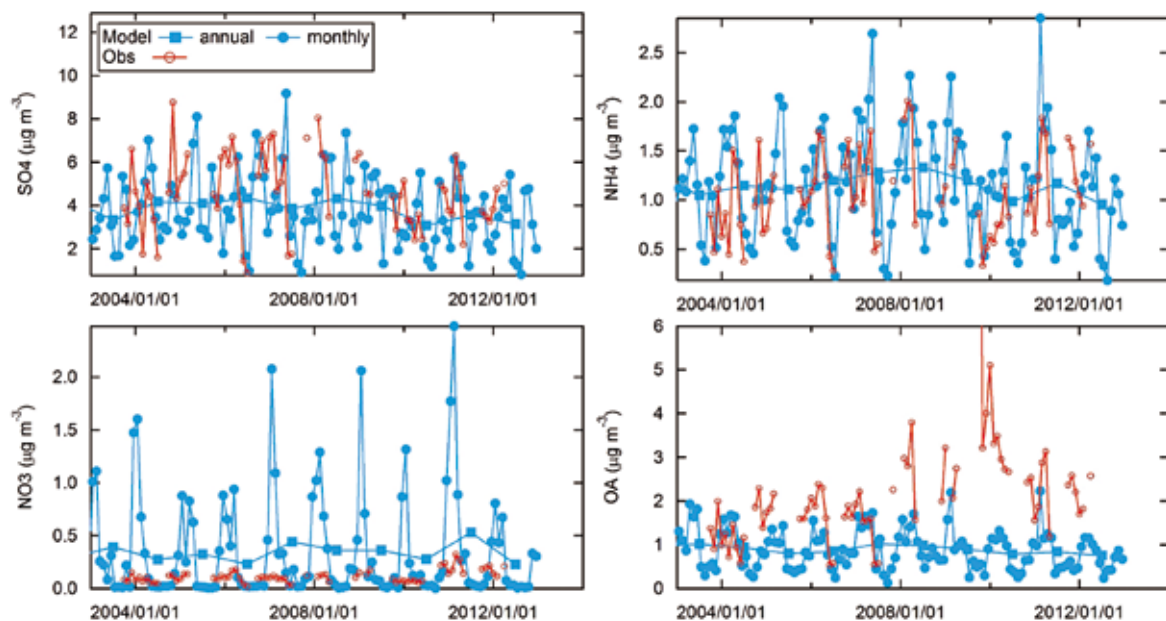


図24 沖縄・辺戸岬における SO_4^{2-} (左上)、 NH_4^+ (右上)、 NO_3^- (左下)、OC (右下) の地表濃度の時間変化 (2000 ~ 2012年)。エアロゾル質量分析計 (AMS) による月平均濃度 (赤) と 60 km スケール計算濃度の月平均値・年平均値 (水色)。

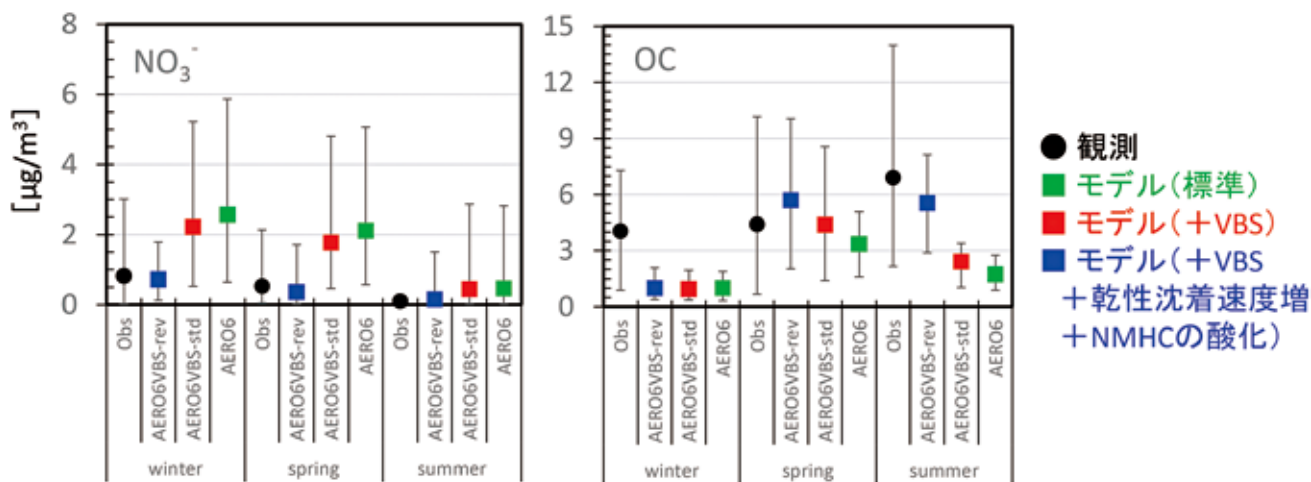


図 25 冬季、春季、夏季における NO_3^- (左) と OC (右) の再現性検証。観測 (黒) に対して、異なった過程を考慮したモデルとの比較結果を示す (エラーバーは観測地点の違いによる濃度範囲)。

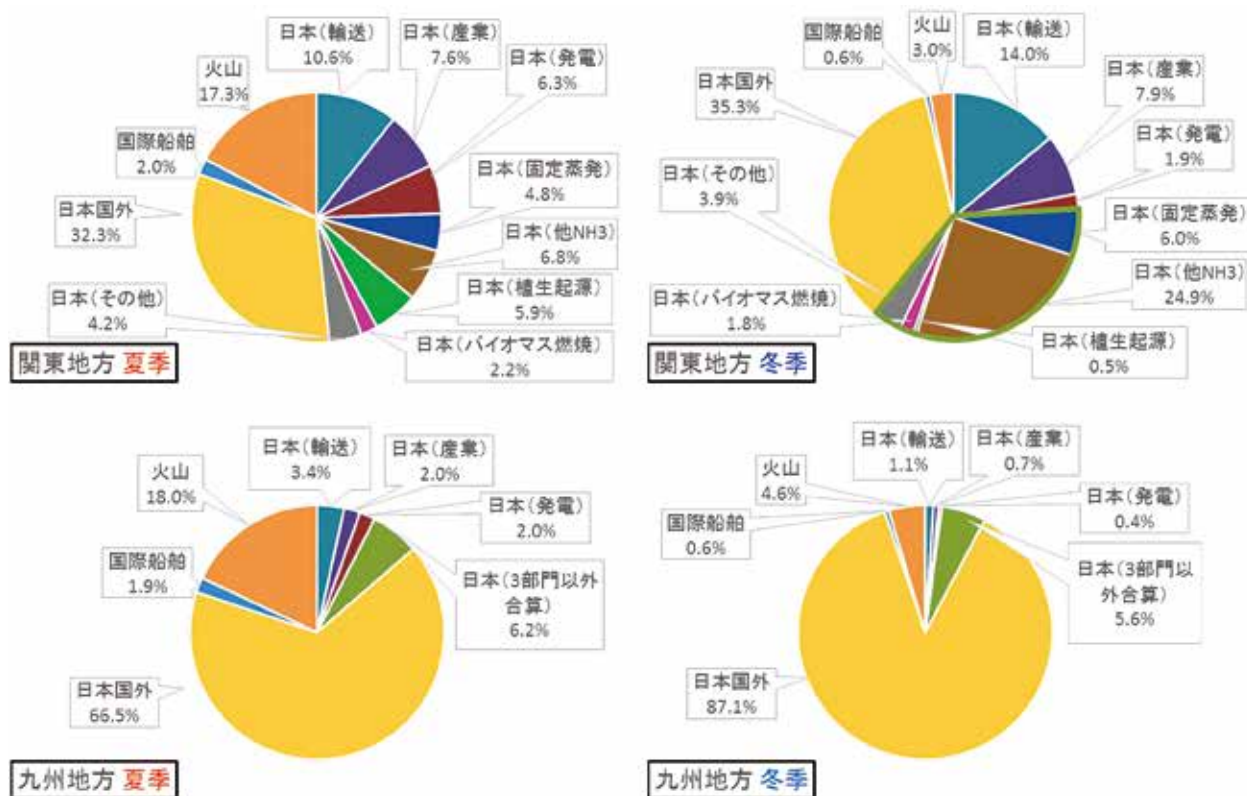


図 26 関東 (上段) と九州 (下段) の夏季 (左列) と冬季 (右列) における季節平均 $\text{PM}_{2.5}$ 地表濃度に対する、各排出部門の寄与率 (%)。九州に関しては、国内寄与のうち輸送・産業・発電以外の部門からの寄与は合算して表示

源、バイオマス燃焼の各排出部門は、夏冬共に一定の寄与率を占めている。一方、その他 NH_3 (大半は農業起源)、植生起源の寄与率は夏冬で大きく異なっている。また火山による寄与 (SO_4^{2-} への寄与) も季節による違いが顕著であり、気温や湿度の違いによって大気中での反応速度やガス-粒子分配に変化が起こり、その影響を大きく受ける $\text{PM}_{2.5}$ 成分の割合が大きい排出部門では、その相対寄与率にも顕著な季節変化が生じたものと考えられる。九州では、関東と異なり国外寄与が夏冬共に大半を占めており (夏季: 66.5%、冬季 87.1%)、これは既往研究によって評価された九州における国外寄与の年平均寄与率 (80%³³⁾) と整合的な結果と言える。この結果を用いて、 $\text{PM}_{2.5}$ への長期暴露及び短期暴露に起因する死亡数に対する発生源別の寄与を、夏季と冬季の関東と九州について評価した (図 27)。夏季の

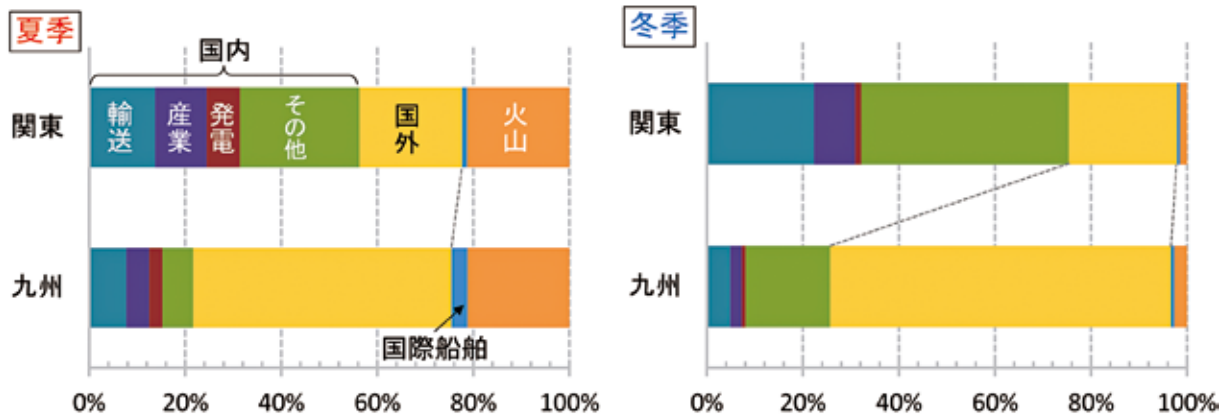


図 27 PM_{2.5} への短期・長期暴露に起因する死亡数に対する各発生部門の寄与 (%)
 関東 (上)、九州 (下) の夏季 (7-8 月: 左) と冬季 (1-2 月: 右) に関する評価結果

九州では、PM_{2.5} 濃度に対する国外排出源の寄与率が支配的だったことを反映して、死亡数に対する国外寄与が 5 割を超えているが、一方、関東では、国外寄与は 2 割程度であり、火山と同程度の寄与となっている。また、関東の夏季では、国内の主要な排出源である、輸送、産業、発電の各部門の寄与は、それぞれに約 7-14% 程度の寄与率を持っていることが分かった。冬季にはいずれの地域においても、SO₄²⁻ を主とする火山の寄与が著しく減少する一方、九州では国外の寄与が更に増加して 7 割を超えるようになる。関東では国外寄与の割合はあまり変わらないものの、国内寄与のうち輸送部門とその他、特にアンモニアの寄与率が著しく増加する結果となった。

b) ブナに対するオゾン等環境ストレスの影響評価

山地森林域におけるモニタリング調査から以下のような特徴が明らかとなった。

- 1) 各山地森林域におけるブナ生长期間における O₃ 濃度は 10 ~ 70 ppb の範囲であり、春季 (4 ~ 5 月) に最高となり、夏季 (7 ~ 8 月) に最低となる周期的変動を示した (図 28)。また、SPAD 値は、5 ~ 6 月の展葉開始期から急速に上昇し、8 ~ 9 月に最高値 (40 ~ 50) を示した後に減少した。

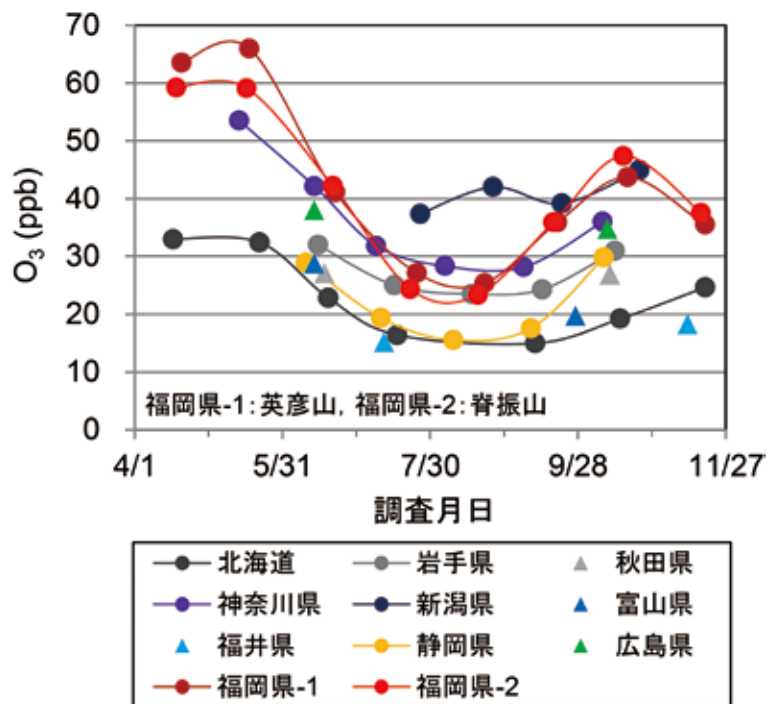


図 28 各山地森林域におけるパッシブサンプラーで計測された O₃ 濃度の季節変化 (2012 年)

2) 目視衰退度は地域によって差があり、ブナ衰退が認められる神奈川県や福岡県では、ブナが健全である静岡県や北海道と比べて、年間を通じて O₃ 濃度が 10 ~ 20 ppb ほど高いことが判明した。ただし、8 年間のモニタリング期間では、年による若干の変動はあるものの、経年的変化（明らかなブナ林の衰退傾向など）は認められなかった。

環境制御室を用いたブナ苗木への低濃度 O₃ 暴露実験では、200 ppb までの O₃ 濃度に 24 時間暴露したブナに可視傷害は発現せず、葉の葉緑素含有量、蒸散速度、光合成速度などの生理活性も対照と差が無かったことから、ブナに直接的な急性障害を及ぼさないと推測された。O₃ の短期暴露における影響の把握は遺伝子発現等、他の指標を探索する必要が有ると考えられた。そこで、チャンバー内で O₃ (200 ppb) に 48 時間暴露したブナにおいて、エチレン生合成系酵素の遺伝子発現の誘導（図 29）及び葉からのエチレン発生を確認した（図 30）。エチレン生合成系の遺伝子発現は、O₃ 暴露開始後に短時間で確認される一方、エチレン生成は徐々に促進され、日本海側型の方がより生成量の多い傾向があった。このことは、可視傷害が認められなくても、O₃ の急性影響として、ブナ葉の細胞に O₃ による傷害が起こり、傷害ホルモンであるエチレンの生合成が誘導されたこと、及び日本海型の方が多くストレスを受けている可能性を示唆

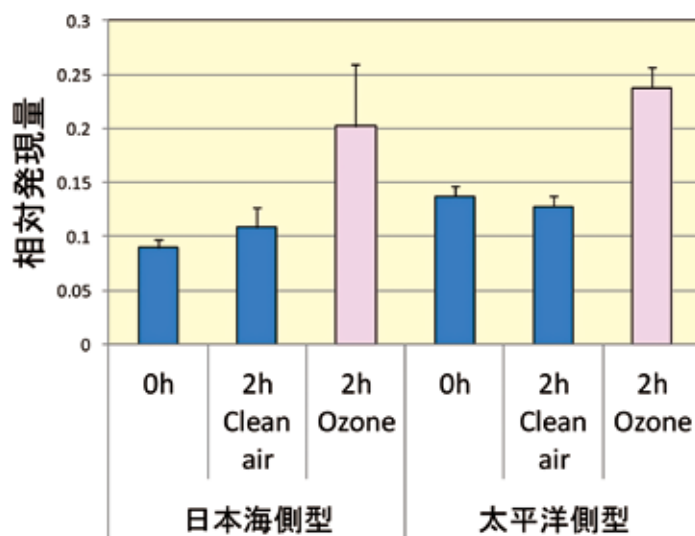


図 29 O₃ 暴露したブナ葉におけるエチレン生合成系酵素遺伝子（ACO1）の相対発現量。Clean air（対照）、Ozone（O₃ 暴露）ともに N = 3。垂直線は標準誤差

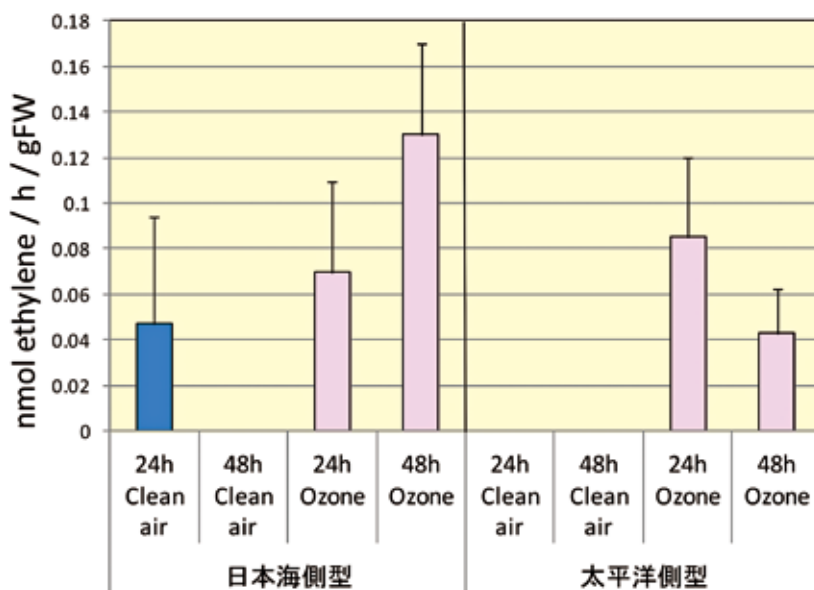


図 30 O₃ 暴露したブナ葉からのエチレン生成量。Clean air（対照）N = 3、Ozone（O₃ 暴露）N = 6。垂直線は標準誤差

している。すなわち、エチレン生合成酵素遺伝子の発現やエチレン生成量はブナにおける O₃ ストレスのマーカーとなりえ、長期的に成長等に影響が出て、ブナ林の衰退につながるような現象が起こるリスクの早期診断に利用出来る可能性がある。

一方、長期複合実験から、以下のことが明らかとなった。O₃ に曝露されたブナ葉には可視傷害（白緑色、褐色、茶褐色に変色した斑点）が発現した。O₃ 濃度が高いほど、また曝露期間が長期になるに従い、その傷害は激しくなり、やがて枯死し落葉した。また、水欠乏が強くなるほど O₃ による可視傷害・落葉は促進された。生長に関しては、O₃ 濃度や水欠乏が増加するほど、ブナの個体乾重の減少は顕著であった（図 31）。生長解析の結果、O₃ 濃度や水欠乏の増加に伴い、相対生長率や純同化率も減少した。また、生理活性の指標である純光合成速度や蒸散速度でも、O₃ 濃度や水欠乏による抑制が認められた。以上より、O₃ ストレスと水ストレス双方の影響で光合成速度が低下したことが、純同化率の減少を生じさせ、さらには樹木個体の生長抑制に繋がったことが示唆された。2元配置の分散分析の結果、O₃ と水欠乏は各々単独で有意にブナの生長を抑制したが、それらの交互作用は有意ではなかった。つまり、ブナに対して O₃ 曝露と水欠乏処理は相加的に影響し、生長を抑制することが判明した。ブナの産地や処理期間を変えて実施した、複数のデータを纏め、O₃ ドース（AOT40）や水欠乏ドースがブナの生長に及ぼす影響（処理-作用関係）を導出した（図 32）。

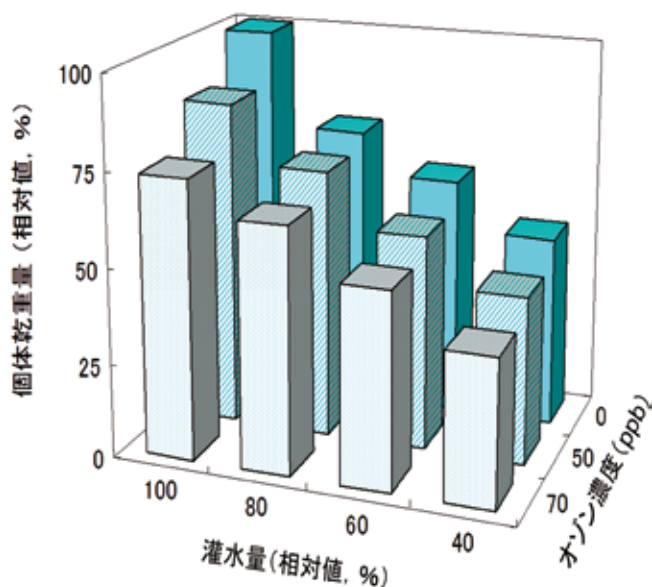


図 31 ブナの生長に及ぼす O₃ と水欠乏の影響（22 週間処理）

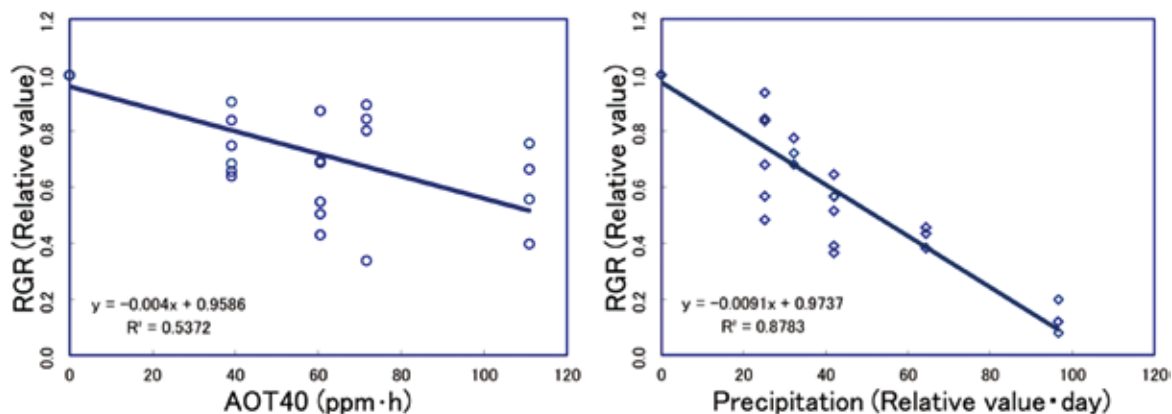


図 32 ブナの相対生長率と AOT40（オゾンドース）、降水量減少（水欠乏ドース）との関係

最後に、CTM による地表 O₃ 濃度の計算データを用いてブナの生育期間中における AOT40 を計算し、これと図 32 に示した AOT40 とブナの相対生長率に関する処理-作用関係を使って、ブナの相対生長率の低下割合を日本全国において評価した。GIS 上でブナ分布図と併せて評価したところ、2000～2005 年に掛けて AOT40 によるリスクには上昇傾向が見られたが、それ以降は年によって異なり、一定の傾向は認められなかった。また、地域別には、各年度とも首都圏北西部や甲信越地方でブナ林への影響が大きく、AOT40 が高い年には日本海側のブナ林全体のリスクが上昇すると評価された (図 33)。

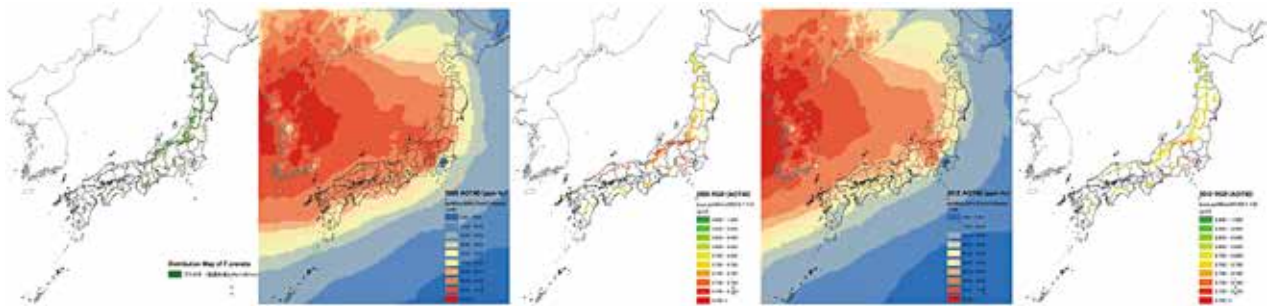


図 33 ブナ林分布、AOT40 推定分布、ブナ林リスクマップ (左より、1994～1998、2005、2005、2012、2012 年)

引用文献

- 1) Parrish D.D., Law K.S., Staehelin J., Derwent R., Cooper O.R., Tanimoto H. (2012) Long-term changes in lower tropospheric baseline ozone concentrations at northern mid-latitudes. *Atmos. Chem. Phys.*, 12 (23), 11485–11504.
- 2) Okamoto S., Tanimoto H. (2016) A review of atmospheric chemistry observations at mountain sites, PEPS, in press.
- 3) Kudo S., Tanimoto H., Inomata S., Saito S., Pan X., Kanaya Y., Taketani F., Wang Z., Chen H., Dong H., Zhang M., Yamaji K. (2014) Emissions of nonmethane volatile organic compounds from open crop residue burning in the Yangtze River Delta region, China, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 7684–7698.
- 4) Inomata S., Tanimoto H., Pan X., Taketani F., Komazaki Y., Miyakawa T., Kanaya Y., Wang Z. (2015) Laboratory measurements of emission factors of nonmethane volatile organic compounds from burning of Chinese crop residues, *J. Geophys. Res.*, 120, 5237–5252.
- 5) Tanimoto H., Ikeda K., Boersma K.F., van de A R.J., Garivait S. (2015) Interannual variability of nitrogen oxides emissions from boreal fires in Siberia and Alaska during 1996–2011 as observed from space, *Environ. Res. Lett.*, 10, 065004.
- 6) Ikeda K., Tanimoto H., (2015) Exceedances of air quality standard level of PM_{2.5} in Japan caused by Siberian wildfires, *Environ. Res. Lett.*, 10, 105001.
- 7) Nara H., Tanimoto H., Nojiri Y., Mukai H., Machida T., Tohjima Y. (2011) Onboard measurement system of atmospheric carbon monoxide in the Pacific by voluntary observing ships, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 2495–2507.
- 8) Kurokawa J., Ohara T., Morikawa T., Hanayama S., Janssens-Maenhout G., Fukui T., Kawashima K., Akimoto H. (2013) Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission Inventory in ASIA (REAS) Version 2, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 11019–11058.
- 9) Worden H.M., Deeter M.N., Frankenberg C., George M., Nichitju F., Worden J. (2013) Decadal record of satellite carbon monoxide observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 13 (2), 837–850.
- 10) Ohara T., Akimoto H., Kurokawa J., Horii N., Yamaji K., Yan X. (2007) An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980–2020. *Atmos. Chem. Phys.*, 7 (16), 4419–4444.
- 11) Tanimoto H. (2009) Increase in springtime tropospheric ozone at a mountainous site in Japan for the period 1998–2006, *At-*

- mos. Environ., 43 (6), 1358–1363.
- 12) Tanimoto H., Ohara T., Uno I. (2009) Asian anthropogenic emissions and decadal trends in springtime tropospheric ozone over Japan: 1998–2007, *Geophys. Res. Lett.*, 36 (23), L23802.
 - 13) 弓本桂也, 鶴野伊津志 (2012) グリーン関数法を用いた一酸化炭素排出量の長期間逆推定, *大気環境学会誌*, 47 (4), 162–172.
 - 14) Takami A., Miyoshi T., Shimono A., Hatakeyama S. (2005) Chemical composition of fine aerosol measured by AMS at Fukue Island, Japan during APEX Period, *Atmos. Environ.*, 39, 4913–4924.
 - 15) Takami A., Miyoshi T., Shimono A., Kaneyasu N., Kato S., Kajii Y., Hatakeyama S. (2007) Transport of Anthropogenic Aerosols from Asia and Subsequent Chemical Transformation, *J. Geophys. Res.*, 112, D22S31.
 - 16) 兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 畠山史郎, 林政彦, 原圭一郎, 河本和明, 山本重一 (2011) 九州北部の離島および大都市部における PM_{2.5} 濃度の通年での挙動, *大気環境学会誌*, 46, 111–118.
 - 17) 環境省 (2009) 微小粒子状物質による大気汚染に係る環境基準について, <http://www.env.go.jp/kijun/taiki4.html>.
 - 18) Jayne J.T., Leard D.C., Zhang X., Davidovits P., Smith K.A., Kolb C.E., Worsnop D.R. (2000) Development of an aerosol mass spectrometer for size and composition analysis of submicron particles, *Aerosol Sci. Technol.*, 33 (1–2), 49–70.
 - 19) Canagaratna M.R., Jayne J.T., Jimenez J.L., Allan J.D., Alfarra M.R., Zhang Q., Onasch T.B., Drewnick F., Coe H. (2007) Chemical and microphysical characterization of ambient aerosols with the Aerodyne aerosol mass spectrometer, *Mass. Spect. Rev.*, 26, 185–222.
 - 20) Ng N.L., Herndon S.C., Trimborn A., Canagaratna M.R., Croteau P.L., Onasch T.B., Sueper D., Worsnop D.R., Zhang Q., Sun Y.L., Jayne J.T. (2011) An Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) for routine monitoring of the composition and mass concentrations of ambient aerosol, *Aerosol Sci. Technol.*, 45, 780–794.
 - 21) Ulbrich I.M., Canagaratna M.R., Zhang Q., Worsnop D.R., Jimenez J.L. (2009) Interpretation of organic components from positive matrix factorization of aerosol mass spectrometric data, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 2891–2918.
 - 22) Sato K., Takami A., Irei S., Miyoshi T., Ogawa Y., Yoshino A., Nakayama H., Maeda M., Hayakeyama S., Hara K., Hayashi M., Kaneyasu N. (2013) Transported and Local Organic Aerosols over Fukuoka, Japan, *Aeros. Air Qual. Res.*, 13, 1263–1272.
 - 23) Shimizu A., Sugimoto N., Matsui I., Arao K., Uno I., Murayama T., Kagawa N., Aoki K., Uchiyama A., Yamazaki A. (2004) Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidars in China and Japan during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, 109, D19S17.
 - 24) Takami A., Miyoshi T., Irei S., Yoshino A., Sato K., Shimizu A., Hayashi M., Hara K., Kaneyasu N., Hatakeyama S. (2016) Analysis of organic aerosol in Fukuoka, Japan using a PMF method. *Aeros. Air Qual. Res.*, 16 (2), 314–322.
 - 25) Zhang Q., Jimenez J.L., Canagaratna M.R., Allan J.D., Coe H., Ulbrich I., Alfarra M.R., Takami A., Middlebrook A.M., Sun Y.L., Dzepina K., Dunlea E., Docherty K., DeCarlo P.F., Salcedo D., Onasch T., Jayne J.T., Miyoshi T., Shimono A., Hatakeyama S., Takegawa N., Kondo Y., Schneider J., Drewnick F., Borrmann S., Weimer S., Demerjian K., Williams P., Bower K., Bahreini R., Cottrell L., Griffin R.J., Rautiainen J., Sun J.Y., Zhang Y.M., Worsnop D.R. (2007) Ubiquity and dominance of oxygenated species in organic aerosols in anthropogenically-influenced Northern Hemisphere midlatitudes, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L13801.
 - 26) Paatero P., Tapper U. (1994) Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values, *Environmetrics*, 5, 111–126.
 - 27) Jimenez J.L., Canagaratna M.R., Donahue N.M., Prevot A.S.H., Zhang Q., Kroll J.H., DeCarlo P.F., Allan J.D., Coe H., Ng N.L. (2009) Evolution of organic aerosols in the atmosphere, *Science*, 326, 1525–1529.
 - 28) Alfarra M.R., Coe H., Allan J.D., Bower K.N., Boudries H., Canagaratna M.R., Jimenez J.L., Jayne J.T., Garforth A.A., Li S.-M. (2004) Characterization of urban and rural organic particulate in the Lower Fraser Valley using two Aerodyne Aerosol Mass Spectrometers, *Atmos. Environ.*, 38, 5745–5758.

- 29) Zhang Q., Canagaratna M.R., Jayne J.T., Worsnop D.R., Jimenez J.L. (2005) Time-and size-resolved chemical composition of submicron particles in Pittsburgh: Implications for organic aerosol sources and processes, *J. Geophys. Res.*, 110, D07S09.
- 30) Takami A., Mayama N., Sakamoto T., Ohishi K., Irei S., Yoshino A., Hatakeyama S., Murano K., Sadanaga Y., Bandow H. (2013) Structural analysis of aerosol particles by microscopic observation using a time-of-flight secondary ion mass spectrometer, *J. Geophys. Res.*, 118, 6726–6737.
- 31) 金谷有剛, 竹谷文一, 入江仁士, 駒崎雄一, 高島久洋, 鷗野伊津志 (2010) 九州福江島における通年 PM_{2.5} 質量濃度測定値の大気環境短期基準超過, *大気環境学会誌*, 45, 289–292.
- 32) 兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 畠山史郎, 林政彦, 原圭一郎, Chang Lim-Serok, Ahn Joon-Young (2010) 九州北部における春季の高濃度 PM_{2.5} と長距離輸送, *大気環境学会誌*, 45, 227–234.
- 33) Yoshino A., Takami A., Sato K., Shimizu A., Kaneyasu N., Hatakeyama S., Hara K., Hayashi M. (2016) Influence of trans-boundary air pollution on the urban atmosphere in Fukuoka, Japan. *Atmosphere*, accepted 2016.3.24.
- 34) Su S., Liu W., Tao S. (2006) Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons in China, *Environ. Sci. Technol.*, 40, 702–708.
- 35) Inomata Y., Kajino M., Sato K., Ohara T., Kurokawa J., Ueda H., Tang N., Hayakawa K., Ohizumi T., Akimoto H. (2012) Emission and atmospheric transport of particulate PAHs in Northeast Asia, *Environ. Sci. Technol.*, 46, 4941–4949.
- 36) IARC (2016) IARC Monographs on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. <http://monographs.iarc.fr/>, accessed on June 7, 2016.
- 37) Sato K., Hong L., Tanaka Y., Ogawa S., Iwasaki Y., Takami A., Hatakeyama S. (2008) Long-range transport of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons at Cape Hedo remote island site in the East China Sea between 2005 and 2008, *J. Atmos. Chem.*, 61, 243–257.
- 38) 吉野彩子, 中山寛康, 小川佳美, 佐藤圭, 高見昭憲, 畠山史郎 (2011) 2011 年沖縄県辺戸岬における東アジアに由来する多環芳香族炭化水素類の長距離輸送, *エアロゾル研究*, 26, 307–314.
- 39) 高見昭憲 (2015) 粒子状物質の化学組成とその構造に関する分析, *ぶんせき*, 10, 434–437.
- 40) Michikawa T., Ueda K., Takeuchi A., Kinoshita M., Hayashi H., Ichinose T., Nitta H. (2015) Impact of short-term exposure to fine particulate matter on emergency ambulance dispatches in Japan, *J. Epidemiol. Community Health*, 69 (1), 86–91.
- 41) Matsukawa R., Michikawa T., Ueda K., Nitta H., Kawasaki T., Tashiro H., Mohri M., Yamamoto Y. (2014) Desert dust is a risk factor for the incidence of acute myocardial infarction in Western Japan, *Circ. Cardiovasc. Qual. Outcomes.*, 7 (5), 743–8.
- 42) 国立環境研究所(2011) アジア自然共生研究プログラム(終了報告)平成 18 ~ 22 年度, 国立環境研究所特別研究報告, SR-99-2011, 国立環境研究所, 106p.
- 43) Sudo K., Takahashi M., Kurokawa J., Akimoto H. (2002) CHASER: A global chemical model of the troposphere: 1. model description, *J. Geophys. Res.*, 107: 4339, doi: 10.1029/2001JD001113.
- 44) Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.Y., Wang W., Powers J.G. (2008) A description of the Advanced Research WRF Version 3; NCAR/TN-475+STR; Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.
- 45) Byun D.W., Schere K.L. (2006) Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models-3 community multiscale air quality (CMAQ) modeling system, *Applied mechanics reviews*, 59, 51–77.
- 46) JATOP (Japan Auto-Oil Program) (2012a). Emission estimates from motor vehicles, JPEC-2011AQ-02-06, Tokyo, Japan (in Japanese).
- 47) JATOP (Japan Auto-Oil Program) (2012b). Emission estimates from sources other than motor vehicles, JPEC-2011AQ-02-07, Tokyo, Japan (in Japanese).
- 48) van der Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Kasibhatla P.S., Arellano A.F. (2006) Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004., *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 3423–3441.
- 49) Guenther A.B., Jiang X., Heald C.L., Sakulyanontvittaya T., Duhl T., Emmons L.K., Wang X. (2012) The model of emissions of gases and aerosols from nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emis-

sions. *Geosci. Model Dev.*, 5, 1471–1492.

- 50) Diehl T., Heil A., Chin M., Pan X., Streets D., Schultz M., Kinne S. (2012) Anthropogenic, biomass burning, and volcanic emissions of black carbon, organic carbon, and SO₂ from 1980 to 2010 for hindcast model experiments, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 12, 24895–24954.
- 51) Kazahaya K., Hirabayashi J., Mori H., Odai M., Nakahori Y., Nogami K., Nakada S., Shinohara H., Uto K. (2001) Volcanic gas study of the 2000 Miyakejima volcanic activity: degassing environment deduced from adhered gas component on ash and SO₂ emission rate, *J. Geogr.* 110: 271–279 (in Japanese).
- 52) Morino Y., Nagashima T., Sugata S., Sato K., Tanabe K., Noguchi T., Takami A., Tanimoto H., Ohara T. (2015) Verification of Chemical Transport Models for PM_{2.5} Chemical Composition Using Simultaneous Measurement Data over Japan, *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 2009–2023.
- 53) Ikeda K., Yamaji K., Kanaya Y., Taketani F., Pan X., Komazaki Y., Kurokawa J., and Ohara T. (2015) Source region attribution of PM_{2.5} mass concentrations over Japan, *Geochem. J.*, 49 (2), 185–194.

2.2 広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明（プロジェクト2）

2.2.1 長江流域圏から東シナ海への汚濁負荷量の予測手法の開発（サブテーマ1）

(1) 目的と経緯

長江は、青海省のチベット高原を水源地域とし中国大陸の西南、華中、華東地域を流れ東シナ海へと注ぐ川である。全長は6,300 kmで、中国およびアジアで最長、世界でも第3位の大川である。流域面積は180.9万 km²であり、チベット高原の唐古拉山脈から、四川盆地、三峡を経て湖北省宜昌市に至るまでが上流、宜昌から江西省湖口県までが中流、湖口から上海市の河口までが下流にあたる。源流から河口の標高差は5,400 mに達し、西部の高原・高山地区、中部の中山・低山地区、および、東部の丘陵・平原地区に大きく分けられる。長江流域には成都、武漢、重慶などの重要な工業都市、上海、南京などの国際商業都市を含む中国の19の省（市、自治区）があり、流域の人口も経済規模も中国の1/3以上を占めている。中国国家海洋局によると、長江は中国大陸から海域への淡水供給の約70%を担うという。また2010年の中国主要河川経由の海域への汚濁負荷総量に対する長江の寄与は、化学的酸素要求量（COD）とアンモニウム態窒素（NH₃-N）については約75%、全リン（T-P）については約80%を占めるという¹⁾。

急速な経済発展による工業と生活排水及び化学肥料消費量の増大に伴って、長江流域圏からの汚濁負荷量は、上流から下流へ徐々に増えると同時に、海への負荷輸送量が年々増大してきた。中国水利部長江水利委員会の発表によると、長江流域の廃水・汚水排出総量は年間5.2%以上の上昇率で増加しており、70年代末の排水量は年間95億トンだったが、80年代末には年間150億トン、90年代中・後期には年間200億トン、2000年には年間239.5億トン、2008年には年間325.1億トンに達し、その後、上昇傾向は鈍化しつつあるが、それでも2012年には年間347.4億トンも排出した。既存の研究²⁾によると、長江河口附近の海域での硝酸態窒素（NO₃-N）と溶存態リン（DIP）の平均濃度も増加傾向にあり、1958～1960年の長江河口域及び沿岸海域でのNO₃-NとDIPの平均濃度は0.124 mg・L⁻¹と0.026 mg・L⁻¹であったが、1985年にそれぞれ0.682 mg・L⁻¹と0.054 mg・L⁻¹、さらに、2001年に1.860 mg・L⁻¹と0.062 mg・L⁻¹まで増大した。2005～2006年のNO₃-NとDIPの平均濃度は2001年と比べて微量に低下したものの、1960年代と比べてそれぞれ6.4倍と1.2倍に上昇した。

また、既往の研究³⁾によると、1980～1990年の間に、長江最下流の河口に近い大通水文観測サイトで観測されたNO₃-Nの年平均輸送量は63.93万トン/年、NO₂-Nは0.79万トン/年、NH₃-Nは11.98万トン/年であった。本研究で観測（図34）、解析した2011～2014年の間に輸送されたNO₃-Nの年平均値（表2）は142.45万トン/年、NO₂-Nは2.50

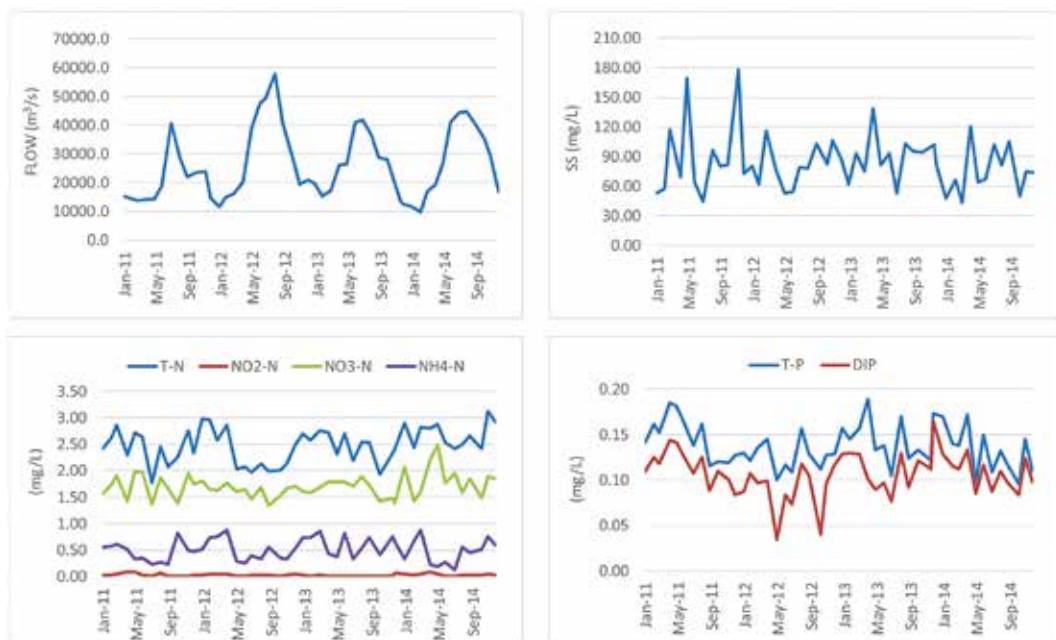


図34 大通で観測した2011-2014年の河川流量（FLOW）、懸濁物質（SS）、全窒素（T-N）、硝酸態窒素（NO₃-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、アンモニウム態窒素（NH₃-N）、全リン（T-P）と溶存態リン（DIP）など汚染物質の濃度変化

表2 大通水文ステーションで観測した全窒素 (T-N)、全リン (T-P)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、アンモニウム態窒素 (NH₃-N) と溶存態リン (DIP) の年平均濃度 (mg/L) と総流出量 (万トン)

	T-N	T-P	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₃ -N	DIP
年平均濃度 (mg/L)						
2011	2.43	0.15	0.04	1.71	0.45	0.11
2012	2.35	0.13	0.03	1.62	0.49	0.09
2013	2.47	0.15	0.02	1.65	0.61	0.11
2014	2.70	0.13	0.04	1.85	0.46	0.11
平均値	2.49	0.14	0.03	1.71	0.50	0.11
年総流出量 (10 ⁴ t)						
2011	162.17	9.81	2.42	114.05	30.20	7.64
2012	235.01	12.57	2.92	162.08	49.19	8.79
2013	194.88	11.45	1.55	130.19	48.13	9.00
2014	238.70	11.60	3.10	163.50	40.90	9.50
平均値	207.69	11.36	2.50	142.45	42.11	8.73

万トン/年、NH₃-Nは42.11万トン/年であった。両者を比較すると、2011–2014年のNO₃-N、NO₂-NとNH₃-Nの年平均輸送量は、1980年代と比べるとそれぞれ約2.2倍、3.2倍と3.5倍に増大したことが分かった。

本研究の目的は、長江流域圏から東シナ海へ流出する汚濁負荷量の予測手法の開発である。つまり、長江流域全体を一つのシステムとみなし、気象・地形・土地被覆の条件が互いに影響し合う複雑な過程、相互関係を調査・解析することにより、その中での水・汚濁物質の動態を日・月および年単位という異なった時間スケールで把握し、全流域から流出する汚濁物質負荷量の再現計算を目的とした。そのため、地形や土壌、そして土地利用等の空間的な不均一性を反映しつつも降水や汚濁物質の流出過程を組み込んだ評価ツールとしてアメリカ農業省 (USDA) の研究業務としてテキサス A&M 大学 Black land 研究所が開発した SWAT (Sail & Water Assessment Tool) モデル⁴⁾ をベースに流域圏水と物質循環評価モデルの開発を行った。

(2) 流域圏水と物質循環評価モデルの開発

本研究は、SWAT モデルをベースに、物質収支モデル⁵⁾ を導入することで、図 35 に示すような流域圏水・物質循環評価モデルを開発した。そのうち、SWAT モデルには水文学的な反応単位 (Hydrological Response Unit, HRU) を最小単位として採用している^{4, 6)}。HRU とは、分割された小流域内の同一な特徴を持つ土地の最小単位で、固有の地形勾配、土地利用、植生被覆及び土壌別に作成されて計算に用いられる。また、水文モデルの支配方程式は、水収支方程式 (連続式) である。そのうち、流出量は、USDA-SCS (Soil Conservation Service) の CN (Curve Number) 法⁷⁾ を改良したモデルで推定する。CN 法において日降水量データは最も重要な気象要素である。中間流を求める方法は Kinematic Storage モデル⁸⁾ を採用しており、蒸発散量を求めるモデルは Penman-Monteith 式⁹⁾ を採用した。

この評価モデルは、地形や土壌、そして土地利用等の空間的な不均一性を反映しつつも水や汚濁物質の多様な発生源による汚濁発生量及び流出・輸送過程を組み込んだ流域圏統合評価ツールとして開発され、多様な土壌類型、土地利用、および土地管理方法が複雑に存在する集水域において、土地利用、流域改造活動、管理事業などが水・物質の循環に与える影響を予測することが可能になる。

評価モデルの入力情報として、まず、地形、土地利用、土壌類型と特性などの地理情報データベースが必要となる。また、日単位の最大・最小および平均気温、湿度、降水量、風速、および日射量など入力用気象データも必要となる。さらに、モデル再現性の検証データとして、長江本川及び主要支川の日平均の河川流量及び水質観測データが必要となる。これらのデータを下記のように収集・解析した。

