

国立環境研究所特別研究報告

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

SR - 99 - 2011

アジア自然共生研究プログラム (終了報告)

Asian Environment Research Program

平成 18 ～ 22 年度

FY2006 ～ 2010

NIES



独立行政法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

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

アジア自然共生研究プログラム (終了報告)

Asian Environment Research Program

平成 18 ～ 22 年度

FY2006 ～ 2010

独立行政法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

重点研究プログラム「アジア自然共生研究プログラム」(終了報告)
(期間 平成 18 ～ 22 年度)

プログラム代表者：中根英昭

執筆 者：中根英昭、高見昭憲、佐藤 圭、清水 厚、
大原利眞、谷本浩志、永島達也、杉本伸夫、
西川雅高、王 勤学、岡寺智大、越川 海、
東 博紀、藤田 荘、藤井 実、野原精一、
福島路生、亀山 哲、井上智美、清水英幸

編 者：清水英幸、中根英昭

序

本報告書は、平成18～22年度の5年計画で実施している重点研究プログラム「アジア自然共生研究プログラム」の5年間の成果を取りまとめたものです。本プログラムにおける研究の過程とその成果を公表することによって、この分野の研究を今後さらに発展させるうえで貴重なご意見を各方面より頂くことを期待しております。

急速な経済成長を続けているアジア諸国では、それに伴う環境破壊やエネルギー問題、資源問題が深刻になっています。それは、各国にとって重要な課題であるということだけでなく、日本を含むアジア全体、北半球、地球規模の問題に直接つながっています。もう一つ重要なことは、日本では高度成長期以来順次経験してきた大気汚染、水質汚濁、自然破壊、廃棄物、温暖化などの問題が、アジア諸国では同時に顕在化してきていることです。このことは、問題解決の困難さとともに、これらを統合的に解決する可能性、新しいチャレンジの機会があることをも示しています。つまり、持続可能な社会の実現に当たっての当面の目標である、

- i. 脱温暖化社会の実現
- ii. 循環型社会の実現
- iii. 自然共生型社会の実現
- iv. 安全・安心で質の高い社会の実現

(平成18年3月、中央環境審議会答申「環境研究・環境技術開発の推進戦略について」より)
をアジアにおいて統合的に実現する道筋に沿って、環境問題を解決する可能性を追求すべきであるということです。

アジア自然共生研究プログラムでは、自然と人間が共生する上で克服しなければならない問題の解決に必要な科学的基盤を確立するために、第2期中期計画では、

1. アジアの大気環境評価手法の開発、
2. 東アジアの水・物質循環評価システムの開発、
3. 流域生態系における環境影響評価手法の開発、

の3つの中核研究プロジェクトを中心に研究を進めました。これらの中核研究プロジェクトでは、東アジア規模、北半球規模での光化学オゾンやエアロゾル・黄砂の動態、長江流域圏等の富栄養化や東シナ海への影響の評価、都市の環境問題、メコン河流域の生態系破壊などについて具体的な研究を推進し、アジア地域で持続可能な社会を実現するために必要な技術・政策等の評価を行い、政策提言の科学的基盤を築くことを目指しました。具体的な研究成果につきましては本編をご覧ください。

この間、研究を推進する過程で、国内外の多くの方々にご協力とご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表しますとともに、引き続きご指導ご支援を賜りたく、宜しくお申し上げます。

平成23年12月

独立行政法人 国立環境研究所
理事長 大垣 眞一郎

目 次

I. アジア自然共生研究プログラムの概要	
1. プログラムの目的と経緯	1
2. 研究予算	1
3. 研究成果の概要	1
II. 中核研究プロジェクト1：アジアの大気環境評価手法の開発	
1. 研究の目的と経緯	8
1.1 目的	8
1.2 研究計画とサブテーマ構成	8
2. 研究の成果	9
2.1 アジアの広域越境大気汚染の実態解明	9
2.1.1 目的と経緯等	9
2.1.2 地上観測施設の拡充と観測体制の整備	9
2.1.3 国内における地上および航空機観測	10
2.1.4 中国における地上および航空機観測	13
2.1.5 観測結果のデータベース化	14
2.2 アジアの大気環境評価と将来予測	14
2.2.1 目的と経緯	14
2.2.2 アジアの大気汚染物質排出量の経年変化	15
2.2.3 大気汚染物質排出量の逆推計	16
2.2.4 対流圏オゾンの経年変動	18
2.2.5 大気汚染の将来予測	18
2.2.6 オゾン高濃度エピソードの解析と大気汚染予測システムの開発	19
2.2.7 全球モデルによる半球大気汚染の解析	21
2.2.8 まとめ	22
2.3 黄砂の実態解明と予測手法の開発	23
2.3.1 目的と経緯	23
2.3.2 ネットワークモニタリングの結果と解析	23
3. まとめ	27
III. 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	
1. 研究背景と目的	30
2. 主な研究成果	30
2.1 流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築	30
2.1.1 目的と経緯	30
2.1.2 評価システムの構築及びデータベースの作成	32
2.1.3 観測システムの構築によるモデルの精度検証	33
2.1.4 流域圏水・物質負荷流出の再現結果	34
2.1.5 産業連関表による汚濁負荷量の推定手法の開発	35

2.2	長江起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明	36
2.2.1	目的と概要	36
2.2.2	航海調査による海洋環境・生態系の現状把握	37
2.2.3	大型培養槽を用いた <i>P. dentatum</i> の日周鉛直移動特性の把握	39
2.2.4	海域における流動・水質・生態系モデルの開発	39
2.3	拠点都市における技術・政策インベントリと評価システム	41
2.3.1	目的と経緯	41
2.3.2	都市環境技術・政策シミュレーションシステム	42
2.3.3	都市水熱代謝モデルを用いた技術・施策の導入効果の評価	43
2.3.4	都市流域水環境再生のための分散型水処理技術システムの構築	46
2.3.5	資源循環技術・政策インベントリ	47
3.	まとめ	48
IV. 中核研究プロジェクト3：流域生態系における環境影響評価手法の開発		
1.	研究の背景と目的	52
1.1	研究の背景	52
1.2	研究の目的	52
1.3	研究計画と構成	52
2.	研究の成果	53
2.1	流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築	53
2.1.1	メコン河の流域環境	53
2.1.2	メコン河流域の土地利用	56
2.1.3	メコン河本流におけるダム建設の現状	56
2.2	人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発	57
2.2.1	メコン河におけるダム建設が季節的な河川氾濫に与える影響	57
2.2.2	メコン河本流・支流の水質季節変化モニタリング	57
2.2.3	ダム建設等が河川動態・流域生態系に与える影響の評価	59
2.2.4	メコン河本流の魚類生息地評価	60
2.2.5	水中微量元素濃度による河川の判別関数分析	60
2.2.6	ダムによる魚類への影響評価、建設予定ダムのリスク評価	61
2.2.7	沿岸地域における生態系・環境変動要因の解明	62
2.2.8	メコンデルタ・マングローブ生態系	62
3.	まとめ	67
V.	まとめ	69
[資料]		
I	研究の組織と研究課題の構成	73
1	研究の組織	73
2	研究課題と担当者	76
II	研究成果発表一覧	78
1	誌上発表	78

I. アジア自然共生研究プログラムの概要

1. プログラムの目的と経緯

我が国と密接な関係にあるアジア地域では、急速な経済発展に伴って大気、水環境の悪化及び生態系破壊が深刻化しており、それが直接的あるいは間接的に我が国に影響を及ぼしている。従って、我が国を含むアジアの持続可能な発展に向けた戦略的な政策が緊急に必要なが、そのためには科学的知見を集積し、政策提言の基盤を築くことが必要である。我が国及びアジア各国の政策や持続可能な発展に向けた努力が効果的に働くためには、我が国及びアジア各国が、科学的知見について共通の認識及び環境管理の共通の基盤を持つことが重要である。このような科学的基盤の形成に貢献するために、本プログラムでは、アジアの大気環境、水環境及び生態系についての実態把握・解析、環境政策の解析等の科学的知見の集積、データベースや数値モデル等の研究ツール、環境管理ツールの開発、技術・政策シナリオの構築等を行うことを目的とした。

国立環境研究所のアジアを対象あるいはフィールドとした環境研究は、1990年頃から地球環境研究の一環として取り組まれた。研究分野としては、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、海洋汚染、熱帯林減少、生物多様性、砂漠化等である。その後、中国長江を対象とした流域圏管理に関連する研究、液状廃棄物対策に関連する研究、越境大気汚染に関する研究等が実施されてきた。このような研究を基盤として、平成18年～22年度の第2期中期計画においてアジア自然共生研究プログラムが発足した。同時に発足した地球温暖化研究プログラム、循環型社会研究プログラムにおいても、それぞれの分野においてアジアを対象とした、あるいはアジアをフィールドとした研究が行われてきたが、本プログラムでは、大気圏、流域圏を中心に、主に自然と人間の関わりを研究対象とした。

アジア自然共生研究プログラムでは、第2期中期計画において、東アジア地域の気候環境・広域越境大気汚染の実態把握、陸域・沿岸域・海域環境の把握・予測及び都市域を対象とした環境技術評価システムの構築による持続可能な水環境管理、大河川を中心とした流域における開発の環境影響評価及び生態系保全管理に関する研究を行うこととした。その観点から、本プログラムでは、

- (1) アジアの大気環境評価手法の開発、
 - (2) 東アジアの水・物質循環評価システムの開発、
 - (3) 流域生態系における環境影響評価手法の開発
- の3つの中核研究プロジェクト（PJ）を中心とした研究によって研究を推進することとした。

2. 研究予算

本プログラムの研究予算は主として運営交付金と環境省・文部科学省等の競争的研究資金を中心とする受託費によって構成され、4～6億円/年で推移している。競争的研究資金による大学や他の独立行政法人研究機関との共同研究は、本プログラム及び中核研究プロジェクトの目的を達成するための共同研究や連携にとって重要な役割を果たした。

3. 研究成果の概要

平成18～22年度の研究成果の概要を、中核研究プロジェクト毎にまとめて記す。

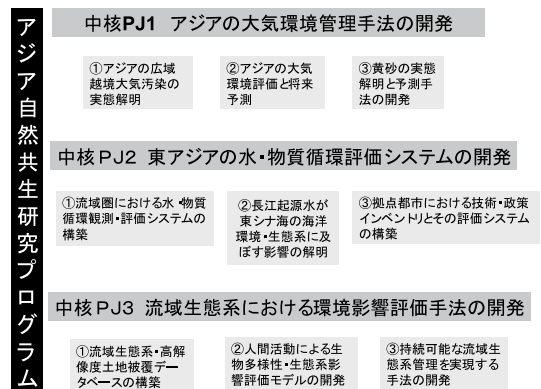


図1 アジア自然共生研究プログラム第2期中期計画の中核研究プロジェクト構成及びサブテーマ

表1 研究予算の構成

	(実績額、単位：百万円)					
	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	197	220	230	241	242	1,130
その他の外部資金	234	308	301	376	338	1,557
総額	431	528	617	580	580	2,687

(1) アジアの大気環境評価手法の開発

アジアの大気環境についての研究プラットフォームや研究手法、データベースや数値モデル等の研究ツールの開発を行い、それらを用いて、実態把握、将来予測等の科学的知見を集積することを目的とし、

サブテーマ1：アジアの広域越境大気汚染の実態解明

サブテーマ2：アジアの大気環境評価と将来予測

サブテーマ3：黄砂の実態解明と予測手法の開発

のサブテーマにより研究を進めた。

1) アジアの広域越境大気汚染の実態解明

本サブテーマでは、

- ・地上観測施設の拡充と観測体制の整備、
- ・国内における地上および航空機観測、
- ・中国における地上および航空機観測、
- ・観測結果のデータベース化、

を進めると共に、これらの観測を通して中国等において放出された大気汚染物質のエアロゾルへの変性と輸送についての知見を集積した。

地上観測施設の拡充と観測体制の整備では、沖縄本島北端に位置する辺戸岬に辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーション（Cape Hedo Atmosphere and Aerosol Monitoring Station: CHAAMS）を整備した。また、越境大気汚染物質の輸送経路においてより風上に位置する長崎県福江島に第二の地上観測施設を整備した。中国を起源とする大気汚染物質が日本国内に輸送される際、国内起源の大気汚染物質と分離して観測することは困難である。越境大気汚染物質が福江を経由して辺戸に輸送される場合には、日本国内の排出源の影響を受けることのない輸送経路上の大気汚染物質の変質の情報が得られる。この2地点における定常的観測、特別観測に、国内における航空機観測あるいは中国における観測を組み合わせることで広域越境大気汚染の実態解明を行った。そして、観測データのデータベース化の第一歩として、辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーション（CHAAMS）のホームページを立ち上げ、CHAAMSで観測した研究者にデータ提供を呼びかけ、観測データの掲載あるいはリンクによってデータの所在を明らかにする等、データの活用を図った。

以上の観測基盤や研究ツールを用いた観測によって得られた主要な知見を以下に示す。

①窒素化合物の輸送時間に対する組成変化

汚染気塊が輸送される間、時間と共にガス状の反応性窒素化合物が減少し、粒子状のナイトレート（硝酸塩）が増加すること、ナイトレートは長距離輸送される場合には微小粒子ではなく、粗大粒子（海塩や土壌粒子）に付着していることを定量的に示した。

②多環芳香族炭化水素（PAH）類の輸送

辺戸及び福江において、コロネン、レテンを含む15種類のPAH類のエアロゾル中の濃度を測定した。PAHは化石燃料やバイオマスの燃焼に由来すると考えられ、日本国内、中国を含む北東アジアで排出されている。アジア大陸からの輸送が頻繁になる冬春季の総PAH濃度の極大値は $2.6 \sim 24 \text{ ng m}^{-3}$ であった。これらの値は、国内都市部で定常的に観測される総PAH濃度に匹敵し、ローカルな排出が大きい国内の都市部でさえも、PAHの越境汚染の影響が無視できないことが明らかになった。

③硫黄酸化物と有機物の輸送中の変質

汚染気塊中の硫黄酸化物及び有機物が福江から辺戸に輸送される間の酸化の程度について解析したところ、それぞれ約1.6倍及び1.8倍程度酸化が進んでいることが示された。

④中国における航空機観測時の大気汚染質の特徴

2007年4月に実施した中国大連、青島における観測では、高濃度のCO（3～4ppm）、SO₂（70ppb）、NO_x（40ppb）が観測された。エアロゾルに関しては、黄砂の影響を強く受けて、陽イオンとしてカルシウムイオンが多く含まれる場合と、人為発生源の影響によってアンモニウムイオンが多く含まれる場合のあることが明らかになった。

①～④をはじめとして、定量的な知見が得られた点で意義が大きい。

2) アジアの大気環境評価と将来予測

本サブテーマでは、プロジェクト開始時点ではチャレンジングと考えられていた、人工衛星観測データの活用や大気汚染観測データからの排出量の逆推計等を含め、観測データと数値モデルの統合的な活用において成果を挙げることができた。また、国内の地上オゾン濃度に対する中国起源の寄与率を示す等、行政施策に貢献する知見を示すことができた。具体的な成果を下記に示す。

①アジアの大気汚染物質排出量の経年変化

アジア地域の排出インベントリと化学輸送モデルを

用いて、過去四半世紀の大気質の経年変動を計算し、既存の観測データを用いて検証するとともに、対流圏オゾン・酸性沈着量の空間分布や越境大気汚染による日本へのインパクトの変化を評価した。その結果、①中国における大気汚染排出量が1980年以降増加し、特に最近、急増していること、②大気汚染排出量の増加に伴って東アジアにおける対流圏オゾンが増加し、それに伴って日本のオゾン濃度が経年的に上昇していること、③大気汚染排出量や対流圏オゾンの将来変化は排出シナリオに強く依存するが、最近の衛星観測や燃料消費動向によると最悪ケースで推移している可能性が高いこと、などが明らかとなった。これらの研究成果は、国際的な「大気汚染の半球規模輸送に関するタスクフォース」(TFHTAP)の最終報告書⁸⁾や環境省の光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書(中間報告)などに取り入れられた。

② 全球モデルによる半球大気汚染の解析

アジア地域の大気質変動を、地域外の影響も含めて評価するために、全球化学気候モデル(CHASER)を用いた解析を進め、日本の対流圏オゾンに対する発源地域別寄与を評価した。発生源としては北米、欧州、中央アジア等の遠隔領域、中国東北部、東シベリア、中国南東部、東南アジア北部等の近隣領域、さらに自由対流圏や成層圏を含め、季節による発源地域の寄与の違い等を明らかにした。

③ 大気汚染物質排出量の逆推計

地上観測データを用いたCO排出量の逆推計を行うと共に、対流圏衛星データを用いてNO_x排出インベントリを検証・修正するインバースモデルの開発を進めた。また、排出インベントリに関する中国との共同研究を継続して実施した。

④ オゾン高濃度エピソードの解析

2007年春季に西日本地域などで発生し大きな社会問題となったオゾン高濃度現象の発生メカニズムをモデル解析によって明らかにし、オゾンの越境大気汚染が顕在化し始めていることを指摘した。

⑤ 大気汚染予測システムの開発

全国の地方環境研究所との共同研究により、対流圏オゾンと粒子状物質の広域的・地域的特性を解明する研究を開始した。東アジア、日本全域、及び関東地方の大気汚染を短期予報するために大気汚染予報システムを開発し、試験公開を開始した。

3) 黄砂の実態解明と予測手法の開発

モンゴル(3カ所)、中国(2カ所)、韓国(2カ所)、日本(11カ所)にまたがるライダーモニタリングネットワークを構築し、ネットワークにより得られるライダーや地上観測データを用いて黄砂数値輸送モデルを同化する手法を確立し、黄砂の初期濃度分布や発生源強度・分布に関する推定等を行った。主な成果を下記に示す。

① 2006～2010年の黄砂の状況

日本に飛来する黄砂の最発生源地域であるゴビ砂漠およびその周辺地域から3～5月に発生する砂塵ダスト(黄砂)の量について輸送モデル(CFORS)を用いて推計した結果、2006年:136百万トン、2007年:141百万トン、2008年:85百万トン、2009年:51百万トン、2010年:197百万トンであった。2001年からデータのある北京を例にとると、地上で比較的規模の大きな黄砂が観測された回数は、2001年、2002年が4回、2003年から2005年は各1回と少なかったのに対して、2006年は再び3回(4月8～10日、17日、5月18～19日)と多かった。特に顕著なイベントは、2006年4月17日の未明に北京に大量の砂塵が降った現象であった。

② CFORSモデルの検証とモデル同化

輸送モデルCFORSにおける最も大きな誤差の要因は、黄砂発生量分布の推定である。この誤差を小さくするために、黄砂発生の係数のみを制御パラメータとして、4次元変分法(4DVAR)によるデータ同化システムによりライダー観測データをモデルへ組み込む同化実験を行った。2005年4月下旬のライダー観測データを同化し、発生源強度・分布を逆推定することによって、データ同化前に見られた大幅な過小評価が改善(概ね30～40%)された。すなわち同化の結果として、ライダー観測による改善された黄砂発生量分布の時系列データが得られた。

③ 植生成長による黄砂発生量の抑制

2007年4月の初め、5月初旬、5月下旬の3つの期間についての同化の有無による黄砂発生量を比較したところ、4月から5月にかけて、発生源の黄砂発生を抑制するような元のモデルでは考慮されていない変化(植生等の地表面状況の変化)があったことが明らかになった。モンゴル全土の目視観測による植生成長度のマップを入手して植生の変化を調べたところ、4月末と5月末を比較すると植生が明らかに改善されており、発生量の抑制

を説明できることが分かった。このように、ライダーネットワークデータを用いた4DVARによるデータ同化は、黄砂発生地域の状況の変化を詳細に推定する有用な手法であることが示された。

上記に示した各サブテーマにおける具体的な成果が示すように、本中核研究プロジェクトによって、観測データ、数値モデル、排出インベントリ、更に対流圏衛星観測データを活用して、アジア地域の広域大気汚染と日本への越境大気汚染の全体像を把握し、科学的知見を蓄積することが可能になり、日本国内を含むアジア地域の大気環境施策立案に必要な科学的知見とツールを提供することができた。

(2) 東アジアの水・物質循環評価システムの開発

東アジアの流域圏について、長江を中心に、水環境に関する科学的知見の集積と持続的な水環境管理に必要なツールの確立を目指し、

サブテーマ1：流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築

サブテーマ2：長江起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明

サブテーマ3：拠点都市における技術・政策インベントリと評価システム

のサブテーマにより研究を進めた。

1) 流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築

長江の水循環に関する研究ではこれまでも大きな成果が得られていたが、本プロジェクトでは水循環に伴う物質循環の全体像のモデル化を行った。研究のフレームワークを以下に示す。

[モデルの基本フレームの構築]

→ [モデルの入力データセットの整備]

→ [モデルの検証]

→ 入力データ、検証データに現れた水・物質循環過程の変動とトレンドに関する知見の集積

→ [モデル計算によって得られた知見の集積]

及び、

[汚濁負荷の長江流域への移入過程の解明]

「ツール」の整備という観点からは「入力データ・検証データの整備」であるが、データの整備過程において汚濁負荷集積の構造および水・物質循環の変動とトレンドについての重要な知見が得られた。以下、具体的に述

べる。

①モデルの基本フレームの構築

長江流域のスケールにおいて得られる入力データ・検証データの整備状況を考慮し、水・物質循環の記述に適した数値モデルとして、流域モデル **Sail & Water Assessment Model (SWAT)** モデルを選び、生態系モデル **Biome-BGC** を統合した。

モデルのパラメ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、得られたパラメータ値を長江全流域に適用した。降水流出過程の検証については、長江河口から500kmの大通、1200kmの武漢、1600kmの宜昌において行い、栄養塩流出量の検証については、武漢と宜昌において実施した。

②モデルの入力データセットの整備

・地形・水系データ；アメリカ航空宇宙局 (NASA) の90mメッシュ(標高)データとArkSWATツールを用いて水系図を作成し、直行座標系に投影変換して作成した。

・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1kmメッシュの土地利用データを作成した。

・土壌分布データ；中国科学院南京地理・湖沼研究所から入手し、再投影して用いた。

・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により、入手した。

・汚濁物質の排出量；長江流域の県レベルの工業、生活排水量、各作物の栽培面積及び生産量、化学肥料使用量等の統計データと現地調査を総合して、長江流域の年間窒素排出源分布を推定した。現地調査は中国の6つの典型的生態系における窒素収支モデルに関わる諸パラメータについて行い、人間活動(食物消費、排泄物の排出、農作など)が窒素フローに及ぼす影響を明らかにした。

③モデルの検証

長江本流の流量のモデル計算値と検証データの相関係数は、大通、武漢、宜昌の全てで高い値を示した。栄養塩流出量の再現性については、全窒素(TN)では高い相関係数を示したが、全リン(TP)では相関係数が低く、宜昌については計算値が実測値よりかなり小さかった。

④長江流域の年間窒素排出量

長江全流域の反応性窒素の総量は2000年には1990年の3倍以上に増加した。また、窒素利用効率は、年々

低下した。窒素排出源は、1980年代には下流域に集中していたのに対し、1990年代には中流域まで、2000年には上、中、下流域を通して周辺地域へ拡大されていた。

⑤地域間産業連関分析モデルを用いた汚濁負荷の長江流域への移入・輸入過程の解明

長江流域から排出される窒素は長江流域で生産されるだけでなく、中国国内他地域・海外から移入・輸入されている可能性がある。そのメカニズムを明らかにするために、地域間産業連関分析モデルによる解析を行った。その結果、

- ・ 国外海外貿易による汚濁負荷フットプリントが長江中流域および中国北部で観察される、
 - ・ 長江中流では、国内貿易を介して、他の地域の汚濁負荷が集積する構造となっている、
- ことを明らかにした。

⑥モデル計算によって得られた知見

1991～2010年の20年間の長江河口域での河川流量及び栄養塩輸送量の年次変化をモデルによって推定した。この20年間の硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) は1980年代の約3倍に、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) は約2倍に、そして、アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) は約1.3倍に増大した。この20年間については、有機態窒素 (ORGAN)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ などは、2002～2009年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。

2) 長江起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明

2002年以降、長江起源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て、水産総合研究センター西海区水産研究所との共同で、年1回の東シナ海陸棚域調査を実施してきた。その結果、初夏の陸棚域においては長江起源水（塩分28～31）が表層に広く分布し、その範囲に中国沿岸域の赤潮主要種である渦鞭毛藻 (*Prorocentrum dentatum*) がクロロフィル *a* (Chl. *a*) として高濃度（～50 $\mu\text{g/L}$ ）で観測された。これらのことを踏まえ、陸棚域の低次生態系の変調、特に渦鞭毛藻 *P. dentatum* の優占化と陸域負荷の関連性を、観測データと観測した物理・生物素過程から構築した数理モデルに基づき解明した。以下、具体的な成果について述べる。

①東シナ海日本側排他的経済水域内における長江起源水の海洋生態系維持に果たす役割とその変調の兆しを把握するための航海調査

2007年6月および2009年6月の調査で、Chl. *a* が50 $\mu\text{g/L}$ を超える高濃度の *P. dentatum* の出現が確認された。これらの高濃度は、塩分が32～33の長江希釈水中に出現した。*P. dentatum* の出現水深 (Chl. *a* ピーク) の多くは、水深10m以深の亜表層であった。*P. dentatum* のChl. *a* ピークは、陸棚底層水に近い密度躍層付近に出現していた。

②大型培養槽を用いた *P. dentatum* の日周鉛直移動特性の把握

東シナ海での *P. dentatum* 優占化の要因の一つとして考えられる日周鉛直移動の詳細観測を、藻類大型培養槽（海水培地量1000L、水位約1200mm）を用いて行った。その結果下記の結果が得られた。

Chl. *a* (*P. dentatum* 細胞) は明暗周期に依存して鉛直移動を繰り返していること、ただし上昇開始は必ずしも明期開始後ではなくその数時間前から起こりうること、下降開始は明期中から起こりうること、重心の最大移動速度は毎時150mm以上になり得る場合があること。また暗期のChl. *a* の下降下限が海水密度勾配の大きな水深300～400mmに集積することから、*P. dentatum* の鉛直移動には細胞の比重が大きく関わっていることが示唆された。これらの観測結果は、東シナ海の *P. dentatum* の日周鉛直移動特性に関して定量的な情報を与えるものである。

③陸起源汚濁負荷流出に対する長江河口域・東シナ海陸棚域の水質生態系応答の定量的評価のための流動・水質・生態系モデルの開発

陸域負荷に対する東シナ海環境の影響予測が可能な長江流域圏・東シナ海統合環境管理モデルの開発を目指し、東シナ海陸棚域の渦鞭毛藻を主な解析対象とする流動・水質・底質・生態系モデルを構築した。検証は、東京湾及び伊勢湾において得られた観測データを用いて行われ、良好な結果が得られた。長江希釈水の中での渦鞭毛藻が維持されるメカニズムについてのシミュレーションの結果から、

- ・ これまでに渦鞭毛藻の高密度発生を観測した海域の水塊は主として台湾暖流の影響を強く受ける海域であること、
- ・ 当該海域北西部の表層水塊については長江希釈水の寄

与が無視できない、

ことが明らかになった。これらの結果は、観測結果、すなわち長江希釈水塊中の *Chl.a* バイオマス濃度が高いこと、陸棚域 *P. dentatum* は底層水塊（台湾暖流）から供給される栄養塩類で維持されていることを裏付ける結果と考えられる。

3) 拠点都市における技術・政策インベントリと評価システム

流域圏の水・物質循環における都市の役割は大きく、その管理のために技術・政策インベントリと評価システムを開発することは焦眉の課題である。本サブテーマでは、そのためのデータが得られる体制を早期に構築することができた、中国瀋陽市、大連市を中心に、日本の川崎市を参照しつつ「都市環境技術・政策シミュレーションシステム」を基にした共同研究を実施した。

①都市環境技術・政策シミュレーションシステム

本サブテーマでは標記のシステムを開発したが、その基本フレームは、

- ①都市環境 GIS データベース、
 - ②統合的都市環境空間解析モデル、
 - ③技術・政策インベントリ、
 - ④環境・社会影響評価システム、
- によって構成されている。

本システムは、産業と都市の共生の観点から、時間的・空間的な経路や自治体単位あるいはより広域的な政策についてその効果を評価し、政策決定や合意形成の基盤となる知見を得ることができるよう設計されていることが特長である。

②資源循環技術・政策インベントリ

中国有数の産業拠点都市のひとつである大連市や瀋陽市を対象とし、都市で発生する廃棄物資源の有効利用策について、市の一般廃棄物行政の実状と産業拠点としての資源循環の可能性を考慮する中で研究を進めた。

大連市については、廃棄物行政の実状、さらには市内での産業の可能性を考慮し、①現状傾向延長ケース、②廃棄物発電導入ケース、③都市-セメント産業共生ケース、の3つのケースを設定し、各ケースの定量評価を進めた。例えば、大連市のセメント製造業の技術をわが国で稼動する循環型製造技術に置き換えた場合、約 27% の CO₂ 削減が可能となる等の結果が得られた。

瀋陽市では、プラスチック・リサイクルによるコンクリート型枠の製造や、有機性廃棄物の嫌気性消化によ

る電気の生産などの技術から2つの循環技術を選び、分析・評価し、環境保全上の利点に差異をもたらす主要なパラメータを同定してシミュレーション分析を行った。

③都市水熱代謝モデルを用いた技術・施策の導入効果の評価

これまでに開発してきた陸域統合型 NICE モデルに対して、アスファルトや建物で覆われた人工地を対象とした都市キャノピーモデル及び局所大気モデル等を接続することによって、都市域での総合的な水熱収支解析が可能なモデルへの拡張を行った（NICE-URBAN モデル）。

本モデルを用いて、

- ・夏季の都市域での水熱循環の再現（川崎市）、
 - ・保水性塗装の効果の解析（川崎市）、
- を行った。

(3) 流域生態系における環境影響評価手法の開発

本プロジェクトは次の3つのサブテーマの下に研究を進めてきた。

サブテーマ1；流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築

サブテーマ2；人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発

サブテーマ3；持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発

①流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築

メコン河流域データベース（Mekong DGB）を構築した。Mekong DGB は、

- ・ Landsat TM/ETM+ 画像を用いて詳細な河川網データを作成、
 - ・ 河川網データを用いて、地形の起伏に関するデータ（SRTM DEM）を補正（Stream burning 処理）、
 - ・ 補正済み DEM データを用いて、流域全体を約1万の小流域に分割、
 - ・ 小流域を空間単位として、自然環境と社会状況に関する主題データを集計、
- という手法上の特長を持っている。このデータベースによって、
- ・ メコン河流域全体の自然環境と社会経済の概況を包括的に把握すること、
 - ・ 水系や地理的な隣接性を通じて伝搬する各種開発行為の影響を検討すること、
 - ・ 現地調査結果や研究成果を蓄積、管理するための枠組

みを提供すること、
が可能になった。

メコン河流域全体を対象とした多時期衛星観測データを整備し、タイ東北部における1990～2000年の土地被覆変化に関する解析を行い、氾濫原や河川地形の現況把握を行った。また、衛星観測データに加えて、メコン河流域全体を網羅した自然環境（地質、土壌、植生、気候、水文など）および人文社会（行政界、人口、交通網、産業統計など）に関する空間データを整備し、これらを互いに関連付け可能な、冗長のない空間データベースとして、一元管理する仕組みを構築した。

②人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発

メコン河におけるダム建設が季節的な河川氾濫に及ぼす影響については、メコン河の最大支流であるムン川・チー川を対象として降雨流出シミュレーション・氾濫域解析を行い以下の結果を得た。

- ・ 氾濫解析による水域抽出結果と衛星画像解析結果では、高い空間的な重なりを示し、精度の高い再現結果が得られた。
- ・ ダム建設以後、ダムの放流量制御により、チー川上流部の特にコンケン周辺において年間最大氾濫域の大幅な減少が確認された。
- ・ 氾濫域においては特に流域の上流部1/3の範囲で年間最大7～40日程度の冠水日数の減少が見られた。

ダムによる魚類影響評価のために、水中微量元素濃度による河川の判別関数分析を行い、溶存元素によって流域を区分できることを確認した。この結果と、溶存元素が魚の耳石に蓄積されることに基づき、メコン河の回遊魚の耳石の元素成分の存在比をレーザーアブレーション装置付き質量分析計(ICP-MS-LA)を用いた分析によって異なる元素濃度の河川や湿地を回遊した履歴を推定する手法を開発し、耳石が十分な精度で回遊履歴を記録し

ていることを確認した。

メコンデルタのマングローブ生態系の機能を明らかにするために、メコンデルタの主要なマングローブ域において、6つの景観カテゴリー（都市域、河川、人工水路、集約式エビ池、粗放式エビ池、マングローブ林）に分類される計31地点の調査地点を設けて河川水や土壌水中の化学物質濃度（無機窒素、無機リン、重金属）と、林床土壌の微生物活性（無機窒素消費活性および窒素固定活性）を測定し、景観カテゴリー毎に水質が類型化出来ることを明らかにした。窒素の収支（消費と固定）を調査したところ、林床土壌では窒素固定による窒素インプットを上回る量の無機窒素が消費されているが、植物の根圏では窒素固定量が消費量を上回っていた。2009年時点で調査を行ったメコンデルタのマングローブ林では植物への十分な窒素供給が確保されていること、都市や粗放式エビ池などの高濃度アンモニア排水源の近傍にあるマングローブ林では、森林を構成する窒素源が人工由来のものへと移行していく可能性がある事が明らかになった。

③持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発

持続可能な流域生態系管理のためには、データベースや研究ツールのみならず、メコン河流域の関係者とのネットワーク形成が重要である。まず、流域の環境問題を抽出し、メコン河流域住民、NGOに対して環境影響評価に関するヒアリングを実施した。また、観測技術についての研修を実施し、環境技術の地域への普及を行った。更に、研究情報の共有と、研究者ネットワークの強化を目的として、タイ、ウボンラチャタニ大学と共催し、同大学において、タイ、ラオス、カンボジア、ベトナム、中国、日本の研究者、メコン河委員会、World Fish Center、メコンウォッチ等の国際組織からの参加によるワークショップを開催した。

Ⅱ. 中核研究プロジェクト1：アジアの大気環境評価手法の開発

1. 研究の目的と経緯

1.1 目的

我が国と密接な関係にあるアジア地域では、急速な経済発展に伴って大気汚染が深刻化しており、それが越境汚染として我が国に影響を及ぼしている。従って、我が国を含むアジアの持続可能な発展に向けた戦略的な政策が緊急に必要であるが、そのためには科学的知見を集積し、政策提言の基盤にすることが必要である。我が国及びアジア各国の政策や持続可能な発展に向けた努力が効果的に働くためには、我が国及びアジア各国が、科学的知見について共通の認識及び大気環境管理の共通の基盤を持つことが重要である。このような科学的な基盤の形成に貢献するために、本プロジェクトでは、アジアの大気環境についての実態把握と将来予測等の科学的知見の集積、データベースや数値モデル等の研究ツールの開発を行うことを目的とする。

1.2 研究計画とサブテーマ構成

東アジア地域を対象に、大気汚染物質と黄砂の地上観測、航空機観測、ライダーネットワーク観測等を行い、国内外の観測の連携を進めるとともに、数値モデルと排

出インベントリの精緻化を進める。これらの観測データ、数値モデル、排出インベントリ、更に対流圏衛星観測データを活用して、アジア地域の広域大気汚染と日本への越境大気汚染の全体像を把握し、科学的知見を蓄積する。日本国内を含むアジア地域の大气環境施策立案に必要な科学的知見とツールを提供する。このために、以下の3つのサブテーマを設定して、研究を推進する（図2）。

①アジアの広域越境大気汚染の実態解明

沖縄辺戸岬ステーションをベースにした地上通年観測による、長距離輸送されたガス・エアロゾルの解析を行うとともに、辺戸を中心として対流圏大気変化観測の連携を進める。地上観測とともに、航空機観測を含む集中観測を実施し、モデルシミュレーション結果も併せて、東アジア地域の広域越境大気汚染の実態把握を行う。さらに、大気観測の国際協力を推進し、アジア域の大気環境データベースを作成する。

②アジアの大気環境評価と将来予測

アジア広域から国内都市域における大気質を解析するマルチスケール大気汚染モデルを開発する。更に、地

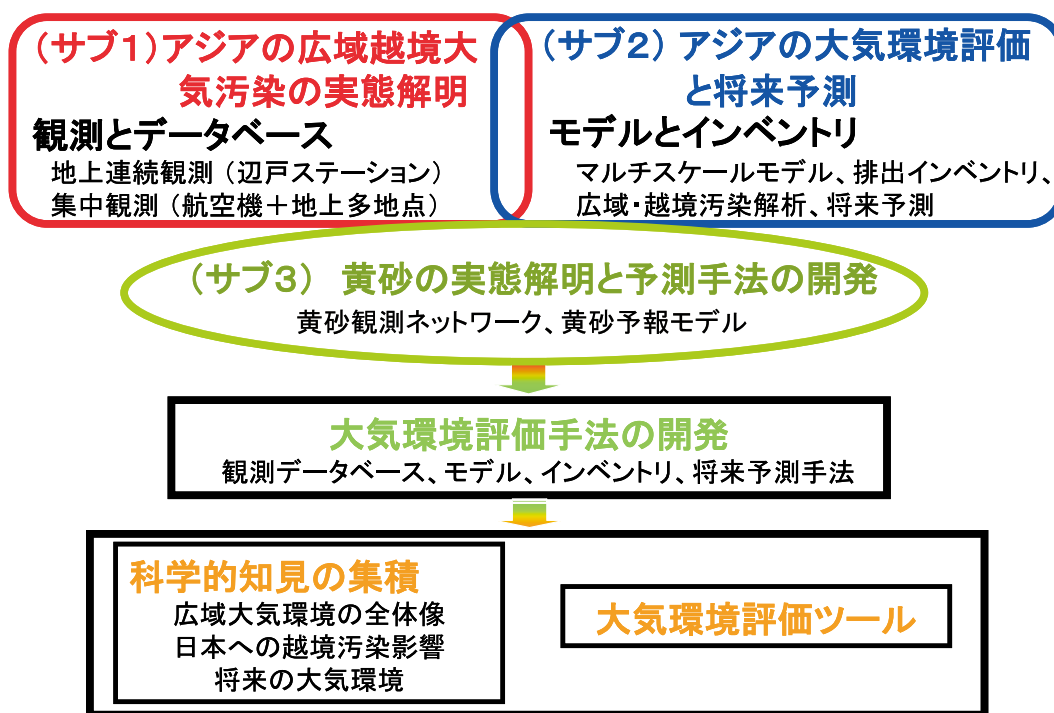


図2 中核プロジェクト1の全体構成

上・ライダー・航空機・衛星観測データとモデルを組み合わせた解析、ならびに、発生源データの収集・測定・解析によって、排出インベントリの精度向上を図る。これらのモデルとインベントリを観測データを使って検証した後、アジア域における大気環境の全体像を把握するとともに、国内大気質に対する越境汚染の影響を定量化する。更に、将来排出シナリオを設定し、2030年までの大気環境の将来予測を行う。

③黄砂の実態解明と予測手法の開発

東アジア地域で増大している黄砂の発生から輸送・沈着を把握するための、ライダーを中心とするリアルタイム観測ネットワークを展開・整備すると同時に、化学分析のための黄砂サンプリングも行う。これらのリアルタイムデータをモデルに取り込むデータ同化手法を確立し、黄砂予報モデルの精度を向上する。

2. 研究の成果

2.1 アジアの広域越境大気汚染の実態解明

2.1.1 目的と経緯等

我が国と密接な関係にあるアジア地域では、急速な経済発展に伴って大気汚染が深刻化しており、それが越境汚染として我が国に影響を及ぼしている。アジア地域での広域越境大気汚染の全体像を把握し、科学的知見を蓄積するため、本サブテーマでは、観測施設を整備し、国内外での大気汚染物質の地上および航空機観測を行い、得られた結果をデータベース化して実態解明を進めた。

昨年度までに本サブテーマでは以下の4つを推進した。

- (1) 地上観測施設の拡充と観測体制の整備
- (2) 国内における地上および航空機観測
- (3) 中国における地上および航空機観測
- (4) 観測結果のデータベース化

2.1.2 地上観測施設の拡充と観測体制の整備

広域越境大気汚染の実態を解明するためには、短期の集中観測だけではなく、通年で多数の観測装置が安定して稼働できる観測拠点が必要である。平成17年度に国立環境研究所（以下国環研）は沖縄本島北端に位置する辺戸岬に辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーション（Cape Hedo Atmosphere and Aerosol Monitoring Station: CHAAMS）を整備した。国環研の研究者のみならず日本国内の研究者・研究機関と協力して最先端のエアロゾル観測機器を設置し、連続観測を開始した。さらに、隣接する国設酸性雨観測施設とも協力しながらガス成分も含む多成分・連続観測を実施している。当初、エアロゾルの化学分析、重量濃度測定、ライダー、放射関連の測器を導入した。その後、新たな観測機器の導入や集中観測の要望に伴い、施設の拡充が必要となった。これを受けて、平成18年度には、新たに8×4mの観測サイトを新築し、集中観測などにも対応できる体制を整え、電力容量の増加と200V電圧使用に対応するため電源設備の拡充を行った。現在のCHAAMSの写真と観測機器、主な参加機関の一覧を図3、表2、表3に示す。

一連の整備に伴いMAXDOASの導入（海洋研究開発機構）、水銀観測の本格的稼働（環境省）、エアロゾルインレットおよび関連する測定機器（文科省GEOSS、千葉大）を新たに整備・導入した。また、2008年春には文科省科学研究費特定領域W-PASS（植松代表）の集中観測も行われ、多数の測器を導入し、大気と海洋の相互作用を探るための研究が行われた。そのほか同時期には雲とエアロゾルの相互作用を観測によって明らかにする集中観測も行われた。

本施設は国連環境計画（UNEP）のアジア大気褐色雲（ABC）プロジェクトのサイエンスチームにおいて、同プロジェクトの中で最も充実した観測ステーションであると認められ、「スーパーサイト」と認められた。国



図3 辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーション（CHAAMS）全景

内においても、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会地球観測推進部会がとりまとめた平成19年度以降の「我が国における地球観測のあり方」において分野間・機関間連携を図る具体的施策のひとつとしてあげられるなど高い評価を受けた。

表2 辺戸岬に設置している測定器

雲・放射関連	日射計、雲カメラ、Microwave Radiometer
化学組成	エアロゾル質量分析計(AMS)、粒子状硝酸計、カーボンモニター、フィルターサンブラ、水銀計、NO _y 計、アンモニア計、MAXDOAS、炭化水素計
粒子物性	TEOM、LIDAR、Nephelometer、Aethalometer、PSAP、黒色炭素計、スカイラジオメータ、SMPS、OPC

表3 主な参加機関

研究所	国立環境研究所、産業技術総合研究所、海洋研究開発機構、埼玉県環境科学国際センター
大学	東京農工大、大阪府立大、首都大東京、琉球大、名城大、千葉大、北海道大、富山大、名古屋大、東京大、東京理科大、東北大
省庁	環境省

2.1.3 国内における地上および航空機観測

東アジア地域での広域大気汚染の全体像を把握するため、CHAAMSで連続観測を行った。

沖縄は東シナ海に位置し、四方から気塊が到達する。大きく分けて、冬季から春季にかけては中国大陸など西から、5、6月には東南アジア方面から、夏には太平洋から、秋季には日本や韓国などから気塊が到達する。図4にHYSPLIT4で計算した2006年の起源別の気塊の移流の様子を載せた。

我々がやっている主な観測項目はエアロゾルの化学組成、エアロゾル重量濃度である。大気エアロゾルの化学組成分析を行うため、エアロゾル質量分析計(Aerosol mass spectrometer: AMS, Aerodyne Research Inc.)を設置した。この装置は大気中に存在するエアロゾルの化学組成や粒径分布情報を、10分程度の高い時間分解能で観測できる。図5にAMSの装置構成の模式図を示す。AMSに導入された大気サンプルはエアロダイナミックレンズを通過し、ガスとエアロゾルに分離され、粒子線ビームを生成する。粒子線ビームは600℃に加熱された蒸発器に衝突し粒子中に含まれる物質は蒸発する。蒸発

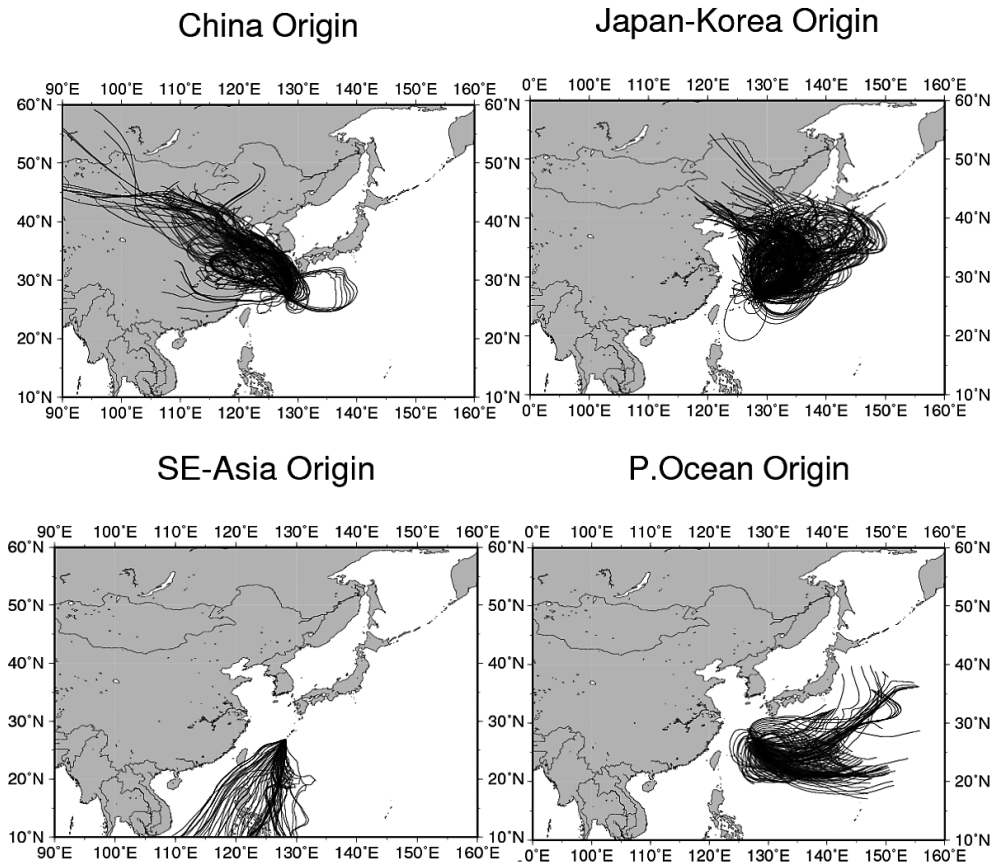


図4 HYSPLIT4で計算した沖縄に到達する気塊の移流の様子

した分子は電子衝撃法 (70eV) によりイオン化された後、四重極型質量分析計で化学組成分析される。ただし、600℃では蒸発しない元素状炭素、土壌粒子、金属粒子などの組成情報は得られない。

粒径分布情報を得る設定を飛行時間分析 (Time-of-Flight; TOF) モードと呼ぶ。エアロダイナミックレンズを通過した粒子がチョッパーから検出器まで飛行するその飛行時間を解析することによりエアロゾルの粒径分布の情報を求めることができる。観測ではTOFモードと化学分析モードを30秒おきに交互に繰り返し、のべ5分ずつ平均をとり10分間隔で測定値を記録した。TOFモードでは大気エアロゾルで重要と思われるサルフェート (硫酸塩)、ナイトレート (硝酸塩)、アンモニウム、クロライド (塩素化合物)、有機物を測定した。

エアロゾルの重量濃度は振動子法による測定装置 (Tapered Element Oscillating Microbalance; TEOM, R&P) を用いて測定した。この装置は水晶振動子上にフィルターを設置し、フィルターで捕集したエアロゾルの重量濃度が振動子の振動数の変化として測定できることを利用した装置である。フィルターを設置している測定器本体の温度は50℃に設定した。また直径2.5 μm の粒子

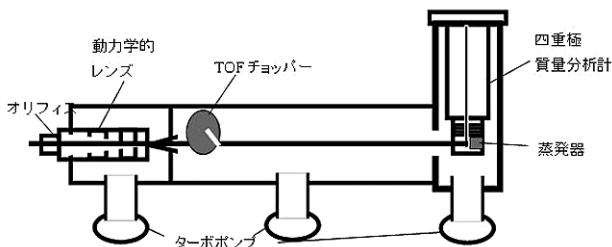


図5 AMSの装置構成の模式図

を約50%カットするサイクロン (PM_{2.5} サイクロン) を設置しているため、主に微小粒子側の粒子重量濃度を測定している。TEOMによる観測は2004年春から続けており、TEOMで測定したPM2.5のエアロゾルの重量濃度測定の結果を図6に示す。

エアロゾル中の有機炭素 (Organic Carbon; OC)、元素状炭素 (Elemental Carbon; EC) を測定するためカーボンモニター (Ambient Carbon Particulate Monitor; ACPM, R&P) を設置した。この装置は、フィルターカートリッジ上にエアロゾルを3時間捕集し、捕集した粒子を350℃まで昇温し、蒸発した成分を酸素雰囲気下で燃焼させ、二酸化炭素に変換する。その二酸化炭素を測定し炭素量を計算してOCとしている。捕集した粒子を750℃まで昇温し、同様に燃焼させ炭素量に変換したものを全炭素 (Total Carbon) とし、ECはTCからOCを差し引いたものとして定義されている。PM2.5サイクロンを設置し粗大粒子を除去している。また、気相の揮発性有機炭素 (Volatile Organic Carbon; VOC) を除去するため、デニュダーを設置している。

粗大粒子に含まれるナイトレートを測定するため、ナイトレートモニター (Nitrate monitor; R&P) を設置した。この装置は、粒子を大気から導入したあと加湿し、粒子を成長させ捕集効率が高くなるようにしている。10分間粒子をプレート上に捕集し、このプレートに高電流を流して蒸発させる。このときナイトレートは一酸化窒素に変換されるので、それを化学発光型窒素酸化物計に導入し測定する。較正はKNO₃で行った。

このほか、集中観測時にはフィルターサンプリングによる有機・無機エアロゾルの組成分析も並行して行った。

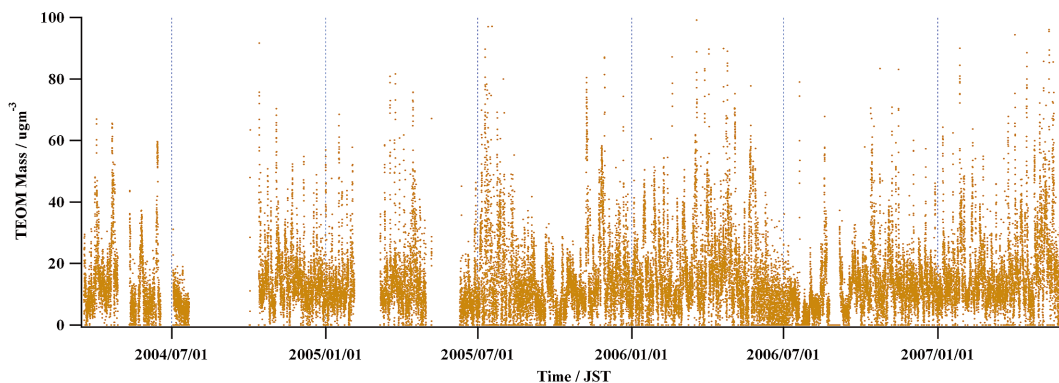


図6 TEOMによるエアロゾル重量濃度測定結果 2007年4月以降現在も継続中

発がん性などの有害性が指摘されている多環芳香族 (Poly Aromatic Hydrocarbon: PAH) 測定のためフィルターサンプリングを行った。ハイボリュームサンプラー (柴田科学、HV-1000F) を用いて石英繊維フィルター上にエアロゾルを捕集した。捕集した試料を有機溶媒中で超音波抽出して抽出液を分離後、PAH 類を含む画分を高速液体クロマトグラフ法やガスクロマトグラフ質量分析法で分析した。3-7環のPAH成分15種を定性・定量した。

AMS やナイトレートモニターなどの定量分析値と比較するためロープレッシャーインパクター (東京ダイレック) や3段式10連フィルターサンプラー (東京ダイレック) で無機エアロゾルを捕集し、イオンクロマトグラフでサルフェートイオンなどを分析した。

以下に主な観測結果を示す。

H18年度には窒素化合物の大気中での動態を調べるために、CHAAMSにおいてナイトレートモニターを用いて粗大粒子側のナイトレートの動態を連続観測した。微小粒子側のエアロゾルには大気汚染の成分である窒素酸化物から変質して生成するナイトレートは、AMSの測定結果によると沖縄CHAAMSではほとんど観測されない。ナイトレートは長距離輸送される場合には、粗大粒子側 (海塩やダスト) に付着すると考えられている。大阪府立大学・坂東研究室のデータやアジア大気汚染研究センターのデータも利用し、反応性窒素酸化物および粒子状ナイトレートの季節変動と粗大粒子と微小粒子に含まれるナイトレートの季節変動を検討した。さらに、後方流跡線解析から求めた輸送時間に対する、ガス状および粒子状ナイトレートと、粗大粒子と微小粒子に含まれるナイトレートの割合をプロットした (図7)。ここで、輸送時間ゼロのときの値は、後述する中国青島での観測

値を用いている。

季節変動を見ると、春季と秋季に相対的に濃度が高く、夏季には相対的に濃度が低くなっている。これは、気塊の起源に依存している割合が高く、中国大陸や日本・韓国から気塊がくる場合には相対的に濃度が高く、太平洋から気塊が到達する場合には、相対的に濃度が低くなっている。ナイトレートは主に人間の活動を原因としていることが推測される。図7を見ると、輸送時間が長くなるにつれて粒子状成分が増加し、また、粗大粒子の割合が多くなっていることがわかる。長距離輸送においてナイトレートは、粗大粒子側に多く含まれることを中国と日本における同期観測により実証した。詳細は Takiguchi et al.¹⁾ を参照されたい。

多環芳香族炭化水素 (PAH) 類の観測では、コロネンおよびピレンが検出された。観測されたPAH類は化石燃料やバイオマスの燃焼に由来すると考えられる。15種類のPAH類の濃度を合計して計算された総PAH類濃度は、0.01 ~ 24 (平均 1.6) ng m^{-3} であり、過去の観測結果と比較すると中国14都市の観測結果よりも低く、小笠原諸島の父島での観測結果よりも高かった。季節変動は、冬や春に高く夏に低かった。冬から春はアジア大陸からの季節風による輸送の影響を受け、夏は太平洋からの季節風による海洋性気塊の影響を受けているものと解釈される。

ベンゾ [a] ピレン (BaP) / ベンゾ [e] ピレン (BeP) 比の平均は 0.47 であり、過去の中国のデータと比較すると、PAH類の光化学反応が進行していると考えられる。BaP/BeP比の結果からも、辺戸岬で観測されたPAH類がアジア大陸からの季節風で輸送された汚染物質の影響を受けていることが確かめられた。

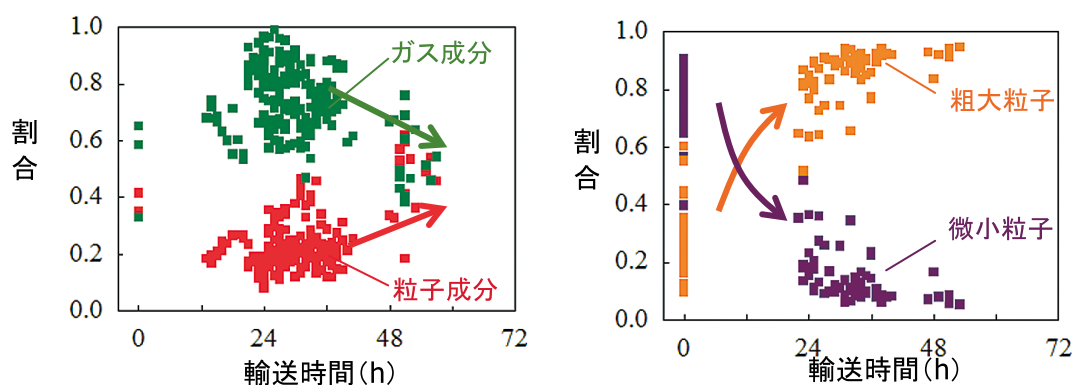


図7 窒素化合物の輸送時間に対する組成変化。左：反応性窒素酸化物中に占める粒子状成分とガス状成分の割合、右：微小粒子・粗大粒子中に含まれるナイトレートの割合

アジア大陸からの輸送が頻繁になる冬季から春季には数日に1日程度の割合で総 PAH 濃度の極大が現れた。本研究期間中における冬春季の総 PAH 濃度の極大値は $2.6 \sim 24 \text{ ng m}^{-3}$ であった。これらの値は、国内都市部で定常的に観測される総 PAH 濃度に匹敵する。本研究の結果は、ローカルな排出が大きい国内の都市部でさえも、PAH の越境汚染の影響が無視できないことを意味している。この結果は、佐藤ら²⁾ および Sato et al.³⁾ に発表された。以上の結論を踏まえ、次期中期計画では、長崎福江島と福岡市における PAH の同時観測を行い、福岡市における越境汚染の寄与を観測から直接推定する予定である。

平成 18、19 年度には、長崎県福江島の千葉大学観測サイトと CHAAMS において AMS を用いた同期観測を行い、硫黄酸化物や有機物の輸送中の変質、および、東シナ海北部と南部における組成の違いを検討した。両地域とも微小粒子側（粒径 $< 1\mu\text{m}$ ）の主成分はサルフェート（以下 SO_4 ）と有機物であった。後方流跡線解析により福江を通過して CHAAMS に到達する空気塊を選び出し、その気塊に含まれる SO_4 と CO の比をプロットすることにより解析した。 SO_4/CO の傾きは、

福江	3.5×10^{-2}
辺戸	5.7×10^{-2}

であり、 SO_4 は福江から CHAAMS に到達する間にその割合を増加させていることが定量的に示された。

AMS で測定される質量スペクトルのうち $m/z = 44$ のシグナルは COO フラグメントであると考えられ、それは有機物の酸化の指標とされている。AMS で測定された有機物に対する $m/z = 44$ のシグナル（ COO フラグメント）の比をとると、

福江	0.09
辺戸	0.16

となり、福江から CHAAMS に到達する間にその割合を増加させていることが定量的に示された。これらのことから、気塊が輸送される間に硫黄化合物と有機物の酸化がすすんでいることを、福江と CHAAMS での同期観測によりはじめて定量的に示した。

CHAAMS においては有機物（Org）と SO_4 の重量比は 1 以下、すなわち SO_4 が卓越していたが、福江では Org/SO_4 は 1 以上の場合が多く Org が卓越していた。東シナ海北部と南部で組成が異なることを以前から指摘してきたが、今回初めて同時観測を行うことにより、実

証することができた。有機物や硫黄化合物の酸化によりエアロゾルの組成が異なることは、東シナ海エリアにおいても、雲生成などに関与するエアロゾルの吸湿特性や成長因子（growth factor）に影響があることを示唆している。この結果については Mochida et al.⁴⁾ で発表された。

さらに、エアロゾル生成に重要なアンモニア（ NH_3 ）、アンモニウムイオン（ NH_4^+ ）を高い時間分解能（20 分）、かつ、 1ppbv 程度の低い濃度まで測定できる装置を用いて自動連続観測を行った。春季の沖縄辺戸においては NH_3 濃度はおおむね 1ppbv 程度であり、越境輸送の影響は小さかった。一方、 NH_4^+ は大陸から空気塊が飛来するときに濃度変動が大きく、越境輸送による影響が大きいことが明らかとなった。詳細は高見ら⁵⁾、Osada et al.⁶⁾ を参照されたい。

我々は、ここ数年、国内では地上観測を主に行ってきたが、地上観測を継続的に行っている長崎福江島や沖縄本島および東シナ海上空における大気汚染質（ガス・エアロゾル）の鉛直分布や水平分布、さらに、気塊の輸送経路に沿った化学組成の変質などを明らかにすることが必要と考え、平成 19 年度には航空機観測の準備を行い、平成 20 年 3 月末から 4 月はじめにかけて上記空域において航空機観測を行った。観測項目はオゾン、 SO_2 、 CO 、 NO_y 、黒色炭素（BC）、粒子状物質の化学組成（フィルターサンプリング）である。またこれに同期して辺戸ステーションにおいて大学や研究機関と協力し集中観測（W-PASS など）を行った。

辺戸 CHAAMS 上空における観測では、高度 500m と 2000m 付近で高濃度の SO_2 が観測されるなど、鉛直方向は一様ではなく、物質の分布があることがわかった。この結果は Hatakeyama et al.⁷⁾ に発表された。

2.1.4 中国における地上および航空機観測

東アジア域の大気汚染の実態を把握するためには、著しい経済発展が進みアジアにおける一大排出源となった中国国内における観測も重要である。現在、東アジア域では日本の環境省が主導している酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）があり、そのデータは参加国でデータ集として出版され活用されている。また、衛星を用いた観測も行われており窒素酸化物などをはじめとした各種データも利用できるようになってきている。しかしながら、科学的知見の集積とその共用を考えると、中国において中国の研究者と共同で観測し、そのデータを

用いて共通の理解を深めることは重要である。そこで、我々は、中国環境科学院と共同で地上観測および航空機観測を含む集中観測を実施した（もちろん中国の研究者が日本で観測することも重要であり、これまでも我々のグループでは数人の中国の研究者を受け入れており、CHAAMSにおいてAMSやフィルターサンプリングなどの観測を行っている）。

平成18年度春季には、中国の北東域において航空機観測を実施し、同時に、中国からのアウトフローデータが得られる大連、青島と舟山において地上観測を実施した。前述したように、青島での地上観測のデータは、CHAAMSのデータ等と併せて、ナイトレートの輸送による変質を解析するために利用し、中国の研究者と共著で論文とした。また、平成19年春には中国環境科学院と共同で中国渤海湾にある長島での集中観測を行い、辺戸ステーション、福江島の観測と同期して気塊の移流経路に沿った観測を行った。ここでは平成18年度春季に行った観測について報告する。

これまでも、我々は中国国内の航空機観測を行ってきた。これまでは、中国東シナ海沿岸部や、長江流域の河口部である上海周辺から、武漢、重慶、成都にかけての内陸部であった。今回は、天津を中心とした北京周辺や河北部であり、この地域を通過してくる気塊は九州や日本海側に到達することも多く、アウトフローを観測するにはちょうど良いエリアである。

中国での航空機観測に用いた飛行機は中国製のYUN-12型飛行機で、航空機に搭載された主な大気測定機器は、O₃計、NO_x計、SO₂計、CO計、PM_{2.5}、PM₁₀、エアロゾルサンプラーである。これらの測器を搭載し、飛行機の基地である常州でテストフライトを行った後、天津の周辺で観測飛行を行った。

主な結果は以下のとおりである。地上付近におけるCOは非常に高く3～4ppmあり、また、SO₂やNO_x濃度も高く、最高で前者が70ppb、後者が40ppbに達していた。しかし、オゾン濃度は相対的に低かった。また、過去に上海周辺で行った観測ではNO_xとオゾンの間に明瞭な負の相関が見られ、発生源近傍の気塊の特徴が明瞭であったが、今回の観測ではそのような明瞭な関係は見られなかった。エアロゾル化学成分を分析した結果では、アンモニウムイオンよりもカルシウムイオンのほうが高濃度である場合が多かった。特に日本で黄砂が観測された前日の4月17日では、高濃度のカルシウムイオ

ンが観測されており、中国国内における黄砂の影響を強く受けていたものと思われる。

中国の大連および青島での地上観測におけるエアロゾルイオン成分の濃度は、両地域の際立った特徴を表していた。これまでの観測では、中国の中部以南および西部において、エアロゾル中の陽イオン成分としてはアンモニウムイオンが最も高く、これがサルフェートイオンとほぼ1:1で存在していた。しかし今回の観測では、大連においてはカルシウムイオン濃度の方がアンモニウムイオン濃度より高い場合がしばしば見られ、青島においては黄砂イベント日でも、アンモニウムイオンの濃度が高い場合が多く、大連とは逆の傾向であった。後方流跡線解析を行うと、大連には主に北西部の黄砂発源地周辺から気塊が到達しているのに対して、青島には中国中東部や東シナ海沿岸部から気塊が到達しており、それぞれ黄砂の影響とアンモニア発源地帯の人為的エアロゾルの影響を受けやすい状態であったことがわかった。

2.1.5 観測結果のデータベース化

CHAAMSでは国内外の研究機関・研究者と協力して観測を進めており、CHAAMSで観測を行ったグループにはそのデータの提供を呼びかけ、観測データの流通の促進を図っている。具体的にはホームページを作成し研究機関と観測機器の一覧を表示し、観測データを掲載するか、あるいは、各自のホームページにリンクを張り観測データの所在が明らかになるようにしている。平成22年度までに掲載された観測項目数は44となった。CHAAMSのホームページは以下を参照のこと。

<http://www.nies.go.jp/asia/hedomisaki/home-j.html>

また、学術会議IGAC小委員会や国連環境計画(UNEP)のアジア大気褐色雲(ABC)プロジェクトと連携して、大気環境データベースの作成について検討した。

2.2 アジアの大気環境評価と将来予測

2.2.1 目的と経緯

アジア域排出インベントリとマルチスケール大気汚染モデルを開発し、観測データをもとに検証・改良した。モデルと排出インベントリおよび観測データベースを活用して、アジア広域から国内都市域における大気汚染の全体像を把握する手法の開発を進めた。更に、排出シナリオに基づく将来排出量と大気汚染モデルを使って、2020年までのアジアの広域大気汚染を予測した。具体

的には、以下のとおりである。

- (1) アジア地域の排出インベントリと化学輸送モデルを用いて、過去四半世紀の大気質の経年変動を計算し、既存の観測データを用いて検証するとともに、対流圏オゾン・酸性沈着量の空間分布や越境大気汚染による日本へのインパクトの変化を評価した。その結果、①中国における大気汚染排出量が1980年以降増加し、特に最近、急増していること、②大気汚染排出量の増加に伴って東アジアにおける対流圏オゾンが増加し、それに伴って日本のオゾン濃度が経年的に上昇していること、③大気汚染排出量や対流圏オゾンの将来変化は排出シナリオに強く依存するが、最近の衛星観測や燃料消費動向によると最悪ケースで推移している可能性が高いこと、などが明らかとなった。これらの研究成果は、国際的な「大気汚染の半球規模輸送に関するタスクフォース」(TFHTAP)の最終報告書⁸⁾や環境省の光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書(中間報告)⁹⁾などに取り入れられた。
- (2) アジア地域の大気質変動を、地域外の影響も含めて評価するために、全球化学気候モデル(CHASER)を用いた解析を進め、日本の対流圏オゾンの発地域別寄与を評価した。
- (3) 対流圏衛星データを用いてNO_x排出インベントリを検証・修正するインバースモデルの開発を進めた。また、排出インベントリに関する中国との共同研究を継続して実施した。
- (4) 2007年春季に西日本地域などで発生し大きな社会問題となったオゾン高濃度現象の発生メカニズムをモデル解析によって明らかにし、オゾンの越境大気汚染が顕在化し始めていることを指摘した。
- (5) 全国の地方環境研究所との共同研究により、対流圏オゾンと粒子状物質の広域的・地域的特性を解明する研究を開始した。東アジア、日本全域、及び関東地方の大気汚染を短期予報するために大気汚染予報システムを開発し、試験公開を開始した。

2.2.2 アジアの大気汚染物質排出量の経年変化

1980～2000年のアジア域排出インベントリ REAS (Regional Emission inventory in ASia) (Ohara et al.¹⁰⁾) を構築した。REASは、統一的な方法論で構築された、アジア地域で最初のヒストリカル・インベントリであ

る。対象とした発生源と物質を表4に示す。REASの対象物質は、人間活動(化石燃料・バイオ燃料の使用、工業プロセス、農業活動など)によって排出された二酸化硫黄(SO₂)、窒素酸化物(NO_x)、一酸化炭素(CO)、黒色炭素粒子(BC)、有機炭素粒子(OC)、非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)、アンモニア(NH₃)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、二酸化炭素(CO₂)であり、バイオマスバーニング(オープンバーニング)と自然起源は対象外である。対象領域は、アフガニスタン以東のアジア地域である。本稿では、化石燃料・バイオ燃料の燃焼と工業プロセスから排出される東アジアにおける大気汚染物質排出量(NO_x、SO₂、NMVOCを対象とする)の経年変化について紹介する。

図8は、地域別排出量の1980～2003年の経年変化を示す。また、表5には東アジアにおける1980、1990、2003年の排出量を示す。2000年におけるアジア全体のNO_x排出量は2,511万トンで、中国(45%)とインド(19%)の排出量が非常に多く、最大の排出国である中国では、石炭火力発電所(34%)、工場等の石炭燃焼(25%)、自動車等の石油燃焼(25%)が大きな割合を占める。1980年から2003年におけるアジア全域の変化に着目すると、燃料消費量がこの間に2.3倍増加したことに伴い、NO_x排出量も2.8倍に増加した。中でも、中国における増加は3.8倍(平均年率6%)と非常に大きく、特に、2000年以降は過去最高となっている(3年間で1.3倍)。SO₂排出量は2000年にはアジア全域で4,149万トンであり、工場・火力発電所などの石炭燃焼施設からの排出割合が64%と高い。1980年から2003年の間に排出量はアジアでは2.2倍、東アジアでは2.1倍、中国では2.5倍に増加している。一方、NMVOCの2000年におけるアジア全域の排出量は4,024万トンで、発生源種類別には工場・火力発電所などの燃焼施設(38%)と自動車などの輸送機関(33%)が大きな割合を占める。また、

表4 REASで対象としている発生源種類と物質

発生源種類		SO ₂	NO _x	CO	BC	OC	NMVOC	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	CH ₄	
人為発生源	燃焼	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	非燃焼	化石燃料 生物燃料	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		工業プロセス	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	蒸発						●					
農業	土壌		●						●	●	●	
	家畜								●	●	●	
自然土壌			●						●	●		

1980年から2003年の間にNMVOC排出量はアジアでは2.1倍、東アジアでは2.4倍、中国では2.5倍に増加している。

2.2.3 大気汚染物質排出量の逆推計

2.2.3.1 CO排出量の逆推計

2005年3月に日本や韓国の研究者を中心に行われたABC-EAREX (Atmospheric Brown Clouds – East Asian Regional Experiment) 2005において得られた一酸化炭素(CO)の観測データを用いて、アジア地域におけるCOの排出量の逆推計を行うとともに、インベントリーおよび衛星観測と比較することで、2001年以降の排出量推移を明らかにした (Tanimoto et al.¹¹⁾)。

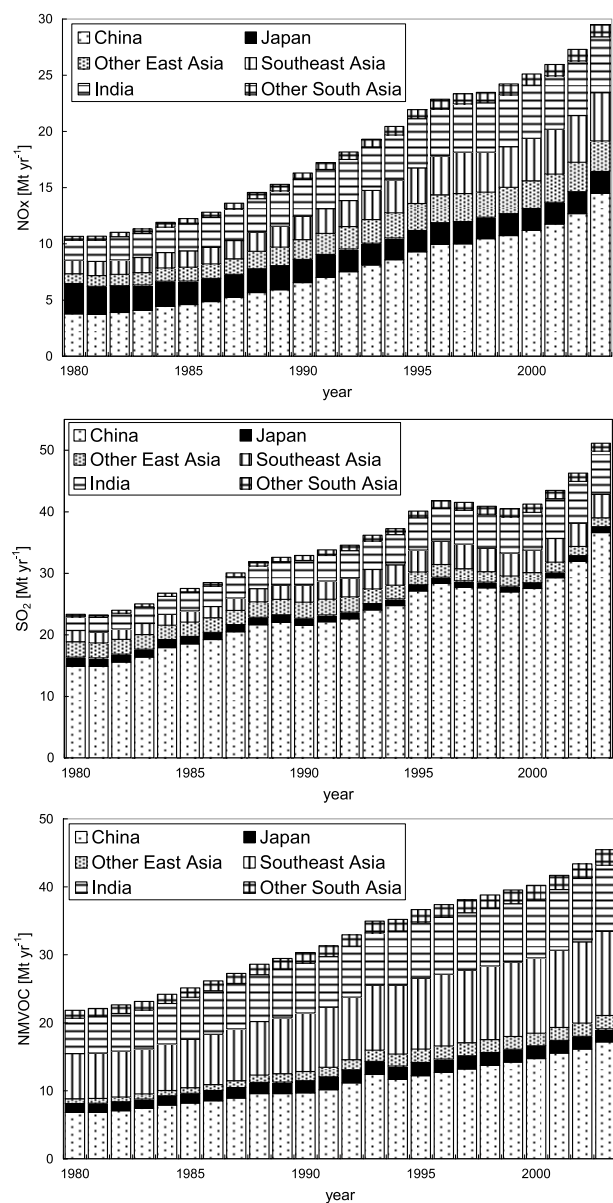


図8 アジアにおけるNO_x、SO₂、NMVOC排出量の経年変化

観測データから物質の排出量を導出することを、逆推計と呼び、そのようなモデルを一般にインバースモデルという。ここでは、Yumimoto and Uno¹²⁾によって構築された4次元変分法によるアジョイント式インバースモデル (RAMS/CTM-4DVAR) を用いた。具体的には、領域気象モデルRAMS (Regional Atmospheric Modeling System) のスカラー輸送オプションに対してCOの発生ならびに輸送過程を組み込むことにより、COの輸送モデル (フォワードモード) を作成するとともに、それに対応したアジョイントモードを構築したモデルである。フォワードモード、アジョイントモードの積分値は、あらかじめRAMSで計算された気象場を用いてオフラインで並列計算された。用いた観測データは、2005年3月に韓国・済州島で行われた集中観測データを中心に、国立環境研究所によって運営されている落石岬・波照間島、気象庁によって運営されている綾里、与那国島、南鳥島、東京大学・地球環境研究所・農業環境技術研究所によって運営されている福江島、奄美大島、の合計8ステーションで得られたものである。

大気観測データを用いたCOの逆推計については、2001年春季にNational Aeronautical Space Administration (NASA) によって行われた、Transport and Chemical Evolution over the Pacific (TRACE-P) 集中観測の際に詳細に調べられた。その結果、Streets et al.¹³⁾ のインベントリーによる中国からの放出推計値は約50%も過小評価していることが示唆され、インベン

表5 東アジアの1980～2003年の排出量

Region	1980	1990	2003
NO_x			
China	3.8	6.6 (1.7)	14.5 (3.8)
Other East Asia	3.6	3.8 (1.1)	4.7 (1.3)
East Asia Total	7.4	10.4 (1.4)	19.2 (2.6)
SO₂			
China	14.9	21.6 (1.4)	36.6 (2.5)
Other East Asia	3.9	3.8 (1.0)	2.4 (0.6)
East Asia Total	18.8	25.3 (1.3)	39.0 (2.1)
NMVOC			
China	6.8	9.7 (1.4)	17.2 (2.5)
Other East Asia	2.0	3.1 (1.6)	3.9 (1.9)
East Asia Total	8.8	12.8 (1.5)	21.1 (2.4)

(注) 単位はMt yr⁻¹、() は1980年に対する増加率

トリーが見直され、セメント炉やレンガ炉、製鉄・製鋼産業からの排出が過小評価であったことが分かった (Streets et al.¹⁴⁾)。しかしながら、2001 年以降については逆推計の試みがなく、近年の中国における急速な経済活動の発展とエネルギー使用量の増加をみるに、逆推計とインベントリーとの整合性の検証は重要であった。

例えば、窒素酸化物 (NO_x) については、2000 年以降のインベントリーによる NO_x 排出量と衛星から導出された二酸化窒素 (NO₂) カラム量の増加率が一致せず、インベントリーの基礎となる統計値の信頼性に問題があることが指摘されるなど、CO についても同様の懸念があった。

図 9 に本研究によって得られた CO 排出量の逆推計結果を示す。2000 年以降、中国北東部の北京から上海にかけての地域で伸びが大きいことが分かる。2005 年における中国からの年間 CO 排出量として 170 Tg と求められ、この値は 2001 年以降 16 % の伸びであった。図 10 に逆推計値と、MOPITT 衛星センサーによって観測された中国上空の CO カラム量ならびにインベントリーの推計値を示す。2001 年以降における三者の推移はそれぞれよく整合した。また、NO_x とは対照的に、CO 排出量の伸びは大きくなく、エネルギー使用量は増加しているものの、CO の排出係数が大きい民生起源などから CO の排出が少ない発電所へ技術転換が進んだことが主な理由であると推測された。

2.2.3.2 NO_x 排出量の逆推計

Yumimoto and Uno¹²⁾ により開発された、4次元変分法データ同化型 CO 排出量逆推計モデル RAMS/CTM-4DVAR (RC4) -CO をベースに、NO_x 排出量の逆推計

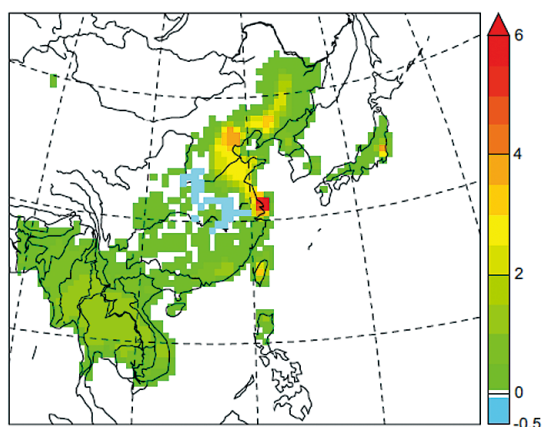


図 9 インバースモデルによる 2000 年から 2005 年にかけての CO 排出量の伸び。単位は $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ 。

を目的としたモデル RC4-NO_x を開発した。RC4-NO_x は、NO_x の反応過程が組み込まれた領域気象モデル RAMS とそのアジョイントモデル、排出量最適化のプロセスから構成され、データ同化において調整される制御変数を NO_x 排出量とする事で逆推計を実現しているモデルである。データ同化計算の観測データには GOME NO₂ カラム濃度月平均値を、初期排出量データには REAS を使用し、中国東部における NO_x 排出量を逆推計した。

詳細は、Kurokawa et al.¹⁵⁾ を参照されたい。

図 11 は、中国東部における、初期に与えた REAS インベントリーによる NO_x 排出量 (a priori 排出量) 及び逆推計後の NO_x 排出量 (a posteriori 排出量)、GOME NO₂ カラム濃度観測結果の 1996-2002 年のトレンドを、1999 年を基準にしてプロットしたものである。また、

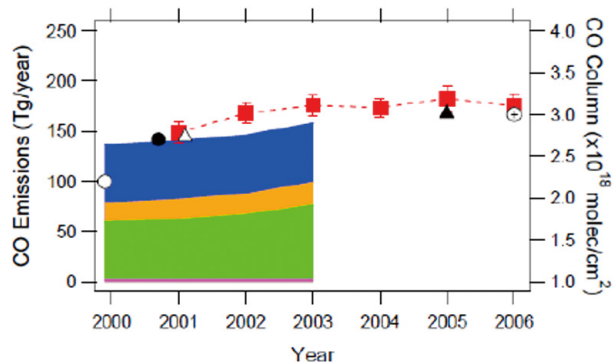


図 10 中国からの CO 排出量の推移。

△ : Yumimoto and Uno (2006)、▲ : Tanimoto et al. (2008) (本研究) による逆推計。○ : Streets et al. (2003)、● : Streets et al. (2006)、◎ : Streets et al. (2008) によるインベントリー。青 : 民生、オレンジ : 輸送、緑 : 産業、ピンク : 発電所起源の CO 排出量 (Ohara et al., 2007)。□ : MOPITT 衛星による CO カラム量 (右軸)。

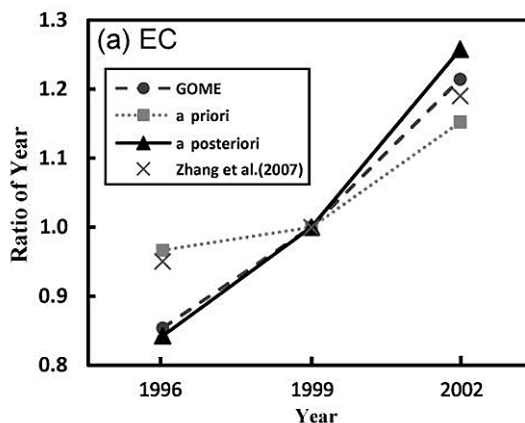


図 11 中国東部における GOME NO₂ カラム濃度、a priori 及び a posteriori NO_x 排出量のトレンド

図 11 には Zhang et al.¹⁶⁾ の排出インベントリによる中国全体の NO_x 排出量も併せて示す。a posteriori 排出量の増加率 (1996 ~ 1999 年で約 6.2 % /yr, 1999 ~ 2002 年で約 8.6 % /year) は、排出インベントリ (1996 ~ 1999 年で約 1.2 % /yr, 1999 ~ 2002 年で約 5.0 % /yr) に比べて大きくなり、GOME NO₂ カラム濃度の観測結果の増加率に近くなっている。

以上により、REAS の NO_x 排出量推計結果は、1996 年から 2002 年にかけての増加率を過小評価している可能性が高い事が示された。ただし、本研究で計算されたトレンドは 7 月の排出量のみに対するものであるため、年間排出量のトレンドを評価するためには、年間を通して RC4-NO_x を実行する必要がある。また、現在の RC4-NO_x による逆推計は総排出量 (全発生源の合計) に対して行っているため、逆推計前後で排出量が増加した要因を特定することは難しい。このため、逆推計前後で差の大きい地域における排出インベントリの基礎データ、パラメータの見直しや、発生源毎に排出量を逆推計するモデルの開発など、逆推計結果を排出インベントリの構築にフィードバックする仕組みについて研究を進めることが今後の課題である。

2.2.4 対流圏オゾンの経年変動

国内の地表近くのオゾン O₃ 濃度が上昇している一方、その原因物質である NO_x と VOC (もしくは NMHC) は減少している (図 12 参照)。この要因としては、越境汚染の影響、気象変化の影響、国内の大気汚染構造の変化などが考えられるが、ここでは越境汚染影響に着目し、化学輸送モデル CMAQ と排出インベントリ REAS を用いて、日本列島における 1980 ~ 2003 年の対流圏オゾン変動について解析した (Ohara et al.¹⁷⁾)。

図 12 (a) は、1980 ~ 2003 年の REAS をもとに、CMAQ を使ってシミュレーションされた日本の地上 O₃ 濃度の経年変化を示す。モデルで計算された O₃ 濃度は、1980 年から 2003 年において約 0.22 ppb/年の割合で上昇しており、観測結果とはほぼ一致する。また、図 12 (b) には、中国における NO_x と VOC の人為起源排出量の経年変化も併せて示す。この図から明らかなように、日本の地上 O₃ 濃度と中国の排出量の増加傾向は非常に類似している。シミュレーション結果では、中国国内での NO_x の排出総量が 1 年間で 100 万トン増加すると北京・華北平原から上海にかけて地表 O₃ の年間平均

濃度は 1ppbv 増加する。また、日本でも中国の増加率の 30 ~ 50 % 程度の上昇が認められる。次に、気象と排出量の経年変化・年々変動に対する地表 O₃ の応答を解析するため、各年の気象と排出量を与えた CNTL ラン ($E_{yy}M_{yy}$) と 2000 年の気象に固定し排出量のみ各年のデータを用いた気象固定ラン ($E_{yy}M_{00}$) を実施した。図 12 (c) は、 $E_{yy}M_{00}$ (排出量の経年変化に対する応答) と $E_{yy}M_{yy} - E_{yy}M_{00}$ (気象の年々変動による応答) による日本での地表 O₃ 濃度の変化を示す。この図から、O₃ の上昇がアジア域の排出量の増加に支配されていること (+0.2 ppbv/年)、O₃ の年々変動は気象変動に起因していること ($\sigma \sim \pm 0.6$ ppbv) がわかる。

以上の結果は、日本の地表オゾンの長期的上昇は、中国の排出量の増加によって大陸での O₃ 生成が増加し、それが日本に越境輸送された結果であることを強く示唆している。

2.2.5 大気汚染の将来予測

将来の排出シナリオを設定し、東アジア地域における 2020 年の将来排出量を予測した結果を表 6 と図 13 に示す¹⁰⁾。ここで、中国については、将来のエネルギー消費と環境対策の動向を考慮して、現状推移型 (燃料消費や

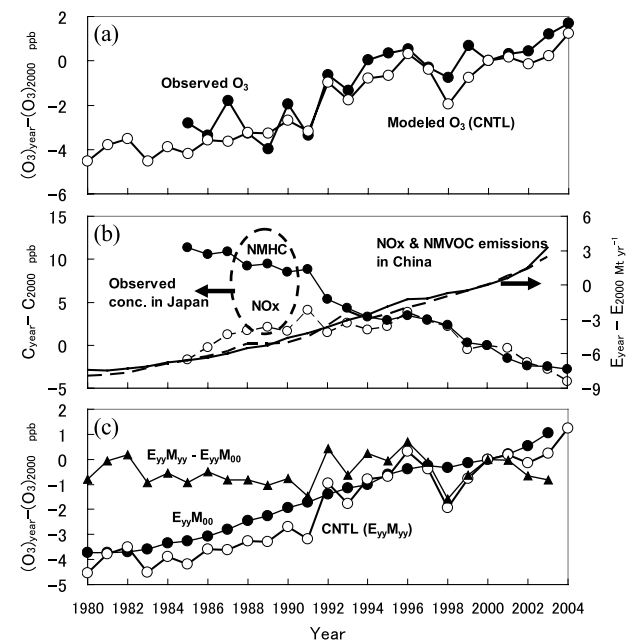


図 12 (a) 日本の地表 O₃ 濃度の実測値と計算値、(b) 日本の NO_x, NMHC 実測濃度と中国の NO_x, NMVOC 排出量、(c) 計算結果 $E_{yy}M_{yy}$ 、 $E_{yy}M_{00}$ 、 $E_{yy}M_{yy} - E_{yy}M_{00}$ による日本の地表 O₃ 濃度

環境対策が現状のまま推移し排出量が最も増加するシナリオ：PFC)、持続可能性追求型(エネルギー対策や環境対策を適度に進めたシナリオ。排出量は3種類のシナリオの中位：REF)、対策強化型(エネルギー対策や環境対策を強力に進めることにより、排出量が最も少ないシナリオ：PSC)の3種類のシナリオを設定している。これらの排出シナリオPSC、REF、PFCのコンセプト

表6 東アジアの排出量の将来変化

Region	2000	2020		
		PSC	REF	PFC
NO _x				
China	11.2	11.0 (1.0)	15.6 (1.4)	25.5 (2.3)
Other East Asia	4.4	5.5 (1.3)	5.5 (1.3)	5.5 (1.3)
East Asia Total	15.6	16.5 (1.1)	21.1 (1.4)	31.0 (2.0)
SO ₂				
China	27.6	19.9 (0.7)	26.8 (1.0)	40.9 (1.5)
Other East Asia	2.6	3.6 (1.4)	3.6 (1.4)	3.6 (1.4)
East Asia Total	30.2	23.5 (0.8)	30.4 (1.0)	44.5 (1.5)
NMVOC				
China	14.7	29.0 (2.0)	35.1 (2.4)	38.6 (2.6)
Other East Asia	3.7	6.3 (1.7)	6.3 (1.7)	6.3 (1.7)
East Asia Total	18.4	35.3 (1.9)	41.4 (2.3)	44.9 (2.4)

(注)単位はMt yr⁻¹、()は2000年に対する増加

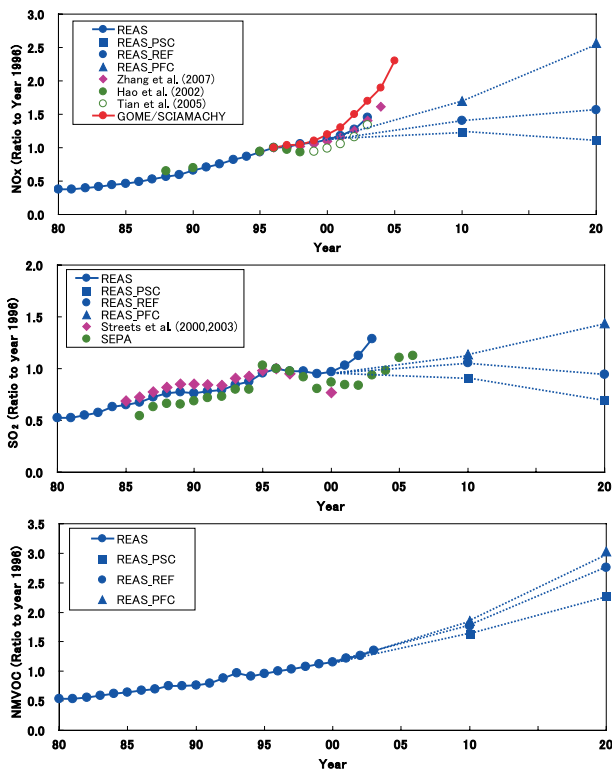


図13 中国におけるNO_x、SO₂、NMVOC排出量の推移上図における対流圏衛星観測GOME/SCIAMACHYはNO₂カラム濃度(本文参照)を示す。

はそれぞれ、IPCCのB1、B2、A2シナリオに近い。中国以外の国については、国際エネルギー機関(IEA)のエネルギー需要予測に基づく排出シナリオが設定されている。

予測結果によると、2020年における中国のNO_x排出量は、REFとPFCのシナリオでは、2000年に較べて、それぞれ、39%、128%増加するが、PSCシナリオでは、2000年レベルに比べ、わずかではあるが減少する。しかし、2000年以降の排出量や燃料消費量の増加傾向や衛星観測結果(Fishman et al.¹⁸⁾)などから判断すると、現在のNO_x排出量は既にPFCシナリオの2020年予測値付近まで達している可能性がある。また、アジア地域の将来排出量は、中国における排出シナリオに大きく影響されるが、どの排出シナリオでも2000年より増加することが予測されている。それに対して、中国におけるSO₂はシナリオによって変化傾向が大きく変化し、2000年に較べて-28%(PSC)、-3%(REF)、+163%(PFC)となっている。また、2020年の中国におけるNMVOC排出量は2000年に較べ、+97%(PSC)、+139%(REF)、+163%(PFC)と、いずれのシナリオでも大幅に増加する。

それでは、将来の排出量の変化によって、対流圏オゾン濃度はどの程度変化するのであろうか?2020年のオゾン濃度は、東アジアの広い地域で急激に上昇する(Yamaji et al.¹⁹⁾)。日本への影響も増大し、西日本一帯で年平均濃度が環境基準レベルに近づき、九州における環境基準超過率は約40%にも達する。このように、近い将来、越境汚染によって日本のオゾン濃度が高くなる危険性が高い。最近の光化学オゾンの上昇を示す観測事実は、このような越境汚染の影響が既に増大しつつあることを示すものである。

2.2.6 オゾン高濃度エピソードの解析と大気汚染予測システムの開発

2007年5月8、9日に発生した広域的な高濃度オゾン(O₃)エピソードの特徴と発生原因について、日本全国の大気汚染測定データと東アジアスケール化学輸送モデルを用いて解析した²⁰⁻²²⁾。

全国の測定局で観測されたO₃濃度は、5月8日の朝9時ごろに九州北部で高濃度となり始め、15時には壱岐や五島といった離島を含む九州北部や中国地方西部において120ppbvを超える高濃度となった。高濃度は夜に

なると低下したが、21時においても西日本の一部の測定局では120ppbvを超える状態が持続した。翌日5月9日9時の濃度レベルは前日より全国的に高く、15時になるとO₃の高濃度地域は、北海道と東北北部を除く日本全域に拡大し、関東、中京、関西などの大都市周辺地域や、富山県や新潟県などの北陸地域や瀬戸内地域の測定局において120ppbv以上を観測した(図14)。

化学輸送モデルは5月7～10日に観測された地上O₃濃度の時間変動をほぼ再現するが、ピーク濃度レベルを過少評価する。この傾向は、中国沿岸域北部・中部の排出量を増加するに従って改善される。モデルで計算された5月7～9日の地上付近のO₃濃度分布によると、空間スケールが500kmを越える80ppbv以上の高濃度O₃を含む気塊が、東シナ海上の移動性高気圧の北側の強い西風によって、中国北部沿岸から日本列島に輸送されたことを示す(図15)。5月8、9日に日本で観測された高濃度O₃には、中国や韓国で排出されたO₃前駆物質によって生成された光化学O₃に起因する越境大気汚染の影響が大きい。80ppbv以上の高濃度O₃に対する中国寄与率の期間平均値は、青森県以北を除く日本全国で25%以上であり、九州地域では40～45%に達すると見積もられた(図16)。しかし、本研究で使用したモデルは都市大気汚染を十分に表現していないため、大都市域周辺等では越境汚染の寄与率が異なる可能性がある。また、モデル計算結果ならびに地上大気汚染測定局とライダーの観測結果から、O₃とともにSO₂や人為起源エアロゾルも越境汚染していたこと、これらの物質は高度1500m以下の混合層の中を輸送されたことが明らかとなった。

このように、地表近くのO₃濃度が上昇し、高濃度エピソードが発生する可能性が増加しつつあることを踏まえ、光化学オキシダントなどの大気汚染を、前日・当日に予報する大気汚染予測システムを開発し、東アジア、

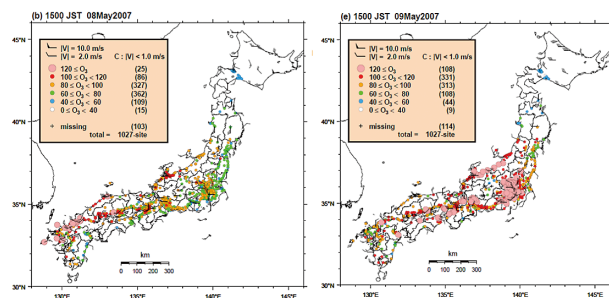


図14 2007年5月8,9日15時における光化学オキシダント濃度と地上風の分布図

日本全域、及び関東の予測結果をホームページ (<http://www-gis5.nies.go.jp/osenyosoku/index.php>) から公開する試験運用を開始した。本システムは、気象庁の気象数値予報データ(GPV)と排出インベントリデータを入力し、地域気象モデルRAMSと化学輸送モデルCMAQを使用して、越境汚染影響を加えた大気汚染濃度の時空間変化を計算するものである。現在、その検証

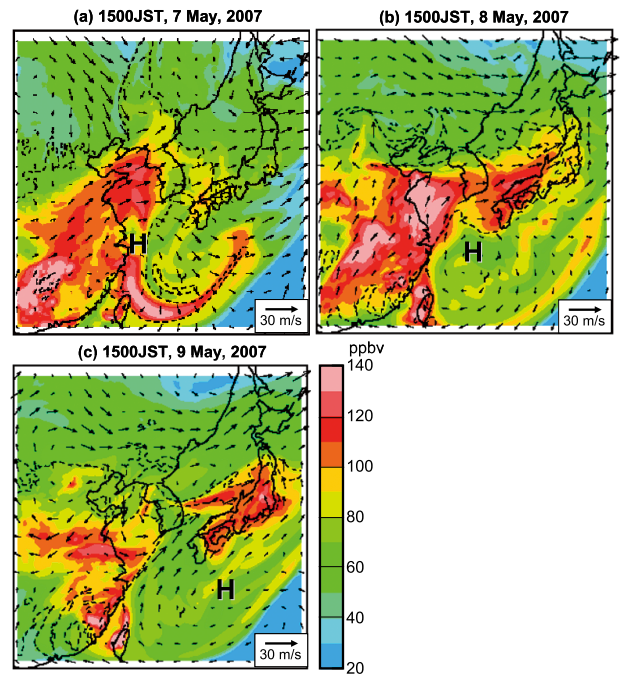


図15 2007年5月7～9日15時におけるO₃濃度(カラー)、SO₂濃度(破線:2ppbv間隔)、及び地上風(ベクトル)の分布図。O₃とSO₂は地上から高度600mまでの平均濃度。「H」印は各日9時の東シナ海上の移動性高気圧の中心を示す。

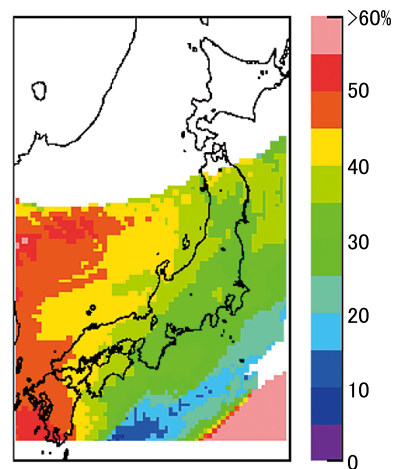


図16 2007年5月8-9日の地上O₃に対する中国起源O₃の寄与率。O₃濃度が80ppbv以上の時のみ対象とする。

と改良を進めているところである。

2.2.7 全球モデルによる半球大気汚染の解析

全球化学輸送モデル CHASER²³⁾ 及びそれをベースとしたタグ付きオゾントレーサー輸送モデル²⁴⁾ を用いて、2000年代前半(2000～2005年)における東アジアの対流圏オゾンに対するオゾン前駆物質発生源の寄与を個別に評価する数値実験を行った(Nagashima et al.²⁵⁾。

世界中に分布しているオゾン前駆物質発生源からの影響を考慮するため、全球を計算対象領域とするモデルを用いており、モデルの水平分解能としてT63(グリッド間隔約1.87°≒200km)を採用し、鉛直方向は上空約40kmまでを32層に分割した。気象場(水平風速、気温)は該当年のNCEP/NCAR再解析データに同化させ、海面水温と海水分布はそれぞれ該当年のHadISST/HadICEデータを使用した。オゾン前駆物質の排出量データとしては、アジア地域における人為起源化学物質の排出量については、エネルギー消費量やCO排出係数に最新の情報を採用したREASエミッションデータを用い、アジア以外の領域についてはEDGAR3.2FT2000データを使用した。また、CHASERでは成層圏での化学計算は行わないため、成層圏でのオゾンなど主要な化学成分に関しては成層圏化学気候モデルの計算値に同化した。発生源別の寄与率を推定するため、大気を45の領域(大気境界層:22領域+自由対流圏:22領域+成層圏;図17)に分割し、それぞれにおいてのみ選択的に光化学生成されるオゾントレーサーの輸送を計算する実験を行い、各領域のオゾン発生源としての寄与を評価した。

日本・朝鮮半島・中国を幾つかの地域に区切り、それぞれの地域で月平均した地表オゾン混合比対する各オゾン発生源からの寄与を見積もった(図18)。各地域に共通して見られる特徴として、成層圏からの寄与は冬期から初春に卓越し、4月～9月の暖候期には対流圏で生成されたオゾンの寄与が優勢となることが挙げられる。自由対流圏からの寄与は、各地域で年間を通じて、10～20%程度のほぼ一定の大きさで存在している。自由対流圏からの寄与は、南部の地域では春と秋に、北部の大陸寄りの地域では夏に極大を持ち、南部を除く日本や朝鮮半島では春に極大を取る。自由対流圏からの寄与の内訳は季節毎に大きく異なり、一般的な特徴として、暖候期には自地域内で生成されたオゾンや近隣領域からの影響が大きい。これは、太陽光強度の強くなる暖候期にはオゾンの化学的寿命が短くなるため、遠方で発生したオゾンは長距離に輸送されてくる前に失われてしまう一方、アジアではオゾン前駆物質の排出量が多く、夏期にはアジア領域内でオゾンの光化学的な生成が活発化するためであると考えられる。日本・朝鮮半島に対する中国の影響は、ほほどの季節でも自地域と同等かそれに次ぐ大きさを持ち、その大きさはオゾン濃度自体が低くなる日本の南部を除いて暖候期にやや大きくなるが、季節変化はあまり大きくない。特徴的な近隣地域からの影響としては、中国東北部や日本北部など北部地域では暖候期に東シベリアからの寄与が増える事と、中国南東部や長江流域、日本南部で暖候域にタイを含む東南アジア北部からの寄与が大きくなる事が挙げられる。一方、北大西洋、北米、欧州、中央アジアといった遠隔領域からの

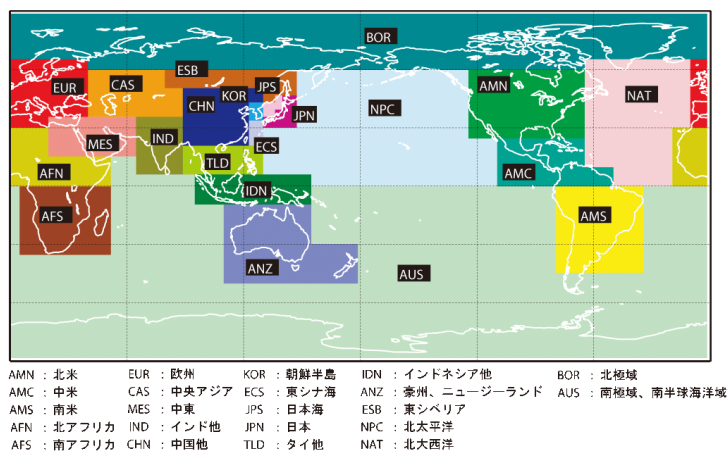


図17 タグ付きオゾントレーサー輸送実験で用いたオゾン発生源の領域分割。大気境界層と自由対流圏とで同じ領域分割を用いている。

寄与は、夏期に小さく9月～4月の寒候期に大きくなる。この4領域を合計した寄与率は、各地域とも寒候期で10～20%程度の大きさを持ち、これは暖候期の寄与率に比べて2～3倍の大きさとなっている。こうした特徴には、オゾンの大気中寿命は寒候期の方が長く、また循環場の特徴も大陸間の長距離輸送に適したものになることが影響していると考えられる²⁴⁾。また、遠隔領域からの寄与は北部ほど大きくなる傾向がある。自領域からの寄与に対する他領域からの寄与合計の割合 (R_{id}) は、

日本・朝鮮半島・中国東北部では夏期に小さく (≈ 1) それ以外の季節では1を超える。華北平原以南の中国東部では、同割合は一年を通じて1～2程度の小さい値を持ち、自領域で生成されたオゾンによる大気汚染が顕著である。

2.2.8 まとめ

アジア地域の排出インベントリと大気質モデルを開発し、観測データを用いて検証し、広域大気汚染の空間

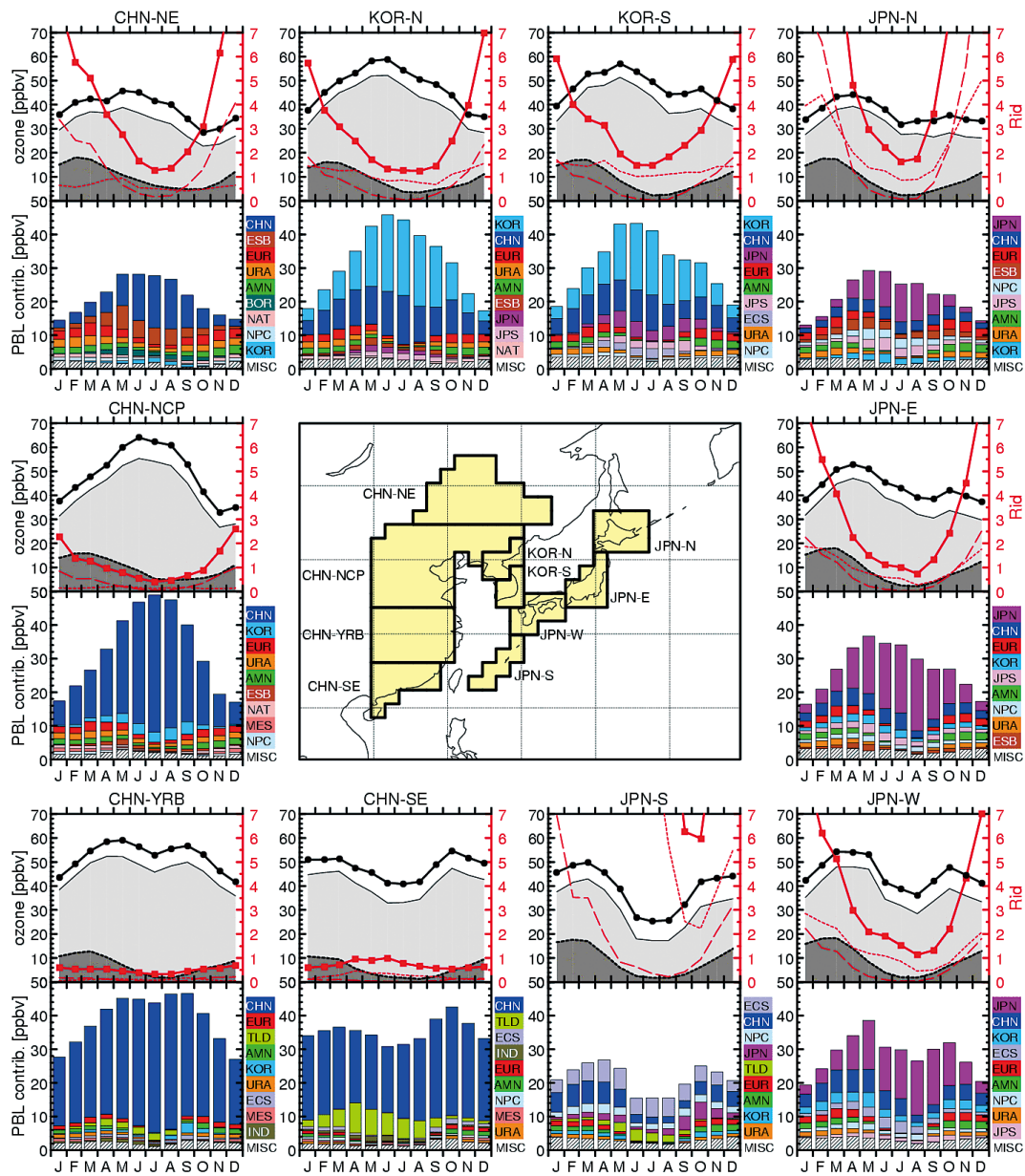


図 18 (各図の上図) 東アジアの各地域 (中央の地図に表示) で平均した月平均地表オゾン混合比 (ppbv) の季節変化. 濃灰、淡灰、白の色分けは図 17 と同様. 赤線は自地域に対する、自地域以外全部 (実線)、自地域を除く近隣地域 (点線)、遠隔領域 (破線) の割合 (R_{id}). (各図の下図) 自由対流圏の各発生源からの寄与 (ppbv) を年間の上位 9 領域とそれ以外の合計 (MISC) に関して積み上げ表示したもの。

分布、過去四半世紀における大気質の経年変化、越境大気汚染による日本へのインパクトを評価した。また、排出シナリオに基づく将来排出量と大気汚染モデルを使って、2020年までのアジアの広域大気汚染を予測した。更に、大気質モデルと観測データを用いて排出インベントリを検証・修正する手法や大気汚染予報システムの開発を進めた。今後の課題は以下のとおりである。

- ・ 排出インベントリ (REAS)、領域化学輸送モデル (CMAQ)、全球化学気候モデル (CHASER) を統合したマルチスケール大気汚染モデリングシステムを構築し、東アジアにおける広域大気汚染の空間分布、経年変動・年々変動を総合的に解明する。更に、対流圏オゾンの越境大気汚染による日本への影響や発生地域別寄与率を定量的に評価する。
- ・ 2030年までの大気汚染排出量を予測し、広域大気汚染と日本への影響の将来動向を把握する。
- ・ 対流圏観測衛星データ、地上観測データなど利用して、また、最新の排出量推計用基礎データを収集・整備して、アジア域排出インベントリ (REAS) を改良・更新する。
- ・ アジア域における広域大気環境管理を進めるために、社会科学的研究と連携して、地球温暖化とのコベネフィットを考慮した将来シナリオや大気環境管理の国際的な枠組みに関する研究を進める。

2.3 黄砂の実態解明と予測手法の開発

2.3.1 目的と経緯

中国沿岸部、韓国、日本で観測される黄砂現象は、中国内陸部およびモンゴルの砂漠・乾燥地帯から発生する砂塵嵐が長距離輸送されることによって生じる現象である。黄砂は北東アジア地域における春季の大気エアロゾルの大部分を占め、地域のみならず地球規模の大気環境に大きな影響を与えている。そのような黄砂現象の規模や回数の増加による社会的影響も懸念されている。このような北東アジア地域の共通課題である黄砂問題に対処することを目的として、モンゴル (3カ所)、中国 (2カ所)、韓国 (2カ所)、日本 (11カ所) にまたがるライダーモニタリングネットワークが構築された。本研究では、そのようなネットワークにより得られるライダーや地上観測データを用いて黄砂数値輸送モデルを同化する手法を確立し、黄砂の初期濃度分布や発生源強度・分布を推定することを行っている。

2.3.2 ネットワークモニタリングの結果と解析

a) 2006～2010年の黄砂状況

日本に飛来する黄砂の最発生源地域であるゴビ砂漠およびその周辺地域である。その地域から3月から5月に発生する砂塵ダスト (黄砂) の量について輸送モデル (CFORS) を用いて推計した結果、2006年:136百万トン、2007年:141百万トン、2008年:85百万トン、2009年:51百万トン、2010年:197百万トンであった。