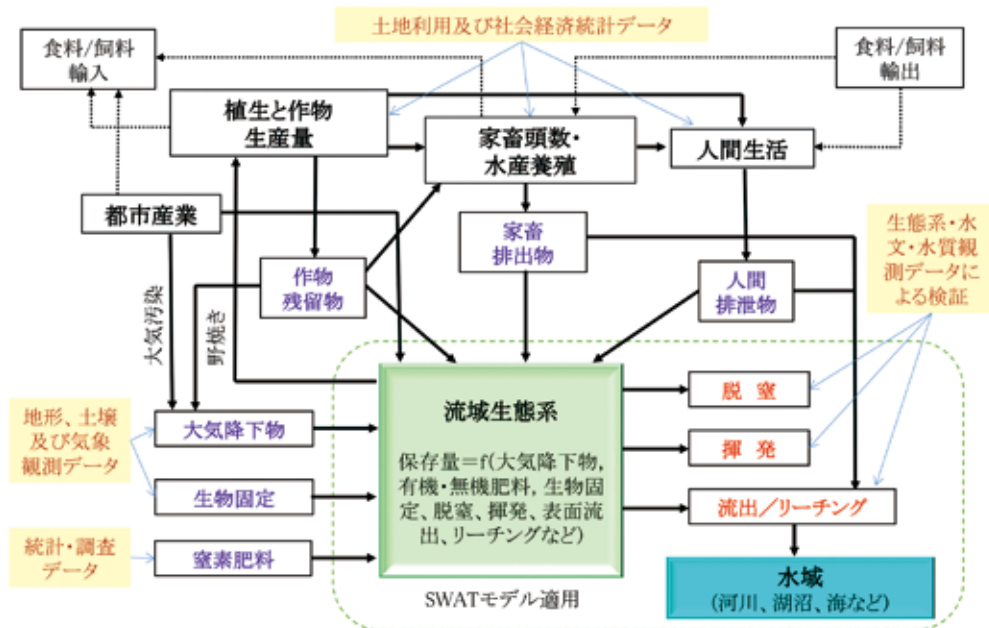


図 35 流域圏水と物質循環評価モデルの構造 (Wang Q-X. et al., 2014)

- ①地形・水系データ：アメリカ航空宇宙局 (NASA) が公開された 90 m メッシュ (標高) データ¹⁰⁾ を用いて ArcSWAT のツールで水系図を作成した。これらのデータは緯度経度で記述されているので、SWAT で利用するために直交座標系に投影変換する作業が必要になる。投影変換作業は ESRI 社製の ArcMap9.3.2 を用いて実施した。
- ②土地利用データ：中国科学院地理科学・資源研究所と共同で衛星データを用いて、2005 年の 1 km メッシュの土地利用データを作成した。このデータは SWAT モデルで利用可能な直交座標系に投影変換を行い、さらに、ArcSWAT 自身のデータベースにある土地利用コード、例えば水田であれば RICE、水域であれば WATR、草原であれば PAST といったコードが入力された土地利用 GIS データに再変換した。
- ③土壌分布データ：中国科学院南京地理・湖沼研究所より百万分の一の土壌分布データを入手し、これも再投影したものを利用した。土壌分布データは土壌の種類を入力されていたポリゴンデータである。SWAT では、土壌の透水係数などの物理性 (空隙率、透水係数、含水率、組成等) を設定する必要があるため、中国土種誌に書かれた各類型の土壌物性値を参考にし、ArcSWAT の編集機能を用いて入力した。入力の項目は、SOILTYPES：土壌名、NLAYERS：土壌層、HYDGRP：土壌の透水性、SOL_ZMX：土壌の最大深さ、ANION_EXCL：土壌中のアニオン排除能、SOL_CRK：土壌の空隙率、TEXTURE：土層の土性、SOL_Z：n 層目の土壌厚さ、SOL_BD：n 層目の土壌の容積湿潤密度、SOL_AWC：n 層目の充填可能水量、SOL_CBN：n 層目の有機炭素量重量比、SOL_K：n 層目の飽和透水係数、CLAY：n 層目の土壌の粘土率、SILT：n 層目の土壌のシルト率、SAND：n 層目の土壌の砂率、ROCK：n 層目の土壌の岩石率、SOL_ALB：湿潤アルベド、USLE_K：USLE (Universal Soil Loss Equation) の K ファクター、SOL_EC：電気伝導度などである。
- ④気象・水文データ：中国水利部長江水利委員会及び中国科学院との共同研究で長江流域における日降水量、気温、相対湿度、日照時間等の気象データや主要な水文観測点での水文・水質測定データを入手した。これらのデータは SWAT モデルの入力データと検証データとして利用した。SWAT モデルでは日射量を用いるが、気象観測所では日照時間しか得られていない。このため、FAO が推薦した推定法を用いて日照時間から全天日射の日平均値を推定した。
- ⑤社会・経済統計データ：1981、1991、2001 と 2011 年など 10 年毎の県レベルの作物生産量、人口数、家畜頭数などのデータは中国農村統計年報より得られた。一方、1981 年からの省レベルの経年変化のデータは中国統計年報より得られた。本研究では、省レベルの経年変化のデータから年変動率を求めて、県レベルのデータの内挿・補正を行った。

(3) 汚濁負荷発生量の推定

モデル入力データとしての汚濁負荷発生量 (N_{INPUT}) は下記の物質収支モデル (Howarth et al., 1996) を用いて推定した。

$$N_{INPUT} = N_{ANTHRO} + N_{RECYCLE}$$

$$= f(N_{FER}, N_{BIO}, N_{DEP}, N_{HUMAN}, N_{ANIMAL}, N_{RESI}, N_{SEED}) \quad (式1)$$

そのうち、 N_{INPUT} は新たに投入される人間由来の反応性窒素 (N_{ANTHRO}) と再生循環する反応性窒素 ($N_{RECYCLE}$) の二つのグループに分類できる。前者の N_{ANTHRO} には、化学肥料施用による窒素投入 (N_{FER})、大気からの湿性沈着や乾性降下などによる硝酸態窒素沈着 (N_{DEP_NO3})、ならびに作物の生長による窒素固定 (N_{BIO}) などが含まれる。後者の $N_{RECYCLE}$ には人間と家畜の糞尿 (N_{HUMAN} , N_{ANIMAL})、作物残渣由来の有機肥料や焼却から排出される窒素 (N_{RESI})、大気からのアンモニア態窒素沈着 (N_{DEP_NH4})、及び種苗投入による窒素 (N_{SEED}) が含まれる。 N_{DEP_NO3} と N_{DEP_NH4} のデータは、両方を合わせた沈着量 (N_{DEP}) として整理した。式1を用いて、1980～2010年間の流域面での窒素負荷発生量 (窒素投入量) の時空間分布を明らかにした¹¹⁾。

図36は、1980年および2010年の長江流域の窒素肥料の施肥量、人間と家畜の排泄物量、農作物による固定量、農作物残滓及び大気からの窒素沈着量などのデータに基づき解析された負荷発生量の両年の空間的分布および両年の差分を表したものである。それによると、過去30年の単位面積あたりの負荷発生量は、多くの地域で50 kg/ha未滿だったが、四川盆地、漢江流域、ハ陽湖流域、洞庭湖流域および長江デルタ地域では、50–300 kg/haに達する大幅な増加が生じていることが示された。全流域からの負荷発生量は、窒素換算で1980年には810万t、2010年には1640万tであり、過去30年間で約2倍に増加していると算定された。

図37は、青海省、湖南省、江蘇省の3地域を抜き出して、過去30年間の発生源毎の負荷発生量の経年変化を示したものである。青海省は水源地にあって大部分が草地に覆われ放牧・畜産を中心とする地域、湖南省は中流域にあって丘陵地帯が多く抱え畑作を中心とする地域、江蘇省は下流の平野に位置し稲作を中心とする地域であり、それぞれ長江流域の3つの代表的な土地利用類型に属している。草原地帯である青海省では、現在に至るまで家畜の排泄物が最大の負荷発生源であるが、全体に占める割合は少しずつ減少している。代わって1980年代には5%程度だった施肥由来の負荷発生量が、2000年代には10%へと上昇している。畑作地域である湖南省の負荷発生量は、現在に至るまで右肩上がりの増加が続いている。その主な増加要因は窒素肥料及び家畜排泄物によるもので、また大気沈着量の増加も顕著である。稲作地域である江蘇省では、窒素肥料が負荷発生量の半分以上を占めるという特徴があるが、その負荷発生量の経年変化は1998年を境として増加からやや減少する傾向に転じている。その結果、最近10年間の負荷発生量は、江蘇省ではほとんど変化していない。

これらの解析から、負荷発生源の分布として、長江源流・上流域では家畜排泄物が最も負荷発生に寄与していること、中～下流域に向かうほど窒素肥料による寄与が大きくなり、下流域では、窒素肥料が最大の負荷発生源であることが明

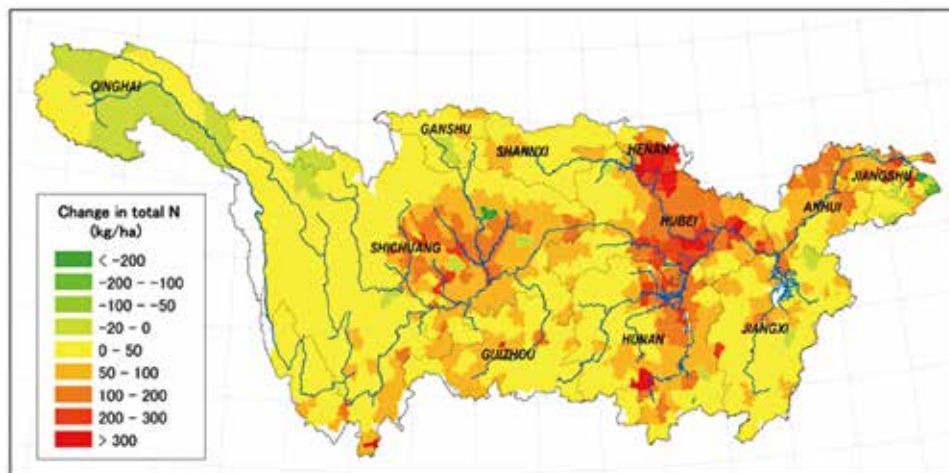


図36 2010年与1980年の窒素負荷発生量の差

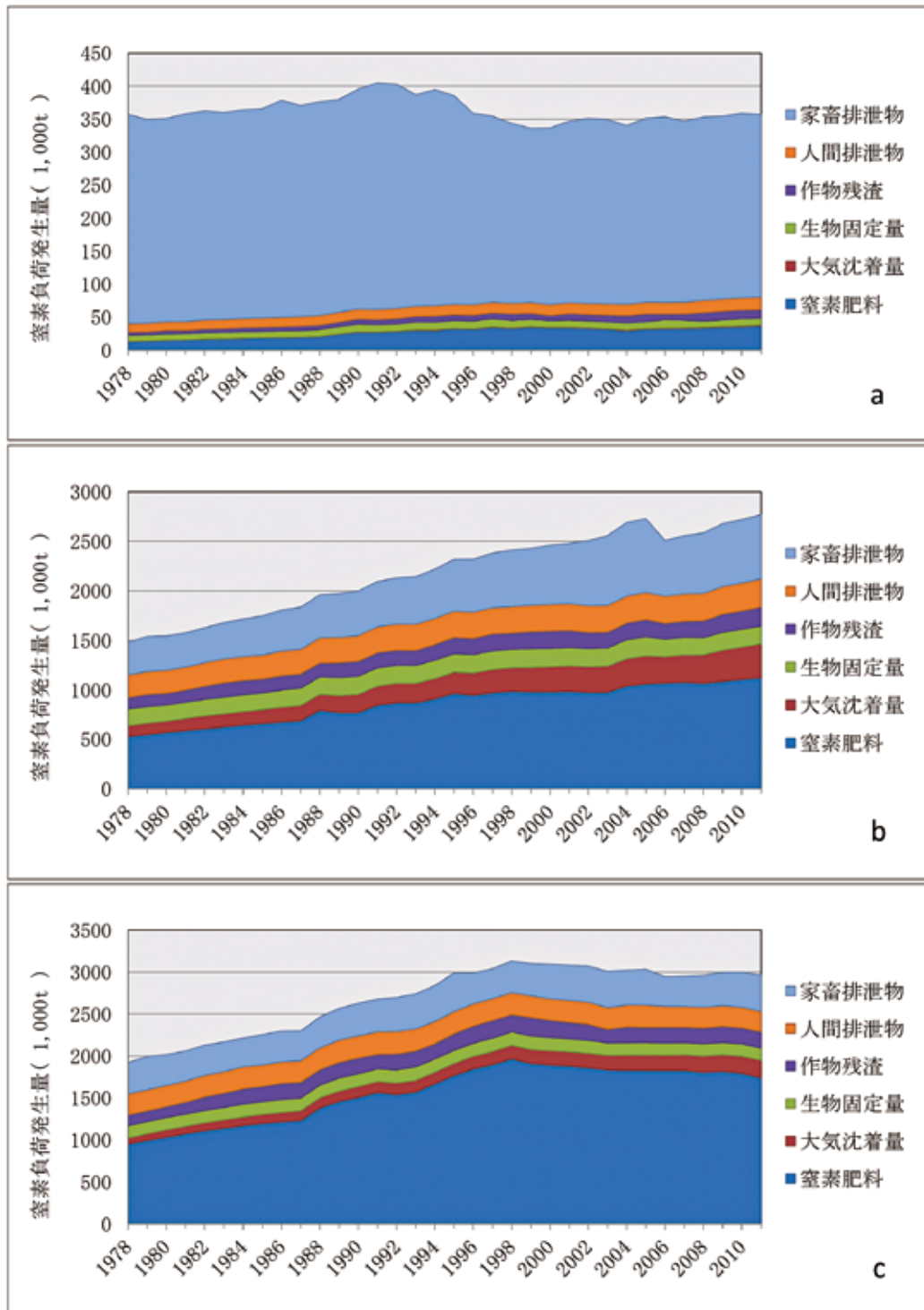


図 37 長江水源地にある青海省 (a)、中流域にある湖南省 (b) 及び下流にある江蘇省 (c) における過去 30 年間の異なる発生源毎の負荷発生量の経年変化

らかになった。また、過去 30 年間の負荷発生量の増加は、源流～上流域では僅かであり、中～下流域において著しいこと、ただし中流域では現在も増加傾向が続いているが、下流域では高止まりの状態に至っていることが明らかになった。

このような 30 年間の空間分布変化は、中国経済の発展過程における地域特性から説明できる。1980 年代の改革開放政策から 1990 年代にかけて、長江デルタをはじめとする東部地域で経済活動が活発となり、中～下流域の農業生産等に由来する負荷発生量が急増したと考えられる。2000 年代に入ると沿岸地域では、都市化や工業化に伴う農地面積

の縮小と窒素肥料の使用量減少によって、負荷発生量が低下したと考えられる。代わって、負荷の大きい農畜産業が下流域から中・上流域に移され、それらの地域における負荷発生量の増大を招いていると考えられる。源流域は、現在でも牧畜を中心とする未開発地域であるため、過去 30 年間、ほとんど変化が生じていないと考えられる。

水環境を悪化させた具体的な要因をまとめると、まず、都市化に伴い、都市人口と規模が急速に拡大し、都市近郊では養鶏、養豚、養牛等が盛んに行われているため、その発展速度についていけず、多くの都市で廃水処理施設がなく、家畜糞尿や生ゴミ等が岸辺に積まれていて、雨の時に直接に河川に流される。また、急速な経済発展と環境保全のバランスがとれておらず、生活部門や産業部門からの汚濁負荷排出量は確実に増加してきた。さらに、農地域で化学肥料や農薬の大量使用、中下流域における湿地や湖沼の過度な開発、上流域における山林の乱伐や開発行為等による土砂流出が、水環境を悪化させる大きな要因になっている。最後に、排水処理・浄化施設のための経費投入が不十分で、大量の生活排水や工場廃水が未処理のまま直接河川に排出されたり、例えば排水処理施設に送られても十分な処理ができず汚れたまま河川に排出されたりしている。これらの要因が複雑に絡みあい、河川や湖沼の水環境容量が小さくなり、汚染が深刻化になってきた。

上述のように、経済活動の地理的な変化に応じて、長江流域において汚濁負荷の発生構造や地理的な分布が変化してきたことが分かった。また陸水や海域環境に対する汚濁負荷削減などの流域管理においては、農畜産業部門からの汚濁制御に最大の関心を払うべきであることが定量的に示された。さらに、過去 30 年間の長江流域全体の施肥による負荷発生量は約 3 倍に増加した。一方、農作物による窒素固定量の増加は僅か 1.2 倍でしかない。つまり、農作物の収量は、施肥の増大に見合うほどには増加しておらず、効率的な施肥によっても汚濁流出の抑制が可能と考えられる。また近年危惧される現象として、四川盆地、漢川流域、ハ陽湖盆地、洞庭湖盆地及び長江デルタ地域における大気からの窒素沈着の増大が挙げられる。全流域を対象とした解析では、過去 30 年で大気からの窒素沈着は約 3.7 倍に増加していると算定された。その削減は、中国での深刻な大気汚染の解決ばかりでなく、水環境の改善にも繋がると考えられる¹²⁾。

(4) 観測データによる接合モデルの精度検証

前述のように、物質収支モデルと SWAT モデルの接合によって流域圏水物質循環評価モデルを構築し、全流域において水量・水質の動態をシミュレーションした。モデルのパラメータリゼーションは、長江の最大支流である漢江流域で実施した。漢江流域の上流から下流までの 5 地点の流量と水質観測データを用いてモデルのキャリブレーションを行い、最も適切なパラメータを抽出した¹³⁾。次に、漢江流域でのパラメータリゼーションで得られたパラメータ値を長江全流域へ適用し、モデルの適合性の検証を行った。

まず、降水流出過程の再現性を確認するため、長江上流の宜昌（河口部より約 1600 km）と中流の武漢（同約 1200 km）及び下流域の大通観測点（河口部より約 550 km）での月毎の計算結果と観測値（2008–2010）との比較も行った。相関係数（ R^2 ）はそれぞれ 0.84、0.84 と 0.91 で、再現性はいずれ高い水準にあることを示している。また、モデルの降水流出応答特性を詳細に確認するため、支流単位での再現性も検討した。各支流の下流端でのモデル計算値と月平均河川流量観測値と比較した結果、金沙江流域（地点：屏山）、嘉陵江流域（地点：北碚）、漢江流域（地点：仙桃）、湘江流域（地点：城陵機）では、いずれ年間を通じた流量変動に高い再現性が得られた。観測値と計算値との相関係数（ R^2 ）は、それぞれの 0.95（地点：屏山）、0.87（地点：北碚）、0.89（地点：仙桃）、0.86（地点：城陵機）であった。

流域全体を対象に行った栄養塩流出量の再現性を検証するため、長江本川の宜昌と武漢での 2009 と 2010 の二年間（ $n=36$ ）に渡って、月一回の頻度で全窒素（TN）と全リン（TP）のデータを測定した。測定値と計算値を比較した結果、TN の再現性は、上流の宜昌では $R^2=0.84$ 、中流の武漢では $R^2=0.81$ であるが、TP の再現性は、宜昌 $R^2=0.75$ 、武漢 $R^2=0.74$ であり、いずれ河川流量の予測精度より低くなっていることが分かった。これは、降水流出過程よりも栄養塩の流出過程がより複雑であることが示唆される。長江經由東シナ海へ輸送する汚濁負荷量を推計するため、最下流の大通観測点での検証が最も重要であるため、中国科学院地理科学・資源研究所と共同で観測した水質データと予測値の比較を行った（図 38）。それによると、河川流量の相関係数 R^2 は 0.91 に対して、 $\text{NH}_3\text{-N}$ は $R^2=0.40$ 、T-P は $R^2=0.68$ であった。上流と中流の予測精度よりかなり低いものの、統計上（ $P=0.05$ の水準）で有意性が確認された。



図 38 大通観測サイトで計算値と実測値との比較

(5) 長江流域圏からの汚濁負荷流出量の再現

前述のように、物質収支モデルと SWAT モデルの接合によって流域圏水物質循環評価モデルを構築し、全流域において水量・水質の動態をシミュレーションした。モデルによって推定した 2001～2010 年の 10 年間の長江河口域の大通水文観測サイトでの河川流量、及び日単位の土砂輸送量及び栄養塩輸送量の経年変化を図 39 で示す。それによると、年流量は 2002～2006 年の間は低下傾向がみられ、2007～2010 年間の増加傾向が見られるが、硝酸態窒素 (NO₃-N) の年輸送量も同じ傾向で推移する結果となった。しかし、有機態窒素 (ORGN)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、アンモニア性窒素 (NH₃-N) などは、2002～2009 の間は低下傾向にあったが、2010 年は大洪水によって海への年間輸送量が急増した。

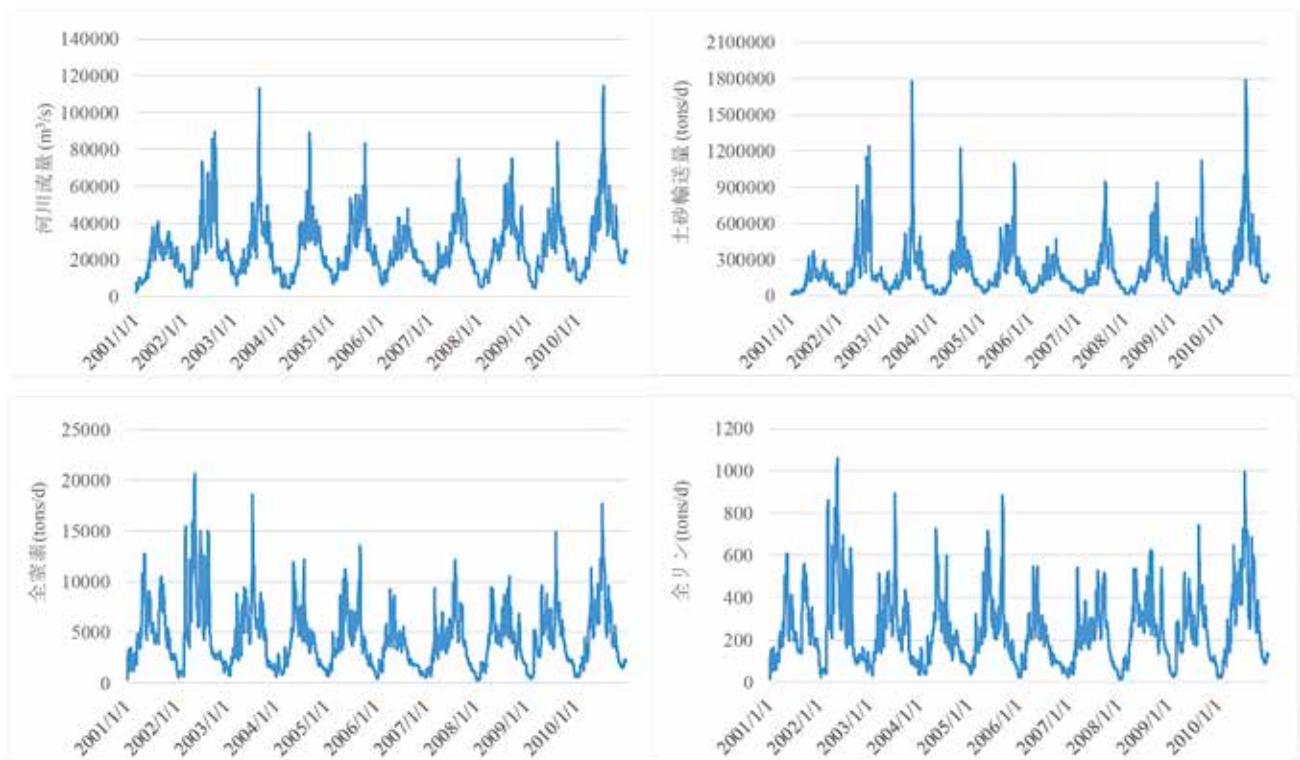


図 39 大通水文観測点を通過する河川流量 (FLOW)、土砂 (SED)、全窒素 (T-N)、全リン (T-P) 輸送量の日変化

表 3 評価モデルによる推定した大通水文観測点を通過する河川流量と汚濁物質の年間総流出量

	FLOW	T-N	T-P	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₃ -N	DIP
2001	5685.9	240.5	11.2	2.8	197.7	39.9	10.6
2002	10015.8	304.7	12.8	3.4	250.8	50.5	11.4
2003	9142.3	254.2	11.7	2.5	214.9	36.8	10.4
2004	8316.0	195.6	9.9	2.3	159.3	33.9	9.0
2005	9255.8	234.4	11.4	2.6	192.7	39.1	10.0
2006	7253.3	154.2	7.4	1.7	126.0	26.5	6.7
2007	8139.4	218.4	9.8	2.4	182.4	33.6	9.0
2008	8590.4	198.5	10.9	2.5	157.3	38.7	9.7
2009	8085.8	204.4	9.5	2.1	172.3	29.9	8.6
2010	10857.8	246.2	11.4	2.7	206.1	37.4	10.2
平均値	8534.3	225.1	10.6	2.5	185.9	36.6	9.6

最後に、表 3 で示すように、この 10 年間の年平均値を集計すると、長江の河口域で年間の総流量 (FLOW) は約 8,534.3 億トン/年で、それによって運ばれた硝酸態窒素 (NO₃-N) は約 185.9 万トン/年、亜硝酸態窒素 (NO₂-N) は約 2.5 万トン/年、アンモニア性窒素 (NH₃-N) は約 36.6 万トン/年、全窒素 (T-N) は約 225.1 万トン/年、および全リン (T-P) は約 10.6 万トン/年という計算結果となった。この結果と既存の研究³⁾ と比べると、2001～2010 年の 10 年間の NO₃-N は 1980 年代の約 2.9 倍に、NO₂-N は約 3.2 倍に、そして、NH₃-N も約 3 倍に増大したことが分かった。

(6) まとめ

本研究は、SWAT モデルをベースに物質収支モデルを導入することで、流域圏水・物質循環評価モデルを開発した。モデルによる再現値の妥当性を検証するため、長江本流にある屏山、朱沱、宜昌、沙市、湖口、大通など主な観測サイトでの 2008～2010 年の水量・水質観測データを用いた。その結果、日単位も月単位での流量変化が精度よく再現されていることが確認された。一方、月単位での T-N に比べて T-P の再現性が劣ることと、上流よりも下流域において再現性が低下する傾向があるものの、再現結果と測定値の間に有意な相関が認められた。このモデルを用いて、自然系、生活系および産業系からの窒素・リンなど汚濁負荷発生量の分布動態及び河川経由の流出量を推計した。その結果、

- 過去 30 年の単位面積あたりの負荷発生量は、多くの地域で 50 kg/ha 未満であるが、四川盆地、漢江流域、ハ陽湖流域、洞庭湖流域および長江デルタ地域では、50 kg/ha を超えて大幅な増加が生じていることが分かった。
- 全流域からの負荷発生量は、窒素換算で 1980 年には 810 万トン、2010 年には 1640 万トンであり、過去 30 年間で 2 倍以上増加していたことが明らかになった。年代別から見ると、1990 年代の増加が最も激しく、2000 年代は高止まりの状態であることが分かった。汚濁負荷発生源について、中、下流域では化学肥料、源流域では家畜糞尿が主な窒素発生源であったことが分かった。
- 過去 30 年間の長江流域全体の施肥による負荷発生量は約 3 倍に増加した。一方、農作物による窒素固定量の増加は僅か 1.2 倍でしかない。つまり、農作物の収量は、施肥の増大に見合うほどには増加しておらず、効率的な施肥によっても汚濁流出の抑制が必須と考えられる。また、過去 30 年で大気からの窒素沈着は約 3.7 倍に増加していると算定された。その削減は、中国での深刻な大気汚染の解決ばかりでなく、水環境の改善にも繋がると考えられる。
- 最後に、推定された負荷発生量を検証された水物質循環モデルに入力することで、長江経由の汚濁負荷流出量の再現計算を行った。その結果、2001～2010 年の 10 年間の NO₃-N は 1980 年代の約 2.9 倍に、NO₂-N は約 3.2 倍に、そして、NH₃-N も約 3 倍に増大したことが分かった。この推計結果をさらに検証するため、2011～2014 年間の水質観測を実施した。その結果、両者を比較すると、2011～2014 年の NO₃-N、NO₂-N と NH₃-N の年平均輸送量は、1980 年代と比べるとそれぞれ約 2.2 倍、3.2 倍と 3.5 倍に増大したことが分かった。この結果から、2000 年代に入ってから 2014 年までの汚濁負荷流出量は高止まりの状態であることが分かった。

2.2.2 東シナ海陸棚域の生態系劣化機構の解明（サブテーマ 2）

(1) 目的と経緯

1990 年代の中国経済成長による流域農業地帯での化学肥料大量使用や上海デルタでの都市型排水増大の影響により、長江経由の海域への汚濁負荷が増大し、河口域を中心とする沿岸域では赤潮が頻発するなど水質・生態系劣化が著しい。長江は陸域から東シナ海への淡水供給量の 70%以上を担い、特に河川流量の増大する初夏から秋季にかけては東シナ海陸棚域において長江河川水の影響を受けた低塩分水（長江希釈水）が広域に出現し、また大規模な長江洪水イベントではその影響は対馬海峡を通過し日本海にまで及ぶ。長江からの汚濁流出の現在までならびに将来の増大は、したがって河口域のみならず東シナ海全域の水質生態系に大きな影響を及ぼすことが懸念される。

第 4 期中期計画本プロジェクト (PJ2) の前身である第 3 期中期計画のアジア自然共生研究プログラム中核研究プロジェクト 2 「東アジアの水・物質循環評価システムの開発」(2006～2010 年) では、上述の懸念を背景として、水産総合研究センター（現、水産研究・教育機構）西海区水産研究所と「東シナ海の水塊構造とプランクトン生態系を介した親生物元素の循環に関する研究」に関する共同研究契約を締結し、長江希釈水によって東シナ海へ輸送される陸域起源物質等に対する陸棚生態系の応答を明らかにすることを目的とした共同研究を開始した。

第 3 期中期計画中の西海区水産研究所との共同調査では、初夏の陸棚域では塩分 28～31 の長江希釈水と呼ばれる水塊が表層に広く分布するのみならず、陸棚中央域では中国沿岸の赤潮原因種である渦鞭毛藻 *Prorocentrum dentatum* が最大クロロフィル a (Chl.a) 濃度 50 µg/L に達する高密度群集が形成される現象をしばしば観測した。この観測結果は、

長江由来の汚濁負荷による環境劣化が沿岸部に限定されるのではなく東シナ海にも広く及んでいることを示唆した。また西海区水産研究所と共同で実施した地球環境研究総合推進費「B-0906 東シナ海環境保全に向けた長江デルタ・陸域環境管理手法の開発に関する研究」(2009～2011年)では、長江汚濁負荷と東シナ海陸棚域の一次生産、とくに初夏の渦鞭毛藻の優占的出現との関係を明らかにすることを目的として、流動・生態系モデルによる東シナ海陸棚域における一次生産と栄養塩濃度の再現計算および長江からの栄養塩負荷条件の変化に対する植物プランクトン群集の応答解析を試みた。長江から供給される栄養塩の多くは河口に近い海域において珪藻によって消費されるが、余剰の無機態窒素(DIN)が陸棚中央まで輸送され、珪藻よりも低濃度のりん環境に適応した渦鞭毛藻が優占的に出現していることが推定された。

以上のように、第3期中期計画では東シナ海陸棚における渦鞭毛藻 *P.dentatum* の優占化現象を捉え、また数理モデルを用いた陸棚中央域の渦鞭毛藻の優占化要因メカニズムに関する検討を行った。しかしながら、東シナ海環境の再現や陸域汚濁負荷に対する応答の計算では以下①～③が主な課題として残された。

①流動モデルにおける鉛直混合の再現性に関する課題

東シナ海陸棚の水質は、長江希釈水によって輸送される陸棚由来の栄養塩のみならず、陸棚底層水から真光層に供給される栄養塩によって大きな影響を受ける。特に長江希釈水と陸棚底層水の界面には強い密度躍層が形成され、密度躍層を介した栄養塩等の物質交換の再現性の向上には、海流によるマクロスケールな効果とともに潮汐による半日周期の流向・流速変化などの効果を考慮する必要がある。また潮汐流は海底との摩擦によって海底混合層を発達させ、海底～密度躍層間の栄養塩の鉛直分布、ひいては表層水塊への栄養塩供給動態に大きな影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、従来の流動モデルでは鉛直混合に影響を及ぼす潮汐効果が導入されておらず、またモデル内の海底混合層の発達過程に関しては外洋環境等で一般的に用いられる乱流スキームを導入していたものの、栄養塩濃度や乱流エネルギー散逸量の再現性に課題を残していた(図40)。

②生態系モデルにおける光環境場の設定に関する課題

生態系モデルにおける植物プランクトンの増殖計算では、深度に応じた光環境の設定が不可欠である。第3期中期計画までに構築した生態系モデルでは植物プランクトン現存量を変数とした既往の光消散係数の経験式を導入していた。

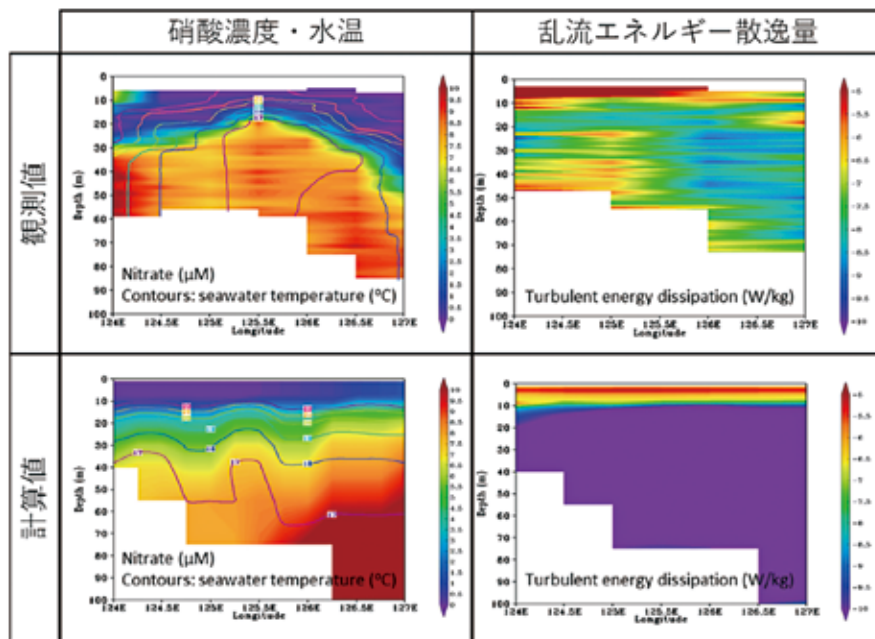


図40 第3期中期計画における3次元流動・生態系モデルの検証結果。2010年6月の東シナ海30.0°N鉛直断面の硝酸濃度、水温、乱流エネルギー散逸量の観測値と計算値の比較結果

同式は水と植物プランクトン細胞による光の吸収・散乱を考慮したもので主に外洋域で用いられる式である。一方、長江希釈水の影響を受けた東シナ海の光消散は、植物プランクトン細胞以外に、長江や底質由来の懸濁粒子や陸上由来の難溶性有機物（黄色物質）によっても影響を受けていると考えられる。したがって、東シナ海の植物プランクトンの増殖及び現存量を精緻に計算するためには、既往の光消散係数推定式の東シナ海への適合性の検証あるいは同海域に適合した光消散係数推定手法を検討し、生態系モデルの光条件として導入することが課題として残されていた。

③渦鞭毛藻 *P.dentatum* の鉛直分布に関する課題

第3期中期計画中の東シナ海航海において、渦鞭毛藻 *P.dentatum* が陸棚中央部で優占的に出現していることをしばしば観測した。それらの多くは真光層内の塩分躍層深度近傍に集積的に観測され、また2010年の *P.dentatum* 出現点における連続観測や東シナ海で単離した *P.dentatum* の大型培養槽（海水マイクロコズム）を用いた予備的な培養実験により、*P.dentatum* が能動的な日周鉛直移動を行う種であることが示唆されていた。しかしながら、従来の生態系モデルにおける植物プランクトンの鉛直方向の分布は専ら海水の移流拡散と Stokes 式に基づく粒子沈降によって記述されており、塩分躍層への細胞集積動態等の再現性が十分に確保されていなかった。

第4期中期計画本プロジェクトPJ2の目標は、2000年代の長江経由の汚濁負荷流出（サブテーマ1）に対する東シナ海環境、特に植物プランクトンを中心とする低次生態系への影響評価ならびに近未来（2030年）の汚濁負荷流出シナリオ（サブテーマ3）に対する東シナ海環境の応答を予測することである。本サブテーマ2の目的は、この目標を実現するための高精度な東シナ海流動生態系モデルを開発・提示することであり、そのために、上記①～③の課題のうち、①については東シナ海の乱流観測と Large Eddy Simulation 手法による乱流スキームの改良、流動モデルへの潮汐効果及び水温・塩分の再解析データの同化スキームの導入等による流動モデルの再現精度の向上、②については東シナ海の光・水質データに基づく光環境場の決定要因の解析と定式化、③については海水マイクロコズムを用いた *P.dentatum* の鉛直移動動態に関する詳細解析による生態系モデルの改良を行った。改良型流動生態系モデルの検証は、第3期～第4期中期計画間に蓄積した航海調査データとサブテーマ1が提示した長江汚濁負荷流出データを用いた。さらに長江経由の汚濁負荷量・質の変動に対する東シナ海水質・生態系の応答解析を行い、応答メカニズムについて考察した。

(2) 東シナ海の乱流観測と数値実験による乱流スキームの改良

海洋内における乱流混合過程は数10 cm からせいぜい数10 m スケールの現象に過ぎないものの、広域の運動場や溶存・粒子状物質分布、ひいては環境・生態系変動を形成する上で重要な役割を担っている。こうした小さなスケールの乱流過程を広域流動モデルに直接導入することは甚だ困難であり、広域流動モデル内ではその効果を乱流スキームとして適切に表現することが求められる。PJ2が対象とする東シナ海およびその近海における乱流過程の励起には大気外力、潮汐流、海底地形、黒潮、長江起源水など様々な要因が影響していると考えられる。しかしながら同海域における広域乱流観測および乱流スキーム検討に関する既往研究は少ない。

本研究は、PJ2で使用する流動モデル内の乱流スキームの改良、および、そのための乱流特性の基礎的理解を目的として、まず夏季の東シナ海における乱流強度の広域現場調査を行った。次に、現場調査のみで時々刻々変動する乱流変動の詳細を把握することは困難であることから、得られた観測結果を Large Eddy Simulation (LES) と呼ばれる乱流計算手法を用いて数値的に再現した。最終的に LES 実験から得られた結果に基づき、乱流スキームの検証・改良を行った。

観測は国立環境研究所と水産総合研究センター西海区水産研究所の共同調査によって行った（2011年6月、2012・2013年7月陽光丸航海、図41、図42参照）。TurboMAP-9 (JFEアドバンテック社製)を用いて数mm毎の流速微細構造を計測し、その結果から乱流エネルギー消散率 (ϵ_0) を求めた。乱流の励起過程を考察するための背景物理場情報として航海中にCTD・船搭載 ADCP からそれぞれ得た海水密度・流速データを使用した。LESに関しては、Furuichi et al.¹⁴⁾ による手法および観測結果に基づく初期海水密度条件および潮汐流条件を用いて、同海域で顕著だった海底近傍乱流に関しての再現実験を行った。モデル海洋は水平100 m × 100 m、鉛直50 mの矩形領域で空間解像度は水平・鉛直ともに0.25 mである。再現計算は約26時間分を行った。

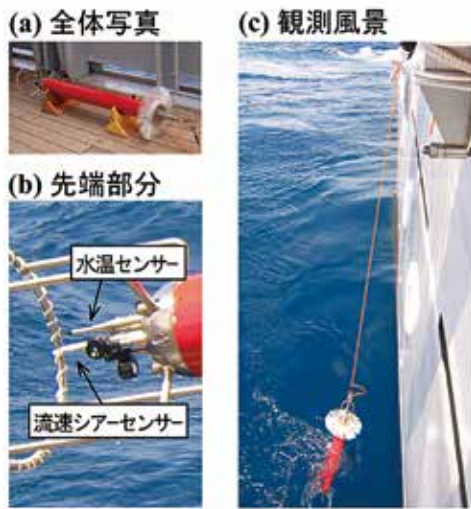


図 41 乱流微細構造観測機器

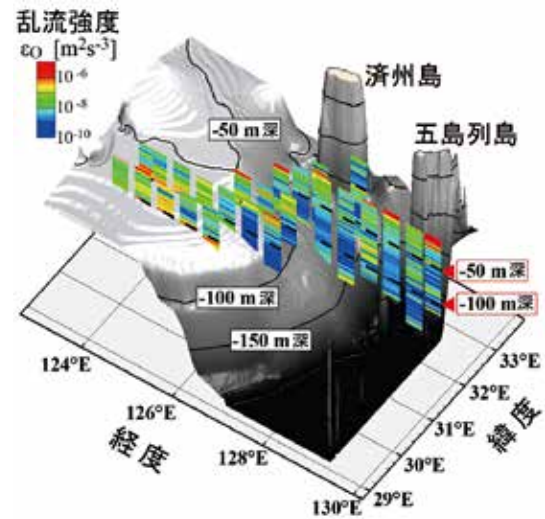


図 42 2012 年夏季の調査航海から得られた乱流強度分布

図 42 に 2012 年夏季の調査航海から得られた乱流強度 ϵ_0 の 3 次元空間分布を示す。陸棚域の海底直上においては大きな ϵ_0 値が多数確認できる ($\epsilon_0 > 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-3}$) 一方で、陸棚域の外側においては表層付近を除き ϵ_0 値は概して小さい ($\epsilon_0 < 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-3}$)。乱流強度と背景物理場との関連性 (スケージング則) を調べたところ、海底混合層内に関しては乱流強度が海底からの高さの増大に伴い壁法則より急速に減少すること、海底混合層より上部の密度躍層周辺に関しては乱流強度が密度成層強度および鉛直流速シアの増大に伴って増大する傾向があることが明らかとなった。

図 43 および図 44(a), (b) に LES から得られた海底近傍乱流の再現実験結果を示す。潮汐流変動にตอบสนองして海底乱流が発達し (図 44(a) 陰影)、その結果、混合層上端付近で暖かい (冷たい) 水が下方 (上方) に輸送され (図 44(b) 陰影)、次第に水温場が混合されていく様子がみとれる。現場観測と LES 実験の双方から得られた乱流エネルギー消散率を比較したところ、両者は良く合致し、LES 実験の妥当性が確認された。次に LES と同一条件下での海底混合層の消長を、これまでに広く使われてきた Mellor-Yamada 乱流スキーム (Mellor and Yamada 1982, 以後 MY) および近年大気モデルにおける良好な性能が報告されている Nakanishi-Niino 乱流スキーム (Nakanishi and Niino 2009, 以後 NN) を組み込んだ鉛直 1 次元モデルを用いて計算し、その結果を LES の実験結果と比較した。ただし NN に関しては、乱流長さスケールの大きさが安定成層下でさらに強く制限されるように定式化を少しだけ修正した^{14,15)}。図 44(c) - (f) に示す

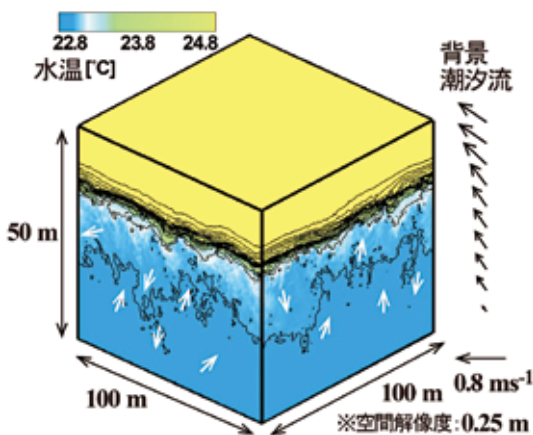


図 43 潮汐流変動に伴う海底混合層発達に関する LES 数値実験の一例。白矢印は流速擾乱の大きな方向を示す

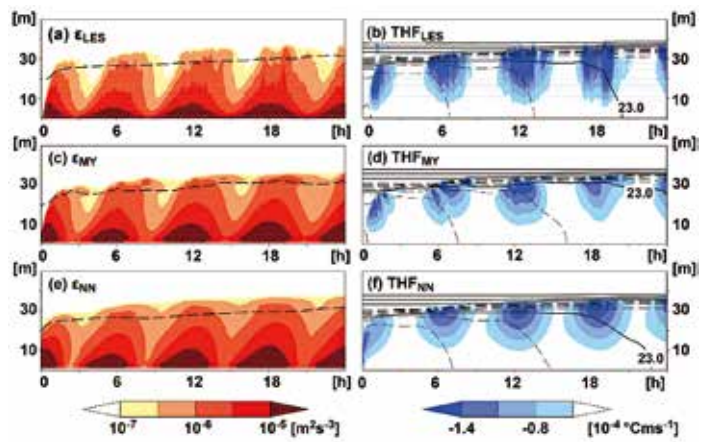


図 44 LES、MY、NN のそれぞれから得られた乱流エネルギー消散率 ϵ (左列陰影)、乱流熱フラックス THF (右列陰影)、混合層上端 (左列破線) および水温 (右列実線及び破線; 間隔は 1°C と 0.1°C) の深度-時間分布

ように、MYで計算された乱流混合の発達はLESの結果と比べて抑制されてしまう一方で、NNで計算された乱流混合の発達はLESの結果に匹敵する良好な結果となった。この修正版NNスキームを本PJ2で開発する東シナ海流動モデルに導入することにより、乱流過程が関わる東シナ海の物質輸送シミュレーションの再現性向上が期待された。

(3) 真光層深度の推定式の開発

海中の光合成有効照度 (PAR) は様々な物質による吸収・散乱によって深さ方向に指数的に減衰し、その減衰率は光消散係数(K_d [m^{-1}])として記述される。また植物プランクトンが増殖可能な最大深度は、概ねPARが海面に対して約1%に減衰するまでの深さ (真光層深度 Z_e [m]) であり、海面から Z_e までの平均 K_d ($K_{d,(0 \rightarrow Z_e)}$) は次式で表される。

$$K_{d,(0 \rightarrow Z_e)} = -\frac{1}{Z_e} \ln 0.01 \quad (式2)$$

また K_d は海中の様々な光学活性物質 (OAC) による吸収・散乱の加法効果として表現可能なことが経験的に知られており、しばしば式3のような線形式で記述される。

$$K_d = k_w^* + k_{CD}^* \cdot CDOM + k_{PH}^* \cdot chloro + k_{SP}^* \cdot SPM \quad (式3)$$

ここで k_w^* 、 k_{CD}^* 、 k_{PH}^* 、 k_{SP}^* は透明な海水、海水中の有色溶存有機物、植物プランクトン、非生物懸濁粒子の単位濃度あたりの光消散係数であり、CDOM、chloro、SPM はそれぞれの濃度である。外洋水のように有色溶存有機物や懸濁粒子の少ない海水は Case I 水と呼ばれ、Chl. *a* を変数とする K_d 予測式が用いられる¹⁶⁾。一方、陸域影響の強い沿岸水は Case II 水と呼ばれ、海域ごとに K_d の説明変数構成及び係数が大きく変化する¹⁷⁾。東シナ海陸棚は Case II 水に分類¹⁸⁾されるが、これまでに当該海域の K_d を定式化した例はなく、生態系モデルにおける植物プランクトン増殖速度計算における不確かさの要因の一つであった。

本研究の目的は、東シナ海流動・生態系モデルに光環境条件を与えるための K_d 推定の経験式を得ることである。解析に用いたデータセットは、2007年6月の東シナ海陸棚及び縁辺部の調査航海 (水産庁照洋丸、全50測点) で取得されたものである (図45)。日中の20測点において光量子計観測により得られた Z_e から $K_{d,(0 \rightarrow Z_e)}$ を求めた。次に $K_{d,(0 \rightarrow Z_e)}$ を従属変数、海面から Z_e までの平均塩分 (Sal [-])、平均 Chl. *a* 蛍光 (Chl [$\mu g/L$])、平均濁度 (Turb [FTU]) の説明変数とする式を仮定し、重回帰分析を試みた。ここで説明変数 Sal は、東シナ海の CDOM 濃度が塩分に対して逆相関を示すという¹⁹⁾の報告に着想を得て、CDOM のプロキシとして設定したものである。また水温-塩分 (T-S) ダイアグラムにより調査海域の水塊分類を行い、 $K_{d,(0 \rightarrow Z_e)}$ に対する水塊種の影響を考察した。

重回帰分析の結果、 $K_{d,(0 \rightarrow Z_e)}$ は以下の線形式で良好に回帰された ($R^2=0.91$) (式4及び図46)。いずれの説明変数間