2001年からデータのある北京を例にとると、地上で比較的規模の大きな黄砂が観測された回数は、2001年、2002年が4回、2003年から2005年は各1回と少なかったのに対して、2006年は再び3回 (4月8～10日、17日、5月18～19日) と多かった。特に顕著なイベントは、2006年4月17日の未明に北京に大量の砂塵が降った現象であった。地上に降った砂塵の粒径は極めて大きく、北京地上のPM10のピークは $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度で、それほど大きな値を示していない。ライダーのデータを見ると黄砂の層はやや浮かんで北京上空を通過していることが分かる。この黄砂は4月18～19日に福江、松江、長崎、富山、つくば、仙台などに飛来した。4月8～10日、5月18～19日の北京の砂塵は日本には直接輸送されていない。一方、ソウルでは4月8日に高濃度の黄砂が観測された。また、松江、福江、長崎、つくばなどでも黄砂が観測された。この時、北京ではこれに対応する黄砂現象が顕著に見られず、輸送経路が北京の東側にあったと考えられる。

図19は2007年3月、4月、5月の10地点の黄砂消散係数 (光学的な黄砂濃度) の時間高度表示である。2007年春季には、3月の末から4月の初め、5月初旬、5月下旬の3回の顕著な黄砂イベントがあったことが分かる (図中、赤で囲んだ部分)。2007年は黄砂の発生時期が遅く、特に5月26日前後に観測された黄砂は異例に遅い黄砂であった。

2008年には北京の5月末の一例が比較的規模の大きい黄砂イベントであった。この黄砂は6月1日に長崎で観測され遅い黄砂の記録が更新された。2009年には大きな黄砂イベントは観測されなかったが、長崎、松江では6月1～2日と、23日に弱い黄砂が観測された。2010年は一転して黄砂の多い年で、特に3月20日に北京で観測された黄砂は南に輸送され辺戸岬でも高濃度が観測された。さらに、タイのピマイのライダーでもこの黄砂が観測された。また、2009年には10月下旬と12

月末に弱い黄砂が、2010年には11月中旬に秋としては強い黄砂が日本でも観測された。

b) CFORS モデルの検証とモデル同化

2006年4月のライダーネットワーク観測結果を用い

て、予報モードのCFORSおよびNCEP 2.5度再解析データを用いて再計算したCFORSを検証した例を図20に示す。図にみられるように予報モードのCFORSは黄砂現象をおよそ再現するが、詳細に見ると合わない部分も

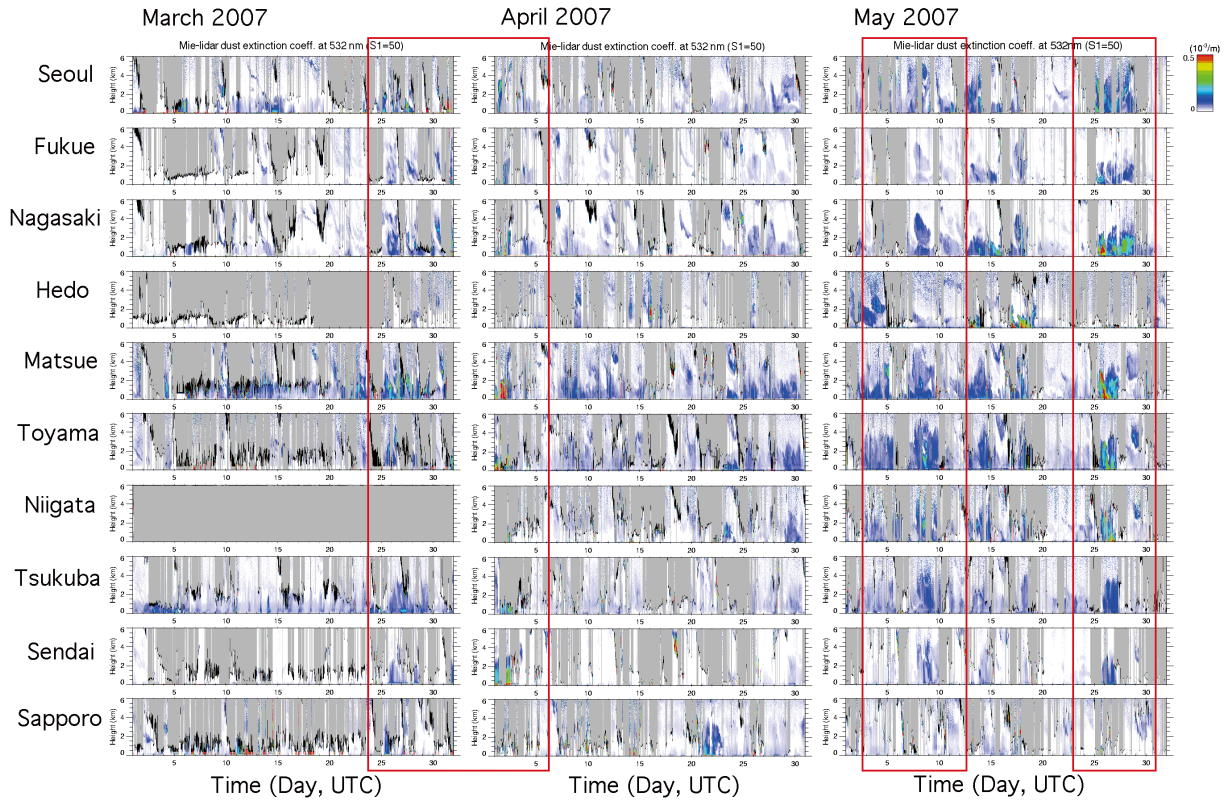


図19 2007年3月、4月、5月にライダーネットワーク地点で観測された黄砂消散係数

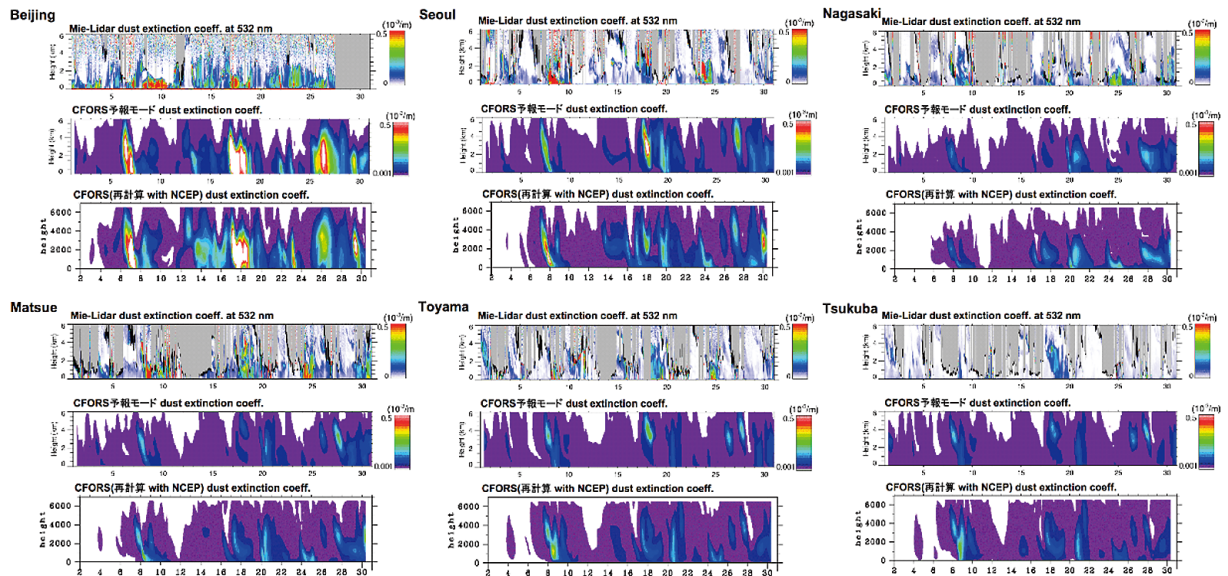


図20 ライダーデータによるCFORSの検証例

(それぞれ上からライダーデータ、CFORS 予報モード、NCEP データを用いた再計算による黄砂消散係数。横軸は現地時間の日付。)

多い。NCEP データを用いた再計算ではライダーデータとの一致が改善されている。

次に、4次元変分法（4DVAR）によるデータ同化システムによりライダー観測データをモデルへ組み込む同化実験を行った。データ同化では、黄砂発生の係数のみを制御パラメータとしている。

まず、2005年4月30日に主に北日本上空で観測された高濃度ダストを対象とし、4月27～29日の発生源分布について評価試験を行った。同化に用いるデータにはライダー観測によって得られたダストの消散係数を用いた。仙台・札幌・富山・つくばの4点の観測データをモデルの鉛直解像度に合わせて平滑化し、1時間平均したものを3時間間隔で用いた。図21に仙台・北京におけるライダー観測とモデルのダストの消散係数の時間-高度断面図を示す。4月30日に仙台において高濃度のダストの飛来が観測（図上段）されている（北京では4月28日の黄砂と一致する）。データ同化を行わない従来モデルの結果はこのダストの飛来時刻・高度を捉えてはいるものの、観測されたような高濃度を再現することは出来なかった（図中段）。図下段には、データ同化を行った結果を示すが、観測データを同化し、発生源強度・分布を逆推定することによって、データ同化前に見られた大幅な過小評価が改善（概ね30～40%ほど消散係数

が増加）されていることがわかる。北京では同化後も依然として低い値であるが、これは発源地域に非常に近いことが原因であると考えられる。黄砂飛来予報のためのデータ同化が、今後の実用的な課題のひとつであるが、発生源近くのデータは、同化結果に大きく影響すると考えられ、観測地点の配置などの検討が必要であることを示唆している。

4DVARによるデータ同化の利点のひとつは発生源に遡って発生域と発生量を評価できることである。2005年4月の例では、モンゴル南東部の黄砂の発生が、データ同化なしのモデルでは過小評価されていたことが分かった（Yumimoto et al. 2007）²⁶⁾。

図19に示した2007年4月の初め、5月初旬、5月下旬の3つの期間についてもデータ同化実験を行った（Yumimoto et al., 2008²⁷⁾, Uno et al., 2008²⁸⁾, Hara et al., 2009²⁹⁾）。図22に結果を示す。モンゴル南部から内モンゴルにわたる領域において、4月初旬はデータ同化なしのモデルは過小評価、5月初旬はやや過大評価、5月下旬は過大評価であることが示された。すなわち、4月から5月にかけて、発生源の黄砂発生を抑制するような元のモデルでは考慮されていない変化（植生等の地表面状況の変化）があったことを示している。そこで、モンゴル全土の目視観測による植生成長度のマップを入手して

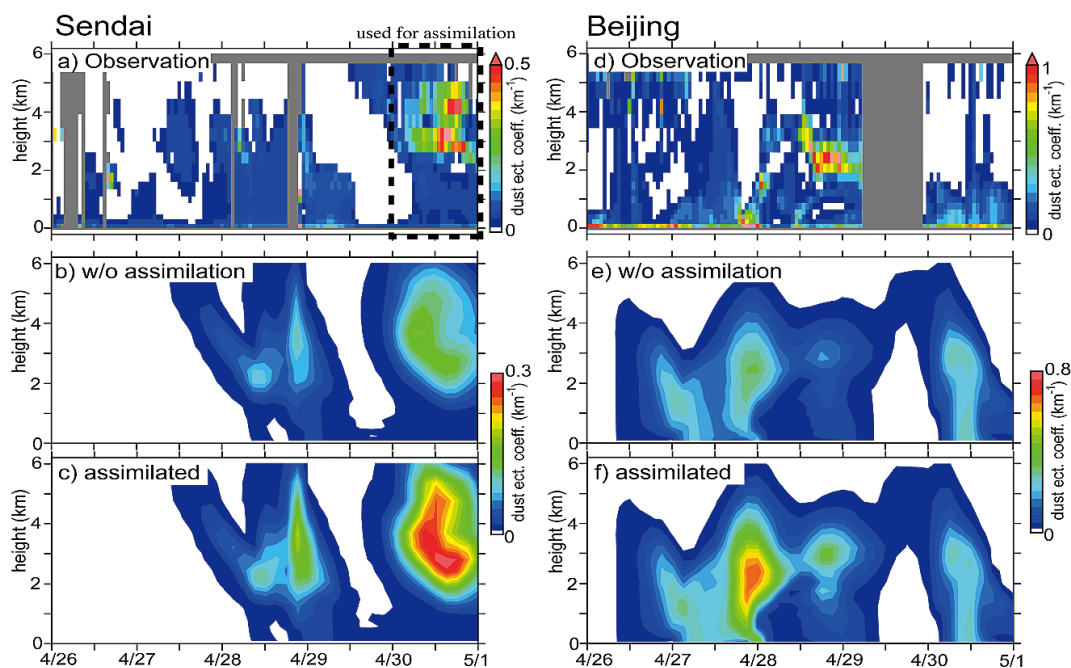


図21 仙台・北京におけるライダー観測とモデルのダスト消散係数の時間-高度断面図の比較
上段：ライダー観測、中段：計算結果（データ同化前）、下段：データ同化後。

植生の変化を調べた。図 23 に結果を示すように 4 月末と 5 月末を比較すると植生が明らかに改善されており、発生量の抑制を説明できることが分かった (Sugimoto et al., 2010)³⁰⁾。この結果は、ライダーネットワークデー

タを用いた 4DVAR によるデータ同化が、黄砂発生地域の状況の変化を詳細に推定する有用な手法であることを示すものである。

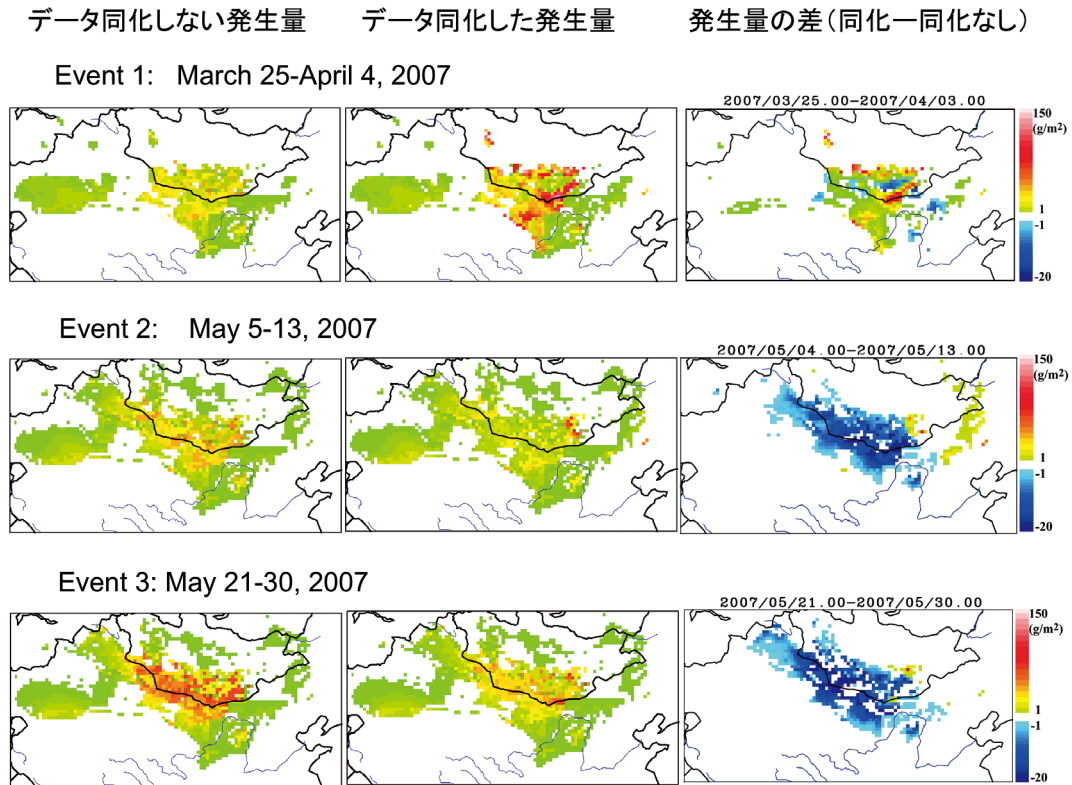


図 22 ライダーネットワークデータを用いた 4 次元データ同化手法による黄砂発生量推定。図に示した 2007 年の 3 つの事例について、(左) データ同化なしの CFORS による黄砂発生量の分布、(中央) データ同化した発生量分布、(右) データ同化した結果とデータ同化しない結果の差。

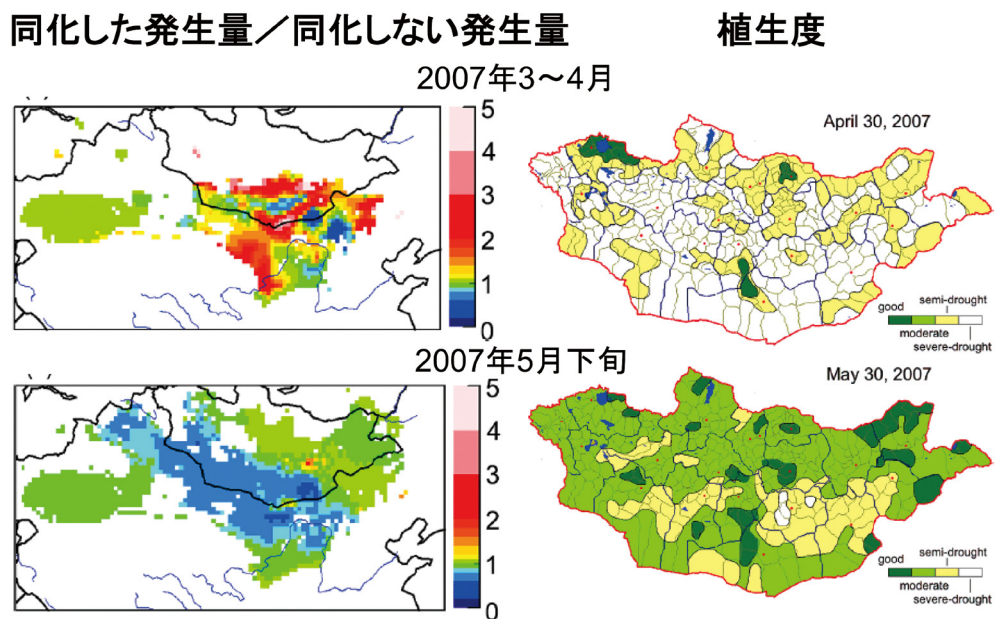


図 23 2007 年の 4 月初めと 5 月終わりの事例(図 1.21 の Event 1 と Event 3)について、(左) データ同化した黄砂発生量とデータ同化しない黄砂発生量の比、(右) モンゴルにおける目視観測による 4 月末と 5 月末の植生成長度。

c) ライダーネットワークリアルタイムデータの品質改善とリアルタイムデータ同化の研究

データ同化手法は黄砂飛来予測の改良にも有用である。そのためにはライダーネットワークから高品質のデータをリアルタイムで提供する必要がある。そこで、ライダー測定感度の改善、偏光解消度の校正手法の改良などを行うとともに雲の除去などデータ処理手法の改良を行った。また、アンサンブルカルマンフィルターを用いたデータ同化による黄砂予測の改良を気象研究所と連携して実施した。その結果、アンサンブルカルマンフィルターを用いた手法は計算量が少なく予測に適することが示された。また、発生源に近いデータの重要性が高いことなども明らかにされた。

3. まとめ

東アジア地域を対象に、大気汚染物質と黄砂の地上観測、航空機観測、ライダーネットワーク観測等を行い、国内外の観測の連携を進めるとともに、数値モデルと排出インベントリの精緻化を進めた。これらの観測データ、数値モデル、排出インベントリ、更に対流圏衛星観測データを活用して、アジア地域の広域大気汚染と日本への越境大気汚染の全体像を把握し、科学的知見を蓄積した。日本国内を含むアジア地域の大気環境施策立案に必要な科学的知見とツールを提供した。具体的な研究のアウトプットとアウトカムは下記の通りである。

- ・ 沖縄辺戸岬ステーションを整備し長期観測を実施するとともに、国内外の研究機関との多面的な共同研究を進めた。2008年春からは長崎県福江島における越境汚染の長期観測を開始した。また、北東アジア地域に黄砂のライダー観測ネットワークと地上観測ネットワークを構築した。
- ・ 内外の研究プロジェクト、多くの研究機関と連携して、東シナ海域において航空機観測を行い、これと同期して、福江と辺戸における地上観測を実施した。
- ・ 全球-東アジア-日本全域-国内地域の各スケールにおける大気質を評価するマルチスケール化学輸送モデルを開発し、観測データを用いて検証して、広域越境汚染の全体像を把握した。また、マルチスケール大気汚染予測システムを開発し、予測結果を発信した。
- ・ アジア地域における1980～2005年を対象とした大気汚染物質の排出インベントリ REAS を開発した。また、対流圏衛星データを用いて排出量を推計するイ

ンバースモデルを開発・適用し、排出インベントリを検証した。

- ・ 排出シナリオを設定して2020年までの大気汚染物質排出量を予測し、アジアの大気環境の将来予測を行った。
- ・ 黄砂ライダーネットワークデータと化学天気予報システム (CFORS) を用いた逆推計手法により、精度の高い黄砂発生量分布データを得ることができた。このデータを用いて精度の高い黄砂予測を行うことが可能になった。

上記の研究成果に基づき、下記に示す社会・環境行政・科学技術・国際貢献を行った。

- ・ 環境省の対流圏オゾン・光化学オキシダント対策検討会、酸性雨対策検討会、有害金属対策基礎調査検討会、黄砂関連委員会などにおいて多数の研究成果が活用されると共に、地方環境研究所との共同研究等を通して自治体の大気環境施策に貢献した。
- ・ 東アジア酸性雨ネットワーク (EANET)、日中韓大気汚染物質長距離越境移動研究プロジェクト (LTP)、半球規模大気汚染輸送タスクフォース (TFHTAP)、IGBP/IGAC、Atmospheric Brown Clouds (ABC) 等の国際活動に参加し、HTAP 評価報告書の作成、GEIA アジアセンターの立ち上げ、IGAC や ABC におけるデータベース作成に貢献した。
- ・ 東アジア域の黄砂・大気汚染分布予測を研究所のホームページで発信すると共に、環境省の黄砂飛来情報提供に貢献している。

本研究で得られた、東アジアの広域越境大気汚染に関する科学的知見と評価手法を基礎として、同地域の国際的な大気環境管理に資する、統合的な大気環境評価・管理システム (将来シナリオ→対策オプション→排出量予測→大気環境予測→自然・社会影響評価) の構築へと発展させる展望が開けた。

引用文献 PJ1

1. Takiguchi Y., Takami, A., Sadanaga, Y., Lun, X., Shimizu, A., Matsui, I., Sugimoto, N., Wang, W., Bandow, H., Hatakeyama, S. (2008) Transport and transformation of total reactive nitrogen over the East China Sea, *J. Geophys. Res.*, 113, D10306, doi: 10.1029/2007JD009462.

2. 佐藤 圭, 田中友里愛, 李 紅, 小川志保, 畠山史郎 (2007) 沖縄辺戸岬における有機エアロゾルの組成と季節変化: 2005 ~ 2006 年に観測された多環芳香族炭化水素, 地球化学, 41, 145-153.
3. Sato, K., Li, H., Tanaka, Y., Ogawa, S., Iwasaki, Y., Takami, A., Hatakeyama, S.: (2008) Long-range transport of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons at a remote island site at Cape Hedo in the East China Sea between 2005 and 2008, *J. Atmos. Chem.*, 61(3), 243-257.
4. Mochida M., Nishita-Hara C., Kitamori Y., Aggarwal S. G., Kawamura K., Miura K., Takami A. (2010) Size-segregated measurements of cloud condensation nucleus activity and hygroscopic growth for aerosols at Cape Hedo, Japan in spring 2008. *J. Geophys. Res.*, 115, D21207, doi: 10.1029/2009JD013216.
5. 高見昭憲, 長田和雄, 定永靖宗, 坂東 博 (2010) 沖縄辺戸岬における大気中のアンモニア / アンモニウム濃度の変動と分配. エアロゾル研究, 26 (1) 42-46.
6. Osada K., Ueda S., Egashira T., Takami A., Kaneyasu N. (2011) Measurements of gaseous NH_3 and particulate NH_4^+ in the atmosphere by fluorescent detection after continuous air-water droplet sampling. *Aerosol and Air Quality Research*, 11, 170-178.
7. Hatakeyama, S., Hanaoka, S., Ikeda, K., Watanabe, I., Arakaki, T., Sadanaga, Y., Bandow, H., Kato, S., Kajii, Y., Sato, K., Shimizu, A., Takami, A., (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*, 11 497-507.
8. United Nations (2010) Hemispheric Transport of Air Pollution Part A: Ozone and Particulate Matter, *Air Pollution Studies No. 17*, New York and Geneva, 2010.
9. 環境省 (2007) 光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書 (中間報告).
10. Ohara, T., Akimoto, H., Kurokawa, J., Horii, N., Yamaji, K., Yan, X., Hayasaka, T. (2007) An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 4419-4444.
11. Tanimoto, H., Sawa, Y., Yonemura, S., Yumimoto, K., Matsueda, H., Uno, I., Hayasaka, T., Mukai, H., Tohjima, Y., Tsuboi, K., Zhang, L. (2008) Diagnosing recent CO emissions and ozone evolution in East Asia using coordinated surface observations, adjoint inverse modeling, and MOPITT satellite data, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 3867-3880.
12. Yumimoto, K., Uno, I. (2006) Adjoint inverse modeling of CO emissions over the East Asian region using four dimensional variational data assimilation, *Atmos. Environ.*, 40, 6836-6845.
13. Streets, D. G., Bond, T. C., Carmichael, G. R., Fernandes, S. D., Fu, Q., He, D., Klimont, Z., Nelson, S. M., Tsai, N. Y., Wang, M. Q., Woo, J. -H., Yarber, K. F. (2003) An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000. *J. Geophys. Res.*, 108(D21), 8809, doi: 10.1029/2002JD003093.
14. Streets, D. G., Zhang, Q., Wang, L. He, K., Hao, J., Wu, Y., Tang, Y., Carmichael, G. R. (2006) Revisiting China's CO emissions after the Transport and Chemical Evolution over the Pacific (TRACE-P) mission: Synthesis of inventories, atmospheric modeling, and observations, *J. Geophys. Res.*, 111, D14306, doi: 10.1029/2006JD007118.
15. Kurokawa, J., Yumimoto, K., Uno, I., Ohara, T. (2009) Adjoint inverse modeling of NO_x emissions over east China using satellite observations of NO_2 vertical column densities, *Atmospheric Environment*, 43, 1878-1887.
16. Zhang, Q., Streets D. G., He, K., Wang, Y., Richter, A., Burrows, J. P., Uno, I., Jang, C. J., Chen, D., Yao, Z., Lei, Y. (2007) NO_x emission trends for China, 1995-2004: The view from the ground and the view from space, *J. Geophys. Res.*, 112, D22306.
17. Ohara, T., Yamaji, K., Uno, I., Tanimoto, H., Sugata, S., Nagashima, T., Kurokawa, J., Horii, N., Akimoto, H. (2008) Long-term simulations of surface ozone in

- East Asia during 1980–2020 with CMAQ and REAS inventory, edited by C. Borrego and A. I. Miranda, NATO Science for peace and security series - C: Environmental Security, Air Pollution Modelling and its Application XIX, Springer, 136–144.
18. Fishman, J. F., et al. (2008) Remote sensing of tropospheric pollution from space, *BAMS*, 805–821.
 19. Yamaji, K., Ohara, T., Uno, I., Kurokawa, J., Pochanart, P., Akimoto, H. (2008) Future Prediction of Surface Ozone over East Asia using Models-3 Community Multiscale Air Quality Modeling System and Regional Emission Inventory in Asia, *J. Geophys. Res.*, 113, D8306, doi: 10.1029/2007JD008663.
 20. 大原利眞, 鶴野伊津志, 黒川純一, 早崎将光, 清水 厚 (2008) 2007年5月8, 9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染—オーバービュー—, *大気環境学会誌*, 43, 198–208.
 21. 黒川純一, 大原利眞, 鶴野伊津志, 早崎将光 (2008) ネスト版 RAMS/CMAQ 連携モデルによる 2007年5月8, 9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染の解析, *大気環境学会誌*, 43, 209–224.
 22. 早崎将光, 大原利眞, 黒川純一, 鶴野伊津志, 清水 厚 (2008) 2007年5月8–9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染: 観測データ解析, *大気環境学会誌*, 43, 225–237.
 23. Sudo, K., Takahashi, M., Kurokawa, J., Akimoto, H. (2002) CHASER: A global chemical model of the troposphere: 1. Model description, *J. Geophys. Res.*, 107(D17), 4339, doi: 10.1029/2001JD001113.
 24. Sudo, K., Akimoto, H. (2007), Global source attribution of tropospheric ozone: Long-range transport from various source regions, *J. Geophys. Res.*, 112, D12302, doi: 10.1029/2006JD007992.
 25. Nagashima, T., Ohara, T., Sudo, K., Akimoto, H. (2010) The relative importance of various source regions on East Asian surface ozone, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 11305–11322.
 26. Yumimoto, K., Uno, I., Sugimoto, N., Shimizu, A., Satake, S. (2007) Adjoint Inverse Modeling of Dust Emission and Transport over East Asia, *Geophys. Res. Lett.* 34, L08806, doi: 10.1029/2006GL028551.
 27. Yumimoto, K., Uno, I., Sugimoto, N., Shimizu, A., Liu, Z., Winker, D. M. (2008) Adjoint inversion modeling of Asian dust emission using lidar observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 2869–2884.
 28. Uno, I., Yumimoto, K., Shimizu, A., Hara, Y., Sugimoto, N., Wang, N., Liu, Z., Winker, D. M. (2008) 3D Structure of Asian Dust Transport revealed by CALIPSO and a 4DVAR Dust Model, *Geophys. Res. Lett.* 35, L06803, doi: 10.1029/2007GL032329.
 29. Hara, Y., Yumimoto, Y., Uno, I., Shimizu, A., Sugimoto, N., Liu, Z., and Winker, D. M. (2009) Asian dust outflow in the PBL and free atmosphere retrieved by NASA CALIPSO and an assimilated dust transport model, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1227–1239.
 30. Sugimoto, N., Hara, Y., Yumimoto, K., Uno, I., Nishikawa, M., Dulam, J. (2010) Dust emission estimated with an assimilated dust transport model using lidar network data and vegetation growth in the Gobi desert in Mongolia, *SOLA*, 6, 125–128, doi: 10.2151/sola.2010-032.

Ⅲ. 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

1. 研究背景と目的

長江、黄河等東アジア地域の流域圏では、急速な経済発展に伴う水需要量や水質汚濁負荷の増大によって、陸域の水不足と水汚染、沿岸域・海域生態系の劣化が深刻化すると共に、流域圏に支えられかつ流域圏に負荷を及ぼしている都市におけるエネルギー・水資源制約および水質の問題が一層深刻化している。これらの問題は、中国のみならず、日本および東アジア各国に直接的、間接的に影響を及ぼしている。これらの影響およびその対策技術・政策の適応性と効果を定量的に評価し、持続可能な水環境管理に向けた科学的基盤の確立が緊急の課題になっている（図24）¹⁾。

中核研究プロジェクト「東アジアの水・物質循環評価システムの開発」では、国際共同研究による東アジアの流域圏、沿岸域・海域および拠点都市における水環境に関する科学的知見の集積と持続可能な水環境管理に必要なツールの確立を目指し、観測とモデルを組合せ、水・物質循環評価システムの開発を行うことを目的とする。また、長江などの陸域起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明を行うと共に、都市、農村と流域生態系の共生の視点から、都市・流域圏における技術・施策の導入によるケーススタディの結果に基づく、適切な技術システムと政策プログラムの設計を含む流域の長期シナリオ・ビジョンを構築するための方法論の開発を行う。

これらの目標を達成するために、①流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築、②長江起源水

が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明、③拠点都市における技術・政策インベントリとその評価システムの構築の三つのサブテーマにおいて具体的な研究計画を立てている。それぞれのサブテーマにおいて、観測システムの構築、データベースの作成、モデルの開発およびそれによる影響評価と将来予測の手順で研究を進め、最終的に政策提言を行う（図25）。

2. 主な研究成果

2.1 流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築

2.1.1 目的と経緯

広域的な水・物質動態の計測手法による観測を適用し、衛星データ、地理情報システム（GIS）、観測データ等に基づく、東アジアの流域圏における水・物質循環に関する情報データベースを構築する。特に、長江流域の開発により、河川を通じて流入する汚濁物質等の陸域からの環境負荷の量・質的变化への影響について推定と解析を行う。さらに、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、水・物質循環を評価できる統合型モデルを構築し、退耕還林やダム建設、南水北調などの利水事業、土地改変などが水環境へ及ぼす影響評価を行う（図26）。

長江流域は、中国中・南部の広い範囲を覆っており、流域面積は180.9万km²である。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



図24 研究の背景と必要性

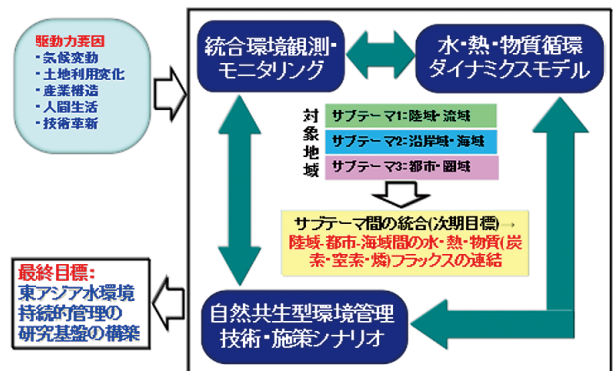


図25 研究の手順およびサブテーマの構築

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5,400m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11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。

長江の最下流にある大通水文観測点（河口部より約550km）で観測された1950年以降の年間総流量の長期的変動（図27）は、1954と1998年の1,200 km³・y⁻¹以上の大流量から1972年、1978年と1986年の800 km³・y⁻¹以下小流量まで変動幅が大きいものの、明確な上昇や低下傾向が見られなかった。長江は中国大陸から海域への淡水供給量の約70%を担う。しかし、年間の土砂輸送量は30%以下であり、黄河の土砂輸送量約37%より少ない。長江の土砂輸送量は1980年代以降土砂流失の防止措置、退耕還林政策や、多くのダム建設に

伴って低下傾向にあり、特に2003年の三峡ダムの一部の湛水し、さらに2006年の完成後は著しく低下した。

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¹⁾。中国海洋局の調査によると、2010年の長江流域圏からの汚濁物質である酸素要求量(COD_{Cr})とアンモニア態窒素(NH₄-N)は全国主要河川経由で海へ輸送された総負荷量の75%を占め、全リン(TP)は総負荷量の80%を占めた²⁾。また、既存の研究によると、長江河口附近の海域での硝酸態窒素(NO₃-N)と溶存態リン(DP)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DPの平均濃度は0.124mg・L⁻¹と0.026mg・L⁻¹であったが、1985年にそれぞれ0.682mg・L⁻¹と0.054mg・L⁻¹、さらに、2001年に1.860mg・L⁻¹と0.062mg・L⁻¹まで増大した^{3,4)}。2005～2006年のNO₃-NとDP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と1.2倍に上昇した⁵⁾。

長江流域圏からの汚濁負荷量の継続的な増大は、長江河口域のみならず東シナ海の海洋環境と生態系、さらに、漁業資源にも影響を及ぼすことが懸念されている。中国海洋局が公表した中国海洋環境状況広報²⁾によれば、長江河口域を中心とする沿岸海域では、赤潮が頻発するなど海洋環境・生態系の劣化が著しい状況にある（図28）。特に2000年以降、赤潮の発生頻度が大幅に増加し、1970年代の年数回から2003年の年120回まで増えた。発生頻度の増加と共に赤潮の累計発生面積も増大し、2004年と2005年の2年間、赤潮が発生した海域面積は25,000km²を超えた。2006年以降、赤潮の発生面積が減少傾向になり、その原因は中国政府の陸域汚染源対策の推進の効果と言われている²⁾。

これらの背景を踏まえて、東シナ海の海洋環境・生態系保全に向けた流域圏環境管理手法を導き出す過程において、数値モデルを用いた流域圏の水・物質流出特性の定量的時空間評価は不可欠である。しかし、長江流域のような大流域では、様々な制約条件によって厳密な分布型物理モデルの開発は困難であった。その理由として、まず計算グリッドの空間解像度を上げた場合に対応し得るだけの地理情報データベースが整備されていない状況が問題として挙げられる。次に、長江流域全体を対

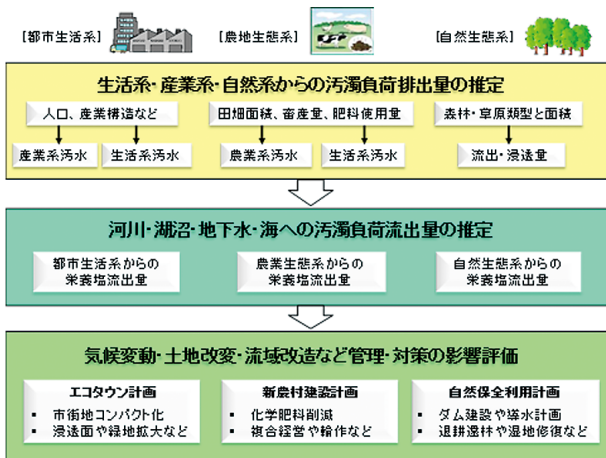


図26 流域圏における水・物質循環の評価手順

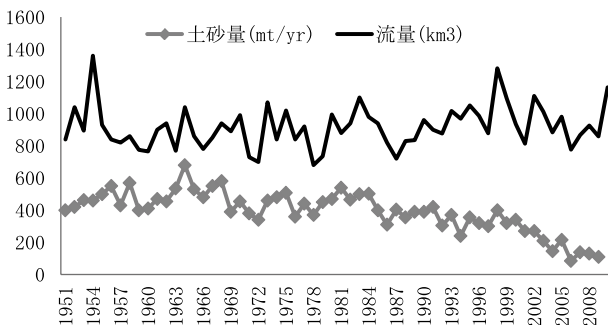


図27 大通観測点で測定した年間河川流量及び年間土砂輸送量の長期的変動（中国水利部長江水利委員会の観測により）

象としたシミュレーションモデルの検証に必要な河川流量データや水質観測データの取得が困難である。しかしながら、長江の中下流域において近年大規模な洪水や水質汚濁問題が頻発していることを受けて、上流域の農地の林地への還元（退耕還林政策）やダム建設の効果の評価、下流域の大規模な都市化や産業構造の調節等の影響評価、氾濫に伴う陸域生態系や農業経済さらには海洋環境への影響評価などのため、流域全体の水・物質動態を表現できるシミュレーションモデルの開発が喫緊の課題となっている。

2.1.2 評価システムの構築及びデータベースの作成

本研究では、長江流域全体を一つのシステムとみなし、その中での水・汚濁物質の動態を目的に応じて、日・月および年単位という異なった時間スケールで把握できるモデルを開発することを目的とした。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流域圏統合評価ツールとして開発された SWAT (Sail & Water Assessment Tool) モデル⁶⁷⁾の適用を試みた。

SWAT は米国農務省 (USDA) の研究業務としてテキサス A&M 大学 Black land 研究所が開発したもので、モデルには流域全体の様々な土地利用や土壌類型からの

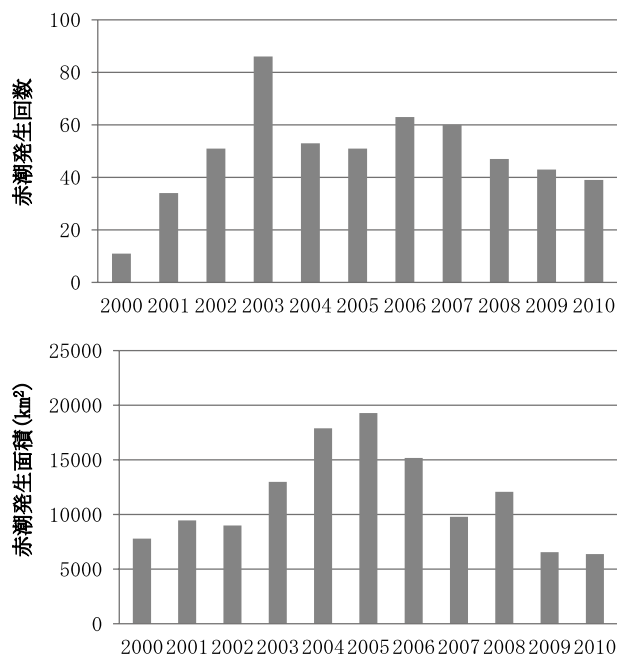


図 28 長江河口域を中心とする沿岸海域で赤潮の発生回数と発生面積の累計 (中国海洋環境状況公報²⁾より)

水・物質循環フラックスを評価するための一連のプロセスが組み込まれている。このモデルは、多様な土壌、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、水理量、汚濁物質、そして農業に関わる様々な化学物質の循環に土地利用・管理事業が与える影響を予測するために開発されたものである。このような目的を達成するために、SWAT は物理型モデルを採用しており、水文、気象、土壌、植生被覆に関する情報を用いて、流域全体の全メッシュに対して水・物質循環フラックスを評価できる。また、気象・土壌・土地利用などの様々なシナリオに対応するデータを入力することにより、土地利用管理や気候変動などの影響の評価が可能になる。さらに、このモデルにはダム貯水池、養殖や施肥環境に関するパラメーターも組み合わせているため、ダム建設、養殖や施肥による影響評価も可能となる。

SWAT モデルの入力データとして、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、入力気象データとして、日単位の最大・最小および平均気温、さらに日単位の湿度、降水量、風速、および日射量のデータが必要となる。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や水質観測データも必要となる。これらのデータに関して、下記のように収集・推定した。

(1) 地形・水系データ：アメリカ航空宇宙局 (NASA) から公開された 90m メッシュ (標高) データを用いて ArcSWAT のツールで水系図を作成した (図 29)。これらのデータは緯度経度上に記述されているため、SWAT で利用するためには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 を用いて行った。

(2) 土地利用データ：中国科学院地理科学・資源研究

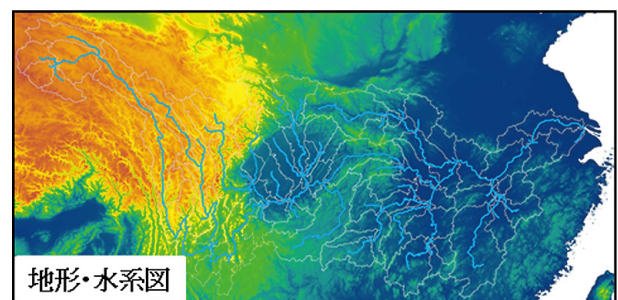


図 29 入力データとして利用した長江流域の地形図及びそれに基づいて作成した水系図

所と共同で衛星データを用いて、2005年次の1km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(図30)。

(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、これを再投影したものを用いた。土壌分布データは土壌の類型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特性(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(鉛直3層)を参考にし、ArcSWATの編集機能を用いて入力した。

(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により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が推奨した推定法⁹⁾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) 汚濁物質の排出量を推定するため、長江流域の県レベルの工業や生活排水量、各作物の栽培面積及び生産量、化学肥料使用量などの統計データを入手した。これらのデータ及び現地調査による人間生活に関するパラメータを利用し、長江流域の年間窒素排出量を推定した。その結果、長江全流域の反応性窒素の総量は2000年には14.25Tg-Nに至り、1990年から約2倍、1980年から

は3倍以上に増加した。そのうち、窒素肥料の使用量は急激に増加し、2000年には反応性窒素総量の86%を占め、最も大きな窒素源であった。また、窒素の利用効率(作物による収穫窒素固定量)は1980年には31%、1990年には30%、2000年には23%と年々低下していることが分かった。さらに、1980年の窒素排出源が主に下流流域に集中していたのに対し、1990年代には中流流域まで、2000年には上、中、下流を中心として、周辺へ広く拡大された⁹⁾¹⁰⁾。これらの推定結果を年間の日数で割り、日変化モデルの入力データとして利用した。

2.1.3 観測システムの構築によるモデルの精度検証

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。その一環として、国立環境研究所と長江水利委員会は漢江中下流の主流部分にある仙桃水文ステーションにおいて水質の共同観測を実施した。図31は仙桃水文ステーションに設置した自動水質測定システムである。測定項目は全窒素(TN)、全リン(TP)、化学的酸素要求量(COD)、水温、濁度(SS)およびクロロフィルa(Chl-a)とした。

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。検証されたモデルを用いて、数値シミュレーションによって漢江流域において退耕還林の効果を評価した¹¹⁾。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、長江本川での大

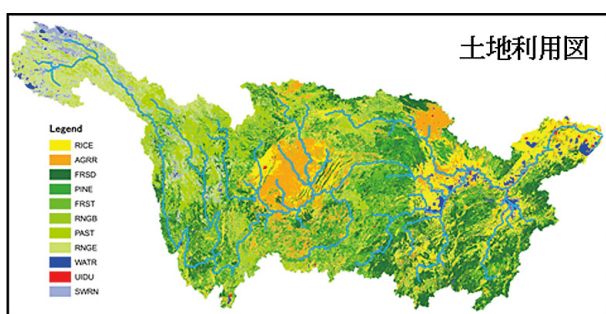


図30 入力データとして用いた長江流域の土地利用図(2000年)



図31 測定システムの設置状況

通観測点（河口部より約 550km）での日平均流量の計算値と観測値の比較であり、両者の相関係数 R^2 は 0.94 の高い値である。これにより、本川での年間を通じたダイナミックな流量の変動や雨期である夏期の変動まで十分再現されていることが確認された。また、長江本川の観測点である上流域の下流端である宜昌（河口部より約 1600km）と中流部の武漢（同約 1200km）及び下流域の大通など三地点での月平均流量の計算値と観測値の相関係数（ R^2 ）はそれぞれ 0.84、0.81 と 0.89 であり、再現性はいずれも高い水準にあることを示している¹¹⁾。

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、中国科学院と共同で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）の濃度を測定し、その測定濃度と月平均流量とかけ算で月平均の負荷量を求めた¹²⁾。TN と TP の月平均の測定負荷量と計算負荷量との比較結果によると、TN の再現性は、宜昌 $R^2 = 0.84$ 、武漢 $R^2 = 0.81$ で高いが、TP の再現性は、宜昌 $R^2 = 0.75$ 、武漢 $R^2 = 0.74$ で低く、しかも宜昌の場合、計算値は実測値よりかなり低い結果となった。今後、国際共同研究を通じて、土地利用や産業活動の変化に関する情報、土砂流出に関するデータ及びより詳細な水質検証データを取得し、モデルの精度向上に努めたい。

2.1.4 流域圏水・物質負荷流出の再現結果

全流域において水量・水質の動態（1991～2010）の日変化をシミュレーションし、年平均値を求めた結果によると、長江全流域平均の年平均降水量（PREC）は 1024.0mm であり、全流域平均の年平均蒸発散量（ET）は 415.8 mm、年平均地表流出量（SURQ）は 293.4mm、年平均地下流出量は 232.4 mm、最終的に地表と地下合わせた年平均流出量（WATER YIELD）は 571.6mm となった。また、長江全流域における窒素負荷発生量の年間平均値は、有機態窒素（ORGANIC N）は $6.75\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ であり、無機態窒素である硝酸態窒素の表面流出発生量（ $\text{NO}_3 \text{ YIELD SQ}$ ）、地中（ $\text{NO}_3 \text{ YIELD SSSQ}$ ）及び地下（ $\text{NO}_3 \text{ YIELD GWQ}$ ）は、それぞれ $2.55\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $0.48\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、 $9.19\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ となっていた¹²⁾。窒素負荷発生地の地域分布の 2008 年の例を図 32 で示す。それによると、有機態窒素について、上流域下流段の丘陵地区では年間発生量が大きく、その次に、中流域の漢江流域でも発生量が大きい。降水量の多い東南地域では、逆に有機態窒素の

流出発生量が小さい。硝酸態窒素の流出は主に四川盆地や中、下流平野で発生しており、それは広範囲に分布している農地による面源負荷と強く関係していることが言える。また、地表流による負荷量よりも地下流による負荷量が大きいという計算結果となった。

最後に、モデルによって推定した 1991～2010 の 10 年間の長江河口域での河川年流量及び栄養塩年輸送量の年次変化を表 7 に示す。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（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）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（ORGANIC N）、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、アンモニウム性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）などは、2002～2009 年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。

10 年間の平均値を見ると、長江の河口域で年間総流量（FLOW）は 939.1km^3 で、それによって運ばれた有機態窒素（ORGANIC N）は 17.5 万トン/年、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）

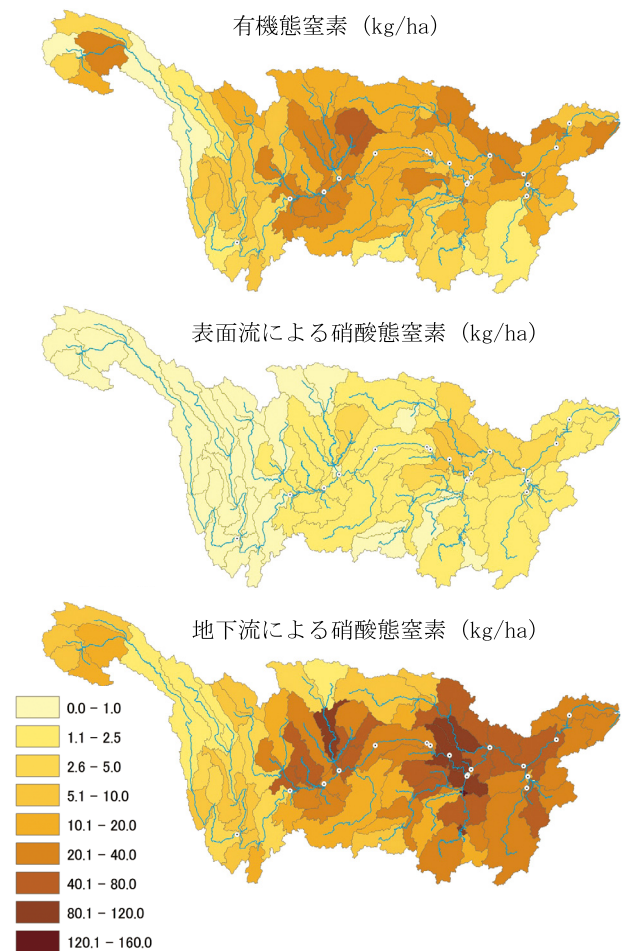


図 32 各支流域における窒素負荷流出量の再現結果 (2008 年)

は180.9万トン/年、アンモニア性窒素(NH₄-N)は16.7万トン/年という計算結果となった。Wangらの研究¹³⁾によると、長江大通観測点でのNO₃-Nは、1985年に78.2万トン/年、1990年に106.7万トン/年、そして2000年に130.3万トン/年であったことから、本研究で推定した2001～2010年の平均値の180.9万トン/年の結果は、前の10年間の年間平均値より約50万トン増大した。さらに、Duanらの研究¹³⁾によると、1980～1990年の間に、大通観測点でのNO₃-Nは63.93万トン/年、NH₄-Nは11.98万トン/年、NO₂-Nは0.79万トン/年であったことから、本研究の推定結果と比べると、この10年間のNO₃-Nは1980年代の約3倍に、NO₂-Nは約2倍に、そして、NH₄-Nは約30%増大した。

中国政府は、水質汚濁の対策を1996からの3期の5ヶ年計画において大量の資金を投入し実施してきた。そのうち、「第9次5ヶ年計画」の主体は工業排水対策であり、改革開放を担った中小規模の郷鎮重化学工業工場の閉鎖を含めて整理・統合し、厳しい排水規制に耐える産業構造調整を行った。「第10次5ヶ年計画」では、生活排水対策として都市下水整備に外資を含めた集中的な投資を行い、総体方案では排水規制の強化と監督に重点を置いた。「第11次5ヶ年計画」では、水質汚染対策として化学的酸素要求量(COD)が「主要汚染物質」として指定され、2010年までに2005年に比べ10%削減する目標が設定されていた。しかし、本研究の推定結果から明らかになったのは、長江流域の水環境がいまだ改善されていないということである。その原因として、管理体制上の問題があること、また、流域の自然条件、土地利用、産業構造などを総合的に考慮した流域管理の理念が欠け

ていることが考えられる。

流域総合管理の視点から提言するならば、まず、流域管理の重点を、水量・水質の管理から流域内の土地利用、資源利用、産業構造、人間生活などの総合的な管理へ移行することである。そのため、流域管理部門の総合管理能力を強化した上で、流域総合管理に関する立法を推進し、法律に従って厳格に実行すること；流域圏に属する各レベルの行政管理部門の緊密な連携と協働体制を構築すること；制度上、組織的に保障した上で民衆参加型管理体制を構築することが挙げられる。今後、政策を決定するためのツールとして、流域圏統合評価モデルの精度を向上させ、都市や農村の発展計画や自然保全計画に伴う産業構造と土地利用の変化や流域の改造活動の影響評価を行う予定である。

2.1.5 産業連関表による汚濁負荷量の推定手法の開発

流域の汚濁負荷量の推計方法は、大きく2つに分類できる。1つ目は物理学的アプローチで、気象や土地利用など自然条件下で、汚濁負荷の流量を推計することが出来る。2つ目は社会経済的アプローチで、生産消費活動をベースに排水量や汚濁負荷量を求めることが出来る。本研究は、産業連関表による排出インベントリーモデルをベースに、汚濁負荷量の推計手法の開発を行った^{15,16)}。

長江流域は水資源のみならず、上海、重慶など主要都市が立地し、中国経済の主要地域である。それために、中国の他の地域に与えるインパクトは経済的にも、水環境的にも大きいことが予想される。また、一般的に中国では東部沿岸域と西部内陸域の経済水準は大きく異なるため、そうした地域特性を把握するためには、いくつかの地域に分割した手法が必要となる。そこで本研究では、地域間産業連関分析モデルを用いた排出インベントリーモデル（以下、地域間インベントリーモデル）の開発を行った。モデル式は式(1)の通り。

$$EL^{ind} = \hat{D}BF \quad (1)$$

EL^{ind}：汚濁負荷排出量

\hat{D} ：汚濁物質排出係数対角化行列

B：レオンチェフの逆行列

\hat{F} ：最終需要対角化行列

表7 大通観測点での水量と汚濁物質の年間総流出量の計算結果

年次	FLOW (km ³)	ORGN	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	TN
			(10,000t)			
2001	814	15.2	172.5	15.6	5.0	208.3
2002	1111	23.1	209.2	21.0	6.6	259.9
2003	1013	17.6	181.7	16.6	5.2	221.1
2004	884	11.8	161.6	12.0	4.0	189.4
2005	981	20.2	198.0	18.4	5.7	242.3
2006	776	16.5	152.3	15.2	4.7	188.7
2007	867	12.7	166.3	13.1	4.4	196.5
2008	927	15.5	169.6	15.4	4.8	205.3
2009	859	12.4	169.5	13.2	4.4	199.5
2010	1164	30.5	228.6	26.6	8.5	294.2
平均	939.0	17.5	180.9	16.7	5.3	220.4

なお、レオンチェフの逆行列 B は式 (2) となる。

$$B = (I - A + \hat{M}A^*)^{-1}$$

$$A^* = \begin{bmatrix} A^{11} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & A^{mm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

A : 投入係数行列

\hat{M} : 輸入係数対角化行列

A^s : 地域 r から地域 s への投入係数行列

ここで、 \hat{D}^r を地域 r の汚濁物質排出係数対角化行列、 B^rs を地域間産業連関表のレオンチェフ逆行列、 \hat{F}^r を地域 r の域内最終需要対角化行列と定義すると、式 (1) から式 (3) を得ることが出来る。

$$EL^{ind} = \begin{pmatrix} \hat{D}^1 B^{11} \hat{F}^1 \cdots \hat{D}^1 B^{1s} \hat{F}^s \cdots \hat{D}^1 B^{1m} \hat{F}^m \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \hat{D}^r B^{r1} \hat{F}^1 \cdots \hat{D}^r B^{rs} \hat{F}^s \cdots \hat{D}^r B^{rm} \hat{F}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{D}^m B^{m1} \hat{F}^1 \cdots \hat{D}^m B^{ms} \hat{F}^s \cdots \hat{D}^m B^{mm} \hat{F}^m \end{pmatrix} \quad (3)$$

このモデルを長江流域へと適用し、長江流域における汚濁負荷 (COD) インベントリを推計した¹⁷⁾。また、それら手法を用いて、長江流域の汚濁負荷の誘発構造分析を行った (図 33)。その結果、以下のことを明らかにした。1) 水資源の豊富な長江上流は、他の地域による水依存度が高い；2) 長江中流では、海外および国内貿易によって水資源が消費される構造となっている；3) 長江下流は、中流および中国南部では、国内貿易によって水資源の消費量を抑制している；4) 海外貿易による汚濁負荷フットプリントが長江中流域および中国北部で観察される；5) 長江中流では、国内貿易を介して、他の地域の汚濁負荷が集積する構造となっている。

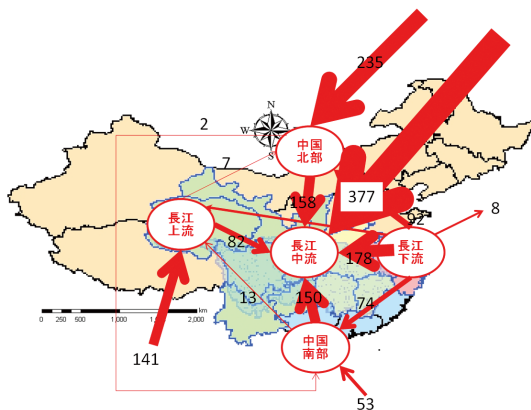


図 33 貿易による汚濁負荷フットプリント (2000年、10⁴t-COD)

2.2 長江起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明

2.2.1 目的と概要

上述のように、長江流域からの汚濁物質濃度は、1990年代の中国经济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状況にある。一方、長江は、陸域から東シナ海への淡水供給量の70%以上を担う。例年、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が出現し、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。中国国内の陸域負荷増加は長江河口域のみならず東シナ海全域の水質生態系、さらには漁業資源に対して影響を及ぼしかねない。

本サブテーマおよび関連研究では、2002年以降、長江起源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て、水産総合研究センター西海区水産研究所との共同で、年1回の東シナ海陸棚域調査を実施してきた。その結果、初夏の陸棚域においては長江起源水 (塩分28~31) が表層に広く分布し、その範囲に中国沿岸域の赤潮主要種である渦鞭毛藻 (*Prorocentrum dentatum*) がクロロフィル *a* (Chl.*a*) として高濃度 (~50 μg/L) で観測された。陸棚域中央部における同種の高濃度発生は報告はこれまで皆無であり、我々の観測した現象は近年の東シナ海生態系変調の兆しである可能性が高い。

仮に東シナ海生態系の変調が生じており、またその第一の原因が中国陸域からの負荷であるとするならば、水産海洋資源を初めとする生態系サービスの持続性確保のためには、中国陸域負荷削減の必要性を国際的な認識として共有し、また施策の提案を行っていくことが求められる。しかしながら、東シナ海環境・生態系に影響を及ぼす要因は、中国陸域からの汚濁負荷増大の他、中国沿岸における大規模養殖、近海および陸棚域における水産資源乱獲、近年の水温上昇や陸棚縁辺を流れる黒潮の蛇行など人為的なものから自然現象に至るまで幅広く、各々の事象について科学的知見に基づき、その因果関係を明確にしなければならない。

これらのことを踏まえ、本サブテーマでは、陸棚域の低次生態系の変調、特に渦鞭毛藻 *P. dentatum* の優占化

と陸域負荷の関連性を、観測データと観測した物理・生物素過程から構築した数理モデルに基づき解明することで、陸域負荷に対する東シナ海環境の影響予測が可能な長江流域圏・東シナ海統合環境管理モデルを開発し、国際的な枠組みにおいて陸域負荷削減対策等に向けた科学的知見を提供することを目的として以下の研究を行った。

- ①東シナ海日本側排他的経済水域内における長江起源水の海洋生態系維持に果たす役割とその変動の兆しを把握するための航海調査
- ②大型培養槽を用いた *P. dentatum* の日周鉛直移動特性の把握
- ③陸起源汚濁負荷流出に対する長江河口域・東シナ海陸棚域の水質生態系応答の定量的評価のための流動・水質・生態系モデルの開発

2.2.2 航海調査による海洋環境・生態系の現状把握

2006～2010年度にかけて東シナ海陸棚域の航海調査を毎年初夏に実施した。そのうち、水産庁照洋丸で行った2007年6月（SY0702航海：6/18～6/30、52測点、図34）および水産総合研究センター西海区水産研究所陽光丸で行った2009年6月（YK0905航海6/19～6/25、34測点）の調査では、Chl.aが50 $\mu\text{g/L}$ を超える高濃度の *P. dentatum* の出現が確認された。

SY0702で得られたCTD観測、植物プランクトン固定試料（種同定・細胞体積計測）、および多層採水試料の栄養塩濃度を用い、陸棚域における *P. dentatum* 出現水域の環境特定の解析を行った。調査海域の水深10m（混合層内）のT-Sダイアグラム解析による表層水の水塊分

類を行ったところ、塩分が32～33の長江希釈水（CDW）、高温の台湾暖流水（TWW）、さらに高塩分の黒潮亜層水（KSW）に区分された（図34、図35）。CDWと他の水塊の間は境界域（Boundary）とした。渦鞭毛藻 *P. dentatum* は、植物プランクトン固定試料を採取した21測点（以下、解析対象測点と呼ぶ）のうち、図34で示した測点31を含め、7測点で優占した。これら7測点は表層水塊区分でCDWおよびBoundary海域と一致した。各測点の *P. dentatum* の出現水深（Chl.aピーク）は多くが水深10m以深の亜表層であった。 *P. dentatum* のChl.aピークは、T-Sダイアグラム上、表層のCDW水塊より、陸棚底層水に近い密度躍層付近に出現していた（図36）。 *P. dentatum* ピークおよび表層の栄養塩（ NO_3^- および PO_4^{3-} ）は検出限界以下の枯渇状態（e.g. $\text{NO}_3^- < 0.1 \mu\text{M}$ ）であった。一方、躍層直下では NO_3^- で2.4～7.3 μM 存在していた。したがって、 *P. dentatum* は陸棚底層水から供給される栄養塩類で維持されている可能性が高いと考えられた。

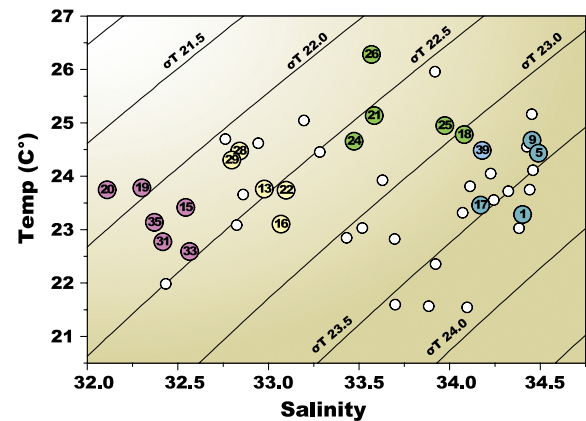


図35 解析対象測点のT-Sダイアグラム

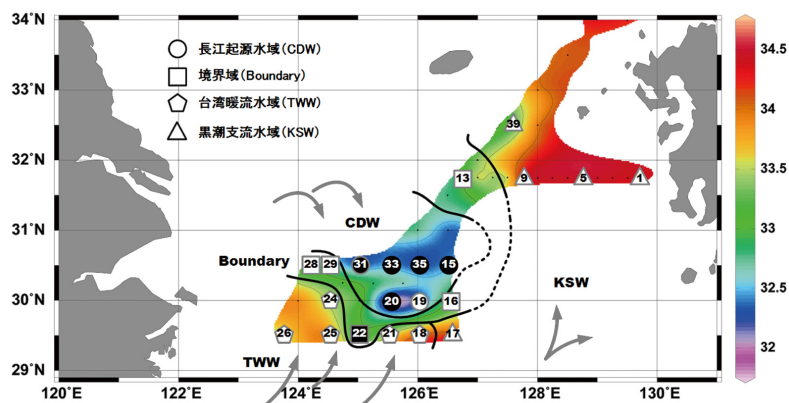
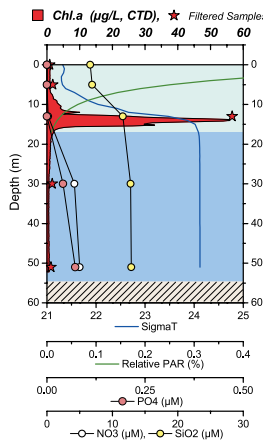


図34 SY0702(2007年6月)における測点31の鉛直プロファイル(左図)および表層10m塩分、観測点、各測点の水塊分類(右図)(黒塗の測点：*P. dentatum*が優占植物プランクトンとして観測)

次に SY0702 で得られた CTD 観測（蛍光光度センサー）、懸濁態試料（蛍光光度法および HPLC-PDA 法による Chl.a および補助色素）を用いて、陸棚域有光層における *P. dentatum* のバイオマスの定量評価を行った。なお、有光層の深さ (Z_c) については、明期観測点では実施した PAR 照度より求めた 1% 光補償深度とし、暗期観測点では Chl.a 濃度、濁度などの水質から光消散係数と光補償深度を推定するモデルを構築して Z_c を推定した。HPLC による補助色素用の懸濁態試料は、17 測点の表層、Chl.a 極大層および中間層から取得し、色素構成の因子解析を行って (CHEMTAX 解析) 鞍点法¹⁸⁾ により |S-CF| を最小化する F および C の組み合わせの決定。S、C、F: それぞれ色素濃度行列 (分析値)、植物プランクトン濃度行列 (推定値)、補助色素 / Chl.a 行列 (推定値)、Chl.a に対する各植物プランクトン網の寄与率 (R_A) を求めた。以上の Chl.a 鉛直分布、 Z_c 、 R_A から網毎の有光層 Chl.a バイオマス ($Chl_{A,E}$) を得た。渦鞭毛藻および珪藻は固定試料を用いて細胞体積を計測し、Montagnes et al. (1994) の換算係数¹⁹⁾ により種毎の Chl.a に変換した。CHEMTAX 解析と結合させることで調査海域の *P. dentatum* 由来の $Chl_{A,E}$ を評価した。解析対象測点の出現植物プランクトンは、渦鞭毛藻綱 (Dinophyceae)、珪藻綱 (Bacillariophyceae) など 9 種類の網が確認された。これらの植物プランクトン網に特徴的に含まれる 10 種類の補助色素 (Peridinin、Fucoxythantoin 等) を選択し CHEMTAX 解析に用いた。

全ての試料に対して共通の補助色素 / Chl.a 比行列 (F) を求めたところ、行列内に異常な要素値が得られ顕微鏡観察から予想される組成と明らかに異なる結果を得た。

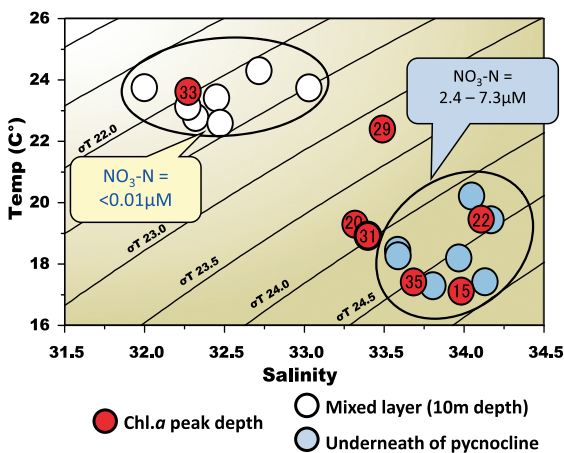


図 36 *P. dentatum* Chl.a ピークの T-S 特性

これは様々な環境から採取した試料には同一網であっても異なる補助色素 / Chl.a を有する場合がありますためと考えられた。このため規格化した色素分析値のデータセットにクラスター解析 (WARD 法) を適用し、ユークリッド距離に基づき相同性の高い 3 グループに分類して F を求めた。その結果、各グループで優占した植物プランクトンの行列要素が既報値に近い値を得た。また各グループを 2 つのサブグループに分割して求めた F と上位グループの F を比較したところ、少なくとも優占種に関する行列要素の変動は小さかったため上位 3 グループの分割で得られる F を各グループの適用行列とした。

解析対象測点の各網の $Chl_{A,E}$ 合計 ($\Sigma Chl_{A,E}$) は、132 (測点 31) ~ 12.5 (測点 26) mg/m^2 であり、CDW 海域で顕著に高く、その他の海域間では大きな差は見られなかった (図 37)。また CDW 海域では渦鞭毛藻の寄与が高く (> 50%)、他の海域では珪藻や藍藻が優占的であった。植物プランクトン固定試料の画像解析による渦鞭毛藻の Chl.a 寄与率評価では、CDW 海域の渦鞭毛藻は *P. dentatum* に由来することが示された。また各層試料の CHEMTAX 解析および画像解析から得られる渦鞭毛藻 Chl.a を比較したところ両者に高い相関が示された。CHEMTAX 解析と画像解析の結果を結合し $\Sigma Chl_{A,E}$ に占める *P. dentatum* の割合を求めたところ、CDW 海域では、 $\Sigma Chl_{A,E}$ の 46.5% が *P. dentatum* に由来することが明らかになった。

以上の解析により、陸棚域で優占的に観察された *P. dentatum* は、表層を CDW 水塊が覆う海域とほぼ一致し、且つ *P. dentatum* 単独で CDW 水域の $\Sigma Chl_{A,E}$ の半分弱を占めていること、また *P. dentatum* の出現水深が密度躍層付近であることから、陸棚底層水の栄養塩を獲得して

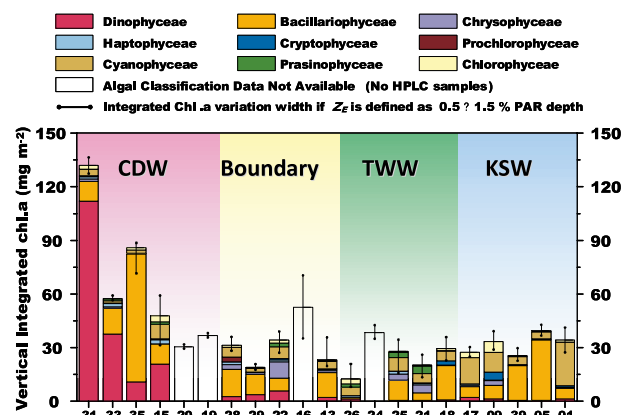


図 37 各測点の有光層 Chl.a と植物プランクトン網組成

群集を維持していることが考えられた。

2.2.3 大型培養槽を用いた *P. dentatum* の日周鉛直移動特性の把握

東シナ海での渦鞭毛藻 *P. dentatum* 優占化の要因の一つとして考えられる日周鉛直移動の詳細観測を藻類大型培養槽（海水培地量 1000L、水位約 1200mm）を用いて行った。培養海水は MNK 培地、培養株は東シナ海で単離した *P. dentatum* を用いた。熱対流による弱混合条件（平均水温 19.5℃）で培養を開始し、培養 5 日目（Day 5）に培養槽底部から 350mm 付近を境界とする温度躍層を構築した（塩分 30.4、上層 22℃、躍層下 17℃；理論密度差 1.26g/kg-SW）。明暗周期は 12 時間とした。明期（0600～1800）の表層照度は約 90μE/m²/s である。毎朝 0900～に鉛直方向約 300mm 間隔に設置されている固定採水ポートから採水を行い、Chl.a、細胞、栄養塩濃度を分析した。温度躍層構築後は毎分 35mm の速度で鉛直昇降する Chl.a 蛍光測定システムにより培養槽内（水高 100～1200mm 範囲）の鉛直 Chl.a 分布を連続的に観測した。

熱対流条件を設定した培養前期（Day 2～Day 5）では培養槽内の Chl.a は鉛直方向に一様に分布し、また明瞭な対数増殖を示した（比増殖速度 = 0.568/day）。図 38 に Chl.a の鉛直相対分布の時間変化を示す。温度成層を構築した Day 5 1400 から照明消灯時刻の 1800 にかけて、Chl.a の下方への移動傾向が観測され、その後の暗期（Day 5 1800～Day 6 0600）は水高 350mm 付近に集積した。Day 0600 の照明点灯後は、350mm 高よりも上層に移動し分散する傾向となった。Day 6～Day 8 についても同様な傾向が見られた。Chl.a の鉛直相対分布

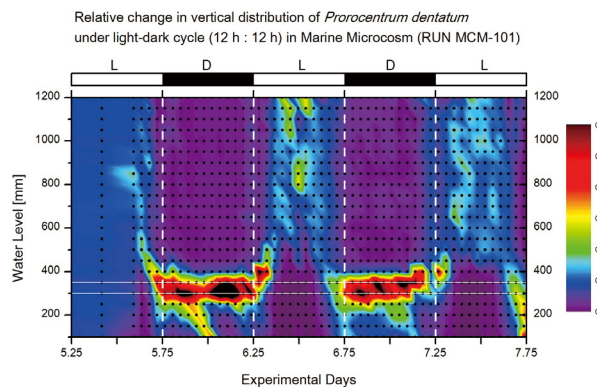


図 38 大型培養槽内の Chl.a (*P. dentatum*) 鉛直分布時系列変化（鉛直相対値）

の重心および重心の移動速度（mm/h）を計算したところ（図 39）、Chl.a (*P. dentatum* 細胞) は明暗周期に依存して鉛直移動を繰り返していること、ただし上昇開始は必ずしも明期開始後ではなくその数時間前から起こりうること、下降開始は明期途中から起こりうること、重心の最大移動速度は毎時 150mm 以上になり得る場合があることが明らかになった。また暗期の Chl.a の下降下限が海水密度勾配の大きな水高 300～400mm に集積することから、*P. dentatum* の鉛直移動には細胞の比重が大きく関わっていることが示唆された。これらの観測結果は、東シナ海の *P. dentatum* の日周鉛直移動特性に関して定量的な情報を与えるものであり、今後、移動速度や移動タイミングの支配因子を明らかにするための培養実験を継続実施し、生態系モデルの構築に適用していく予定である。

2.2.4 海域における流動・水質・生態系モデルの開発

陸域負荷に対する東シナ海環境の影響予測が可能なが長江流域圏・東シナ海統合環境管理モデルの開発を目指し、東シナ海陸棚域の渦鞭毛藻を主な解析対象とする流動・水質・底質・生態系モデルを構築した。本モデルは水中および底泥中における C-N-P-O 循環を解析する構造（図 40）になっており、珪藻・渦鞭毛藻による一次生産、有機物の好気・嫌気分解、水質・底質の物質交換などの素過程が考慮されている。構築したモデルを観測データが十分蓄積されている国内フィールド（東京湾・伊勢湾）に適用して観測値の再現精度を検討したところ、

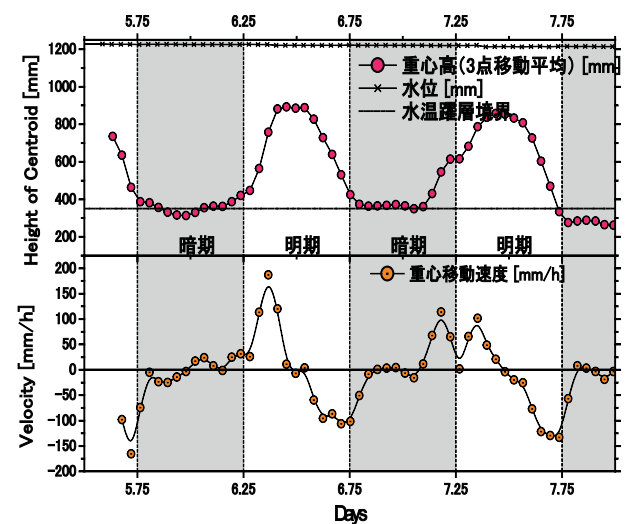


図 39 Chl.a (*P. dentatum*) の分布重心と重心移動速度の時系列変化

各種水質項目（Chl.a、DO、DIN、DIPなど）の計算値は観測値とよく一致しており、本モデルの妥当性が確認された（図41）。今後、東シナ海に本モデルを適用し、モデルの妥当性、特に渦鞭毛藻の高濃度発生時の再現精度に重点を置いて検討する予定である。

陸棚域の水塊・水質形成に長江希釈水がどの程度寄与しているかを調べるため、流動モデルを用いて数値トレーサ実験を行った。水塊起源には長江希釈水（CDW）、黒潮（KSW）、台湾暖流（TWW）の3つを対象とし、それぞれが流入する地点でのトレーサ濃度を1.0として

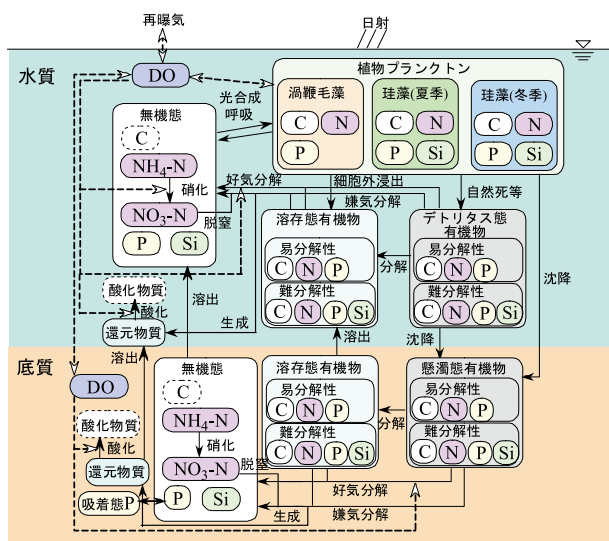


図40 水質・底質・生態系モデルの構造

移流拡散させた。なお、トレーサ物質は水中における生成・消滅および沈降等が一切生じないものとした。

流動解析は2004年1～12月の気象・海流などの境界条件を与え、1年間の計算を擬定常解が得られるまで繰返し実施した。図42に2004年7月平均の表層・底層（海底直上水）の塩分及び長江希釈水、黒潮、台湾暖流のトレーサ濃度の分布を示す。まず、表層塩分を見ると、長江の出水によって低塩分水が長江河口から陸棚域にかけて広範に拡散している。長江希釈水は、台湾暖流の北上流の影響を受けて長江河口より北東方向にまず流出し、その後強い西風に吹送され時計回りに方向を変えて陸棚域に輸送されている。底層塩分を見ると、長江河口付近では台湾暖流、陸棚域の東側では黒潮の北上によって南方の高塩分水が陸棚域に侵入している。陸棚域東側から侵入した高塩分水は黄海・渤海にまで到達しているが、これは主として冬季に現れる北上流、いわゆる黄海暖流によるものである。これらの特徴は観測事実とよく一致しており、流動モデルの妥当性が確認された。

次に、数値トレーサ実験の結果を見ると、我々がこれまでに渦鞭毛藻の高密度発生を観測した海域（図42中の黒枠部：30～32N、124～126E）の水塊は、表層・底層ともに3つの起源のうち台湾暖流の影響を最も強く受ける海域であることが分かる。長江希釈水は当該海域の表層の北西端においても台湾暖流の半分程度の寄与し

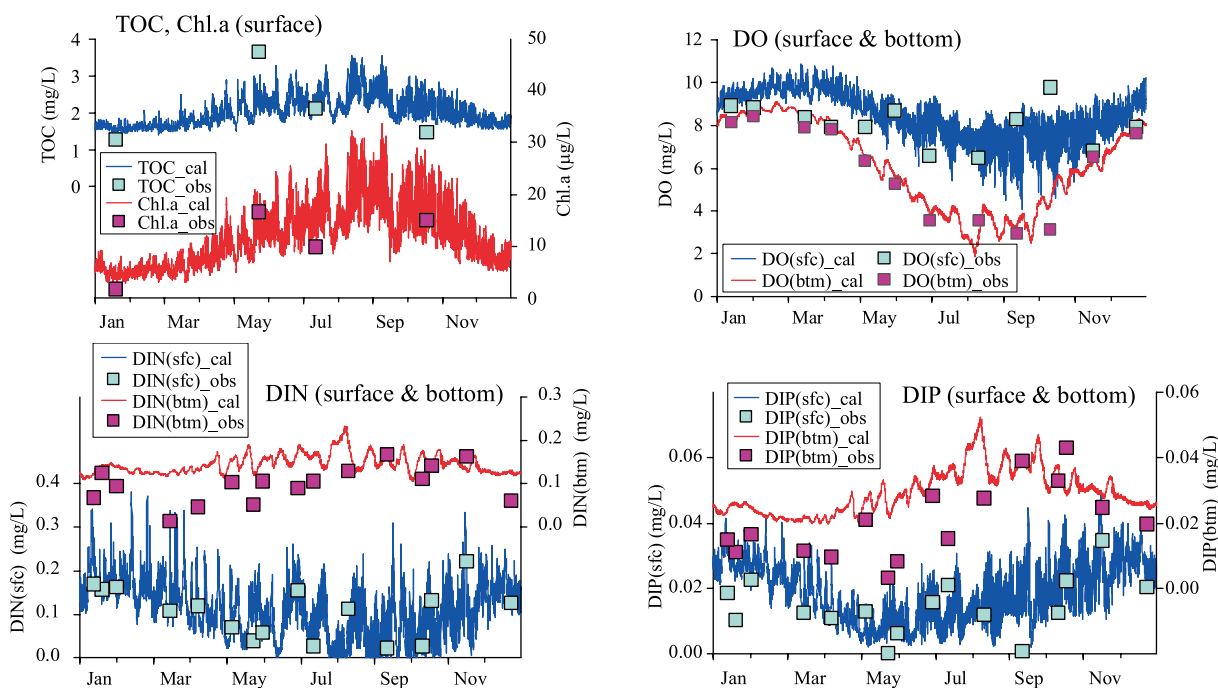


図41 1999年伊勢湾の流動・水質シミュレーション結果と観測値（三重県科学技術振興センター浅海定線調査 Stn12・環境省広域総合水質調査 Stn21）の比較の一例

か認められず、一見すると当該海域の水塊水質形成にあまり寄与しないように見える。しかし、本シミュレーションの結果は長江希釈水と台湾暖流の流入点のトレーサ濃度を同じ1.0としたものであり、一般に長江希釈水に含まれる物質濃度は海域のものに比べて数倍～数十倍高いこと²⁰⁾を踏まえると、台湾暖流の半分以下とはいえ、当該海域の水塊水質の形成に長江希釈水の影響は無視できないといえる。

以上をまとめると、これまでに渦鞭毛藻の高密度発生を観測した海域の水塊は主として台湾暖流の影響を強く受ける海域であること、当該海域北西部の表層水塊は長江希釈水の寄与が無視できないことが明らかになった。これらの結果は、2.2.2に記した観測結果、すなわちCDW水塊中のChl.aバイオマスが高いこと、陸棚域*P. dentatum*は底層水塊（台湾暖流）から供給される栄養塩類で維持されていることを裏付ける結果と考えられる。

2.3 拠点都市における技術・政策インベントリと評価システム

2.3.1 目的と経緯

日本では、高度経済成長期における大気汚染や水質汚濁をある程度改善した後に、廃棄物問題、地球温暖化問

題等が課題となってきた。これに対して、20世紀末からの中国における飛躍的な経済成長がもたらした環境汚染は、産業都市の人々の暮らしを脅かす水質汚濁や大気汚染が、同時に、国境を越えた環境問題や地球温暖化、世界的なエネルギー問題や資源問題を引き起こしていることが重要な特徴である。発電、鉄鋼やセメントなどのエネルギー多消費型の産業を中核とする産業構造は、地球温暖化問題やエネルギー問題を引き起こしつつ、都市への人口の集中と都市圏の拡大を伴いながら、大気汚染、水資源問題・水質汚濁、廃棄物問題、都市を支える流域圏への負荷の増大という問題を深刻化させている。中国のみならず、同じように産業化と都市化が急速に進むアジア諸国でも、行政担当者を始め各界から、日本の環境技術へは大きな期待が寄せられてきたが、上記のような、都市における環境負荷の相対的な増大と環境問題の全般的な深刻化の特徴を踏まえた統合的な環境対策を実施することは、十分に行われてこなかった²⁰⁾。その原因は、問題の統合的な把握が不十分であったことだけではなく、統合的な解決の具体的な手法も不十分であったことにある。

本サブテーマでは、主に中国の拠点都市を対象にして、水資源問題・水質汚濁対策と温暖化対策、廃棄物対策と

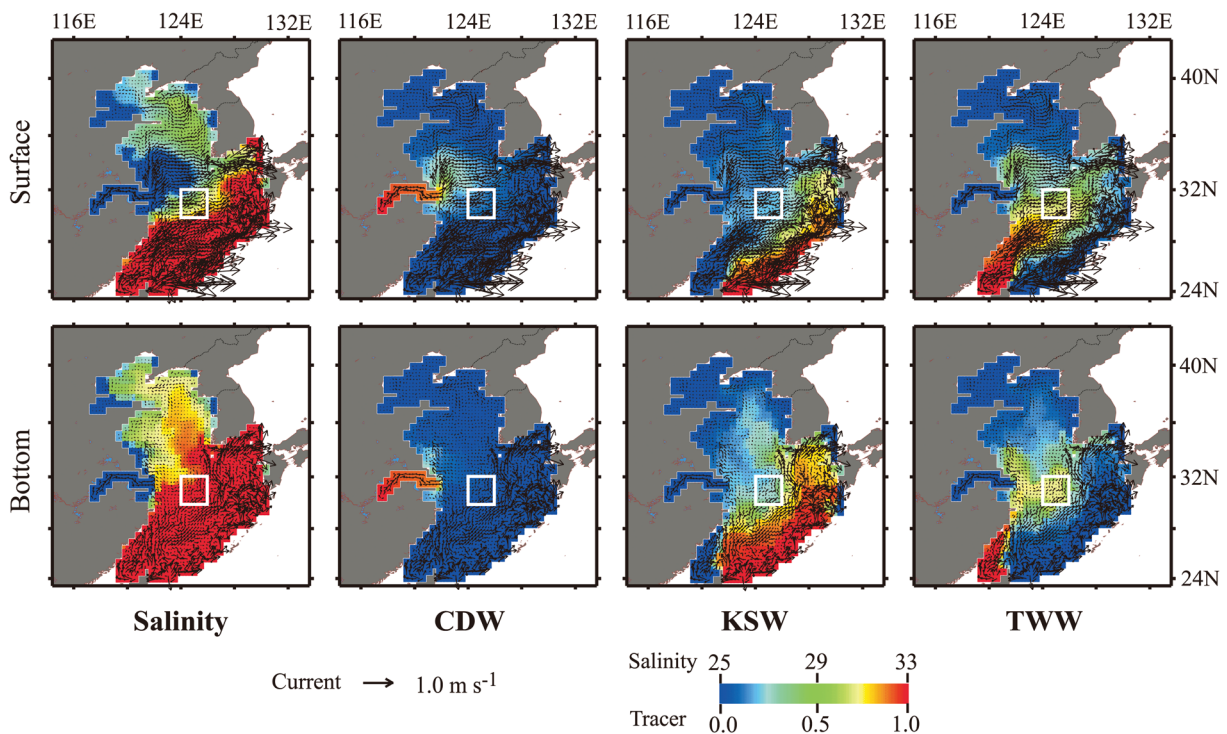


図42 数値シミュレーションによる2004年7月平均の表層・底層塩分及び長江希釈水(CDW)、黒潮(KSW)、台湾暖流(TWW)の数値トレーサ濃度

を統合的に解決する手法について研究を進めてきた。統合的な解決の中心となるツールは「都市環境技術・政策シミュレーションシステム」であるが、これは、資源・環境技術インベントリ、都市環境フラックス統合解析モデル (Urban NICE model)、政策インベントリ等によって構成されている。「都市環境技術・政策シミュレーションシステム」では、都市における水資源問題・水質汚濁対策と温暖化対策、廃棄物対策を中心に扱っているが、大気汚染対策や生態系サービスを扱うこと、都市を支える流域圏を含めた取り扱いが可能な構造を持っている。いかなる環境対策も、環境汚染や環境負荷の排出に対して社会的な関心とそれにとまなう「負担意思」が存在しないアジアの多くの都市の状況では、伝統型の多量消費多量廃棄の工業生産に対して、市場での競争力を持つことができない。しかし、中国の全国人民大会で議論されている、循環経済法はその転換点となると期待されており、日中の環境技術の連携が、理念的な一方向の連携のステージから、実務的な双方向の連携に移行する機運が見られつつあるため、本サブテーマで取り扱っている「都市環境技術・政策シミュレーションシステム」を基にした共同研究を実施してきた。

本報告では、拠点都市を対象にした「都市環境技術・

政策シミュレーションシステム」の全容について述べ、構成要素の中でこれまでに先行的に開発してきた、「都市水熱代謝モデル」、「分散型水処理技術システム」、「資源循環技術・政策インベントリ」について詳述する。

2.3.2 都市環境技術・政策シミュレーションシステム

循環型経済社会への取り組みの一環として、日本ではエコタウン事業が進められてきた。エコタウン事業は、産業から出るすべての廃棄物を新たに他の分野の原料として活用し、廃棄物の発生をゼロにすることを旨とする「ゼロエミッション構想」を地域の基本構想と位置づけ、環境調和型産業を形成するとともに、それを地域振興の基軸として先進的な環境調和型のまちづくりを推進することを目的としてきた。1997年より日本の26都市が承認されて、環境調和型のビジネスと社会システムの開発が進められてきた。エコタウン事業では、生産活動から発生する産業廃棄物と家庭や事務所などの都市活動から発生する一般廃棄物を、新たな生産プロセスの資源として投入することにより、廃棄物の発生量を抑制するとともに、新規資源の消費量を削減することができる。

図43は代表的なエコタウンにおける、循環型製造技術の例について物質の流れのフローを示している。それ

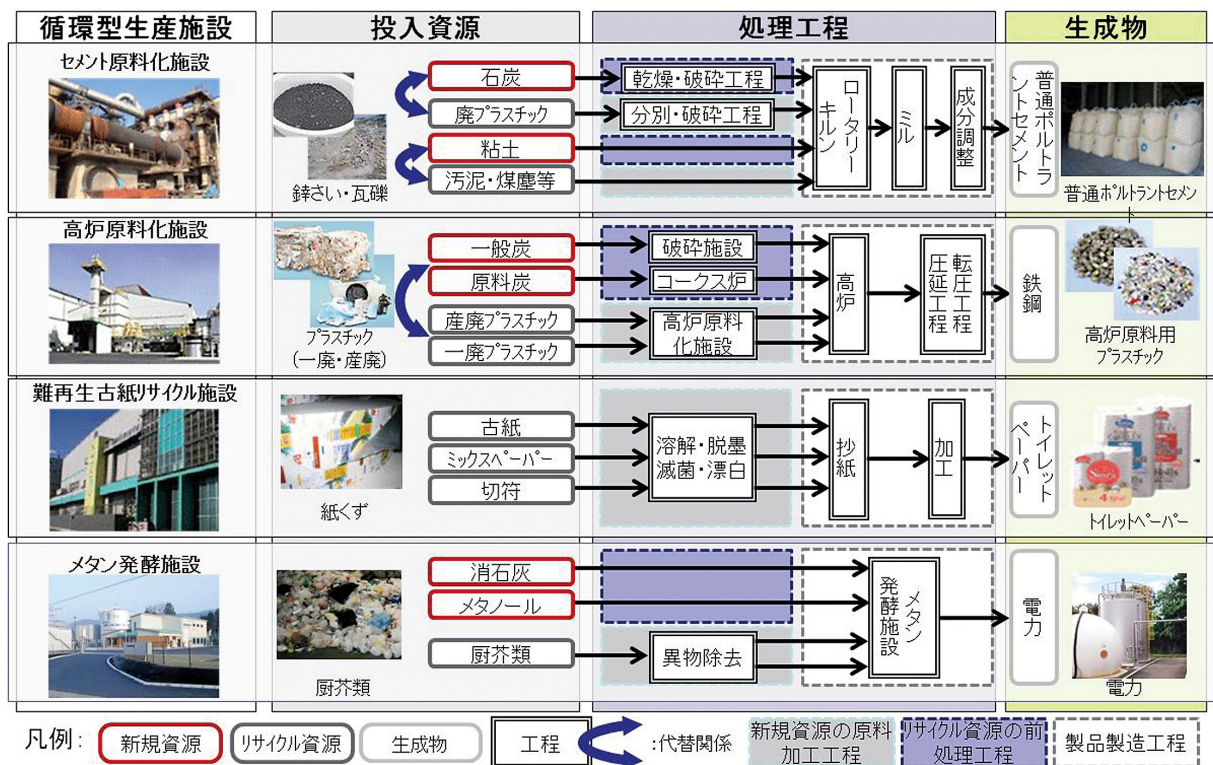


図43 エコタウンにおける循環型製造技術インベントリ

ぞれのプロセスで、原料資源やエネルギーを廃棄物で代替して、セメントや鉄鋼、製紙などの生産プロセスを可能にする技術システムが開発されており、これらを定量的に生産関数として表現することによって、これらの循環型生産プロセスの中国の都市への導入効果を推定することができる。

都市の循環基盤として製鉄所やセメント工場、さらにその集積としてのエコタウン施設を活用することによって、社会的な投資の費用対効果の高い将来のシナリオを設計することも可能となる。そのためには、人口や、商業・工業などの経済活動、建設施設の分布などとともに、水質や大気質などの環境観測モニタリング情報を統合して、都市環境の特徴を定量的に解析する都市環境データベースと、人間活動の環境への空間的な影響と、移動のメカニズムを明らかにする都市環境の物理モデルと社会行動モデルとともに、環境技術と社会技術を組み合わせた将来の代替的な政策ビジョンを計画してその効果を定量的に算定する都市環境シミュレーターの研究開発を推進してきた。さらに、循環経済の実現に向けて、日本と中国の研究、行政機関の専門家が連携して中国の産業都市における「循環経済都市シミュレーター」の研究を進めてきた。

振り返ってみれば、わが国では、高度成長期の激甚な環境汚染に対しては水質汚濁や大気汚染を防止する公害対策で産業起因の環境汚染の急速な解決を実現してきた。1970年代からのエネルギー価格急高騰には省資源・省エネルギーの製品生産技術開発を進めることで、世界でも有数のクリーナープロダクション産業システムを実現してきた。さらに、90年代以降には、地球環境問題や廃棄物問題への対応として循環型経済社会推進として3R（リデュース、リユース、リサイクル）の社会システムの整備とともに技術開発、リサイクル事業の整備が積極的に進められてきた。

これらの技術が中国のすべての都市で有効に適用できるわけではない。中国では先進国と比肩しうる高次な産業化が進んだ都市から、素材型産業からの飛躍を図る都市、さらには農業地域での工業化を進めるなど多様な都市・地域ニーズが存在する。広大な国土は環境汚染の顕在化と社会的認知を遅らせてきた一方で、汚染が広域化、深刻化している現状も招いている。中国の諸都市では産業化と人口集積にともなう都市スケールの環境問題と、より広域スケールの環境問題とともに越境大気汚染

や温暖化などの国際的な環境問題に同時に対応することが今まさに求められている。

2008年に中国で成立した循環経済法では、エネルギーと資源の消費を減量するとともに、地方自治体ごとの総量規制制度を確立し、環境汚染方策だけではなく、産業政策と都市建設を含めて都市や地域ごとの循環経済の実現を目指すことをうたっており、環境費用を都市経営に反映する点では大きな転換点を迎えることとなった。一方で問題と対策の範囲があまりにも広いため、有効な対策についての議論をする時間もなく、たとえば事業所の閉鎖などのドラスティックな方策についてもすでに議論が始まっている。本研究は、中国都市の環境と社会経済の特性をもとに、代替的な将来シナリオを定量的に測定することのできるツールとしての循環経済都市シミュレーターの研究開発を進めてきた（図44）。

具体的に、中国科学院瀋陽応用生態研究所循環経済・産業共生研究センター、中国遼寧省の環境科学院および瀋陽市環境保護局との国際的な産官学連携の研究体制を構築して、シミュレーターの開発とともに、その運用による具体的な環境技術と環境政策の立案の共同研究を行った。中国の代表的な河川の一つである遼河の流域に立地する瀋陽市をはじめとする産業都市での、污水处理技術の選択、処理施設の分布、と産業施設の誘導および面的な都市開発規制を含む代替的な対応策の効果を流域単位でシミュレーションするモデルの開発を進めてきた。

2.3.3 都市水熱代謝モデルを用いた技術・施策の導入効果の評価

都市環境技術・政策シミュレーションシステムの一環として、これまでに開発してきた陸域統合型NICEモデルに対して、アスファルトや建物で覆われた人工地を対象とした都市キャノピーモデル及び局所大気モデル等を接続することによって、都市域での総合的な水熱収支解析が可能なモデルへの拡張を行った（NICE-URBANモデル）。モデルを検証するため、データが相対的に入手しやすい国内の川崎市を対象にシミュレーションを実施し、さらに、本モデルを用いて幾つかの施策案のもとでの水熱循環の変化に及ぼす導入効果の予測シミュレーションを行った。

- 1) 陸域統合型NICEモデルと都市キャノピーモデル及び局所大気モデルとの結合（NICE-URBANモデル）

都市域の地表面を通しての水熱収支は周辺域の水熱循環に大きな影響を及ぼすため、本研究ではこれまでに開発してきた NICE モデルに新たな改良を行った。NICE モデルは、MODIS 衛星データから得られる LAI や FPAR 等の高次プロダクトと同化することによって植生の季節変化・増殖を考慮し、かつ、河川水・土壌水分・地下水及び植生間での相互作用を考慮した3次元グリッド型の水・熱・物質収支モデルである。

まず、都市形状、放射過程、及び水・熱収支のモデル化を含む都市キャノピーモデルの構築を行った。また、陸域-大気域間での水・熱フラックスを考慮して陸域 NICE モデルと局所大気モデル(RAMS)の結合を行った。更に、都市内部の挙動については、簡易型の AUSSSM をベースにして鉛直平均値(温度・湿度・風速)の水平方向への移流拡散プロセスを新たにモデル化して追加した。

2) 入力データ及び計算条件等について

①入力データ及び境界条件

モデル境界条件として、土地利用・植生・土壌・地質等の GIS データを各3次元グリッドに与えるとともに、広域境界条件として気象庁 MSM 及び ECMWF 再解析

データを用いた。都市域については、国土数値情報及び川崎市・横浜市・東京都提供の建物データを用いて作成した建物メッシュデータを境界条件とした。観測データのない集水域上流端(森林、草地、非灌漑地等)の境界では、表面流及び地下水流は尾根を越えて反対側には流れないという仮定で反射条件を用いた。南東側の境界(東京湾)では0mの定水頭を与えた。初期条件としては、地表面に平行な水頭を与えた。多摩川等の河川セルでは河床からの流入・流出量は地下水と河川水の水頭勾配として算定した。

②人工排熱データの算定

川崎市及び周辺地域を対象として、オフィスや家庭由来の空調、工場及び煙突等から発生する建物由来の排熱データを作成した。都市計画基礎データを利用して建物別の排熱分布をメッシュごとに集計した後でメッシュ別排熱分布データを作成し、各メッシュの土地利用区分ごとに高度の相違を考慮してモデルへ入力した。

③緑化及び保水性舗装導入による環境技術評価

川崎市指針等をもとにして、緑化及び保水性舗装の2種類の政策オプションに対するシミュレーションを行った。第一段階の感度分析シミュレーションとして、両施

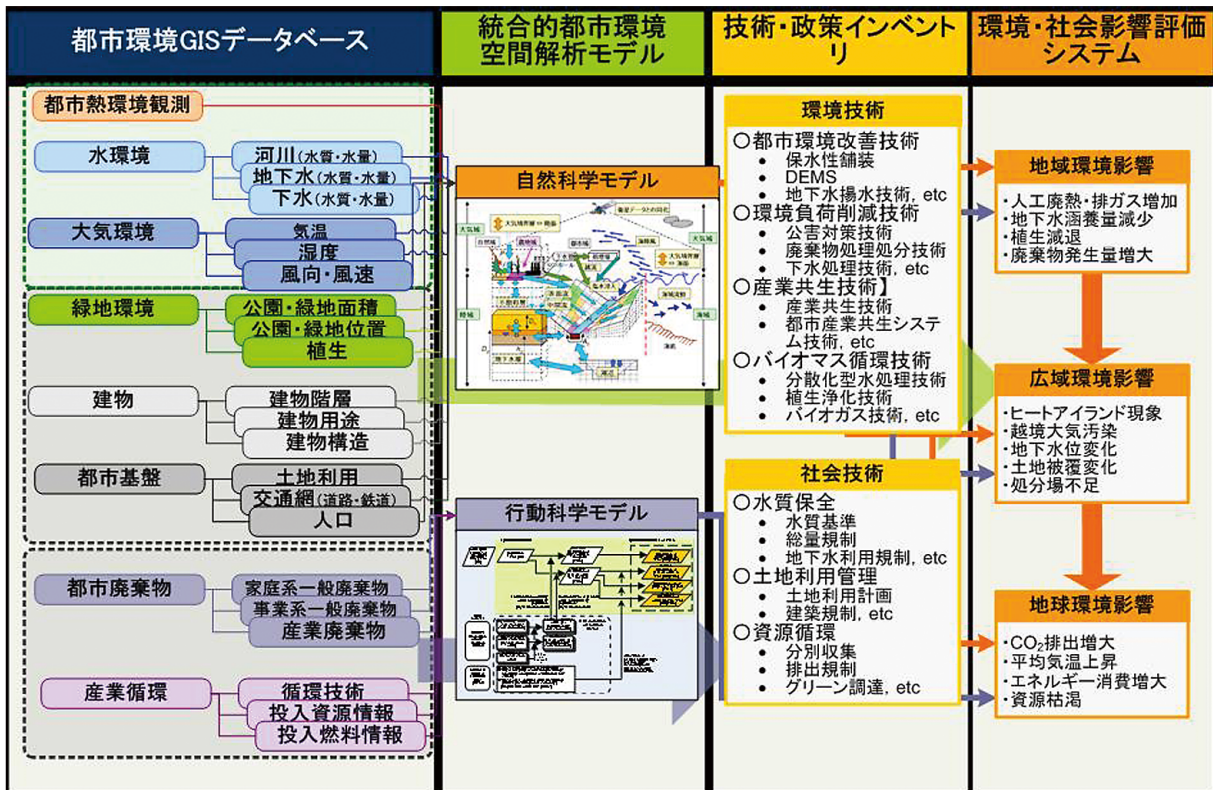


図 44 都市環境技術・政策シミュレーションシステムの基本フレーム

策ともに道路メッシュは対象外かつ建物が建っていない部分（空き地）の全てを対象とした。なお、保水性舗装については路面に常に一定量の水分を供給という条件を用いた。

④シミュレーション期間及び領域

計算の際には、広域スケールの関東メッシュ（計算領域：260km × 260km、格子サイズ：2km × 2km）での計算結果を都市スケールの川崎メッシュ（計算領域：36km × 36km、格子サイズ：0.2km × 0.2km）の初期条件及び境界条件として入力する one-way nesting を行った（図 45）。シミュレーション期間は、2006 年 8 月 1 日～2006 年 8 月 10 日の 10 日間とし、時間ステップは 1.5 秒～1 時間までスケール及びサブモデル間で可変とした。なお、川崎市提供の川崎市全域の気象観測データ及び水収支観測データを用いて、2005～2006 年の 2 年間の検証を事前に行った。併せて、気象庁 MSM の再解析データも参考値としてモデル検証に用いた。

3) 結果及び考察

①夏季の都市域での水熱循環の再現

NICE-URBAN モデルの川崎市全域への適用にあたって、簡易型 AUSSSM モデルとの比較を通して、JFE 提供の京浜ビル屋上でのブロック実験データ（2006 年 8 月）を用いて様々な舗装面でのモデル検証を行った。オリジ

ナル AUSSSM については比較的簡単に計算が出来るという長所がある一方で、芝生上での表面上に溢れた水については取り扱えない、アスファルト舗装内部へ水は浸透しない、等の欠点があったためそれらの欠点の改良を行った（簡易型 AUSSSM モデル）が、特に保水性舗装についての水分量及び表面温度の再現性は非常に悪かった。一方で、NICE-URBAN では舗装面内に含まれる水分量による熱容量・熱伝導率の変化を考慮するように改良を行い、様々な路面タイプについて水・熱収支の実験値を良好に再現することが確認された（図 46）。次に、川崎市提供の気象観測データと比較を行うことでモデルの空間的な検証を行った結果、ほとんどの場所での気温は実測結果に近い値を示していた。なお、計算の安定化

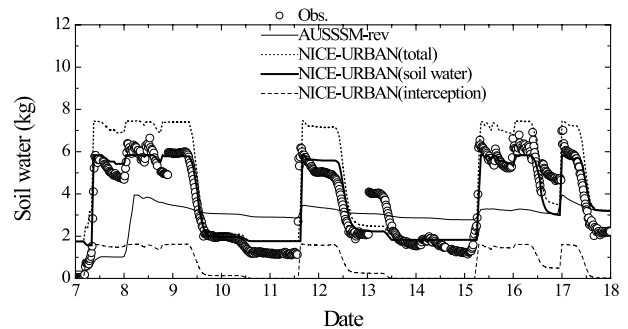


図 46 保水性舗装の再現シミュレーション

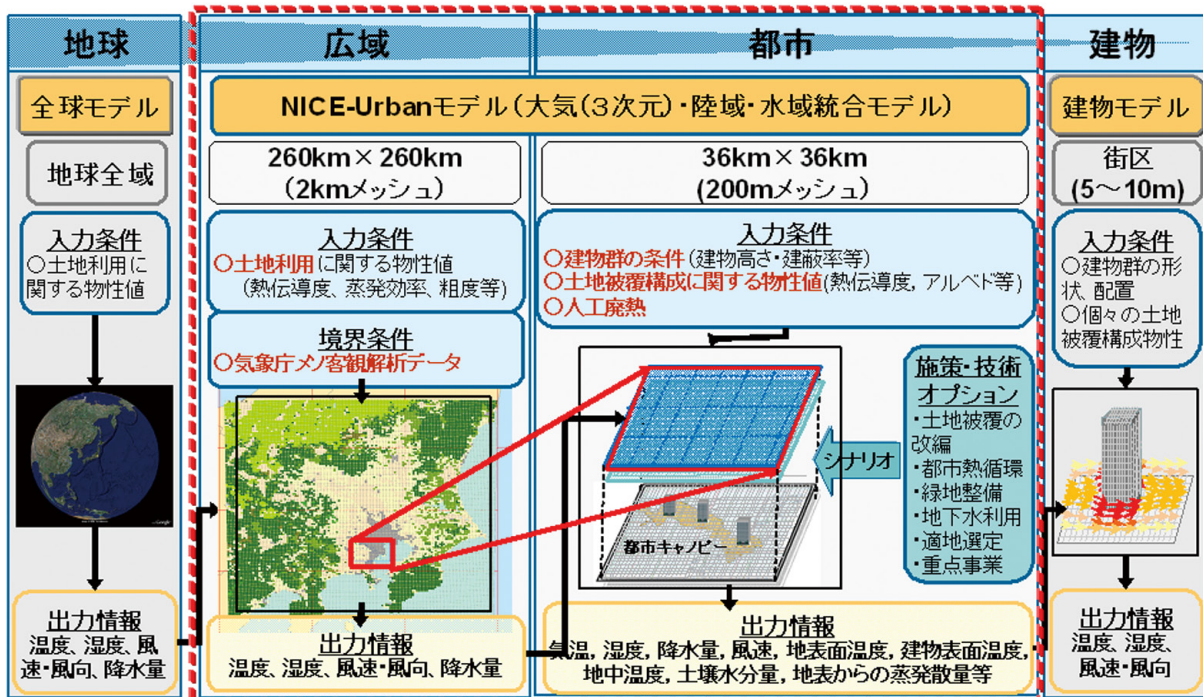


図 45 マルチスケールモデルのフレームワーク

までに時間を要しているため誤差が生じており、また8月9日以降の計算では大気モデルにおける降雨が良好に再現できていないために気温再現の精度が悪かった。また、大気湿度・地下水位等に関して観測結果との比較検証を行い、良好な一致が見られた。

②施策案のもとでの導入効果の予測

モデルを用いた予測シミュレーションを行う前に、都市熱環境改善効果が期待できる保水性・透水性舗装性能評価の現場実証試験を行った。その結果、約1週間の観測では100%保水性舗装は透水性舗装と比べ9.8度の地表面温度低減効果が見られた。熱収支解析の結果、保水性舗装は全観測期間を通して蒸発潜熱量が顕熱量を上回っており、更に観測5日目以降では土壌水分の舗装面からの蒸発が確認され、これらの原因によって継続的な温度低減効果が促進されることが明らかになった(図47)。

地下水位の施策導入後の予測シミュレーションを行った結果、通常条件と緑化条件の間で差はそれほど見られなかった。地下水位の変動の時間スケールは月または年であり、地下の諸変量の時間変動もしくは政策オプションによる違いを検討するためには今後より長期間のシミュレーションを行う必要があると考えられる。都市域では浸透率が小さいために水分移動は自然地と比べて非常に小さく、涵養量も小さくなっていた。緑化政策オプションにより一部の都市メッシュが自然地に変更されるため、該当メッシュ(臨海部の埋め立て地など)では涵養量の増加が見られた(図48)。

キャノピー内温度の予測シミュレーション結果については、保水性舗装施策の場合には気温の低下が顕著であるとともに川崎区だけでなくその北側の東京付近においても温度の低い領域が見られた。緑化施策の場合においても川崎市のみならず周辺域にも低減効果が見られ、上記の保水性舗装と同様に気温低減への有効性が予想さ