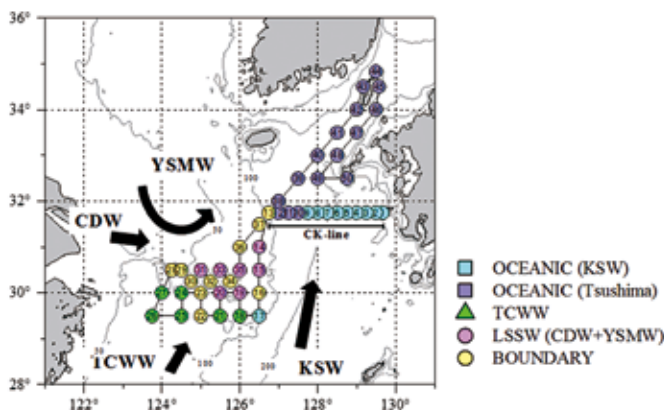


図45 2007年6月の東シナ海調査測点。プロットの各色はT-Sダイアグラムで分類された表層水塊種を表す。陸棚には長江希釈水CDWと黄海混合水YSMWの影響を強く受けた低塩分水LSSWが分布した。

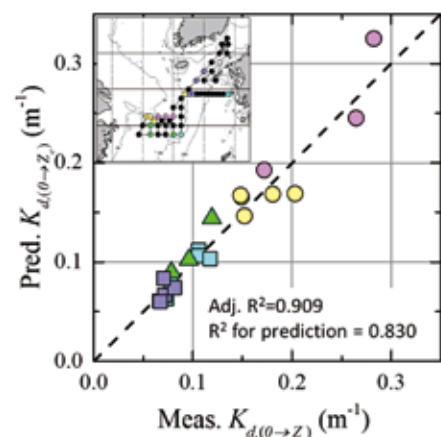


図46 実測 Z_e から求めた $K_{d,(0 \rightarrow Z_e)}$ に対する回帰式を用いた予測値。プロットの各色は表層水塊種、囲み地図内の黒丸は実測 Z_e の欠損、破線は傾き1の直線である。水塊種に関わらず1つの回帰式により東シナ海の $K_{d,(0 \rightarrow Z_e)}$ が表された。

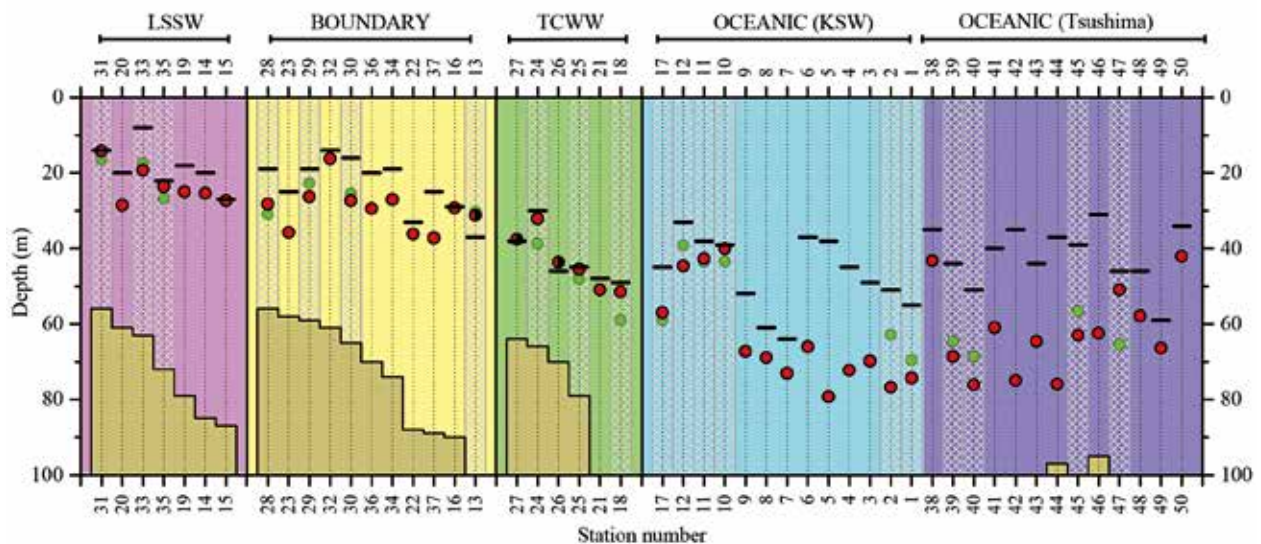


図 47 2007 年 6 月の東シナ海調査測点における実測の Chl. a 蛍光極大深度 (-)、実測の真光層深度 (●)、回帰予測した真光層深度 (●) の比較結果。

にも共線性は認められず、またここで示したすべての説明変数を採用した回帰モデルにおいて最小の AICc (修正赤池情報量規準) を得た。

$$K_{d,(0 \rightarrow Z_e)} = -0.41 \cdot Sal + 0.021 \cdot Chl + 0.135 \cdot Turb + 1.423 \quad (\text{式 4})$$

解析対象海域の表層には長江希釈水 (CDW) と黄海混合水 (YSMW) の影響を強く受けた低塩分水塊 (LSSW)、台湾暖流 (TCWW)、黒潮表層分岐流 (KSW) などの外洋水 (OCEANIC) に分類された (図 45)。LSSW 周辺の区分の不明瞭な水塊は BOUNDARY として定義した。Z_e は 16 ~ 70 m の範囲で観測され、LSSW < TCWW < OCEANIC の関係が明瞭に認められた (p < 0.01)。説明変数のうち最も大きな標準化係数 (絶対値) を有したのは Sal であった。このことは東シナ海の K_{d,(0→Z_e)} と Z_e が淡水と共に流入する CDOM により大きな影響を受けていることを示唆し、LSSW 水域における Z_e の浅化にも寄与していると考えられた。

本回帰式による K_{d,(0→Z_e)} 推定の合理性を確かめるため、本式構築で使用した測点以外を含む全 50 測点で K_{d,(0→Z_e)} 及び Z_e を推定し、推定 Z_e と実測の Chl.a 蛍光極大深度 (Z_{chl_max} [m]) の関係を比較した (図 47)。Z_e は、Z_{chl_max} はの範囲でそれぞれ計算・実測された。50 測点中 3 測点を除いて、Z_{chl_max} (8 ~ 56 m) は予測 Z_e (16 ~ 80 m) よりも浅い深度に認められ、予測した Z_e の合理性 (植物プランクトンは真光層内でのみ増殖可能であり、Chl.a 蛍光極大は常に真光層深度に浅に出現する) が支持された。

本研究で得られた K_{d,(0→Z_e)} 予測式の説明変数である塩分、Chl.a 濃度、濁度は PJ2 において開発する流動生態系モデルの水質として計算可能なものである。本式を生態系モデルに導入することで、光環境を合理的に設定することが可能となることが期待された。

(4) 真光層内の鉛直 Chl.a 現存量の解析

長江起源の汚濁負荷が東シナ海の低次生態系に及ぼす影響の指標として Chl.a の分布がしばしば解析される。CDW 水域とその他の水塊水域間の Chl.a 現存量の比較には、しばしば衛星データが利用され、長江希釈水の影響を受けた水域において相対的に Chl.a が高いことが報告されている。しかしながら、東シナ海陸棚の真光層深度近傍出現する Chl.a 極大は衛星からの検出が困難であり、必ずしも水柱植物プランクトン現存量の指標とはなっていない。航海調査による Chl.a 鉛直観測例も多いが、そのほとんどは等深面、鉛直横断面の Chl.a 濃度分布あるいは鉛直観測値の最大値濃度に関するものであり、水柱植物プランクトン現存量としての解析は行われていない。これは水深や Z_e の分布幅が広いこと Chl.a の適切な鉛直積分区間の設定が難しいためと考えられる。

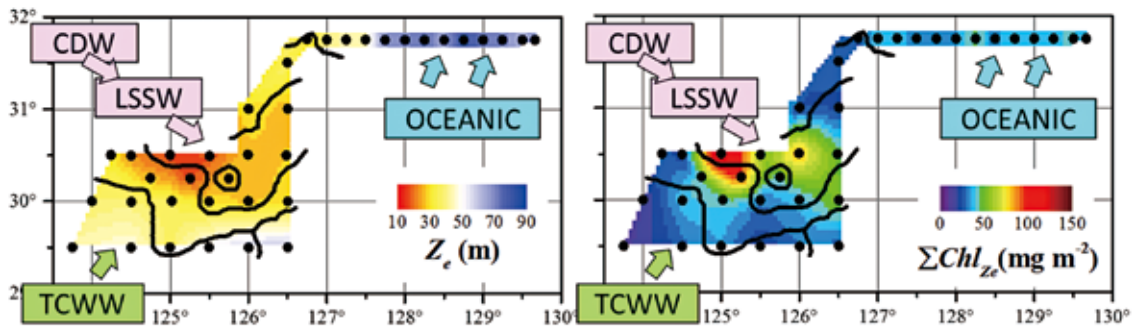


図 48 2007 年 6 月の東シナ海調査海域の真光層深度 (左) と真光層内 Chl.a 鉛直積分値 (右)。

本研究では、上記 (3) において予測した東シナ海陸棚および縁辺部の Z_e 水平分布と Chl.a の鉛直観測データを用いて、真光層内の Chl.a 鉛直積分 (ΣChl [mg m^{-2}]) の水平分布解析を行った (図 48)。その結果、 ΣChl は LSSW ($59 \pm 38[\text{mg m}^{-2}]$) > OCEANIC ($33 \pm 7[\text{mg m}^{-2}]$) > TCWW ($24 \pm 10[\text{mg m}^{-2}]$) の関係が認められた ($p < 0.01$)。LSSW で有意に高い ΣChl の存在が確認され、長江汚濁負荷の影響が CDW 水域を超えてその外縁水域にまで及んでいたことが示された。

(5) 渦鞭毛藻 *P.dentatum* の鉛直分布動態の実験的再現

初夏の東シナ海陸棚中央では、しばしば渦鞭毛藻 *P. dentatum* の優占的出現が観測されてきた。陸棚の *P. dentatum* は CDW 影響の強い海域で出現することが多く、また水深 10 ~ 30 m の密度躍層付近に観測されることが多かった。細胞密度は希に $> 1 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ ($\text{Chl.a} > 50 \mu\text{g L}^{-1}$) に達し、 ΣChl の 90% 以上を占めると解析された。*P. dentatum* 優占域の表層水は、栄養塩枯渇状態 ($\text{NO}_3\text{-N} < 0.1 \mu\text{M}$ あるいは $\text{PO}_4\text{-P} < 0.02 \mu\text{M}$) であることが多く、*P. dentatum* 群集維持は、底層水 ($\text{NO}_3\text{-N} > 5 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P} > 0.2 \mu\text{M}$) から供給される栄養塩に依存していると推察される。一方、*P. dentatum* が集積する密度躍層深度は真光層深度にも近く、増殖・群集維持の環境としては最適とは言えない。

ところで、鞭毛を有する遊泳性の植物プランクトンは、現場海域において日周鉛直移動 (Diel Vertical Migration, 以下 DVM) を行うことが知られている。表層栄養塩の枯渇した沿岸域では、DVM 機能を有する植物プランクトン種が昼間に表層、夜間に栄養塩の豊富な底層に移動することにより、1 日の中で光と栄養塩の両方を獲得し、珪藻などの DVM 機能を有しない植物プランクトンとの競合に勝ち、赤潮形成に至ることが報告されている。東シナ海に出現する *P. dentatum* が DVM を行っているならば、表層栄養塩が枯渇し密度躍層が真光層深度付近に存在する陸棚環境における優占化を、沿岸環境と同様に説明することができるかもしれない。しかしながら、鞭毛藻の DVM の有無や制御因子は種によって大きくことなり、*P. dentatum* に関する DVM 機能に関する知見はほとんどない。

そこで本研究では、*P. dentatum* の DVM 機能の検証と再現を目的として、国立環境研究所大型施設・海水マイクロコズムで回分培養を行い、昼夜の鉛直分布変化を計測した。海水マイクロコズム培養槽 (容積 1 立米、水位 1.2 m) の上部 2/3 容積に 95% 黒潮表層海水 (初期条件: 水温 = 22°C、塩分 = 33.2、($\sigma_T = 22.9$), $\text{NO}_3\text{-N} = 3.1 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P} = 0.17 \mu\text{M}$)、下部 1/3 容積に 100% 海水で調整した MNK 培地 (初期条件: 水温 17°C、塩分 = 34.5、($\sigma_T = 25.1$), $\text{NO}_3\text{-N} = 80.1 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P} = 2.78 \mu\text{M}$) を導入し、密度躍層を構築した (密度差 $\Delta \sigma_T = 2.2$ 、培養槽底面から 350 mm 高)。上層に東シナ海で単離した *P. dentatum* を初期濃度 $2.5 \times 10^2 \text{ cells/mL}$ で導入し、明暗 12 時間周期で培養を開始した (明期時刻 0600 ~ 1800、明期表層照度 $50 \mu\text{E/m}^2/\text{sec}$)。毎日 0900 に鉛直 5 層から栄養塩、抽出 Chl.a、検鏡用の試料を採取すると共に、培養槽内を約 40mm/分 で自動昇降する蛍光検出器 (Turner Designs、Cyclops) により Chl.a の鉛直分布を連続的に計測した。培養は増殖停滞期に至るまでの 18 日間行った。また 5 日目 1200 に槽内水温を上層 20°C ($\sigma_T = 23.4$)、下層 19°C ($\sigma_T = 24.6$) に変化させ、8 日目 1200 に初期条件に戻した。

図 49 に鉛直昇降蛍光検出器により計測した *P. dentatum* の培養槽内平均 Chl.a 濃度 (上) および相対鉛直分布の経時変化 (下) を示す。平均 Chl.a 濃度は 14 日目まで対数的に増加した (増殖速度 0.44/day)。14 日目以降は P 制限によ

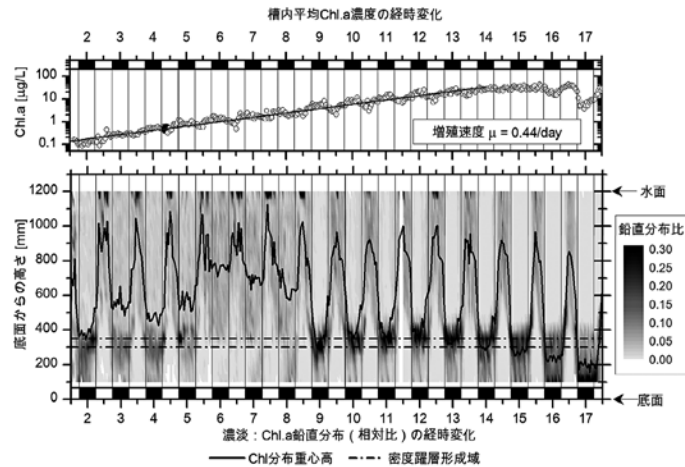


図 49 海水マイクロコズムを用いた *P.dentatum* の日周鉛直移動再現実験における槽内平均 Chl.a 濃度 (上) および相対鉛直分布位置 (下) の経時変化。

り増殖が停滞した (全層で $\text{PO}_4\text{-P} < 0.01\mu\text{M}$)。Chl.a 鉛直分布の経時変化は、本種が DVM 機能を備えることが明瞭に示した。明期開始時刻 0600 以降、速やかに水面方向に分布重心が移動し、1200 頃には水面付近の濃度が最大となった。1200 以降は、明期継続にもかかわらず、下降を開始し、暗期開始時刻 1800 頃には躍層付近に達した。しかしながら、培養槽内の最大上昇・下降速度は、100 ~ 140 mm/h と見積もられ、一日の鉛直移動距離は 1 m に満たなかった。DVM 実験中の培養槽内海水は静置条件であり混合の盛んな現場海域とは大きくことなるが、10 ~ 30 m 深に存在する *P. dentatum* が、日内に海面まで遊泳上昇する可能性は低いと考えられた。

本研究で着目すべきもう一つの結果は、暗期はそのまま躍層付近に集積し、培養槽底面まで下降することはなく、 $\sigma_T = 22.9$ (密度 = 1023 kg m^{-3}) の水塊に留まる現象である。細胞が集積した躍層の密度差は $\Delta \sigma_T = 2.2$ であった。*P. dentatum* と同じ渦鞭毛藻で日周鉛直移動を行う *Prorocentrum minimum* および *Heterocapsa triquetra* は $\Delta \sigma_T = 8.4$ (塩分差 = 11) の密度躍層でも躍層への集積が発生せず、*H. triquetra* では $\Delta \sigma_T = 13$ (塩分差 = 16) の条件で初めて密度躍層への集積することが報告されている²⁰⁾。したがって *P. dentatum* はきわめて弱い密度変化に対して応答し集積する特性を有していると考えられた。また上層水温を 22℃ から 20℃、下層水温を 17℃ から 19℃ に変更した 5 ~ 8 日目では暗期の下降と躍層への集積が弱まった。海水と細胞の比重差が本種の DVM や密度躍層への集積を制御する因子であることが示唆された。栄養塩制限で増殖が停止した 14 日目以降は、密度躍層下への移動、培養槽底部への集積が観察された。増殖停止・細胞の劣化によって密度躍層への集積特性が失われることが示唆された。

以上のことから、*P. dentatum* は DVM を行うが、その鉛直移動範囲は狭く、上層の光・下層の栄養塩の両方を獲得する生態機能としての効果は必ずしも高くないと考えられた。一方、*P. dentatum* の下方移動は極めて弱い密度躍層により制限を受けるために密度躍層下への沈降・拡散が抑制され、その結果として密度躍層上の現存量を維持していることが示唆された。したがって、*P. dentatum* が優占する鞭毛藻群の鉛直分布のモデル化・数式化では、DVM の精緻な再現よりも、むしろ密度躍層を介した沈降を抑制する項の導入が重要であると考えられた。

(6) 流動・生態系モデルの改良と再現精度の検証

陸域における人為活動により環境中に放出される水質汚濁負荷物質の量・質の変化が東シナ海的环境・生態系に及ぼす影響を予測することが可能な海洋流動・生態系モデルの開発を行った。本モデルは、2006 ~ 2010 年度に国立環境研究所で実施したアジア自然共生研究プログラムにおいて構築された流動・水質・底質・低次水界生態系モデル²¹⁾を基礎として、陸棚域の航海観測によって得られた流動場・水質場の再現精度向上を目指して改良されたものである。本プログラムで実施した流動・生態系モデルの主な改良は下記 4 点である。

- a) 鉛直混合スキームの導入 (上記 (2))
- b) 潮汐流の導入とモデルの高解像度化

- c) 水中光消散係数 (上記 (3))
 - d) 渦鞭毛藻の鉛直移動 (上記 (4))
- a) および b) は東シナ海陸棚域において特有の強い潮汐混合およびそれに支配される栄養塩の鉛直輸送・プロファイル、
c) および d) は渦鞭毛藻の密度躍層集積の再現精度向上を目的とした改良である。

本研究では解析対象領域を図 50(a) に示す東経 117.3 度～ 130.6 度、北緯 24.0 度～ 41.0 度の海面～ 1000 m 深とし、水平方向の解像度は東西 7.8 × 南北 7.4 km、鉛直方向は層厚 2 ～ 100 m の全 40 層とした。流動モデルは、静水圧・ブシネスク近似のプリミティブ系方程式で構成された 3 次元コロケート格子・レベル座標系モデルを用いた。鉛直混合スキームについては、前述 (2) において最も高い性能が示された Furuichi et al.¹⁴⁾ を使用した (改良 a)。気象条件には気象庁の JRA-55 再解析データを与え、海面の運動・熱フラックスは Kondo²²⁾ の手法で算定した。外洋の境界 (東端と南端) には、FRA-JCOPE2²³⁾ の日平均値の水温・塩分鉛直プロファイル、および潮汐流を発生させるために NAO.99b²⁴⁾ より得られる天文潮位を 1 時間ごとに与えた (改良 b)。また、長期計算を進めるにつれて本モデルの地衡流特性が実際と大きく外れないように、FRA-JCOPE2 再解析データを用いて水温と塩分の 3 次元ナッジング (TS 同化) を施した。生態系モデルは植物プランクトン態、デトリタス (懸濁有機) 態、溶存有機態および溶存無機態の炭素、窒素、およびりんを主な構成要素とし、植物プランクトンには珪藻と渦鞭毛藻の 2 種を設定した (図 50(b))。水中光消散係数については、前述 (3) で求められた回帰式²⁵⁾ を用いた (改良 c)。なお、回帰式の説明変数のうち、塩分とクロロフィル a 濃度については本モデルの予測変数に含まれているが、濁度については本モデルでは直接取り扱っていない。そこで、泥・シルト相当の無機鉱物粒子 (SS) の濃度を本モデルの予測変数として新たに加え、濁度と SS の相関関係を利用して濁度を求めた。渦鞭毛藻の鉛直移動については、前述 (5) のマイクロコズム培養実験で得られた知見を活用し、Stokes 則で海水密度 1023 kg/m³ に集積するように鉛直移動速度を設定した (改良 d)。なお、珪藻の鉛直移動については、渦鞭毛藻と比較して沈降が卓越するため、一定の沈降速度 3.0 m/day を与えた。水質の境界条件には、硝酸態窒素、りん酸態りん、ケイ酸態ケイ素、および溶存酸素については World Ocean Atlas 2009 (WOA09) の統計値を、その他については 1 つ内側における格子の計算値を随時更新しつつ与えた。長江流域からの汚濁負荷流出量についてはサブテーマ 1 の SWAT によるシミュレーション結果を用いた。高解像度の長期シミュレーションに対応するため、本モデルのプログラムコードをベクトル化・MPI 並列化し、国立環境研究所のスーパーコンピュータシステム (NEC SX-9/A (ECO)) 上で動作確認を行った (改良 b)。

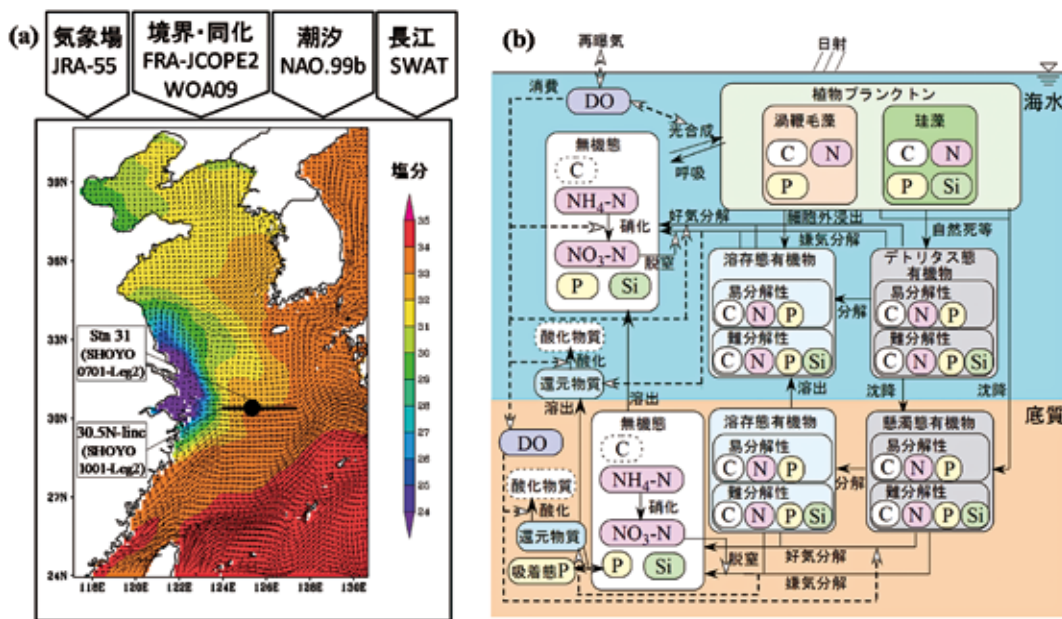


図 50 (a) 解析対象領域・解析条件および (b) 生態系モデルの概要

2000～2010年の11年間を対象として東シナ海における流動場・水質場の長期再現シミュレーションを実施し、これまで水産総合研究センター西海区水産研究所との共同航海調査で取得した現場観測データを用いて本モデルの再現精度を検討した(図51および図52)。改良a)およびb)によって本モデルの計算値は、東シナ海陸棚域特有の強い海底混合を良好に再現すること(図52(c))、溶存無機態窒素については下層で幾分誤差が見られるものの、強い海底混合による密度躍層以深の均質化や表層混合層内の枯渇状態が観測値と整合すること(図51(b)および図52(b))が確認された。また、改良c)およびd)によって本モデルのクロロフィルaの計算値は、表層混合層において過大評価の傾向

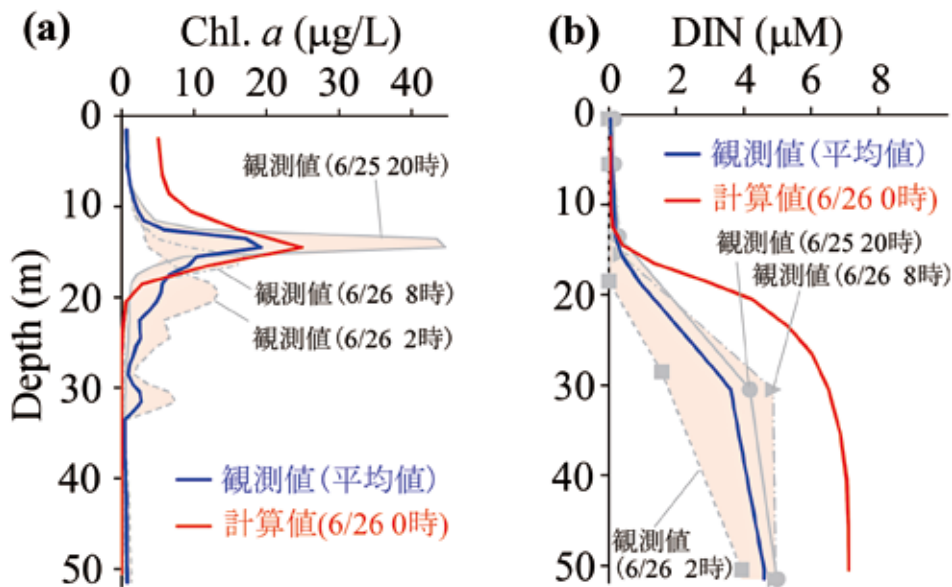


図51 Stn 31 (SHOYO0701-Leg2) における (a) クロロフィルa (Chl.a) および (b) 溶存無機態窒素 (DIN) の鉛直プロファイルの再現精度

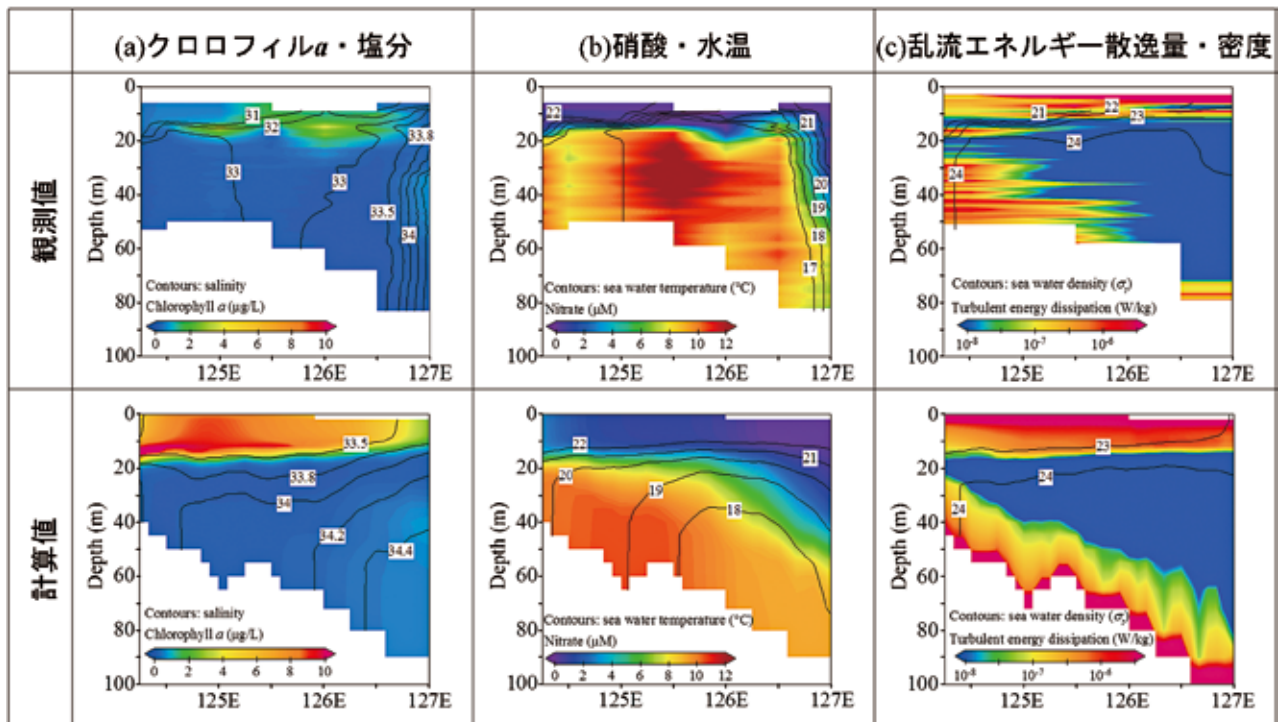


図52 30.5N-line (SHOYO1001-Leg 2) における (a) クロロフィルa・塩分、(b) 硝酸・水温、(c) 乱流エネルギー散逸量・密度の鉛直断面の観測値と計算値の比較

にある（図 51 (a) および図 52(a)）ものの、2007 年 6 月 25 ～ 26 日に観測された陸棚域中央（図 51 (a) の Stn 31）の渦鞭毛藻の垂表層ピークをうまく再現した（図 51 (a)）。

以上の結果より、東シナ海陸棚域における水質・一次生産の再現精度を高めるためには、物理的側面では潮汐による海底混合層の消長とそれに伴う栄養塩の鉛直拡散、生化学的側面では渦鞭毛藻の垂表層ピークへの集積を的確にモデル化することが重要であることが示された。一方、上述した渦鞭毛藻の鉛直移動に関するモデル化は、いまだ経験的要素が強く、鉛直移動の生存戦略に関する位置づけが依然として不明瞭であるため、今後更なる検討が必要である。

(7) 長江流入負荷の変化に対する東シナ海の応答について

近年の急速な経済発展に伴う長江流域からの栄養塩負荷の変化は、河口・沿岸域における渦鞭毛藻赤潮の頻発化の一因になっていると指摘されている²⁶⁾。初夏の東シナ海陸棚域においても、渦鞭毛藻の優占的出現がこれまでの航海観測で確認されており、年々頻発化していることが報告されている^{27,28)}。

本研究では、前述 (6) の流動・生態系モデルを用いて長江流域からの栄養塩負荷の変化が東シナ海陸棚域の一次生産、とくに初夏の渦鞭毛藻に及ぼす影響について基礎的な検討を行った。長江流域からの栄養塩の負荷形態の変化が東シナ海の一次生産に及ぼす影響を評価するため、次の 3 つの負荷条件で 2000 ～ 2010 年（スピンアップ期間：2000 ～ 2005 年）の解析を行った。前述 2.2.1 の SWAT を用いて再現した長江からの淡水流入量・負荷量を基準（control）とし、後半 5 年間（2006 ～ 2010 年）の窒素の負荷量のみを半減させたもの（N 削減）、および窒素とりんの双方の負荷量を半減させたもの（NP 削減）を負荷条件として設定した。いずれも気象条件には JRA-55、潮汐条件には NAO.99b、水温・塩分および栄養塩の境界条件にはそれぞれ FRA-JCOPE2、WOA09 を共通して与えた。

いずれの負荷条件においても初夏の陸棚中央の垂表層に渦鞭毛藻の優占的出現が現れた（図 53(a)）が、渦鞭毛藻の濃度は control が最も多く、次いで NP 削減、N 削減の順になる興味深い結果が得られた（図 53、図 54）。本解析において NP 削減より N 削減の方が陸棚中央の渦鞭毛藻への影響が強く現れた理由は次のとおりである。Control 条件の長江からの栄養塩負荷は N/P 比が顕著に高く、長江希釈水が支配的な海域の一次生産は P が栄養塩の律速になる。長江河口に近い海域においてまず比増殖速度が大きい珪藻が優占して栄養塩を消費するが、余剰の窒素は陸棚中央に輸送され、りんが豊富な台湾暖流からの水塊（窒素律速）と合わさって渦鞭毛藻の一次生産に寄与する。NP 削減では、窒素とりんの負荷量が減少するため、珪藻と渦鞭毛藻の一次生産がともに低下する。一方、N 削減ではりんの負荷量は変化

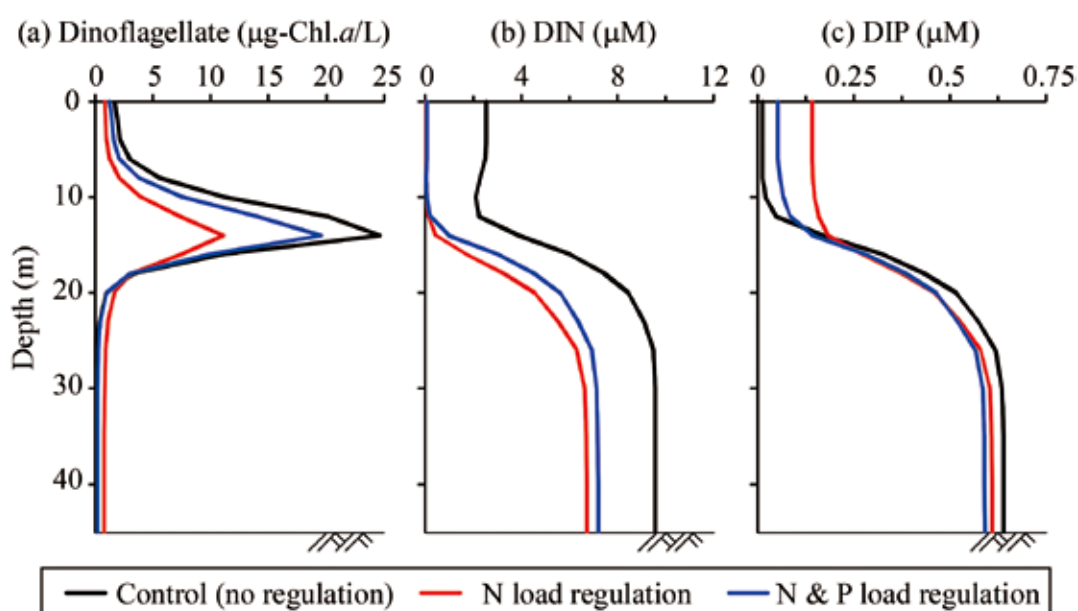


図 53 負荷削減に対する陸棚中央（東経 125 度 北緯 31 度）における (a) 渦鞭毛藻クロロフィル a (Chl. a)、(b) 溶存無機態窒素 (DIN)、(c) 溶存無機態りん (DIP) の鉛直分布の応答（負荷削減 5 年目 2010 年 7 月 1 日の計算値）

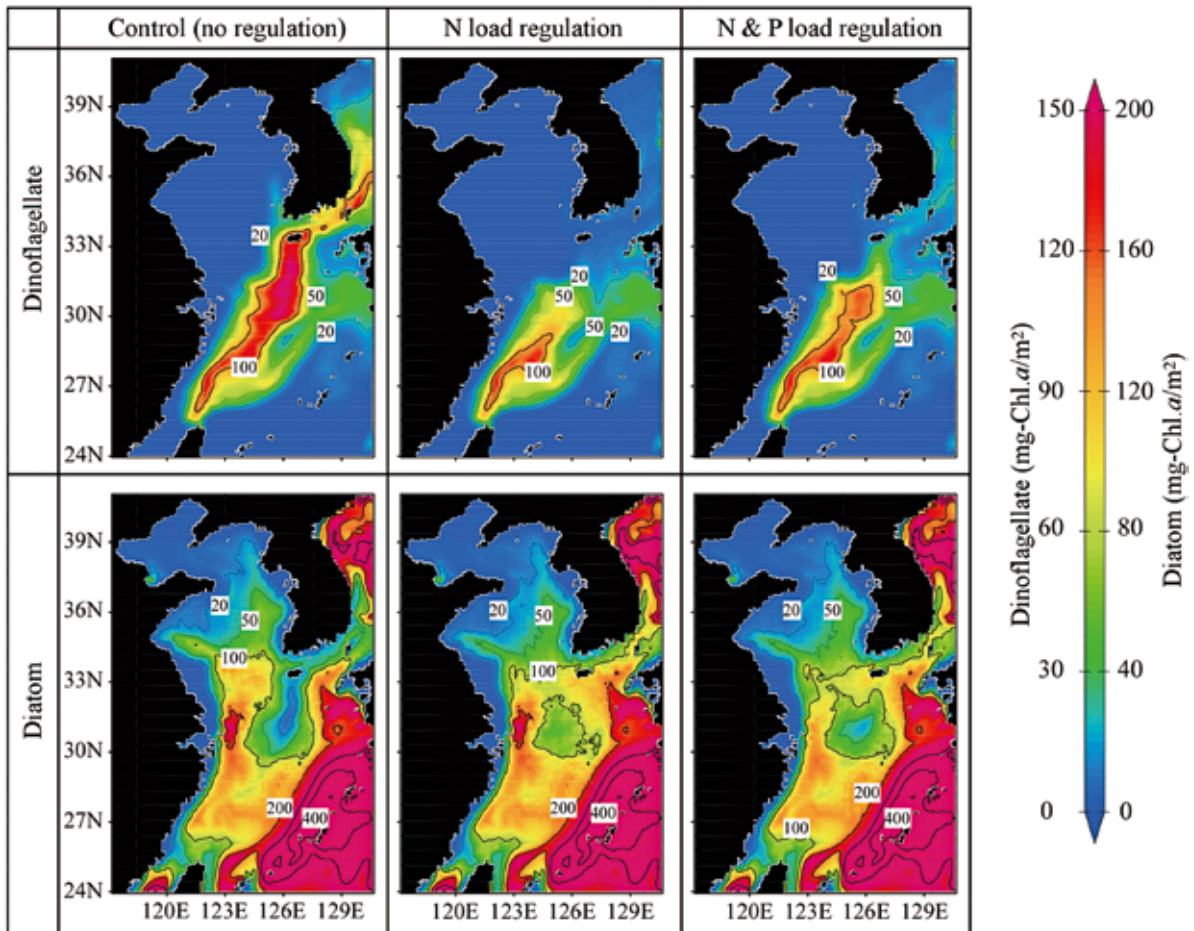


図 54 負荷削減 5 年目（2010 年）における 7 月平均の渦鞭毛藻および珪藻のクロロフィル a 鉛直積分値

しないため、長江河口に近い海域の珪藻の一次生産への影響は微小であるが、陸棚中央に輸送される余剰分の窒素が大きく減少するため、渦鞭毛藻の一次生産の低下に繋がったと考えられる。東シナ海陸棚の環境・生態系の保全・改善には窒素流入量の削減が重要であることが示唆された。

(8) まとめ

PJ2 サブテーマ 2「東シナ海陸棚域の生態系劣化機構の解明」は、長江経由の汚濁負荷流出に対する東シナ海低次生態系の応答評価ならびに近未来の予測を行うための精緻な流動生態系モデル開発を目的とした。低次生態系の生息場・水質場の基礎となる流動過程に関しては、航海調査による乱流観測及び Large Eddy Simulation 手法による乱流スキームの改良、流動モデルへの潮汐効果及び水温・塩分の再解析データの同化スキームの導入等を図った。植物プランクトンの生息場環境・動態については、流動モデルの改良による栄養塩供給過程の再現性の向上、観測データに基づく光合成有効照度の回帰式の構築、大型培養槽を用いた渦鞭毛藻の鉛直分布深度の規定条件の解析、それらの生態系モデルへの導入等を行った。その結果、第 3 期中期計画までのモデルを用いた計算（例：図 40）と比較して、東シナ海流動・低次生態系シミュレーションの再現性は大きく向上した（図 51）。特に東シナ海陸棚の水質・一次生産の評価や予測では、物理的側面では潮汐による海底混合層の消長とそれに伴う栄養塩の鉛直拡散、生化学的側面では渦鞭毛藻の垂表層ピークへの集積を的確にモデル化することが重要であることが示された。さらに陸域負荷削減による東シナ海環境の改善効果について検討するため、改良した東シナ海流動生態系モデルを用い、2006～2010 年を対象として長江経由の窒素・りんあるいは窒素負荷を半減させたシミュレーションを行った。全体的には負荷削減によって東シナ海における植物プランクトン増殖の抑制する結果となり、ひいては底層貧酸素や底質劣化の防止、水界・底質環境の改善による水産資源

の回復につながると考えられた。しかしながら、窒素・リンの両方を削減した場合、長江河口・沿岸域の植物プランクトン現存量が減少するものの、陸棚の渦鞭毛藻優占化に対する効果はわずかであった。陸棚の渦鞭毛藻増殖の抑制には窒素のみの削減が効果的であった。つまり、陸域負荷の窒素・リンバランスは、負荷総量とともに、東シナ海の植物プランクトンの広域分布や種組成に影響を及ぼしていると考えられた。したがって、陸域負荷削減による東シナ海環境管理方策の検討においては、例えば沿岸の水質改善のみに着目した負荷管理ではなく、沿岸～陸棚あるいは東シナ海全域の応答（一次生産の広域分布や植物プランクトン組成）にも着意した議論が重要であると考えられた。

2.2.3 陸域・海域統合環境管理に向けた陸域負荷削減シナリオの検討と海域環境の応答予測（サブテーマ3）

(1) 目的と経緯

中国では1970年代後半に始まる改革開放政策により市場経済へ移行し、急激な経済成長を遂げ、現在では世界有数の経済大国へ成長した。経済発展と共に工業・生活排水や農地における化学肥料使用量が急増し、長江の汚濁流下量・濃度は1990年代まで急増した（PJ2サブテーマ1（2.2.1節））。また東シナ海では、1990年代後半以降、陸域汚濁負荷を主な要因とする長江河口域の赤潮発生、陸棚域における渦鞭毛藻の優占化などが生じている（PJ2サブテーマ2（2.2.2節））。近年、中国政府は排水管理を強化するなど河川水質の環境保全対策を進めてきた。実際、長江下流の大通水文観測点における2000年から現在までの年平均汚濁流下量は、例えば硝酸態窒素（NO₃-N）では1980年代の約2.9倍と推計されるものの、明らかな上昇傾向にはない（PJ2サブテーマ1（2.2.1節））。しかしながら、中国経済は今後も持続的な成長が見込まれており、中国陸域の水質や海域への汚濁流出問題が終息に向かっているとは言えない。こうした経緯を背景として、本サブテーマ3では、将来の中国河川の水質や海域への負荷流出予測の基礎となる将来の水質汚濁負荷発生量の予測に関して、2030年までの近未来を対象として予測手法の開発ならびに予測を行うことを目的とした研究を行った。

水質汚濁負荷発生量は、経済・産業規模、産業構造の変化に依存する。また長江等の大河川の水質や海域への流出量は、産業の地理的な分布にも依存する。さらに中国政府の環境保全策の強化・転換は、負荷発生量や河川・海域への流入量を変化させる大きな要因となる。本サブテーマでは、国立環境研究所社会環境システム研究センターが開発した経済モデルAIM/CGE（Asia-Pacific Integrated Model / Computable General Equilibrium）により計算された2030年までの中国省別・産業部門別総産出額²⁹⁾を中国の経済・産業規模、産業構造の変化として与えることで、2030年までの水質汚濁負荷発生量の予測する手法を構築した。中国政府の環境保全策の影響に関しては、先ずこれまでの中国における排水管理規制の実績及び動向を解析した。現在の対策状況が継続するシナリオ、2030年までの実現が期待される保全強化策を反映させた2つのシナリオを設計し、それらのシナリオ間の負荷発生量抑制効果について比較検討した。さらにPJ2サブテーマ1及び2で構築した陸域・海域モデルを用いて、これらのシナリオにおける2030年の長江水質、海域への汚濁負荷流出量、東シナ海環境の応答の予測を行った。なお、東シナ海環境の予測に関する成果は、次節（2.3）において、大気経由の窒素沈着が東シナ海環境に及ぼす影響評価・予測とともに記載する。

(2) AIM/CGE を活用した水質汚濁負荷物質発生量の将来予測手法の開発

近年の中国における水環境問題は、急速な経済発展や都市化を起因とする人為的な水質汚濁負荷物質の排出量の急増が主因であると言われている³⁰⁾。陸域のみならず、海域の環境保全・改善をも視野に入れた統合的な環境管理を行うためには、まず基礎情報ともいえる陸域における水質汚濁負荷物質発生量を的確に予測する必要がある。上述のように、水質汚濁負荷物質の発生量は流域の社会経済と関連しているため、負荷発生量の将来予測は予想される将来の社会経済に即したものであることが求められる。本研究では、社会環境システム研究センターが開発したAIM/CGEモデルで予測された中国の社会経済指標を活用した水質汚濁負荷物質発生量の将来推計モデルを構築し、2030年までを対象として中国の水質汚濁負荷物質発生量を予測した。

経済活動に由来する水質汚濁物質の負荷量推計モデルでは式5により各省の負荷発生量を求めた。

$$wd_{r,j,t} = c_{r,j,t} \cdot x_{r,j,t} \quad (\text{式5})$$

ここに、 w_d :COD 発生負荷量、 c :COD 排出係数(mg/Chinese yuan (CNY))、 x :総産出額(CNY)である。なお、添え字 r 、 j 、 t はそれぞれ行政区分(省)、産業部門、年度を示す。

2002～2030年の中国の22省・4区・4市を対象として、これら行政区分(以下、省)別の産業由来のCOD発生負荷量を求めた。排出係数は可能な限り中国における2002年の統計資料(中国水資源公報、中国環境年鑑、中国統計年鑑)に基づいて設定した。ただ家畜や一人あたりのCOD発生原単位はデータの制約上、2011年の中国の原単位を用いた(“十二五”主要汚染物総量削減採算細則)。また農業系の面源(水田、畑、果樹園、山林)負荷については、中国の統一的原単位が整備されていないため³¹⁾、日本の単位面積当たりの発生負荷量(湖沼水質保全計画による)を活用した。産業別の年間域内総生産額は「環境研究総合推進費S-6、アジア低炭素社会研究プロジェクト」によって構築された従来発展型社会(CNV)シナリオ³²⁾によるGDP・人口変動に基づいた応用一般均衡モデルAIM/CGE [China]²⁹⁾(以下、経済モデル)による30省22産業部門(表4)の総産出額(x)を用いた。総産出額の値は2002～2010年は統計値であり、2010年より後についてはAIM/CGEの出力結果である。以上のCOD発生負荷量と同様の推計手法を用いて、TN、TPについても発生負荷量を推計した。総産出額はCODと同じ値を用いたが、排出係数についてはデータの制約上、日本の統計資料(先述の発生原単位、および環境省「平成23年度水質汚濁物質排出量総合調査」から整理した2010年の産業別排水濃度の実績値)からTN/COD、TP/CODを算出し、式5の c にそれぞれ乗じることによって求めた。本研究では対象期間における汚濁負荷対策技術の性能に変化はないものと仮定した。

2002年から2030年にかけて、中国の国内総産出額は33兆元/年から174兆元/年へと5.3倍に増加すると経済モデルにより推計されている。本研究によるCOD発生負荷量は0.86億トン/年から2.5億トン/年へと2.9倍に増加することが予測された(図55)。発生源別に見ると、農業系のCOD発生負荷量は0.63億トン/年から0.95億トン/年へと1.5倍の増加に留まっているのに対し、工業系は0.22億トン/年から1.5億トン/年へと6.6倍に急増した。その結果、2002年時点では農業系のCOD発生負荷量が全体の73%を占めるほど卓越していたが、2030年では工業系のCOD発生負荷量が農業系を上回り、全体の59%を占めるようになった。つまりCOD発生負荷量の削減策として工業部門を対象とした点源対策が効果的と考えられる。さらに工業系のうちCOD発生負荷量が多い上位3産業は、2002年、2030年ともに、製紙業(工業系の35、36%)、食料品・タバコ製造業(23、24%)、化学工業(17、16%)であり、2002年から2030年にかけてそれぞれのCOD発生負荷量は6.8、6.9、6.0倍の増加であった。

2002年時点の単位省面積当たりのCOD発生負荷量は、上海市が突出して高いことを除けば華東・中南地方の北部(山東省・河南省)において若干多い傾向が見られるものの、地域間に顕著な差は見出せなかった(図56(a))。それに対して2030年時点の単位省面積当たりのCOD発生負荷量は、上海市が突出していることには変わりはないが、華東・中南地方全域が他の地方よりも卓越して多いといった明瞭な分布傾向が認められた(図56(b))。この原因は華東・中南地方における2002～2030年の工業の成長が他の地方よりも著しいと推計されたためである。その結果、華東・中南地方では2002年から2030年にかけて工業系からのCOD発生負荷量が農業系を上回るほど急増し、2030年には多

表4 産業部門一覧

No	産業	No	産業	No	産業	No	産業
1	農業	7	製紙業	13	汎用・専用機械製造業	19	水道生産供給業
2	石炭採掘・選鉱業	8	石油精製	14	輸送用設備製造業	20	建設業
3	石油・天然ガス採掘業	9	化学工業	15	電子・通信設備製造業	21	運輸業
4	その他の鉱採掘・選鉱業	10	非金属鉱製品業	16	その他製造業	22	サービス業
5	食品製造業	11	金属製錬・圧延加工業	17	電力・熱供給業		
6	繊維工業	12	金属製品業	18	ガス生産供給業		

注) 22産業を3部門に統合する際はNo.1を農業、No.2～19を工業、No.20～22:その他の産業とする。

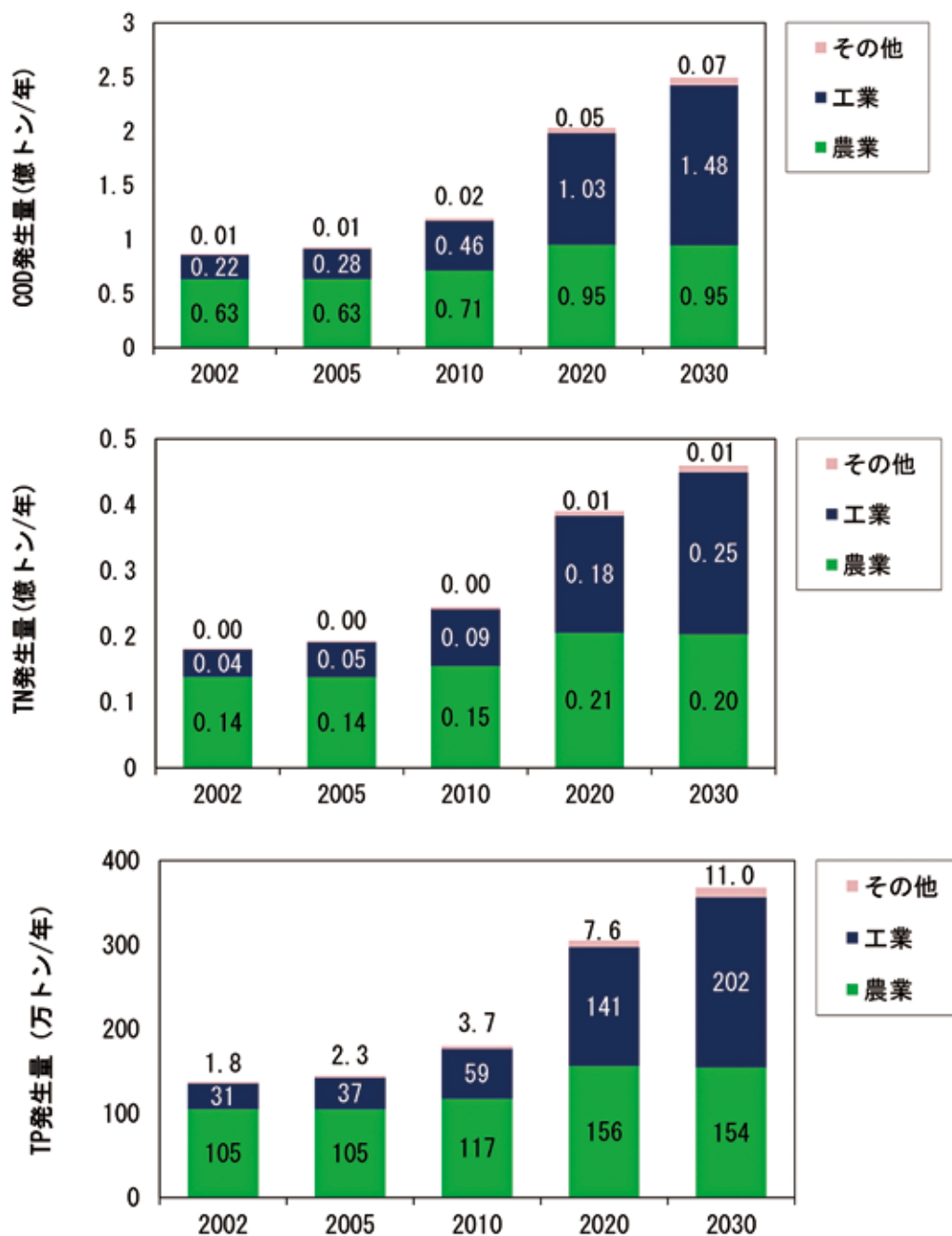


図 55 2002～2030年の中国全体の発生負荷量の推移予測結果

くの省において全産業のCOD発生負荷量のうち工業系の占める割合が30省の平均値(50.1%)を超えると予測された(図57)。さらに2030年における全国集計値に占める工業系CODの割合が59.2%と30省の平均値50.1%(中央値は47.2%)とで10%近くの差が生じることから、一部の省の工業系COD量が全国の工業系COD量を牽引していることを示唆している。つまり経済成長に伴う負荷の抑制策として、産業としては工業部門を、地域的には華東・中南地方における沿岸部とその内陸部を対象とした負荷抑制を重点的に行うことが先決といえる。

AIM/CGEモデルの出力を活用した将来負荷量予測手法を開発し、2002年から2030年の産業別発生量を推計した。その結果、今後も経済成長が見込まれる地方やその地方では2030年には工業系のCOD発生負荷量が農業系を大きく上回ると推計された。以上のことから当該地域の工業系を対象とした点源負荷の管理が今後重要になることが示唆された。つまり、経済モデル出力を用いた将来の負荷量推計によって将来的に負荷量の増加が見込まれる地域や産業を特定できることが示された。

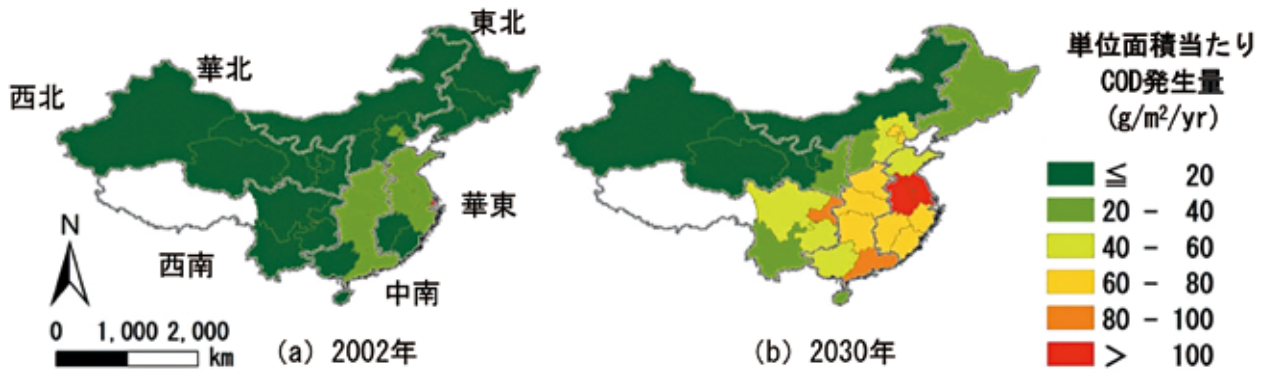


図 56 2002 年と 2030 年の COD 発生量の分布

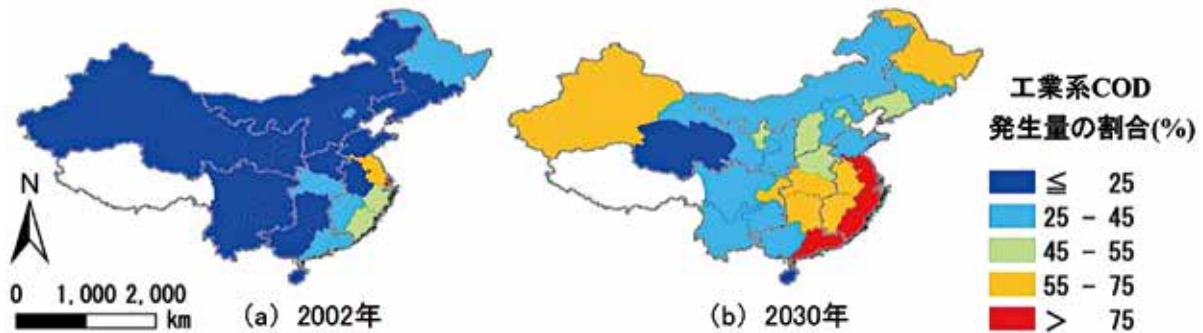


図 57 工業系からの COD 発生負荷量の割合 (%)

(3) 中国における排水管理規制の動向解析

1970 年代後半に始まる改革開放政策により市場経済へ移行し、急激な経済成長を遂げた中国は、現在では世界有数の経済大国となった。しかし同時に大気汚染や水質汚濁などの深刻な環境問題を経験した。その中で様々な環境保全対策が取られてきた。ここでは将来の中国大陸からの汚濁負荷を論ずる上で基盤となる、中国における水汚染防止に関連した法体系および排水管理規制の動向について概説する。なお、排水管理規制については代表的な太湖流域の水質保全計画をもとに概説する。

中国では憲法に環境保護の規程（第 26 条）があり、これを受けて環境保護法が制定されている。環境保護法は 2015 年 1 月に改正され、汚染物の排出に対して管理責任と排出責任がこれまで以上に明確に示された。環境保護法の下に水汚染防止法などの環境保護に対する個別法が続き、これらを基に行政法規が規定され、環境基準や排水水質基準などが国家環境標準として示されている。それぞれの国家環境標準には GB を頭文字とする番号が振られており、「GB シリーズ」と呼ばれる。国土が広大で地方差の大きい中国では地方の状況に沿った地方基準も一部で規定されており、頭文字が DB で始まる番号が附される。

排水規制管理に関する個別法は水汚染防止法であり、1984 年に施行された。その後 1996 年の改訂を経て、水質汚濁の進行に対応して 2008 年に全面的な改定が行われた。重要な改正点としては水質汚濁防止に対して排水の発生源別の対策が規定されたこと、法令違反に対する罰金が明確に示され処罰が強化されたことなどが挙げられる³³⁾。

排水水質基準は「污水総合排出基準」を基本として、污水の排出が想定される製紙業や食肉加工などのそれぞれの業種毎に基準が制定されており、状況に応じて更新、新業種の追加が行われている。

このように中国における排水管理規制に関する法体系を概観すると我が国とほぼ同等の体系が構築されている。しかしながら中国では「上に政策あり、下に対策あり（上有政策、下有対策）」という諺があり、上述したような法令整備が実際の対策の推進に繋がらない状況が長く指摘されてきた。中国の行政システムは省級、地級、県級、郷級それぞれの人民政府による階層構造になっており、規制行政についてはその効果が骨抜きにされる可能性も指摘されてきた。こ

のような状況を踏まえて2015年に改正された環境保護法では、第26条で県級以上の人民政府においては環境保護目標責任制と審査評価制度を導入し、審査結果を公表して行政の責任と環境保護の達成状況を明確化するとされた。また、第53条で各級人民政府は法に基づいて環境に関する情報公開を行い、国民参加のために必要な手を整備しなければならないとした。さらに、第58条では一定の条件を満たす団体は、環境汚染や生態系破壊により公共の利益を損なう行為に対し、訴訟を提起することができるとした³⁴⁾。

さらに、国家政策として重要な位置づけとなる、「水汚染防止行動計画(水十条)」が国務院より2015年2月に公表され、排水管理規制の強化と国家機関および各級政府の責任分担が明示された。本計画は国務院からの通知であるが、「現段階および今後一定期間における全国水汚染防止事業のガイドライン」とされ、公表を受けて既に多くの地方政府から具体的な事業計画が示されている。この様に「下の対策」への対応が進みつつあるように見えるが、現在の中国の政治情勢から見れば実効性には不透明な側面が随伴する。

次に排水管理規制の実態を太湖流域の水質保全計画を例として概観していく。太湖は上海市から100 km程度西方に位置し、南北の長さが68.5 km、東西の長さが34 km、水面面積は2,338 km²と大きく、平坦地に出来た浅く広大な水たまりを想像させる中国第三の大きさの湖である。太湖は1996年からの第9次5ヶ年計画において、水質汚濁の進行が深刻で重点的な水環境改善が必要な水域と指定された淮河、遼河、海河の三河川および太湖、滇池、巢湖の三湖沼を称した三河三湖の一つであり、中国政府が最も対策に力を入れた水域であった。その理由は太湖流域が経済成長の著しい長江デルタ地帯にほぼ全域が含まれ、汚濁物質の流入量が多く、かつ湖水滞留時間が1年以上の閉鎖性が強く、水質汚濁の影響を受けやすい湖であったこと、歴史的な背景から非常に有名な湖で国民の関心が高いことが考えられる。

太湖では1997年～2000年に太湖水汚染防治「九五」計画(九五計画)が実施され、排水管理規制に対する本格的な取り組みが開始された。2008年からは湖水を水道水源としていた無錫市でアオコの異常増殖による飲用水供給危機の発生を受け、従来の発生源規制強化のみでなく、産業構造等の低環境負荷型への転換を含めた太湖流域水環境総合治理総体方案(総体方案)が開始され、2015年に短期計画期間が終了している。

総体方案に示された流域管理の概念と排水管理規制の構造を図58に示す³⁵⁾。汚染物質排出量削減では主要な発生源に対して並行する課題として、「産業構造の調整」、「都市構造の改善」、「第3次産業の育成」が示されており、従来の排水管理規制の考えを発展させた概念が示された。無錫市は太湖流域の主要都市であるが総体方案を受けて具体的な事業計画を公表している。その中で工業セクターでの対応として、成長モデルの転換、クリーナープロダクションの推進、郷鎮系企業の取捨選択と工業団地への集約化などが示されている。同様に農業でも小規模農業の集約による大規模化(企業経営への転換)が示されている³⁶⁾。また総体方案では事業の実効性を確保する「管理・監督責任」や「検証」に

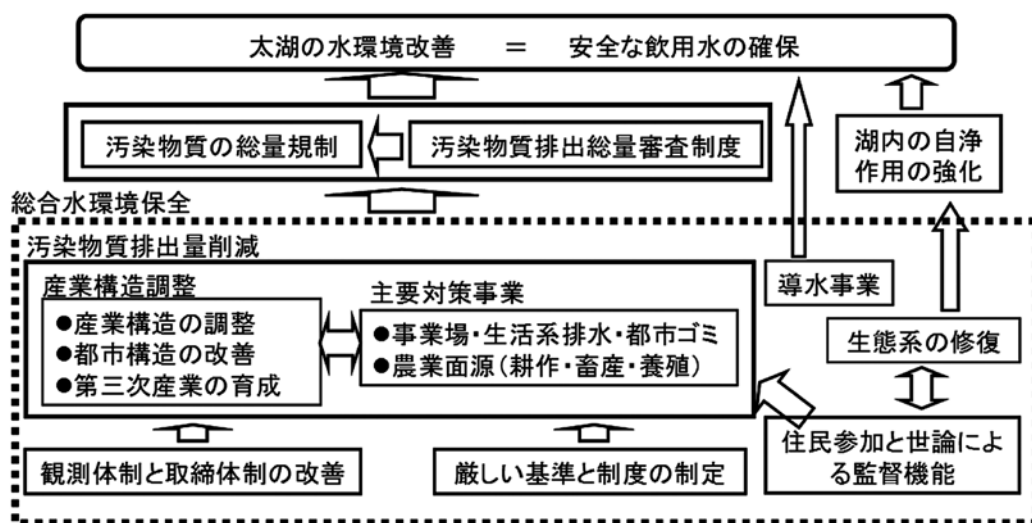


図58 総体方案による太湖における流域管理の概念と排水管理規制の構造

ついでに考え方が示されている。特に重要な点は、①総量規制を徹底するための「濃度審査」、②事業実施に対して各級政府それぞれの責任を明確化し、審査および問責制度に言及している事、③排出権取引などの市場原理および公衆参加を促し、世論による監督機能を活用することが明示された事である。

このように中国では少なくとも法制度において排水規制と管理に関する法令や政策等が整備されつつあり、環境保護部の公開情報では主要河川の水質は改善されつつある^{37,38)}。しかし、上述したように排水管理規制には産業構造調整など経済状況に依存している側面もあり、その影響を留意しなくてはならない。特に人口の半数近くが居住する農村域では農村都市化政策にリンクして今後の排水管理規制を推進する政策が前述の水十条に示されており、経済状況によって、これらの政策の停滞も考えられる。産業構造調整に関して農業の集約化では特に畜産業の大規模化が急激に進んでいる。集約化により経済効率を高め、排水管理の効率も高める経済と環境の Win-Win を目論んだ政策といえる。最近では GB シリーズとして畜産排水に対する排水水質基準が規定されているが、排水管理の側面が軽視されれば、汚濁負荷が増大しかねない。畜産排水処理について従来はメタン発酵処理が主流であり、液状の発酵残渣は肥料として農耕地へ散布されてきた。耕畜連携であるが、耕地の確保には地域差が大きい。したがって排水の更なる処理が必要となる。中国では有機農業の隆盛もあり、有機肥料である堆肥の需要が高まっているので³⁹⁾、今後はメタン発酵処理に変わって堆肥化処理が主流になると考えられる。この場合、地域によっては耕畜連携が成り立たずに尿汚水の処理が必要となる。確かに排水水質基準は規定されているが、それに見合う十分な処理技術が存在しているかという大きな問題があるように見受けられる。もし、処理技術開発が排水管理規制と同時並行で実施されるようであれば、今後の一定期間において畜産排水は大きな汚濁負荷源と成り得る。

中国における将来の汚濁負荷排出量を検討する上では対策技術や対策オプションに関する検討はもちろん重要であるが、中国のような計画経済を基本とした国では、国の 5 ヶ年計画が様々な施策に与える影響を考慮する必要がある。中国では 1996 年に開始された第 9 次 5 ヶ年計画から水質汚濁物質として COD の削減目標が掲げられたが、目標が達成されたのは削減目標の達成を担当行政官の人事考査に加える拘束性指標とした第 11 次 5 ヶ年計画期間（2006 年～2010 年）からで、続く 2011 年～2015 年までの第 12 次 5 ヶ年計画期間でも達成が継続された。また、排水管理規制に関して中央の政策を地方の下部組織まで質を保って浸透させるために環境保護法の改正や水十条の制定が行われ、その効果が期待されている。一方で 2000 年代に激しい水質汚濁による住民被害を経験した淮河流域の農村地域では地域の経済発展と環境の改善を両立するために NGO が仲立ちとなって排水管理に関する情報公開を企業から積極的に進めた事により、加害者と被害者の関係を越えた地域住民と企業の共存関係が強化された事例も報告されている⁴⁰⁾。したがって、今後の汚濁負荷を検討する上ではこのような我が国では考えにくい、あるいは経験したことのないインセンティブが汚濁負荷削減に作用する事実も踏まえた検討が必要と考える。

(4) 対策（負荷削減）シナリオの設定とその効果予測

長期環境保全・改善に向けた陸域・海域統合環境管理を行うためには、今後の経済成長によって陸域の水質汚濁負荷発生量がどれだけ増えるのか、どのような負荷削減策が有効であるのか、それによって陸域の負荷発生量、ひいては海域への負荷流入量がどう変化するかを予測する必要がある。(2) で述べたとおり、2030 年の中国における COD 発生負荷量は現在の 2.9 倍に増加すると予測された。この結果は、水処理技術が現在の状況と変わらないことを前提としたものであり、将来の中国社会における最大の負荷発生量と見なすことができる。本研究では、この将来の負荷発生量が具体的にどこまで削減可能であるかを議論する。具体的には、将来の中国社会において産業系の水処理に現在の日本の技術が普及した場合を想定し、その条件の下で将来の負荷発生量を推計する。ここでは、この負荷推計条件を対策シナリオ (JPN)、比較対象である (2) の条件をなりゆきシナリオ (BaU) と呼称する。日本の排水処理技術は、高度経済成長にともなって著しく悪化した水質を大きく改善した実績があること⁴¹⁾、現在中国の環境部門への技術移転が盛んであること⁴²⁾ から、将来の中国社会において有効かつ実現可能な対策になり得るものと推察される。さらに、中国政府が定めている排水基準が達成されたとき (便宜上、CHN シナリオと呼ぶ) の発生負荷量を求め、推計結果の比較を通じて、中国政府が目標に掲げている水環境施策に対して JPN による負荷削減がどれくらい有効であるかを考察する。

JPN および CHN シナリオの負荷推計には、BaU と同様に、式 5 および AIM/CGE [China] の省別産業別産出額の予測値を用い、排出係数を次のようにシナリオごとに設定した。JPN シナリオの COD 排出係数は、日本の統計資料に基づき、工業系は環境省「平成 23 年度水質汚濁物質排出量総合調査」から整理した産業別排水濃度の 2010 年の実績値を、その他の産業は国土交通省「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」の値を用いた。CHN シナリオでは、工業系は中国の排水基準である「污水総合排出基準」の最も厳しい第一級基準⁴³⁾を、9 産業（2 石炭採掘・選鉱業、4 その他の鉱採掘・選鉱業、5 食品製造業、6 繊維工業、7 製紙業、8 石油精製、9 化学工業、11 金属製錬・圧延加工業、12 金属製品業、数字は表 4 の産業番号を意味する）については業種別排水基準の厳しい値を参照した。農業およびその他の産業については、工業系のような排水基準が具体的に設定されていないため、BaU シナリオで用いた第 12 次 5 ヶ年計画で設定された原単位および日本の面源原単位を用いた。TN、TP の排出係数については、JPN では COD の排出係数と同じ日本の統計資料の原単位・排水濃度を、CHN については個々に排水基準が設定されているのでそれらを用いた。

2030 年の中国全体における JPN の COD 発生量は、BaU の 2.5 億トンに対して、1.2 億トンとなり、BaU の 52% に相当する 1.3 億トンの削減ポテンシャルが見込まれた。BaU と JPN の農業、工業、その他の産業別発生量を比較すると、農業は BaU の 0.95 億トンに対して JPN は 0.93 億トン、工業では 1.5 億トン (BaU) に対して 0.25 億トン (JPN)、その他は 0.07 億トン (BaU) に対して 0.02 億トン (JPN) となり、とくに工業部門での削減効果が高い (図 59)。これは将来の工業系の経済比率が高くなると同時に、BaU と JPN の排出係数に大きな差がある、すなわち工業系の対策効果が大きいことに起因する。なお、図 59 において CHN の農業とその他 (建設業、運輸業、サービス業) の発生量が BaU と同じ値になる原因は、前述のとおり、データの制約上、農業およびその他の産業の排出係数が BaU と同じ値を用いたためである。

CHN シナリオの COD 発生量は中国全体で 1.3 億トンとなり、わずかながら JPN よりも上回る推計結果となった。省別に見ても、全ての省において JPN の削減ポテンシャルは CHN を上回っており (図 60)、とくに域内産出額の高い東部沿岸部や華東・中南地方で顕著であった。これらの結果は、日本水準の技術が普及した場合、総発生量の視点からは中国政府が掲げる目標が全ての省で達成可能であることを示唆するものである。

中国における水質汚濁負荷の効果的な削減策を検討するため、将来負荷シナリオを構築し、シナリオ毎に 2030 年までの発生負荷量を産業別省別に予測した。その結果、将来的に工業部門が産出額の多くを占めると予測される中国では、日本の標準的な技術が普及することで工業系の発生量を大幅に抑制できること、さらにその値は中国の最も厳しい排水基準を全国総量および省別総量で満たすことが示された。

(5) 長江流域からの汚濁負荷流出量の将来変化予測

東アジアにおける陸域・海域統合環境管理に資する基礎的知見を得ることを目的として、将来シナリオに基づいて求められた産業系からの水質汚濁負荷発生量の変化が長江流域からの栄養塩流出量および東シナ海的环境・生態系に及ぼす影響を、2.2.1 節および 2.2.2 節で構築した陸域水・物質循環モデルおよび海洋流動・生態系モデルを用いて、定量的に予測した。

前述の (2) および (4) で求めた将来シナリオの負荷発生量を参考にして、陸域水・物質循環モデル SWAT を用いて中国 GDP が約 7 倍に成長した 2030 年の長江流域から東シナ海への栄養塩流出量を予測した (図 61)。なお、降水をはじめとする気象条件および土地利用条件には 2.2.1 の再現計算で用いた 2000～2010 年のデータを与えた。なりゆきシナリオ (BaU) における TN および TP の年間流出量は、それぞれ現在 (2005 年) の約 1.9、1.7 倍になり、N/P 比 (モル比) は 38 から 43 へと増加した。一方、対策シナリオ (JPN) では TN および TP の年間流出量は現在の約 1.0、1.2 倍に留まり、N/P 比も 38 から 30 とわずかながら改善が見られた。

得られた SWAT の TN・TP 流出量を海洋流動・生態系モデルに与え、東シナ海的环境・生態系の将来変化を予測した。海洋環境・生態系の将来予測はプロジェクト 1 と協働して大気窒素沈着の影響も加味して行ったため、その結果と考察については 2.3.2 で詳述する。

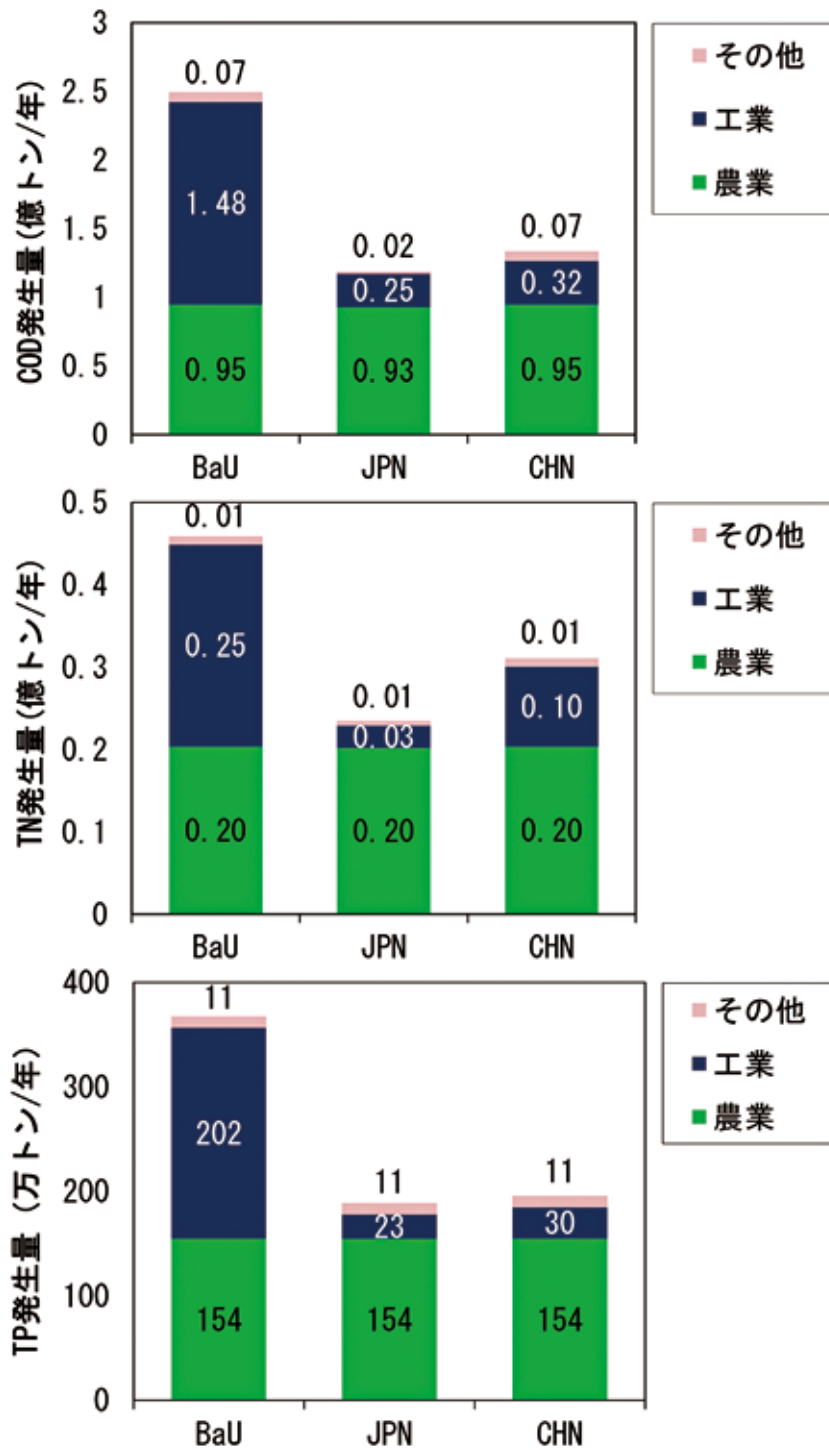


図 59 2030年のシナリオ別負荷発生量



図 60 CODの削減ポテンシャル

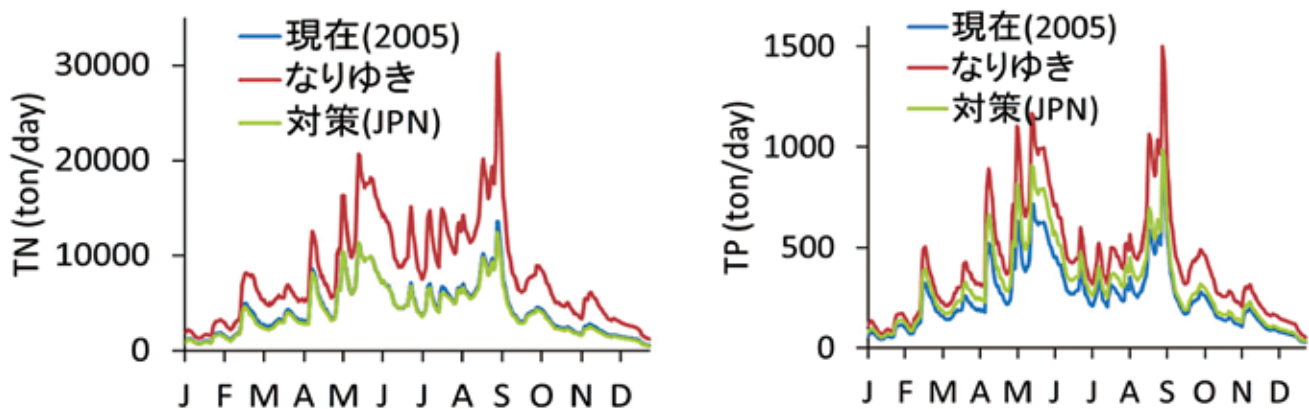


図 61 将来シナリオに基づく長江流域から東シナ海への TN・TP 流出量予測結果

(6) まとめ

東アジアの広域海洋環境の保全・改善の施策検討の基礎として、経済モデル AIM/CGE による中国省別・産業別総産生額の将来予測を入力条件とした中国陸域の水質汚濁負荷の発生量ならびに長江経由の東シナ海への汚濁流出量の予測手法の開発、ならびに 2030 年までの陸域・海域環境の予測を行った。将来予測シナリオとして中国政府が第 12 次 5 年計画等で産業別に設定した排水規制を完全達成する「中国規制達成シナリオ」(CHN) ならびに現在の日本の水準まで各産業の排水処理技術が進んだ「日本水準シナリオ」(JPN) を設計し、これらの対策シナリオの効果を基準シナリオ (BaU) 評価した。

AIM/CGE によると 2030 年における中国産業の総産出額は、現在(2000 年代前半)の約 4 倍に達すると予測されている。この経済成長条件において、現在の排水処理レベルを条件としたケース (基準シナリオ BaU) では TN、TP 発生量はそれぞれ 2.4 倍、2.5 倍に増加すると推算された。それに対して日本水準シナリオ (JPN) では、TN、TP 発生量がそれぞれ 1.2 倍、1.3 倍の増加に留まり、日本並みの点源負荷削減技術が普及すれば、今後の急増することが見込まれる工業系の負荷を十分抑制できる上、中国政府が掲げる基準・目標を概ね達成できることが示唆された。これら負荷発生量の予測結果を水物質循環モデルに入力した結果、2030 年の長江経由で東シナ海に流出する TN・TP 負荷量は、BaU では現在の約 1.9 倍、JPN では約 1.1 倍と推計された。得られた流出負荷を 3 次元流動・生態系モデルに与えて東シナ海の水質・低次生態系シミュレーションを行った。海域の結果は次章 2.3 において詳述する。

引用文献

- 1) 中国国家海洋局 (2010) 2010 年中国海洋環境状況公報 (<http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyhjzjlg/>).
- 2) 顧宏堪ら (1982) 長江河口附近窒素の地球科学 II—長江河口附近海水中的亜硝酸塩及びアンモニウム (中国語), 山東海洋学院学報, 2, 31-38.
- 3) Duan S., Zhang S., Chen X. (2000) Concentrations of nitrogen and phosphorus and nutrient transport to estuary of the Yangtze River, Environmental Science (in Chinese), 21 (1), 53-56.
- 4) Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J. R. (1998) Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model Development, J. American Water Resour. Assoc., 34 (1), 73-89.
- 5) Howarth R.W. et al. (1996) Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influences, Biogeochemistry 35, 75-139.
- 6) Arnold J.G., Fohrer N. (2005) SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling, Hydrol. Process., 19 (3), 563-572.
- 7) USDA-SCS (US Department of Agriculture, Soil Conservation Service) (1972) National Engineering Handbook, Hydrology

section. Chapters 4–10.

- 8) Sloan P.G., Moore I.D. (1984) modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds, *Water Resour. Res.*, 20 (12), 1815–1822.
- 9) Monteith J.L. (1965) Evaporation and environment. In *State and Movement of Water in Living Organisms*. Proc. 19th Symp, Society of Experimental Biology, 205–234. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- 10) Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E. (2008) Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>).
- 11) Wang Q-X., Koshikawa H., Liu C., Otsubo K. (2014) 30-year changes in the nitrogen inputs to the Yangtze River Basin, *Environ. Res. Lett.*, 9 (115005), 1–12.
- 12) 王勤学 (2014) 長江流域における汚濁負荷発生量の空間分布変動に関する研究, 国立環境研究所ニュース, 33 (5), 6–8.
- 13) Wang Q-X, Xiao Q-A, Liu C. (2011) Effect of reforestation on nitrogen and phosphorus dynamics in the catchment ecosystems of subtropical China: the example of the Hanjiang River basin, *J. Sci. Food. Agr.*, 92, 1119–1129.
- 14) Furuichi N., Hibiya T., Niwa Y. (2012) Assessment of turbulence closure models for resonant inertial response in the oceanic mixed layer using a large eddy simulation model, *J. Oceanogr.*, 68, 285–294, doi:10.1007/s10872-011-0095-3.
- 15) Furuichi N., Hibiya T. (2015) Assessment of the upper-ocean mixed layer parameterizations using a large eddy simulation model, *J. Geophys. Res.*, 120, 2350–2369.
- 16) Morel A. (1988) Optical modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (Case-I waters), *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 93, 10749–10768.
- 17) Devlin M.J., Barry J., Mills D.K., Gowen R.J., Foden J., Sivyer D., Greenwood N., Pearce D., Tett P. (2009) Estimating the diffuse attenuation coefficient from optically active constituents in UK marine waters, *Estuarine Coastal And Shelf Science* 82, 73–83, doi:DOI 10.1016/j.ecss.2008.12.015.
- 18) Gong G.C. (2004) Absorption coefficients of colored dissolved organic matter in the surface waters of the East China Sea, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15, 75–87.
- 19) Sasaki H., Siswanto E., Nishiuchi K., Tanaka K., Hasegawa T., Ishizaka J. (2008) Mapping the low salinity Changjiang Diluted Water using satellite-retrieved colored dissolved organic matter (CDOM) in the East China Sea during high river flow season, *Geophysical Research Letters*, 35, 6, doi:10.1029/2007gl032637.
- 20) Jephson T., Fagerberg T., Carlsson P. (2011) Dependency of dinoflagellate vertical migration on salinity stratification, *Aquatic Microbial Ecology*, 63 (3), 255–264.
- 21) 国立環境研究所 (2011) 国立環境研究所特別研究報告 SR-99-2011 アジア自然共生研究プログラム (終了報告) 平成 18 ~ 22 年度, 106p.
- 22) Kondo J. (1975) Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions, *Bound.-Lay. Meteorol.*, 9, 91–112.
- 23) Miyazawa Y., Zhang R., Guo X., Tamura H., Ambe D., Lee J.S., Okuno A., Yoshinari H., Setou T., Komatsu K. (2009) Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, *J. Oceanogr.*, 65, 737–756.
- 24) Matsumoto K., Takanezawa T., Ooe M. (2000) Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: a global model and a regional model around Japan, *J. Oceanogr.*, 56, 567–581.
- 25) Koshikawa H., Higashi H., Hasegawa T., Nishiuchi K., Sasaki H., Kawachi M., Kiyomoto Y., Takayanagi K., Kohata K., Murakami S. (2015) Assessing depth-integrated phytoplankton biomass in the East China Sea using a unique empirical protocol to estimate euphotic depth. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 153, 74–85.
- 26) Tang D.L., Di B.P., Wei G., Ni I.H., Oh I.S., Wang S.F. (2006) Spatial, seasonal and species variation of harmful algal blooms in the South Yellow Sea and East China Sea, *Hydrobiologia*, 568, 245–253.
- 27) 越川海, 東博紀, 岡村和麿 (2007) 長江経由の栄養塩負荷が東シナ海の海洋生態系に及ぼす影響. *電気評論*, 92 (9),

72-75.

- 28) 清本容子, 長谷川徹, 五味泰史, 佐々木宏明, 西内耕, 岡村和磨, 越川海, 東博紀, 秋山秀樹, 中田英昭 (2012) 東シナ海北部大陸棚域における長江希釈水中の栄養塩環境の変遷 - 長江からの栄養塩負荷変動と植物プランクトン生態系の関連 -, 海と空, 88 (3), 39-50.
- 29) Dai H., Mischke P., Xie X., Xie Y., Masui T. (2016) Closing the gap? Top-down versus bottom-up projections of China's regional energy use and CO₂ emissions, *Applied Energy*, 162, 1355-1373.
- 30) Jiang Y. (2015) China's water security: Current status, emerging challenges and future prospects, *Environmental Science & Policy*, 54, 106-125.
- 31) 治多伸介, 須戸幹, 江口定夫, 大久保卓也, 黒田久雄, 武田育郎, 藤原拓, 山本忠男, 人見忠良, 白谷栄作, 横田久里子, 井上隆信 (2015) 水田からの窒素, リン, COD 流出負荷量の実態と課題, *水環境学会誌*, 38, 81-91.
- 32) Kawase R., Matsuoka Y. (2013) Reduction targets under three burden-sharing schemes for 50% global GHG reduction toward 2050, *Energy Policy*, 63, 1126-1138.
- 33) 孫佑海編著 (2009) 中国最新研究レポート「日本企業のための中国環境法詳解 (2009年版)」, 神鋼リサーチ (株).
- 34) 岡村志嘉子 (2014) 中国の環境保護法改正, *外国の立法*, 262, 139-154.
- 35) 水落元之 (2010) 太湖流域の水環境保全計画の展開と課題, 大塚健司編, 中国の水環境保全とガバナンス - 太湖流域における制度構築に向けて -, 研究双書 No. 588, アジア経済研究所, 35-79.
- 36) 水落元之 (2013) 太湖流域における水環境保全事業の展開と課題, 大塚健司編, 中国太湖流域の水環境ガバナンス - 対話と協働による再生に向けて -, 研究双書 No. 602, アジア経済研究所, 27-75.
- 37) 水落元之, 久山哲雄, 小柳秀明 (2011) 中国の水環境および下水処理場の現況について, *環境技術*, 40, 746-750.
- 38) 水落元之, 久山哲雄, 小柳秀明 (2014) 中国における都市下水処理の状況について, *環境技術*, 43, 366-370.
- 39) 王赫璐, 吉田義明 (2015) 中国の有機農業における有機質供給と経営形態の発展に関する研究 - 北京市と山東省の事例に見る経営発展論理 -, *食と緑の科学*, 69, 25-34.
- 40) 大塚健司 (2015) 中国の水汚染被害地域における政策と実践 - 淮河流域の「生態災難」をめぐって -, 大塚健司編, アジアの生態危機と持続可能性, 研究双書 No. 616, アジア経済研究所, 237-274.
- 41) Luo P., He B., Takara K., Razafindrabe B.H.N., Nover D., Yamashiki Y. (2011) Spatiotemporal trend analysis of recent river water quality conditions in Japan, *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 2819-2829.
- 42) Lacour P., Figuiere C. (2014) Environmentally-friendly technology transfers from Japan to China: an empirical analysis using patent data, *Journal of Innovation Economics & Management* 15, 145-169.
- 43) 中国環境保護部. 排水基準一覧. <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/shjbh/swrwpfbz/>.

2.3 大気・海洋モデルを統合した東シナ海環境の将来予測（プロジェクト1、2連携）

(1) 目的と経緯

急速な経済成長を続けている東アジアでは、様々な人間活動を通して環境に負荷を与える物質が排出され、その結果として、健康被害をも引き起こす深刻な大気汚染や水質汚濁が各所で発生している。近年の中国をはじめとしたアジアの大都市域における深刻な微小粒子状物質（PM_{2.5}）の高濃度インシデントに関連してわが国においても多くの人々に認識されてきたように、東アジアにおける近年の環境汚染は、決して特定の国の内部で完結する問題ではなく、環境負荷物質が大気や海洋の循環に伴って広域に輸送されるため、わが国を含めた複数国にまたがる大気環境問題、水（海洋）環境問題としてとらえる必要がある。また、大気環境問題と水環境問題とがそれぞれ独立ではなく、密接に関連することによって複合的な環境問題が発生している場合のあることにも注意が必要である。本研究プログラムでは、そのような問題の中でも、2.1節に示した東アジアのマルチスケール大気汚染の研究と、2.2節に示した東シナ海・日本近海の海洋環境に対する人為影響の研究をベースにして、大気環境と陸域・海洋環境問題に共通した環境負荷物質である反応性窒素に着目し、東シナ海の海洋環境変動や将来予測に関する研究を行った。東シナ海を取り巻く環境を考えた場合、反応性窒素としては、農業をはじめとする様々な人間の経済活動に伴って硝酸イオン（NO₃⁻）やアンモニウムイオン（NH₄⁺）として長江などの河川に排出されたものが流域圏で集積されて東シナ海に流入していくものに加えて、同じく人間の各種活動により NO_x や NH₃ といったガスとして大気に排出された後に大気中での化学反応を受けて粒子化するなどして東シナ海に沈着するものがある（図 62）近年、大気中の粒子状物質に含まれる NO₃⁻ と NH₄⁺ の乾性・湿性沈着による大気から東シナ海への流入量が数値モデルなどを用いて評価され、その大きさが長江によって東シナ海に共有される量に匹敵するのではないかと試算がなされている^{1,2)}。そこで、本研究プログラムでは、2.2節で詳述した陸域水・物質循環モデルと海洋流動生態系モデルの連携に2.1節の大気化学輸送モデルを加えることにより、大気-海洋における反応性窒素の広域環境動態を予測するシステムを構築し、それを用いて現状における反応性窒素の広域動態を評価した。また、同システムを用いて、将来の大気汚染や地球温暖化への対策が東シナ海の環境に与える影響を評価した。



図 62 大気と海洋にまたがる反応性窒素による広域環境影響の模式図

(2) 方法

2.2.2 節で紹介した海洋流動生態系モデルに対して、2.2.1 節で紹介した陸域水・物質循環モデルで算定される長江流域圏から東シナ海への窒素（およびリン）の流入量と、2.1.3 節の大気化学輸送モデルによって計算される、大気から東シナ海に沈着する粒子状物質中の窒素量を入力データとして整備し、大気-海洋における反応性窒素の広域動態を予測するシステムを構築した（図 63）。本研究では、まず a) 上記システムを活用して、2.1.3 節で紹介した過去から現在（2000～2010 年）にかけての東アジア大気質再現実験で得られた大気から海洋への窒素沈着量の変化に対する東シナ海的环境・生態系の応答を評価した。続いて、b) 本システムを活用した将来予測を実施するため、社会環境システム研究センターと協働してアジア地域・中国の社会経済シナリオの共通化を図るとともに、それに基づいて大気汚染と水質汚濁の対策（負荷削減）シナリオを構築し、それぞれの発生負荷量を推計した（図 63）。得られた発生負荷量を上記システムに与え、東アジアにおける大気・海洋の統合的環境管理に向けた将来予測シミュレーションを実施し、大気汚染・水質汚濁の対策シナリオの効果評価を行った。

a) 大気窒素沈着量の過去の経年変化が東シナ海的环境・生態系に及ぼす影響

初夏の東シナ海陸棚域における一次生産の栄養塩環境は基本的にリン律速であるため、一次生産の総量に限れば大気窒素沈着量の経年変化の影響は小さいと考えられる。しかし、2.2.2 節（7）で述べたように、近年の初夏の東シナ海陸棚域における渦鞭毛藻の優占的出現の頻発化は海水の N/P 比の上昇が原因であることが示唆されており、大気窒素沈着量の増加は植物プランクトンの種組成の変化、すなわち渦鞭毛藻の優占的出現を促進する可能性がある。

本研究では、2.1.3 節に示した大気化学輸送モデルによる過去再現シミュレーション結果を活用し、2000～2010 年の大気窒素沈着の経年変化が初夏の東シナ海陸棚域の一次生産に及ぼす影響について、2.2.2 節で詳述した海洋流動・生態系モデルを用いて数値実験を行った。大気窒素沈着量の変化による一次生産への影響を抽出するため、海洋の初期条件は 2.2.2 節（6）の再現計算で得られた 2006 年 1 月 1 日の結果とし、2006～2010 年の気象場・河川流出・外洋境界条件のもとで、大気窒素沈着量の条件のみを変えて、海洋流動・生態系の数値シミュレーションを実施した。気象場には JRA-55、外洋の潮汐、水温・塩分、栄養塩の境界条件にはそれぞれ NAO.99b、FRA-JCOPE2、WOA09、長江からの淡水・栄養塩流出量には SWAT による計算結果を与えた。大気からの窒素沈着量は 2000、2005、および 2010 年の再現計算結果を用い、それぞれ 1 時間ごとの 1 年間の時空間分布を 5 年間繰り返し与えたが、それらへの対照実験として窒素沈着を全く与えない場合の計算も実施した。なお上記の数値実験では、計算に与えた 2006～2010 年の JRA-55 の気象場と大気化学輸送シミュレーションの乾性・湿性沈着の背景気象場が必ずしも整合していないという問題があることを付記する。

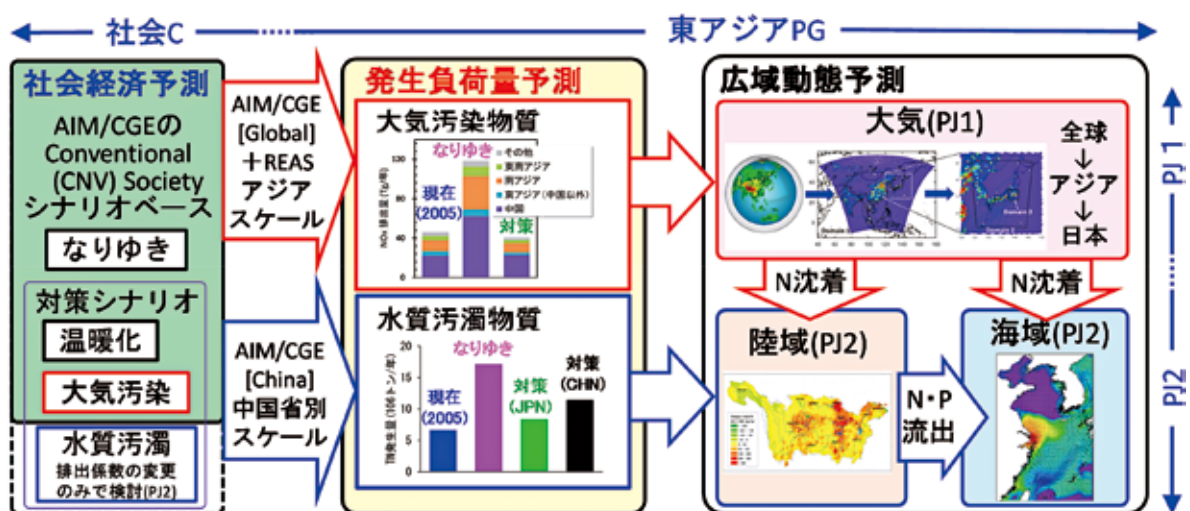


図 63 大気・海洋モデルの連携による広域環境動態予測システムの概要と
同システムを用いた大気・海洋広域環境の将来予測フロー

b) 将来の大気汚染・水質汚濁対策が東シナ海の環境・生態系に及ぼす影響

将来のアジア地域における大気汚染対策（2.3.1 節参照）および中国における水質汚濁対策（2.2.3 節参照）が大気窒素沈着および河川流出を通じて東シナ海の環境・生態系に及ぼす影響を数値シミュレーションで評価した。将来シナリオは、2030 年を対象とした、大気と水それぞれにおける“なりゆき”と“対策”（水質汚濁の対策シナリオは JPN シナリオを採用）の 2 シナリオとし、これらを組み合わせた計 4 種類のシナリオを解析対象とした。なお、気象、河川流出、海象など将来の背景物理場はいずれも 2005 年 1～12 月のものを使用している。それぞれの将来シナリオによる大気汚染物質と水質汚濁負荷の発生量を与えた大気化学輸送モデルおよび陸域水・物質循環モデルによるシミュレーションを実施することにより、シナリオごとの大気窒素沈着量および長江流域からの汚濁負荷流出量を求め、海洋流動・生態系モデルの入力条件とした。海洋流動・生態系シミュレーションは、いずれのシナリオも初期条件は 2.2.2 節（6）の再現計算で得られた 2005 年 1 月 1 日の結果とし、2005 年 1～12 月の大気窒素沈着量、汚濁負荷流出量、および気象・海象条件を 5 年間繰り返し与えた。