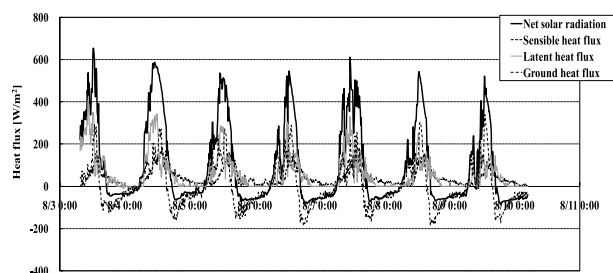


図47 保水性舗装の熱収支解析

れた(図49)。地表面温度についても保水時の温度低下が顕著であったが、緑化時においても気温の最も高い時刻で0.5度程度の温度低減効果が見られた。

2.3.4 都市流域水環境再生のための分散型水処理技術システムの構築

1) バイオ・エコ技術活用の水環境修復対策技術

水環境修復のためには、その国情や地域性を考慮に入れた技術開発が重要で、日本の技術をそのまま持ち込んでもうまくいかない場合が多い。水環境修復の国際協力を行う上において、これまで我が国では一極集中型の下水道整備を中心に専門家派遣や開発調査がなされてきたが、これからは早急な対処が可能な分散型の浄化システムの技術移転が有効である。このようなことから(独)国立環境研究所ではバイオ・エコエンジニアリング研究施設において開発途上国に適応可能な水改善技術の研究開発が実施され、国際的ネットワークの拠点となって推進されている。

また、生活排水処理システムとして、従来より一極集中型の下水道が主流を占めてきたが、高度に処理を行いオンサイトで処理水を環境中へ還元する水の涵養可能な分散型の高度処理システムが重要な位置付けにある。これからの生活排水処理システムの整備を図るにあたって

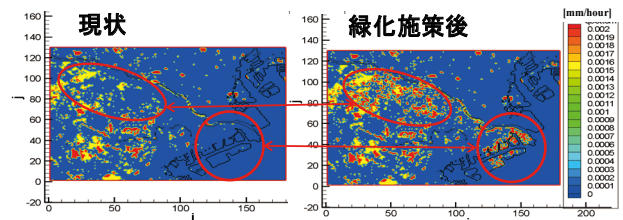


図48 施策導入後の涵養量の変化予測シミュレーション

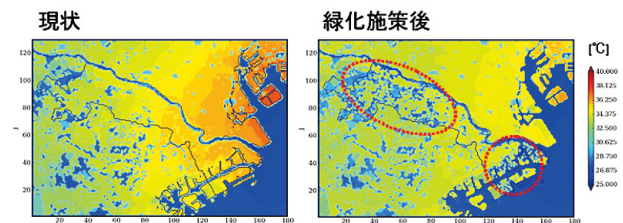


図49 施策導入後の気温予測シミュレーション今後、都市部での産業用水及び家庭用水のプロセス及びダムや運河などの人工構造物による水熱循環へ及ぼす影響を考慮することが都市部における熱緩和対策を行う上で不可欠である。最終的に、国内で検証されたモデルを東アジア地域の拠点都市に適用することを進める。

は、浄化槽等においては当然のこと、下水道においても特に人口非密集地域においては小規模分散型の施設の設置面積を考慮し、流域単位において最も適正なシステムを組み合わせ導入することが必要不可欠であるといえる。さらに、水生植物は、水質浄化機能を有すると同時に、特に抽水植物アシの植栽場においては、土壌表層にメタン酸化細菌が生息し、下層部で発生したメタンを炭酸ガスに変換し、温暖化ポテンシャルを30分の1に低下させる重要な機能を有している。植生による自然浄化機能を維持、増大させていくためには、本来その場に生育していた土着種の利用を原則として、定期的に刈取りを行う等の維持管理の徹底と植生の規模拡大を行うことが重要である。

2) 水環境修復プロジェクトの実践を踏まえた適正化技術構築

①太湖水環境修復モデルプロジェクト技術

中国政府が国家環境重点政策に位置づけているアオコの発生による富栄養化の著しく進行している湖沼のなかでも、最重要課題とされている太湖の環境を修復する方策の基盤モデルを構築することを目的としたものである。ホテルや団地などから排出される生活系排水を処理する高度処理浄化槽の技術を導入したバイオエンジニアリング、および生活系排水等の排出される汚濁水域で水生植物や土壌のもつ自然浄化力が最大限発揮できるように工学の力を導入したエコエンジニアリングのシステム化技術開発が重要な位置づけになっている。この技術開発がモデル地域無錫市に設置されたバイオ・エコエンジニアリング施設で実証化技術開発がなされた。中国の水域の汚濁負荷の55%以上を占める生活排水対策のために、流入負荷量、水温等の環境を制御し短期間で性能を評価する分散型浄化槽の性能評価試験施設が中国バージョンとして整備されたことである。これにより浄化槽の主管部局である、中国国家環境保護部と中国環境科学研究院が中国全土の浄化槽技術開発・普及適正化の先導的役割を担う体制が構築された。

②紅楓湖・百花湖水環境修復モデルプロジェクト技術

平成12年度環境省事業「中国西部地区貴州省紅楓湖・百花湖をモデル地域とした分散型水質浄化対策国産技術の適用可能性調査」として行われたものである。導入された水質浄化装置は、曝気揚水筒、中規模生活系排水浄化システム、小規模生活系排水浄化システム、土壌トレンチである。曝気揚水筒は、増殖藻類は深層部へ運ばれ、

増殖抑制が可能となると同時に、深層部への酸素供給で鉄、マンガン、リン等の溶出を抑えることができ、マンガンの黒水対策、リン溶出防止などにも効果を発揮することがわかった。また、処理施設の敷地に余裕があるところではBOD、窒素、リンの除去に優れ、維持管理が容易で設置費用も安価な土壌トレンチが適しており、設置敷地を広くとれない都市・近郊部や処理水量の多い工場団地等では高度処理浄化槽システムの有効性が示唆された。

2.3.5 資源循環技術・政策インベントリ

中国における循環経済政策、とりわけ資源・エネルギーを多く消費する大都市における省資源・省エネルギーの推進が重要な課題となっている。しかしながら、循環経済の推進が国家的政策課題として声高に言われる一方で、省政府や市政府ではその推進の具体策に欠けているのが実状である。現在我々は、中国有数の産業拠点都市のひとつである大連市や瀋陽市を対象とし、都市で発生する廃棄物資源の有効利用策について、市の一般廃棄物行政の実状と産業拠点としての資源循環の可能性を考慮する中で研究を進めている。

大連理工大学との連携研究により、大連市の一般廃棄物の発生量および廃棄物行政の実態調査を実施した。大連市における一般廃棄物の発生量は、2002年の70.7万トンから2006年には100.3万トンに達している。

現在、発生する一般廃棄物の大半が無害化処理され、埋立処分されているが、処分場での可燃性ガスや浸出水の発生、処分場の残余年数の問題は深刻である。このような大都市での廃棄物問題に対処するべく、中央政府は第11次5カ年計画で焼却施設の建設を国家計画として予算計上している。大連市では、処理量1500トン/日の流動床式焼却炉の建設が進められている。同施設では、焼却熱を利用した廃棄物発電も予定されている。一方、産業での廃棄物資源利用を考慮した場合、市内に立地するセメント産業がその候補の一つに挙げられる。セメント産業は、その生産プロセスの特徴上、古くから様々な廃棄物を原・燃料として活用している。大連市は中国へのセメント外資の進出地の一つとしても知られている。

このような大連市を取り巻く廃棄物行政の実状、さらには市内での産業の可能性を考慮し、現在の3つのケース:①現状のままの廃棄物行政が進められる「傾向延長」ケース、②予定されている廃棄物焼却発電施設が建設・

運用された「廃棄物発電導入」ケース」、③市内のセメント産業を循環型製造施設に更新し、都市で発生する一般廃棄物の中の動物の骨類や廃ゴム・プラを回収し、セメント製造の原・燃料として利用する「都市-セメント産業共生」ケース～を設定し、関係する廃棄物焼却・発電施設および循環型セメント製造施設の技術インベントリの整備と、これらインベントリに基づく各ケースの定量評価を進めている。

持続可能な発展のための世界経済人会議のセメント産業部会（WCSO CSI）が取りまとめた報告によると、中国のセメント産業は 1.0kg のセメント製造に伴って 0.90kg の CO₂ を排出している（2000 年平均）。一方、同年の日本のセメント産業の値は 0.73kg である。平成 19 年度に収集・整備した大連市の廃棄物統計と技術インベントリの情報にもとづく試算では、大連市の一般廃棄物からは、年間約 26.3 万トンの代替燃料（バイオマス燃料 17.4 万トン、代替化石燃料 8.9 万トン）を回収可能である（2006 年時点）。また、大連市のセメント製造業の CO₂ 排出原単位を中国の平均的な値（= 0.90kg-CO₂/kg）と仮定し、これがわが国で稼働する循環型製造技術に置き換わったと仮定すると約 27% の CO₂ 削減が可能となる。ただしこれらは現時点での試算である。

継続して現地情報と技術インベントリの収集・整備を進め、算定プロセスと算定における仮定を厳密なものにし、算定結果の精緻化を図る予定である。また併せて、同算定フレームワークを他の産業拠点都市へ適用した。

すなわち、中国瀋陽市で 2 つの循環技術を分析・評価し、環境保全上の利点に差異をもたらす主要なパラメーターを同定してシミュレーション分析を行った。これらの技術には、プラスチック・リサイクルによるコンクリート型枠の製造や、有機性廃棄物の嫌気性消化による電気の生産などがある。現在の瀋陽では、埋め立てが唯一のごみ処理法であるが、日本では 3,800 万トン以上の都市固形廃棄物が焼却処分されており、直接埋め立てされているのは 120 万トンだけである。川崎市の場合、すべての可燃性廃棄物が焼却処分され、その灰が埋め立て処理されている。一般的に、プラスチックと有機性廃棄物の両方で、焼却処理は埋め立てよりもライフ・サイクル・インパクトが小さい。最も顕著な統合エネルギー強度の差は、電気におけるものである。電気における統合 CO₂ 排出は、日本においては 0.555 kg/kWh である (MoE

& METI, 2006) が、中国北東部では 1.1 kg/kWh である。電気の生産において石炭の使用比率が高いため、統合エネルギー強度が高いほど環境への影響が大きい。日中両国環境省間での「環境にやさしい都市」連携への研究情報発信を進めて、川崎市と瀋陽市での評価システムの検証と実用的な技術政策シミュレーションの構築を進めて政策情報の出力を行った。

また日中企業に環境配慮型の経営（Green Supply Chain Management; GSCM）についてその促進要因を解析した。中国政府による国内の法規制が十分に整備されていないという現状を示唆することができた。そこで、「循環経済促進法」や「クリーナープロダクション促進法」などといった法規制における具体的な措置の提示はもちろんのこと、その執行を中心的に担う個々の企業及び地方政府部門の意識改革を進め、国内の法規制に基づく着実な GSCM を推進する必要がある。その際に、日本企業の GSCM を推進させてきた廃棄物と資源の有効利用に関する法規制等が参考になるであろう。さらに、市場原理に基づく循環型社会の形成を上手く法規制に組み込んでいくことが重要となるであろう。また、現時点で不十分な国内外のステークホルダーとの連携を実現するためには、日本をはじめ先進国企業の多くが既に導入している自主的な環境マネジメントシステムの採用だけでなく、企業の社会的責任（CSR）の推進といった GSCM の実施手法は、有用となる。さらに、グリーンサプライチェーンを通じた GSCM のグローバルな展開趨勢を考えると、GSCM に向けた対策の対象が組織内部に留まることなく、ステークホルダーを巻き込んだ資源回収や環境配慮型設計といった民間企業主体の能動的な対策を進めることが、国や行政による推進を超えた循環型社会の形成における今後の鍵となることがあきらかになった。

3. まとめ

本プロジェクトでは、東アジアにおける広域の水環境を評価するため、新たに開発・導入された観測・計測機器・技術等による現地観測の実施、最新の衛星データ・リモートセンシング技術の活用、および GIS による水・熱・物質循環を考慮した環境情報データベースを構築してきた。これらの知見に基づき、サブテーマ 1 では、長江流域圏における水・物質循環を評価するモデルの構築及びシミュレーションを実施した。サブテーマ 2 では、

東シナ海陸棚域環境・生態系の変調把握を目的とした航海調査および現象再現・将来予測のための数理モデル開発を行った。サブテーマ3では、アジアの拠点都市における環境管理の技術インベントリを整備し、持続性評価指標体系を構築することにより、技術導入効果に基づく適切な技術システムと政策プログラムを評価した。各サブテーマの成果を具体的にまとめると次のとおりである。

サブテーマ1において、衛星データ、GIS、観測データおよび現地調査等に基づく、長江流域圏における環境情報データベースを構築した。そのため、気象、地形、土地利用のデータのほかに、水文、水質および人間生活や社会経済的なインベントリデータを収集した。また、気象・地形・土地被覆などの自然条件と人間活動の相互関係について検討した上で、流域圏水・物質循環評価モデルの統合化を行った。モデルの検証や適用を含めた共同研究体制を確立するために、中国水利部長江水利委員会や中国科学院と共同研究体制を構築した。モデルシミュレーションによって2001～2010年の10年間に長江流域圏からの水・窒素・リンなどの汚濁物質の負荷流出量を算出した。その結果、長江の河口域での年間総流量は939.1km³で、河川によって運ばれた有機態窒素は17.5万トン/年、硝酸態窒素は180.9万トン/年、アンモニア性窒素は16.7万トン/年という結果となった。既存の研究による推定結果と比べると、ここ10年間の硝酸態窒素は1980年代の約3倍に、亜硝酸態窒素は約2倍に、そして、アンモニア性窒素は約30%増大した。

サブテーマ2では、陸棚域で環境劣化の兆しと考えられる渦鞭毛藻 *Prorocentrum dentatum* 優占化の定量評価、中国沿岸から陸棚域への栄養塩・浮遊生物輸送動態を再現する数理モデル開発と数値トレーサ実験、*P. dentatum* 出現動態の特徴である密度躍層付近への集積を再現する生態系モデルの開発を行った。2007年6月の調査データの解析の結果、当該調査期間の有光層内クロロフィル a (Chl.a) は長江希釈水の影響を受けた水域で他の海域(台湾暖流域、黒潮分流域)の2倍と高く、また同水域の有光層 Chl.a の46.5%が *P. dentatum* 由来であることが明らかになった。本種の出現水深は密度躍層付近であり、陸棚底層水に含まれる栄養塩類の獲得により群集を維持していることが示唆された。数理モデルでは、3次元流動・水質・底質予測モデルを構築し、国内フィールド再現計算を通じてその妥当性を吟味した。

さらに、流動モデルを応用して陸棚域の水塊形成に関する数値トレーサ実験を行ったところ、過去に渦鞭毛藻の高密度発生を観測した海域の水塊は台湾暖流の影響を強く受けること、当該海域北西部の表層水塊は長江希釈水の寄与が無視できないことを明らかにした。

サブテーマ3において、統合型陸域生態系モデルを基に、都市スケールの水・物質・エネルギー解析の鉛直一次元建築・都市・土壤連携モデルのプロトタイプを構築し、シミュレーションを行った。循環形成の産業システムの環境フラックス分析の方法論を開発することにより、都市と産業を包括する環境技術・政策・ビジネスのインベントリの導入効果を定量的に評価した。さらに、共同研究を推進している中国科学院瀋陽応用生態研究所等との連携を活用して、都市の上下水道、河川、沿岸域、および地下水位水質分布、降水量、都市排熱、気温等の都市環境のデータを統合的なGISデータを入手・整備するとともに、拠点都市を対象として、陸域統合型モデルに新たに都市モデルを結合した水・物質・エネルギー統合型モデルのフレームを作成した。

引用文献 PJ2

- 1) Liu C., Watanabe M., Wang Q-X. (2008) Changes in nitrogen budgets and nitrogen use efficiency in the agro-ecosystems of the Changjiang River basin between 1980 and 2000. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 80(1), 19-37.
- 2) 国家海洋局 (2011) : 2010年中国海洋環境状況公報, <http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/hjgb/webinfo/2010/06/1305507673142596.htm>.
- 3) 顾宏堪, 马锡年, 沈万仁, 等. 长江口附近氮的地球化学——长江口附近海水中的硝酸盐和铵. *山东海洋学院学报*, 1982, 12 : 31-38.
- 4) Pu X, Wu Y, Zhang Y. Nutrient limitation of phytoplankton in the Changjiang Estuary, I. Condition of nutrient limitation in autumn. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22 (4): 60-66.
- 5) 孟伟, 刘志刚, 王丽平. 长江口及其邻近海域营养盐特征及其对初级生产力的影响. *中国海洋学会赤潮研究与防治学术研讨会论文集*. 北京: 海洋出版社, 2007.
- 6) Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R.

- Williams. 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model Development. *J. American Water Resour. Assoc.* 34 (1): 73-89.
- 7) Arnold, J. G., and N. Fohrer. 2005. SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrol. Process.* 19 (3): 563-572.
- 8) Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.* Rome, 1998.
- 9) 劉晨, 王勤学 (2010) 中国農村地域における窒素フローの変動および水環境への影響評価. *環境科学会誌*, 23 (4), 259-267.
- 10) (独) 国立環境研究所. アジア自然共生研究プログラム (中間報告) 平成 18 年～ 19 年度 (96P) SR-85-2008.
- 11) Wang Q-X, Xiao Q-A, Liu C., Wang K-L, Ye M., Lei A-L, Song X-F, Kohata K., 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*, 09/2011; DOI: 10.1002/jsfa.4607.
- 12) 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.
- 13) Wang J-N, Yan W-J, Jia X-D, et al. 2006. Modeling the export of point sources of nutrients from the Yangtze River basin and discussing countermeasures. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 26 (4): 658-666.
- 14) Duan Shuiwang, Zhang Shen, Chen Xibao et al. Concentrations of nitrogen and phosphorus and nutrient transport to estuary of the Yangtze River. *Environmental Science*, 2000, 21 (1): 53-56.
- 15) T. Okadera, M. Watanabe and Kaiqin XIU., "Analysis of Water Demand and Water Pollutant Discharge using a Regional Input-Output Table: An Application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China", *Ecological Economics*, Vol. 57, Issue 2, 221-237, 2006. (doi: 10.1016/j.ecolecon.2005.07.005)
- 16) 岡本信広, 興津正信, 岡寺智大, 中国の水問題は解決可能か? -産業連関モデルからのアプローチ-. *東アジアへの視点*, 21 (1), 41-52, 2010.
- 17) Okadera T., Watanabe M., Okamoto N., A regional inventory of water demand and water pollutant discharge in the Yangtze River and China as a whole based on an inter-regional input-output analysis model. 18th Int. Input-Output Conf., Abstracts, 44-45, 2010.
- 18) Mackey, M. D., Mackey, D. J., Higgins, H. W., Wright, S. W. (1996): CHEMTAX - A program for estimating class abundances from chemical markers: Application to HPLC measurements of phytoplankton, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 144, 265-283.
- 19) Montagnes, D. J. S., Berges, J. A., Harrison, P. J., Taylor, F. J. R. (1994) Estimating carbon, nitrogen, protein, and chlorophyll-a from volume in marine-phytoplankton, *Limnol. Oceanogr.* 39, 1044-1060.
- 20) Wang, B. D., Wang, X. L., and Zhan, R. (2003): Nutrient conditions in the Yellow Sea and the East China Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58, 127-136.
- 21) Yong Geng, Bruce Mitchell, Fujita T., Nakayama T.: Perspectives on small watershed management in China: the case of Biliu, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17 (2): 172-179, 2010.
- 22) Chin K., Haight. E. M., Yong G., Fujita T.: Managing municipal solid waste from a system perspective: a comparative study of Dalian, China and Waterloo, Canada. *Sust. Dev.*, 18 (5), 282-294, 2010.
- 23) Yong Geng, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen; Evaluation of Innovative Municipal Solid Waste Management through Urban Symbiosis: A Case Study of Kawasaki, *J. of Cleaner Production*, 2010.
- 24) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Yong Geng, Emiri Nagasawa; Realizing CO2 emission reduction through industrial symbiosis: A cement production case study for Kawasaki, *Journal of Conservation and Recycling*, 2010.
- 25) Xudong Chen, Yong Geng, Tsuyoshi Fujita; An Overview of Municipal Solid Waste Management in

- China, *Journal of Waste Management*, vol. 30, pp. 716-724, 04, 201021.
- 26) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita; Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas, *Landscape Urban Plan*, doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.02.003, 2010.
- 27) 橋本禪, 若林諒, 孫穎, 陳旭東, 藤田壯, 耿涌; 中国大連市の一般廃棄物管理施策を対象とした循環経済社会シナリオの設計と評価, *環境システム研究論文集*, Vol.37, pp.301-310, 10, 2009.
- 28) Chin K., Fengming X., Geng Y., Fujita T.: The potential environmental gains from recycling waste plastics: Simulation of transferring recycling and recovery technologies to Shenyang, China. *Waste Managment.*, 31 (1), 168-179, 2011.
- 29) Zhu Qinghua, Yong Geng, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto; Green supply chain management in leading manufacturers: Case studies in Japanese large companies, *Management Research News*, 33(4), 04, 2010.
- 30) 孫穎, 渡邊雅士, 藤田壯: 中小企業の環境配慮型経営の促進要因に関する実証分析, *環境情報科学論文集* 22号, pp.183-188 2010.
- 31) 孫穎, 渡邊雅士, 藤田壯: 中国企業の環境配慮型経営の影響要因に関する実証分析-瀋陽市におけるケーススタディ, 第38回環境システム研究論文発表会講演集 pp.1-8 2010.
- 32) 孫穎, 渡邊雅士, 森晶寿, 藤田壯, 宮寺哲彦: 環境配慮型経営の展開と推進要因: 日中企業の国際比較, *環境科学誌*, 2011.

IV. 中核研究プロジェクト3：流域生態系における環境影響評価手法の開発

1. 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

メコン河はインドシナ半島を流れるアジア最大級の国際河川である。その流域を含む東アジア地域に、日本は天然資源・農水産物・繊維製品等の多くを依存している。近代以降、水、エネルギーおよび生物の天然資源として、国際的にメコン河開発への強い興味が持たれ続けてきた。その流域において、都市化・工業化・農業及び肥料を多用する農業の近代化やダム建設によって自然が急速に失われつつあり、農業・工業・生活による水資源の枯渇と水質悪化や水生生物等の生物多様性の減少が危惧されている。具体的には、本流上流部に位置する中国、中流域のラオスおよびタイの支流のほとんどにおいてダムが建設中または建設計画がある。メコン河流域諸国においては、水不足あるいは水質悪化は避けられず、汚染などによる利用可能な水資源の減少や水生生物多様性の減少がおけると予想されている。

日本を含む東南アジア地域の自然と共生した持続的発展のためには、科学的知見を政策に反映させてゆくことが必要とされている。

1.2 研究の目的

持続可能な自然と共生する社会を実現するため、東南アジア・日本を中心とした流域生態系における環境影響評価手法の開発を行い、国際プログラム間のネットワークを構築し、国際共同研究による流域の発展に必要な科学的知見を提供する。主に国際河川・メコン河の流域の環境動態の解明、淡水魚類相の実態解明を行うこと等により、ダム建設等の生態系影響評価を実施することを目的とした。

そのため、特定流域の高解像度の土地被覆分類図・湿地機能評価図を作成し、流域生態系の自然劣化実態を把握する。代表的生物の多様性・生態情報及び気象・水質等の環境データを取得し、流域生態系環境データベースを構築する。環境影響評価に不可欠な水環境のデータ取得とモデル化並びに好適生息地評価のための景観生態学的手法や河口域生態系への影響評価手法を開発し、流域生態系管理手法を検討する。

更に、国際河川であるメコン河生態系の長期的変動

のトレンドを把握する多国間の国際共同長期モニタリング体制の構築、観測・観察・解析手法の標準化、精度管理システムの構築、関連諸国の水質・生物多様性分野の容量の把握とその向上、データ・情報の共有システムが、GEMS/Water プログラムとの連携の下で確立される。それにより、発展途上国の国際河川管理のための国際共同研究のモデルケースとなり、生物・水資源及び国際河川生態系に関わる地球観測へのアジアからの貢献となる。

1.3 研究計画と構成

本プロジェクトは次の3つのサブテーマの基に研究を進めてきた。

(1) 流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築

メコン河流域全体を対象とした多時期衛星観測データを整備し、タイ東北部における1990～2000年の土地被覆変化に関する予察的な解析を行い、氾濫原や河川地形の現況把握を行った。

メコン河流域全体を網羅した自然環境（地質、土壌、植生、気候、水文など）および人文社会（行政界、人口、交通網、産業統計など）に関する空間データを整備するとともに、各要因の類似性に基づいた地域の類型化を行った。今後、類型地域ごとに、人為による環境影響の特性を整理、検討し、現地調査やモデルシミュレーションで得られた知見を一般化する。

(2) 人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発

対象河川に対して水環境シミュレーションモデルの導入と初期稼働を行った。メコン河流域全体のGIS環境に対応する形で空間情報（土地利用、流域基盤、生物捕獲等）を収集した。

メコンデルタの広範囲に生育しているマングローブ樹種の根圏酸化機能が底質中の物質代謝機構へ及ぼす影響を評価するため、国内外での野外調査および圃場での実験システムを構築した。環境影響評価に不可欠な水環境の情報データの取得とモデル化並びに好適生息地評価のための景観生態学的手法や河口域生態系への影響評価手法を開発するため、国内比較対照地である石垣島のマ

ングロープ林とタイ北部及びメコンデルタにおいて予備調査を実施した。

北タイ地域のメコン河本流および支流における河岸・河床地形、流速、水質、魚類相の現地調査を実施し、硝酸濃度が高くタイ支流からの流入と地形変化により pH や濁度が変動することを明らかにした。定期採水委託により、その地域での水質のモニタリングを開始した。

タイ、ウボンラチャタニ大学と連携し、メコン河支流ムン川の魚類相調査、水質調査、魚類の耳石解析を開始した。同大学との間で MOU を結び、魚類採集をともなう定期モニタリングを行っている。多岐にわたる海外現地調査活動を通し、モデルシミュレーションに資する一次データ取得を始め、継続的なデータサンプル輸入体制や研究組織間のネットワーク等を構築した。

(3) 持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発

メコン河情報共有のため現地 NGO やカウンターパートとのネットワークを作った。主に淡水魚類に関する既存データ、またダム建設に伴って実施されたであろう環境アセスメントの報告書などを収集した。

アジア国際河川生態系長期モニタリング体制の構築

- (1) 流域国のキャパシティ調査・向上とモニタリング手法の開発：水質、生物多様性（藻類・水生植物、水生無脊椎動物、魚類）、水循環解析、有害化学物質のモニタリングに対する流域各国のキャパシティ（経験、保有機材、人材など）調査を行い、研修と試験モニタリングを行い、モニタリングマニュアルの作成と水質分析精度向上及び生物材料同定精度管理体制の構築を目指した検討を行った。
- (2) 生態系情報・モニタリングデータ共有システム構築：メコン河の水質や生物多様性に関する既存情報を収集し、体系的に整理・解析を行った。また測定データの受領から利用までのプロセスが容易になるデータの共有・公開システムの構築の検討を行った。
- (3) 国際ワークショップの開催：当該研究担当者と流域諸国の関係研究者にて情報を共有し、上記について検討を行い、基本的な合意事項を決定した。

日本、タイの環境 NGO 等とメコン河流域住民との環境影響評価に関するヒアリングを行い、問題点の抽出を行った。メコン河上流の中国国内で環境ジャーナリスト、研究者による現地視察を行った。

2. 研究の成果

2.1 流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築

広大なメコン河流域は、低湿地から盆地、山地にかけての多様な景観構造を持つ。そのため、人為開発の影響を受ける側の生物学的あるいは非生物学的環境の応答特性には、大きな地域差があると考えられる。また、統治機構の変遷履歴や社会経済基盤の整備状況の違いから、人と自然の関わり方が時間的にも空間的にも激しく変容している。こうした点を踏まえ、サブテーマ (1) では、メコン河流域において時差を伴いながら多発的に進められる人為開発とその影響を評価するための基礎資料として、当該流域全体を網羅した、詳細な土地利用 / 土地被覆データを、多時期にわたって整備することを目的とした。

2.1.1 メコン河の流域環境

メコン河流域データベース (Mekong DGB) を完成させた。その構築の目的としては、1) メコン河流域全体の概況把握、2) 水系や地理的に伝搬する各種開発行為の影響評価、3) 研究成果を蓄積、管理することであった。空間単位として、流域全体を約 1 万 (約 9x9km) の小流域に分割した。

このデータベースはポリゴンやラインといった空間データ、属性データを持つデータ構造をもち、一般に公開する手続きを進め、使いやすい地理空間データ閲覧ツールを無料でバンドルし、流域国住民が使えるようにした (図 50)。

次に作成したデータベースを国際比較致した (図 51)。全球的な地理データベースである USGS や当研究所のものと比較して、メコン河流域に特化して作成した Mekon GDB は、地理精度、確度、属性データの品質が高く、小流域の空間関係を持った優れたデータベースとなった (図 52)。

メコン河流域全体を網羅した衛星観測データ、自然環境 (地質、土壌、植生、気候、水文など) および人文社会 (行政界、人口、交通網、産業統計など) に関する空間データベースを構築した。

年平均気温の分布 (図 53)：メコン河右岸では気温が高く、左岸で低いことが分かる。また源流から河口まで、標高だけでなく緯度も低下するため、気温の地域差も実に 30℃ を超している (出典：CGIAR-CSICRU

2.1Database)。

年平均降水量の分布：ラオスの山岳地帯とカンボジアのトンレサップ川南部で雨が多く、中国など上流域とタイのコラート高原で少ない傾向がある（出典：CGIAR-CSI CRU 2.1Dataset）。

地質：上流域は複雑に入り組んだ地質構造を持ち、褶曲帯を形成する。中流では比較的単調になり、コラート高原は白亜紀の堆積岩、またカンボジアのトンレサップからメコンデルタにかけては第四紀堆積岩で構成される

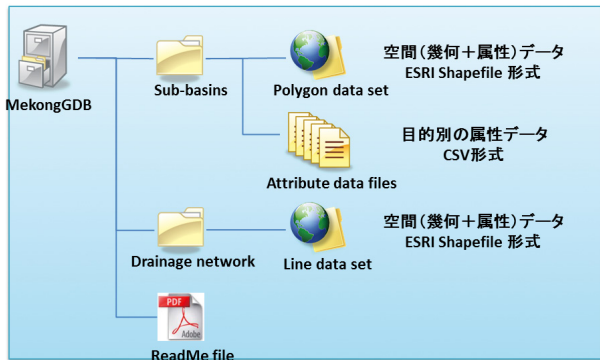


図 50 メコン河流域データベース (Mekong DGB) の構造

(出典：産業技術総合研究所地質調査所)。

土地被覆：パターンは比較的単純で、常緑広葉樹の森と農地とに大きく類別される。カンボジア北東部からラオスのほぼ全域にかけては森林に覆われ、ムン川流域のコラート高原とトンレサップ流域に広大な農地が広がる（出典：MODISMOD12）。

栄養塩：メコン河流域は、雨季と乾季とに気候が明瞭に分かれる。降水量や河川流量も季節変化が大きい

名称*	地理精度	地理確度	属性データ	空間関係	データフォーマット
HYDRO 1k dataset (USGS)	低 (1km)	低	低	無	ESRI ARC/INFO Export format
Mekong basin dataset (IWMI)	低 (1km)	低	低	無	ESRI Shapefile format
Global Drainage Basin Database (NIES-CGER)	低 (1km)	中	中	明確	ESRI Personal Geodatabase format
HydroSHEDS (WWF)	中 (450m)	中	低	無	ESRI Shapefile format
MekongGDB (NIES-AsiaG)	高 (90m)	高	高	特に明確	ESRI Shapefile format

図 51 地理空間データベースの国際比較

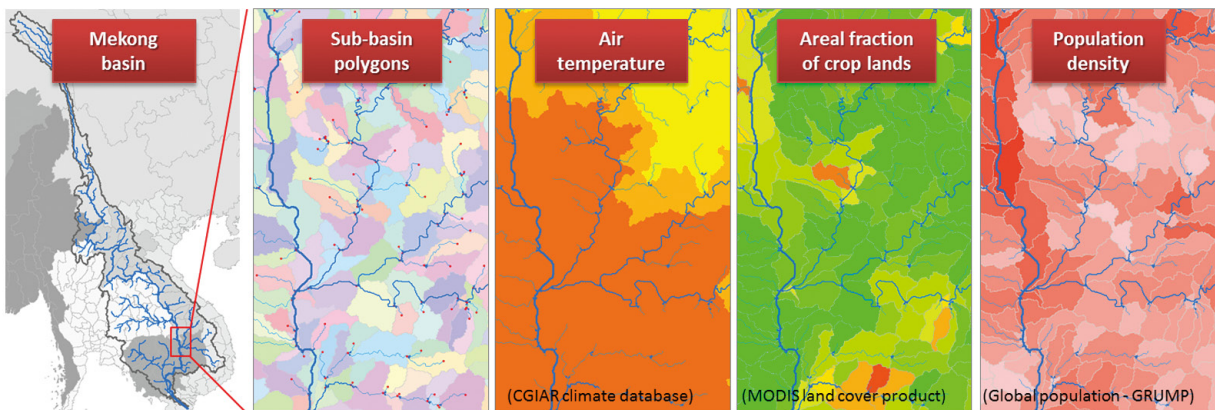


図 52 流域データベース (Mekong GDB) の表現例。

(1) Landsat TM/ETM + 画像を用いて、詳細な河川網データを作成 (2) 河川網データを用いて、SRTM 90m DEM データを補正 (Stream burning 処理) (3) 空間単位として、流域全体を約 1 万 (約 9x9km) の小流域に分割 (4) 自然環境と社会経済状況に関する主題データを集計した。

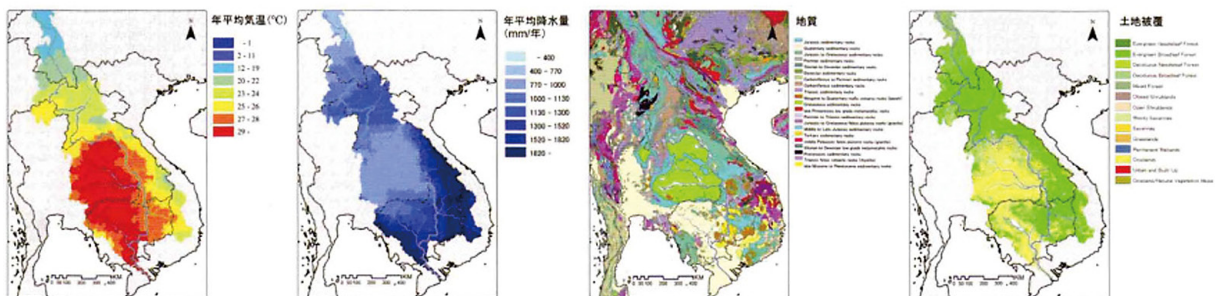


図 53 収集整備した空間データの可視化例。年平均気温、年平均降水量、地質、土地被覆。

ため、河川への汚濁負荷の質と量も変化する。図 54 では 3 種類の栄養塩物質について、3 つの季節に分けて濃度分布を表わした（背景図は人口密度を示す。出典 LandScan2006；Oak Ridge National Laboratory）。地理的にみると、メコンデルタ周辺で計測された栄養塩濃度はいずれも高濃度であった。しかし下流ほど濃度が上昇するという流程方向の変化は顕著でない。例えばタイのムン川やカンボジアのトンレサップでも高濃度の栄養塩が計測された。ラオス南部の支流、またカンボジアのメコン本流が低濃度である。アンモニウムは本流より支流、特に人口密集地で濃度が高い。季節的には、ムン川の硝酸塩とリン酸塩、またラオスのリン酸塩濃度が 11 月に低下している。またアンモニウムは 2-4 月の濃度が他の

時期より高い。コラート高原に広がる農地は世界でも有数の米作地帯で、そこに投入された肥料が、ムン川とその支流チー川に流入し、硝酸塩とアンモニアの濃度を上昇させている可能性がある。一方、人口密集地で濃度の高いアンモニウムは、生活雑排水の河川へのたれ流しが原因であると示唆される。森林からも栄養塩は流出するが、ラオス南部のセコン川流域のように豊かな天然林の残る地域では、栄養塩濃度は常に低濃度であった。河川での栄養塩類の定量的評価や動態の解明は、メコン河に限らずまだ十分に行われてない。河川流量では世界で 10 番目に大きなメコン河なので、その水質の変化は南シナ海に注がれた後の海洋環境にまでも影響を及ぼす。今後、メコン河流域での施肥に関するデータ、あるいは

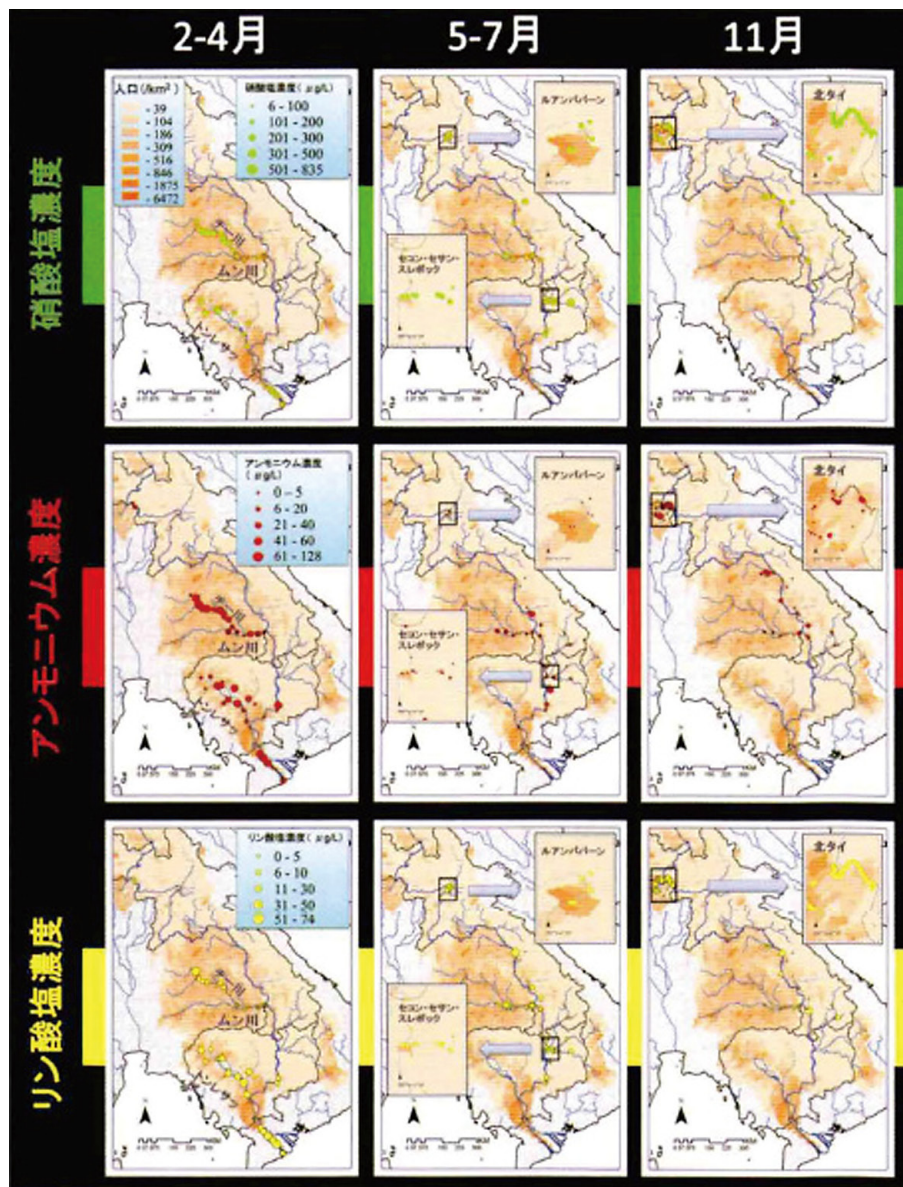


図 54 栄養塩の分布。
背景図は人口密度を示す。出典：LandScan2006；Oak Ridge National Laboratory

水産養殖に関するデータなどを整備し、栄養塩による河川汚濁の実態をより高精度、高解像度で解明する必要がある。

2.1.2 メコン河流域の土地利用

人口増加や経済発展に伴う急速な土地利用の変化とそれに付随した土地被覆の改変は、土地本来の環境に長い年月をかけて適応してきた動植物の生息地を破壊し、生物多様性の減少をもたらす深刻な原因となっている (Goudie 1990; Vitousek et al. 1997; Steffen et al. 2004)¹⁻³⁾。また、広範囲に及ぶ土地被覆改変は、陸域環境だけでなく、降雨流出過程を通じて河川に供給される水や土砂の質と量を変化させ、結果として河川地形や河川生態系にも影響を与える (Wolman 1967; Trimble 1974; Arnold et al. 1982; Trimble & Lund 1982; Nolan et al. 1995; Collier et al. 1996)⁴⁻⁹⁾。

アジア最大級の国際河川であるメコン河流域においては、十分な環境影響評価が行われないまま、各地域の開発需要に応じた土地利用と土地被覆の改変が進められている。局所的な人為開発の影響を評価するためには、詳細な空間分解能を備えた視点が必要である。

そこでこれまで、土地被覆の経年変化と季節変化を広範囲にわたって把握するために、1980年代以降に観測された高頻度衛星観測データ (NOAA AVHRR、SPOT VEGETATION および Terra MODIS) を整備した。これらの時系列データを解析することによって、大規模な土地被覆改変が行われた地点を効率的に検出することができる (Giri et al. 2003)¹⁰⁾。また、土地被覆改変の様相を詳細に把握するために、約10年を隔てた3時期、すなわち、1980、1990および2000年前後に観測された高解像度衛星観測データ (Landsat MSS、TM、ETM+ および JERS-1 SAR) を、当該流域全域にわたって整備した。これらのデータは、河川地形の経年変化を把握するうえでも有効である (Gupta et al. 2002; Gupta & Liew 2007)^{11,12)}。さらに、高解像度衛星観測データと標高データを併用することによって、氾濫原の地形と植生の詳細な判別が可能となることから (Hamilton et al. 2007)¹³⁾、地形の起伏に関するデータ (SRTM DEM) も当該流域全域にわたって整備した。

こうした衛星観測データに加えて、メコン河流域全体を網羅した自然環境 (地質、土壌、植生、気候、水文など) および人文社会 (行政界、人口、交通網、産業統計など)

に関する空間データを整備し、これらを互いに関連付け可能な、冗長のない空間データベースとして、一元管理する仕組みを構築した (図50～52)。また、タイ北部、東北部およびラオス-カンボジア国境地域を対象として、土地利用、土地被覆および河川地形に関する予察的な解析を行うとともに、解析手法の妥当性を検証するための現地調査を実施した。

2.1.3 メコン河本流におけるダム建設の現状

1950年代以降、MRC (Mekong River Commission) はメコン河本流のダム計画を推進し、候補地の調査を実施してきた (図55)。しかし、下流域の国々における政局不安や政治的対立の問題もあり、その多くは1990年代まで凍結状態であった。しかし近年、メコン河本流におけるダム建設計画は再開の兆しがみられる。要因としては、特に中国・タイ・ベトナムにおける電力需要の急増、さらに近年の代替エネルギー価格の高騰があげられる。

メコン河本流におけるダム建設は1990年代以降、上流部の中国国内から始まり、現在もその多くは中国雲南省に集中している。メコン河本流に最初に建設されたダムは1996年完成の漫湾ダムである。最終的に中国政府は14基のダムをメコン河本流に建設するとしている。タイにおいては、パモンダムとバーングムダムの2つのダム建設が現在予定されている。2007年以降、これらのダムを対象にタイエネルギー省が委託した実行可能性調査が進行中である。下流のラオスまたカンボジアにお

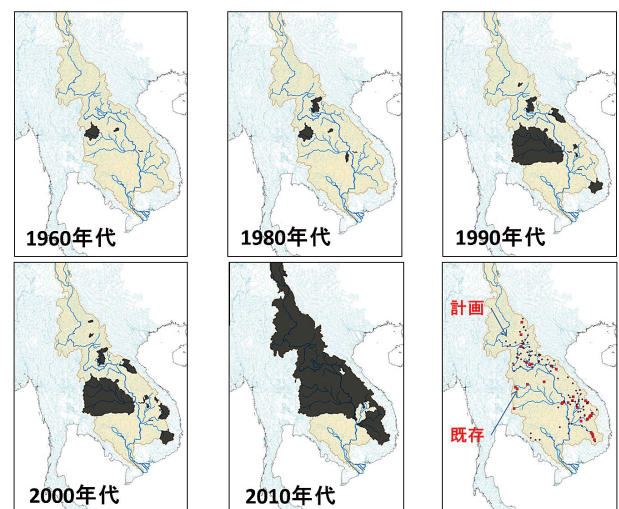


図55 流域データベース (Mekong GDB) を用いて解析したダムで分断された流域の変遷 (年代別)。

いては、1980年頃以降、政局不安定のためダム建設は長く中止されていた。しかし近年、支流を含め複数のダム建設が推進されている。ラオスにおいては、コーン瀑布群にドンサホンダムの建設計画があり、現在実現可能性を調査中である。またサヤブリダムは2011年に建設が開始される予定であったが、2011年末に急きよ当面の建設見送りが決定されている。さらにパクライダムとパクベンダムについても、現在実現可能性の調査中にある。カンボジアでは、サンボーダムの建設計画があり、2006年以降、実行可能性を調べるために地質調査が行われている。このダムは建設オプションが2つあり、発電能力が3300MWと456MWの案が検討されている。

2.2 人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発

2.2.1 メコン河におけるダム建設が季節的な河川氾濫に与える影響

メコン川流域国の特に中国・タイにおいては、急増するエネルギー需要への対応が目下最大の政策課題であり、この課題解決のために建設されている発電用大型ダムは、河川環境に対して幾つかの負の影響を与えている

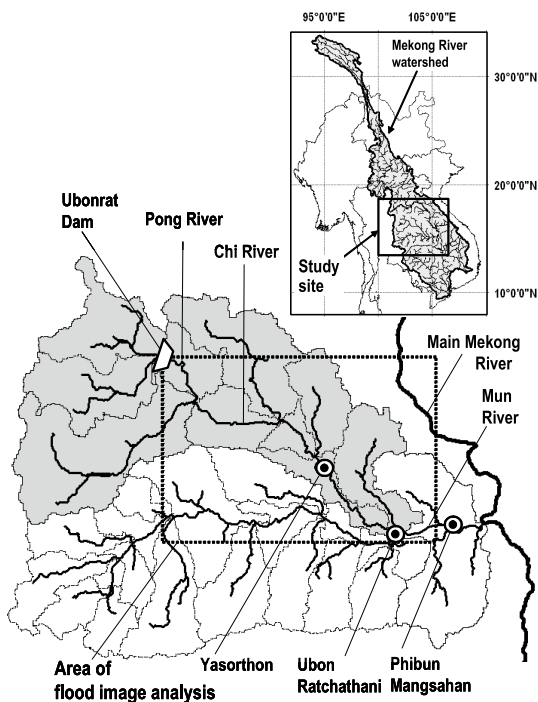


図56 研究対象地。
メコン中流域、タイ中央部に広がる、ムン川 (Mun River)・チー川 (Chi River) 流域 (チー川はムン川の支流)。ウボンラットダムはポン川上流部に1968年に竣工された。

と考えられる。その一つが、モンスーン地域の河川生態系にとって重要な鍵となる河川氾濫である。氾濫は「洪水」という人間社会へのマイナスのリスクを含むと同時に、河川内と河畔域の物質移動をもたらす重要な生態学的機能である。

本研究はメコン河の最大支流であるムン川 (Mun River)・チー川 (Chi River) を対象とし (図56)、その上流に1968年に竣工したウボンラットダムによる環境影響評価に関して、自然氾濫域の縮小という面から定量化を行った。研究では降雨流出シミュレーション・氾濫域解析を行い、流域内各100mメッシュの年間累積冠水日数を基に氾濫域を区分した。モデルはDHI社製MIKE-SHE・MIKE11 (Enterprise) をベースとし、現地調査データを元に、パラメータ決定・データ検証を行った。さらにモデルから得られた氾濫域は、シミュレーション日時と同期して得られた人工衛星画像 (Landsat ETM) を用い、検出精度を確認した (図57a, b)。最終的に、ダムの建設前 (1945年)・建設後 (2002年) の状況において分類された氾濫域の空間的变化を比較した (図57c)。

結果として以下のことが得られた (図58)。1) 氾濫解析による水域抽出結果と衛星画像解析結果では、高い空間的な重なりを示し、精度の高い再現結果が得られた。2) ダム建設以後、ダムの放流量制御により、チー川上流部の特にコンケン周辺において年間最大氾濫域の大幅な減少が確認された。さらに氾濫域においては特に流域の上流部1/3の範囲で年間最大7~40日程度の冠水日数の減少が見られた (Kameyama et al. 2008)¹⁴⁾。

この研究を通し、ダム建設は特に多雨時期の出水抑制という効果がある反面、モンスーン地域の河川が本来保持しているべき自然氾濫機能を低下させるという可能性について確認できた。この出水の緩和 (氾濫抑制) は、人間社会から見れば水害リスクの低減であるが、一方では生態系保全にとって非常に重要な攪乱現象の喪失である。

2.2.2 メコン河本流・支流の水質季節変化モニタリング

北タイ地域のメコン河本流および支流における河岸・河床地形、流速、水質の現地調査を実施した。魚類の環境利用と密接な関連がある河川地形に関する情報を把握するため、メコン川本流の100km区間 (北タイ) において、5km間隔で深淺測量を実施し、5km毎に採

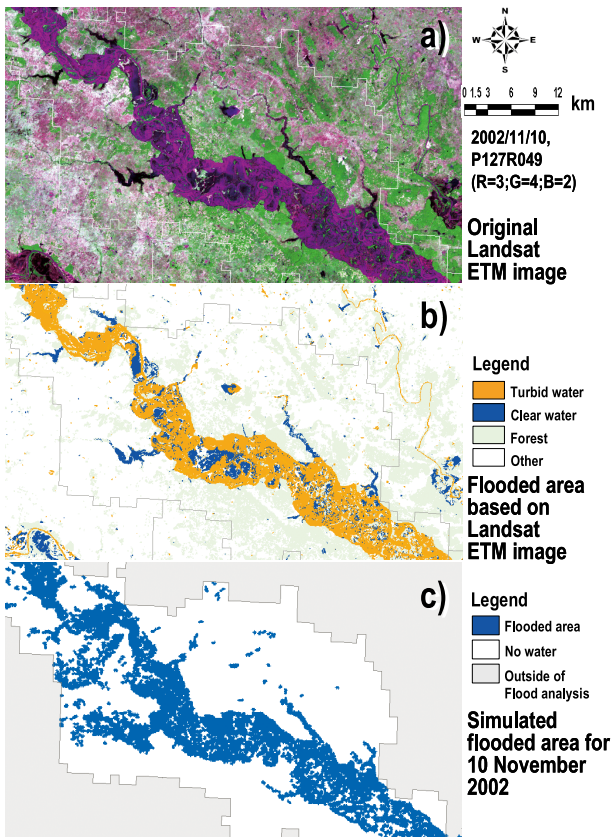


図 57 氾濫解析結果と衛星画像（Landsat ETM）との比較。

a) オリジナルデータの 2, 3, 4 バンドに対し、青・赤・緑をそれぞれ割り当て、水域を強調した画像。
 b) 衛星データから教師付き分類を基に作成した土地被覆分類図。オレンジ色の部分が濁水域、青の部分がそれ以外の水域に対応する。c) 氾濫解析によって抽出された冠水範囲。青の領域が表面に水で覆われている地域を示す。衛星画像の撮影日と氾濫解析の日時は共に、2002年11月10日。表示範囲はタイ中央部のヤソトン（Yasorthon）付近。

水し、水質環境を把握した。比較的メコン河では硝酸濃度が高く、タイ支流からの流入と地形変化により pH や濁度が変動した。北タイのメコン河本流では、川幅の広い地点で粒子の大きな土砂が沈降し、新たに支流から細かい粒度の土砂が供給され、成分の変化が観測された。また、川幅が狭く深くなっている場所では粒度の大きな成分が増加し、懸濁物質が増加したが、その後の幅広い場所で大きな粒子が沈降していた。

北タイメコン河の本流 5 カ所と支流 3 カ所の採水により水質の月 1 度の定期的なモニタリングを実施した（図 59）。2008 年は大洪水、2009 年は 40 年ぶりの渇水年であった。土砂などの指標である濁度は、季節変化や年変動、

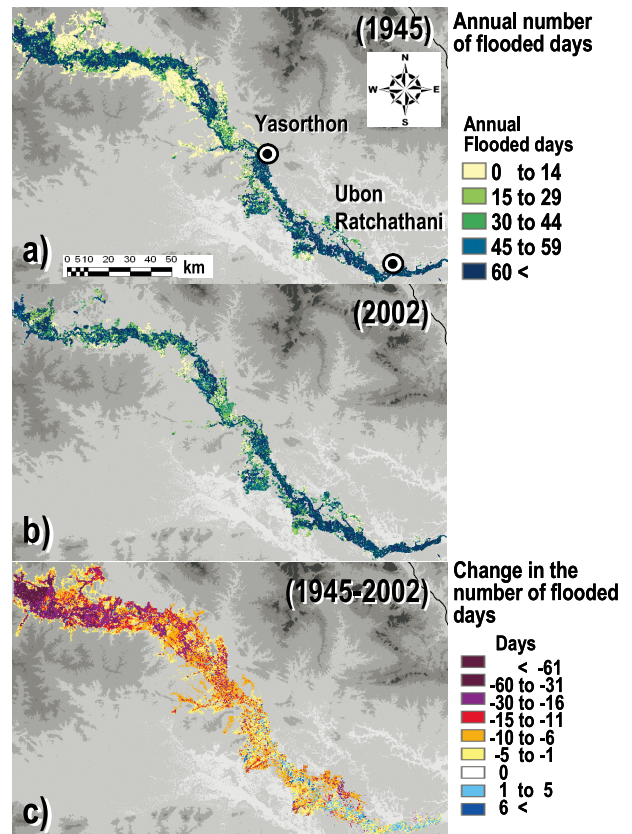


図 58 ダム建設前後の氾濫状況の変化（年間冠水日数による分類）と氾濫域の空間的变化。

a) ダム建設前 1945 年の年間氾濫状況。b) ダム建設後 2002 年の年間氾濫状況。c) 1945～2002 年の期間における、氾濫日数の差分計算によって得られた氾濫日数の空間的变化。