大気汚染物質の発生量に関する将来シナリオは以下のように作成した（水質汚濁負荷の発生量に関する 2 つの将来シナリオは、2.2.3 節（4）を参照のこと）。まず、両シナリオの基礎となる社会経済シナリオは、水質汚濁負荷の発生量に関する将来シナリオと同様に、社会システム・制度・技術等の変化に慎重で、社会変革にかかるトランジションコストを気にかける社会である従来発展型社会（Conventional Society: CNV）シナリオを採用した。次に、これをベースとして、国立環境研究所／社会環境研究センターを中心に開発された応用一般均衡モデル AIM/[Global] により、温暖化対策・大気汚染対策の強化を行わない場合の“なりゆき”と、2050 年に温室効果気体（GHG）の排出量を 1990 年比で半減させることを目標とした温暖化対策に加えて、我が国並みの大気汚染対策を広く東アジア各国に適用した場合の“対策”の二つのシナリオにおける活動量が推計され、それぞれのシナリオにおける 2005 年から 2030 年の活動量の変化を使って、2.1.3 の過去再現シミュレーションで用いた 2005 年の人為起源大気汚染物質排出量データ（REASv2.1）の活動量を外挿し、それぞれのシナリオにおける 2030 年の活動量を求めた。これらの活動量に対して、なりゆきシナリオの場合は、各国の 2005 年レベルの排出係数を用いて各大気汚染物質の排出量を算定する一方、対策シナリオの場合は、途上国と先進国（日本、韓国、台湾）に分けて排出係数の設定を行った。途上国については、日本の 2005 年レベルの排出係数を採用したが、先進国については、自動車起源には、環境省による日本の将来排出量推計における設定の平均排出係数を用い、その他の発生源に対しては、IIASA/GAINS モデルによって推計された東アジアにおける大気汚染対策の強化シナリオを考慮した係数を用いた。

(3) 結果と考察

a) 大気窒素沈着量の過去の経年変化が東シナ海の環境・生態系に及ぼす影響

大気化学輸送モデルで得られた過去再現シミュレーション結果によると、2000 年から 2010 年にかけて華北平原を中心とした中国東部において、PM_{2.5} 中の NO₃⁻ と NH₄⁺ の増加が顕著となっている。（図 64）。同地域では、これらに加えて、PM_{2.5} 中の硫酸イオン（SO₄²⁻）や黒色炭素粒子（Black Carbon: BC）の量も顕著に増加しており、PM_{2.5} 全体として華北平原平均で約 42% もの濃度増加があり、そのうちの約 70% を NO₃⁻ と NH₄⁺ の増加が占めている。こうした変化と整合的に、渤海・黄海・東シナ海北部の中国沿岸寄りで見られる顕著な大気から海洋への窒素沈着の増加傾向が見られた（図 65）。本研究の解析対象海域への 2010 年の年間窒素沈着量（146 Gmol/year）は、2000 年のそれ（99 Gmol/year）の約 1.5 倍に増加しており、SWAT で推計された長江流域からの年間窒素流出量（130 Gmol/year）に匹敵した。単位面積当たりの窒素沈着量は、最も多い長江河口周辺において 0.30～0.37 mol/m²/year（= 4～5 kg-N/10a/year）であり、そのオーダーは日本の年間水田施肥量に相当した。季節別には冬季から春季にかけての窒素沈着量が夏季・秋季に比べて大きくなるという傾向が見られた（図 66）。

大気窒素沈着の増加量は、海域全体の窒素現存量と比較すると無視できる程度の量ではあるが、表層海水の N/P 比を上昇させた（図 67）。一次生産の栄養塩環境の指標として N/P = 16（mol/mol）の Redfield 比³⁾ が汎用されるが、溶存無機態の窒素（DIN）とリン（DIP）の 16 倍の差（DIN-16DIP）が正であれば一次生産にとって窒素が相対的に豊富な

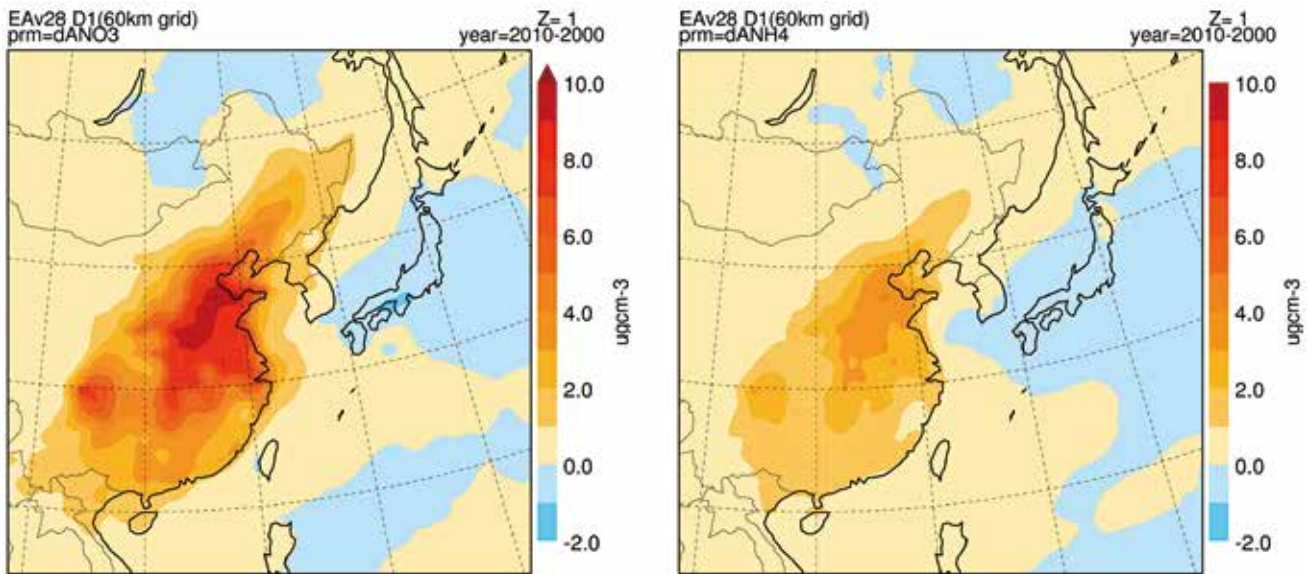


図 64 大気化学輸送シミュレーションで得られた粒子状物質中の硝酸イオン (NO_3^- : 左) とアンモニウムイオン (NH_4^+ : 右) 年平均地表濃度の 2010 年と 2000 年の差 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

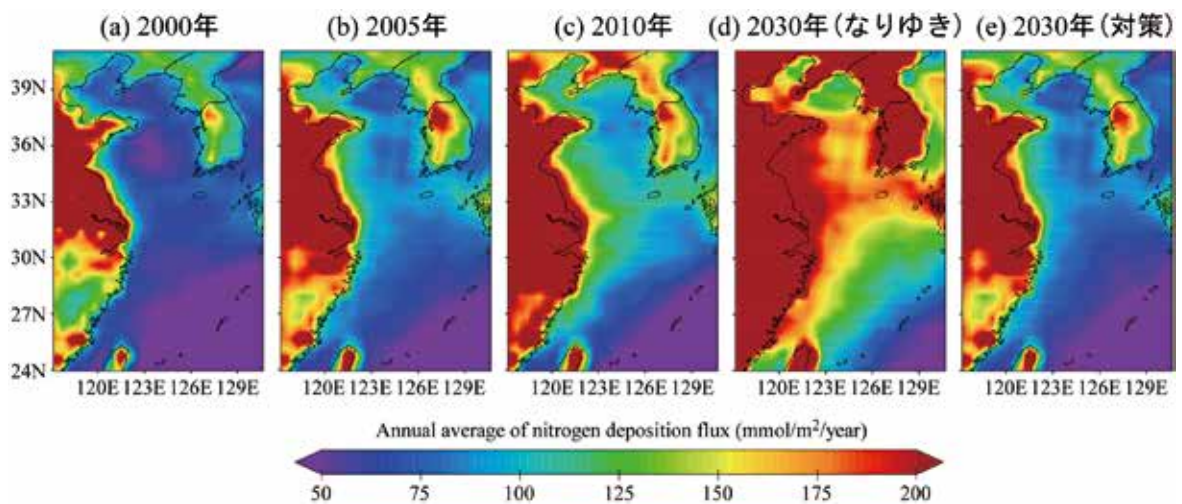


図 65 大気化学輸送シミュレーションで得られた窒素沈着量 ((a) ~ (c) 過去再現、(d) (e) 将来予測)。

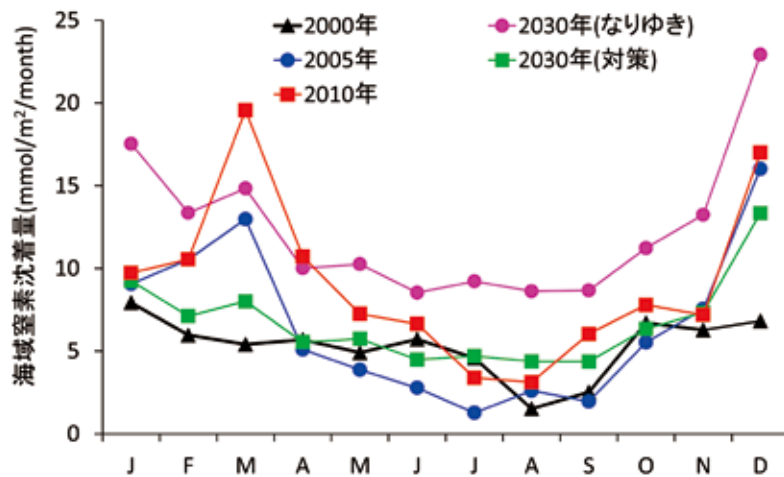


図 66 解析対象 (東シナ海周辺) 海域への月別窒素沈着量の過去再現・将来予測結果。

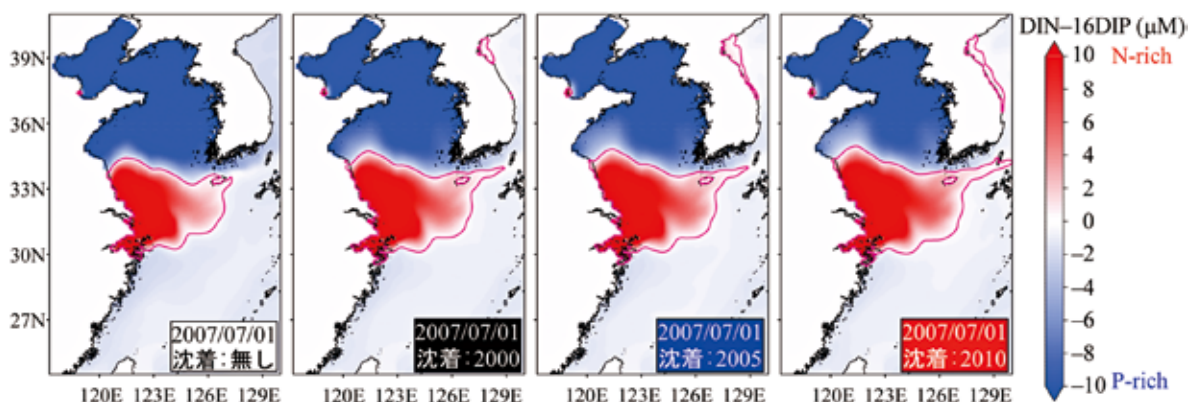


図 67 大気窒素沈着量の変化による海洋表層の栄養塩構成 (DIN-16DIP) への影響 (計算開始 2 年目 2007 年 7 月 1 日)

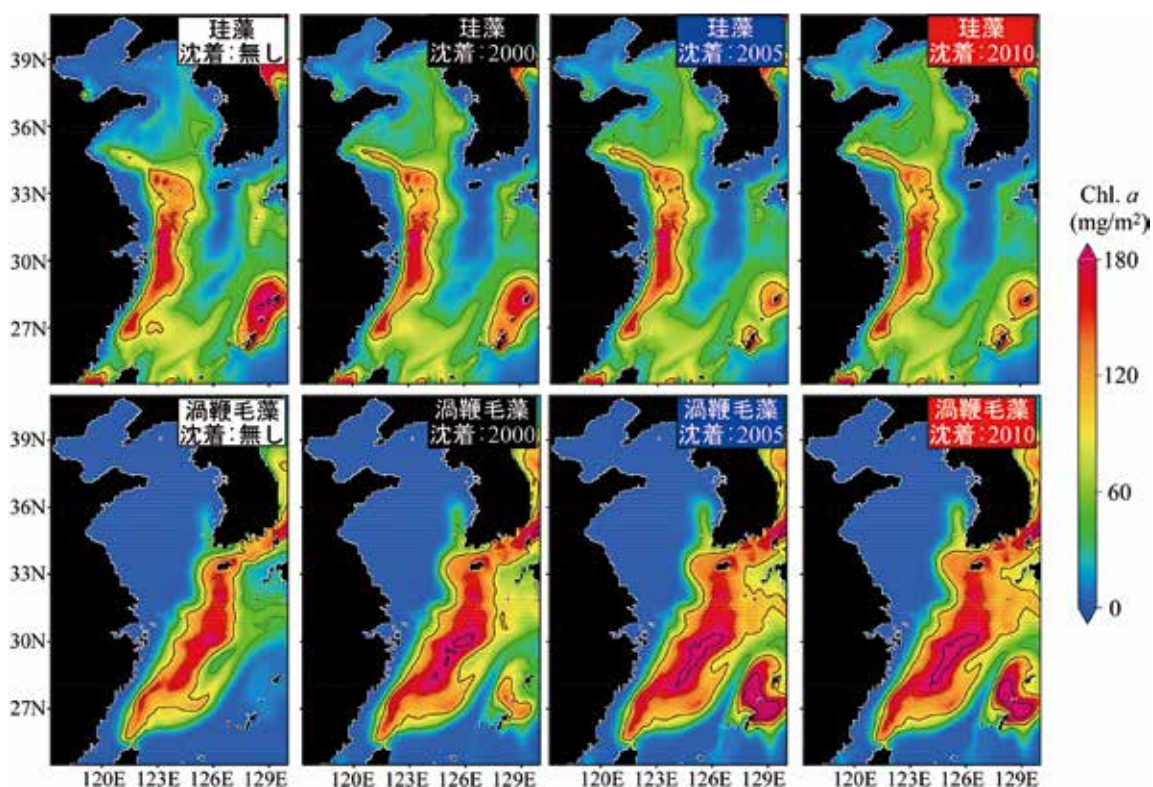


図 68 大気窒素沈着量の変化による、珪藻 (上段)・渦鞭毛藻 (下段) のクロロフィル a 現存量 (計算開始 2 年目 2007 年 7 月平均の海面～50m 深の鉛直積分値) への影響。

リン律速、負であればリンが相対的に豊富な窒素律速といえる。窒素制限の海域に大気から窒素が供給されると、一次生産が増加し、それに伴って海水中のリンが消費されるため、やがてはリン制限の海域にシフトする。長江河口域・陸棚中央部はリン制限、その周辺海域は窒素制限であるが、大気窒素沈着の増加によって、窒素が豊富なリン制限の海域が増加していることが確認された (図 67)。窒素制限からリン制限への移行は韓国南部・対馬海峡周辺海域で顕著に見られるが、この傾向は既報の観測研究⁴⁾と整合するものであった。

いずれの沈着条件においても初夏の陸棚域亜表層に渦鞭毛藻の優占的出現が解析結果に認められた (図 68)。海面～50 m 深の渦鞭毛藻の現存量は、大気沈着量が多くなるほど増加することは当然の結果であるが、その影響は陸棚中央部で最も顕著であり、海流に沿って北東方向に拡大する様子が窺えた。一方、大気窒素沈着による珪藻の現存量への影響は、無視できるほどであり、渦鞭毛藻の優占化により逆に減少する海域も存在した。近年の東シナ海陸棚域における N/P 比の増加および渦鞭毛藻の優占化は、長江流域からの汚濁負荷流出量の変化のみでなく、大気窒素沈着の増加も原因の一つであることが示唆された。

b) 将来の大気汚染・水質汚濁対策が東シナ海的环境・生態系に及ぼす影響

図 69 は、現状（2005 年）および二つの将来シナリオ（2030 年）における、アジア全域の NO_x 大気排出量について比較したものである。全ての場合で中国が最大の寄与を示しており、なりゆきシナリオでは、アジアの NO_x 総排出量が約 2.6 倍増加するのに対して、中国は 2.8 倍、インドを含む南アジアで 3.1 倍、東南アジアで 2.2 倍などとなっており、中国を除く東アジアでは 1.4 倍と若干排出量の増加が小さく評価されている。なりゆきシナリオで NO_x の排出量が現状に比べて大幅に増加した主な原因は、排出係数に各国の 2005 年レベルの値を用いたことであり、この排出係数を用いる限り、活動量として対策シナリオの 2030 年の値を用いたとしても、やはり大幅な NO_x 排出量の増加は避けられないことが確認されている（図略）。一方、対策シナリオでは、低い排出係数を設定したことが奏功して、アジアの NO_x 総排出量は約 0.9 倍になり、中国の排出量はほぼ横ばい（1.0 倍）、その他の地域における排出量は 0.5 ~ 0.9 倍程度に減少すると評価された。中国の排出量が横ばいに留まってしまうのは、自動車からの NO_x 排出の伸びが、その他の排出部門からの NO_x 排出の減少をほぼ相殺してしまっているためである。

図 70 には、それぞれの将来シナリオによる大気汚染物質の排出量を大気化学輸送モデルに与えて計算した、粒子状物質中の NO_3^- と NH_4^+ （窒素を含む無機イオン）の和を、2005 年想定との差として示した。なりゆきシ

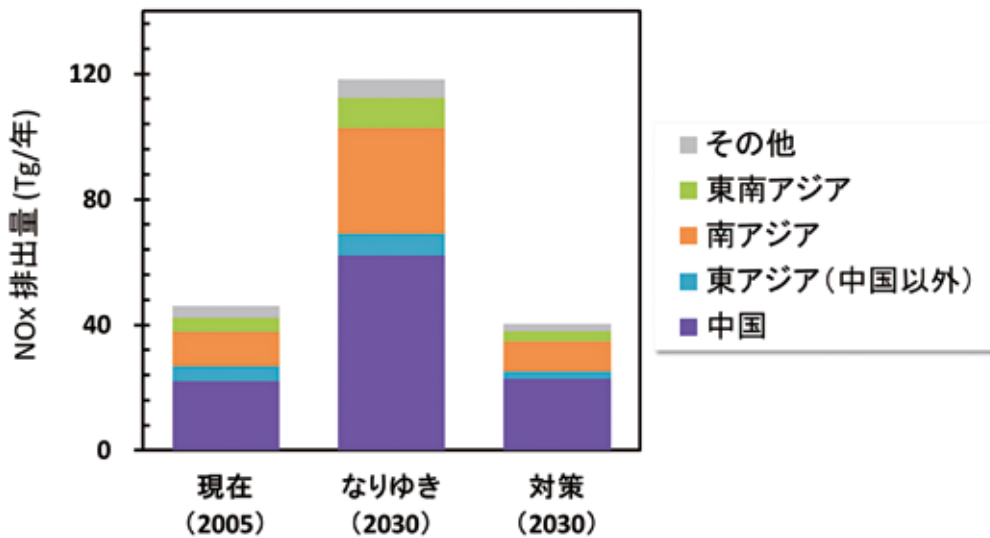


図 69 2005 年および各将来シナリオにおける 2030 年のアジア域における NO_x の将来排出量推計結果の比較

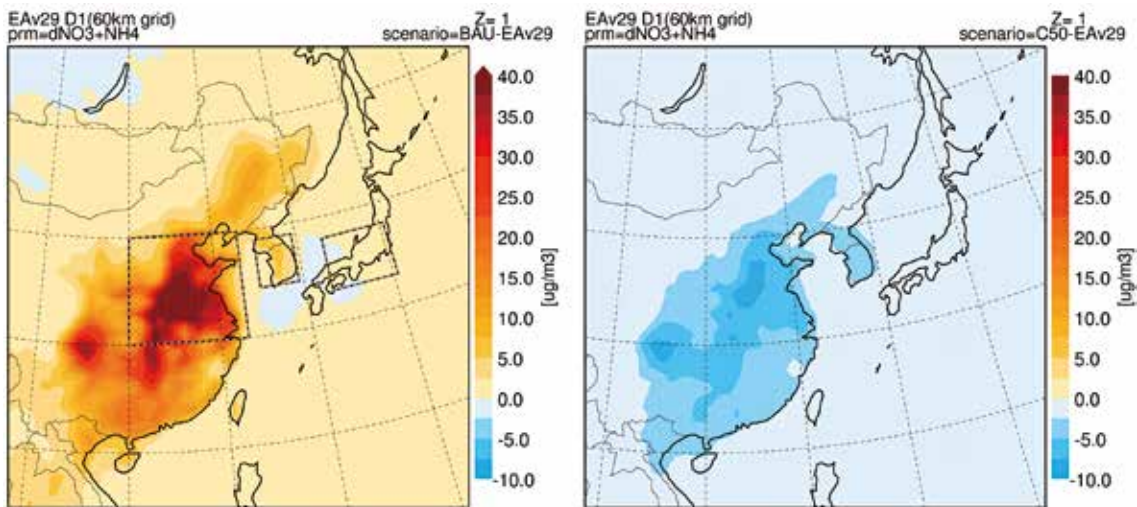


図 70 将来シナリオを用いて計算された粒子状物質中の含窒素無機イオン (NO_3^- と NH_4^+ の和) の年平均濃度と 2005 年計算との差 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)。左：なりゆきシナリオー 2005 年、右：対策シナリオー 2005 年。

ナリオの場合は、図 64 に示した 2000 年から 2010 年にかけての NO_3^- 、 NH_4^+ の変化と似て、華北平原とその周辺の海域（渤海、黄海など）や四川盆地において顕著な増加がみられる。一方、対策シナリオの場合は、その反対に華北平原や四川盆地を中心に NO_3^- と NH_4^+ の和が減少していることが分かるが、減少の幅は、なりゆきシナリオに伴う増加の幅よりずっと小さくなっている。将来シナリオの違いによる、東アジア各地域での大気質の変化を見るため、代表的な大気汚染物質として $\text{PM}_{2.5}$ とオゾン (O_3) を取り上げ、それらの地域で平均した地表濃度の年平均値が、2005 年想定 of 計算結果に比べてどの程度変化したかを図 71 に示した。2005 年レベルからの相対的な変化としてみた場合、図 71 に示した 3 地域（華北平原、朝鮮半島、日本中央部）における変化は、シナリオ毎・物質毎にそれぞれとても似通っていることが分かる。なりゆきシナリオの場合、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 ともに 2005 年に比べて増加するが、その増加率は $\text{PM}_{2.5}$ の方が大きく、各地域で 1.5 倍を超えてしまう一方、 O_3 の増加率は約 1.2–1.3 倍程度にとどまる。対策シナリオの場合には、 O_3 濃度はどの地域でもほとんど変化せず現状を維持しているが、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は、2005 年レベルの半分程度に減少し、大きな削減効果を期待できることが分かった。

大気化学輸送モデルにより得られた将来の東シナ海周辺海域への年間窒素沈着量は、なりゆきシナリオおよび対策シナリオそれぞれ 228、124 Gmol/year であり、2005 年 (128 Gmol/year) の約 1.8、0.97 倍であった。なりゆきシナリオでは、過去再現の結果と同様に、渤海・黄海・東シナ海北部の中国沿岸寄りで窒素沈着量が顕著に増加すると予測された (図 65(d)) が、対策シナリオでは、顕著に経済成長しているにも関わらず、現状 (2005 年) 程度の窒素沈着量に留まることが確認された (図 65(e) および図 66)。陸域水・物質循環モデルで得られた東シナ海への汚濁負荷流出量については、2.2.3 節 (5) で詳述したように、なりゆきシナリオの TN、TP はそれぞれ現状 (2005 年) の約 1.9、1.7 倍、対策シナリオの TN、TP は現在の約 1.0、1.2 倍であった。

海洋流動・生態系モデルにより得られた海洋表層 DIN-16DIP および渦鞭毛藻現存量の結果 (図 72 および図 73) によると、なりゆきシナリオでは大気沈着および河川流出による窒素流入量が著しく増加するため、リン制限 (相対的に窒素が豊富) の海域が現在よりも顕著に広がり、初夏の陸棚域における渦鞭毛藻の優占化もより一層強まると予測された。一方、大気と水双方の対策を講じた場合には、現在よりも陸棚域のリン制限海域が減少し、渦鞭毛藻の優占的出現も抑制された。大気・水ともに対策シナリオは日本並みの排ガス処理・汚水処理技術を適用したことを想定したものであるため、我が国の対策技術がアジア地域に普及すれば、局地的な大気汚染・水質汚濁問題の解決のみならず、より広域な東シナ海の環境・生態系の保全・改善にも繋がることが示唆された。また、大気と水いずれか一方の対策シナリオのみを適用した場合の結果は、どちらも現在よりリン制限海域が増加し、渦鞭毛藻の優占化が促進されることを示しており、東シナ海の環境・生態系の保全・改善には大気と水の双方の対策が重要であることが示された。

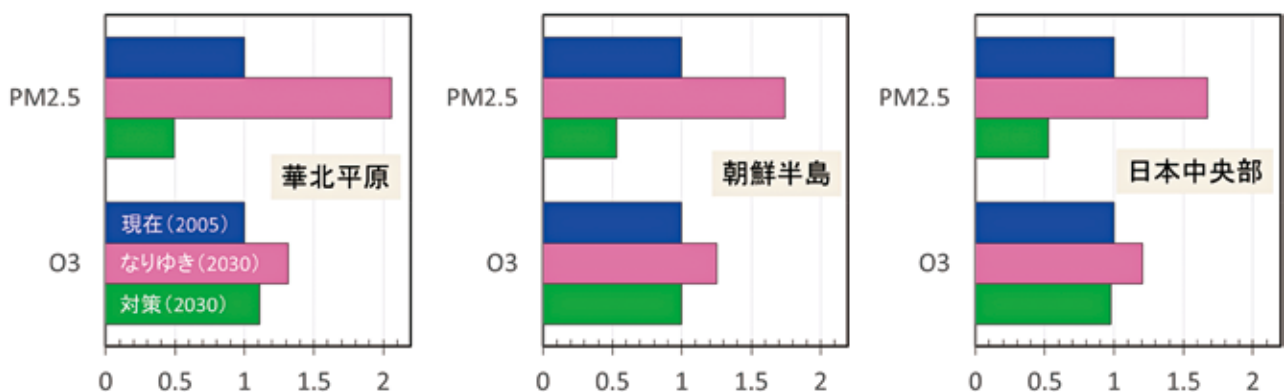


図 71 華北平原 (左)、朝鮮半島 (中)、日本中央部 (右) で平均した、地表 $\text{PM}_{2.5}$ (上段) と O_3 (下段) 年平均濃度の変化 (2005 年値を 1 とした相対値)。青：現在 (2005 年)、ピンク：なりゆきシナリオ (2030 年)、緑：対策シナリオ (2030 年)。平均を取った地域は図 70 左図内の枠で表示。

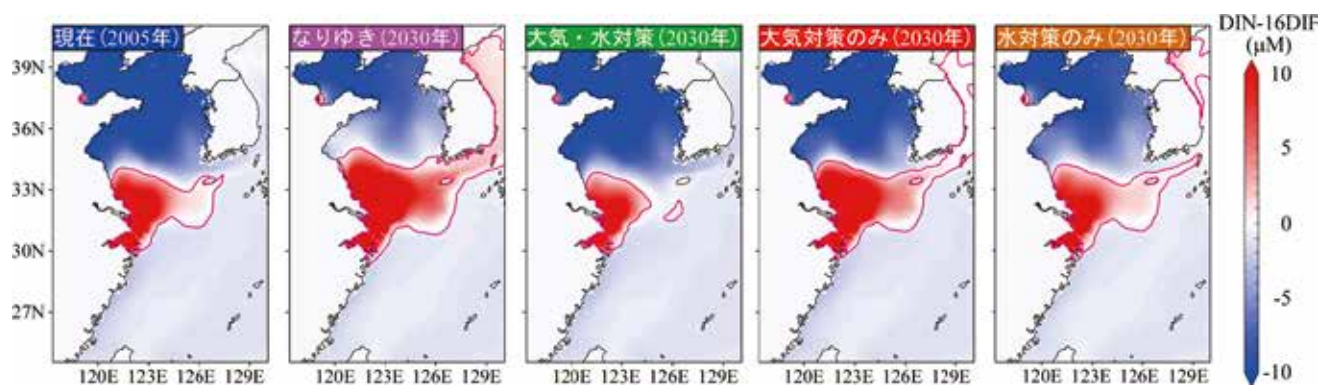


図 72 海洋表層の栄養塩構成（計算開始 5 年目 6 月平均の DIN-16DIP）の将来シナリオ間比較。

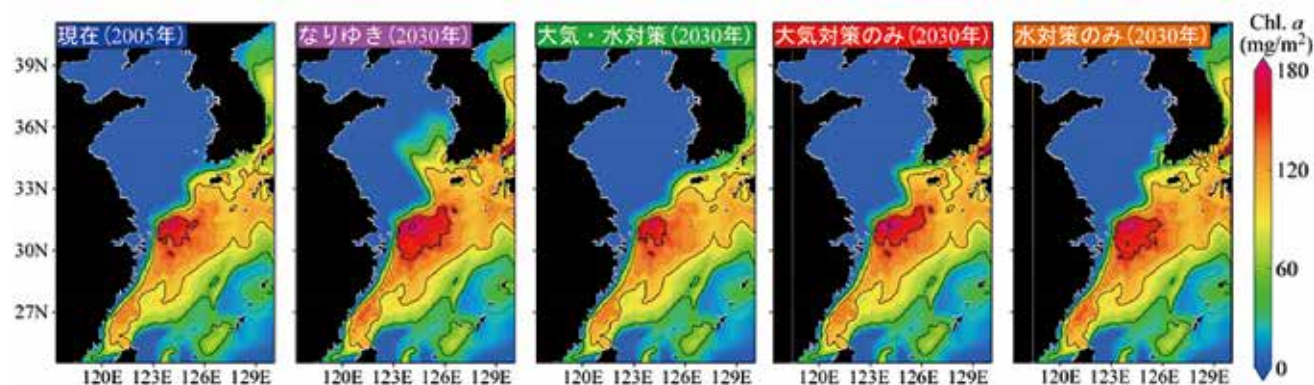


図 73 渦鞭毛藻クロロフィル a 現存量（計算開始 5 年目 6 月平均の海面～50m 深の鉛直積分値）の将来シナリオ間比較。

引用文献

- 1) Uno I., Uematsu M., Hara Y., He Y.J., Ohara T., Mori A., Kamaya T., Murano K., Sadanaga Y., Bandow H. (2007) Numerical study of the atmospheric input of anthropogenic total nitrate to the marginal seas in the western North Pacific region, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L17817, doi:10.1029/2007GL030338.
- 2) Zhang Y., Yu Q., Ma W., Chen L. (2010) Atmospheric deposition of inorganic nitrogen to the eastern China seas and its implications to marine biogeochemistry, *J. Geophys. Res.*, 115, D00K10, doi:10.1029/2009JD012814.
- 3) Redfield, A.C. (1958) The biological control of chemical factors in the environment, *Am. Sci.*, 46, 205-222.
- 4) Kim T.W., Lee K., Najjar R.G., Jeong H.D., Jeong H.J. (2011) Increasing N abundance in the northwestern Pacific Ocean due to atmospheric nitrogen deposition, *Science*, 334, 505-509.

[資 料]

1 研究の組織と研究課題の構成

1.1 研究の組織

[A 研究担当者]

地域環境研究センター

センター長

大原利真^{*)}

大気環境モデリング研究室

永島達也

森野 悠

五藤大輔

野口宰良

広域大気環境研究室

高見昭憲

佐藤 圭

清水 厚

伊禮 聡^{*)}

三好猛雄^{*)}

三澤健太郎^{*)}

吉野彩子

海洋環境研究室

越川 海

東 博紀

牧 秀明

古市尚基^{*)}

秋山千亜紀

地域環境技術システム研究室

水落元之

岡寺智大

主席研究員室

王 勤学

肖 慶安^{*)}

主席研究員室

清水英幸

岩元美有記

山本卓也^{*)}

蔣 香旭^{*)}

小林祥子^{*)}

地球環境研究センター

地球大気化学研究室

谷本浩志

猪俣 敏

岡本祥子

池田恒平

工藤慎治^{*)}

須藤公子

山岸 悠

環境健康研究センター	
環境疫学研究室	上田佳代 [*])
生物・生態系環境研究センター	
環境ストレス機構解明研究室	青野光子
審議役	村上正吾 [*])

(注) 所属・役職は年度終了時点のもの。また、^{*})印は過去に所属していた職員等を示す。

[B 客員研究員]

坂東 博	(大阪府立大学)	(平成 23 ～ 27 年度)
畠山史郎	(東京農工大学)	(平成 23 ～ 27 年度)
元木 靖	(立正大学)	(平成 23 ～ 27 年度)
樋口正信	(国立科学博物館)	(平成 23 ～ 27 年度)
宮脇博巳	(佐賀大学文化教育学部)	(平成 23 ～ 27 年度)
山口富美夫	(広島大学大学院理学研究科)	(平成 23 ～ 27 年度)
須田隆一	(福岡県保健環境研究所)	(平成 23 ～ 27 年度)
濱村研吾	(福岡県保健環境研究所)	(平成 23 ～ 27 年度)
石間妙子	(福岡県保健環境研究所)	(平成 26 ～ 27 年度)
山本哲也	(広島県立総合技術研究所保健環境センター)	(平成 23 ～ 27 年度)
西本 孝	(岡山県自然保護センター)	(平成 23 ～ 27 年度)
山口高志	(北海道立総合研究機構環境科学研究センター)	(平成 23 ～ 27 年度)
相原敬次	(神奈川県自然環境保全センター)	(平成 23 ～ 25 年度)
武田麻由子	(神奈川県環境科学センター)	(平成 23 ～ 24 年度)
小松宏昭	(神奈川県環境科学センター)	(平成 23 ～ 24 年度)
松本文雄	(岩手県環境保健研究センター)	(平成 23 ～ 24 年度)
家合浩明	(新潟県保健環境科学研究所)	(平成 25 ～ 27 年度)
遠藤朋美	(新潟県保健環境科学研究所)	(平成 25 ～ 27 年度)
中島春樹	(富山県森林水産総合技術センター森林研究所)	(平成 25 ～ 27 年度)
和田 覚	(秋田県森林技術センター)	(平成 25 年度)
松田健太郎	(静岡県環境衛生科学研究所)	(平成 25 年度)
金子智英	(静岡県環境衛生科学研究所)	(平成 26 ～ 27 年度)
佐瀬裕之	((財)日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター)	(平成 26 ～ 27 年度)
山下尚之	((財)日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター)	(平成 26 ～ 27 年度)
内田暁友	(斜里町立知床博物館)	(平成 26 ～ 27 年度)
浅沼孝夫	(有限会社ククマシステムデザイン)	(平成 26 ～ 27 年度)
河野公亮	(大分県衛生環境研究センター)	(平成 27 年度)
國永知裕	(福井県自然保護センター)	(平成 27 年度)
水谷瑞希	(信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設)	(平成 27 年度)

[C 協力研究者]

定永靖宗	(大阪府立大学)	(平成 23 ~ 27 年度)
林 政彦	(福岡大学)	(平成 23 ~ 27 年度)
原圭一郎	(福岡大学)	(平成 23 ~ 27 年度)
西田千春	(福岡大学)	(平成 23 ~ 27 年度)

[D 海外協力研究者]

宋 献方	(中国科学院 地理科学・資源研究所)	(平成 23 ~ 27 年度)
雷 阿林	(長江水利委員会 長江水資源保護研究所)	(平成 23 ~ 27 年度)
張 遠	(中国環境科学研究院 水環境研究所)	(平成 23 ~ 27 年度)

1.2 研究課題と担当者

プロジェクト1「観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価」

- (1) 大陸規模モニタリングによる半球規模大気汚染の時空間変動の解明
谷本浩志・猪俣 敏・岡本祥子・池田恒平・工藤慎治・須藤公子・向井人史・町田敏暢
- (2) アジア地域における包括的観測による日本への越境大気汚染の実態解明
高見昭憲・佐藤 圭・清水 厚・伊禮 聡・三好猛雄・三澤健太郎・吉野彩子・上田佳代
- (3) モデルシミュレーションによる汚染機構の解明と影響・対策評価
大原利眞・永島達也・森野 悠・五藤大輔・野口幸良・清水英幸・岩元美有記・山本卓也・蔣 香旭・小林祥子・青野光子

プロジェクト2「広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明」

- (1) 長江流域圏から東シナ海への汚濁負荷量の予測手法の開発
王 勤学・肖 慶安
- (2) 東シナ海陸棚域の生態系劣化機構の解明
越川 海・東 博紀・牧 秀明・古市尚基
- (3) 陸域・海域統合環境管理に向けた陸域負荷削減シナリオの検討と海域環境の応答予測
村上正吾・水落元之・岡寺智大・秋山千亜紀

2 研究成果発表一覧

2.1 誌上発表

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

〈雑誌(査読あり)〉

相原敬次, 越地正, 谷脇徹, 山根正伸, 武田麻由子, 田淵尚一, 清水英幸 (2012) 丹沢山地におけるブナ樹液流計測による蒸散と環境要因に関する検討. 神奈川県自然環境保全センター報告, 9, 61-72.

Akimoto H., Kurokawa J., Sudo K., Nagashima T., Takemura T., Klimont Z., Amann M., Suzuki K. (2015) SLCP co-control approach in East Asia: Tropospheric ozone reduction strategy by simultaneous reduction of NO_x/NMVOC and methane. *Atmospheric Environment*, 122, 588-595.

Bowman K.W., Shindell D.T., Worden H.M., Lamarque J.F., Young P.J., Stevenson D.S., Qu Z., Torre M. de la, Bergmann D., Cameron-Smith P.J., Collins W.J., Doherty R., Dalsoren S.B., Faluvegi G., Folberth G., Horowitz L.W., Josse B.M., Lee Y.H., MacKenzie I.A., Myhre G., Nagashima T., Naik V., Plummer D.A., Rumbold S.T., Skeie R.B., Strode S.A., Sudo K., Szopa S., Voulgarakis A., Zeng G., Kulawik S.S., Aghedo A.M., Worden J.R. (2013) Evaluation of ACCMIP outgoing longwave radiation from tropospheric ozone using TES satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 4057-4072.

Chandra I., Kim S., Seto T., Otani Y., Takami A., Yoshino A., Irei S., Park K., Takamura T., Kaneyasu N., Hatakeyama S. (2016) New particle formation under the influence of the long-range transport of air pollutants in East Asia. *Atmospheric Environment*, 141, 30-40.

Chatani S., Morino Y., Shimadera H., Hayami H., Mori Y., Sasaki K., Kajino M., Yokoi T., Morikawa T., Ohara T. (2014) Multi-Model Analyses of Dominant Factors Influencing Elemental Carbon in Tokyo Metropolitan Area of Japan. *Aerosol and Air Quality Research*, 14 (1), 396-405.

Dai T., Schutgens N.A.J., Goto D., Shi G.Y., Nakajima T. (2014) Improvement of aerosol optical properties modeling over Eastern Asia with MODIS AOD assimilation in a global non-hydrostatic icosahedral aerosol transport model. *Environmental Pollution*, 195, 319-329.

Estoque R.C., Murayama Y., Akiyama C. (2015) Pixel-based and object-based classifications using high- and medium-spatial-resolution imageries in the urban and suburban landscapes. *Geocarto International*, 30 (10), 1113-1129.

古市尚基, 東博紀 (2014) LES 実験を応用した海底混合層内の粒子状物質の動態に関する基礎的考察. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 70 (2), I_1096-I_1100.

Furutani H., Jung J., Miura K., Takami A., Kato S., Kajii Y., Uematsu M. (2011) Single-particle chemical characterization and source apportionment of iron-containing atmospheric aerosols in Asian outflow. *Journal of Geophysical Research*, 116, D18204.

Goto D., Kanazawa S., Nakajima T., Takemura T. (2013) Evaluation of a relationship between aerosols and surface downward shortwave flux through an integrative analysis of a global aerosol-transport model and in-situ measurements. *AIP Conference Proceedings*, 1531, 680-683.

Goto D. (2014) Modeling of black carbon in Asia using a global-to-regional seamless aerosol-transport model. *Environmental Pollution*, 195, 330-335.

Goto D., Dai T., Satoh M., Tomita H., Uchida J., Misawa S., Inoue T., Tsuruta H., Ueda K., Ng C.F.S., Takami A., Sugimoto N., Shimizu A., Ohara T., Nakajima T. (2015) Application of a global nonhydrostatic model with a stretched-grid system to regional aerosol simulations around Japan. *Geoscientific Model Development*, 8, 235-259.

Goto D., Nakajima T., Dai T., Takemura T., Kajino M., Matsui H., Takami A., Hatakeyama S., Sugimoto N., Shimizu A., Ohara T. (2015) An evaluation of simulated particulate sulfate over East Asia through global model intercomparison. *Journal of Geophysical Research*, 120, 6247-6270.

Hara K., Homma J., Tamura K., Inoue M., Karita K., Kondo Y., Yano E. (2014) Difference in concentration trends of airborne particulate matter during rush hour on weekdays and Sundays in Toyo, Japan. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64 (9), 1045–1053.

Harada S., Koshikawa H., Adams E.E. (2014) Estimation of Vertical Eddy Diffusivity in a Shallow Floating Mesocosm. *Journal of Marine Environmental Engineering*, 9 (4), 275–283.

Hatakeyama S., Hanaoka S., Ikeda K., Watanabe I., Arakaki T., Sadanaga Y., Bandow H., Sato K., Shimizu A., Takami A. et al. (2011) Aerial observation of aerosols transported from East Asia-chemical composition of aerosols and layered structure of an air mass over the East China Sea. *Aerosol and Air Quality Research*, 11 (5), 497–507.

東博紀, 越川海, 村上正吾, 木幡邦男 (2011) 長期シミュレーションによる1990年代の伊勢湾のアサリ資源量変動に関する考察. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 67 (2), I_1046-I_1050.

東博紀, 牧秀明 (2012) 東京湾における貧酸素水塊と鉛直混合強度に関する現地観測. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 68 (2), I_966-I_970.

東博紀, 小口正弘, 遠藤和人, 水谷千亜紀 (2012) 津波氾濫解析を応用した津波堆積物の化学物質汚染の空間分布早期推定に関する考察. *土木学会論文集 B1 (水工学)*, 68 (4), I_1519-I_1524.

東博紀, 古市尚基, 牧秀明 (2013) 東京湾の現地乱流観測データに基づく鉛直混合スキームの基礎的検討. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 69 (2), I_1066-I_1070.

Inomata Y., Kajino M., Sato K., Ohara T., Kurokawa J., Ueda H., Tang N., Hayakawa K., Ohizumi T., Akimoto H. (2012) Emission and atmospheric transport of particulate PAHs in Northeast Asia, *Environ. Sci. Technol.*, 46 (9), 4941–4949.

Inomata Y., Kajino M., Sato K., Ohara T., Kurokawa J., Ueda H., Tang N., Hayakawa K., Ohizumi T., Akimoto H. (2013) Source contribution analysis of surface particulate polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in northeastern Asia by source receptor relationships. *Environmental Pollution*, 182, 324–334.

Inomata S., Tanimoto H., Pan X.L., Taketani F., Komazaki Y., Miyakawa T., Kanaya Y., Wang Z.F. (2015) Laboratory measurements of emission factors of nonmethane volatile organic compounds from burning of Chinese crop residues. *Journal of Geophysical Research*, 120 (10), 5237–5252.

Irei S., Shimono A., Hikida T., Kuramoto K., Suzuki Y., Takami A. (2014) Qualitative evaluation of m/z 85, 87, and 133 signals in organic aerosol mass spectra of fly ash produced by coal combustion. *Aerosol and Air Quality Research*, 14 (1), 406–412.

Irei S., Takami A., Hayashi M., Sadanaga Y., Hara K., Kaneyasu N., Sato K., Arakaki T., Hatakeyama S., Bandow H., Hikida T., Shimono A. (2014) Transboundary Secondary Organic Aerosol in Western Japan Indicated by the $\delta^{13}\text{C}$ of Water-Soluble Organic Carbon and the m/z 44 Signal in Organic Aerosol Mass Spectra. *Environmental Science & Technology*, 48 (11), 6273–6281.

Irei S., Takami A., Sadanaga Y., Nozoe S., Yonemura S., Bandow H., Yokouchi Y. (2016) Photochemical age of air pollutants, ozone, and secondary organic aerosol in transboundary air observed on Fukue Island, Nagasaki, Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 4555–4568.

Itahashi S., Uno I., Yumimoto K., Irie H., Osada K., Ogata K., Fukushima H., Wang Z., Ohara T. (2012) Interannual variation in the fine-mode MODIS aerosol optical depth and its relationship to the changes in sulfur dioxide emissions in China between 2000 and 2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 2631–2640.

板野泰之, 大原利眞, 山神真紀子, 大野隆史, 長田健太郎, 武直子, 菅田誠治 (2013) 2011年度の連続測定結果に基づく全国的なPM_{2.5}汚染の状況解析. *大気環境学会誌*, 48 (3), 154–160.

伊藤祥子, 笹川裕史, 相原敬次, 清水英幸 (2011) 神奈川県丹沢産ブナ苗に与えるオゾン曝露と水欠乏の複合影響の実験的解析. *神奈川県自然環境保全センター報告*, 9, 23–32.

岩崎俊樹, 宮崎和幸, 関山剛, 五藤大輔, 中島映至, 弓本桂也, 鶴野伊津志, 塩谷雅人 (2013) 2012年度秋季大会スペシャル・セッション「大気微量気体およびエアロゾルの同化とその気候研究への利用」報告. *天気*, 60 (3), 203–207.

Jiang R., Li Y., Wang Q.-X., Kuramochi K., Hayakawa A., Woli K.P., Hatano R. (2011) Modeling the Water Balance Processes for Understanding the Components of River Discharge in a Non-conservative Watershed. *Transactions of the ASABE*, 54 (6), 2171-2180.

Kajino M., Inomata Y., Sato K., Ueda H., Han Z., An J., Katata G., Deushi M., Oshima N., Kurokawa J., Ohara T., Takami A., Hatakeyama S. (2012) Development of the RAQM2 aerosol chemical transport model and predictions of the Northeast Asian aerosol mass, size, chemistry, and mixing type. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 11833-11856.

Kanaya Y., Akimoto H., Wang Z.-F., Pochanart P., Kawamura K., Liu Y., Li J., Komazaki Y., Irie H., Pan X.-L., Taketani F., Yamaji K., Tanimoto H., Inomata S., Kato S., Suthawaree J., Okuzawa K., Wang G., Aggarwal S.G., Fu P.Q., Wang T., Gao J., Wang Y., Zhuang G. (2013) Overview of the Mount Tai Experiment (MTX2006) in central East China in June 2006: studies of significant regional air pollution. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 8265-8283.

兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 畠山史郎, 林政彦, 原圭一郎, 河本和明, 山本重一 (2011) 九州北部の離島および大都市部における PM_{2.5} 濃度の通年での挙動. *大気環境学会誌*, 46 (2), 111-118.

兼保直樹, 佐藤圭, 高見昭憲, 秀森丈寛, 松見豊, 山本重一 (2014) PM_{2.5} および健康影響が懸念される粒子状物質のわが国風上域での動態. *エアロゾル研究*, 29 (S1), 82-94.

Kaneyasu N., Yamamoto S., Sato K., Takami A., Hayashi M., Hara K., Kawamoto K., Okuda T., Hatakeyama S. (2014) Impact of long-range transport of aerosols on the PM_{2.5} composition at a major metropolitan area in the northern Kyushu area of Japan. *Atmospheric Environment*, 97, 416-425.

神成陽容, 大原利真, 森野悠 (2014) 種々の光化学反応生成物に関する化学レジームの規則的な変化. *大気環境学会誌*, 49 (5), 207-217.

Kaskaouis D.G., Gautam R., Singh R.P., Houssos E.E., Goto D., Singh S.N., Bartzokas A., Kosmopoulos P.G., Sharma M., Hsu N.C., Holben B.N., Takemura T. (2012) Influence of anomalous dry conditions on aerosols over India: Transport, distribution and properties. *Journal of Geophysical Research*, 117, D09106.