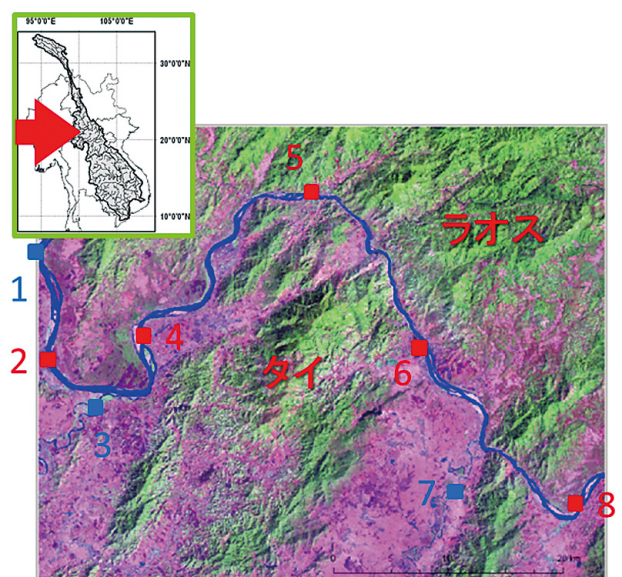


図 59 北タイメコン河での水質モニタリング地点。番号 2,4,5,6,8 (赤) はメコン河本流の採水地点、番号 1,3,7 (青) は同支流の採水地点。

場所による変異は大きい(図 60)、溶存元素濃度の変化はそれ程無く、むしろ支流間の変異が大きい事を見いだした(図 61)。主要溶存元素のうちケイ素、ナトリウム、マグネシウムは支流の濃度が高く、イオウはメコン河本流の方が高いことが明らかになり、北タイの支流と本流の濃度差から魚類の回遊が確認できる環境にあった。定期的なモニタリングを実施し、支流とメコン河との溶存元素濃度の季節性を明らかにした。

2.2.3 ダム建設等が河川動態・流域生態系に与える影響の評価

メコン本流のダム建設がその下流部の河川動態と流域生態系に与える影響について、主に土砂輸送量の時空間的な変動という点から取り扱った。対象としたダムはメコン河本流に最初に建設された漫湾ダム (Manwan Dam)、対象河川区間は、ゴールデントライアングル (ミャンマー・ラオス・タイの国境地点) より下流の約

100km 区間である。また建設前後の比較を行った研究対象年は 1991 年および 2002 年とした。

解析には 3 種類の水文モデル (分布型降雨流出モデル・水文 1 次元モデル・2 次元物質移動モデル) を複合的に用いた。解析モデルは DHI 社製の Mike-SHE、Mike-11Enterprise、Mike21C である。モデル解析のための河川構造は、2007 年と 2008 年のそれぞれ 11 月に現地測量 (水深・流速・流量・河道幅等) を行った。さらに水文パラメータの決定には、1991 年と 2002 年の現地観測データを用い、SCE (Shuffled Complex Evolution) method を基に決定した。Sediment 輸送量に関しては、対象地の upstream 端付近 (Chiang Sean) における現地河川水のサンプリングデータを基に L-Q 関係式を求め算出した。

研究では、ダム建設と対象期間内の流域構造変化の影響を対象とするために、二つの時代のモデル流域 (1991 年と 2002 年) に同一年 2002 年の雨を与えた。そして、対象区間における流量・土砂送流量の時空間的な変化を解析した (Kameyama et al. 2012)¹⁵⁾。

結果として、2002 年と 1991 年を比較した場合、2002 年条件の流量の季節変化においては、雨季後半の減水期間における時間的な遅れが見られた (図 62)。この結果土砂の流送量にも時期的な変化が確認された。特にここでは 8 月以降の雨季後半における土砂移動量の増加が顕著であった (図 63)。また年間土砂収支に関しては、対象河川区間が全体として土砂の生産域であり、大部分が 7～9 月の雨季に下流に移動していることが確認できた (図 64)。

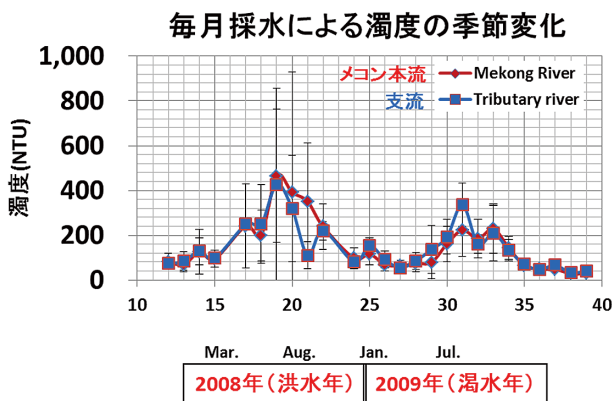


図 60 北タイメコン河本流と支流での水質モニタリング (濁度)。

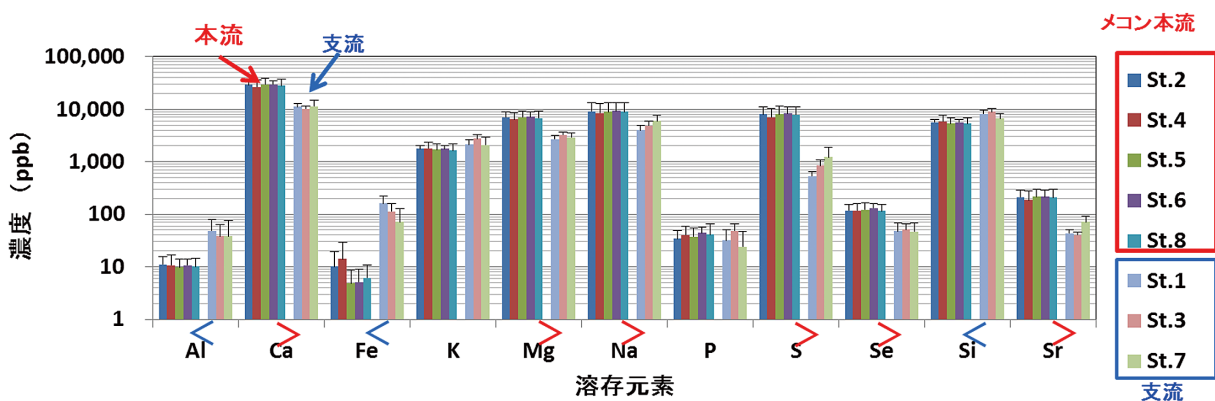


図 61 北タイメコン河本流と支流での水質モニタリング (溶存元素)。メコン河本流 (左) と支流 (右) 各元素の平均値と季節変化 (標準偏差)。季節変化よりも本流・支流間の違いが大きい。

2.2.4 メコン河本流の魚類生息地評価

メコン川本流の上流域におけるチェンセン (Chiang Sean) 下流部の約 10km 区間において、魚類の生息地評価モデルの開発に関する調査研究を実施した。2008 年 11 月に行った現地調査では、チャーターしたボートに GPS・ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)・魚群探知機をセットし、水深・流速・生息魚類数 (魚群探知機の魚影数) の情報を同時に記録した (図 65, 66)。さらにデータベース構築では、カーブリアグリッド・氾濫域標高データ・河床地形データを統合し、3次元の解析空間を再現した。このデータを基に河道内の 2次元流動モデル (Mike21C) を利用し、2008 年の一年間にわたる流速分布シミュレーションを行った (図 67, 68)。これら二つのデータ (河川内物理情報と魚類生息情報)

を基に、魚類調査当日の統計的な生息地評価モデルを作成した。最終的にモデル計算結果を GIS データ (Mike21C 中のカーブリアグリッド) に反映することで、対象河道区間内の魚生息地の推定を行った。(図 69)。

2.2.5 水中微量元素濃度による河川の判別関数分析

流域スケールでの水質モニタリングに関する結果の一部を示す。周期表で Li から Ba までの溶存微量元素は小流域間で地理的変異があった。例えばストロンチウムなどは地域によって広い変動幅を示した (図 70)。

メコン河流域の水中微量元素濃度による河川の判別関数分析を行った (図 71)。その結果、全 14 元素で小流域を 90 % の確率で判別でき、各元素の対 Ca 比では 70 % の確率で判別に成功した。溶存元素をもとにメコ

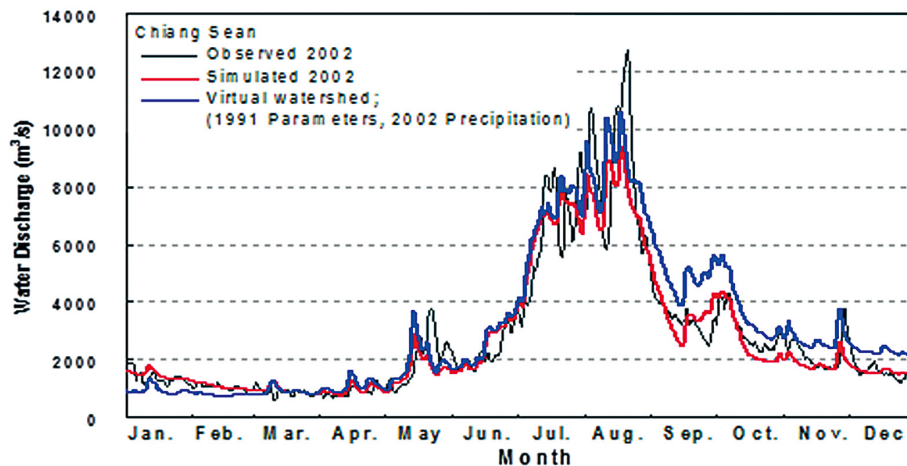


図 62 メコン本流のチェンセン (Chiang Sean) における年間の流量再現結果と実測値データ。

黒線：実際の観測流量。赤線：2002 年の年間流量の再現結果。青線：Manwan ダム建設前の仮想的なダム無し (1991 年の流域パラメータに 2002 年の降雨分布データを与えてモデル計算) の再現計算結果。

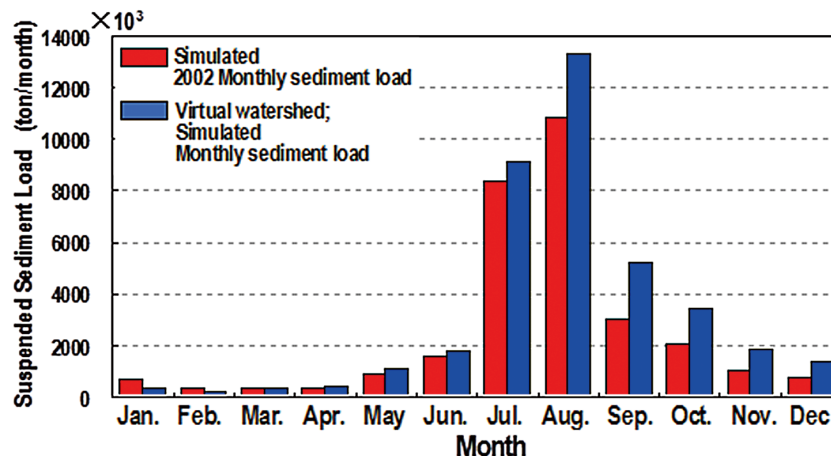


図 63 メコン本流のチェンセン (Chiang Sean) におけるダム建設前後の通過土砂量の年間変動の比較。

赤：2002 年の土砂通過量。青：1991 年流域構造 (ダム無し) に 2002 年の降雨を与えた仮想的条件の土砂移動。

ン川の主な支流が判別できることが示された（図 72）。

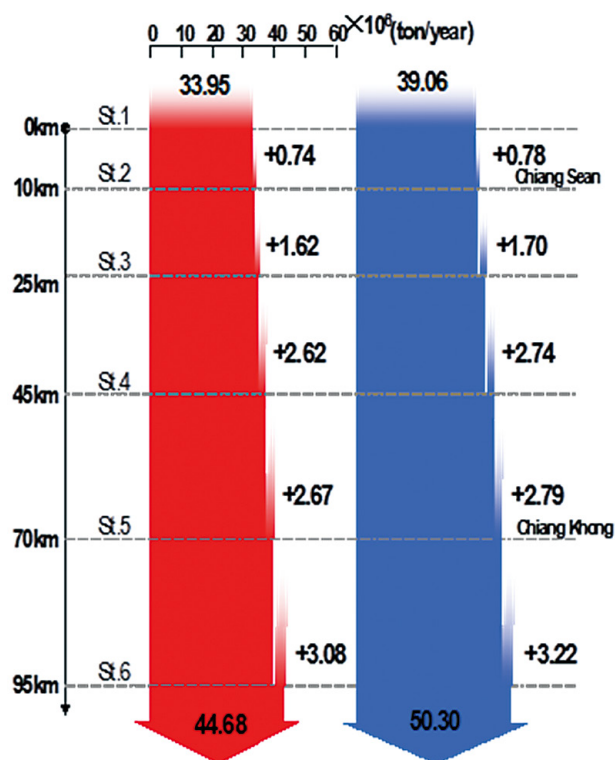


図 64 ゴールドentraライアングル下流約 100km 区間のメコン本流における土砂移動量の縦断変化とダム建設前後の数値実験による比較。赤:2002年ダム有り、青:1991年の仮想的な(ダム無し)流域構造条件。

2.2.6 ダムによる魚類への影響評価、建設予定ダムのリスク評価

数多くの回遊魚が生息するメコン河の淡水魚がその流域をどのように回遊しているか、さらにその回遊がダム建設によって阻害されていないかについて研究を進めた。耳石は成長するにつれて円周状に結晶化し、円周上に「成長の跡」を残すため、魚の年齢構造や成長履歴などを追跡する良い指標とされている（図 73）。

この性質をメコン河の回遊魚に応用し、ダムによる生息地分断の影響を予測するため、回遊経路の推定を試みた。回遊魚は、異なる元素濃度の河川や湿地で成長し、その履歴が耳石の元素成分の存在比として、十分な精度で記録されていることが、レーザーアブレーション装置付き質量分析計 (LA-ICP-MS) によって裏付けられた。

メコン流域の 1～5 番の地域で採集したコイ科魚類 (*Henicorhynchus siamensis*) の耳石中 Sr:Ca および Ba:Ca 比を示した (図 74)。それぞれの地域で元素比プロファイルが個体間で似ることから、本種が群れを成して回遊することが示唆された。また少なくとも 5 番の地域のように、Sr プロファイルが U 字型を示すことは、誕生した地域に本種が成熟して戻ってきている (母川回帰) ことを示唆する。



図 65 調査用チャーターボートによるメコン河本流 (北タイ、チェンセン下流部) における現地観測。GPS、ADCP、魚群探知機をセットし、河道内の流速、流化方向、水深、魚類生息状況に関するデータを同時に取得。

2.2.7 沿岸地域における生態系・環境変動要因の解明

ここでは、詳細な土地被覆分類図と湿地分類図および湿地の機能評価モデルの作成を目指した(図75)。広大なメコンデルタには、約30種のマングローブ林樹種が分布する。上流でのダム開発などの土地改変は土砂の流出量を変化させ、最下流域での土砂堆積が変化すると予想された(図76, 77)。近年デルタの拡大が少なくなり、ある場所では浸食が起きていることが明らかにされた。

2.2.8 メコンデルタ・マングローブ生態系

マングローブ生態系の減少と劣化は世界レベルで注目されている課題であるが、メコンデルタにおいてもこの50年間に約80%のマングローブ生態系が消失している。マングローブ生態系の劣化は沿岸地域の人々の生活へ直接大きな影響を及ぼすため、ベトナム政府はマングローブの保護と維持を提唱している。メコンデルタのマングローブ林が他のマングローブ林と異なる点は、ベト

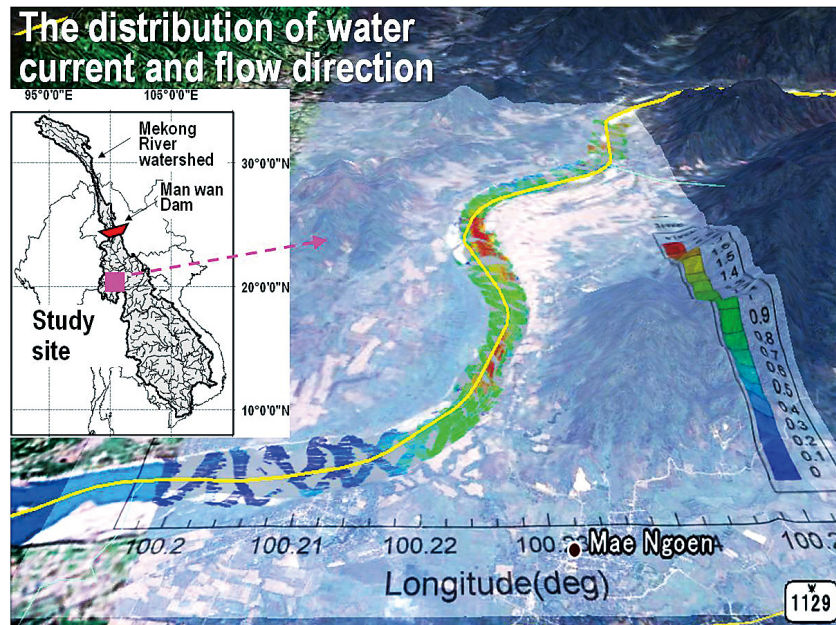


図66 ADCPによって測定されたメコン河本流の河川流速および・流化方向の分布(2008年11月16~17日)。

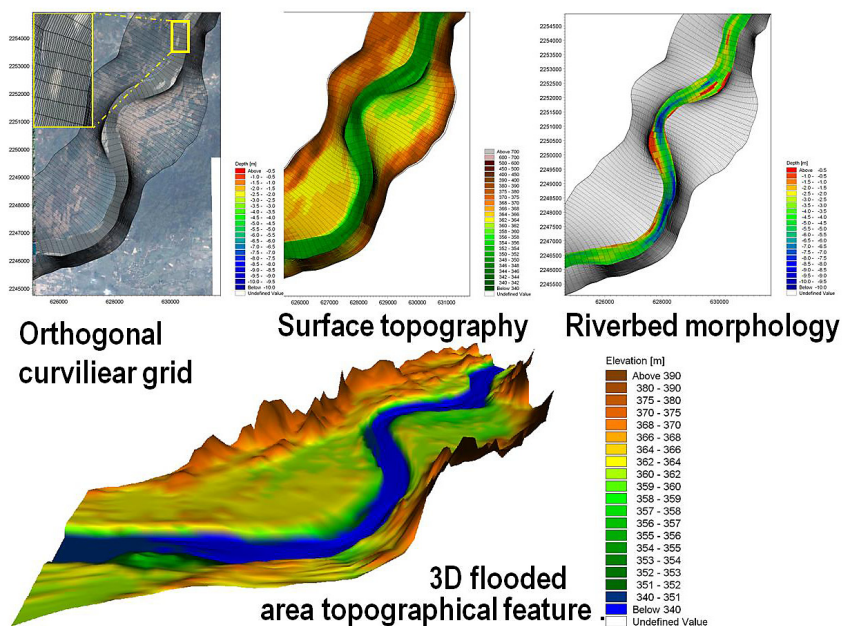
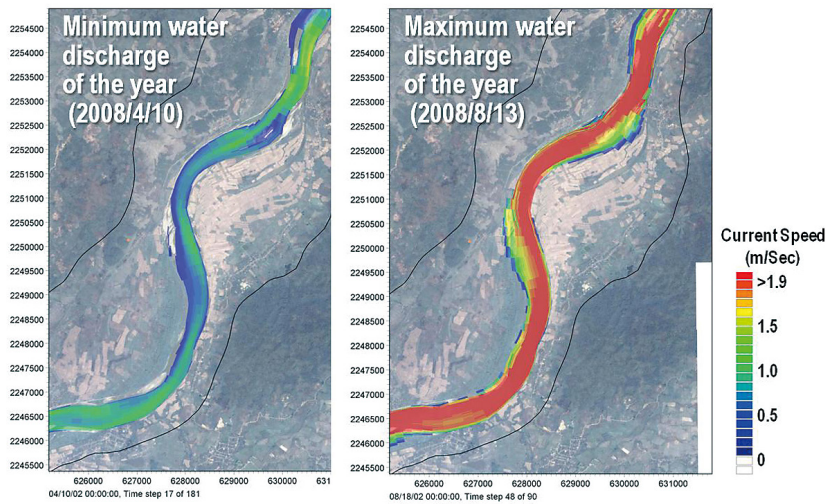


図67 2次元モデル計算用カーブリアグリッド、氾濫域標高データ、ADCP計測河床地形のデータおよびそれらを統合した対象解析範囲の3次元解析空間。



The distribution of water current

図 68 2008 年を対象とした水文モデルシミュレーション（2008 年）によって再現された氾濫域の流速分布図。左：年間最大流量の流速分布（2008 年 8 月 13 日）、右：年間最低流量の流速分布（2008 年 4 月 10 日）。

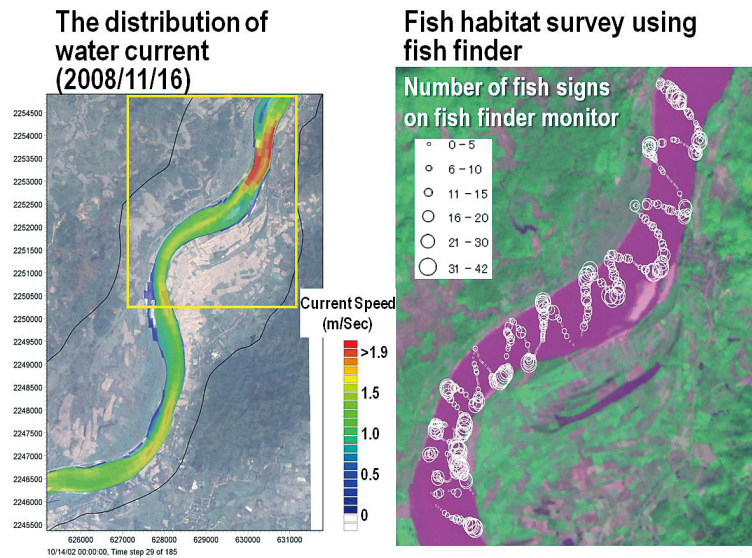


図 69 メコン河本流（北タイ）における調査日の河川流速分布再現結果および魚群生息分布（2008 年 11 月 16 日）。

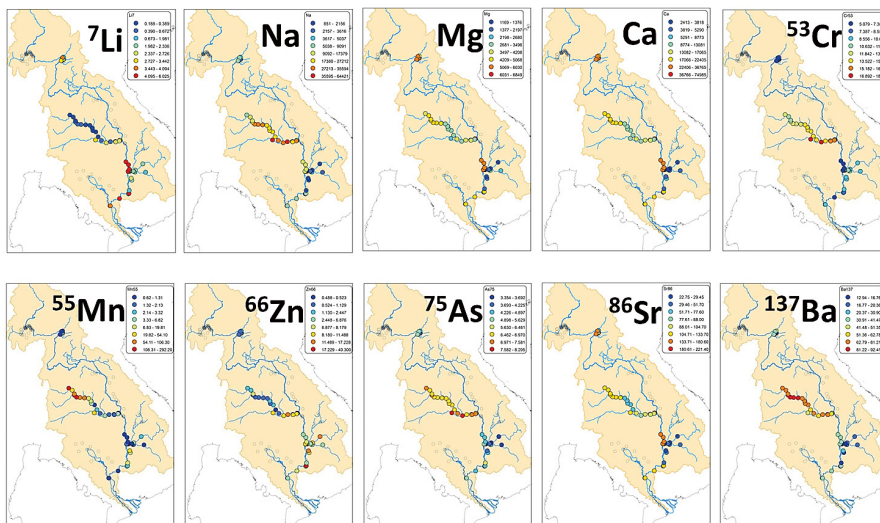


図 70 溶存元素の地理的な変異。

ナム戦争（1965～1975）による壊滅的な破壊を経験しているという事である。本サブテーマにおいて、1972年から2001年までの衛星画像を解析したところ、1972

年当時、枯葉剤を散布した航空機の軌跡に沿って筋状に樹木が枯死していることが確認できた（図78）。図に示した Ho Chi Minh 市 Can Gio 地区は、1975年の終戦後

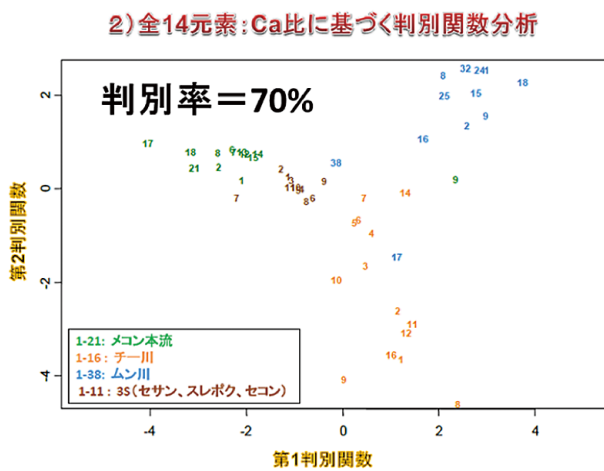
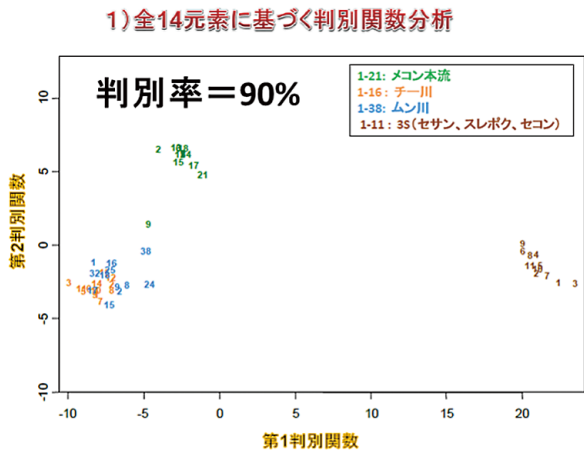


図71 水中微量元素濃度による河川の判別関数分析。

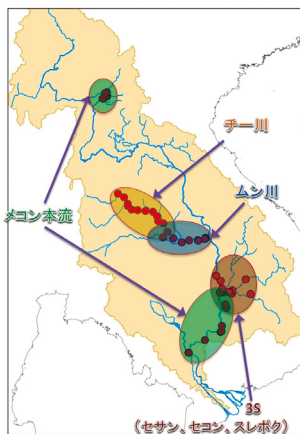


図72 河川の判別関数分析の結果。

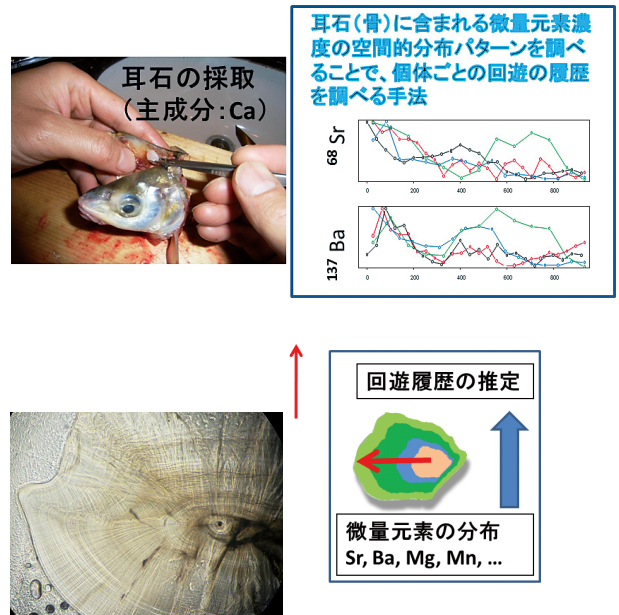


図73 耳石中微量元素分析法による回遊への影響評価技術。

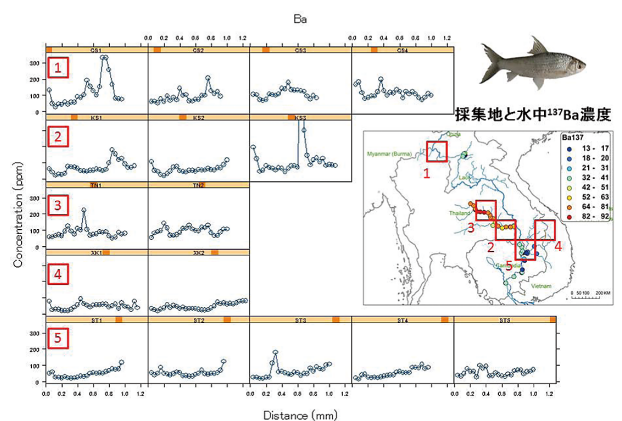
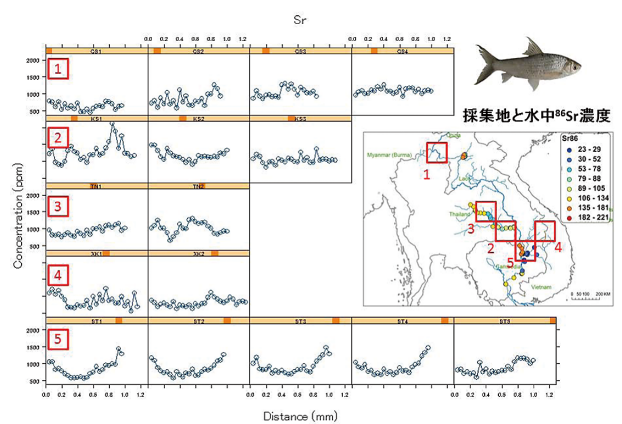


図74 個体毎の耳石中の⁸⁶Srと¹³⁷Ba濃度パターン。

すぐに始められた植林活動によって、樹種や詳細な分布域は異なるものの当時とほぼ同程度の面積にまで回復し、2000年にはユネスコ保護林として指定されている。

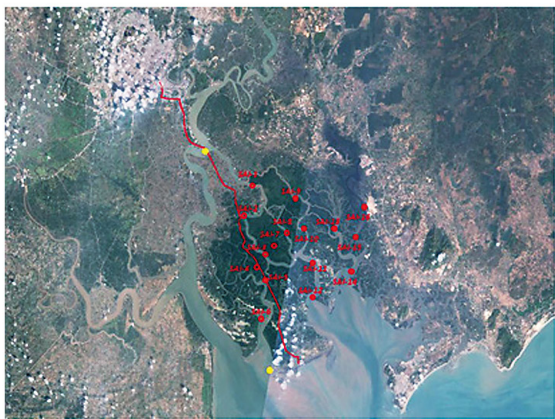
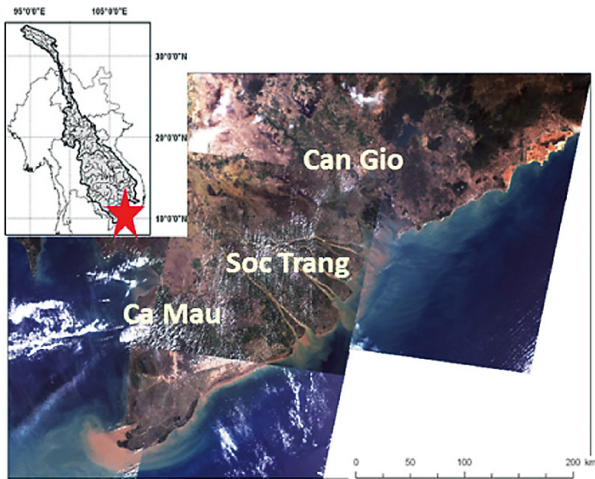


図75 ベトナムマングローブ域（Can Gio ユネスコ生物保護区）での調査地衛星写真。1978年～現在まで植林（30,000ha以上）が実施された。2000年1月の測定点と幹線道路。

しかし、この様に保護区として伐採が禁じられている場所は稀で、植林されたマングローブ林の多くはエビ養殖池や居住区へと姿を変え、再び減少する傾向にある。また、残されたマングローブ林もエビ養殖池や水田灌漑用の水路によって徹底的に細分されており、かつての様子とは大きく異なる。これまでメコンデルタでは、マングローブ林の面積推移に関する調査報告はあるものの、残されたマングローブ域の質的な変化については漠然とした懸念が持たれているにとどまっていた。本サブテーマでは、この漠然とした懸念に科学的な回答をすべく、メコンデルタのマングローブ域において河川水や土壌水中の化学物質濃度（無機窒素、無機リン、重金属）と、林床土壌の微生物活性（無機窒素消費活性および窒素固定活性）を測定した。メコンデルタの主要なマングロー

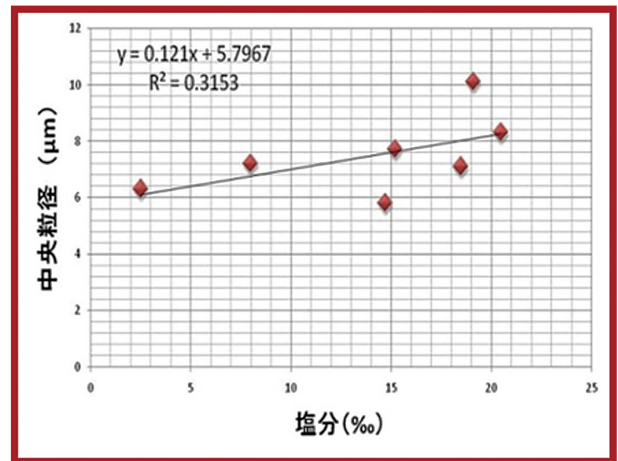


図77 ベトナム沿岸域での塩分と懸濁物質中央粒径の関係。マングローブ林域で懸濁物質の凝集沈殿が起きている。

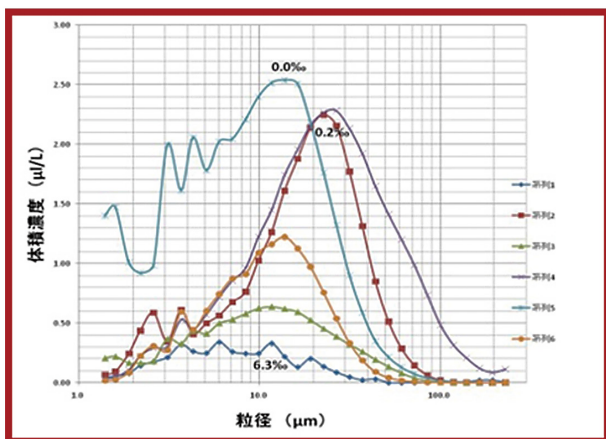


図76 ベトナム沿岸域（Can Gio）での懸濁物質の中央粒径と堆積濃度の関係。

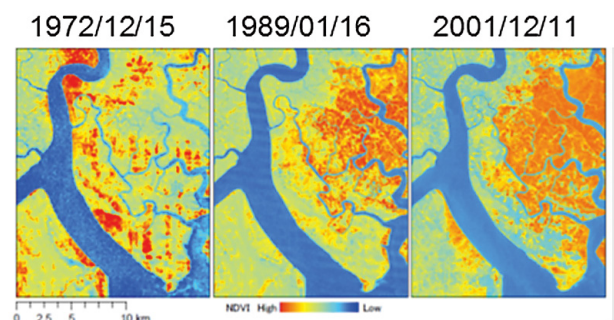


図1,ベトナムカンザー地区のNDVI画像撮影センサ:左から, Landsat衛星搭載のMSS,TM,ETM+

図78 ベトナムカンザー地区のNDVI画像。

ブ域 (Ho Chi Minh 市 Can Gio 地区、Soc Trang 省、Ca Mau 省)において、6つの景観カテゴリー(都市域5地点、河川6地点、人工水路5地点、集約式エビ池6地点、粗放式エビ池4地点、マングローブ林5地点)に分類される計31地点の調査地点を設けて、上記に挙げた水質項目を測定したところ、景観カテゴリー毎に水質が類型化出来ることが明らかとなった(図79)。都市域を流れる河川や水路では、無機窒素及び無機リン濃度が高濃度に達していた。Ho Chi Minh 市から Can Gio 保護林へ流れる Saigon 川では、都市域からの高濃度排水は、河川を海域方向へ移動するにつれて絶対濃度が急速に減少すると共に硝化が進み、大部分がアンモニア態であった無機窒素は、9km 下流地点では硝酸態へと変化していた(図80)。下流 19km 地点に位置するマングローブ林内の土壤間隙水中無機窒素及び無機リン濃度は非常に低く、他地域のマングローブ生態系の報告値と同程度であった。エビ養殖池では、養殖様式によって水質パターンが異なっていることが明らかとなった(図79)。集約式のエビ養殖池は、まとまった面積のマングローブ林を皆伐し、養殖池を設置して高密度養殖を行う。効率的にエビを養殖できる一方で、病気などのリスクが高いため、徹底した水質管理(pH、DO)のもと、エビ用餌や抗生物質の投与が行われる。粗放式のエビ養殖は、マングローブ林を残したまま、林内に人工水路を掘り、そこに自然に発生し息するエビを定期的に収穫する。基本的には潮汐変動に合わせた水門の管理を行うのみで、水質管理や餌の投与は行わない。2009年時点のメコンデルタにおいて

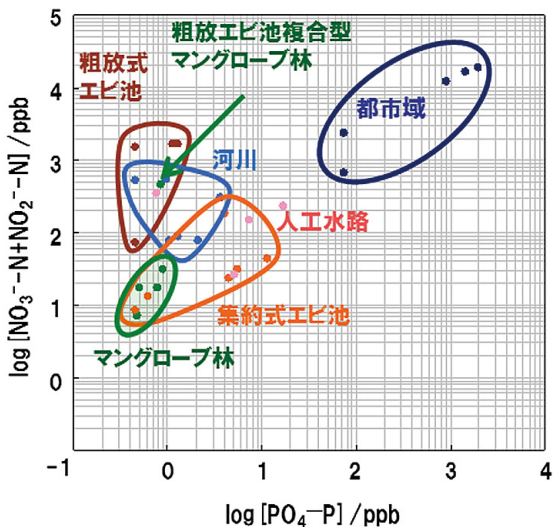


図79 メコンデルタのマングローブ域における水質パターン。

は、Can Gio 地区と Soc Trang 省では集約式が主に行われており、Ca Mau 省では粗放式が主に行われていた。集約式のエビ池では無機リン濃度が高くなる傾向がある

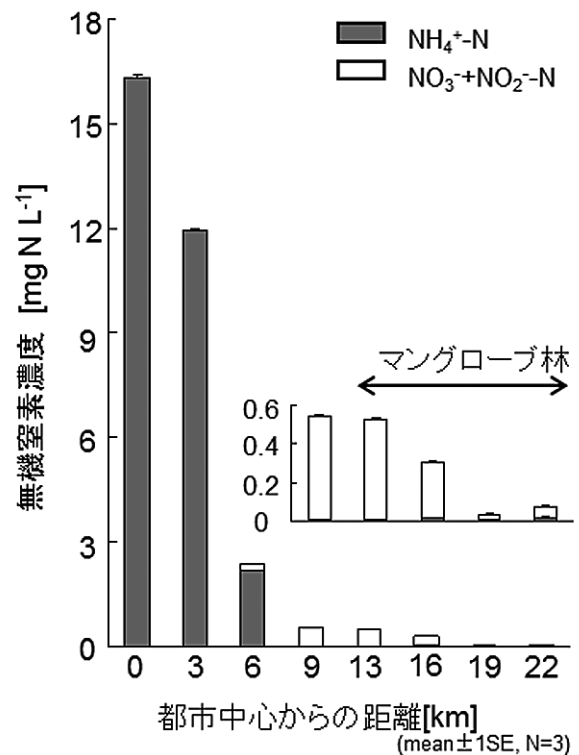


図3, Ho Chi Minh市Saigon川の無機窒素濃度

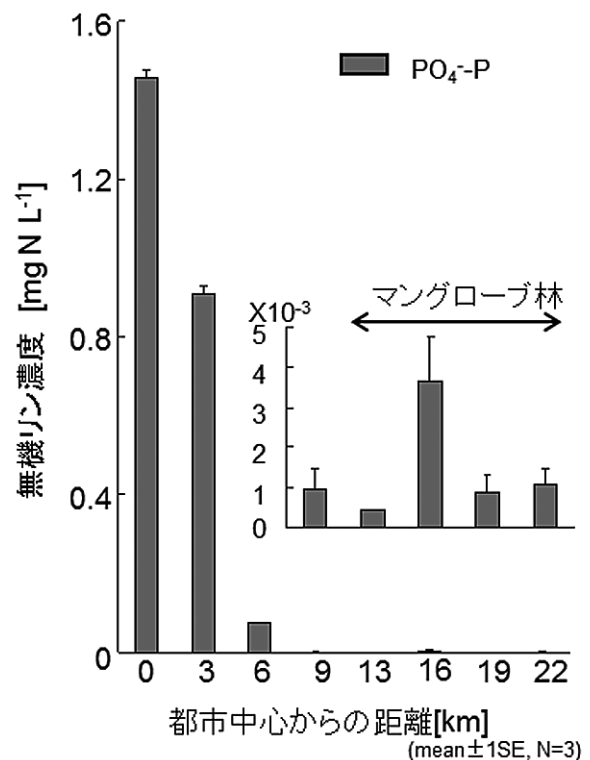


図80 ホーチミン市サイゴン川の無機態窒素と無機態リン濃度。

のに対し、粗放式のエビ池では無機窒素濃度が高くなる傾向があった(図79)。粗放式エビ池の無機窒素濃度(大部分がアンモニア態)は非常に高く、都市域と同程度にまで達していた。さらに、粗放式エビ池水路に細分されたマングローブ林内の土壤間隙水においても、無機窒素濃度が高い傾向にあることが明らかになった。各種重金属においては、都市域や河川で鉛が高濃度になる傾向があった。エビ養殖池では、様式(集約、粗放)によらず、砒素とカドミウムが高濃度になる傾向があることが明らかになった。

メコンデルタのマングローブ林における土壤微生物活性(無機窒素消費活性および窒素固定活性)は、本サブテーマで調査を行った5つの森林では林齢や構成樹種による傾向は見出されなかった。無機窒素消費活性は林床土壌で $16.2 \sim 24.2 \mu\text{gNgdw}^{-1}\text{d}^{-1}$ 、マングローブ植物の根圏で $126.7 \sim 286.7 \mu\text{gNgdw}^{-1}\text{d}^{-1}$ 、窒素固定活性は林床土壌で $0.1 \sim 0.6 \mu\text{gNgdw}^{-1}\text{d}^{-1}$ 、マングローブ植物の根圏で $77.4 \sim 853.7 \mu\text{gNgdw}^{-1}\text{d}^{-1}$ であった。各調査地点における窒素消費と固定の収支は、林床土壌では窒素固定による窒素インプットを上回る量の無機窒素が消費されているが、植物の根圏では窒素固定量が消費量を上回っていた。以上の事から、2009年時点で調査を行ったメコンデルタのマングローブ林では、植物への十分な窒素供給が確保されていることが明らかとなった。今回、高濃度のアンモニア態窒素をマングローブ林土壌に添加すると、窒素固定活性が約50%に減少したことから、都市や粗放式エビ池などの高濃度アンモニア排水源の近傍にあるマングローブ林では、森林を構成する窒素源が人工由来のものへと移行していく可能性がある事が明らかとなった。森林の無機窒素消費活性を上回る量のアンモニア態窒素が森林へ負荷された場合、植物への生育阻害や海域への過剰な窒素負荷が懸念されるため、森林の窒素バランスを注視していく必要がある。さらに、集約式エビ池の排水にもマングローブ林土壌の窒素固定活性を低下させる効果がある事が明らかとなった。集約式エビ池の排水からは比較的高濃度の砒素とカドミウムの他に、エビ養殖の安定化と効率化を図るために投入されていると推察される抗生物質が検出されたため、これらが近傍のマングローブ生態系の微生物活性に及ぼす影響についても注視していく必要がある。

3. まとめ

これまで5年間の主要な成果は、国際河川流域における環境アセスメント手法の開発であった。

その詳細と達成度は次の通りである。

- 1) データベースの構築を行い、自然環境、人文社会に関する空間データを整備し、地域の類型化を行った。
- 2) 水質・魚類モニタリング体制の確立を行い、アジア国際河川生態系長期モニタリング体制の構築、現地での調査活動、魚類相調査、定期的水質調査体制の確立、魚類や土砂流出に対する影響評価手法の開発を行った。
- 3) 流域の環境問題を抽出し、メコン河流域住民との環境影響評価に関するヒアリングを実施した。観測技術の研修やワークショップを実施し、環境技術の地域への還元を行った。

引用文献 PJ3

1. Goudie, A. (1990) *The Human Impact on the Natural Environment* (3rd Edition). Basil Blackwell Ltd., Oxford.
2. Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM (1997) Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
3. Steffen W, Sanderson A, Tyson PD, Jager J, Matson PA, Moore B III, Oldfield F, Richardson K, Schnellhuber H-J, Turner BL II, Wasson RJ (2004) *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*. Springer-Verlag, Berlin, pp 336.
4. Wolman, MG. (1967) A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler* 49A: 385-395.
5. Trimble, SW. (1974) *Man-induced Soil Erosion on the Southern Piedmont 1700-1970*, Ankeny, Iowa: Spoil Conservation Society of America, 180 p.
6. Arnold, CA., Boison, PJ. and Patton, PC. (1982) Sawmill brook: an example of rapid geomorphic change related to urbanization. *Journal of Geology* 90: 115-166.
7. Trimble, SW. and Lund, SW. (1982) *Soil Conservation and Reduction of Erosion and*

- Sedimentation in the Coon Creek Basin, Wisconsin, Professional Paper 1234, US Geological Survey, 35 p.
8. Nolan, KM., Kelsey, HM. and Marron, DC. (1995) Geomorphic Processes and Aquatic Habitat in the Redwood Creek Basin, northwestern California, Professional Paper 1454, US Geological Survey, pp. A1-A6.
 9. Collier, M., Webb, RH. and Schmidt, JC. (1996) Dams and Rivers, Tucson, Arizona, US Geological Survey Circular 1126, US Geological Survey, 94 p.
 10. Giri, C., Defourny, P. and Shrestha, S. (2003) Land cover characterization and mapping of continental Southeast Asia using multi-resolution satellite sensor data. *International Journal of Remote* 24: 4181-4196.
 11. Gupta, A. Hock, L., Huang, XJ. and Chen, P. (2002) Evaluation of part of the Mekong River using satellite imagery. *Geomorphology* 44: 221-239.
 12. Gupta, A. and Liew, SC. (2007) The Mekong from satellite imagery - a quick look at a large river. *Geomorphology* 85: 259-274.
 13. Hamilton, SK., Kellndorfer, J., Lehner, B. and Tobler, M. (2007) Remote sensing of floodplain geomorphology as a surrogate for biodiversity in a tropical river system (Madre de Dios, Peru). *Geomorphology* 89: 23-38.
 14. Kameyama S., Sakawa T., Sato T., Shimazaki H., Nohara S. and Inoue T. (2008) Impacts of anthropogenic structural changes to the Mekong River watershed on seasonal hydrologic dynamics in the watershed and floodplain, *Verh.Internat. Verein.Limnol.*, Vol.30, No.5, pp.794-800.
 15. Kameyama S., Shimazaki H., Nohara S., Sato T., Fujii Y. and Kudo K. (2012) Hydrological and Sediment Transport Simulation to Assess the Impact of Dam Construction in the Mekong River Main Channel, *American Journal of Environmental Sciences*, in press.

V. まとめ

本研究報告は、下記の3つの中核研究プロジェクト、

- (1) アジアの大気環境評価手法の開発、
- (2) 東アジアの水・物質循環評価システムの開発、
- (3) 流域生態系における環境影響評価手法の開発、

によって進められた平成18～22年度の成果をまとめたものである。研究成果、社会、行政、科学技術への貢献、今後の発展性に関して、以下にまとめた。

(1) 研究成果

広域・越境大気汚染を研究対象にしている中核研究プロジェクト1では、アジアにおける大気環境の実態把握と将来予測等に関する科学的知見が得られ、データベースや数値モデル・排出インベントリ、大気汚染や黄砂の発生源の逆推計等の研究手法の開発を大きく進めることができた。陸域、沿岸域、都市域の水環境を扱う中核研究プロジェクト2においては、統合観測ネットワークの構築、水・物質循環モデルを用いた変動やトレンドの解析、東シナ海の長江希釈水域における赤潮由来植物プランクトンの維持機構の解明、都市を中心としたインベントリ・技術システムの構築等の成果をあげた。メコン河流域を主な対象としている中核研究プロジェクト3では、メコン河流域データベース、魚の耳石を利用する回遊評価手法の確立、マングローブ生態系機能の解明等、新たな成果が得られた。

(2) 社会、行政、科学技術への貢献

アジアの大気環境、水環境及び生態系についての実態把握・解析、環境政策の解析等の科学的知見の集積、デー

タベースや数値モデル等の研究ツール、環境管理ツールの開発、技術・政策シナリオの構築等、本研究プログラムの目的は基本的に達成され、これらの成果の一部が既に環境行政等に生かされている。また、研究手法開発の進展、主要国際誌における多くの論文発表、学会の学術賞、論文賞の受賞等を通じて、科学技術に貢献した。更に、国際的な報告書執筆、国際共同研究やネットワークへの参加が大きく進んだ。このように、研究成果が社会・行政、科学技術に大きく貢献した。

(3) 今後の発展性

今後もアジア地域における環境負荷が増大すると予測される中で、各国政府、国民の環境指向が強まっており、第2期中期計画の成果を基に今後の発展が期待される。なお、第3期中期計画では、アジア地域等における国際環境研究の連携については研究所全体で進めることとなった。

(4) 謝辞

本プログラムの推進にあたって、特別客員研究員、客員研究員、共同研究員の方々に多大な協力を頂いた。また、多くの成果は、国内外の大学、公的研究機関等との共同研究によって得られたものである。研究の過程では、国内外の公的機関、自治体、非政府機関、民間企業の方々に大変お世話になった。本研究所の管理部門や支援スタッフの方々無しには、本プログラムの遂行は不可能であった。ここに、皆様に感謝の意を表したい。

[資 料]

I 研究の組織と研究課題の構成

1 研究の組織

[A 研究担当者]

アジア自然共生研究グループ

グループ長

中根英昭

副グループ長

村上正吾

アジア広域大気研究室

畠山史郎^{*)}

高見昭憲

佐藤 圭

清水 厚

Xiaoxiu Lun^{*)}

Hong Li^{*)}

本多将俊^{*)}

伊禮 聡

広域大気モデリング研究室

大原利真

谷本浩志

菅田誠治^{*)}

永島達也

森野 悠

黒川純一

西澤匡人

長谷川就一^{*)}

早崎将光^{*)}

片山 学^{*)}

Hezhong Tian^{*)}

アジア水環境研究室

王 勤学

水落元之

越川 海

岡寺智大

東 博紀

樋渡武彦

劉 晨

大場 真

呉 通華

環境技術評価システム研究室

藤田 壮

徐 開欽

中山忠暢

橋本 禪

藤井 実

平野勇二郎

流域生態系研究室

主席研究員室

大気圏環境研究領域

環境研究基盤技術ラボラトリー
地球環境研究センター

化学環境研究領域
水圏環境研究領域

社会環境システム研究領域
生物圏環境研究領域

Yong Geng

濱野裕之

杵島修三

神村一幸

Nguyen Cao Don

孫 穎

田上浩孝

野原精一

福島路生

亀山 哲

井上智美

島崎彦人

清水英幸

小林祥子

矢ヶ崎泰海^{*)}

笹川裕史

陳 利軍^{*)}

邱 国玉^{*)}

許 振柱^{*)}

鄒 春静^{*)}

杉本伸夫

松井一郎

日暮明子

西澤智明

村野健太郎^{*)}

猪俣 敏

西川雅高

甲斐沼美紀子

白井知子

小熊宏之

横内陽子

木幡邦男

珠坪一晃

今井章雄

牧 秀明

林 誠二

一ノ瀬俊明

広木幹也

矢部 徹

佐治 光

注：*) は、過去（平成 22 年 3 月以前）に所属していた研究者を示す。

[B 特別客員研究員]

若松伸司	(愛媛大学)	平成 18 ～ 22 年度
渡辺正孝	(慶応義塾大学)	平成 18 ～ 22 年度

[C 客員研究員]

坂東 博	(大阪府立大学)	平成 18 ～ 22 年度
近藤 豊	(東京大学)	平成 18 ～ 22 年度
酒巻史郎	(名城大学)	平成 18 ～ 22 年度
畠山史郎	(東京農工大学)	平成 19 ～ 22 年度
植田洋匡	((財) 日本環境衛生センター酸性雨研究センター)	平成 19 ～ 22 年度
神成陽容	((元) (財) 計量計画研究所)	平成 18 ～ 22 年度
山川和彦	((株) 島津テクノリサーチ)	平成 18 ～ 22 年度
日置 正	(京都府保健環境研究所)	平成 18 ～ 22 年度
飯島明宏	(群馬県衛生環境研究所)	平成 19 ～ 22 年度
斎藤正彦	(東電環境エンジニアリング (株))	平成 18 ～ 22 年度
長谷川就一	(埼玉県国際環境研究センター)	平成 21 ～ 22 年度
鶴野伊津志	(九州大学)	平成 18 ～ 22 年度
竹村俊彦	(九州大学)	平成 19 ～ 22 年度
須藤健悟	(名古屋大学)	平成 19 ～ 22 年度
辻本哲郎	(名古屋大学)	平成 18 ～ 22 年度
戸田祐嗣	(名古屋大学)	平成 18 ～ 22 年度
清水義彦	(群馬大学)	平成 18 ～ 22 年度
元木 靖	(立正大学)	平成 18 ～ 22 年度
唐 常源	(千葉大学)	平成 18 ～ 22 年度
佐竹研一	(立正大学)	平成 18 年度
松本 悟	(メコン・ウォッチ、一橋大学)	平成 18 年度
千賀有希子	(立正大学)	平成 18 ～ 19 年度
橋爪雅彦	((有) 川平ファーム)	平成 18 ～ 19 年度
下田路子	(富士常葉大学)	平成 19 年度
鷺見栄一	(産業技術総合研究所)	平成 19 年度
稲永 忍	(国際農林水産業研究センター)	平成 18 年度
安 萍	(鳥取大学乾燥地研究センター)	平成 18 年度
戸塚 績	(日本環境衛生センター酸性雨研究センター)	平成 18 ～ 22 年度
岩月善之助	(服部植物研究所岡崎分室)	平成 18 ～ 22 年度
樋口正信	(国立科学博物館)	平成 18 ～ 22 年度
宮脇博巳	(佐賀大学)	平成 18 ～ 22 年度
山口富美夫	(広島大学大学院)	平成 18 ～ 22 年度
須田隆一	(福岡県保健環境研究所)	平成 18 ～ 22 年度
藤川和浩	(福岡県保健環境研究所)	平成 21 年度
相原敬次	(神奈川県環境科学センター / 自然環境保全センター)	平成 18 ～ 22 年度
武田麻由子	(神奈川県環境科学センター)	平成 20 ～ 22 年度
小松宏昭	(神奈川県環境科学センター)	平成 21 ～ 22 年度

山根正伸	(神奈川県自然環境保全センター)	平成 21 ~ 22 年度
小川和雄	(埼玉県環境科学国際センター)	平成 20 年度
西本 孝	(岡山県自然保護センター)	平成 20 ~ 22 年度
太田良和弘	(静岡県環境衛生科学研究所)	平成 20 ~ 21 年度
中西隆之	(静岡県環境衛生科学研究所)	平成 20 ~ 21 年度
田中信行	((独) 森林総合研究所)	平成 21 ~ 22 年度
野口 泉	((独) 北海道立総合研究機構環境科学研究センター)	平成 21 ~ 22 年度
山口高志	((独) 北海道立総合研究機構環境科学研究センター)	平成 21 ~ 22 年度
和田 覚	(秋田県農林水産技術センター森林技術センター)	平成 21 ~ 22 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 21 ~ 22 年度

[D 共同研究員]

梶野瑞王	(東京大学)	平成 19 ~ 22 年度
------	--------	---------------

[E 海外共同研究者]

雷阿林、叶闽	(中国長江水利委員会 長江水資源保護研究所)	平成 18 ~ 22 年度
劉紀遠、宋献方	(中国科学院 地理科学与資源研究所)	平成 18 ~ 22 年度
王 克林	(中国科学院 亜熱帯農業研究所)	平成 18 ~ 22 年度
朱 慶華	(中国大連理工大学)	平成 18 ~ 19 年度
王 先甲	(中国武漢大学水利水電学院)	平成 18 ~ 19 年度

Tuantong Jutagete, Chaiwut Grudpan

(タイ Ubon Ratchathani University) 平成 18 ~ 19 年度

Vu Ngoc Ut (ベトナム Can Tho University) 平成 18 ~ 19 年度

Vo-Tong Xuan (ベトナム An Giang University) 平成 18 ~ 19 年度

浅野哲美 (ベトナム マングローブ植林行動計画) 平成 18 ~ 19 年度

鄭 有斌 (カナダ ゲルフ大学) 平成 18 ~ 22 年度

鄭 元潤 (中国科学院 植物研究所) 平成 18 ~ 22 年度

田 均良 (中国科学院・水利部 水土保持研究所) 平成 18 ~ 22 年度

于 云江 (中国環境科学研究院) 平成 18 ~ 22 年度

史 培軍 (北京師範大学) 平成 18 ~ 22 年度

高 永 (内モンゴル農業大学) 平成 18 ~ 22 年度

Herwint Simbolon, Florentin Indah Windadri, Ida Haerida, Ruliyana Susanti, Alham Laode

(インドネシア科学研究院 生物学研究センター) 平成 18 ~ 22 年度

2 研究課題と担当者

中核研究プロジェクト 1：アジアの大気環境評価手法の開発

(1) アジアの広域越境大気汚染の実態解明

畠山史郎・高見昭憲・佐藤 圭・清水 厚・坂東 博**・坂巻史郎**・植田洋匡**・梶野瑞王

(2) アジアの大気環境評価と将来予測

大原利眞・菅田誠治・谷本浩志・永島達也・森野 悠・長谷川就一・西澤匡人・黒川純一・早崎将光・
Hezhong Tian・稲吉繁一・片山 学・若松伸司*・神成陽容**・山川和彦**・日置 正**・飯島明宏**・
齊藤正彦**・竹村俊彦**・須藤健悟**

(3) 黄砂の実態解明と予測手法の開発

杉本伸夫・西川雅高・西澤智明・鶴野伊津志 **

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

(1) 流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築

王 勤学・水落元之・岡寺智大・大場 真・劉 晨・呉 通華・珠坪一晃・林 誠二・渡辺正孝 *

(2) 長江起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明

水落元之・越川 海・東 博紀・樋渡武彦・村上正吾・木幡邦男・今井章雄・牧 秀明

辻本哲郎 **・戸田祐嗣 **・清水義彦 **・元木 靖 **・唐 常源 **

(3) 拠点都市における技術・政策インベントリとその評価システムの構築

藤田 壮・徐 開欽・中山忠暢・橋本 禅・Yong Geng・濱野裕之

中核研究プロジェクト 3：流域生態系における環境影響評価手法の開発

(1) 流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築

野原精一・福島路生・亀山 哲・井上智美・島崎彦人・小熊宏之・下田路子 **

(2) 人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発

野原精一・福島路生・亀山 哲・井上智美・島崎彦人・広木幹也・矢部 徹・佐竹研一 **・千賀有希子 **・

鷺見栄一 **

(3) 持続可能な流域生態系管理を実現する手法の開発

野原精一・福島路生・亀山 哲・井上智美・島崎彦人・一ノ瀬俊明・今井章雄・松本 悟 **・橋爪雅彦 **

その他の活動（清水主席研究員室担当）

(1) 北東アジアにおける砂漠化アセスメント及び早期警戒体制（EWS）構築のためのパイロットスタディ

(2) 北東アジアの草原域における砂漠化防止と生態系サービスの回復に関する研究

(3) 中国北部草原の劣化生態系に生育する主要植物種に及ぼす気候変動の影響

(4) 半乾燥地に生育する植物種の水ストレス耐性と水利用に関する研究

(5) 森林－土壌相互作用系の回復と熱帯林生態系の再生に関する研究

(6) 地球温暖化に対する庭園鮮苔地衣植生の応答解析と熱画像情報によるモニタリング

(7) ブナ林衰退地域における総合植生モニタリング手法の開発

(8) ブナ林生態系における生物・環境モニタリングシステムの構築

(9) ブナ林域の総合モニタリング手法の開発と衰退リスク評価に関する研究

(10) 神奈川県丹沢地域の冷温帯自然林植生モニタリング手法の開発

(11) 長距離輸送大気汚染物質に起因する対流圏オゾンおよび酸性霧による森林影響

(12) 水稻葉枯症の発症要因の究明と軽減対策技術の開発

(13) 遺伝子発現プロファイルに基づく植物のストレス診断と水稻葉枯症の原因究明

清水英幸・小林祥子・矢ヶ崎泰海・笹川裕史・村野健太郎・佐治 光・陳 利軍・邱 国玉・許 振柱・

鄒 春静・稲永 忍 **・安 萍 **・戸塚 績 **・岩月善之助 **・樋口正信 **・宮脇博巳 **・山口富美夫 **・

須田隆一 **・藤川和浩 **・相原敬次 **・武田麻由子 **・小松宏昭 **・山根正伸 **・小川和雄 **・西本 孝 **・

太田良和弘 **・中西隆之 **・田中信行 **・野口 泉 **・山口高志 **・和田 覚 **・山本哲也 **

（注：* 特別客員研究員・** 客員研究員・*** 共同研究員）

II 研究成果発表一覧

1 誌上発表

(1) 中核研究プロジェクト1: アジアの大気環境評価手法の開発

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

【査読あり】

- Adachi S., Kimura F., Sugata S., Hayasaki M., Kurosaki Y., Wakamatsu S. (2007) Dust transport along a cold front: A case study of a cyclone observed on 19–20 April 2000 in Northeast Asia. *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 42, 327–338
- Aikawa M., Hiraki T., Tamaki M., Kasahara M., Kondo A., Uno I., Mukai H., Shimizu A., Murano K. (2006) Field survey of trans-boundary air pollution with high time resolution at coastal sites on the Sea of Japan during winter in Japan. *Environ. Monit. Assess.*, 122, 61–79
- Aikawa M., Ohara T., Hiraki T., Oishi O., Tsuji A., Yamagami M., Murano K., and Mukai H. (2010) Significant geographic gradients in particulate sulfate over Japan determined from multiple site measurements and a chemical transport model: Impacts of transboundary pollution from the Asian continent, *Atmospheric Environment*, 44, 381–391.
- Akimoto H., Ohara T., Kurokawa J., Horii N. (2006) Verification of Energy Consumption in China during 1996–2003 by Using Satellite Observational Data. *Atmospheric Environment*, 40, 7663–7667
- Akiyoshi H., Zhou L. B., Yamashita Y., Sakamoto K., Yoshiki M., Nagashima T., Takahashi M., Kurokawa J., Takigawa M., and Imamura T. (2009) A CCM simulation of the breakup of the Antarctic polar vortex in the years 1980–2004 under the CCMVal scenarios, *J. Geophys. Res.*, 114, D03103, doi:10.1029/2007JD009261
- Aoki N., Inomata S., Tanimoto H. (2007) Detection of C1-C5 alkyl nitrates by proton transfer reaction time-of-flight mass spectrometry. *Intern. J. Mass Spectrom.*, doi:10.1016/j.ijms.2006.11.018, 263, 12–21
- Arao K., Ishizaka J., Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A., Mori I., Nishikawa M., Aoki K., Uchiyama A., Yamazaki A., Togawa H., and Asano J. (2006) Yellow Sand Dust Event on 13 April 2003 over Western Kyushu, Japan. *SOLA*, 2, 100–103 (doi:10.2151/sola.2006-026)
- Arao K., Nishikawa M., Hatakeyama S., Takami A., Matsuyama S., Hayasaka T. (2006) Atmospheric Turbid Conditions due to Fine Particles in Recent Years at Nagasaki, Japan. *Journal of Environmental Studies, Nagasaki University*, 9(1), 23–30
- Austin, Wilson, R., J., Akiyoshi, H., Bekki, S., Butchart, N., Claud, C., Fomichev, V.I., Forster, P., Garcia, R.R., Gillett, N.P., Keckhut, P., Langematz, U., Manzini, E., Nagashima, T., Randel, W.J., Rozanov, E., Shibata, K., K.P. Shine, Struthers, H., Thompson, D.W.J., F. Wu, Yoden, S. (2009) Coupled chemistry climate model simulations of stratospheric temperatures and their trends for the recent past, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L13809, doi:10.1029/2009GL038462
- Chand D., Jaffe D., Prestbo E., Swartzendruber P.C., Hafner W., Weiss-Penzias P., Kato S., Takami A., Hatakeyama S., Kajii Y. (2008) Reactive and particulate mercury in the Asian marine boundary layer. *Atmos. Environ.*, 42, 7988–7996
- Chen X., Aoki M., Zhang S., Zhang J., Nozoe S., Komori D., Takami A., Hatakeyama S. (2008) Observation of Hydrogen Peroxide Concentrations in a Japanese Red Pine Forest, *J. Atmos. Chem.*, 60, 37–49 (doi 10.1007/s10874-008-9107-0)
- Choi I-J., Kim S-W., Kim J., Yoon S-C., Kim M-H., Sugimoto N., Kondo Y., Miyazaki Y., Moon K-J., Han J-S. (2008) Characteristics of the transport and vertical structure of aerosols during ABC-EAREX2005, *Atmospheric Environment* 42, 8513–8523.
- Eguchi K., Uno I., Yumimoto K., Takemura T., Shimizu A., Sugimoto N., Liu Z. (2009) Trans-pacific dust transport: integrated analysis of NASA/CALIPSO and a global aerosol transport model. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 3137–3145
- 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, 17pp., doi:10.1029/2011JD015867
- Fushimi A., Hasegawa S., Takahashi K., Fujitani Y., Tanabe, K., Kobayashi S. (2008) Atmospheric fate of nuclei-mode particles estimated from the number concentrations and chemical composition of particles measured at roadside and background sites. *Atmos. Environ.*, 42(5), 948–958 (doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.019)
-

- Fushimi A., Tanabe K., Hasegawa S., Kobayashi K. (2007) Investigation of characterization method for nanoparticles in roadside atmosphere by thermal desorption-gas chromatography/mass spectrometry using a pyrolyzer. *Science of the Total Environment*, 386 (1-3), 83-92 (doi:10.1016/j.scitotenv.2007.05.025)
- Han S., Kondo Y., Oshima N., Takegawa N., Miyazaki Y., Hu M., Lin P., ZDeng Z., Zhao Y., Sugimoto N., and Wu Y.(2009) Temporal variations of elemental carbon in Beijing, *J. Geophys. Res.* 114, D23202, 16pp., doi:10.1029/2009JD012027
- Hanaoka S., Hatakeyama S., Watanabe I., Arakaki T., Kawana K., Kondo Y., Sadanaga Y., Bandow H., Kato S., Kajii Y., Sato K., Shimizu A., Takami A. (2009) Aerial observation of aerosols and gases transported from East Asia in March-April, 2008. Nucleation and Atmospheric Aerosol, 833-836
- Hara Y., Uno I., Yumimoto K., Tanaka M., Shimizu A., Sugimoto N., Liu Z. (2008) Summertime Taklimakan dust structure. *Geophys.Res.Lett.*, 35, L23801, 7pp., doi:10.1029/2008GL035630
- Hara Y., Yumimoto K., Uno I., Shimizu A., Sugimoto N., Liu Z., Winker D.M. (2009) Asian dust outflow in the PBL and free atmosphere retrieved by NASA CALIPSO and an assimilated dust transport model. *Atmos.Chem.Phys.*, 9, 1-13
- Hasegawa S., Wakamatsu S., Ohara T., Itano Y., Saitoh K., Hayasaki M., Kobayashi S. (2006) Vertical profiles of nano-to micro-scale aerosols measured by aircraft over Osaka metropolitan area in Japan. *Atmospheric Environment*, 41, 717-729
- Hatakeyama S. (2006) Measurements of Aerosols Transported from the East Asia at Cape Hedo Atmosphere and Aerosol Monitoring Station (CHAAMS) in Okinawa. 8th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering, Tokyo, 21-24
- Hatakeyama S., Hanaoka S., Ikeda K., Watanabe I., Arakaki T., Sadanaga Y., Bandow H., Kato S., Kajii Y., Sato K., Shimizu A., Takami A. (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, 497-507
- 畠山史郎, 高見昭憲, 三好猛雄, 王瑋 (2006) 中国から東シナ海を経て沖縄まで輸送されるエアロゾル中の主要イオンの関係. *エアロゾル研究*, 21, 147-152
- Hatakeyama S., Takami, A., Wang, W. (2006) Aircraft Observations of Air Pollutants around Large Cities in China. 8th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering, Tokyo, 45-49
- Hayasaka T., Satake S., Shimizu A., Sugimoto N., Matsui I., Aoki K., Yoshikawa M. (2007) Vertical distribution and optical properties of aerosols observed over Japan during the Atmospheric Brown Clouds-East Asia Regional Experiment 2005. *J.Geophys.Res.*, 112, D22S35, 12pp., doi:10.1029/2006JD008086
- 早崎将光, 大原利眞, 黒川純一, 鶴野伊津志, 清水厚 (2008) 2007年5月8-9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染: 観測データ解析. *大気環境学会誌*, 43, 225-237
- 早崎将光, 菅田誠治, 大原利眞, 若松伸司, 宮下七恵 (2007) 1992-2004年度のSPM環境基準達成率に対する黄砂現象の影響. *大気環境学会誌*, 42 (3), 188-199
- Hayasaki M, Sugata S., Tanaka.H. L. (2006) Interannual Variation in Cold Frontal Activity in Spring in Mongolia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 463-475
- Hayasaki M., Yamamoto K.M., Higuchi A., Shimizu A., Mori I., Nishikawa M., Takasuga T. (2011) Asian Dust Transport to Kanto by Flow around Japan's Central Mountains. *SOLA*, 7A, 32-35
- He Y., Uno I., Wang Z., Ohara T., Sugimoto N., Shimizu A., Richter A., Burrows J.P. (2007) Variation of the increase trend of tropospheric NO₂ over central east China during the past decade. *Atmos.Environ.*, 41, 4865-4876
- Igarashi Y., Inomata Y., Aoyama M., Hirose K., Takahashi H., Shinoda Y., Sugimoto N., Shimizu A., Chiba M. (2009) Possible change in Asian dust source suggested by atmospheric anthropogenic radionuclides during the 2000s. *Atmos. Environ.*, 43, 2971-2980
- Iijima A., Sato K., Fujitani Y., Fujimori E., Saito Y., Tanabe K., Ohara T., Kozawa K., Furuta N.(2009) Clarification of the predominant emission sources of antimony in airborne particulate matter and estimation of their effects on the atmosphere in Japan, *Environ. Chem.*, 6: 122-132.
- Inomata S., Tanimoto H., Kameyama S., Tsunogai U., Irie H., Kanaya Y., Wang, Z. (2008) Technical Note: Determination of formaldehyde mixing ratios in air with PTR-MS: Laboratory experiments and field measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 273-284

- Inomata, S., H. Tanimoto, S. Kato, J. Suthawaree, Y. Kanaya, P. Pochanart, Y. Liu, and Z. Wang (2010) PTR-MS measurements of non-methane volatile organic compounds during an intensive field campaign at the summit of Mount Tai, China, in June 2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7085–7099.
- Irie H., Kanaya Y., Akimoto H., Iwabuchi H., Shimizu A., Aoki K. (2007) First retrieval of tropospheric aerosol profiles using MAX-DOAS and comparison with lidar and sky radiometer measurements. *Atmos.Chem.Phys.*, 8, 341–350
- Irie H., Kanaya Y., Akimoto H., Iwabuchi H., Shimizu A., Aoki K. (2009) Dual-wavelength aerosol vertical profile measurements by MAX-DOAS at Tsukuba, Japan. *Atmos.Chem.Phys.*, 9, 2741–2749
- Irie H., Kanaya, Y., Akimoto H., Tanimoto H., Wang Z., Gleason J. F., Bucselo E.J. (2008) Validation of OMI tropospheric NO₂ column data using MAX-DOAS measurements deep inside the North China Plain in June 2006: Mount Tai Experiment 2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6577–6586
- 板橋秀一, 弓本桂也, 鶴野伊津志, 大原利真, 黒川純一, 清水厚, 山本重一, 大石興弘, 岩本眞二 (2009) 2007年春季に発生した東アジア域スケールの広域的越境汚染の化学輸送モデル CMAQ による解析. *大気環境学会誌*, 44, 175–185
- Iwasaki S., Murayama K., Hayashi M., Ogino S.-Y., Ishimoto H., Tachibana Y., Shimizu A., Matsui I., Sugimoto N., Yamashita K. et al. (2007) Characteristics of aerosol and cloud particle size distributions in the tropical tropopause layer measured with optical particle counter and lidar. *Atmos.Chem.Phys.*, 7, 3507–3518
- Jimenez J.L., M. R. Canagaratna, N.M. Donahue, A.S.H. Prevot, Q. Zhang, J.H. Kroll, P.F. DeCarlo, J.D. Allan, H. Coe, N.L. Ng, A.C. Aiken, K.S. Docherty, I.M. Ulbrich, A.P. Grieshop, A.L. Robinson, J. Duplissy, J.D. Smith, K.R. Wilson, V.A. Lanz, C. Hueglin, Y.L. Sun, J. Tian, A. Laaksonen, T. Raatikainen, J. Rautiainen, P. Vaattovaara, M. Ehn, M. Kulmala, J.M. Tomlinson, D.R. Collins, M.J. Cubison, E.J. Dunlea, J.A. Huffman, T.B. Onasch, M.R. Alfarra, P.I. Williams, K. Bower, Y. Kondo, J. Schneider, F. Drewnick, S. Borrmann, S. Weimer, K. Demerjian, D. Salcedo, L. Cottrell, R. Griffin, A. Takami, T. Miyoshi, S. Hatakeyama, A. Shimono, J.Y. Sun, Y.M. Zhang, K. Dzepina, J.R. Kimmel, D. Sueper, J.T. Jayne, S.C. Herndon, A.M. Trimborn, L.R. Williams, E.C. Wood, A.M. Middlebrook, C.E. Kolb, U. Baltensperger, D.R. Worsnop (2009) Evolution of Organic Aerosols in the Atmosphere, *Science* 326, 1525, DOI: 10.1126/science.1180353 / accepted 6 November
- Jung J., Lee H., Kim Y.-J., Liu X., Zhang Y., Hu M., Sugimoto N. (2009) Optical properties of atmospheric aerosols obtained by in situ and remote measurements during 2006 Campaign of Air Quality Research in Beijing (CAREBeijing-2006), *J. Geophys. Res.*, 114, D00G02, 18pp., doi:10.1029/2008JD010337
- Kameyama, S., H. Tanimoto, S. Inomata, U. Tsunogai, A. Ooki, S. Takeda, H. Obata, A. Tsuda, and M. Uematsu (2010) High-resolution measurement of multiple volatile organic compounds dissolved in seawater using equilibrator inlet-proton transfer reaction-mass spectrometry (EI-PTR-MS), *Marine Chem.*, 122, 59–73 (doi:10.1016/j.marchem.2010.08.003)
- Kanaya Y., Pochanart P., Liu Y., Li J., Tanimoto H., Kato S., Suthawaree J., Inomata S., Taketani F., Okuzawa K., Kawamura K., Akimoto H., and Wang Z. F. (2009) Rates and regimes of photochemical ozone production over Central East China in June 2006: a box model analysis using comprehensive measurements of ozone precursors, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 7711–7723.
- 兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 畠山史郎, 林政彦, 原圭一郎, Chang L.-S., Ahn J.-Y. (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
- 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
- 片山学, 大原利真, 鶴野伊津志, 原宏 (2008) 日本の SO₄²⁻ 沈着量における経年変動のモデル解析, *大気環境学会誌*, 43, 136–146
- Kawamoto K., Hayasaka T., Uno I., Ohara T. (2006) A correlative study on the relationship between modeled anthropogenic aerosol concentration and satellite-observed cloud properties over east Asia. *J. Geophys. Res.*, 111, D19201, doi:10.1029/2005JD006919
- Khatri P., Takamura T., Shimizu A., Sugimoto N. (2010) Spectral dependency of aerosol light-absorption over the East China Sea region. *SOLA*, 6, 1–4

- Kim S-W, Yoon S-C, Kim J., Kang J-Y, and Sugimoto, N.(2010) Asian dust event observed in Seoul, Korea, during 29-31 May 2008: Analysis of transport and vertical structure of dust particles from lidar and surface measurements, *Science of The Total Environment*, 408, 1707-1718 (doi:10.1016/j.scitotenv.2009.12.018)
- 小林伸治, 長谷川就一, 近藤美則, 伏見暁洋, 田邊潔 (2007) 後処理装置付ディーゼル車からのNO₂排出特性. 自動車技術会論文集, 38 (6), 11-16
- Koike M., Jones N.B., Palmer P.I., Matsui H., Zhao Y., Kondo Y., Matsumi Y., Tanimoto H. (2006) Seasonal variation of carbon monoxide in northern Japan: Fourier transform IR measurements and source-labeled model calculations. *J. Geophys. Res.*, 111, D15306, doi:10.1029/2005JD006643
- Kondo Y., Morino Y., Fukuda M., Kanaya Y., Miyazaki Y., Takegawa N., Tanimoto H., McKenzie R., Johnston P., Blake D. R., Murayama T., Koike M. (2008) Formation and transport of oxidized reactive nitrogen, ozone, and secondary organic aerosol in Tokyo, *J. Geophys. Res.*, 113, D21310, doi:10.1029/2008JD010134
- Kondo, Y., N. Takegawa, H. Matsui, T. Miyakawa, M. Koike, Y. Miyazaki, Y. Kanaya, M. Mochida, M. Kuwata, Y. Morino, M. Shiraiwa (2010) Formation and transport of aerosols in Tokyo in relation to their physical and chemical properties: A review, *J. Meteor. Soc. Japan*, 88, 597-624.
- 栗林正俊, 大原利眞, 山地一代 (2008) 中国におけるオゾンによる稲作影響の現状評価と将来予測. 大気環境学会誌, 43, 55-66
- 黒川純一, 大原利眞, 鶴野伊津志, 早崎将光 (2008) ネスト版 RAMS/CMAQ 連携モデルによる 2007 年 5 月 8, 9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染の解析. 大気環境学会誌, 43, 209-224
- Kurokawa J., Ohara T., Uno I., Hayasaki M., Tanimoto H.(2009) Influence of meteorological variability on interannual variations of the springtime boundary layer ozone over Japan during 1981-2005, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 6287-6304.
- Kurokawa J., Yumimoto K., Uno I., Ohara T. (2009) Adjoint inverse modeling of NO_x emissions over east China using satellite observations of NO₂ vertical column densities, *Atmos. Environ.*, 43, 1878-1887
- Kuwata M., Kondo Y., Miyazaki Y., Komazaki Y., Kim J.H., Yum S.S., Tanimoto H., Matsueda H. (2007) Cloud condensation nuclei activity at Jeju Island, Korea in spring 2005. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2933-2948
- Lasserre F., Cautenet G., Bouet C., Dong X., Kim Y.J., Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A. (2008) A model tool for assessing real-time mixing of mineral and anthropogenic pollutants in East Asia: a case study of April 2005. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 3603-3622
- Lee K-H., Sugimoto N., Shimizu A., Yoon SC. (2010) A comparison of satellite- and ground-based aerosol extinction profile and AOD. *Proc.SPIE*, 7860, 78600P
- Lin P., Hu M., Deng Z., Slanina J., Han S., Kondo Y., Takegawa N., Miyazaki Y., Zhao Y., and Sugimoto N. (2009) Seasonal and diurnal variations of organic carbon in PM_{2.5} in Beijing and the estimation of secondary organic carbon, *J. Geophys. Res.*, 114:D00G11, 14pp., doi:10.1029/2008JD010902
- Liu Z., Liu D., Huang J., Vaughan M., Uno I., Sugimoto N., Kittaka C., Trepte C., Wang Z., Hostetler C., Winker D. (2008) Airborne dust distributions over the Tibetan Plateau and surrounding areas derived from the first year of CALIPSO lidar observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 5045-5060.
- Lun X., Takami A., Miyoshi T., Hatakeyama S. (2009) Characteristic of organic aerosol in a remote area of Okinawa Island. *J. Environ. Sci.*, 21, 1371-1377
- 増井嘉彦, 弓場彬江, 定永靖宗, 高見昭憲, 竹中規訓, 板東博 (2011) 海洋大気でのデニューダー法によるガス状硝酸の測定の問題点. 大気環境学会誌, 46, 37-42
- Matsui H., Koike M., Takegawa N., Kondo Y., Griffin R., Miyazaki Y., Yokouchi Y., Ohara T. (2009) Secondary Organic Aerosol Formation in Urban Air: Temporal Variations and Possible Contributions from Unidentified Hydrocarbons, *J. Geophys. Res.*, 114, D04201, doi:10.1029/2008JD010164
- Matsumoto J., Narukawa M., Takahashi K., Matsumi Y., Yabushita A., Shimizu A., Matsui I., Sugimoto N. (2009) Internal Mixing of Pollutants for Submicron Particles Observed during Springtime in Japan. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 3, 27-41

- Matsumoto J., Takahashi K., Matsumi Y., Yabushita A., Shimizu A., Matsui I., Sugimoto N. (2006) Scavenging of pollutant acid substances by Asian mineral dust particles. *Geophys.Res.Lett.*, 33, L07816, 4pp., doi:10.1029/2006GL025782
- Matsumoto K., Minami H., Hayano T., Uyama Y., Tanimoto H., Uematsu M. (2007) Regional climatology of particulate carbonaceous substances in the northern area of the east Asian Pacific rim. *J. Geophys. Res.*, 112, D24203, doi:10.1029/2007JD008607
- Miyazaki Y., Kondo Y., Han S., Koike M., Kodama D., Komazaki Y., Tanimoto H., Matsueda H. (2007) Chemical characteristics of water-soluble organic carbon in the Asian outflow. *J. Geophys. Res.*, 112, D22S30, doi:10.1029/2007JD009116
- Miyazaki Y., Kondo Y., Shiraiwa M., Takegawa N., Miyakawa T., Han S., Kita K., Hu M., Deng Z.Q., Sugimoto N., Blake D.R., and Weber R.J.(2009) Chemical characterization of water-soluble organic carbon aerosols at a rural site in the Pearl River Delta, China, in summer. *J. Geophys. Res.*, 114:D14208, 13pp., doi:10.1029/2009JD011736
- 溝口俊明, 川崎清人, 清水厚, 佐竹洋 (2009) 富山県における乾性沈着調査とライダーを用いた高SPM時の解析. *大気環境学会誌*, 44, 155-165
- Mochida M., Miyakawa T., Takegawa N., Morino Y., Kawamura K., Kondo, Y. (2008) Significant alteration in the hygroscopic properties of urban aerosol particles by the secondary formation of organics. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L02804, doi:10.1029/2007GL031310, 2008
- Mori I., Nishikawa M., Shimizu A., Hayasaki M., Takasuga T. (2011) Solubility of iron in the aerosol collected during kosa (Asian dust) events in Japan. *SOLA*, 7A, 5-8
- 森野悠, 茶谷聡, 速水洋, 佐々木寛介, 森康彰, 森川多津子, 大原利眞, 長谷川就一, 小林伸治 (2010) 大気質モデルの相互比較実験による O₃, PM_{2.5} 予測性能の評価 - 2007 年夏季, 関東の事例, *大気環境学会誌*, 45, 212-226.
- Morino, Y., S. Chatani, H. Hayami, K. Sasaki, Y. Mori, T. Morikawa, T. Ohara, S.Hasegawa, S. Kobayashi (2010) Evaluation of ensemble approach for O₃ and PM_{2.5} simulation, *Asian J. Atmos. Environ.*, 4, 150-156.
- 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, *J. Geophys. Res.*, 116, D06307, <http://dx.doi.org/10.1029/2010JD015205>.
- Morino Y., Ohara.T. Yokouchi Y. Ooki A. (2011) Comprehensive source apportionment of volatile organic compounds using observational data, two receptor models and an emission inventory in Tokyo Metropolitan Area, *J. Geophys. Res.*, 116, D02311, doi:10.1029/2010JD014762.
- Morino Y., Takahashi K., Fushimi A., Tanabe K., Ohara T., Hasegawa S., Uchida M., Takami A., Yokouchi Y., Kobayashi S. (2010) Contrasting diurnal variations in fossil and nonfossil secondary organic aerosol in urban outflow, Japan. *Environ. Sci.Technol.*, 44, 8581-8586
- Nagashima, T., Ohara. T., Sudo.K., Akimoto.H., (2010) The relative importance of various source regions on East Asian surface ozone, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 11305-11322.
- Nakajima T., Yoon S.C., Ramanathan V., Shi G. Y., Takemura T., Higurashi A., Takamura T., Aoki K., Sohn B.J., Kim S.W., Tsuruta H., Sugimoto N., Shimizu A., Tanimoto H., Sawa Y., Lin N.H., Lee C.T., Goto G., Schutgens N. (2007) Overview of the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radiative forcing in east Asia. *J. Geophys. Res.*, 112, D24S91, 23pp., doi:10.1029/2007JD009009
- Nakao S., Clark C., Tang P., Sato K., Cocker III D. (2011) Secondary organic aerosol formation from phenolic compounds in the absence of NO_x. *Atmos.Cem.Phys.*, 11, 10649-10660
- Nakayama T., Matsumi Y., Sato K., Imamura T., Yamazaki A., Uchiyama A. (2010) Laboratory studies on optical properties of secondary organic aerosols generated during the photooxidation of toluene and the ozonolysis of α -pinene. *J.Geophys.Res.*, 115, D24204, 11pp., doi:10.1029/2010JD014387
- Narukawa M., Matsumi Y., Matsumoto J., Takahashi K., Yabushita A., Sato K., Imamura T. (2007) Real-time analysis of secondary organic aerosol particles formed from cyclohexene ozonolysis using a laser-ionization single-particle aerosol mass spectrometer. *Analytical Sciences*, 23(5), 507-511
- Narukawa M., Matsumi Y., Matsumoto J., Takahashi K., Yabushita A., Sato K., Imamura T. (2007) Single particle analysis of secondary organic aerosols formed from 1,4-cyclohexadiene ozonolysis using a laser-ionization single-particle aerosol mass spectrometer. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 81(1), 120-126

- Nishizawa T., Okamoto H., Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A., Aoki K. (2007) An algorithm that retrieves aerosol properties from dual-wavelength polarized lidar measurements. *J.Geophys.Res.*, 112, D06212, 18pp., doi:10.1029/2006JD007435
- Nishizawa T., Okamoto H., Takemura T., Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A. (2008) Aerosol retrieval from two-wavelength backscatter and one-wavelength polarization lidar measurement taken during the MR01K02 cruise of the R/V Mirai and evaluation of a global aerosol transport model. *J.Geophys.Res.*, 113, D21201, 18pp., doi:10.1029/2007JD009640
- Nishizawa T., Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A., Liu X., Zhang Y., Li R., Liu J. (2010) Vertical distribution of water-soluble, sea salt, and dust aerosols in the planetary boundary layer estimated from two-wavelength backscatter and one-wavelength polarization lidar measurements in Guangzhou and Beijing, China. *Atmos. Res.*, 96, 602-611
- Nishizawa T., Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A., Okamoto H. (2011) Algorithms to retrieve optical properties of three-component aerosols from two-wavelength backscatter and one-wavelength polarization lidar measurements considering nonsphericity of dust. *J.Quant.Spectrosc.Radiat.Transfer*, 112, 254-267
- Nishizawa T., Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A., Tatarov B., Okamoto H. (2008) Algorithm to retrieve aerosol optical properties from High-Spectral-Resolution-Lidar and polarization Mie-Scattering Lidar measurements. *IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing*, 46, 4094-4103
- Ochiai N., Ieda, T., Sasamoto K., Fushimi A., Hasegawa S., Tanabe K., Kobayashi S. (2007) Comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled to high-resolution time-of-flight mass spectrometry and simultaneous nitrogen phosphorous and mass spectrometric detection for characterization of nanoparticles in roadside atmosphere. *Journal of Chromatography A*, 1150(1-2), 13-20 (doi:10.1016/j.chroma.2007.02.001)
- 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 年春季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, 18-25
- Ohara T., Akimoto H., Kurokawa J., Horii N., Yamaji K., Yan X., Hayasaka T. (2007) An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 4419-4444
- 大原利眞, 鶴野伊津志, 黒川純一, 早崎将光, 清水厚 (2008) 2007 年 5 月 8, 9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染 - オーバービュー -. *大気環境学会誌*, 43, 198-208
- Osada K., Ohara T., Uno I., Kido M., and Iida H. (2009) Impact of Chinese anthropogenic emissions on submicrometer aerosol concentration at Mt. Tateyama, Japan, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 9111-9120.
- Osada K., Ura S., Mikami M., Tanaka T.Y., Matoba S., Aoki K., Shinoda M., Kurosaki Y., Hayashi M., Shimizu A., Uematsu M. (2011) Temporal and spatial variations of wet deposition flux of mineral dust in Japan. *SOLA*, 1, 49-52
- Pandithurai G., Takamura T., Yamaguchi J., Miyagi K., Takano T., Ishizaka Y., Dipu S., Shimizu A. (2009) Aerosol effect on cloud droplet size as monitored from surface-based remote sensing over East China Sea region. *Geophys.Res.Lett.*, 36, L13805, 5 pp., doi:10.1029/2009GL038451
- Primbs T., Simonich S.L., Schmedding D., Wilson G., Jaffe D., Takami A., Kato S., Hatakeyama S., Kajii Y. (2007) Atmospheric Outflow of Anthropogenic Semi-Volatile Organic Compounds from East Asia in Spring 2004. *Environmental Science and Technology*, 41(10), 3551-3558
- Qi B., Sato K., Imamura T., Takami A., Hatakeyama S., Ma Y. (2006) Production of the radicals in the ozonolysis of ethene: a chamber study by FT-IR and PERCA. *Chem. Phys. Lett.*, 427, 461-465
- Qi B., Takami A., Hatakeyama S. (2006) A calibration method for measurement of small alkyl organic peroxy radicals by chemical amplification. *Analyt. Sci.*, 22, 1091-1093
- Sato K. (2008) Detection of nitrooxypolyols in secondary organic aerosol formed from the photooxidation of conjugated dienes under high-NOx conditions. *Atmos.Environ.*, 42, 6851-6861
- 佐藤圭 (2008) 二次粒子の生成: イソプレン酸化に関する最近の研究. *エアロゾル研究*, 23, 172-180
- Sato K., Hatakeyama S., Imamura T. (2007) Secondary organic aerosol formation during the photooxidation of toluene: NOx dependence of chemical composition. *J. Phys. Chem. A*, 111(39), 9796-9808

- 佐藤圭, 今村隆史 (2010) 大気中での光化学有機エアロゾル生成. *光化学*, 41, 91-96
- 佐藤圭, Klotz B., 畠山史郎, 今村隆史 (2008) 芳香族炭化水素の大気酸化による二次有機エアロゾル生成. *エアロゾル研究*, 23, 86-93
- Sato K., Li H., 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
- 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-1,3butadiene under high NO_x conditions. *Atmos.Chem. Phys.*, 11, 7301-7317
- Sato K., Takami A., Isozaki T., Hikida T., Shimono A., Imamura T. (2010) Mass spectrometric study of secondary organic aerosol formed from the photo-oxidation of aromatic hydrocarbons. *Atmos.Environ.*, 44, 1080-1087
- 佐藤圭, 田中友里愛, 李紅, 小川志保, 畠山史郎 (2007) 沖縄辺戸岬における有機エアロゾル組成の組成と季節変化: 2005-2006年に観測された多環芳香族炭化水素. *地球化学*, 41 (4), 125-133
- Sawa Y., Tanimoto H., Yonemura S., Matsueda H., Wada A., Taguchi S., Hayasaka T., Tsuruta H., Tohjima Y., Mukai H., Kikuchi N., Katagiri S., Tsuboi K. (2007) Widespread pollution events of carbon monoxide observed over the western North Pacific during the East Asian Regional Experiment (EAREX) 2005 campaign. *J. Geophys. Res.*, 112, D22S26, doi:10.1029/2006JD008055
- Sekiyama T.T., Tanaka T.Y., Shimizu A., Miyoshi T. (2010) Data assimilation of CALIPSO aerosol observations. *Atmos. Chem.Phys.*, 10, 39-49
- Shi Z. B., Zhang D. Z., Hasegawa S., Hayashi M., Ji, H.Z. (2008) Modification of soot by volatile species in an urban atmosphere. *Science of Total Environment*, 389(1), 195-201(doi:10.1016/j.scitotenv.2007.08.016)
- 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 (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, 45-50
- 島田幸治郎, 高見昭憲, 加藤俊吾, 梶井克純, 畠山史郎 (2011) 東アジアから輸送される汚染大気中の炭素質エアロゾルの変動と発生源推定. *大気環境学会誌*, 46, 1-9
- 清水厚 (2009) ライダーネットワークによる黄砂の3次元構造と輸送状態の把握. *グローバルネット*, 221, 22-23
- Shimizu A., Sugimoto N., Matsui I., Mori I., Nishikawa M., Kido M. (2011) Relationship between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentrations in Japan. *SOLA*, 7A, 1-4
- Shiogama H., Emori S., Takahashi K., Nagashima T., Ogura T., Nozawa T., and Takemura T.(2009) Emission scenario dependency of precipitation on global warming in the MIROC3.2 model, *J. Climate*, doi: 10.1175/2009JCLI3428.1
- Shiogama H., Hanasaki N., Masutomi Y., Nagashima T., Ogura T., Takahashi K., Hijioka Y., Takemura T., Nozawa T., and Emori S. (2010) Emission scenario dependencies in climate change assessments of the hydrological cycle, *Clim. Change*, 99 (1-2), doi:10.1007/s10584-009-9765-1
- Shiraiwa M., Kondo Y., Moteki N., Takegawa N., Sahu L.K., Takami A., Hatakeyama S., Yonemura S., Blake D.R. (2008) Radiative impact of mixing state of black carbon aerosol in Asian outflow. *J.Geophys.Res.*, 113, D24210
- 菅田誠治, 大原利眞, 黒川純一, 早崎将光 (2011) 大気汚染予測システム (VENUS) の構築と検証, *大気環境学会誌*, 46, 49-59.
- 杉本伸夫 (2008) 大気汚染指数 API から見た中国の大気環境の変化. *大気環境学会誌*, 43 (5), 295-300
- Sugimoto N., Hara Y., Shimizu A., Yumimoto K., Uno I. (2011) Comparison of surface observations and a regional dust transport model assimilated with lidar network data in Asian dust event of March 29 to April 2, 2007. *SOLA*, 7A,13-16
- Sugimoto N., Matsui I., Shimizu A., Nishizawa T., Hara Y., Uno I. (2010) Lidar Network observation of tropospheric aerosols. *Proc.SPIE*, 7860, 78600J, 9pp.
- Sugimoto N., Nishizawa T., Liu X., Matsui I., Shimizu A., Zhang Y., Kim Y.J., Li R., Liu J. (2009) Continuous observations of aerosol profiles with a two-wavelength Mie-scattering lidar in Guangzhou in PRD2006. *J.Appl.Meteorol.Clim.* 48, 1822-1830

- Sugimoto N., Shimizu A., Nishizawa T., Matsui I., Tatarov B., Uchino O., Nakane H. (2011) Recent studies on aerosols and ozone using lidars at NIES Japan. *Optica Pura y Aplicada*, 44, 7-11
- Sugimoto N., Tatarov B., Shimizu A., Matsui I., Nishizawa T. (2010) Optical characteristics of forest-fire smoke observed with two-wavelength mie-scattering lidars and a high-spectral-resolution lidar over Japan. *SOLA*, 6, 93-96
- Suthawaree J., Kato S., Takami A., Hatakeyama S., Kadena H., Togushi M., Tomoyose N., Yogi K., Jaffe D., Swartzendruber P., Prestbo E., Kajii Y. (2007) Influence from long-range transport of Asian outflow during an intensive measurement campaign at Cape Hedo, Okinawa, in spring 2004. *大気環境学会誌*, 42 (6), 350-360
- Suthawaree J., Kato S., Takami A., Kadena H., Toguchi M., Yogi K., Hatakeyama S. (2008) Observation of ozone and carbon monoxide at Cape Hedo, Japan: Seasonal variation and influence of long-range transport. *Atmos. Environ.*, 42, 2971-2981
- Takahashi K., Hirabayashi M., Tanabe K., Shibata Y., Nishikawa M., Sakamoto, K. (2007) Radiocarbon Content in Urban Atmospheric Aerosols. *Water Air Soil Pollut.*, 185, 305-310 (doi:10.1007/s11270-007-9454-5)
- 高見昭憲 (2010) 東アジアにおける大気環境を探る - 微粒子の観測. *化学と工業*, 74, 409-411
- 高見昭憲, 今井孝典, 清水厚, 松井一郎, 杉本伸夫, 畠山史郎 (2006) 沖縄辺戸で観測された人為起源エアロゾルと黄砂の輸送. *エアロゾル研究*, 21, 341-347
- 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, 11pp., doi:10.1029/2006JD008120
- 高見昭憲, 長田和雄, 定永靖宗, 坂東博 (2011) 沖縄辺戸岬における大気中のアンモニア/アンモニウム濃度の変動と分配. *エアロゾル研究*, 26, 42-46
- Takami A., Wang W., Tang D., Hatakeyama S. (2006) Measurements of gas and aerosol for two weeks in northern China during the winter-spring period of 2000, 2001 and 2002. *Atmos. Res.*, 82, 688-697
- Takamura T., Sugimoto N., Shimizu A., Uchiyama A., Yamazaki A., Aoki K., Nakajima T., Sohn B.J., Takenaka H. (2007) Aerosol radiative characteristics at Gosan, Korea, during the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005. *J. Geophys. Res.* 112, D22S36, 12pp., doi:10.1029/2007JD008506
- Takashima H., Irie H., Kanaya Y., Shimizu A., Aoki K., Akimoto H. (2009) Atmospheric aerosol variations at Okinawa Island in Japan observed by MAX-DOAS using a new cloud-screening method. *J. Geophys. Res.*, 114, D18213, 10pp., doi:10.1029/2009JD011939
- 武直子, 板野泰之, 山神真紀子, 大原利眞 (2010) ポテンシャルオゾンを用いた O_x の異常値スクリーニング方法の検討. *大気環境学会誌*, 45, 264-269.
- Takiguchi Y., Takami A., Sadanaga Y., Lun X., Shimizu A., Matsui I., Sugimoto N., Wang W., Bandow H., Hatakeyama S. (2008) Transport and transformation of total reactive nitrogen over the East China Sea. *J. Geophys. Res.*, 113, D10306, 12pp., doi:10.1029/2007JD009462
- Tanimoto H. (2009) Increase in springtime tropospheric ozone at a mountainous site in Japan for the period 1998-2006, *Atmos. Environ.*, 43, 1358-1363 (doi:10.1016/j.atmosenv.2008.12.006)
- Tanimoto H., Aoki N., Inomata S., Hirokawa J., Sadanaga Y. (2007) Development of a PTR-TOFMS instrument for real-time measurements of volatile organic compounds in air. *Intern. J. Mass Spectrom.*, 263, 1-11 (doi:10.1016/j.ijms.2007.01.009)
- 谷本浩志, 橋本茂, 向井人史 (2009) 「技術調査報告」大気レベルのオゾン標準に関する日本における進展と世界の動向. *大気環境学会誌*, 44 (4), 222-226.
- Tanimoto H., Matsumoto K., Uematsu M. (2008) Ozone-CO correlations in Siberian wildfire plumes observed at Rishiri Island, *SOLA*, 4, 65-68 (doi:10.2151/sola.2008-017)
- Tanimoto H., Mukai H., Hashimoto S., Norris J.E. (2006) Intercomparison of ultraviolet photometry and gas-phase titration techniques for ozone reference standards at ambient levels. *J. Geophys. Res.*, 111, D16313, doi:10.1029/2005JD006983

- Tanimoto H., Mukai H., Sawa Y., Matsueda H., Yonemura S., Wang T., Poon S., Wong A., Lee G., Jung J.Y., Kim K. R., Lee M.H., Lin N.H., Wang J.L., Ou-Yang C.F., Wu C.F., Akimoto H., Pochanart P., Tsuboi K., Doi H., Zellweger C., Klausen J. (2007) Direct assessment of international consistency of standards for ground-level ozone: Strategy and implementation toward metrological traceability network in Asia. *J. Environ. Monit.*, 9, 1183–1193 (doi:10.1039/b701230f)
- 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, L23802, doi:10.1029/2009GL041382.
- Tanimoto H., Sato K., Butler T., Lawrence N. G., Fisher J. A., Kopacz M., Yantosca R. M., Kanaya Y., Kato S., Okuda T., Tanaka S., Zeng J. (2009) Exploring CO pollution episodes observed at Rishiri Island by chemical weather simulations and AIRS satellite measurements: Long-range transport of burning plumes and implications for emissions inventories, *Tellus B*, 61, 394–407 (doi: 10.1111/j.1600-0889.2008.00407.x.)
- Tanimoto T., Sawa Y., Matsueda H., Wada A., Yonemura S., Mukai H., Wang T., Poon S., Wong A., Lee G., Jung J.Y., Kim K.R., Lee M.H., Lin N.H., Wang J.L., Ou-Yang C.F., Wu C.F. (2007) Evaluation of standards and methods for continuous measurements of carbon monoxide at ground-based sites in Asia, *Pap.Met. Geophys.*, 58, 85–93 (doi:10.2467/mripapers.58.85)
- Tanimoto H., Sawa Y., Yonemura S., Yumimoto K., Matsueda H., Uno I., Hayasaka T., Mukai H., Tohjima Y., Tsuboi K., Zhang L. (2008) Diagnosing recent CO emissions and springtime O₃ evolution in East Asia using coordinated ground-based observations of O₃ and CO during the East Asian Regional Experiment (EAREX) 2005 campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 3867–3880
- Tanimoto H., Tohjima Y., Mukai H., Nara H., and Hashimoto S. (2009) Anomalous geographical gap in carbon monoxide mixing ratios over Hokkaido (Japan) in summer 2004, *Geochem. J. (Express Letters)*, 43, e23–e29.
- Tourpali K., Bais A. F., Kazantzidis A., Zerefos C. S., Akiyoshi H., Austin J., Brühl C., Butchart N., Chipperfield M. P., Dameris M., Deushi M., Eyring V., Giorgetta M. A., Kinnison D. E., Mancini E., Marsh D. R., Nagashima T., Pitari G., Plummer D. A., Rozanov E., Shibata K., and Tian W. (2009) Clear sky UV simulations for the 21st century based on ozone and temperature projections from Chemistry-Climate Models, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1165–1172.
- 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, 14pp., doi:10/1029/2010JD015565
- Uno I., Eguchi K., Yumimoto K., Takemura T., Shimizu A., Uematsu M., Liu Z., Wang Z., Hara Y., Sugimoto N. (2009) Asian dust transported one full circuit around the globe. *Nat.Geosci.* 2, 557–560
- Uno I., Ohara T., Yamaji K., Kurokawa J. (2007) Recent Trends and projections in Asian Air Pollution. *Journal of Disaster Research*, 2, 163–172
- Uno I., Uematsu M., Hara Y., He., Y., 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. *Geophysical Research Letters*, 34, L17817, doi:10.1029/2007GL030338
- Uno I., Yumimoto K., Shimizu A., Hara Y., Sugimoto N., Wang Z., Liu Z., Winker D.M. (2008) 3D structure of Asian dust transport revealed by CALIPSO lidar and a 4DVAR dust model. *Geophys.Res.Lett.*, 35, L06803, 7pp., doi:10.1029/2007GL032329
- 鶴野伊津志, 弓本桂也, 杉本伸夫, 清水厚 (2008) 随伴モデリングを用いた東アジア域のダストの発生・輸送の逆推定. *大気環境学会誌*, 43, 191–197
- Viallon J., Moussay P., Esler M., Wielgosz R., Bremser W., Novák J., Vokoun M., Botha A., Van Rensburg M.J., Zellweger C., Goldthorp S., Borowiak A., Lagler F., Walden J., Malgeri E., Sassi M.P., Gomez P.M., Patier R.F., Madruga D.G., Woo J.C., Kim Y.D., Macé T., Sutour C., Surget A., Niederhauser B., Schwaller D., Frigy B., Váraljai I.G., Hashimoto S., Mukai H., Tanimoto H., et al (2006) International Comparison CCQM-P28, Ozone at ambient level (Pilot study). *Metrologia*, 43, Tech. Suppl., 08010, doi:10.1088/0026-1394/43/1A/08010
- Wang G., Kawamura K., Hatakeyama S., Takami A., Wang, W. (2007) Aircraft Measurement of Organic Aerosols over China”, accepted in March 2007. *Environmental Science and Technology*, 41(9), 3115–3120

- Wang W., Bao L.F., Liu H.J., Yue X., Chen J.H., Li H., Ren L.H., Tang D.G., Hatakeyama S., Takami A. (2007) Vertical Profiles of Aerodynamic Size Distribution for Airborne Particles over Yangtze River Delta. *Chin. Phys.* 16(9), 2818, doi:10.1088/1009-1963/16/9/054
- Wang W., Liu H., Yue X., Li H., Chen J., Ren L., Tang D., Hatakeyama S., Takami A. (2006) Study on acidity and acidic buffering capacity of particulate matter over Chinese eastern coastal areas in spring. *J. Geophys. Res.*, 111, D18207, 11pp., doi:10.1029/2005JD006753
- 渡辺征春, 奥村真一郎, 鈴木睦, 吉田重臣, 川上修司, 佐野琢己, 柴崎和夫, 畠山史郎, 北和之, 小川利紘 (2006) 航空機搭載センサ“Airborne-OPUS”による二酸化硫黄ガスのリモートセンシング:アルゴリズム開発と検証実験. *日本リモートセンシング学会誌*, 26, 173-185
- Wehner B., Birmili W., Ditas F., Wu Z., Hu M., Liu X., Mao J., Sugimoto N., Wiedensohler A. (2008) Relationships between submicrometer particulate air pollution and air mass history in Beijing, China, 2004-2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6155-6168.
- Wu Z., Cheng Y. F., Hu M., Wehner B., Sugimoto N., Wiedensohler A.: Dust events in Beijing, China (2004-2006) (2009) Comparison of ground based measurements and columnar integrated observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 6915-6932.
- Xiao R., Takegawa N., Kondo Y., Miyazaki Y., Miyakawa T., Hu M., Shao M., Zeng L.M., Hofzumahaus A., Holland F., Lu K., Sugimoto N., Zhao Y., Zhang Y.H. (2009) Formation of submicron sulfate and organic aerosols in the outflow from the urban region of the Pearl River Delta in China, *Atmospheric Environment*, 43, 3754-3763.
- Xie C., Nishizawa T., Sugimoto N., Matsui I., Wang Z. (2008) Characteristics of aerosol optical properties in pollution and Asian dust episodes over Beijing, China. *Appl. Opt.*, 47 (27), 4945-4951
- Xing J-H., Takahashi K., Yabushita A., Kinugawa T., Nakayama T., Matsumi Y., Tonokura K., Takami A., Imamura T., Sato K. et al. (2010) Characterization of aerosol particles in the Tokyo Metropolitan area using two different particle mass spectrometers. *Aerosol Sci. Technol.*, 45, 315-326
- Yamaji, K., J. Li, I. Uno, Y. Kanaya, H. Irie, M. Takigawa, Y. Komazaki, P. Pochanart, Y. Liu, H. Tanimoto, T. Ohara, X. Yan, Z. Wang, H. Akimoto (2010) Impact of open crop residual burning on air quality over Central Eastern China during the Mount Tai Experiment 2006 (MTX2006), *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7353-7368.
- Yamaji K., Ohara T., Uno I., Kurokawa J., Pochanart P., Akimoto H. (2008) Future Prediction of Surface Ozone over East Asia using Models-3 Community Multiscale Air Quality Modeling System and Regional Emission Inventory in Asia, *J. Geophys. Res.*, 113, D8306, doi:10.1029/2007JD008663
- Yan X., Ohara T., Akimoto H. (2006) Bottom-up estimates of biomass burning in mainland China. *Atmospheric Environment*, 40, 5262-5273
- Yanagisawa R., Takano H., Ichinose T., Mizushima K., Nishikawa M., Mori I., Inoue K., Sadakane, K., Yoshikawa T. (2007) Gene Expression Analysis of Murine Lungs Following Pulmonary Exposure to Asian Sand Dust Particles. *Exp Biol Med* (Maywood), 232(8), 1109-1118 (doi:10.3181/0612-RM-311)
- Yasunaga K., Yoneyama K., Kubota H., Okamoto H., Shimizu A., Kumagai H., Katsumata M., Sugimoto N., Matsui I. (2006) Melting layer cloud observed during R/V mirai cruise MR01-K05. *J. Atmos. Sci.*, 63, 3020-3032
- Yokouchi Y., Taguchi S., Saito T., Tohjima Y., Tanimoto H., Mukai H. (2006) High frequency measurements of HFCs at a remote site in east Asia and their implications for Chinese emissions. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L21814, doi:10.1029/2006GL026403
- Yoon S-C., Kim S-W., Kim M-H., Shimizu A., Sugimoto N.: Ground-Based Mie-Scattering Lidar Measurements of Aerosol Extinction Profiles during ABC-EAREX2005 (2008) Comparisons of Instruments and Inversion Algorithms, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 86, 2, 377-396.
- 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, 307-314
- 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, 26-32

Yumimoto K., Eguchi K., Uno I., Takamura T., Liu Z., Shimizu A., Sugimoto N. (2009) An elevated large-scale dust veil from the taklimakan desert: Intercontinental transport and three-dimensional structures as captured by CALIPSO and regional and global models. *Atmos.Chem.Phys.*, 9, 8545–8558

Yumimoto K., Eguchi K., Uno I., Takamura T., Liu Z., Shimizu A., Sugimoto N., Strawbridge K. (2010) Summertime trans-Pacific transport of Asian dust. *Geophys.Res.Lett.*, 37, L18815, 7pp., doi:10.1029/2010GL043995

Yumimoto K., Uno I., Sugimoto N., Shimizu A. (2008) MODIS AOT based inverse modeling for Asian dust. *SOLA*, 4, 89–92

Yumimoto K., Uno I., Sugimoto N., Shimizu A., Liu Z., Winker D.M. (2008) Adjoint inversion modeling of Asian dust emission using lidar observations. *Atmos.Chem.Phys.*, 8, 2869–2884

Yumimoto K., Uno I., Sugimoto N., Shimizu A., Satake S. (2007) Adjoint inverse modeling of dust emission and transport over East Asia. *Geophys.Res.Lett.*, 34, L08806, 6pp. doi:10.1029/2006GL028551

Zhang Q., Jimenez J.L., Canagaratna M.R., Allan J.D., Coe H., Ulbrich I., Dzepina K., Dunlea E., Docherty K., DeCarlo P.F., Salcedo D., Alfarra M.R., Sun Y.L., Onasch T., Jayne J.T., Takami A., Miyoshi T., Shimojo A., Hatakeyama S., Takegawa N., Kondo Y., Schneider J., Drewnick F., Weimer S., Demerjian K., Williams P., Bower K., Middlebrook A.M., Bahreini R., Cotrell L., Griffin R., Rautiainen J., Worsnop D. R. (2007) Oxygenated Species Dominate Organic Aerosols in Anthropogenically—Influenced Northern Hemisphere Mid-latitudes” accepted in May 2007. *Geophys. Res. Letter*, 34, L13801, doi:10.1029/2007GL029979

【査読なし】

Arao K., Nishikawa M., Hatakeyama S., Takami A., Matsuyama S., Hayasaka T. (2006) Atmospheric turbid conditions due to fine particles in recent years at Nagasaki, Japan. *J. Environ. Stud. Nagasaki Univ.*, 9, 23–30

Hatakeyama S. (2006) Chapter 3 “Long-range Transport of Air-pollutants in the East Asian Pacific Rim region” in “Effects of Pollutants on Atmospheric Environment” Edited by Y. Ishizaka and T. Kitada, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Nagoya, 55–81

畠山史郎 (2006) 台湾のバックグラウンド大気観測ステーションの開所式に出席して. *エアロゾル研究*, 21, 182

畠山史郎 (2006) 東アジアのABC (Atmospheric Brown Clouds). *OECC 会報*, 49, 3

畠山史郎 (2007) 3.1.3 二酸化硫黄. 鷲田伸明編集 第5版実験化学講座 20-2, 環境化学, 丸善, 197–200

畠山史郎 (2007) 3.1.13 酸化性物質. 鷲田伸明編集 第5版実験化学講座 20-2, 環境化学, 丸善, 241–247

畠山史郎 (2007) 4 および 4.1 エアロゾルおよびその前駆体の航空機観測. 笠原三紀夫, 東野達編, エアロゾルの大気環境影響, 京都大学学術出版会, 113–119

畠山史郎 (2007) 中国国内と日本におけるエアロゾルイオン成分濃度の比較. 第17回大気化学シンポジウム・プロシーディングス, 14

早崎将光, 黒崎泰典, 樋口篤志, 足立幸穂, 菅田誠治, 西川雅高, 大原利眞, 若松伸司 (2006) MODIS 可視画像と SPM 時間値で捉えた 2006 年 4 月 8 日の帯状黄砂. *天気*, 53, 843–844

今井孝典, 高見昭憲, 三好猛雄, 下野彰夫, 加藤俊吾, 梶井克純, 畠山史郎 (2006) 沖縄辺戸岬で観測したエアロゾル炭素組成の季節変動と気塊履歴依存性. 第16回大気化学シンポジウム・プロシーディングス, 120

Inomata S., Tanimoto H., Aoki N. (2007) Development of new PTR ion sources for soft and selective ionization. In: A. Hansel, T.D. Märk eds, 3rd International Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and Its Applications, Innsbruck University Press, Innsbruck

Lun X., Den G., Zhang Y., Zhang X., Kaneyasu N., Takami A. (2009) Study of characteristic of water soluble organics in atmospheric aerosols in Beijing and Okinawa area. *Trans.Beijing Inst.Technol.*, 29, 172–175

西川雅高, 森育子 (2007) 3.1.11 黄砂. 日本化学会編, 231–234, 第5版実験化学講座 20-2 – 環境化学 –. 丸善株式会社, 519

西澤智明, 杉本伸夫 (2009) 能動型測器「ライダー」を用いたエアロゾルの観測研究, *エアロゾル研究*, 24, 242–249.