Kaskaoutis D.G., Houssos E.E., Rashki A., Francois P., Legrand M., Goto D., Bartzokas A., Kambezidis H.D., Takemura T. (2016) The Caspian Sea Hindu Kush Index (CasHKI): A regulatory factor for dust activity over southwest Asia. *Global and Planetary Change*, 137, 10-23.

Kim N.K., Kim Y.P., Morino Y., Kurokawa J., Ohara T. (2013) Verification of NO_x emission inventory over South Korea using sectoral activity data and satellite observation of NO₂ vertical column densities. *Atmospheric Environment*, 77, 496-508.

Kim N. K., Kim Y. P., Morino Y., Kurokawa J., Ohara T. (2014) Verification of NO_x emission inventories over North Korea. *Environmental Pollution*, 195, 236-244.

近藤美則, 加藤秀樹, 松橋啓介, 米澤健一 (2011) 乗用車の長期間の利用実態から見た電気自動車の利用可能性評価. *エネルギー・資源*, 32 (5), 42-47.

Kondo Y., Oshima N., Kajino M., Mikami R., Moteki N., Takegawa N., Verma R.L., Kajii Y., Kato S., Takami A. (2011) Emissions of black carbon in East Asia estimated from observations at a remote site in the East China Sea. *Journal of Geophysical Research*, 116, D16201.

Koshikawa H., Higashi H., Hasegawa T., Nishiuch K., Sasaki H., Kawachi M., Kiyomoto Y., Takayanagi K., Kohata K., Murakami S. (2015) Assessing depth-integrated phytoplankton biomass in the East China Sea using a unique empirical protocol to estimate euphotic depth. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 153, 74-85.

Kudo S., Tanimoto H., Inomata S., Saito S., Pan X., Kanaya Y., Taketani F., Wang Z., Chen H., Dong H., Zhang M., Yamaji K. (2014) Emissions of nonmethane volatile organic compounds from open crop residue burning in the Yangtze River Delta region, China. *Journal of Geophysical Research*, 119 (12), 7684-7698.

Kuribayashi M., Ohara T., Shimizu A. (2011) Temporal variation and vertical structure of the marine atmospheric mixed layer over the East China Sea from mie-scattering Lidar Data. *Science Online Letters on the Atmosphere*, 7, 189-192.

- Kuribayashi M., Ohara T., Morino Y., Uno I., Kurokawa J., Hara H. (2012) Long-term trends of sulfur deposition in East Asia during 1981–2005. *Atmospheric environment*, 59, 461–475.
- Lamarque J.-F., Shindell D.T., Josse B., Young P.J., Cionni L., Eyring V., Bergmann D., Cameron-Smith P., Collins W.J., Collins W.J., Doherty R., Dalsoren S., Faluvegi G., Folberth G., Ghan S.J., Horowitz L.W., Lee Y.H., MacKenzie I.A., Nagashima T., Naik V., Plummer D., Righi M., Rumbold S.T., Schulz M., Skeie R.B., Stevensons D.S., Strode S., Sudo K., Szopa S., Voulgarakis A., Zeng G. (2013) The Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP): overview and description of models, simulations and climate diagnostics. *Geoscientific Model Development*, 6, 179–206.
- Lee Y.H., Lamarque J.-F., Flanner M.G., Jiao C., Shindell D.T., Berntsen T., Bisiaux M.M., Cao J., Collins W.J., Curran M., Edwards R., Faluvegi G., Ghan S., Howowitz L.W., McConnell J.R., Ming J., Myhre G., Nagashima T., Naik V., Rumbold S.T., Skeie R.B., Sudo K., Takemura T., Thevenon F., Xu B., Yoon J.-H. (2013) Evaluation of preindustrial to present-day black carbon and its albedo forcing from Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 2607–2634.
- Li J., Wang Z., Wang X., Yamaji K., Takigawa M., Kanaya Y., Pochanart P., Liu Y., Irie H., Tanimoto H. (2011) Impacts of aerosols on summertime tropospheric photolysis frequencies and photochemistry over Central Eastern China. *Atmospheric Environment*, 45 (10), 1817–1829.
- Li M.M., Liu A.T., Zou C.J., Xu W.D., Shimizu H., Wang K.Y. (2012) An overview of the “Three-North” Shelterbelt project in China. *Forestry Studies in China*, 14 (1), 70–79.
- Liu A.T., Zou C.J., Zhang C., Zheng Y.R., Shimizu H., Xu W.D. (2011) Intraspecific diversity: adaptive differentiation of *Picea mongolia* W. D. Xu ecotypes. *Forestry Studies in China*, 13 (3), 189–197.
- Liu C., Wang Q-X., Yang Y-H., Wang K-L., Ouyang Z., Li Y., Lei A-L., Yasunari T. (2011) Recent trends of nitrogen flow of typical agro-ecosystems in China -major problems and potential solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92 (5), 1046–1053.
- 劉晨, 王勤学, 李全鹏, 石村真夫 (2012) 中国漢江流域における水環境に関する住民意識の調査－日本との比較検討を通して－. *環境科学会誌*, 25 (5), 333–346.
- Liu C., Zou C-J., Wang Q-X., Hayashi Y., Yasunari T. (2014) Impact assessment of human diet changes with rapid urbanization on regional nitrogen and phosphorus flows—a case study of the megacity Shanghai. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (3), 1905–1914.
- Liu C., Wang Q-X., Zou C-J., Hayashi Y., Yasunari T. (2015) Recent trends in nitrogen flows with urbanization in the Shanghai megacity and the effects on the water environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (5), 3431–3440.
- Liu R., Li Y., Wang Q-X. (2011) Variations in water and CO₂ fluxes over a saline desert in western China. *Hydrological Processes*, 26 (4), 513–522.
- Liu R., Pan L-P, G. Darrel Jenerette, Wang Q-X., Ellen Cieraad, Li Y. (2012) High efficiency in water use and carbon gain in a wet year for a desert halophyte community. *Agricultural and Forest Meteorology*, 162–163, 127–135.
- Luo Q., Wang K-L., Wang Q-X. (2011) Using SWAT to simulate runoff under different land use scenarios in Xiangjiang River Basin. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 19 (6), 1431–1436 <In Chinese>.
- Madaniyazi L., Nagashima T., Guo Y., Yu W., Tong S. (2015) Projecting Fine Particulate Matter-Related Mortality in East China. *Environmental Science and Technology*, 49, 11141–11150.
- Madaniyazi L., Nagashima T., Guo Y., Pan X. (2016) Projecting ozone-related mortality in East China. *Environment International*, 92–93, 165–172.
- Marumoto K., Hayashi M., Takami A. (2015) Atmospheric mercury concentrations at two sites in the Kyushu Islands, Japan, and evidence of long-range transport from East Asia. *Atmospheric Environment*, 117, 147–155.

- 間山憲仁, 後藤栄太, 三浦祐哉, 大石乾詞, 坂本哲夫, 高見昭憲, 畠山史郎, 坂東博, 村野健太郎, 藤井正明 (2012) 高分解能飛行時間型二次イオン質量分析法を用いた微粒子粒別起源解析法の開発. *Journal of the Vacuum Society of Japan プロシーディングス*, 55 (3), 105-107.
- Mohri T., Kogawara S., Igasaki T., Yasutani Y., Aono M., Nakajima N., Shinohara K. (2011) Improvement in the ozone tolerance of poplar plants with an antisense DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase. *Plant Biotechnology*, 28, 417-421.
- Morino Y., Ohara T., Nishizawa M. (2011) Atmospheric behavior, deposition, and budget of radioactive materials from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011. *Geophysical Research Letters*, 38 (7), L00G11, 7p.
- Morino Y., Tanabe K., Sato K., Ohara T. (2014) Secondary organic aerosol model intercomparison based on secondary organic aerosol to odd oxygen ratio in Tokyo. *Journal of Geophysical Research*, 119 (23), 13489-13505.
- Morino Y., Nagashima T., Sugata S., Sato K., Tanabe K., Noguchi T., Takami A., Tanimoto H., Ohara T. (2015) Verification of Chemical Transport Models for PM_{2.5} Chemical Composition Using Simultaneous Measurement Data over Japan. *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 2009-2023.
- Morino Y., Ohara T., Xu J., Hasegawa S., Zhao B., Fushimi A., Tanabe K., Kondo M., Uchida M., Yamaji K., Yang L., Song S., Dong W., Wu Y., Wang S., Hao J. (2015) Diurnal variations of fossil and nonfossil carbonaceous aerosols in Beijing. *Atmospheric Environment*, 122, 349-356.
- Nabat P., Somot S., Mallet M., Chiapello I., Morcrette J.J., Solomon F., Szopa S., Dulac F., Collins W., Ghan S., Horowitz L.W., Lamarque J.F., Lee Y.H., Naik V., Nagashima T., Shindell D., Skeie R. (2013) A 4-D climatology (1979-2009) of the monthly tropospheric aerosol optical depth distribution over the Mediterranean region from a comparative evaluation and blending of remote sensing and model products. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6, 1287-1314.
- Naik V., Voulgarakis A., Fiore A.M., Horowitz L.W., Lamarque J.-F., Lin M., Prather M.J., Young P.J., Bergmann D., Cameron-Smith P.J., Cionni I., Collins W.J., Dalsoren S.B., Dherty R., Eyring V., Faluvegi G., Folberth G.A., Josse B., Lee Y.H., MacKenzie I.A., Nagashima T., van Noije T.P.C., Plummer D.A., Righi M., Rumbold S.T., Skeie R., Shindell D.T., Stevenson D.S., Strode S., Sudo K., Szopa S., Zeng G. (2013) Preindustrial to present-day changes in tropospheric hydroxyl radical and methane lifetime from the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 5277-5298.
- Nakajima T., Takenaka H., Goto D., Misawa S., Uchida J., Nakajima T. Y. (2013) Measurements and modeling of the solar radiation budget. *Simulation*, 32, 199-207.
- Nakao S., Clark C., Tang P., Sato K., Cocker D. III (2011) Secondary organic aerosol formation from phenolic compounds in the absence of NO_x. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11 (20), 10649-10660.
- Nakayama T., Sato K., Matsumi Y., Imamura T., Yamazaki A., Uchiyama A. (2012) Wavelength dependence of refractive index of secondary organic aerosol generated during the ozonolysis and photooxidation of α -pinene. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 8, 119-123.
- Nakayama T., Sato K., Matsumi Y., Imamura T., Yamazaki A., Uchiyama A. (2013) Wavelength and NO_x dependent complex refractive index of SOAs generated from the photooxidation of toluene. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13 (1), 531-545.
- Nara H., Tanimoto H., Nojiri Y., Mukai H., Machida T., Tohjima Y. (2011) Onboard measurement system of atmospheric carbon monoxide in the Pacific by voluntary observing ships. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4 (11), 2495-2507.
- Nara H., Tanimoto H., Nojiri Y., Mukai H., Zeng J., Tohjima Y., Machida T. (2011) CO emissions from biomass burning in South-east Asia in the 2006 El nino year: shipboard and AIRS satellite observations. *Environmental Chemistry*, 8 (2), 213-223.
- Nawahda A., Yamashita K., Ohara T., Kurokawa J., Yamaji K. (2012) Evaluation of Premature Mortality Caused by Exposure to PM_{2.5} and Ozone in East Asia: 2000, 2005, 2020. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223, 3445-3459.

Nawahda A., Yamashita K., Ohara T., Kurokawa J., Yamaji K. (2013) Evaluation of the Effect of Surface Ozone on Main Crops in East Asia: 2000, 2005, and 2020. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224 (1537), 19p.

Noguchi K., Richter A., Bovensmann H., Hilboll A., Burrows J.P., Irie H., Hayashida S., Morino Y. (2011) A feasibility study for the detection of the diurnal variation of tropospheric NO₂ over Tokyo from a geostationary orbit. *Advances in Space Research*, 48 (9), 1551–1564.

小川佳美, 兼保直樹, 佐藤圭, 高見昭憲, 林政彦, 原圭一郎, 畠山史郎 (2012) 長距離輸送された多環芳香族炭化水素と *n*-アルカン—2009年春および秋季の沖縄辺戸岬, 福江島, 福岡での測定から—. *大気環境学会誌*, 47 (1), 18–25.

Ohata S., Schwarz J.P., Moteki N., Koike M., Takami A., Kondo Y. (2016) Hygroscopicity of materials internally mixed with black carbon measured in Tokyo. *Journal of Geophysical Research*, 121, 362–381.

Okadera T., Okamoto N., Watanabe M., Chontanawat J. (2014) Regional water footprints of the Yangtze River: an interregional input-output approach. *Economic Systems Research*, 26 (4), 444–462.

岡本信広, 岡寺智大 (2014) 中国の地域間仮想水交易と水資源配分の環境公平性評価. *地域学研究*, 44 (1), 111–122.

Parrish D.D., Law K.S., Staehelin J., Derwent R., Cooper O.R., Tanimoto H., Volz-Thomas A., Gilge S., Scheel H.-E., Steinbacher M., Chan E. (2013) Lower tropospheric ozone at northern mid-latitudes: Changing seasonal cycle. *Geophysical Research Letters*, 40 (8), 1631–1636.

Priyadarshi A., Falkenthal J., Thiemens M., Yoshida N., Toyoda S., Yamada K., Mukotaka A., Fujii A., Uematsu M., Hatakeyama S., Noguchi I., Nojiri Y., Tanimoto H. (2013) Detection of Radioactive ³⁵S at Fukushima and other Japanese sites. *Journal of Geophysical Research*, 118 (2), 1020–1027.

定永靖宗, 坂東博, 新垣雄光, 張代洲, 渡邊泉, 藤本敏行, 奥山喜久夫, 荻崇, 瀬戸章文, 高見昭憲, 清水厚, 畠山史郎 (2014) 東シナ海上空における窒素化合物の航空機観測. *エアロゾル研究*, 29 (S1), 117–124.

Sadanaga Y., Kobashi T., Yuba A., Kato S., Kajii Y., Takami A., Bandow H. (2015) Evaluation of Photochemical Pollution during Transport of Air Pollutants in Spring over the East China Sea. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 9 (4), 237–246.

Sahu S., Ohara T., Beig G., Kurokawa J., Nagashima T. (2015) Rising critical emission of air pollutants from renewable biomass based cogeneration from the sugar industry in India. *Environmental Research Letters*, 10, 095002.

Saitoh K., Sera K., Oikawa M., Shimizu H. (2014) Analysis of elemental content and map of beech leaves by PIXE and micro-PIXE. *International Journal of PIXE*, 24 (3), 177–188.

Sato K., Nakao S., Clark C.H., Qi L., Cocker III D.R. (2011) Secondary organic aerosol formation from the photooxidation of isoprene, 1,3-butadiene, and 2,3-dimethyl-1,3-butadiene under high NO_x conditions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11 (14), 7301–7317.

Sato K., Takami A., Kato Y., Seta T., Fujitani Y., Hikida T., Shimono A., Imamura T. (2012) AMS and LC/MS analyses of SOA from the photooxidation of benzene and 1,3,5-trimethylbenzene in the presence of NO_x: effects of chemical structure on SOA aging. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12 (10), 4667–4682.

Sato K., Inomata S., XING J-H., Imamura T., Uchida R., Fukuda S., Nakagawa K., Hirokawa J., Okumura M., Tohno S. (2013) Effect of OH radical scavengers on secondary organic aerosol formation from reactions of isoprene with ozone. *Atmospheric Environment*, 79, 147–154.

Sato K., Takami A., Irei S., Miyoshi T., Ogawa Y., Yhoshino A., Nakayama H., Maeda M., Hatakeyama S., Hara K., Hayashi M., Kaneyasu N. (2013) Transported and Local Organic Aerosols over Fukuoka, Japan. *Aerosol and Air Quality Research*, 13 (4), 1263–1272.

佐藤圭, 高見昭憲, 兼保直樹, 清水厚, 小川佳美, 吉野彩子, 中山寛康, 前田恵, 原圭一郎, 林政彦, 伊禮聡, 三好猛雄, 畠山史郎 (2014) 2009～2012年北部九州の都市と離島における大気中ベンゾ [a] ピレン濃度. *気環境学会誌*, 49 (3), 138–148.

佐藤圭, 江波進一, 藤谷雄二, 古山昭子, 伏見暁洋, 猪俣敏, 桑田幹哲, 持田陸宏, 森野悠, 中山智喜, 大島長, 坂本陽介, 高見昭憲, 上田佳代, 吉野彩子, 白岩学 (2016) JSPS-DFG セミナー「大気エアロゾルの物理化学特性ならびにその大気質および健康への影響」の参加報告. 大気化学研究, 34, 41-43.

Satoh K., Saji S., Ito S., Shimizu H., Saji H., Kikuchi S. (2014) Gene response in rice plants treated with continuous fog influenced by pH, was similar to that treated with biotic stress. *Rice*, 7 (10), 11p.

Satoh M., Tomita H., Yashiro H., Miura H., Kodama C., Seiki T., Noda A.T., Yamada Y., Goto D., Sawada M., Miyoshi T., Niwa Y., Hara M., Ohno T., Iga S., Arakawa T., Inoue T., Kubokawa H. (2014) The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development. *Progress in Earth and Planetary Science*, 1 (18).

Schnell J.L., Prather M.J., Josse B., Naik V., Horowitz L.W., Cameron-Smith P., Bergmann D., Zeng G., Plummer D.A., Sudo K., Nagashima T., Shindell D.T., Faluvegi G., Strode S.A. (2015) Use of North American and European air quality networks to evaluate global chemistry-climate modeling of surface ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 10581-10596.

Shi J., Shimizu H., Zou C.J. (2011) Differentiation and population subdivision in *Picea mongolica* based on microsatellite analyses. *Biochem. Syst. Ecol.*, 38 (6), 1-7.

重富陽介, 弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 畠山史郎, 加藤俊吾, 梶井克純, 竹中規訓, 板東博 (2012) 沖縄辺戸岬での長期連続観測による越境大気汚染物質の経年変動. 大気環境学会誌, 47 (1), 45-50.

Shimada K., Shimada M., Takami A., Hasegawa S., Fushimi A., Arakaki T., Watanabe I., Hatakeyama S. (2015) Mode and Place of Origin of Carbonaceous Aerosols Transported From East Asia to Cape Hedo, Okinawa, Japan. *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 799-813.

Shimadera H., Hayami H., Morino Y., Ohara T., Chatani S., Hasegawa S., Kaneyasu N. (2013) Analysis of summertime atmospheric transport of fine particulate matter in Northeast Asia. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49 (3), 347-360.

Shimadera H., Hayami H., Chatani S., Morino Y., Mori Y., Morikawa T., Yamaji K., Ohara T. (2014) Sensitivity analyses of factors influencing CMAQ performance for fine particulate nitrate. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64 (4), 374-387.

Shimadera H., Hayami H., Ohara T., Morino Y., Takami A., Irei S. (2014) Numerical simulation of extreme air pollution by fine particulate matter in China in winter 2013. *Asian Journal of Atmospheric Sciences*, 8 (1), 25-34.

清水英幸, 伊藤祥子 (2013) プナに及ぼす複合的なストレスの影響. 森林科学, 67, 14-17.

Shindell D.T., Lamarque J.-F., Schulz M., Flanner M., Jiao C., Chin M., Yound P.J., Rotstayn L., Mahowald N., Milly G., Faluvegi G., Balkanski Y., Collins W.J., Conley A.J., Dalsoren S., Easter R., Ghan S., Horowitz L., Liu X., Myhre G., Nagashima T., Naik V., Rumbold S.T., Skeie R., Sudo K., Szopa S., Takemura T., Voulgarakis A., Yoon J.-H., Lo F. (2013) Radiative forcing in the ACCMIP historical and future climate simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 2939-2974.

Silva R.A., West J.J., Zhang Y., Anenberg S.C., Lamarque J.-F., Shindell D.T., Collins W.J., Dalsoren S., Faluvegi G., Folberth G., Horowitz L.W., Nagashima T., Naik V., Rumbold S., Skeie F., Sudo K., Takemura T., Bergmann D., Cameron-Smith P., Cionni I., Doherty R.M., Eyring V., Josse B., MacKenzie I.A., Plummer D., Righi M., Stevenson D.S., Strode S., Szopa S., Zeng G. (2013) Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change. *Environmental Research Letters*, 8, 034005.

Song S., Wu Y. (2013) Black carbon at a roadside site in Beijing: Temporal variations and relationships with carbon monoxide and particle number size distribution. *Atmospheric Environment*, 77, 213-221.

Stavrakou T., Müller J.-F., Boersma K.F. (2013) Key chemical NO_x sink uncertainties and how they influence top-down emissions of nitrogen oxides. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 9057-9082.

Stevenson D.S., Young P.J., Naik V., Lamarque J.-F., Shindell D.T., Voulgarakis A., Skeie R.B., Dalsoren S.B., Myhre G., Berntsen T.K., Folberth G.A., Rumbold S.T., Collins W.J., MacKenzie I.A., Doherty R.M., Zeng G., van Noije T.P.C., Strunk A., Bergmann D., Cameron-Smith P., Plummer D.A., Strode S.A., Horowitz L., Lee Y.H., Szopa S., Sudo K., Nagashima T., Josse B., Cionni I., Righi M., Eyring V., Conley A., Bowman K.W., Wild O., Archibald A. (2013) Tropospheric ozone changes, radiative forcing and attribution to emissions in the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 3063–3085.

Sun Z., Wang Q.-X., Matsushita B., Fukushima T., Ouyang Z., Watanabe M., Gebremichael M. (2013) Further evaluation of the Sim-ReSET model for ET estimation driven by only satellite inputs. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (5), 994–1012.

Takahashi K., Nansai K., Tohno S., Nishizawa M., Kurokawa J., Ohara T. (2014) Production-based emissions, consumption-based emissions and consumption-based health impacts of PM_{2.5} carbonaceous aerosols in Asia. *Atmospheric Environment*, 97, 406–415.

高見昭憲, 伊禮聡, 紀本岳志, 竹村俊彦, 林政彦, 原圭一郎, 三好猛雄, 上田佳代, 佐藤圭, 兼保直樹, 吉野彩子, 畠山史郎 (2013) 2012年夏季, 福岡市と大阪市における高濃度硫酸イオン観測事例の解析. *エアロゾル研究*, 28(4), 281–286.

高見昭憲 (2016) 2000年代初めの中国島嶼部, 山岳地における大気観測. *大気環境学会誌*, 51 (1), 29–30.

Takami A., Miyoshi T., Irei S., Yoshino A., Sato K., Shimizu A., Hayashi M., Hara K., Kaneyasu N., Hatakeyama S. (2016) Analysis of Organic Aerosol in Fukuoka, Japan Using a PMF Method. *Aerosol and Air Quality Research*, 16 (2), 314–322.

富山一, 小林伸治, 田邊潔, 茶谷聡, 高見昭憲 (2016) 稼働状況の時間変動を反映した火力発電による排出量の時間配分. *大気環境学会誌*, 51 (2), 124–131.

Tonghua Wu, Lin Zhao, Ren Li, Wang Q.-X., Changwei Xie, Qiangqiang Pang (2013) Recent ground surface warming and its effects on permafrost on the central Qinghai-Tibet Plateau. *International Journal of Climatology*, 33, 920–930.

Ueda S., Osada K., Takami A. (2011) Morphological features of soot-containing particles internally mixed with water-soluble materials in continental outflow observed at Cape Hedo, Okinawa, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 116, D17207.

Uno I., Eguchi K., Yumimoto K., Liu Z., Hara Y., Sugimoto N., Shimizu A., Takemura T. (2011) Large Asian dust layers continuously reached North America in April 2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11 (14), 7333–7341.

鵜野伊津志, 板橋秀一, 弓本桂也, 入江仁士, 黒川純一, 大原利眞 (2013) 東アジア域のNO_x排出量の経年変化と窒素化合物の挙動のモデル解析. *大気環境学会誌*, 48 (5), 223–233.

鵜野伊津志, 弓本桂也, 大原利眞, 黒川純一 (2013) タグ付きCO輸送モデルを用いたアジア域のソース・リセプター解析. *大気環境学会誌*, 48 (3), 123–132.

鵜野伊津志, 弓本桂也, 大原利眞, 黒川純一 (2013) タグ付き輸送モデルによるアジア域のCO濃度と発生源寄与の長期解析. *大気環境学会誌*, 48 (3), 133–139.

Verma R.L., Kondo Y., Oshima N., Matsui H., Kita K., Sahu L.K., Kato S., Kajii Y., Takami A., Miyakawa T. (2011) Seasonal variations of the transport of black carbon and carbon monoxide from the Asian continent to the western Pacific in the boundary layer. *Journal of Geophysical Research*, 116, D21307.

Voulgarakis A., Naik V., Lamarque J.-F., Shindell D. T., Young P.J., Prather M.J., Wild O., Field R.D., Bergmann D., Cameron-Smith P., Cionni I., Collins W.J., Dalsoren S.B., Doherty R.M., Eyring V., Faluvegi G., Folberth G.A., Horowitz L.W., Josse B., MacKenzie I.A., Nagashima T., Plummer D.A., Righi M., Rumbold S.T., Stevenson D.S., Strode S.A., Sudo K., Szopa S., Zeng G. (2013) Analysis of present day and future OH and methane lifetime in the ACCMIP simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 2563–2587.

Wang Q.-X., Xiao Q., Liu C., Wang K.-L., Ye M., Lei A.-L., Song X.-F., Kohata K. (2011) Effect of reforestation on nitrogen and phosphorus dynamics in the catchment ecosystems of subtropical China: the example of the Hanjiang River basin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92 (5), 1119–1129.

王勤学 (2012) 長江流域圏からの降水・窒素負荷流出のシミュレーション. 水環境学会誌, 35 (2), 59-64.

Wang Q-X., Koshikawa H., Liu C., Otsubo K. (2014) 30-year changes in the nitrogen inputs to the Yangtze River Basin. *Environ. Res. Lett.*, 9 (115005), 1-12.

Wang S., Song X., Wang Q-X., Xiao G., Wang Z., Liu X., Wang P. (2012) Shallow groundwater dynamics and origin of salinity at two sites in salinated and water-deficient region of North China Plain, China. *Environmental Earth Sciences*, 66, 729-739.

Wang S-Q., Tang C-Y., Song X-F., Yuan R-Q., Wang Q-X., Zhang Y-H. (2013) Using major ions and $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ to identify nitrate sources and fate in an alluvial aquifer of the Baiyangdian lake watershed, North China Plain. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15, 1430-1443.

Wang S-Q., Tang C-Y., Song X-F., Wang Q-X., Zhang Y-H., Yuan R-Q. (2014) The impacts of a linear wastewater reservoir on groundwater recharge and geochemical evolution in a semi-arid area of the Lake Baiyangdian watershed, North China Plain. *Science of The Total Environment*, 482-483 (1), 325-335.

Watanabe M., Noma H., Kurai J., Shimizu A., Sano H., Kato K., Mikami M., Ueda Y., Tatsukawa T., Ohga H., Yamasaki A., Igishi T., Kitano H., Shimizu E. (2015) Association of Sand Dust Particles with Pulmonary Function and Respiratory Symptoms in Adult Patients with Asthma in Western Japan Using Light Detection and Ranging: A Panel Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (10), 13038-13052.

Wu T., Wang Q-X., L.Zhao, E.Du, W.Wang, O.Batkhisig, D.Battogtokh, M.Watanabe (2012) Investigating internal structure of permafrost using conventional methods and ground-penetrating radar at Honhor basin, Mongolia. *Environmental Earth Sciences*, 67 (7), 1869-1876.

Wu T-H., Wang Q-X., Zhao L., Batkhisig O., Watanabe M. (2011) Observed trends in surface freezing/thawing index over the period 1987-2005 in Mongolia. *Cold Regions Science and Technology*, 69 (1), 105-111.

Wang Y-W, Yang Y-H, Zhao N., Liu C., Wang Q-X. (2012) The magnitude of the effect of air pollution on sunshine hours in China. *Journal of Geophysical Research*, 117, D00V14.

Wang Y-W, Yang Y-H, Han S-M, Wang Q-X., Zhang J-H (2013) Sunshine dimming and brightening in Chinese cities (1955-2011) was driven by air pollution rather than clouds. *Climate Research*, 56, 11-20.

Xiao W-W, Sun Z., Wang Q-X., Yang Y-H (2013) Evaluating MODIS phenology product for rotating croplands through ground observations. *J. Appl. Remote Sens.*, 7 (1), 073562 (May 23, 2013). doi:10.1117/1.JRS.7.073562.

Xu Z., Shimizu H., Yagasaki Y., Ito S., Zheng Y., Zhou G. (2013) Interactive Effects of Elevated CO_2 , Drought, and Warming on Plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 692-707.

Xu Z., Shimizu H., Ito S., Yagasaki Y., Zou C., Zhou G., Zheng Y. (2014) Effects of elevated CO_2 , warming and precipitation change on plant growth, photosynthesis and peroxidation in dominant species from North China grassland. *Planta*, 239 (2), 421-435.

山神真紀子, 佐川竜也, 中戸靖子, 長田健太郎, 米持真一, 山本勝彦, 山田大介, 芝和代, 山田克則, 菅田誠治, 大原利眞 (2013) 2011年2月上旬に観測された広域的な $\text{PM}_{2.5}$ 高濃度エピソードの要因推定. 大気環境学会誌, 48 (4), 196-205.

吉野彩子, 中山寛康, 小川佳美, 佐藤圭, 高見昭憲, 畠山史郎 (2011) 2010年沖縄県辺戸岬における東アジアに由来する多環芳香族炭化水素類の長距離輸送. エアロゾル研究, 26 (4), 307-314.

Young P.J., Archibald A.T., Bowman K.W., Lamarque J.-F., Naik V., Stevenson D.S., Tilmes S., Voulgarakis A., Wild O., Bergmann D., Cameron-Smith P., Cionni I., Collins W.J., Dalsoren S.B., Doherty R.M., Eyring V., Faluvegi G., Horowitz L.W., Josse B., Lee Y.H., MacKenzie I.A., Nagashima T., Plummer D.A., Righi M., Rumbold S.T., Skeie R. B., Shindell D.T., Strode S.A., Sudo K., Szopa S., Zeng G. (2013) Pre-industrial to end 21st century projections of tropospheric ozone from the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 2063-2090.

弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 清水厚, 松井一郎, 杉本伸夫, 畠山史郎, 竹中規訓, 坂東博 (2012) 清浄地域におけるガス状硝酸の日内変動要因解析. 大気環境学会誌, 47 (1), 26-32.

湯本弥生, 島田幸治郎, 荒木優志, 吉野彩子, 高見昭憲, 畠山史郎 (2015) 東アジアから辺戸に輸送されたエアロゾルの粒径別化学成分濃度とその輸送中の変質機構. エアロゾル研究, 115-125.

Zheng M., Lai L., Jiang L., An P., Yu Y.J., Zheng Y.R., Shimizu H., Baskin J.M., Baskin C.C. (2012) Moderate water supply and partial sand burial increase relative growth rate of two *Artemisia* species in an inland sandy land. *Journal of Arid Environments*, 85, 105-113.

Zheng Y.R., Xie Z.X., Roberts C., An P., Li X., Zhou. G.S., Shimizu H., Drake S. (2011) Modelling seasonal evapotranspiration of arid lands in China. *Hydrol. Res.*, 42 (1), 40-49.

Zheng Y.R., Jiang L.H., Gao Y., Chen X., Luo G.P., Feng X.W., Yu Y.J., An P., Yu Y., Shimizu H. (2013) Persistence of four dominant psammophyte species in central Inner Mongolia of China under continual drought. *Journal of Arid Land*, 5 (3), 331-339.

Zheng Y.R., Jiang L.H., Gao Y., Chen X., Luo G.P., Feng X.W., Shimizu H. (2014) Growth response and soil-plant water relations of 4 dominant psammophyte species with soil moisture in central Inner Mongolia. *Turkish Journal of Botany*, 38, 325-333.

〈雑誌(査読なし)〉

坂東博, 高見昭憲, 加藤俊吾, 定永靖宗 (2012) 反応性微量成分による海洋大気化学過程の変調. 海洋表層・大気下層間の物質循環リンケージ 平成 18 年度~平成 22 年度科学研究費補助金(特定領域研究)研究成果報告書, 1-8.

Goto D., Oshima N., Nakajima T., Takemura T., Ohara T. (2012) Impact of the aging process of black carbon aerosols on their spatial distribution, hygroscopicity, and radiative forcing in a global climate model. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, 12, 29801-29849.

金谷弦 (2011) 東日本大震災による沿岸・干潟生態系, 生物多様性への影響. 資源環境対策, 47 (9), 13-19.

兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 松見豊 (2011) 健康影響が懸念される PM_{2.5} 粒子状物質の我が国風上域での動態把握 - PM_{2.5} 通年濃度, PAHs, キノン, および個別粒子解析にみられる九北部地域の特徴 -. 畠山史郎, 東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト, (ASEPH) 平成 22 年度科研費補助金(新学術領域研究 4003) 研究成果報告書, 53-60.

Kaneyasu N., Takami A., Sato K., Matsumi Y. (2011) Field study of PM_{2.5} and harmful substances to human health in aerosols at upwind areas of Japan-Pollution characteristics of the Northern Kyushu area viewed from PM_{2.5} year-round data, PAHs, quinones, and single particle analysis-. In: HATAKEYAMA Shiro, Impacts of Aerosols in East Asia on Plants and Human Health (ASEPH) Research Report 2010, Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas No.4003 Funded by the Ministry of Education, Culture, Sports, science and Technology, 33-36.

兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 松見豊 (2013) 健康影響が懸念される PM_{2.5} 粒子状物質の我が国風上域での動態把握 - 全体研究期間の成果概観 -. 兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 松見豊 著, 東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト平成 24 年度研究成果報告書, 51-58.

Kaneyasu N., Takami A., Sato K., Matsumi Y. (2013) Field study of PM_{2.5} and harmful substances to human health in aerosols at upwind areas of Japan. In: Kaneyasu N, Takami A., Sato K., Matsumi Y., Impacts of Aerosols in East Asia on Plants and Human Health (ASEPH) Research Report 2012, 31-34.

神成陽容, 大原利眞 (2013) オゾン生成レジームに関する法則 - オゾン低減戦略のための理論として -. 大気環境学会誌, 48 (2), 110-111.

水落元之, 小柳秀明, 久山哲雄 (2011) 中国の水環境および下水処理場の現況について. 環境技術, 40 (12), 746-750.

水落元之 (2015) 中国太湖における水質トレンドと関連する状況について. 環境技術, 44 (3), 170-174.

水谷千亜紀 (2014) 事業所活動に関連するデータの入手可能性. 研究所報, (44), 73-78.

森野悠 (2012) 第 3 回アジアにおける排出インベントリに関する国際ワークショップの開催報告. 大気化学研究会ニュースレター, 27, 4-4.

森野悠 (2015) 地域スケールの化学輸送モデリング. 大気環境学会誌, 50 (3), 131-137.

永島達也 (2011) 大気モデル - 第 4 講 全球規模の大気化学モデル -. 大気環境学会誌, 46 (3), A41-A49.

永島達也 (2011) 環境研究に活用される大気化学モデル. 日本化学会情報化学部会誌, 29 (4), 71-75.

永島達也 (2014) 入門講座 数式で理解する分析化学 大気化学輸送モデル. ぶんせき, 10, 522-527.

Nakayama T., Sato K., Matsumi Y., Imamura T., Yamazaki A., Uchiyama A. (2012) Wavelength and NO_x dependent complex refractive index of SOAs generated from the photooxidation of toluene. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 12 (6), 14551-14589.

大原利眞 (2011) PM_{2.5} の現状と課題. 空気清浄, 48 (5), 3-9.

大原利眞 (2011) なぜ, 日本の山岳や島嶼でオゾン濃度が上昇しているのか?. 日本生態学会誌, 61, 77-81.

大原利眞 (2011) 大気汚染の数値モデリングと排出インベントリに関する研究 - 大気環境の統合研究をめざして -. 大気環境学会誌, 46 (4), 201-208.

- 大原利眞 (2012) 東アジアにおける広域越境大気汚染モデリングの最新動向. 水環境学会誌, 35 (A), 6-9.
- 大原利眞 (2012) 越境大気汚染による PM_{2.5} の日本への影響. 環境技術, 41 (5), 275-278.
- 大原利眞 (2012) 広域大気汚染研究をめぐる最近の状況と今後の展望. 日中環境産業, 48 (9), 29-35.
- 大原利眞 (2012) 光化学オキシダントの最近の動向と最新の知見. ペテロテック, 35 (11), 820-824.
- 大原利眞 (2013) 最近の PM_{2.5} 汚染問題をどのように考えるか?. 科学, 83 (4), 420-424.
- 大原利眞 (2013) 中国における大気汚染の現状. 環境と公害, 43 (1), 45-50.
- 佐藤圭 (2011) 特集にあたって: 東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト. エアロゾル研究, 26 (2), 102.
- 佐藤圭 (2011) 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」関連用語. エアロゾル研究, 26 (2), 133.
- Sato K. (2011) Interactive comment on “Transpacific transport of Benzo[a]pyrene emitted from Asia: importance of warm conveyor belt and interannual variations” by Y. Zhang et al.. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 11, C6773-C6774.
- Sato K., Takami A., Kato Y., Seta T., Fujitani Y., Hikida T., Shimono A., Imamura T. (2012) AMS and LC/MS analyses of SOA from the photooxidation of benzene and 1,3,5-trimethylbenzene in the presence of NO_x: effects of chemical structure on SOA aging. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 12 (1), 283-318.
- 佐藤圭, 伏見暁洋, 森野悠, 濱尚矢, 斎藤衛修, 木本成, 北山智歩 (2013) アメリカエアロゾル学会第 31 回年会酸化報告. エアロゾル研究, 28 (1), 71-76.
- 佐藤圭 (2013) 特集にあたって: 多環芳香族炭化水素 (PAH) のエアロゾル化学. エアロゾル研究, 28 (1), 4.
- 佐藤圭 (2013) 「多環芳香族炭化水素 (PAH) のエアロゾル化学」関連用語. エアロゾル研究, 28 (1), 42-43.
- 清水英幸, 岩元美有記, 山本卓也, JIANG XiangXu, 風野敏英, 藤沼康美, 戸塚績, 岩月善之助 (2014) 酸性霧暴露システムの開発および酸性霧の蘚苔類への影響. 蘚苔類研究, 11 (3), 95-96.
- 菅田誠治 (2013) 大気中の物質はどのように運ばれるか. 安全工学, 52 (6), 359-363.
- 菅田誠治 (2014) 大気汚染物質の観測と数値予測の現状と課題. 環境情報科学, 42 (4), 1-5.
- 菅田誠治 (2014) PM_{2.5} の現状と今後の課題. モダンメディア, 60 (8), 23-26.
- 菅田誠治 (2014) PM_{2.5} の越境輸送と数値シミュレーション. 化学物質と環境, (126), 8-10.
- 高見昭憲, 上田佳代, 渡辺知保, 横張真, 村上暁信, 増富祐司, 樋口篤志 (2011) 影響評価と適応策の構築. 中島映至, 文部科学省地球観測技術等調査研究委託事業 大気環境物質のためのシームレス同化システムの構築と応用 平成 22 年度報告書, 東京大学大気海洋研究所, 73-89.
- 高見昭憲 (2012) 粒子状物質の粒径, 化学組成の計測と応用 AMS を用いた化学組成計測. クリーンテクノロジー, 22 (12), 19-22.
- 高見昭憲, 畠山史郎 (2014) (3) 九州・沖縄地区におけるガス・粒子状物質濃度変動の解析. 環境省編, 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング報告書 (平成 20 ~ 24 年度), 57-63.
- 王勤学 (2014) 長江流域における汚濁負荷発生量の空間分布変動に関する研究. 国立環境研究所ニュース, 33 (5), 6-8.
- Zou C.J., Dai X., Fang H., Xu P., Shimizu H. (2012) Revegetation in the refuse-dump of an open coal mine in Huolinhe diggings in northern China. 2012 International Conference on Environmental Pollution and Public Health, 869-877.

〈書籍等〉

Janssens-Maenhout G., Dentener F., van Aardenne J., Monni S., Pagliari V., Orlandini L., Klimont Z., Kurokawa J., Akimoto H., Ohara T., Wankmuller R., Battye B., Grano D., Zuber A., Keating T. (2012) -. Janssens-Maenhout G., Dentener F., van Aardenne J., Monni S., Pagliari V., Orlandini L., Klimont Z., Kurokawa J., Akimoto H., Ohara T., Wankmuller R., Battye B., Grano D., Zuber A., Keating T. eds., EDGAR-HTAP: a harmonized gridded air pollution emission dataset based on national inventories, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 41p.

〈書籍等 (分担執筆)〉

水落元之, 小柳秀明, 久山哲雄, 常杪 (2012) 日本分散処理施設建設管理経験. In: 常杪 小柳秀明 水落元之 久山哲雄著, 小城镇・農村生活汚水分散処理施設建設管理体系, 中国環境科学出版社, 106-145<In 中国語 (Chinese) >.

水落元之 (2012) 第1章 太湖流域における水環境保全事業の展開と課題. 大塚健司編, 中国太湖流域の水環境ガバナンス-対話と協働による再生に向けて-, アジア経済研究所, 27-75.

Morino Y. (2015) 4.2.1 Spatial distribution and seasonal variation. 4.2.2 Long term trend and inter-annual variation. 4.2.3 Source-receptor relationships. In: Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET) ed., Review on the State of Air Pollution in East Asia, 132-138 138-144 144-148.

Nagashima T. (2015) 3.2.3 Source-receptor relationships. In: Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET) ed., Review on the State of Air Pollution in East Asia, 78-89.

Ohara T. (2011) Long-range Transport and Deposition of Air Pollution. In: Nriagu J.O. ed., Encyclopedia of Environmental Health, Burlington: Elsevier, 515-519.

大原利眞 (2012) 大気への物質放出. 日本地球化学会編, 地球と宇宙の科学辞典, 朝倉書店, 203.

大原利眞 (2013) 第3章 発生源と越境汚染状況. 編集企画委員会編著, PM_{2.5}の基礎知識, 日本環境衛生センター, 26-32.

高見昭憲 (2011) 大気エアロゾルのモニタリング. 山下善之監修, 計測・モニタリング技術-化学計測・計装の最先端とその応用-, シーエムシー出版, 154-164.

Tanimoto H. (2015) 3.1 Overview. 3.2.2 Long-term trends and inter annual variations. 3.4 Summary In: Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET) ed., Review on the State of Air Pollution in East Asia, 59-60 71-78 108-110.

Wang Q-X., Sun Z-G., Matsushita B., Watanabe M. (2011) A Simple Remote Sensing EvapoTranspiration Model (Sim-ReSET) and its Application. In: Leszek Labeledzkied., Evapotranspiration, InTech Publisher, 151-162.

Zhu T., Cayetano M.G., Chen C., Guttikunda S., Hu M., Kim Y.J., Kondo Y., Louie P.K.K., Molina L., Morino Y., Oanh N.T.K., Olaguer E.P., Permadi D.A., Pongkiatkul P., Salam A., Shao M., Sun X., Wakamatsu S., Wang H., Zawar-Reza P. (2012) CHAPTER 3- ASIA. In: Tong Zhu, Megan L. Melamed, David Parrish, Michael Gauss, Laura Gallardo Klenner, Mark Lawrence, Abdourahamane Konare and Cathy Lioussse, WMO/IGAC Impacts of Megacities on Air Pollution and Climate, GAW Report No.205, World Meteorological Organization, 59-140.

Zou C.J., Xu W.D., Shimizu H., Wang K.Y. (2012) An Overview on Spruce Forests in China. In: Andrew Akwasi Oteng-Amoakoed., New Advances and Contributions to Forestry Research, InTech, 205-224 .

2.2 口頭発表

発表者・(暦年)・題目・学会等名称・予稿集名・頁

- 秋山千亜紀, 戴瀚程, 岡寺智大, 東博紀, 増井利彦, 越川海, 村上正吾 (2014) 中国における地域水資源の将来的な利用可能性. 第23回地理情報システム学会学術研究発表大会, なし.
- 秋山千亜紀, 戴瀚程, 東博紀, 岡寺智大, 越川海, 増井利彦 (2015) 経済推計に基づく中国の地域別・産業別取水量の将来予測. 土木学会関東支部第42回技術研究発表会, 同講演概要集 (CD-ROM).
- 秋山千亜紀, 戴瀚程, 東博紀, 岡寺智大, 越川海, 増井利彦 (2015) 社会経済の近未来シナリオに基づく中国の地域別・産業別 COD 発生負荷量の予測. 平成27年度土木学会全国大会第70回年次学術講演会, 第70回年次学術講演会講演概要集, 221-222.
- 秋山千亜紀, 東博紀, 越川海, 戴瀚程, 岡寺智大, 増井利彦 (2015) 将来の中国における水質汚濁負荷物質発生量とその削減可能性. 2015年日本地理学会秋季学術大会, 日本地理学会発表要旨集, (88), 122.
- 秋山千亜紀, 東博紀, 越川海, 水落元之, 戴瀚程, 岡寺智大, 増井利彦 (2015) 中国における産業系排水原単位に着目した将来の水質汚濁負荷物質発生負荷量. 第24回地理情報システム学会研究発表大会, なし.
- 秋山雅行, 大塚英幸, 芥川智子, 菅田誠治, 大原利眞 (2013) 積雪寒冷地特有の発生源における PM_{2.5} 排出状況について. 大気環境学会第54回年会, 同予稿集, 480.
- 青野光子, 岡崎淳, 三輪誠, 武田麻由子, 小松宏昭, 上野千恵, 山神真紀子, 中島寛則, 久保明弘, 佐治光 他 (2011) 植物のオゾン被害とストレス診断に関する研究. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会年会講演要旨集, 340.
- 青野光子, 岡崎淳, 三輪誠, 武田麻由子, 小松宏昭, 上野千恵, 山神真紀子, 中島寛則, 岡村祐里子, 福田拓, 中村朋史, 須田隆一, 光武隆久, 横山仁, 久保明弘, 佐治光 (2012) 植物のオゾン被害とストレス診断に関する研究 —アサガオで知る大気汚染—. 大気環境学会植物分科会講演会 大気環境と植物 —植物に迫る気候変動と大気汚染の脅威—, 同予稿集, 36.
- 青野光子, 三輪誠, 岡崎淳, 武田麻由子, 小松宏昭, 山神真紀子, 中島寛則, 岡村祐里子, 須田隆一, 中村朋史, 古川誠, 柳沼圭吾, 渡邊稔, 横山仁, 久保明弘, 佐治光 (2012) 遺伝子発現による植物のストレス診断はどこまで出来るか?. 大気環境学会第53回年会, 同要旨集, 277.
- 荒木優志, 鈴木亮太, 石田貴嗣, 中嶋吉弘, 渡邊泉, 畠山史郎, 吉野彩子, 高見昭憲 (2013) 沖縄辺戸岬におけるエアロゾル金属成分の粒径別解析. エアロゾル科学・技術研究討論会第30回, 同予稿集, 197-198.
- 荒木優志, 中嶋吉弘, 渡邊泉, 畠山史郎, 高見昭憲, 吉野彩子 (2014) 沖縄県辺戸岬と長崎県福江島におけるエアロゾル金属成分の粒径別解析. エアロゾル科学・技術研究討論会第31回, 同予稿集.
- 浅川大地, 秋山雅行, 小泉英誉, 坂本功, 遠藤昌樹, 家合浩明, 牧野雅英, 武田麻由子, 菅田誠治 (2015) エアロゾル中のレボグルコサンと黒色炭素濃度の時間変動: シベリア森林火災の影響. 第56回大気環境学会年会, 同予稿集, 273.
- Bandow H., Yuba A., Masui Y., Iseki S., Miyamoto S., Kato S., Kajii Y., Yonemura S., Yokouchi Y., Hatakeyama S., Takami A., Matsuki A., Iwasaka Y. (2012) Ground-based continuous monitoring and analyses of total reactive Odd-nitrogen species (NO_y) and total nitrates at Three sampling sites in remote areas locates in the East China Sea and in the Japan Sea. 12th International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Science Conference, Abstracts, 72.
- 坂東博, 橋本侑樹, 紫合英樹, 定永靖宗, 高見昭憲, 張代洲 (2013) 天草における NO_y・全硝酸の観測—福江との比較解析—. 大気環境学会第54回年会, 同予稿集, 433.
- 坂東博, 小林碧, 定永靖宗, 松木篤, 米村正一郎, 畠山史郎, 村野健太郎, 高見昭憲, 坂本哲夫, 三澤健太郎, 藤井正明 (2013) NO_y・全硝酸連続観測および粒子拡散解析による発生源推定の試み. 大気環境学会第54回年会, 同予稿集, 438.
- 坂東博, 定永靖宗, 堀雅貴, 高見昭憲, 村田浩太郎, 福島聡, 張代洲 (2014) 福江および天草における NO_y・全硝酸の濃度変動と粒子濃度の比較解析. 大気環境学会第55回年会, 同予稿集, 364.

Clark C., Nakao S., Sato K., Asa-Awuku A., Cocker D. III (2011) Temperature dependence of secondary organic aerosol particle-phase products from isoprene dark ozonolysis and NO photooxidation. AAAR 30th Annual conference, 2011 AAAR Annual conference Abstracts, 5E.9.

遠藤昌樹, 浅川大地, 熊谷貴美代, 山神真紀子, 橋本貴世, 小泉英誉, 武田真由子, 牧野雅英, 花岡良信, 梶田奈穂子, 長谷川就一, 菅田誠治(2015)2014年7月におけるPM_{2.5}高濃度事例の解析. 第56回大気環境学会年会, 同予稿集, 426.

藤井正明, 三澤健太郎, 間山憲仁, Riese Mikko, 坂本哲夫, 高見昭憲, 伊禮聡, 村野健太郎, 畠山史郎, 吉野彩子 他(2011)単一微粒子内部構造解析装置による越境汚染微粒子の起源・履歴解明—測定原理. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会年会講演要旨集, 511.

藤原大, 定永靖宗, 増井嘉彦, 畠山史郎, 池田圭輔, 渡邊泉, 新垣雄光, 加藤俊吾, 高見昭憲, 清水厚 他(2011)2010年12月の東シナ海上空における航空機を用いた窒素酸化物種の観測および動態解析. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会年会講演要旨集, 441.

藤原大, 定永靖宗, 増井嘉彦, 畠山史郎, 池田圭輔, 渡邊泉, 新垣雄光, 加藤俊吾, 高見昭憲, 清水厚 他(2011)2010年12月の東シナ海上空における航空機観測による窒素酸化物種の動態解析. 第17回大気化学討論会, 第17回大気化学討論会同講演要旨集, P23.

藤原大, 定永靖宗, 増井嘉彦, 畠山史郎, 池田圭輔, 渡邊泉, 新垣雄光, 加藤俊吾, 高見昭憲, 清水厚 他(2012)東シナ海上空における航空機を用いた窒素酸化物種の観測及び動態解析. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 67.

藤原大, 定永靖宗, 増井嘉彦, 弓場彬江, 坂東博, 畠山史郎, 池田圭輔, 島田幸治郎, 古賀美也子, 田辺美保, 渡邊泉, 新垣雄光, 加藤俊吾, 梶井克純, 張代洲, 原和崇, 藤本俊行, 瀬戸章文, 奥山喜久夫, 萩崇, 李信榮, 高見昭憲, 清水厚(2012)東シナ海上空での窒素酸化物種の航空機観測—季節ごとの比較. エアロゾル科学・技術研究討論会第29回, 同予稿集, 61-62.

Fujiwara H., Masui Y., Yuba A., Hatakeyama S., Ikeda K., Shimada K., Watanabe I., Arakaki T., Kato S., Kajii Y., Zhang Daizhou, Hara K., Fujimoto T., Seto T., Okuyama K., Ogi T., Lee Sin-Young, Takami A., Shimizu A., Bandow H. (2012) Aerial observation and Analyses of Nitrogen Compounds over the East China Sea. 12th International Global Atmospheric Chemistry(IGAC)Science Conference, Abstracts, 74.

古市尚基, 東博紀, 越川海, 長谷川徹, 西内耕(2013)夏季の東シナ海における乱流強度観測. 日本海洋学会2013年度春季大会, 同予稿集, (249), 109-109.

古市尚基, 東博紀, 越川海, 長谷川徹, 西内耕(2013)LESに基づく海底混合層における乱流パラメタリゼーションの性能評価. 日本海洋学会2013年度秋季大会, 同予稿集, (P08), 262.

Furuichi N., Higashi H., Koshikawa H., Hasegawa T., Nishiuchi K., Yamada H. (2014) Observations of turbulence in the summer East China Sea. PICES 2014 Annual Meeting, Abstracts, 171-171.

古市尚基(2014)海洋混合層における乱流パラメタリゼーションと粒子状物質の動態. 名古屋大学地球水循環研究センター平成26年度共同研究集会「東シナ海陸棚域の物質循環に関わる物理・化学・生物過程」, なし.

古市尚基, 東博紀(2014)LES実験を応用した海底混合層内の粒子状物質の鉛直拡散過程に関する研究. 日本海洋学会2014年度秋季大会, 同要旨集, 66.

古市尚基, 東博紀, 越川海, 古島靖夫(2015)LESモデルを用いた沖縄トラフ近傍の海底混合層過程に関する数値実験. 日本海洋学会2015年度春季大会, 同要旨集, 169.

古市尚基(2015)夏季の東シナ海における乱流強度の現場観測とスケーリング. 平成27年度名古屋大学地球水循環研究センター共同研究集会「東シナ海陸棚域の物質循環に関わる物理・化学・生物過程」, なし.

Furuichi N., Higashi H., Koshikawa H., Furushima Y. (2016) A large-eddy simulation study of the tidal bottom boundary layer and the behavior of suspended particulate matter on the Okinawa Trough, Japan. 2016 Ocean Sciences Meeting, Abstracts, (PO24A-2928).

古市尚基, 東博紀, 越川海, 山田東也 (2016) 夏季の東シナ海における懸濁粒子の現場観測. 日本海洋学会 2016 年度春季大会, 同要旨集, 346.

五藤大輔, 中島映至, Tie Dai, 打田純也, 清水達也, 佐藤陽祐, 佐藤正樹, 富田浩文, 八代尚, 原政之, 鈴木健太郎, 竹村俊彦, 須藤健吾, 森野悠, 大原利眞, 丹波洋介, 滝川雅之, 鶴野伊津志, 宮地あかね, 三澤翔大, YingLuo Li, 植松光夫, 鶴田治雄, 井上豊志郎 (2012) Stretched-NICAM-Chem の実験とその応用 (平成 24 年度中間報告). 第 3 回 SALSALSA ワークショップ, なし.

五藤大輔, 中島映至, Tie Dai, 打田純也, 清水達也, 佐藤陽祐, 高見昭憲, 上田佳代, Ng Chris Fook Sheng, 佐藤正樹, 富田浩文, 八代尚, 原政之, 鈴木健太郎, 竹村俊彦, 須藤健吾, 森野悠, 大原利眞, 丹波洋介, 滝川雅之, 鶴野伊津志, 宮地あかね, 三澤翔大, 植松光夫, 鶴田治雄, 井上豊志郎 (2012) 全球から領域スケールに対応した大気化学モデル実験とその応用. 第 18 回大気化学討論会, なし.

五藤大輔, 中島映至, Tie Dai, 打田純也, 清水達也, 佐藤陽祐, 佐藤正樹, 富田浩文, 八代尚, 原政之, 鈴木健太郎, 竹村俊彦, 須藤健吾, 森野悠, 大原利眞, 丹波洋介, 滝川雅之, 鶴野伊津志, 宮地あかね, 三澤翔大, 植松光夫, 鶴田治雄, 井上豊志郎 (2012) SALSALSA プロジェクトにおける夏季関東領域での大気微量物質シミュレーション. 日本気象学会 2012 年秋季大会, なし.

五藤大輔, 中島映至, 竹村俊彦 (2012) Evaluation of spatial distribution of Asian aerosol simulated by a global climate model. 日本エアロゾル学会 30 周年記念シンポジウム, なし.

Goto D., Dai T., Suzuki K., Nakajima T., SALSALSA project team (2012) Simulation of atmospheric aerosols around Tokyo in summer using a new-type seamless model from global to regional scales. 2012 AGU Fall Meeting, -.

Goto D., Kanazawa S., Nakajima T., Takemura T. (2012) Evaluation of a relationship between aerosols and surface downward shortwave flux through an integrative analysis of modeling and observation. International Radiation Symposium, -.

五藤大輔, 大原利眞, 中島映至, Tie Dai, 竹村俊彦, 梶野瑞王, 松井仁志, 高見昭憲, 畠山史郎, 青木一真, 杉本伸夫, 清水厚 (2013) 多角的観測とモデル相互比較を通じたアジア域における硫酸塩エアロゾル分布の不確か実性評価. 日本気象学会 2013 年秋季大会, なし.

五藤大輔, 中島映至, SALSALSA proect team (2013) MEXT/RECCA/SALSALSA プロジェクトにおける領域スケールでのエアロゾルシミュレーションとその応用. 第 54 回大気環境学会年会, なし.

五藤大輔, SALSALSA proect team (2013) 健康影響に及ぼす大気環境物質のシナリオシミュレーション. 第 4 回 SALSALSA ワークショップ, なし.

五藤大輔, SALSALSA proect team (2013) Stretch-NICAM-Chem モデルの検証とシナリオ実験への適用. 第 4 回 SALSALSA ワークショップ, なし.

五藤大輔, SALSALSA proect team (2013) 2013 年のグループ 2 の活動報告と今後の方向性. 第 4 回 SALSALSA ワークショップ, なし.

Goto D., Ohara T., Nakajima T., Dai T., Takemura T., Kajino M., Matsui H., Takami A., Hatakeyama S., Aoki K., Sugimoto N., Shimizu A. (2013) Model intra-comparison of transboundary sulfate loading over springtime east Asia. 2013 AGU Fall Meeting, -.

Goto D., SALSALSA project team (2013) Simulation and application of anthropogenic aerosols in Japan using a non-hydrostatic icosahedral atmospheric model. ABC-SLCP Symposium, -.

Goto D., Suzuki K., SALSALSA project team (2013) A study of combustion aerosols in Japan using a Nonhydrostatic icosahedral atmospheric model. Goldschmidt2013, -.

Goto D., Nakajima T., Takemura T., Ohara T. (2013) Simulation of aerosol spatial distribution over Asia using a global aerosol model. International Workshop on Inventory, Modeling and Climate Impacts of Greenhouse Gas emission (GHG's), -.

Goto D., Suzuki K., Inoue T., Nakajima T., SALSA project team (2013) Evaluation of simulated meteorological and aerosol fields around Tokyo during August 2007 using a new-type seamless model from global-to-regional scales. European Geosciences Union General Assembly 2013, -.

五藤大輔, 中島映至, 佐藤正樹 (2014) 新しい全球エアロゾル化学輸送モデルの開発とその展望. 第31回エアロゾル科学・技術研究討論会, なし.

五藤大輔, SALSA project team (2014) RECCA/SALSAにおける領域スケールの大気汚染物質シミュレーションとその影響評価. RECCA-S8-創生D研究交流会, なし.

五藤大輔 (2014) Stretch-NICAM-Chemを用いた大気汚染物質モデリングに関する研究. 第5回SALSAワークショップ, なし.

五藤大輔, SALSA project team (2014) 2014年度第2班活動報告と今後の方向性. 第5回SALSAワークショップ, なし.

五藤大輔, 中島映至, 上田佳代, Ng Chris Fook Sheng, 村田諒, SALSA project team (2014) 都市における大気汚染物質シミュレーションとその健康影響評価. 日本気象学会2014年春季大会, なし.

Goto D., Nakajima T., Satoh M., MEXT/RECCA/SALSA Project Team (2014) Development of an aerosol-chemistry transport model coupled to non-hydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM) through applying a stretched grid system to regional simulations around Japan. 2014 AGU Fall Meeting, -.

Goto D., Nakajima T., Murata R., Yashiro H., Sudo K., Dai T., Misawa S., Uchida J., Ohara T., MEXT/RECCA/SALSA Project Team (2014) Development of simulating aerosols and tropospheric ozone in megacities using a global nonhydrostatic model with a stretched-grid system. IGAC2014, -.

Goto D., Nakajima T., Dai T., Yashiro H., Sudo K., Murata R., Misawa S., Uchida J., Inoue T., Tsuruta H., Satoh M., Tomita H., Ohara T., MEXT/RECCA/SALSA Project Team (2014) Simulation of atmospheric aerosols and ozone around Tokyo using a global nonhydrostatic model with a stretched-grid system. Asia Oceania Geosciences Society 2014, -.

Goto D., Nakajima T., Dai T., Yashiro H., Murata R., Sudo K., Misawa S., Uchida J., MEXT/RECCA/SALSA Project Team (2014) Simulation of SLCP in Japan using a new atmospheric aerosol-chemistry model (NICAM-Chem) with a stretched-grid system. 2nd ABC-SLCP Symposium, -.

Goto D., Oikawa E., Suzuki K., Seiki T., Nakajima T. (2014) Estimating global aerosol optical properties and their radiative forcings by a global model with 14km grid spacing. 14th Conference on Cloud Physics, -.

Goto D. (2014) Simulation of atmospheric air pollutants over Japan and its application to health impacts under MEXT/RECCA/SALSA project in Japan. International Workshop on Air Quality in Asia, -.

Goto D., Nakajima T., Satoh M. (2015) Development of an atmospheric aerosol-chemistry model (NICAM-Chem) and its application to regional simulations over East Asia. 6th International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, -.

Goto D. (2015) Assessment of sulfate aerosols and its uncertainty due to clouds using global models. International Workshop on Land Use/Cover Changes and Air Pollution in Asia, -.

Goto D., Nakajima T., Dai T., Takemura T., Kajino M., Matsui H., Takami A., Sugimoto N., Shimizu A., Ohara T. (2015) Uncertainty of sulfate aerosols against differences between host climate models. 26th IUGG General Assembly 2015, -.

Goto D., Sato Y., Yashiro H., Suzuki K., Nakajima T. (2015) A model evaluation of global high-resolving simulated aerosol distributions. The First Asian Conference on Meteorology, -.

Goto D. (2015) Regional simulation of aerosols using NICAM-Chem with a stretched-grid system. The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAAQ13), -.

Goto D., Sato Y., Yashiro H., Suzuki K., Nakajima T. (2015) Simulation and validation of global aerosol distributions using a nonhydrostatic icosahedral atmospheric model with 14 km grid spacing. American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2015, -.

五藤大輔, 佐藤陽祐, 八代尚, 鈴木健太郎, 中島映至 (2015) 全球高解像度計算によるエアロゾル分布 (1) モデル検証. 日本気象学会 2015 年度秋季大会, 同予稿集, 556.

後藤祐樹, 中山智喜, 松見豊, 佐藤圭, 今村隆史 (2011) 二次有機エアロゾルの密度と化学成分の関係. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集, P41.

原和崇, 谷本浩志 (2015) IASI 衛星観測データを用いた東アジアから北極域への汚染気塊の輸送解析. 第 21 回大気化学討論会, 第 21 回大気化学討論会 講演要旨集, 59.

長谷川就一, 山神真紀子, 菅田誠治 (2013) 地方環境研究所の共同による PM_{2.5} 観測. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 99-101.

長谷川就一, 桶谷嘉一, 菅田誠治 (2015) 全国常時監視データを用いた PM_{2.5} 汚染状況の考察. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 427.

長谷川徹, 清本容子, 五味泰史, 佐々木宏明, 東博紀, 越川海 (2012) 東シナ海の渦鞭毛藻 *Prorocentrum dentatum* の優占化と維持機構: 調査船調査による観測結果の解析. 日本海洋学会 2012 年度春季大会, 2012 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 193.

橋本貴世, 山神真紀子, 高士昇吾, 松岡靖史, 野口邦雅, 佐久間隆, 長谷川就一, 菅田誠治 (2014) 2013 年 8. 9 月における PM_{2.5} 高濃度事例の解析. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 269.

橋本貴世, 山神真紀子, 武田麻由子, 熊谷貴美代, 寺本佳宏, 宮田朋子, 長谷川就一, 菅田誠治 (2015) 2014 年 4 月における PM_{2.5} 高濃度事例の解析. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 425.

橋本侑樹, 定永靖宗, 紫合英樹, 高見昭憲, 大原利眞, 坂東博 (2013) 長崎県福江観測サイトと常監局データ比較-オゾンの広域輸送について-. 大気環境学会近畿支部第 2 回支部研究発表会, なし.

畠山史郎, 白亮, 花岡小百合, 池田圭輔, 渡邊泉, 新垣雄光, 畦地総太郎, 清水厚, 杉本伸夫, 高見昭憲 他 (2011) 2010 年 12 月の東シナ海上空における航空機観測でのエアロゾル金属成分. エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 17-18.

畠山史郎, 池田圭輔, 花岡小百合, 白亮, 新垣雄光, 畦地総太郎, 定永靖宗, 藤原大, 坂東博, 張代洲, 原和崇, 加藤俊吾, 奥山喜久夫, 萩崇, 李信榮, 筒井亮, 藤本敏行, 瀬戸章文, 黒宮悠祐, 中島秀介, 清水厚, 杉本伸夫, 高見昭憲 (2011) 2010 年 12 月の東シナ海上空における航空機観測でのエアロゾル化学成分. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 510.

畠山史郎, 池田圭輔, 高見昭憲, 村野健太郎, 坂東博 (2012) 20 年間の航空機観測に見る東シナ海上空の大気汚染のトレンド. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集.

畠山史郎, 島田幸治郎, 古賀美也子, 田辺美保, 定永靖宗, 藤原大, 坂東博, 張代洲, 村田浩太郎, 奥山喜久夫, 萩崇, 藤本敏行, 瀬戸章文, 加藤俊吾, 梶井克純, 清水厚, 高見昭憲, 新垣雄光 (2012) 東アジアからの越境大気汚染の航空機観測-2012 年 3 月の観測結果. エアロゾル科学・技術研究討論会第 29 回, 同予稿集, 265-266.

Hatakeyama S., Suzuki R., Koba K., Yoshino A., Takami A. (2014) Source Apportionment and Elucidation of Chemical Transformation Path Ways for Particulate Nitrate by use of 15N and 18O Isotope Analyses. Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, Abstracts, 92.

畠山史郎, 鈴木亮太, 木庭啓介, 高見昭憲, 吉野彩子 (2014) 窒素および酸素の同位体比を用いたエアロゾル中の硝酸塩の解析. エアロゾル科学・技術研究討論会第 31 回, 同予稿集.

早崎将光, 菅田誠治 (2015) 大気汚染常時監視測定値の品質管理. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 493.

早崎将光, 菅田誠治 (2015) PM 広域高濃度時の大気汚染動態と気象要因. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 375.

秀森丈寛, 中山智喜, 松見豊, 藪下彰啓, 大橋勝文, 兼保直樹, 伊禮聡, 高見昭憲, 吉野彩子, 鈴木亮太, 湯本弥生, 畠山史郎 (2013) 大陸から飛来する PM_{2.5} に含まれる重金属成分の挙動~個別粒子レーザーイオン化質量分析とフィルター採取による化学分析~. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 同予稿集, AAS21-10.

秀森丈寛, 中山智喜, 松見豊, 藪下彰啓, 大橋勝文, 伊禮聡, 高見昭憲, 兼保直樹, 吉野彩子, 鈴木亮太, 湯本弥生, 畠山史郎 (2013) 2010年長崎県福江島におけるアジア大陸から輸送されたエアロゾルの個別粒子質量分析-重金属およびヒ素を含むエアロゾル粒子の分析. エアロゾル科学・技術研究討論会第30回, 同予稿集, 199-200.

秀森丈寛, 中山智喜, 松見豊, 藪下彰啓, 大橋勝文, 三好猛雄, 伊禮聡, 高見昭憲, 兼保直樹, 吉野彩子, 鈴木亮太, 湯本弥生, 畠山史郎 (2014) 福江島で観測された越境輸送 PM_{2.5} の個別粒子分析と発生源解析. エアロゾル科学・技術研究討論会第31回, 同予稿集.

Hidemori T., Nakayama T., Matsumi Y., Yabushita A., Ohashi M., Takami A., Irei S., Miyoshi T., Kaneyasu N., Hatakeyama S., Yoshino A., Yumoto Y., Suzuki R. (2014) Characterization of Long-Range Transported Aerosol on Fukue Island, Japan, Using Real-Time Mass Spectrometers and Off-Line Chemical Analysis. International Aerosol Conference 2014, Abstracts, 160.

Higashi H., Oguchi M., Endo K., Mizutani C. (2012) A numerical determination method for spatial distribution of chemical pollution in tsunami deposit - A case study of the Great East Japan Earthquake -. 18th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research 2012, Abstracts, PS4-13.

Higashi H., Hanamachi Y., Koshikawa H., Murakami S., Kohata K. (2012) A Numerical Study on Relationships between Climate Change and Short-Necked Clam (*Ruditapes philippinarum*) Biomass in 1990s in Ise Bay, Japan. 9th International Symposium on Ecohydraulics, Abstracts.

Higashi H., Koshikawa H., Wang Q-X., Mizuochi M., Hasegawa T., Kiyomoto Y., Nishiuchi K., Okamura K., Sasaki H., Gomi Y., Akiyama H., Kohata K., Murakami S. (2012) A Numerical Study on Predominance of Dinoflagellates on the Central Continental Shelf of the East China Sea. PICES 2012 Annual Meeting, Abstracts, 208.

東博紀 (2014) 流動・低次生態系シミュレーションによる大気窒素沈着が東シナ海陸棚域の一次生産に及ぼす影響評価. 名古屋大学地球水循環研究センター平成26年度共同研究集会「東シナ海陸棚域の物質循環に関わる物理・化学・生物過程」, なし.

東博紀, 越川海, 古市尚基, 王勤学, 秋山千亜紀, 肖慶安, 長谷川徹, 西内耕, 清本容子, 山田東也 (2015) 長江流域からの栄養塩負荷の変化が初夏の東シナ海陸棚域の一次生産に及ぼす影響. 日本海洋学会 2015年度春季大会, 同予稿集, 146.

東博紀 (2015) 長江流域からの栄養塩負荷の変化が初夏の東シナ海陸棚域の一次生産に及ぼす影響. 平成27年度名古屋大学地球水循環研究センター共同研究集会, なし.

東博紀, 森野悠, 越川海, 永島達也, 王勤学, 古市尚基, 秋山千亜紀, 長谷川徹, 西内耕, 清本容子, 山田東也 (2016) 大気窒素沈着の経年変化が初夏の東シナ海陸棚域の一次生産に及ぼす影響. 日本海洋学会 2016年度春季大会, 同予稿集, 151.

日置正, 谷口延子, 菅田誠治 (2014) 無機元素をトレーサーとした日本海沿岸域における PM_{2.5} 越境汚染の解析. 第55回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 196.

飯島明宏, 池盛文数, 長谷川就一, 菅田誠治 (2013) PM_{2.5} 発生源寄与評価の現状と展望. 大気環境学会第54回年会, 同予稿集, 102-105.

飯島明宏, 池盛文数, 長谷川就一, 菅田誠治 (2014) PMF および CMB モデルを用いた西日本における PM_{2.5} 発生源寄与率の推定. 第55回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 295.

池田圭輔, 白亮, 花岡小百合, 渡邊泉, 畠山史郎, 新垣雄光, 畦地総太郎, 清水厚, 杉本伸夫, 高見昭憲 他 (2011) 2010年12月の東シナ海上空における航空機観測. エアロゾル科学・技術研究討論会第28回, 第28回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 45-46.

池田圭輔, 白亮, 花岡小百合, 渡邊泉, 畠山史郎, 新垣雄光, 畦地総太郎, 清水厚, 杉本伸夫, 高見昭憲 他 (2011) 東アジアから輸送される汚染気塊の鉛直構造. 第17回大気化学討論会, 第17回大気化学討論会講演要旨集, 2K6.

池田圭輔, 畠山史郎, 村野健太郎, 坂東博, 高見昭憲 (2012) 20年間の航空機観測による越境大気汚染の長期トレンド. 日本化学会第92春季年会, 日本化学会第92春季年会講演予稿集, 395.

池田恒平, 谷本浩志 (2014) シベリア森林火災によるPM_{2.5}汚染: 利尻における2003年5月の高濃度イベントの解析. 第20回大気化学討論会, 第20回大気化学討論会 講演要旨集, 52.

池田恒平, 谷本浩志, 奈良英樹, 向井人史, 野尻幸宏, 遠嶋康徳, 森野悠, 永島達也 (2015) 定期貨物船によるアジア・オセアニア域でのO₃, CO, PM_{2.5}, BC観測と全球・領域化学輸送モデルの比較. 第21回大気化学討論会, 第21回大気化学討論会 講演要旨集, 57.

池盛文数, 浅川大地, 中島寛則, 菅田誠治 (2014) 名古屋市におけるPM_{2.5}中のWSOC, シュウ酸およびレボグルコサンの季節変動. 第55回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 199.

池盛文数, 北本洋紀, 中坪良平, 飯島明宏, 岩本真二, 菅田誠治 (2015) 全国PM_{2.5}成分測定結果へのPMFモデルの適用. 第56回大気環境学会年会, 同予稿集, 306.

Irei S., Takami A., Hikida T., Shimono A. (2011) Application of PMF to AMS Data Observed at Fukue Island, Japan. The 7th Asian Aerosol Conference, Technical Program of The 7th Asian Aerosol Conference, 770-773.

伊禮聡, 高見昭憲, 疋田利秀, 兼保直樹, 下野彰夫, 佐藤圭, 畠山史郎 (2011) 2009年春福江島で観測された越境輸送エアロゾルの化学組成. エアロゾル科学・技術研究討論会第28回, 第28回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 27-28.

Irei S. (2013) Field study for trans-boundary secondary organic aerosol (SOA) using aerosol mass spectrometer (AMS) and stable carbon isotope ratio ($\delta^{13}C$). 1st joint workshop on Asian air pollution (a part of Tripartite Presidents Meeting), -.

石田貴嗣, 吉野彩子, 佐藤圭, 高見昭憲, 畠山史郎 (2012) 福江・辺戸岬への置換PAH, キノン類の輸送. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 57.

石田貴嗣, 島田幸治郎, 畠山史郎, 高見昭憲, 伏見暁洋 (2013) 東アジアから沖縄に飛来する炭素質エアロゾルの発生源地と受容地での比較. 大気環境学会第54回年会, 同予稿集, 298.

板野泰之, 森田浩行, 山本勝彦, 長田健太郎, 福田照美, 菅田誠治 (2013) 地方環境研究所の共同による光化学オキシダントの挙動解析. 大気環境学会第54回年会, 同予稿集, 94-95.

板野泰之, 山神真紀子, 長谷川就一, 田子博, 長田健太郎, 鈴木義浩, 秋山雅行, 山川和彦, 菅田誠治 (2015) PM_{2.5}質量濃度自動測定機の維持管理のための空試験データの有効活用法の検討. 第56回大気環境学会年会, 同予稿集, 362.

伊藤祥子, 笹川裕史, 清水英幸, 相原敬次, 山根正伸 (2011) 神奈川県丹沢産ブナ苗へのオゾンと水ストレスの単独および複合影響. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会講演要旨集, 344.

Ito S., Shimizu H., Mori A., Watanabe T., Sasakawa H., Saji H., Murano K. (2011) Effects of acid fog on the growth of rice cultivars grown in Nagasaki Prefecture. Acid Rain 2011, Acid Rain 2011 Abstract Book, 145-146.

Ito S., Sasakawa H., Zhen Y.R., Xu Z.Z., Chen L.J., An P., Shimizu H. (2012) Growth responses to soil water stress of some key plant species grown in desertified grassland in North-east Asia. The 59th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (ESJ59), ESJ59/EAFES5 Abstract, 525.

Ito S., Mori A., Watanabe T., Saji H., Shimizu H. (2013) Impacts of acid fog on the growth of several cultivars of rice plants grown in the paddy fields of Nagasaki Prefecture, Japan.. 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Proceedings of the Sixth International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 85.

伊藤祥子, 相原敬次, 清水英幸 (2013) 神奈川県丹沢産ブナ苗に与えるオゾン暴露と水欠乏の複合影響の実験的解析. 平岡環境科学研究所 研究発表会第24回, 第24回公益財団法人平岡環境科学研究所 研究発表会 要旨集.

伊藤祥子, 相原敬次, 須田隆一, 清水英幸 (2013) プナ苗木へのオゾンおよび水欠乏の影響. 大気環境学会関東支部植物影響部会講演会, 同予稿集, 1-4.

Kajino M., Deushi M., Oshima N., Maki T., Inomata Y., Sato K., Takami A., Hatakeyama S. (2015) Modeling Northeast Asian aerosol mass, size, chemistry, and mixing type. 2015 Asian Aerosol Conference, Abstracts, 67.

梶野瑞王, 出牛真, 大島長, 眞木貴史, 関山剛, 工藤玲, 五十嵐康人, 猪股弥生, 佐藤啓市, 高見昭憲, 畠山史郎, 入江仁士, Pradeep Khatri, 三上正男 (2015) NHM-Chem による我が国におけるエアロゾルの物理・化学・光学特性および関連ガスの整合的再現性評価について. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 181.

金谷弦, 中村泰男, 牧秀明, 鈴木孝男, 菊地永祐 (2011) 大津波による蒲生潟の環境と底生動物への影響評価. 第 1 回東北沿岸生態連絡会, なし.

金谷弦 (2011) 日本ベントス学会奨励賞受賞講演 汽水域の環境変動とベントス—川と田んぼと河口域—. 20011 年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 20011 年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集, 185.

Kanaya Y., Taketani F., Irie H., Komazaki Y., Takashima H., Pan X-L., Takami A., Wang Z. (2011) Dependence of aerosol scattering coefficients on relative humidity observed at two coastal sites on the East China Sea: Comparison to remote observations and influence of chemical composition. AGU Fall Meeting 2011, Abstracts.

金谷有剛, 松井仁志, 竹谷文一, 駒崎雄一, Xiole Pan, 山地一代, 池田恒平, 高見昭憲, 谷本浩志, 近藤豊, Zifa Wang, Daeil Kang, Limseok Chang (2014) 日中韓広域大気汚染集中観測における有機エアロゾル・PM_{2.5} 濃度のモデル再現性評価: VBS アプローチによる改善. 第 20 回大気化学討論会, 第 20 回大気化学討論会 講演要旨集, 56.

金谷有剛, 谷本浩志, 横内陽子, 竹谷文一, 駒崎雄一, 入江仁士, 高島久洋, Xiaole Pan, 野副晋, 猪俣敏 (2015) 春季に福江島に到来する大陸起源の気塊でのオゾン生成速度と制限因子: オゾン対策への示唆とラジカル反応機構の影響. 第 21 回大気化学討論会, 第 21 回大気化学討論会 講演要旨集, 51.

兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 山本重一, 河本和明, 畠山史郎 (2011) 離島におけるエアロゾル観測と都市大気汚染. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 108-110.

兼保直樹, 山本重一, 畠山史郎, 吉野彩子, 白亮, 鈴木亮太, 高見昭憲 (2011) HVI2.5 付ハイボリューム・エアサンプルによる福岡の PM_{2.5} 中金属成分の日毎・通年観測. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 273.

Kaneyasu N., Takami A., Sato K., Yamamoto S., Kim Y.-P., Kim I.-S. (2012) Characteristics of heavy metals in PM_{2.5} at Fukuoka, Japan, based on daily analysis of year-round samples. European Aerosol Conference 2012, Abstracts.

兼保直樹, 佐藤圭, 高見昭憲, 松見豊 (2012) 健康影響が懸念される PM_{2.5} 粒子状物質のわが国風上域での動態把握. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 9.

兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 山本重一, 林政彦, 原圭一郎 (2012) 福江島および福岡における PM_{2.5} 主要成分の長期観測結果比較. エアロゾル科学・技術研究討論会第 29 回, 同予稿集, 253-254.

兼保直樹, 山本重一, 奥田知明, 高見昭憲, 佐藤圭, 吉野彩子, 松見豊, 秀森丈寛, 畠山史郎 (2013) 福岡における PM_{2.5} 中金属成分の日毎・長期観測—2010 ~ 2012 年度—. エアロゾル科学・技術研究討論会第 30 回, 同予稿集, 7-8.

笠井康子, 金谷有剛, 谷本浩志, 大気化学会大気環境衛生検討委員会 (2014) 国際宇宙ステーション搭載大気汚染ホットスポット観測ミッション uvSCOPE. 第 20 回大気化学討論会, 第 20 回大気化学討論会 講演要旨集, 71.

Kim Na Kyung, Kim Yong Pyo, Morino Y., Kurokawa J., Ohara T. (2012) Comparisons of NO_x Emissions over South Korea. 2012 IGAC conference, Abstracts, 194-195.

Kim Seyoung, 瀬戸章文, 大谷吉生, 高見昭憲, 三好猛雄, 伊禮聡, 高村民雄 (2013) 福江島における新粒子生成初期過程の観測. エアロゾル科学・技術研究討論会第 30 回, 同予稿集, 3-4.

金勢穎, 瀬戸章文, 大谷吉生, 高見昭憲, 兼保直樹, 奥山喜久夫, 藤本敏行, 高村民雄, 畠山史郎 (2012) 2012 年 3 月に福江島で観測されたナノ粒子の生成と生長. エアロゾル科学・技術研究討論会第 29 回, 同予稿集, 255-256.

Kim S., Kitayama C., Takahara K., Seto T., Otani Y., Takami A., Miyoshi T., Yoshino A. (2014) Analysis of Water-Soluble Anionic Components in Long-Range Transported Aerosol and Newly-Formed Nanoparticles. International Aerosol Conference 2014, Abstracts, 29.

Kitayama, C, Kim, S, Otani, Y, Takami A., Seto, T (2013) Size dependent chemical analysis of water-soluble ionic compounds in atmospheric nanoparticles. 8th Asian Aerosol Conference, Abstracts, 23.

近藤美則, 加藤秀樹 (2011) 自動アイドリングストップ車のアイドリングストップ実施状況. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 217.

近藤美則, 加藤秀樹 (2011) 最近の車両の燃費および排ガス排出係数への車両暖機状態の影響. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 253.

越川海, 宮崎紘一, 東博紀, 長谷川徹, 西内耕, 清本容子, 岡村和磨, 河地正伸 (2012) 東シナ海の渦鞭毛藻 *Prorocentrum dentatum* の優占化と維持機構: 大型培養槽による日周鉛直移動の再現実験. 日本海洋学会 2012 年度春季大会, 2012 年度日本海洋学会春季大会要旨集, 104.

越川海, 東博紀, 長谷川徹, 西内耕, 佐々木宏明, 河地正伸, 清本容子, 高柳和史, 木幡邦男, 村上正吾 (2015) 東シナ海の有光層深度推定に基づくクロロフィル現存量の分布解析. 日本海洋学会 2015 年度春季大会, 同予稿集, 172.

Kudo S., Tanimoto H., Inomata S., Saito S., Pan X., Kanaya Y., Taketani F., Wang Z., Chen H., Dong H., Zhang M., Yamaji K. (2014) Emissions of nonmethane volatile organic compounds from open crop residue burning in the Yangtze River Delta region, China. 13th Quadrennial iGACGP Symposium, 13th IGAC Science Conference on Atmospheric Chemistry, -.

熊谷貴美代, 田子博, 寺本佳宏, 橋本貴世, 山神真紀子, 牧野雅英, 木下誠, 長谷川就一, 佐久間隆, 菅田誠治 (2014) 全国 PM_{2.5} 成分測定結果から見た高濃度日における地域別化学組成の特徴. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 277.

熊谷貴美代, 山神真紀子, 橋本貴世, 野口邦雅, 木下誠, 長谷川就一, 菅田誠治 (2014) 2014 年 2 月における PM_{2.5} 高濃度事例の解析. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 401.

熊谷貴美代, 田子博, 山神真紀子, 寺本佳宏, 橋本貴世, 牧野雅英, 木下誠, 佐久間隆, 長谷川就一, 菅田誠治 (2015) 全国 PM_{2.5} 成分測定結果から見た高濃度日における地域別化学組成の特徴 (第 2 報). 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 281.

Liu C., Zou C.J., Wang Q-X., Hayashi Y., Yasunari T. (2013) Recent Trends in Nitrogen Flows with Urbanization in China. 6th International Nitrogen Conference, Conference Abstract, 6 (133).

前田恵, 吉野彩子, 小川佳美, 佐藤圭, 畠山史郎 (2012) 辺戸岬における有機エアロゾルの季節変化. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 59.

丸本幸治, 高見昭憲, 伊禮聡, 兼保直樹, 長沼歩, 林政彦 (2011) 福岡市と水俣市における大気中水銀濃度の同時観測 (2010 年冬季観測結果). 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 377.

丸本幸治, 伊禮聡, 高見昭憲, 兼保直樹, 林政彦 (2013) 九州地方における大気中のガス状水銀と粒子状水銀の多地点同時観測. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 297.

増井嘉彦, 福森裕基, 定永靖宗, 高見昭憲, 横内陽子, 大原利眞, 米村正一郎, 竹中規訓, 坂東博 (2011) 長崎県福江島における総反応性窒素酸化物とその構成成分の連続観測, 及び濃度変動要因の解析. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 440.

増井嘉彦, 定永靖宗, 坂東博, 畠山史郎, 村野健太郎, 高見昭憲, 坂本哲夫, 三澤健太郎, 藤井正明 (2011) 後方流跡線解析から見た福江島に飛来する大気由来の年間分布と総反応性窒素酸化物 (NO_y), 全硝酸濃度の特徴. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 515.

増井嘉彦, 福森裕基, 定永靖宗, 高見昭憲, 横内陽子, 大原利眞, 米村正一郎, 竹中規訓, 坂東博 (2011) 福江島における NO_y とその構成成分の連続観測, 及び濃度変動要因の解析. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集, P26.

増井嘉彦, 福森裕基, 定永靖宗, 高見昭憲, 横内陽子, 大原利眞, 米村正一郎, 竹中規訓, 坂東博 (2012) 福江島における NO_y とその構成成分の連続観測, 及び濃度変動要因の解析. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 66.

Matsui H., Koike M., Kondo Y., Oshima N., Moteki N., Kanaya Y., Takami A., Martin I. (2013) Seasonal variations of Asian black carbon outflow to the Pacific using a tagged threedimensional model. Japan Geoscience Union Meeting 2013, Abstracts, AAS21-18.

間山憲仁, 大石乾詞, 坂本哲夫, 高見昭憲, 畠山史郎, 坂東博, 村野健太郎, 藤井正明 (2011) TOF-SIMS マッピングとクラスター分析による大気微粒子のタイプ別分析法の開発. マイクロビームアナリシス第 141 委員会第 146 回研究会, マイクロビームアナリシス第 141 委員会第 146 回研究会予稿集, 9-14.

Misawa K., Yoshino A., Kojima T., Ueda K., Takami A. (2015) Continuous Monitoring of Trans-boundary Particulate Matters in Kumamoto, Japan. 2015 Asian Aerosol Conference, Abstracts, 91.

三浦香央理, 楊小陽, 陳炫, 孟凡, 佐藤圭, 高見昭憲, 畠山史郎 (2015) 中国から東シナ海上の島嶼に長距離輸送された PAH 類の観測. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 317.

Miyakawa T., Kanaya Y., Komazaki Y., Takigawa M., Miyoshi T., Nara H., Takami A., Mori T., Moteki N., Koike M., Kondo Y. (2015) Characterization of Carbonaceous Aerosols in Tokyo Metropolitan Area in terms of Multiple Chemical Analysis: Effects of the Diesel Emission Regulations. 2015 Asian Aerosol Conference, Abstracts, 82-83.

宮本脩詩, 定永靖宗, 弓場彬江, 増井嘉彦, 井関将太, 高見昭憲, 横内陽子, 大原利眞, 米村正一郎, 松木篤 他 (2012) 長崎福江島から能登半島珠洲まで輸送した総反応性窒素酸化物 (NO_y) および Total nitrate の動態解析. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 68.

Miyawaki H., Shimizu H. (2011) Assessing the health of pineforest at “Niji-no-matsubara” in Saga prefecture, Japan-relationship between bioindicators and air pollution. Acid Rain 2011, Acid Rain 2011 Abstract Book, 151.

三好猛雄, 高見昭憲, 伊禮聡, 佐藤圭, 疋田利秀, 下野彰夫, 原圭一郎, 林政彦, 兼保直樹, 畠山史郎 (2011) 2010 年春季における福岡市での大気エアロゾル化学組成の PMF 法による解析. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 539.

三好猛雄, 高見昭憲, 伊禮聡, 佐藤圭, 下野彰夫, 疋田利秀, 原圭一郎, 林政彦, 兼保直樹, 畠山史郎 (2012) 福岡市において観測された大気エアロゾルの PMF 法による起源の推定. 大気化学討論会第 18 回, 同予稿集, 41.

三好猛雄, 高見昭憲, 伊禮聡 (2014) 沖縄県辺戸岬および長崎県福江島におけるエアロゾル個数濃度の粒径分布. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 同予稿集.

三好猛雄, 高見昭憲, 定永靖宗, 伊禮聡, 清水厚, 佐藤圭, 吉野彩子, 坂東博, 畠山史郎 (2014) 沖縄県辺戸岬における微小粒子の粒子質量と化学組成の長期観測. エアロゾル科学・技術研究討論会第 31 回, 同予稿集.

水落元之, 小柳秀明, 久山哲雄, 若公崇敏 (2011) 曝気と人工湿地を組み合わせた分散型生活排水処理 - 中国における技術協力事例 -. 第 48 回下水道研究発表会, 第 48 回下水道研究発表会講演集.

水落元之, 新井剛典, 小柳秀明, 若公崇敏 (2011) 中国における多段土壌層法を用いた生活排水処理技術の協力事例. 第 11 回環境技術学会研究発表大会, 第 11 回環境技術学会研究発表大会予稿集, 30-31.

Mizuochi M. (2011) Status of water environment in China and conservation measures. EAEP2011 The 5th International Symposium on the East Asia Environmental Problems, Abstracts of EAEP2011 The 5th International Symposium on the East Asian Environmental Problems, 185-189.

水落元之 (2012) 栄養塩除去 (アンモニア性窒素削減) を目的とした日本の分散型排水処理技術. 日中水汚染物質総量削減に関する国際セミナー, 日中水汚染物質総量削減に関する国際セミナー予稿集, 95-105.

水落元之 (2012) 対策に関する研究開発課題-水環境・水処理-. 窒素循環研究戦略ワークショップ, なし.

水落元之 (2012) 水環境保全事業の展開と課題. 2012年アジア経済研究所夏期公開講座(東京)コース2 中国太湖流域の水環境政策とガバナンス, なし.

水落元之 (2013) 中国太湖流域の水環境保全計画の展開と課題. 武漢セミナー総括研究会, なし.

水谷千亜紀 (2013) 高時間分解能データセットを用いた土地利用の変遷-つくば市中央部を事例に-. 地理空間学会大会第6回, 同発表要旨集, 22.

水谷千亜紀, ロナルド・エストケ, 村山祐司 (2013) 隣接関係に着目した土地利用の時空間分析. 地理情報システム学会研究発表大会第22回, 第22回地理情報システム学会講演論文集, 22, 1-4.

水谷千亜紀 (2014) 流域環境研究における情報基盤. 越境地域政策研究フォーラム, なし.

水谷千亜紀, 東博紀 (2014) Dinamica EGOを用いた土地利用変化モデルの適用と課題-埼玉県鶴ヶ島市周辺を事例に-. 日本地理学会2014年春季学術大会, 日本地理学会発表要旨集, 85, 328.

森淳子, 藤哲士, 清水英幸, 伊藤祥子, 佐治光, 渡邊大治, 藤山正史, 藤原伸介, 村野健太郎 (2011) 長崎県の高標高水田に於ける酸性霧の実態と水稲との関係. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会講演要旨集, 147.

Morino Y., Ohara T., Kurokawa J., Kuribayashi M., Uno I., Hara H. (2011) Temporal variations of nitrogen wet deposition across Japan from 1989 to 2008. The 8th International Conference on Acid Deposition, ACID RAIN 2011 Abstracts book, 83-84.

森野悠, 大原利眞 (2011) MCMを用いた関東地方における二次有機エアロゾルの成分別シミュレーション. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会年会講演要旨集, 333.

森野悠, 大原利眞 (2011) MCMを用いた関東地方における二次有機エアロゾルの成分別シミュレーション. 第17回大気化学討論会, 第17回大気化学討論会講演要旨集.

Morino Y., Ohara T., Hasegawa S., Fushimi A., Kondo M., Uchida M., Tanabe K., Zhao B., Xu J., Hao J. (2012) Source apportionment of EC and OC in Tokyo and Beijing: comparison between observation and simulation model. Joint Seminar on Formation Mechanism of Photochemical ozone, VOCs and PM_{2.5} in Mexico, China and Japan, -.

森野悠, 田邊潔, 大原利眞 (2012) ボックスモデル上での二次有機エアロゾルモデルの比較・検討. 大気環境学会第53回年会, 第53回大気環境学会年会講演要旨集, 362.

森野悠, 大原利眞, 長谷川就一, 伏見暁洋, 近藤美由紀, 内田昌男, 田邊潔, 山地一代, B.Zhao, J.Xu, J.Hao (2012) 北京での炭素性エアロゾルの発生源解析. 大気環境学会第53回年会, 第53回大気環境学会年会講演要旨集, 361.

Morino Y., Ohara T., Hasegawa S., Fushimi A., Kondo M., Uchida M., Tanabe K., Kazuyo Yamaji, Bin Zhao, Jiayu Xu, Jiming Hao (2012) Source Apportionment of EC and OC in Beijing: Comparison between 14C Measurement and Chemical Transport Model. 2012 AAAR Annual Conference, Abstracts.

Morino Y., Ohara T., Hasegawa S., Fushimi A., Kondo M., Uchida M., Tanabe K., Kazuyo Yamaji, Bin Zhao, Jiayu Xu, Jiming Hao (2012) Source Apportionment of EC and OC in Beijing: Comparison between 14C Measurement and Chemical Transport Model. 2012 IGAC conference, Abstracts, 197-198.

森野悠, 田邊潔, 大原利眞 (2012) ボックスモデル上での二次有機エアロゾルモデルの比較・検討. 第18回大気化学討論会, 第18回大気化学討論会講演要旨集, 65.

森野悠, 田邊潔, 佐藤圭, 大原利眞 (2013) SOA/Ox 比を用いた, ボックスモデル上での有機エアロゾルモデルの相互比較. 大気環境学会第 54 回年会, 同講演要旨集, 396.

森野悠, 田邊潔, 佐藤圭, 大原利眞 (2013) ボックスモデル上での有機エアロゾルモデルの比較・検討. エアロゾル科学・技術研究討論会第 30 回, 同予稿集, 243-244.

Morino Y., Tanabe K., Sato K., Ohara T. (2013) Intercomparison of secondary organic aerosol models based on SOA/Ox ratio. 12th Annual CMAS Conference, -.

Morino Y., Nagashima T., Sugata S., Sato K., Tanabe K., Takami A., Tanimoto H., Ohara T. (2014) Comprehensive model evaluation of PM_{2.5} species over Japan: comparison among AERO5, AERO6, and AERO6-VBS modules. CMAS(Community Moderating & Analysis System), なし.

Morino Y., Tanabe K., Sato K., Ohara T. (2014) Intercomparison of secondary organic aerosol models based on secondary organic aerosol to odd oxygen ratio in Tokyo. IGAC, -.

森野悠, 大原利眞, 黒川純一, 栗林正俊, 鶴野伊津志, 原宏 (2014) シミュレーションモデルを用いた窒素・硫黄沈着の経年変動解析. 大気環境学会, 大気環境学会年会 講演要旨集, 176-177.

森野悠, 永島達也, 菅田誠治, 高見昭憲, 谷本浩志, 大原利眞 (2014) 化学輸送モデルによる PM_{2.5} 成分濃度の再現性と時空間分解能の関係. 大気環境学会, 大気環境学会年会 講演要旨集, 504.

Morino Y., Ueda K., Takami A., Nagashima T. (2015) Sensitivities of simulated PM_{2.5} health effects and source contributions to aerosol models. 9th International Conference on Acid Deposition, Abstracts, 93.

Morino Y., Sato K., Tanabe K., Inomata S., Fujitani Y. (2015) Simulation of dimerization process using secondary organic aerosol models. The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, Abstracts.

Morino Y., Ueda K., Takami A., Nagashima T., Noguchi T. (2015) Sensitivities of simulated PM_{2.5} health effects and source contributions to aerosol modules - Comparison between AERO6 and AERO6-VBS. 14th CMAS conference, Abstracts.

森野悠 (2015) 大気モデルによる PM_{2.5} の再現性評価と計算精度向上に向けた取り組み. NIES-JAMA 共同 大気環境・健康影響コンファレンス, なし.

Morino Y., Sato K., Tanabe K., Inomata S., Fujitani Y. (2015) Simulation of dimerization process using secondary organic aerosol models. JSPS-DFG Workshop on Aerosols Physicochemical Properties of Atmospheric Aerosols and their Effects on Air Quality and Public Health, -.

森野悠 (2015) 有機エアロゾルの揮発特性と発生源推計のモデリング. アジア域の化学輸送モデルの現状と今後の展開に関する研究集会, なし.

Morino Y., Sato K., Tanabe K., Inomata S., Fujitani Y. (2015) Simulation of dimerization process using secondary organic aerosol models. International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols, -.

森野悠 (2015) シミュレーションモデルで計算される窒素・硫黄沈着の時空間変動. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 118.

森野悠, 佐藤圭, 田邊潔, 猪俣敏, 藤谷雄二 (2015) 有機エアロゾルモデルにおけるオリゴマー導入の検討. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 386.

向田拓磨, 高見昭憲, 坂本哲夫, 畠山史郎, 吉野彩子, 坂東博, 定永靖宗, 藤井正明, 三澤健太郎, 村野健太郎 (2011) 長崎福江島におけるフィルターパックによる粗大粒子と微小粒子の観測. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 513.

村野健太郎, 高見昭憲, 藤井正明 (2011) エアロゾル 3 粒径分離フィルターパックによる大気汚染物質の観測. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 506.

村野健太郎, 高見昭憲, 伊禮聡, 坂本哲夫, 間山憲仁, 畠山史郎, 吉野彩子, 坂東博, 定永靖宗, 藤井正明, 三澤健太郎 (2013) 長崎福江島におけるフィルターパック法による粗大粒子と微小粒子の観測 (III). 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 437.

永島達也 (2011) 東アジア対流圏オゾンへの大陸間越境輸送の寄与推定 - 異なる手法を用いた推定結果の比較 -. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, 314.

Nagashima T., Ohara T., Sudo K., Akimoto H. (2011) Source-Receptor analysis of surface ozone in Southeast Asia with tracer-tagging method. 3rd International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, Agenda of 3rd International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia.

永島達也, 秋元肇, 大原利眞, 金谷有剛 (2011) 東アジア各地域における前駆物質削減に対する日本の地表オゾンの感度評価. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集.

永島達也 (2012) 広域大気汚染研究における大気化学モデル利用の現状と課題. 大気環境学会第 53 回年会 酸性雨分科会, 第 53 回大気環境学会年会講演要旨集, 174-175.

Nagashima T., Akimoto H. (2012) Seasonal variation of surface ozone in global chemical models: a comparison with observations. IGAC/SPARC Global Chemistry-Climate Modeling and Evaluation Workshop, Abstracts of IGAC/SPARC Global Chemistry-Climate Modeling and Evaluation Workshop.

永島達也, 秋元肇, 黒川純一, 竹村俊彦, 須藤健悟, 大原利眞 (2012) IIASA 参照シナリオによる東アジア大気質の将来変動評価. 大気化学討論会第 18 回, 第 18 回大気化学討論会講演要旨集, 25.

Nagashima T., Sudo K., Akimoto H., Kurokawa J., Ohara T. (2013) Long term changes in relative contribution of various source regions on the surface ozone over Japan. IGAC/SPARC CCM1 2013 Science Workshop, -.

Nagashima T., Kurokawa J., Sudo K., Ohara T., Akimoto H. (2013) Change in the near future surface air quality over East Asia under different assumptions in the future emissions of SLCPs. American Geophysical Union Fall Meeting 2013, -.

Nagashima T. (2014) Studies on the structure of air pollution in East Asia. ACAP Seminar, -.

Nagashima T., Kurokawa J., Takemura T., Sudo K., Ohara T., Akimoto H. (2014) Change in the near future surface air quality over East Asia under different assumptions in the future emissions of SLCPs. Asia Oceania Geoscience Society 11th Annual Meeting, Abstracts.

永島達也 (2014) 日本における大気汚染の現状と未来: 越境大気汚染はどの程度問題か?. 東北アジア学術交流懇話会平成 26 年公開講演会, なし.

Nagashima T., Akimoto H., Ohara T., Kanaya Y. (2014) Source-receptor relationship of ground level ozone and PM_{2.5} for different anthropogenic emission sectors in East Asia. 5th International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, Abstracts, 17.

Nagashima T., Morino Y. (2015) A multi-scale simulation system for SLCPs changes in Asia: Overview of the development plan and initial results. 6th International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, Abstracts, 13.

Nagashima T. (2015) Current status and issues of the regional air quality modelling studies in East Asia (大気汚染物質の広域輸送モデル研究の現状と課題). CNEAS Symposium on Air Pollution, Climate Change and Energy in Northeast Asia (東北アジアの大気汚染, 気候変動, エネルギーに関するシンポジウム), -.

Nagashima T., Kurokawa J., Sudo K., Ohara T., Akimoto H. (2015) Changes in the near future surface air quality in Asia under different future emission scenarios. The 2nd Workshop on Atmospheric Composition and the Asian Monsoon, -.

永島達也, 森野悠, 谷本浩志, 高見昭憲 (2015) 化学輸送モデルによる東アジアの地表オゾン濃度の再現性検証. 第 56 回大気環境学会年会, 講演予稿集, 262.

Nagashima T., Morino Y., Tanimoto H., Ikeda K., Takami A. (2015) Validation of the Asian surface ozone simulated by chemical transport models. The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAQ13), Abstracts.

Nagashima T., Morino Y., Kurokawa J., Yumimoto K., Itahashi S., Goto D., Tanimoto H., Ikeda K., Ohara T. (2016) Recent development of East Asian air quality assessment system. 7th International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, Abstracts, 14.

中坪良平, 浦西克維, 池盛文教, 西村理恵, 松岡靖史, 菅田誠治 (2015) 日本の大規模港湾周辺で捕集された PM_{2.5} の発生源解析. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 423.

Nakayama T., Matsumi Y., Sato K. et al. (2011) Determination of refractive index of secondary organic aerosols generated during the photooxidation of toluene and the ozonolysis of alpha-pinene. AAAR 30th Annual conference, 2011 AAAR Annual conference Abstracts, 5J8.

中山智喜, 池田裕香, 後藤祐樹, 松見豊, 佐藤圭, 今村隆史, 山崎明宏, 内山明博 (2011) トルエンの光酸化反応により生成する二次有機エアロゾルの光吸収特性. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集, P42.

中山智喜, 佐藤圭, 松見豊, 今村隆史, 山崎明宏, 内山明博 (2012) トルエンの光酸化反応により生成する二次有機エアロゾルの光吸収特性: 波長および NO_x 濃度依存性. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, AAS21-07.

奈良英樹, 谷本浩志, 野尻幸宏, 向井人史, 曾継業, 遠嶋康徳, 町田敏暢 (2011) 2006 年エルニーニョ時に東南アジアのバイオマス燃焼から放出された一酸化炭素の挙動解析. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集.

奈良英樹, 谷本浩志, 野尻幸宏, 向井人史, 町田敏暢, 遠嶋康徳 (2011) 民間貨物商船を用いた太平洋上大気中の一酸化炭素の船上連続観測システム. 2011 年度日本地球化学会第 58 回年会, 2011 年度日本地球化学会第 58 回年会講演要旨集, 35.

Nara H., Tanimoto H., Mukai H., Nojiri Y., Tohjima Y., Machida T., Hashimoto S. (2011) Shipboard monitoring of non-CO₂ greenhouse gases in Asia and Oceania using commercially cargo vessels. AGU Fall Meeting 2011, Abstracts of AGU Fall Meeting 2011.

Nara H., Tanimoto H., Nojiri Y., Mukai H., Katsumata K., Tohjima Y., Machida T. (2011) Pressure broadening effects of inert gases on CO₂ and CH₄ measurement using a wave scan-cavity ring down spectrometer. 16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques, Abstracts of 16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques.

Nara H., Tanimoto H., Mukai H., Nojiri Y., Tohjima Y., Machida T. (2013) Shipboard monitoring system of atmospheric CH₄ in Southeast Asia and Oceania regions. 17th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2013), -.

奈良英樹, 谷本浩志, 向井人史, 野尻幸宏, 遠嶋康徳 (2013) 東南アジア域における船舶を用いた大気中メタンの長期連続観測と発生源解析. 日本地球化学会 2013 年度年会, 日本地球化学会 2013 年度年会講演要旨集, 47.

奈良英樹, 谷本浩志 (2013) 八方尾根における CO₂, CH₄, CO, O₃ の連続観測. 大気化学討論会第 19 回, 大気化学討論会第 19 回講演要旨集, 56.

奈良英樹, 谷本浩志, 遠嶋康徳, 向井人史, 野尻幸宏, 町田敏暢 (2014) 東南アジア域における洋上石油プラットフォームからのメタン放出量の推定. 第 20 回大気化学討論会, 同予稿集, 23.

Nishizawa M., Nagashima T., Kawase H., Nozawa T., Ohara T., Sudo K. (2011) A numerical simulation of the impacts of future climate and emission changes on tropospheric ozone in East Asia. Air Quality Modeling in Asia 2011 Conference, Abstracts of Air Quality Modeling in Asia 2011 Conference, 49.

西澤匡人, 永島達也, 川瀬宏明, 野沢徹, 大原利真 (2011) 東アジアにおける将来の気候と外出量の変化に関する数値解析-RCP シナリオを用いた全球化学輸送モデル結果のダウンスケーリング-. 大気化学討論会第 17 回, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集.

Nishizawa T., Nagashima T., Kawase H., Nozawa T., Sudo K., Ohara T. (2012) Future development of surface ozone over East Asia under RCPs scenarios. European Geoscience Union General Assembly 2012, Geophysical Research Abstracts, 14.

小川佳美, 吉野彩子, 畠山史郎, 兼保直樹, 佐藤圭, 高見昭憲 (2011) 2010 年に福江島, 福岡市で測定した多環芳香族炭化水素と *n*-アルカン. エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 43-44.

小川佳美, 吉野彩子, 佐藤圭, 高見昭憲, 兼保直樹, 畠山史郎 (2012) 福江島における有機エアロゾルの季節変化. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 61.

Okadera T. (2011) Regional Footprinting Analysis of Water and Carbon in Liaoning Province by Using Input-Output Table. Northeast Asia Eco-Forum on Sustainable Development and Regional Ecological Security, Northeast Asia Eco-Forum on Sustainable Development and Regional Ecological Security Program.

Okadera T. (2014) Water for energy: A regional analysis in China. 10th World Congress of Regional Science Association International, Abstract book and program of the 10th World Congress of RSAI, 136.

岡寺智大 (2014) 中国の地域別発電特性と水資源への影響. 応用地域学会 2014 年度 第 28 回 研究発表大会, なし.

岡本信広, 岡寺智大 (2012) 中国の地域間仮想水取引と水資源配分の公平性評価. 日本地域学会第 49 回 (2012 年) 年次大会 (設立 50 周年記念), 同学術発表論文集.

岡本祥子, 谷本浩志, 池田恒平, 奈良英樹 (2014) 八方尾根におけるオゾンおよび CO, CO₂, CH₄ 濃度の変動とその起源推定. 第 20 回大気化学討論会, 第 20 回大気化学討論会 講演要旨集, 48.

大塚英幸, 芥川智子, 秋山雅行, 菅田誠治, 大原利真 (2013) 北海道における PM_{2.5} 高濃度イベント - 含有成分と気象及び他の大気汚染物質との関係について -. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 365.

定永靖宗, 弓場彬江, 高見昭憲, 今林弘毅, 鈴江崇彦, 紀本英志, 紀本岳志, 畠山史郎, 竹中規訓, 坂東博 (2011) 粒子状硝酸塩連続測定装置の開発. エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 99-100.

定永靖宗, 福森裕基, 増井嘉彦, 高見昭憲, 横内陽子, 大原利真, 米村正一郎, 竹中規訓, 坂東博 (2011) 東アジアから輸送される大気汚染物質によるオゾン生成効率の評価. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会同講演要旨集, P25.

定永靖宗, 井関将太, 増富祐司, 宮本脩詩, 弓場彬江, 竹中規訓, 坂東博, 横内陽子, 大原利真, 高見昭憲 他 (2012) Dynamics of airpollutants transported from Asia continent to Japan. 第 5 回環日本海域の環境シンポジウム, 第 5 回環日本海域の環境シンポジウム予稿集, 16.

Sadanaga Y., Bandow H., Arakaki T., Kato S., Kajii Y., Zhang D., Watanabe I., Fujimoto T., Okuyama K., Ogi T., Seto T., Takami A., Shimizu A., Hatakeyama S. (2014) Aerial observations for nitrogen compounds over the East China Sea. Japan Geoscience Union Meeting 2014, Abstracts.

定永靖宗, 堀雅貴, 高治諒, 高田求道, 弓場彬江, 高見昭憲, 米村正一郎, 畠山史郎, 加藤俊吾, 梶井克純, 坂東博 (2015) 沖縄辺戸岬, 長崎県福江島における反応性窒素酸化物種濃度の経年トレンド解析. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 319.

Sahu S., Ohara T., Nagashima T., Kurokawa J. (2015) Development of High Resolution Emission Inventories for Emerging Sectors in India. The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAQ13), Abstracts.

Saitoh K., Sera K., Oikawa M., Shimizu H. (2014) Analysis of elemental content and map of beech leaves by PIXE and micro-PIXE. 8th International Symposium on BioPIXE, 8th International Symposium on BioPIXE Conference Program and Abstracts, 79.

佐治光, 佐治章子, 伊藤祥子, 清水英幸 (2011) 酸性霧処理したイネの遺伝子発現プロファイル. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 345.

坂本哲夫, 大石乾詞, 間山憲仁, 三浦祐哉, 高見昭憲, 村野健太郎, 畠山史郎, 定永靖宗, 坂東博, 藤井正明 (2011) 福江島における Si 基板インパクター上に捕集された大気微粒子の粒子別分布. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 516.

坂本哲夫, 牧野裕, 大石乾詞, 吉野彩子, 高見昭憲, 伊禮聡, 三好猛雄, 村野健太郎, 畠山史郎, 坂東博, 定永靖宗, 佐藤孝樹, 三澤健太郎, 藤井正明 (2013) 福江島で観測された粒子状物質の高濃度事例の粒別解析. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 435.

Sase H., Ohizumi T., Noguchi I., Yamaguchi T., Yagoh H., Endo T., Suda R., Hamamura K., Shimizu H. (2014) Monitoring of ozone concentration in forested mountains in Japan. International Conference on Ozone and Plants, International Conference on Ozone and Plants GUIDELINE AND ABSTRACTS, P24.

佐藤圭, 藤谷雄二, 瀬田孝将, 今村隆史, 高見昭憲 (2011) ヨウ素滴低法による二次有機エアロゾル中のオキシダントの測定. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集.

Sato K., Imamura T., Horizoe K., Fujii S., Nagayasu H., Inui M., Kamijo K. (2011) Study of secondary aerosol formation from the atmospheric oxidation of amines using time-of-flight aerosol mass spectrometer. 27th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, Abstracts of 27th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, 109.

佐藤圭, 藤谷雄二, 瀬田孝将, 今村隆史, 高見昭憲 (2011) ヨウ素滴定法による二次有機エアロゾル中のオキシダントの測定 (II). エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 205-206.

Sato K., Takami A., Imamura T. (2011) AMS and LC-MS analysis of SOA formed from the benzene and 1, 3, 5-trimethylbenzene photooxidation in presence of NO_x. AAAR 30th Annual conference, 2011 AAAR Annual conference Abstracts, 5E.10.

佐藤圭, 高見昭憲, 磯崎輔, 加藤吉康, 瀬田孝将, 下野彰夫, 正田利秀, 今村隆史 (2011) 芳香族炭化水素の光酸化からの二次有機エアロゾル生成とそのエイジング. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集, 2K11.

佐藤圭, 高見昭憲, 正田利秀, 下野彰夫, 今村隆史 (2012) AMS と LC/MS による芳香族炭化水素からの SOA の分析: 化学構造とエイジング速度. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集, AAS21-P13.

佐藤圭, 高見昭憲, 小川佳美, 吉野彩子, 鈴木亮太, 畠山史郎, 原圭一郎, 林政彦, 兼保直樹 (2012) 福岡市における有機エアロゾルの広域および都市大気汚染. 大気化学討論会第 18 回, 同予稿集, 43.

Sato K., Imamura T., Takami A., Seta T., Hikida T., Shimono A. (2012) Formation mechanism of nitrophenols present in secondary organic aerosol from the photooxidation of aromatic hydrocarbons. 28th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, Abstracts of 28th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, 78.

佐藤圭, 高見昭憲, 小川佳美, 吉野彩子, 鈴木亮太, 畠山史郎, 原圭一郎, 林政彦, 兼保直樹 (2012) 国内大都市における有機エアロゾルの広域大気汚染および都市大気汚染: 2010 ~ 2011 年の福岡市と長崎福江島の比較. エアロゾル科学・技術研究討論会第 29 回, 同予稿集, 179-180.

佐藤圭, 猪俣敏, 奥村智憲, 東野達, 廣川淳, 内田里沙, XING Jia-Hua, 今村隆史 (2012) O₃-イソプレン反応で生成する SOA: ラジカル捕捉剤の効果. 日本地球化学会第 59 回年会, 同予稿集, 106.

Sato K., Takami A., Ogawa Y., Yoshino A., Suzuki R., Hatakeyama S., Hara K., Hayashi M., Kaneyasu N. (2012) Regional- and local-scale air pollutions of organic aerosol at urban site in Kyushu Island, Japan. International Symposium on Aerosols in East Asia and Their Impacts on Plants and Human Health, Abstracts, 110-111.

佐藤圭 (2015) PAH 類の大気モニタリングからみた福岡市における越境汚染の影響. 第 56 回大気環境学会年会特別集会「環境大気モニタリングからみた越境大気汚染による国内影響」, 同予稿集, 86-88.

Sato Y., Higuchi A., Murakami A., Masutomi Y., Tsuchiya K., Goto D., Takami A., Nakajima T. (2015) Regional Variability of Greening Impact on Maximum Temperature in Kanto Area on Summer. The 23rd CEReS International Symposium, Abstracts, 84.

Satoh K., Saji S., Ito S., Shimizu H., Saji H., Kikuchi S. (2014) Gene response in rice plants treated with continuous fog influenced by pH, was similar to that treated with biotic stress. National Institute for Environmental Studies, Center for Environmental Biology and Ecosystem Studies Symposium Unraveling Biodiversity from DNA - From the Management of Databases to the Use of Next Generation Sequencers -, Abstracts, 31.

重富陽介, 弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 畠山史郎, 鶴野伊津志, 加藤俊吾, 梶井克純, 竹中規訓, 坂東博 (2011) 沖縄辺戸岬での長期連続観測による越境大気汚染物質の経年変動. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 439.

島田幸治郎, 高見昭憲, 長谷川就一, 梶井克純, 加藤俊吾, 伏見暁洋, 畠山史郎 (2011) 沖縄辺戸岬における PM_{2.5} と PM₁₀ における有機物エアロゾルの特徴. エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 47-48.

島田幸治郎, 高見昭憲, 長谷川就一, 伏見暁洋, 梶井克純, 加藤俊吾, 畠山史郎 (2012) 沖縄辺戸岬における炭素質エアロゾルの長期トレンド. 大気環境学会第 53 回年会, 同予稿集, 265.

Shimada K., Miura K., Yoshino A., Takami A., Sato K., Hasegawa S., Fushimi A., Yang X., Chen X., Men F., Hatakeyama S. (2015) Differences of PAHs in Asian outflow simultaneously measured at Touji, China, Fukue and Cape Hedo, Japan. 2015 Asian Aerosol Conference, Abstracts, 69.

Shimizu A., Hara Y., Sugimoto N., Matsui I. (2011) Retrieval of spherical particles extinction coefficient from network lidar observation. The 8th International Conference on Acid Deposition, Abstracts of The 8th International Conference on Acid Deposition, 48-49.

清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 原由香里 (2011) ライダー観測による下層の消散係数と地上エアロゾル測定・大気現象との対応. レーザセンシングシンポジウム第 29 回, 第 29 回レーザセンシングシンポジウム予稿集, 106-107.

清水厚, 松井一郎, 西澤智明, 杉本伸夫 (2012) 偏光ライダーによる 2 成分消散係数と各種地上測定データとの対応. 大気ライダー研究会第 16 回, 第 16 回大気ライダー研究会予稿集, 7-8.

清水厚, 高見昭憲, 佐藤圭, 畠山史郎 (2012) 沖縄辺戸岬における大気化学/放射に関する総合観測. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会予稿集.

清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 西澤智明 (2012) 気象官署における大気現象観測とライダー消散係数との対応関係. エアロゾル科学・技術研究討論会第 29 回, 同予稿集, 121-122.

清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 西澤智明 (2013) ライダーネットワークによる黄砂・人為汚染粒子の観測と結果の応用事例. 第 6 回環日本海域の環境シンポジウム, 同予稿集, 27-28.

清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 西澤智明 (2013) ネットワークライダーで観測された黄砂鉛直分布の年々変動. レーザセンシングシンポジウム第 31 回, 同予稿集, 122-123.

清水厚 (2016) ライダーによるエアロゾル観測とその環境影響調査への応用. 富山県環境科学センター環境セミナー, なし.

Shimizu H., An P., Ito S., Sasakawa H., Zheng Y.R., Xu Z.Z., Chen L.J., Zou C.J., Yu Y.J., Zheng Y.B. (2011) Response to O₃ and SO₂ of semiarid plant species growing in North-east Asia. Acid Rain 2011, Acid Rain 2011 Abstract Book, 144-145.

Shimizu H., Ito S., Feng Y.W., An P., Sasakawa H., Zheng Y.R., Xu Z.Z., Chen L.J., Gao Y., Zou C.J., Qiu G.Y., Yu Y.J., Zheng Y.B. (2011) Impacts of ozone on native vegetation in North-east Asia. Acid Rain 2011, Acid Rain 2011 Abstract Book, 301-302.

清水英幸, 伊藤祥子, 佐治光, 森淳子, 藤哲士, 渡邊大治, 藤山正史, 藤原伸介, 村野健太郎 (2011) 長崎県の水稲に及ぼす酸性霧の影響. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会講演要旨集, 147.

清水英幸, 伊藤祥子, 相原敬次, 須田隆一 (2011) ブナの生長に及ぼすオゾンと水ストレスの単独 / 複合影響. 第 14 回自然系調査研究機関連絡会議 (NORNAC) 調査研究・活動事例発表会, 第 14 回自然系調査研究機関連絡会議 (NORNAC) 調査研究・活動事例発表会予稿集, (P-3).

清水英幸, 伊藤祥子, 安萍 (2011) 半乾燥地に生育する灌木種の水ストレス耐性と水利用に関する研究－水ストレス条件下での形態・生育特性の解析とそのモデル化－. 鳥取大学乾燥地研究センター平成 23 年度共同研究発表会, 鳥取大学乾燥地研究センター平成 23 年度共同研究発表会予稿集, 122-123.

Shimizu H., Ito S., Sasakawa H., Aihara K., Suda, R. (2012) Effects of ozone and/or water stresses on the growth of beech seedling. The 59th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (ESJ59), ESJ59/EAFES5 Abstract, 526.

Shimizu H., Fujinuma Y., Iwatsuki Z., Totsuka T., (2013) Development of Acid Fog Exposure System (AFES) and impacts of acid fog on two *Plagiomnium* species. 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Proceedings of the Sixth International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 26.

Shimizu H., Ito S., Saji H., Mori A., Watanabe T., Murano K. (2013) Acid fogs of the field level cause damages to rice plants. 77th annual meeting of the Botanical Society of Japan, Proceedings of the 77th Annual Meeting of the Botanical Society of Japan, 47.

清水英幸, 伊藤祥子, 相原敬次, 須田隆一 (2013) ブナに及ぼすオゾンと水ストレスの複合影響評価. 大気環境学会第 54 回年会, 第 54 回大気環境学会年会講演要旨集, 325.

Shimizu H., An P., Ito S., Zheng Y.R., Gao Y., Yu Y. (2014) Impacts of O₃ or SO₂ on several semi-arid plant species growing in Mu Us Sandyland, Inner Mongolia, China. International Conference on Ozone and Plants, International Conference on Ozone and Plants GUIDELINE AND ABSTRACTS, P27.

Shimizu H., Ito S., Suda R., Aihara K. (2014) Ecophysiological analysis on the growth of beech seedlings affected by ozone exposure and/or water shortage. International Conference on Ozone and Plants, International Conference on Ozone and Plants GUIDELINE AND ABSTRACTS, P28.

清水英幸 (2014) 大気汚染, 地球環境, そして植物を取り巻く地域の複合環境. 第 55 回大気環境学会年会, 第 55 回大気環境学会年会講演要旨集, 180-181.

清水英幸, 伊藤祥子, 藤沼康美, 戸塚績 (2014) 酸性霧暴露システムの開発と酸性霧の植物影響. 第 55 回大気環境学会年会, 第 55 回大気環境学会年会講演要旨集, 370.

Shimizu H., Ito S., Aihara K., Suda R. (2014) Impacts of ozone and/or water stresses on Siebold's beech seedlings. Proceedings of the 78th Annual Meeting of the Botanical Society of Japan, Kanagawa 2014, Abstract, 212.

Shimizu H., Ito S., Aihara K., Suda R. (2014) Ecophysiological responses of beech (*Fagus crenata*) stressed by ozone exposure and/or water shortage. 2014 IUFRO World Congress Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research, Abstracts, 319.

清水英幸, 岩元美有記, 山本卓也, JIANG XiangXu, 風野敏英, 藤沼康美, 戸塚績, 岩月善之助 (2014) 酸性霧暴露システムの開発および酸性霧の蘚苔類への影響. 日本蘚苔類学会第 43 回青森大会, 日本蘚苔類学会第 43 回青森大会予稿集, 24.

清水英幸, 伊藤祥子, 相原敬次, 須田隆一, 濱村研吾, 家合浩明 (2014) ブナ林の衰退と大気・土壌環境に関する実験およびモニタリング. 第 17 回自然系調査研究機関連絡会議 (NORNAC17) 調査研究・活動事例発表会, 第 17 回自然系調査研究機関連絡会議 (NORNAC17) 調査研究・活動事例発表会プログラム・要旨集, 22.

清水英幸, 戸塚績, 岩月善之助 (2015) 湿性蘚苔類の流水型培養システムの構築. 日本蘚苔類学会第 44 回北八ヶ岳大会, 同予稿集, 19.

清水英幸, 岩元美有記, 山下尚之, 森野悠, 永島達也 (2015) オゾンと水ストレスがブナに及ぼす影響の評価とリスクマップ. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 344.

Shimizu H., Iwamoto M., Yamashita N., Morino Y., Nagashima T. (2015) Risk mapping for impacts of ozone and water stresses on *Fagus crenata* Blume. 日本植物学会第 79 回大会, 同予稿集, 197.

Shimizu H., Iwamoto M., Yamashita N., Morino Y., Nagashima T. (2015) Ozone Impacts on Siebold's beech (*Fagus crenata* Blume) and Risk Mapping in Japan. The 1st Asian Air Pollution Workshop, Abstracts, 25.

清水英幸, 安萍 (2015) 大気汚染と水欠乏が半乾燥草原植物に及ぼす影響. 鳥取大学乾燥地研究センター平成 27 年度共同研究発表会, 同予稿集, 54-55, 196.

Shimizu H., An P., Zheng Y.R., Xu Z.Z., Chen L.J., Gao Y., Zou C.J., Qiu G.Y., Yu Y.J. (2016) Does Plant growing in semi-arid grasslands have high resistance to air pollution damage?. 日本生態学会第 63 回全国大会, Abstract, P2-088.

須田隆一, 濱村研吾, 清水英幸 (2012) 日本のブナ林の現状と保全・再生に向けた課題. 大気環境学会第 53 回年会, 第 53 回大気環境学会年会講演要旨集, 120.

菅田誠治, 秋吉英治, 中村哲, 神沢博 (2011) 南北両半球における冬季成層圏極渦の孤立性の年々変動. 日本気象学会 2011 年度春季大会, 日本気象学会 2011 年春季大会講演予稿集, 97, 319.

Sugata S., Ohara T., Kurokawa J., Hayasaki M. (2011) Development of the air pollution forecast system VENUS and its validation. 10th Annual CMAS Conference, 2011 Conference Agenda of 10th Annual CMAS Conference.

Sugata S., Morino Y., Ohara T., Nishizawa M., Kurokawa J., Hayasaki M. (2011) Air quality perspectives from Japan and response/impact of the recent Earthquake/Tsunami. 3rd International Workshop on Air Quality Forecasting Research, Program of 3rd International Workshop on Air Quality Forecasting Research.

菅田誠治 (2013) PM_{2.5} の越境輸送と関東地方への影響. 第 37 回環境・公害研究合同発表会 (特別講演), 同要旨集.

菅田誠治 (2013) 日本の PM_{2.5} の現状と数値シミュレーションの課題. 情報科学技術フォーラム第 12 回 (FIT2013), なし.

菅田誠治 (2013) PM_{2.5} の概況と今後の見通し. NPO 法人環境ベテランズファームセミナー, なし.

Sugata S. (2013) Understanding of the actual state of PM_{2.5} in Japan based on the observation network. 54th annual meeting of the Japan Society for Atmospheric Environment, Abstracts, 110-111.

菅田誠治 (2014) PM_{2.5} は増えているのか? 心配なのか?. 日本気象学会関西支部第 36 回夏季大学, 同テキスト, 28-39.

菅田誠治 (2014) 大気汚染等の大気環境の現状と見通し. 第 52 回全国大学保健管理研究集会, 同プログラム・抄録集, 21.

菅田誠治 (2014) PM_{2.5} の予測手法の開発状況. 2014 年度環境アセスメント学会第 13 回大会研究発表会 企画委員会主催シンポジウム「化石エネルギーの有効活用と環境アセスメントとの関わり」, 同プログラム・要旨集, 18.

菅田誠治 (2014) PM_{2.5} の越境輸送とその見積り. 第 57 回 日本環境化学学会講演会, 同予稿集.

菅田誠治 (2014) PM_{2.5} 等の現状と問題点. 時代を刷新する会第 300 回環境技術委員会, なし.

菅田誠治 (2014) PM_{2.5} の越境輸送寄与を切り出す幾つかの方法. 平成 26 年度富山県環境科学センター研究成果発表会, なし.

菅田誠治 (2014) 大気中の PM_{2.5} の現状について. PM_{2.5}・黄砂講演会～研究者が語る越境大気汚染の現状と健康への影響～, なし.

菅田誠治, 飯島明宏, 板野泰之, 山本勝彦, 山本重一, 谷口延子, 秋山雅行 (2014) 全国の環境研究機関の有機的連携による PM_{2.5} 研究. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 193.

Sugimoto N. (2011) Role of ground-based lidar networks in global, regional and urban aerosol observations. The 2nd International Symposium on Atmospheric Light Scattering and Remote Sensing, Abstracts of The 2nd International Symposium on Atmospheric Light Scattering and Remote Sensing, 30.

鈴木英治, Susanti R, Rosleine D, Simbolon H, 清水英幸 (2014) 火災から 15 年目のインドネシア東カリマンタンの熱帯低地林. 日本生態学会第 61 回全国大会, 同講演要旨, PA1-186.

鈴木亮太, 吉野彩子, 島田幸治郎, 高見昭憲, 畠山史郎 (2012) エアロゾル金属成分の特徴と発生源推定. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 56.

鈴木亮太, 吉野彩子, 島田幸治郎, 兼保直樹, 高見昭憲, 畠山史郎 (2012) 長崎県福江島・福岡県福岡市におけるエアロゾル金属成分の特徴と発生源推定. 日本化学会第 92 春季年会, 日本化学会第 92 春季年会講演予稿集, 390.

鈴木亮太, 吉野彩子, 兼保直樹, 高見昭憲, 林政彦, 原圭一郎, 渡邊泉, 畠山史郎 (2013) 九州北部に輸送された大気エアロゾルの統計解析手法を用いた発生源推定. エアロゾル科学・技術研究討論会第 30 回, 同予稿集, 5-6.

鈴木孝男, 金谷弦 (2011) 大津波で攪乱された蒲生干潟は回復するのか. 2011 年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 2011 年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集, 188.

高田求道, 定永靖宗, 弓場彬江, 加藤俊吾, 梶井克純, 高見昭憲, 坂東博 (2013) 沖縄辺戸岬における大気汚染物質濃度のトレンド解析. 大気環境学会近畿支部第 2 回支部研究発表会, なし.

高原健人, Seyong Kim, Linfa Bao, 古内正美, 瀬戸章文, 大谷吉生, 高見昭憲, 三好猛雄 (2013) 大気中新粒子生成初期におけるナノ粒子サイズ分布の時間変動の計測. エアロゾル科学・技術研究討論会第 30 回, 同予稿集, 119-120.

高治諒, 定永靖宗, 高見昭憲, 吉野彩子, 伊禮聡, 米村正一郎, 坂東博 (2015) 長崎県福江島における越境大気汚染物質の動態解析. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 255.

高見昭憲, 伊禮聡, 三好猛雄, 佐藤圭, 下野彰夫, 疋田利秀, 原圭一郎, 林政彦, 兼保直樹, 畠山史郎 (2011) 福岡で観測された越境輸送および都市大気エアロゾルの化学組成. エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 21-22.

高見昭憲, 伊禮聡, 坂本哲夫, 村野健太郎, 畠山史郎, 吉野彩子, 坂東博, 定永靖宗, 三澤健太郎, 藤井正明 (2011) 長崎福江島における微小粒子の観測. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 512.

Takami A., Irei S., Hara K., Hayashi M., Kaneyasu N. (2011) Urban and transported aerosols in Fukuoka, Japan. AAAR's 30th Annual Conference, 2011 AAAR Annual Conference Abstracts, 2D.7.

高見昭憲 (2011) 国内および東アジアにおける大気汚染の現状. 48 回日本小児アレルギー学会第 16 回アジア太平洋小児アレルギー呼吸器免疫学会, 日本小児アレルギー学会誌, 25 (3), 466.

高見昭憲, 三好猛雄, 伊禮聡, 佐藤圭, 林政彦, 原圭一郎, 兼保直樹, 疋田利秀, 下野彰夫, 畠山史郎 (2012) 福岡で観測されたエアロゾル化学組成の因子分析. エアロゾル科学・技術研究討論会第 29 回, 同予稿集, 249-250.

Takami A. (2012) Aerosol Chemical Composition Measured at the East China Sea Area using an Aerodyne aerosol Mass Spectrometer. 10th UNU & GIST joint Programme Symposium, Abstracts, 41-41.

Takami A., Miyoshi T., Irei S., Hara K., Hayashi M., Kaneyasu N. (2012) PMF Analysis of Urban and Transported Aerosols in Fukuoka, Japan. AAAR 31st ANNUAL CONFERENCE, Abstracts, 97-97.

高見昭憲, 伊禮聡, 三好猛雄, 吉野彩子, 坂本哲夫, 大石乾詞, 佐藤孝樹, 村野健太郎, 畠山史郎, 坂東博, 定永靖宗, 三澤健太郎, 藤井正明 (2013) 福江島で観測された粒子状物質の高濃度事例の解析. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 436.

高見昭憲 (2013) 遠隔地での観測による越境大気汚染の実態. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 80.

Takami A., Miyoshi T., Irei S., Yoshino A., Hayashi, M, Hara, K, Kaneyasu, N, Hatakeyama, S (2013) Analysis of organic aerosol measured at urban and remote sites using positive matrix factorization method. 8th Asian Aerosol Conference, Abstracts, 35-36.

- 高見昭憲 (2013) 中国からの PM_{2.5} 及び黄砂の日本への影響 (特に沖縄近辺). 環境・エネルギー委員会 第7回委員会, なし, 17.
- 高見昭憲 (2014) 九州・沖縄地区での粒子状物質の観測. International Conference of PM_{2.5} & ENERGY SECURITY 2014 同志社大学-オープン・ユニバーシティ, 同予稿集, 89-91.
- Takami A. (2014) Ground observation of particulate matter in EAST China Sea Area. International Workshop on Air Quality in Asia, -.
- Takami A., Shimada K., Fushimi A., Tanabe K., Kaneyasu N., Hasegawa S., Ishida T., Hatakeyama S. (2014) Long-term Measurements of Elemental and Organic Carbon at Cape Hedo Okinawa, Japan. AOGS 11th Annual Meeting, Abstracts, 120.
- 高見昭憲, 菅田誠治, 清水厚, 森野悠 (2015) PM_{2.5} 等の広域大気汚染に対する国立環境研究所・地域環境研究センターの取り組み. SAT 2015 テクノロジー・ショーケース, 同予稿集, 133.
- Takami A., Miyoshi T., Shimizu A., Sadanaga Y., Kurokawa J., Irei S., Yoshino A., Sato K., Matsui I., Sugimoto N., Morino Y., Nagashima T., Goto D., Ohara T., Yuba A., Bandow H., Hatakeyama S. (2015) Ten years monitoring of mass and chemical composition at Cape Hedo Station, Okinawa, Japan. 2015 Asian Aerosol Conference, Abstracts, 52.
- Taketani F., Kanaya Y., Pan X., Irie H., Takashima H., Tanimoto H., Saito S., Akimoto H., Wang Z. (2013) Measurement of chemical composition and optical properties of PM_{2.5} at Rudong, China. American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, -.
- Taniguchi, Y., Shimada, K., Fushimi A., Takami A., Hatakeyama, S. (2015) Long term and seasonal variation of carbonaceous aerosols in Okinawa, Japan. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015, Abstracts.
- Tanimoto H., Nara H., Kondo F., Mukai H., Nojiri Y., Tohjima Y., Machida T., Hashimoto S. (2013) Long-term monitoring of long-lived greenhouse gases(GHGs) and short-lived climate pollutants in Asia and Oceania using voluntary observing ships. NOAA Earth System Research Laboratory 41st Global Monitoring Annual Conference, Abstracts, 7.
- 谷本浩志 (2013) 地上・ゾンデ・航空機による対流圏オゾン観測データの整合性について. 大気化学討論会第19回, 大気化学討論会第19回講演要旨集, 31.
- Tanimoto H., Kudo S., Pan X., Inomata S., Saito S., Kanaya Y., Wang Z. (2013) Emissions of oxygenated volatile organic compounds from open crop burning in Yangtze River Delta region, China. American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, -.
- Tanimoto H. (2014) Consistency of measurement of tropospheric ozone by different platforms and techniques in the global databases. MOZAIC-IAGOS Scientific symposium on atmospheric composition observation by commercial aircraft, Abstracts.
- Tanimoto H., Kudo S., Inomata S., Saito S., Pan X., Kanaya Y., Wang Z., Chen H., Dong H., Zhuang M. (2014) Emissions of Oxygenated Volatile Organic Compounds from Open Crop Burning in Yangtze River Delta Region, China. AOGS 11th Annual Meeting, Abstracts.
- 寺本佳宏, 遠藤昌樹, 熊谷貴美代, 長谷川就一, 宮田朋子, 花岡良信, 山神真紀子, 橋本貴世, 中島亜矢子, 菅田誠治 (2015) 2014年5, 6月における PM_{2.5} 高濃度事例の解析. 第56回大気環境学会年会, 同予稿集, 279.
- 鶴田治雄, 平野耕一郎, 白砂裕一郎, 高見昭憲, 中島映至 (2011) 春季の福江島における大気エアロゾルの形態分析-炭素系粒子と土壌系粒子の混合状態および海塩粒子とその変質粒子-. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会年会講演要旨集, 436.
- 上田佳代, 山神真紀子, 池盛文数, 久恒邦裕, 新田裕史 (2011) PM_{2.5} 各成分が死亡に及ぼす影響評価. 大気環境学会第52回年会, 第52回大気環境学会年会講演要旨集, 298.
- 上田佳代, 新田裕史 (2012) エアロゾル粒子の健康影響:疫学研究による影響の有無およびその大きさの推定. 日本地球惑星科学連合2012年大会, なし.
- 鶴野伊津志, 弓本桂也, 板橋秀一, 栗林正俊, 山本重一, 下原孝章, 菅田誠治 (2014) 色々な機関のエアロゾル観測を化学輸送モデルで統合した季節変化の解析. 第55回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 207.
- 浦西克維, 浅野勝佳, 菊谷有希, 嶋寺光, 近藤明, 菅田誠治, 中西誠 (2015) 2013年度奈良県における化学輸送モデルによる PM_{2.5} 濃度解析. 第56回大気環境学会年会, 同予稿集, 311.

浦西克維, 浅野勝佳, 菊谷有希, 山神真紀子, 青山知由, 板野泰之, 山本勝彦, 宮野愛子, 小松宏昭, 常松展充, 原政之, 菅田誠治 (2015) 化学輸送モデルによる 2013 年東海・近畿地域の PM_{2.5} 濃度と地域別発生源の影響. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 312.

Wang Q-X., Liu C., Ye M., Otsubo K. (2013) Simulation of Water and Nutrient Transport to the Estuary of the Yangtze River. GWSP Conference 2013, Water in the Anthropocene: Challenges for Science and Governance. Indicators, Thresholds and Uncertainties of the Global Water System, 66-67.

Wang Q-X., Xiao Q., Liu C., Wang K-L., Ye M. (2013) Development of a System for Evaluation of the Effects of Adaptation Strategies in a Catchment Ecosystem—Taking the Hanjiang River Basin as an example—. 3rd Biennial Symposium of International Society for River Science, The 3rd Biennial Symposium of International Society for River Science Achieving healthy and viable rivers Conference Proceedings, 32-41.

Wang Q-X. (2013) Modeling Nitrogen and Phosphorus Dynamics in the Yangtze River Basin, China. 6th International Nitrogen Conference, Conference Abstract, 6(8).

Wang Q-X. (2015) Research on Simulation of Nitrogen and Phosphorus Cycles and its Control in the Yangtze River Basin (長江流域における窒素・リン循環のシミュレーション及びその制御に関する研究). Water Forum of China (中国水論壇), - <In Chinese>.

王勤学 (2015) 中国・長江流域の土地利用変化に伴う汚濁負荷流出の評価に関する研究. 日本地理学会 2015 年秋季学術大会, -.

Wang Q-X., Xiao Q., Koshikawa H., Higashi H., Liu C., Wang K-L., Song X-F., Ye M. (2015) A Study on Nitrogen and Phosphorus Pollution and its Reduction Strategies in the Yangtze River Basin. Pollution Process and Control of Nitrogen and Phosphorus in River Basin, -.

Wang Q-X., Xiao Q., Koshikawa H., Higashi H., Liu C., Wang K-L., Song X-F., Ye M. (2015) Prediction of Nitrogen and Phosphorus Pollutant Loads from the Yangtze River Basin. The 3rd International Symposium on Sustainable Agriculture for Subtropical Regions (ISSASR-3 2015), -.

Wang Q-X., Xiao Q., Koshikawa H. (2016) Simulation of the Non-point Source of Nitrogen and Phosphorus Loads under Different Land Uses in the Yangtze River Basin, China. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, Abstracts, 2016 (HSC04-05).

山神真紀子, 橋本貴世, 熊谷貴美代, 高士昇吾, 松岡靖史, 野口邦雅, 菊池一馬, 長谷川就一, 菅田誠治 (2014) 2014 年 3 月における PM_{2.5} 高濃度事例の解析. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 276.

山神真紀子, 寺本佳宏, 牧野雅英, 木下誠, 木戸瑞佳, 長谷川就一, 菅田誠治 (2015) 2015 年 2, 3 月における PM_{2.5} 高濃度事例の解析. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 280.

Yamaguchi T., Watanabe Y., Katata G., Shimizu H., Noguchi I. (2013) Fog Chemistry and Droplet Size Distribution at Lake MASHU, Northern Japan. 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Proceedings of the Sixth International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 106.

山本勝彦, 中戸靖子, 三田村徳子, 山神真紀子, 加藤三奈, 西山亨, 平澤幸代, 中坪良平, 板野泰之, 菅田誠治, 大原利真 (2013) PM_{2.5} の近畿地方におけるローカルな要因による高濃度について. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 510.

山本勝彦, 中戸靖子, 西村理恵, 三田村徳子, 山神真紀子, 加藤三奈, 三原利之, 高士昇吾, 高倉尚枝, 中坪良平, 浅野勝佳, 板野泰之, 菅田誠治 (2014) 東海・近畿地域における PM_{2.5} 高濃度事象の要因について. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 197.

山本勝彦, 西村理恵, 中戸靖子, 菅田誠治, 清水厚, 佐野到 (2015) ライダー観測データと PM_{2.5} 成分について. 第 56 回大気環境学会年会, 同予稿集, 490.

山本重一, 力寿雄, 下原孝章, 兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 畠山史郎 (2011) 福岡県における HVI-2.5 による PM_{2.5} 成分分析結果について. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 274.

山本重一, 下原孝章, 濱村研吾, 山本勝彦, 谷口延子, 山崎敬久, 長谷川就一, 三田村徳子, 長田健太郎, 田村圭, 家合浩明, 小林優太, 菅田誠治, 大原利眞 (2013) 2012 年春季から夏季に西日本で観測された PM_{2.5} 高濃度イベントの要因解析. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 226.

山本重一, 下原孝章, 濱村研吾, 田村圭, 菅田誠治, 鶴野伊津志 (2014) 福岡における PM_{2.5} 地域汚染の特徴について. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 195.

山本重一, 下原孝章, 濱村研吾, 田村圭, 小林優太, 日置正, 菅田誠治 (2014) 西日本における PM_{2.5} 高濃度の季節別特徴について. 第 55 回大気環境学会年会, 同講演要旨集, 194.

山崎敬久, 木戸瑞佳, 源将, 菅田誠治, 清水厚 (2013) 富山県における標高別 PM_{2.5} 調査. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 475.

長井祥秀, Charlotte Jones, 梶井克純, 横内陽子, 加藤俊吾, 今野秀典, 近藤美則, 中嶋吉弘 (2013) 軽自動車排気ガスの OH ラジカル反応性及び微量成分濃度の測定. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 213.

吉野彩子, 中山寛康, 小川佳美, 佐藤圭, 高見昭憲, 畠山史郎 (2011) 沖縄県辺戸岬における東アジアに由来する多環芳香族炭化水素類の長距離輸送. エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 77-78.

吉野彩子, 畠山史郎, 小川佳美, 佐藤圭, 高見昭憲, 伊禮聡, 兼保直樹, 坂本哲夫, 村野健太郎, 定永靖宗, 坂東博, 藤井正明 (2011) 長崎県福江島における有機エアロゾル・エアロゾル金属成分の観測. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 514.

吉野彩子, 小川佳美, 鈴木亮太, 湯本弥生, 兼保直樹, 佐藤圭, 高見昭憲, 畠山史郎 (2011) 2010 年長崎県福江島におけるエアロゾル化学成分の観測. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集, P27.

吉野彩子, 高見昭憲, 三好猛雄, 伊禮聡, 佐藤圭, 清水厚, 兼保直樹, 畠山史郎, 原圭一郎, 林政彦 (2014) 福岡市における微小粒子の化学組成解析. エアロゾル科学・技術研究討論会第 31 回, 同予稿集.

Yoshino A., Takami A., Miyoshi T., Irei S., Sato K., Shimizu A., Kaneyasu N., Hatakeyama S., Hara K., Hayashi M. (2015) Analysis of chemical composition of fine aerosols measured at urban and rural sites in northern part of kyushu, Japan. 2015 Asian Aerosol Conference, Abstracts, 81.

弓場彬江, 定永靖宗, 増井嘉彦, 竹中規訓, 坂東博, 高見昭憲, 大原利眞, 横内陽子, 畠山史郎, 米村正一郎 他 (2011) 長距離輸送中における全硝酸 (HNO₃ (g) + NO₃⁻ (p)) および総反応性窒素酸化物 (NO_y) の濃度変動解析. エアロゾル科学・技術研究討論会第 28 回, 第 28 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 49-50.

弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 畠山史郎, 増井嘉彦, 大原利眞, 横内陽子, 米村正一郎, 加藤俊吾, 梶井克純, 竹中規訓, 坂東博 (2011) 長距離輸送中における窒素酸化物の動態解析: 沖縄辺戸岬および長崎県福江島における NO_y, Total nitrate の比較. 大気環境学会第 52 回年会, 第 52 回大気環境学会年会講演要旨集, 508.

弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 畠山史郎, 増井嘉彦, 大原利眞, 横内陽子, 米村正一郎, 加藤俊吾, 梶井克純, 竹中規訓, 坂東博 (2011) 長距離輸送中における総反応性窒素酸化物 (NO_y), Total nitrate の動態解析: 沖縄辺戸岬および長崎福江島における連続観測結果の比較. 第 17 回大気化学討論会, 第 17 回大気化学討論会講演要旨集, P24.

弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 畠山史郎, 増井嘉彦, 大原利眞, 横内陽子, 米村正一郎, 加藤俊吾, 梶井克純, 竹中規訓, 坂東博 (2012) 長距離輸送中における総反応性窒素酸化物 (NO_y), Total nitrate の動態解析: 沖縄辺戸岬および長崎福江島における連続観測結果の比較. 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム, 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム予稿集, 64.

紫合英樹, 定永靖宗, 高治諒, 橋本侑樹, 石山絢菜, 高見昭憲, 大原利眞, 横内陽子, 米村正一郎, 松木篤, 佐藤啓市, 長田和雄, 坂東博 (2013) 東アジアから越境輸送される窒素酸化物によるオゾン生成効率の評価. 大気環境学会第 54 回年会, 同予稿集, 514.

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第115号
NIES Research Project Report, No.115

(SR - 115 - 2016)

東アジア広域環境研究プログラム
(重点研究プログラム)
平成23～27年度
East Asian Environment Research Program
FY2011～2015

平成28年11月30日発行

編集 国立環境研究所 編集分科会

発行 国立研究開発法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

E-mail: pub@nies.go.jp

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

November 2016

組版 株式会社 イセブ

〒305-0005 茨城県つくば市天久保2丁目11-20

無断転載を禁じます

国立環境研究所の刊行物は以下の URL からご覧いただけます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/index.html>