- 大原利眞 (2007) 7.1 シミュレーションの概要, 7.4 酸性雨・酸性沈着のシミュレーション. 笠原三紀夫, 東野達編, エアロゾルの大気環境影響, 京都大学学術出版会, 259-262, 292-300
- 大原利眞 (2007) 越境大気汚染の日本への影響. 伝熱, 46, 197, 7-11
- 大原利眞 (2007) 光化学オキシダント, 浮遊粒子状物質 (6 編電力と環境, 2.3.1 大気質). 現代電力技術便覧 (財団法人電気科学技術奨励会編), オーム社, 1100-1103
- 大原利眞 (2007) 中国の大気汚染と日本への影響. エコノミスト, 2007.12.17, 104-107
- 大原利眞 (2007) 東アジア域におけるエアロゾルのシミュレーション. 笠原三紀夫, 東野達編, エアロゾルの大気環境影響, 京都大学学術出版会, pp.259-262, 292-300
- 大原利眞 (2007) 日本における光化学オゾンの上昇 - アジアにおける排出量の増加と越境汚染の影響 -. 生活と環境, 52, 5, 90-95
- 大原利眞 (2008) アジアで増える NO_x と光化学オゾン, 科学, 78, 727-728
- 大原利眞 (2008) 越境大気汚染と日本への影響, 地理・地図資料 (帝国書院発行), 2008 年 4 月号, 4-6
- 大原利眞 (2008) 中国からの越境大気汚染の日本への影響, 季刊環境研究, 149, 41-46
- 大原利眞 (2008) 大気環境年表, 7.2 大気環境保全対策の変遷と展開. 環境工学の新世紀 (土木学会編). 技報堂出版, 206-208, 220-232
- 大原利眞 (2009) 越境大気汚染～広域的な光化学オゾン汚染の現状と要因, グローバルネット, 222, 18-19.
- 大原利眞 (2009) 光化学大気汚染 - 越境大気汚染問題としての広域移流の最近研究から -, 資源環境対策, 45, 75-80.
- 大原利眞 (2010) 大気汚染物質の排出インベントリー, 地球環境学事典 (総合地球環境学研究所編), 弘文堂, 58-60.
- Ohara T., Yamaji K., Uno I., Tanimoto H., Sugata S., Nagashima T., Kurokawa J., Horii N., Akimoto H. (2008) Long-Term simulations of surface ozone in East Asia during 1980-2020 with CMAQ. In: Borrego C. and A.I. Miranda A. I. ed., NATO Science for peace and security series - C: Environmental Security, Air Pollution Modelling and its Application XIX, 136-144, Springer
- 倫小秀, 高見昭憲, 三好猛雄, 畠山史郎 (2007) Long-range transport of organic aerosol from continental origin to Cape Hedo, Japan. 第 17 回大気化学シンポジウム・プロシーディングス, 132
- 桜井博, 佐藤圭, 高畑圭二, 濱尚矢, 遠藤有紀 (2009) アメリカエアロゾル学会第 28 回年会, エアロゾル研究, 24 (4), 64-66
- 清水厚 (2009) ライダーネットワークによる黄砂の 3 次元構造と輸送状態の把握, グローバルネット, 221, 22-23.
- Sugimoto N. (2006) Observation of aerosol particle in the east asia using lidars. In: Ishizaka Y., Kitada T. eds., Effects of Pollutants on Atmospheric Environment, HyARC Nagoya Univ, UNESCO, 83-101,
- 杉本伸夫 (2007) 4.3 ライダーによる空間分布の観測. 笠原三紀夫, 東野達編, エアロゾルの大気環境影響, 京都大学学術出版会, 152-172
- 杉本伸夫 (2009) コラム「ライダー研究 30 年」, 大気環境学会誌, 44, 367.
- Takami A. (2009) Chemical composition of aerosol in East Asia and its radiative impact. Nucleation and Atmospheric Aerosol, 33-42
- 高見昭憲 (2009) 2 沖縄辺戸岬における湿性沈着中及び粒子状物質中の nss-So₄2- の挙動について. 酸性雨長期モニタリング報告書, 41-43
- 高見昭憲 (2010) 1.3.1 アジアの地表ステーションにおける観測強化 (1) ABC 計画. 1.5.1 雲・エアロゾル・放射に関する新観測手法の開発 (3) 混合状態・前駆物質等の観測. 2.3.2 国内機関の観測におけるデータ流通. 2.4.2 アジア大陸への観測の展開 (1) EANET・ABC-Asia のアジア域におけるオゾン観測. 地球温暖化観測における連携の促進を目指して - 雲・エアロゾル・放射および温暖化影響評価に関する観測 -, 17-18, 23, 39, 41
- 高見昭憲 (2010) 東アジアにおける越境大気汚染と観測. 中国・日本科学最前線 - 研究の現場から - 2010 年版, 225-228

- 滝口善洋, 高見昭憲, 定永靖宗, 川上純一, 坂東博, 畠山史郎 (2007) 沖縄辺戸岬における大気エアロゾル中に含まれる硝酸塩の季節変動. 第17回大気化学シンポジウム・プロシーディングス, 135
- 谷本浩志 (2007) 大気汚染物質の半球規模輸送に関するタスクフォース会議報告. 国立環境研究所地球環境研究センターニュース, 17 (12), 9-11
- 谷本浩志 (2007) 第3章環境測定の実例, 3.1 大気汚染物質, 3.1.2 オゾン・PAN, 第5版実験化学講座 (20-2). 環境化学, 丸善
- 谷本浩志 (2007) 地球環境問題としてのオゾン汚染. 資源環境対策, 43 (7), 21-27
- 谷本浩志 (2008) 対流圏オゾン濃度の増加および悪影響の現状と課題, 化学物質と環境 (エコケミストリー研究会誌), 89 (2008.5), 1-3
- 谷本浩志, 猪俣敏 (2006) 揮発性有機化合物リアルタイム測定装置の開発と今後の展開 - プロトン移動反応イオン化 - 飛行時間型質量分析計 (PTR-TOFMS) -. 資源環境対策, 42 (8), 61-66
- 谷本浩志, 猪俣敏 (2007) 第1章第4節 VOC の多成分リアルタイム測定装置の開発. 各種手法による有機物の分解技術, 情報機構, 38-49
- 谷本浩志, 猪俣敏 (2008) 大気中揮発性有機化合物の多成分同時計測手法の開発, 季刊環境研究, 151, 9-15
- Tanimoto H., Inomata S., Aoki N., Sadanaga Y., Hirokawa J. (2007) The NIES PTR-TOFMS Instrument: Design, Performance, and Application. In: A. Hansel, T.D. Märk ed., 3rd International Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and Its Applications, Innsbruck University Press, Innsbruck
- 谷本浩志, 松本潔 (2007) 入門講座失敗から学ぶ分析技術のコツ - 分析試料に関するトピックス. 大気関連試料 -, ぶんせき
- 谷本浩志, 向井人史 (2007) 日本におけるオゾン観測の現状と課題および展望. 資源環境対策, 43 (7), 42-48
- Tanimoto H., Mukai H., Ohara T., Uno I. (2007) Impact of changing climate and emissions on surface ozone distributions and evolution, Regional climate variability and its impacts in the Mediterranean area. In: A. Mellouki and A.R. Ravishankara eds, NATO Science Series IV. Earth and Environmental Sciences-Vol. 79, 113-127

(2) 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

【査読あり】

- 有田博之, 樋山和恵, 福与徳文, 橋本禪, 武山絵美 (2007) 中越大震災時に集会施設が果たした避難機能, 農業土木学会誌, 75 (4), pp.17-20.
- Bao Xiang, Masataka WATANABE, Qinxue WANG, Seiji HAYASHI, and Jiyuan LIU. (2006) Nitrogen budgets of agricultural fields of the Changjiang River basin from 1980 to 1990, *Science of the Total Environment*, 363: 136-148.
- Chen X., Fengming X., Geng Y., Fujita T. (2011) The potential environmental gains from recycling waste plastics: Simulation of transferring recycling and recovery technologies to shenyang, China. *Waste Manage.*, 31 (1), 168-179
- Chen X., Geng Y., Fujita T. (2010) An Overview of Municipal Solid Waste Management in China, *Journal of Waste Management*, 30, 716-724.
- Chen X., Haight.E.M., Yong G., Fujita T. (2010) Managing municipal solid waste from a system perspective: a comparative study of Dalian, China and Waterloo, Canada. *Sust.Dev.*, 18 (5), 282-294
- Chen Z., Chen D., Xu K-Q., Zhao Y., Wei T., Chen J., Li L., Watanabe M. (2007) Acoustic Doppler current profiler surveys along the Yangtze River, *Geomorphology*, Vol. 85, Issue 3-4, 155-165, (DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.03.018)
- Chen Z., Xu K-Q., Watanabe M. (2007) 21 Dynamic hydrology and geomorphology of the Yangtze River. In: Gupta A., *Large Rivers: Geomorphology and Management*, Wiley, 457-469
- Dairaku K., Emori S., Higashi H. (2008) Potential changes in extreme events under global climate change. *Journal of Disaster Research*, 3(1), 39-50.
- 藤井実, 長澤恵美里, 橋本禪, 藤田壮 (2008) 代替的なりサイクル技術の資源循環効果の評価 - 木材資源の水平循環とカスケード循環の比較 -, 環境システム研究論文集, Vol.36, pp.275-280.

- Fujimoto, N., Ohno, N., Tanaka, K., Naruhara, I., Ohnishi, A., Suzuki, M., Iwami, N., Mizuochi, M., Inamori, Y. (2007) Degradation of the cyanobacterial hepatotoxin microcystin by bacteria isolated from a monoxenic culture of the flagellate *Monas guttula*, *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, 43: 99-111
- 藤田壮, 長澤恵美里, 大西悟, 杉野章太 (2007) 川崎エコタウンでの都市, 産業共生の展開に向けての技術, 政策評価システム, 環境システム研究論文集, Vol. 35, pp89-100.
- 福与徳文, 内川義行, 橋本禪, 武山絵美, 有田博之 (2007) 中越大震災における農村コミュニティ機能, 農業土木学会誌, 75 (4), pp.11-16.
- Geng Y., Bruce M., Fujita T., Nakayama T. (2010) Perspectives on small watershed management in China: the case of Biliu, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(2): 172-179
- Geng Y., Fujita T. (2008) The Application of Biomimicry, *Journal of Philippine Industrial Engineering*, Vol.5, No.1, pp.1-8.
- Geng Y., Fujita T., Chen X. (2010) Evaluation of Innovative Municipal Solid Waste Management through Urban Symbiosis: A Case Study of Kawasaki, *Journal of Cleaner Production*, vol.18, pp.993-1000.
- Geng Y., Pang Z., Raymond P. C., Fujita T. (2008) Assessment of the National Eco-industrial Park Standards for Promoting Industrial Symbiosis in China, *Journal of Industrial Ecology*, Vol.13, No.1, pp.15-26
- Geng Y., Raymond P. C., Fujita T. (2007) A quantitative water resource planning and management model for an industrial park level, *Journal of Regional Environmental Change*, Springer, Volume 7, Number 3, pp123-135
- Geng Y., Zhu Q., Brent D., Fujita T. (2009) Implementing China's Circular Economy Concept at the Regional Level: a review of progress in Dalian, China, *Journal of Waste Management*, Vol.29, pp996-1002.
- 濱野裕之, 中山忠暢, 堀紘子, 藤田壮, 田上浩孝 (2009) 都市スケールの三次元水熱フラックス解析モデルによる都市の緑化施策の評価, 環境システム研究論文集, Vol.37, pp.93-104, 10.
- 花町優次, 東博紀, 樋渡武彦, 水野知己, 村上正吾, 木幡邦男 (2010) 成長モデルを用いた伊勢湾伊勢地区におけるアサリ資源量の変動要因の推定, 水工学論文集, 54, 1603-1608.
- Hashimoto S., Fujita T., Geng Y., Nagasawa E. (2010) Realizing CO2 emission reduction through industrial symbiosis: A Cement Production Case Study For Kawasaki, *Journal of Conservation and Recycling*, Vol.54(10), pp.704-710
- 橋本禪, 松浦正浩 (2007) 米国における農業紛争処理制度の枠組みと活用状況, 農業土木学会誌, 75 (5) : 399-403.
- 橋本禪, 佐藤洋平 (2007) 農村計画の策定過程への参加根拠, 農業土木学会論文集 248, pp.35-40.
- Hashimoto S., Sato Y. (2008) Participatory rural planning in Japan: promises and limits of neighborhood associations, *Paddy Water Environ* 6:199-210 DOI: 10.1007/s10333-007-0095-5.
- 橋本禪, 杉野章太, 藤田壮, Qinghua Zhu, 長澤恵美里 (2008) 環境配慮型企業の生産システムにおける資源循環行動の要因分析, 環境システム研究論文集, Vol. 36, pp.173-180.
- 橋本禪, 若林諒, 孫穎, 陳旭東, 藤田壮, 耿涌 (2009) 中国大連市の一般廃棄物管理施策を対象とした循環経済社会シナリオの設計と評価, 環境システム研究論文集, 37 : 301-310.
- Hasi B., Wang Q-X., Watanabe M., Kameyama S., Bao Y. (2008) Land-cover classification using ASTER Multi-band combinations based on wavelet fusion and SOM Neural Network. *Photogr.Eng.Remote Sensing*, 74(3), 333-342
- Hasi B., Wang Q-X., Yang Y-H., Yasuoka Y., Bao Y-H. (2007) Land cover classification using moderate resolution imaging spectrometer-enhanced vegetation index time-series data and self-organizing map neural network in Inner Mongolia, China, *Journal of Applied Remote Sensing*, 1: 1-13.
- Hasi B., Wang Q-X., Yasuoka Y., Watanabe M. (2007) Synergetic use of MODIS, ASTER and Landsat data for land cover classification and its calibration in north China, *Asian Journal of Geoinformatics*, 7(3): pp.15-20.
- Hayashi.S., Murakami. S, Kaiqin Xu, Watanabe. M. and B. Xu (2008) Daily runoff simulation by an integrated catchment model in the middle and lower regions of the Changjiang basin, China, *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 13(9), 846-862
- 東博紀, 花町優次, 樋渡武彦, 水野知己, 村上正吾, 木幡邦男, 越川海, 水落元之 (2010) 数値シミュレーションによる伊勢湾のアサリ資源量の減少傾向に関する考察, 水工学論文集, 54, 1597-1602.

- 東博紀, 木幡邦男 (2007) 東京湾における赤潮発生形態の変化. 水工学論文集, 51, 1303-1308.
- 東博紀, 越川海, 木幡邦男, 村上正吾, 水落元之 (2008) 伊勢湾における気温・風速の長期変動傾向とそれに伴う流動・水質の変化. 海岸工学論文集, 55, 1041-1045.
- 東博紀, 越川海, 木幡邦男, 村上正吾, 水落元之 (2009) 伊勢湾における水質の長期変動傾向と風向・風速の経年変化の関係に関する数値解析. 水工学論文集, 53, 1483-1488.
- 東博紀, 牧秀明 (2008) CIP-FEM を用いた準 3 次元内湾流動モデルによる東京湾の循環流に関する基礎研究. 水工学論文集, 52, 1405-1410.
- 東博紀, 松浦知徳 (2006) 日本における大雨の発生頻度と El Nino 監視海域における海面水温変動. 土木学会論文集 B, 62(3), 251-257.
- 平野勇二郎, 藤田壮, 高橋俊樹 (2010) 全国主要都市の家庭における CO₂ 排出量の構造分析とエネルギー用途の推定手法. 環境システム研究論文集, 38:309-316.
- 平野勇二郎, 濱野裕之, 田上浩孝, 藤田壮 (2010) 都市キャンパー内における夏季の温熱環境の観測. 環境情報科学センター, 環境情報科学論文集, No.24, pp.435-440.
- Hiwatari T., Koshikawa H., Nagata R., Suda Y., Hamaoka S., Kohata K. (2011) Trophic relationships in early spring along the Ohhotsk coast of Hokkaido, Japan, as traced by stable carbon and nitrogen isotopes. *Plankton and Benthos Research*, 6, 56-67.
- 樋渡武彦, 森鍾一, 東博紀・村上正吾・出口一郎・木幡邦男 (2007) 網張り試験による流速減衰と二枚貝浮遊幼生着底促進効果について. 環境工学論文集, 44, 555-561.
- Hiwatari T., Shinotsuka Y., Kohata K., Watanabe M. (2006) Exotic hard clam in Tokyo Bay identified as *Mercenaria mercenaria* by genetic analysis. *Fish. Sci.*, 72, 578-584
- Hiwatari T., Shirasawa K., Fukamachi Y., Nagata R., Koizumi T., Koshikawa H., Kohata K. (2008) Vertical material flux under seasonal sea ice in the Okhotsk Sea north of Hokkaido, Japan. *Polar Science*, 2, 41-54.
- Inamori R., Gui P., Dass P., Matsumura M., Xu K-Q., Kondo T., Ebie Y., Inamori Y. (2007) Investigating CH₄ and N₂O emissions from eco-engineering wastewater treatment processes using constructed wetland microcosms. *Process Biochem.*, 42, 363-373
- 稲森悠平, 稲森隆平, 丸山治, 徐開欽 (2009) 水処理・汚泥処理におけるリン除去・回収・有効利用と課題・展望. 大竹久夫監修, リン資源の回収と有効利用, サイエンス&テクノロジー, 33-62
- Inamori R., Wang Y-H., Yamamoto T., Zhang J-X., Kong H-N., Xu K-Q., Inamori Y. (2008) Seasonal effect on N₂O formation in nitrification in constructed wetlands. *Chemosphere*, 73 (7), 1071-1077
- Inamori R., Xu K-Q, Gui P, Ebie Y, Inamori Y, Matsumura M. (2006) Characteristic analysis of the organic substance and nutrient removal and the green house gas emission in the soil treatment systems with aquatic plants, *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, 42(4), 185-197
- 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, 54(6): 2171-2180.
- Koshikawa M., Takamatsu T., Takada. J., Zhu M., Xu B, Chen.Z, Murakami S., Xu K-Q., Watanabe M. (2007) Distributions of dissolved and particulate elements in the Changjiang estuary in 1997-2002: background data before the closure of the Three Gorges Dam, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Vol.71, Issue 1-2, 26-36, (DOI:10.1016/j.ecss.2006.08.010)
- Koshikawa H., Xu K-Q., Liu Z.L., Kohata K., Kawachi M., Maki H., Zhu M.Y., Watanabe M. (2007) Effect of the water-soluble fraction of diesel oil on bacterial and primary production and the trophic transfer to mesozooplankton through a microbial food web in Yangtze estuary, China, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 71, 68-80.
- Kwon H-H., Brown C., Xu K-Q., Lall U. (2009) Seasonal and annual maximum streamflow forecasting using climate information: application to the Three Gorges Dam in the Yangtze River basin, China. *Hydrol.Sci.J.*, 54 (3), 582-595

- Li M., Xu K-Q., Watanabe M., Chen Z. (2007) Long-term variations in dissolved silicate, nitrogen, and phosphorus flux from the Yangtze River into the East China Sea and impacts on estuarine ecosystem, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Vol.71, Issue 1-2, 3-12, (doi:10.1016/j.ecss.2006.08.013)
- Li Y., Mingyuan Du M., Tang Y., Wang Q-X., Zhao X., Gu S. (2006) UV-B Changing Characteristics of Alpine Meadow Area at Haibei Station in Qilian Mountain (In Chinese). *Journal of Arid Land Resources and Environment*, (3): 79-84.
- Li Y., Wang Q-X., Du M., Zhao L., Xu S., Tang Y., Yu G., Zhao X., Gu S. (2006) A study on replenishment and decomposition of organic matter in and Mat-Cryic cambisols CO₂ flux between vegetation and atmosphere. *ACTA Agrestia Sinica* (in Chinese), 14 (2), 165-169
- Li Y., Zhang F., Liu A., Zhao L., Wang Q-X., Zhao M. (2006) Responses of Soil Temperature and Humidity to Changes of Vegetation Coverage in Alpine *Kobresia tibetica* Meadow (In Chinese). *Chinese Journal of Agrometeorology*, 27(4): 265-268
- Li. Y., Zhao L., Wang Q-X., Du M., Gu S., Xu S., Zhang F., Zhao X. (2006) Estimation of Biomass and Annual Turnover Quantities of *Potentilla Froticosa* Shrub. (In Chinese). *ACTA AGRESTIA SINICA*, (1): 72-76.
- Li Y., Zhao L., Xu S., Yu G., Du M., Wang Q-X., Sun X., Tang Y., Zhao X., Gu S. (2006) Plant Community Structure and Ecological Characteristics of the Alpine Wetland in Haibei Area of Qilian Mountains (In Chinese). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 28(1): 76-84.
- Li Y-N., Wang Q-X., Du M-Y., Zhao X-Q., Zhao L., Xu S-X., Gu S. (2008) Diurnal changes of micro climate in Haibei alpine wetland in the Qilian mountains (In Chinese). *Plateau Meteorol.*, 27 (1), 193-201
- Li Y-N., Zhao L., Xu S-X., Du M-Y., Wang Q-X., Zhao X-Q. (2008) Study on the UV-A and UV-B changes and their correlations with meteorological factors in the Haibei alpine meadow in the Qilian Mountains (In Chinese). *Arid Zone Res.*, 25 (2), 266-272
- Li Y-N., Zhao L., Zhao X-Q., Wang Q-X., Du M-Y., Zhang F-W. (2009) The Dynamic Features of Alpine *Potentilla fruticosa* Shrub Meadow Vegetation Reflectivity (In Chinese). *Journal of Mountain Science*, 27 (3), 265-269
- Li Y-N., Zhao L., Zhao X-Q., Wang Q-X., Zhang F.W. (2007) The features of soil organic matters supplement and CO₂ exchange between ground and atmosphere in alpine wetland ecosystem (In Chinese). *J.Glaciol.Geocryol.*, 29 (6), 940-946
- Liu C., Otsubo K., Wang Q-X., Ichinose T. (2007) Spatial Distribution and Influential Factors of Floating Population. *Chinese Geographical Science*. 17(2): 99-109.
- Liu C., Wang Q-X., Lei A-L., Yang Y-H., Ouyang Z., Lin Y-M, Li Y., Wang K-L (2009) Identification of anthropogenic parameters for a regional nitrogen balance model via field investigation of six ecosystems in China. *Biogeochemistry*, 94 (2), 175-190
- Liu C., Wang Q-X., Mizuochi M., Wang K., Lin Y. (2008) Human behavioral impact on nitrogen flow—A case study of the rural areas of the middle and lower reaches of the Changjiang River, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 125: 84-92.
- Liu C., Wang Q-X., Watanabe M. (2006) Nitrogen transported to Three Gorges Dam from agro-ecosystems during 1980-2000, *Journal Biogeochemistry*, 81(3): 291-31.
- 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. *J Sci Food Agric.*, On line: 1 DEC 2011, DOI: 10.1002/jsfa.4725.
- Liu C., Watanabe M., Wang.Q-X. (2008) Changes in Nitrogen Budgets and Nitrogen Use Efficiency in the Agroecosystems of the Changjiang River Basin between 1980 and 2000. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 80(1): 19-37.
- Liu R., Wang Q-X., Tang L., Li Y. (2009) Seasonal variation in water, heat and CO₂ fluxes and its driving forces over a saline desert. *Acta Ecol.Sin.*, 29 (1), 69-75 <In Chinese>
- 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* (in Chinese), 19(6): 1431-1436

- 茂呂大輔, 松野浩一, 近藤明日香, 藤田壮, 村野昭人 (2006) 地域産材による梁通し型木造住宅再築システムの環境改善効果に関する研究 - 埼玉県産すぎ材を使用した梁通し型木造実験住宅の木材投入量に関する調査研究 -, 第 22 回建築生産シンポジウム論文集, pp.71-76.
- 村上正吾, 辻本哲郎 (2007) 浸透流の砂面擾乱の不安定性に及ぼす影響について, 水工学論文集, 51, 1027-1032.
- 村野昭人, 藤田壮 (2006) 木造住宅の部材特性を考慮した循環利用技術の評価, 環境システム研究論文集, Vol.34, pp455-462.
- 村野昭人, 藤田壮, 星野陽介 (2009) 建設廃木材を対象とした統合的再資源化シナリオの評価システムの構築と評価, 土木学会論文集 G, Vol.65, No.1, pp.69-76.
- 村野昭人, 藤田壮, 長澤恵美里 (2007) WebGIS データベースを用いた循環施設を中核とする地域循環支援システムの提案, 環境システム研究論文集, Vol.35, pp101-108.
- 長澤恵美里, 藤田壮, 大西悟 (2007) 川崎エコタウンにおける循環型生産施設における技術特性の評価, 環境情報科学論文集, No21, pp237-242.
- Nakayama, T. (2008) Factors controlling two-species competition in Kushiro Mire, *Ecol. Model.*, 215, 225-236 (doi: 10.1016/j.ecolmodel.2008.02.017)
- Nakayama, T. (2008) Shrinkage of shrub forest and recovery of mire ecosystem by river restoration in northern Japan, *Forest Ecol. Manag.* 256(11): 1927-1938
- Nakayama T., Fujita T. (2010) Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas, *Landscape Urban Plan, Landscape and Urban Planning.* 96(2): 57-67
- Nakayama T., Sun Y., Nguyen C. D., Fujita T., Geng Y. (2009) Simulation of water resource and its relation to urban activity in Dalian City, Northern China, *Global and Planetary Change*, 73 (3-4): 172-185
- Nakayama, T., Watanabe, M. (2006) Simulation of spring snowmelt runoff by considering micro-topography and phase changes in soil layer, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 3, 2101-2144
- Nakayama, T., Watanabe, M. (2008) Missing role of groundwater in water and nutrient cycle in the shallow eutrophic Lake Kasumigaura, Japan, *Hydrol. Process.*, 22, 1150-1172 (doi: 10.1002/hyp.6684)
- Nakayama, T., Watanabe, M. (2008) Role of flood storage ability of lakes in the Changjiang River catchment, *Global Planet. Change*, 63, 9-22 (doi: 10.1016/j.gloplacha.2008.04.002)
- Nakayama, T., Watanabe, M., Tanji, K., and Morioka, T. (2007) Effect of underground urban structures on eutrophic coastal environment, *Sci. Total Environ.*, 373(1), 270-288 (doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.11.033)
- Nakayama, T., Yang, Y., Watanabe, M., and Zhang, X. (2006) Simulation of groundwater dynamics in North China Plain by coupled hydrology and agricultural models, *Hydrol. Process.*, 20(16), 3441-3466 (doi: 10.1002/hyp.6142)
- Okadera T., Watanabe M. and XU Kaiqin, (2006) "Analysis of Water Demand and Water Pollutant Discharge using a Regional Input-Output Table: An Application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China", *Ecological Economics*, Vol.57, Issue 2, 221-237, (doi:10.1016/j.ecolecon.2005.07.005)
- 岡本信広, 興津正信, 岡寺智大 (2010) 中国の水問題は解決可能か? - 産業連関モデルからのアプローチ - 東アジアへの視点, 21 (1), 41-52
- Ooba M., Wang Q-X., Murakami S., Kohata K. (2010) Biogeochemical model (BGC-ES) and its basin-level application for evaluating ecosystem services under forest management practices. *Ecol. Modeling*, 221 (16), 1979-1994
- 大西悟, 陳旭東, 藤田壮 (2010) エコタウン事業の地域循環特性に関する実証研究, 環境システム研究論文集, Vol.38, pp.429-437.
- 大西悟, 藤田壮 (2006) 川崎エコタウン内鉄鋼産業における廃プラスチックの地域循環システムの評価, 環境システム研究論文集, Vol.34, pp395-404.
- Van Berkel R., Fujita T., Hashimoto S., Geng Y. (2009) Industrial and Urban Symbiosis in Japan : Analysis of the Eco-Town Program 1997-2006, *Journal of Environmental Management*, Vol.90, pp.1544-1556

- Van Berkel R., Fujita T., Hashimoto S., Fujii M. (2009) Quantitative Assessment of Urban and Industrial Symbiosis in Kawasaki, Japan, *Environmental Science & Technology*, Vol.43, No.5, pp.1271-1281
- 劉晨, 王勤学 (2010) 中国農村地域における窒素フローの変動および水環境への影響評価. *環境科学会誌*, 23 (4), 259-267.
- 劉晨, 王勤学, 水落元之, 楊永輝, 石村貞夫 (2007) 中国長江中下流農村地域における人間生活が窒素フローに及ぼす影響の現地調査研究, *システム農学* 23 (4), 305-316.
- 劉晨, 王勤学, 雷阿林, 楊永輝, 歐陽竹, 林躍明, 李彦, 王克林 (2009) 中国典型生態系における現地調査による窒素収支モデルの諸パラメータの同定. *システム農学*, 25 (1), 53-64
- 劉晨, 王勤学, 渡辺正孝 (2007) 農生態系から三峡ダムに輸送された窒素負荷量の時空変化, *システム農学* 23 (2), 153-164.
- 佐藤大作, 横木裕宗, 藤田和彦, 桑原祐史, 山野博哉, 島崎彦人, 茅根創, 渡邊真砂夫 (2006) 海面上昇後のマールシャル諸島マジュロ環礁における地形維持過程の数値シミュレーション. *海洋工学論文集*, 53, 1291-1295
- 塩野克宏, 安部征雄, 河原崎里子, 濱野裕之, 田内裕之, 小島紀徳, 山田興一 (2007) 酸素安定同位体分析によるハードパン破碎土壌に植林された樹木の水源深度の推定, *水文, 水資源学会誌*, Vol.20 (5), pp409-423.
- Sun J-W, Li Y-N., Song C-G, Wang J-L., Zhang F-W, Wang Q-X. (2010) Seasonal Dynamics Model of Aboveground Biomass and Leaf Area Index on Alpine Kobresia humilis Meadow in Qinghai-Tibet Plateau (In Chinese). *Chinese Journal of Agrometeorology*, 31 (2), 230-234
- Sun Z-G., Wang Q-X., Matsushita B., Fukushima T., Ouyang Z., Watanabe M. (2008) A new method to define the VI-Ts diagram using subpixel vegetation and soil information: A case study over a semiarid agricultural region in the North China Plain. *Sensors*, 8 (10), 6260-6279
- Sun Z-G., Wang Q-X., Matsushita B., Fukushima T., Ouyang Z., Watanabe M. (2009) Development of a Simple Remote Sensing EvapoTranspiration model (Sim-ReSET): Algorithm and model test. *Journal of Hydrology*, 376 (3-4), 476-485
- Sun Z-G., Wang Q-X, B. Matsushita, T. Fukushima, Z. Ouyang, M. Watanabe, G. Mekonnen (2011): Evaluation of the VI-Ts method for estimating the land surface moisture index and air temperature using ASTER and MODIS data in the North China Plain. *International Journal of Remote Sensing*, 32(22): 7257-7278.
- Sun Z-G., Wang Q-X., Ouyang Z., Watanabe M., Matsushita B., Fukushima T. (2007) Evaluation of MOD16 algorithm using MODIS and ground observational data in winter wheat field in North China Plain. *Hydrological Processes*. 21(9): 1196-1206.
- 孫穎, 渡邊雅士, 藤田壯 (2010) 中国企業の環境配慮型経営の影響要因に関する実証分析: 瀋陽市におけるケーススタディ, *環境システム研究論文集*, Vol.38, pp.1-8.
- 孫穎・渡邊雅士・藤田壯 (2010) 中小企業の環境配慮型経営の促進要因に関する実証分析, *環境情報科学論文集* 22号, pp.183-188.
- 孫穎, 渡邊雅士・森晶寿・藤田壯・宮寺哲彦 (2011) 環境配慮型経営の展開と推進要因: 日中製造業の国際比較, *環境科学誌* 24 (4) : 275-288
- Suzuki R., Xu K-Q., Ouchiyama T., Yamazaki H., Sankai T., Inamori Y. Satake T. (2006) Analysis of relationship among the influent load, micro biota and purification function in the wastewater treatment system coupled with disposer, *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, 42(4), 169-176
- 鈴木理恵, 徐開欽, 佐竹隆顕, 山崎宏史, 稲森悠平 (2006) ディスポーザ活用排水処理システムの浄化機能と微小動物の質的量的特性. *用水と廃水*, 48 (11), 994-1001
- 土田えりか, 藤田壯, 中山忠暢, 角田智彦, 高橋克則 (2007) 川崎市におけるクールシティ施策の温暖化対策効果の算定システムの基本設計, *環境システム研究論文集*, Vol. 35, pp139-146.
- 土田えりか, 角田智彦, 堀紘子, 藤田壯, 中山忠暢, 高橋克則, 坂本義仁 (2007) 都市舗装改善技術による熱環境変化を評価する都市熱代謝評価モデルの構築と実証検証, *環境情報科学論文集*, No21, pp381-386.
- Wang J., Li Y., Wang Q-X., Du M., Xue X., Zhang F. (2010) Comparative Analysis of Soil Heat Flux between Two Alpine Meadow Vegetation Types at Haibei Station, Qilian Mountains (In Chinese). *Chinese Journal of Agrometeorology*, 31 (1), 19-24

- Wang J-L., Li Y-N., Du M-Y., Wang Q-X., Tang Y-H., Xiao J-X., Zhang F-W., Wang S-P. (2009) The Features of Microclimate and Vegetation Distribution on the Southern Lenglonglin, Qilian Mountains (In Chinese). *Journal of Mountain Science*, 27 (4), 418-426
- Wang L., Zhen L., Liu X-L., Batkhishig O., Wang Q-X. (2008) Comparative studies on climate changes and influencing factors in central Mongolian Plateau Region (In Chinese). *Geogr.Res.*, 27 (1), 171-180
- Wang Q-X., Watanabe M., Xiao Q-A., Wu T-H., Liu J-Y., Batkhishig O. (2009) Early detection of the global warming impact on permafrost in East Asia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 6 (9): 1-2.
- Wang Q-X., Xiao Q-A, Liu C., et al. (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 Agric.*, On line: 14 SEP 2011, DOI: 10.1002/jfsa.4607.
- Wang S-Q., Song X-F, Wang Q-X., Liu C-M., Liu J-R. (2009) Shallow groundwater dynamics in North China Plain. *Journal of Geographical Sciences*, 19 (2), 175-188
- Wang S-Q., Song X-F, Wang Q-X., Xiao G-Q., Liu C-M. (2008) Dynamic Features of Shallow Groundwater in North China Plain (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 63 (5), 462-472
- Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Nitrous oxide emission from polyculture constructed wetlands: Effect of plant species, *Environmental Pollution*, Vol.152, Issue 2, 351-360 (doi:10.1016/j.envpol.2007.06.017)
- Wang Y., Inamori R., Kong H., Xu K-Q., Inamori Y., Kondo T., Zhang J. (2008) Influence of plant species and wastewater strength on constructed wetland methane emissions and associated microbial populations (In Chinese). *Ecological Engineering*, 32, 22-29 (doi:10.1016/j.ecoleng.2007.08.003)
- Wang Y-H., Zhang J-X., Kong H-N., Inamori Y., Xu K-Q., Inamori R., Kondo Y. (2009) A simulation model of nitrogen transformation in reed constructed wetlands. *Desalination*, 235, 93-101.
- Wang Z., Li L., Chen D., Xu K-Q., Wei T., Gao J., Zhao Y., Chen Z., Watanabe M. (2007) Plume front and suspended sediment dispersal off the Yangtze (Changjiang) River mouth, China during non-flood season, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Vol.71, Issue 1-2, 60-67, (DOI:10.1016/j.ecss.2006.08.012)
- Wong L.F., Fujita T., Xu K. (2008) Evaluation of regional bio-energy recovery by local methane fermentation thermal recycling systems, *Journal of Waste Management*, 28(11): 2259-2270
- Wong L.F., Fujita T., Yanagi N., Tsuchida E. (2007) Evaluation system of environmental impacts for policy scenarios of municipal solid waste recycling in Kawasaki city, *Environmental Systems Research*, Vol. 35 pp431-440
- Wu T-H., Wang Q-X., Watanabe M., Chen J., Dorjgotov B. (2009) Mapping vertical profile of discontinuous permafrost with ground penetrating radar at Nalaikh depression, Mongolia. *Environmental Geology*, 56 (8), 1577-1583
- Wu T-H, Wang Q-X., Zhao L., Batkhishig 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
- Xiong Y-J., Qiu G-Y, Mo D-K., Lin H., Sun H., Wang Q-X., Zhao S-H., Yin J. (2009) Rocky desertification and its causes in karst areas: a case study in Yongshun County, Hunan Province, China. *Environ. Geol.*, 57 (7), 1481-1488
- Xiong Y-J., Zeng S., Wu X-Q., Qiu G-Y, Wang Q-X., Zhao S-H., Yi Q. (2008) Advances in Remote Sensing of Inland Water Quality Based on Statistics (In Chinese). *REMOTE SENSING INFORMATION*, (3), 5-13
- Ren X., Wang Q-X., Tong C-L., Wu J-S., Wang K-L., Zhu Y-L., Lin Z-J., Watanabe M., Tang G-Y. (2007) Estimation of soil respiration in a paddy ecosystem in the subtropical region of China. *Chinese Science Bulletin*. 52(19): 2722-2730.
- 徐開欽(2009)第2講アメリカにおける排水再利用の動向と展望。ブッカーズ編, 海外における水ビジネス最前線, NTS, 293-310
- Xu K-Q., Brown C., Kwon H-H., Lall U., Zhang J., Hayashi S. Chen Z. (2007) Climate Teleconnections to Yangtze River Seasonal Streamflow at the Three Gorges Dam, China, *International Journal of Climatology*, Vol. 27, Issue 6, 771-780, (DOI: 10.1002/joc.1437)
- 徐開欽, 稻森悠平, 須藤隆一 (2006) アメリカにおける分散型排水処理システムの政策的動向, 月刊浄化槽, No.365, 4-11.

柳奈保子, 土田えりか, Looi-Fang WONG, 藤田壮, 山口直久 (2007) 地域 GIS データベースを用いた資源循環政策の効果算定システムの構築と試行的運用, 環境情報科学論文集, No21, pp451-456.

Yang Y., Zhang X., Watanabe M., Zhang J., Wang Q-X., Hayashi S. (2006) Optimizing irrigation management for wheat to reduce groundwater depletion in the piedmont region of the Taihang Mountains in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 82: 25-44.

Zhan J., Ding G., Xu K-Q. (2007) Study on inactivation effect of chlorine on *Rhabditis* sp. in drinking water. *Water Puri. Technol.*(in Chinese), 26(3), 42-44

Zhang F., Li Y., Li H., Wang Q-X., Du M., Zhao L., Wang S-P. (2007) The Comparative Study of the Apparent Quantum Yield and Maximum Photosynthesis Rates of 3 Typical Vegetation Types on Qinghai-Tibetan Plateau (in Chinese). *Acta. Agrestia Sinica*. 2007, 15(5), 442-448

Zhang F-W., Liu An-H., Li Y-N., Zhang L., Wang Q-X., Du M-Y. (2008) CO₂ flux in alpine wetland ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau (In Chinese). *Acta Ecol.Sin.*, 28 (2), 1-10

Zhang F-W., Zhao X-Q., Li Y-N., Gu S., Wang Q-X., Du M-Y., Tang Y. (2008) Effects of one precipitation process on CO₂ flux and thermal transportation in alpine meadow of Qinghai-Tibetan Plateau (In Chinese). *Chin.J.Ecol.*, 27 (10), 1685-1691

Zhang J., Xu K-Q., Watanabe M., Yang Y. (2006) Measuring fluctuations in water storage in Lake Dongting, China, by Topex/Poseidon satellite altimetry, *Environmental Monitoring and Assessment*, 115 (1-3), 23-37, (DOI: 10.1007/s10661-006-5233-9)

Zhang J., Xu K-Q., Yang Y., Hayashi S., Watanabe M. (2006) Measuring water storage fluctuations in lake dongting, China, by TOPEX/POSEIDON satellite altimetry. *Environ.Monit.Assess.*, 115 (1/3), 23-27

Zhen L., Liu J-Y., Liu X-L., Wang L., Batkhishig O., Wang Q-X. (2008) Structural change of agriculture-livestock system and affecting factors in Mongolian plateau (In Chinese). *J.Arid Land Resour.Eenviron.*, 22 (1), 144-151

Zheng X-J., Wang Q-X., Liu R. (2009) The condensation water input to the saline-alkaline desert ecosystem in the Southeastern edge of the Junggar Basin (In Chinese). *Progress in Natural Science*, 19 (11), 1175-1186

Zhu Q., Geng Y., Fujita T., Hashimoto S. (2010) "Green supply chain management in leading manufacturers: Case studies in Japanese large companies", *Management Research Review*, 33(4): 380-392.

Zhu Q., Sarkis J., Lee M., Geng Y. (2008) The Role of Organizational Size in the Adoption of Green Supply Chain Management Practices in China. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 15(6): 322-337.

Zhu Y., Tong C., Wu J., Wang K., Wang Q-X., Ren X. (2007) Seasonal Characteristics of CO₂ Fluxes from the Paddy Ecosystem in Subtropical Region (in Chinese). *Chinese Journal of Environmental Science*, 28(2): 283-288.

Zhu Y-L., Wu J-S., Tong C-L., Wang K-L, Wang Q-X. (2008) Responses of CO₂ Fluxes to Light Intensity and Temperature in Rice Paddy Field (In Chinese). *Chinese Journal of Environmental Science*, 29 (4), 1040-1044

【査読なし】

Chen X., Fujita T. (2009) Key Factors for the Transfer of Circulation Technologies and Estimates for Associated Environmental Benefits, 第37回環境システム研究論文発表会講演集, pp.135-140, 0924.

Fujita Tsuyoshi (2006)GIS based Evaluation for Symbiotic Industrial Projects in Kawasaki Eco town, Japan, *Proceedings of The Seventh International Conference on Ecobalance*, pp.79-82.

橋本禪, 藤田壮, 徐開欽, 中山忠暢: 統合的な都市環境の技術, 施策シナリオの設計と評価プロセス, 第35回環境システム研究論文発表会講演集, Vol.35, pp299-306, 2007

Higashi H. (2007) Influences of climate change on the frequencies of storm rainfalls and flood disasters. Matsuura, T. and Kawamura, R. eds. *Water-Related Disasters, Climate Variability and Change: Results of Tropical Storms in East Asia*, Transworld Research Network, Kerala (India), 125-143.

Higashi H., Hanamachi Y., Koshikawa H., Murakami S., Kohata K., Mizuochi M. (2010) A numerical study of climate change impacts on growth and population dynamics of the short-necked clam *ruditapes philippinarum* in Ise Bay, Japan. *8th International Symposium on Ecohydraulics 2010: Proceedings*, 1820-1827.

Higashi H., Matsuura T. (2006) Impacts of global warming on heavy precipitation frequency and flood risks. Proceedings of the 3rd International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, ST1-05-A28-306.

東博紀, 松浦知徳 (2006) 台風と洪水災害の長期リスク解明, 予測, 環境情報科学, 35 (3), 8-12.

星野陽介, 村野昭人, 鎌田みゆき, 藤田壮 (2006) 解体廃木材のエンジニアードウッド化に伴う環境負荷削減効果の検討, 第34回環境システム研究論文発表会講演集, pp.173-176.

稲森悠平, 稲森隆平, 蛭江美孝, 徐開欽 (2007) バイオ, エコ技術を活用した中国への水環境再生保全戦略, 月刊下水道 (Journal of Sewerage, Monthly), 30 (11), 58-62.

稲森悠平, 稲森隆平, 徐開欽, 蛭江美孝 (2008) バイオエコシステムを導入した高度処理による水環境保全再生, 月刊水, 新年増刊号 No.712, 33-40.

稲森悠平, 稲森隆平, 徐開欽, 許春蓮 (2009) バイオエコシステムを活用した環境再生技法の現状と将来, 畜産の研究, 63 (2), 261-272

稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平 (2007) 排水污水处理技術集成, 稲森悠平編著, 排水污水处理技術集成, エヌ・ティー・エス, 1-28

稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平 (2008) 食品工場排水の環境低負荷資源循環型高度処理技術, ジャパンフードサイエンス, 46 (6), 24-36.

稲森悠平, 徐開欽, 蛭江美孝, 稲森隆平, 松村正利 (2006) デイスポーザの循環型社会形成に資する管理型適性普及方策と高度化の課題と展望, 用水と廃水, 48 (7), 586-596.

稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平 (2007) 環境農業直接支払制度を具体化した「環境こだわり農業」による水環境保全, 用水と廃水, 48 (6), 447-450.

稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平 (2007) 中国の水環境の現状と污水处理事業の進展, 用水と廃水, 48 (5), 363-367.

稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 蛭江美孝, 須藤隆一 (2008) Bio-eco System を活用した中国水環境修復戦略 (1), 月刊水, No.711, 14-27.

稲森悠平, 徐開欽, 稲森隆平, 蛭江美孝, 須藤隆一 (2008) Bio-eco System を活用した中国水環境修復戦略 (2), 月刊水, No.713, 14-26

稲森隆平, 徐開欽, 山本智子, 松村正利, 稲森悠平 (2006) 生態工学を活用した水生植物による浄化技術, 用水と廃水, 48 (11), 963-975.

金相燦, 稲森悠平, 朴俊大, 徐開欽, 蛭江美孝 (2007) - 金相燦, 稲森悠平, 朴俊大編, 湖泊和湿地水環境生態修復技術与管理指南, 科学出版社, 394p

越川海, 東博紀, 岡村和磨 (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.

松本朋弥, 藤田壮, 耿子威 (2008) 地域環境改善手法を用いた外気温低下によるコージェネレーション用熱機関の効率算定, 第36回環境システム研究論文発表会講演集, pp.237-242, 1019.

松野浩一, 新井真吾, 刈茅孝一, 関口崇, 藤田壮, 村野昭人 (2007) 解体廃木材を活用したエンジニアリングウッドによるラーメン構造住宅システムの研究, 第23回建築生産シンポジウム論文集, pp159-164, 0720.

松野浩一, 小島容子, 村野昭人, 藤田壮, 南いづみ, 須田麻起子 (2007) 関東一都六県における戸建て木質住宅の着工推移と解体廃木材発生量, 木材需要量の将来予測, 第23回建築生産シンポジウム論文集, pp147-152, 0720.

松野浩一, 茂呂大輔, 高橋祐作, 村野昭人, 藤田壮 (2007) 地域産木材, 既使用材活用による梁通し型木造住宅再築システムの架構計画, 生産計画に関する研究, 第23回建築生産シンポジウム論文集, pp177-182, 0720.

水落元之 (2007) 中国で求められている水処理技術とは, 月刊下水道, 3 (3): 90-93.

水落元之 (2009) 中国の水環境の現状と日本からの技術協力支援: グローバルネット, 225, 18-19

水落元之 (2010) 相互協力という新たな流れ-人工湿地法を用いた中国における技術協力-, 月刊下水道, 33 (2) 61-65

- 水落元之, 小柳秀明, 久山哲雄, 西修 (2009) 中国の農村地域における生活排水対策の重要性と日中協力, 月刊下水道, 32 (7) 59-63
- 水落元之, 牧秀明, 今井章雄, 木幡邦男, 弓木麻記子, 松田和久 (2008) 水質汚濁に係る環境基準 (水質環境基準) の問題点と課題に関する考察-自治体アンケートによる検討-, 月刊「水」, 50 (7) : 32-37.
- 水落元之, 西村修 (2006) 中国の湖沼水質の現状と改善プロジェクト -太湖流域を中心として-, 環境技術, 35: 683-686.
- 水落元之, 西村修 (2006) 中国における面源負荷対策と日中研究協力, 環境技術, 35: 752-755.
- Murano A., Fujita T. (2006) The Evaluation of Circulation Systems for Wooden Construction Materials, Proceedings of The Seventh International Conference on EcoBalance, 787-788.
- 村野昭人, 藤田壮 (2007) 木質構造物のライフサイクル評価方法の検討, 第35回土木計画学研究発表会講演論文集 vol.35, pp258.
- 村野昭人, 鎌田みゆき, 藤田壮 (2007) 木質系バイオマスを対象とした循環利用技術インベントリの評価, 第15回地球環境シンポジウム講演論文集, pp225-230.
- 村野昭人, 前田学, 藤田壮 (2006) 建設系廃木材を対象とした再資源化技術の環境効率の評価, 第61回土木学会年次学術講演会第VII部門, VII 189, 0921.
- 村野昭人, 松野浩一, 藤田壮, 星野陽介 (2007) 木材循環を志向した木質住宅システムの環境負荷削減効果の評価方法の提案, 第23回建築生産シンポジウム論文集, pp153-158, 0720.
- 村野昭人, 松野浩一, 藤田壮, 桜井俊介 (2008) 木材循環を志向した木質住宅システムの環境負荷削減効果の評価-埼玉県を対象としたケーススタディー-, 第24回建築生産シンポジウム論文集, pp311-316, 0725.
- 長澤恵美里, 藤田壮, 村野昭人 (2006) 産業集積都市を対象とした温室効果ガスの排出権取引規模の試算, 第14回地球環境シンポジウム講演論文集, pp.91-96.
- 中島古史郎, 村野昭人, 藤田壮 (2007) 木質建材の低環境負荷化に向けた環境システムの思考の適用, 第35回環境システム研究論文発表会講演集, Vol.35 pp183-186.
- Nakayama, T.(2008) Development of process-based NICE model and simulation of ecosystem dynamics in the catchment of East Asia (Part II), CGER's Supercomputer Monograph Report, 14, NIES, 91p., <http://www-cger.nies.go.jp/publication/I083/i083.html>.
- Nakayama, T.(2009) Simulation of Ecosystem Degradation and its Application for Effective Policy-Making in Regional Scale, In River Pollution Research Progress, (Eds) Mattia N. Gallo and Marco H. Ferrari, Nova Science Publishers, Inc. New York. 1-89.
- 中山忠暢, 渡辺正孝 (2008) 統合型管理モデルを用いた東アジア地域の流域生態系評価, NIES Supercomputer Annual Report 2006, 103-108.
- 杉野章太, 大西悟, 長澤恵美里, 村野昭人, 藤田壮 (2006) 川崎エコタウン産業共生立地調査における非鉄金属循環拠点施設の環境改善効果の算定, 第34回環境システム研究論文発表会講演集, pp.141-144.
- 竹内浄, 濱野裕之, 藤田壮, 中山忠暢 (2009) 川崎市臨海部における観測による海陸風の都市熱環境への影響の考察, 第37回環境システム研究論文発表会講演集, pp.55-60, 0924.
- 土田えりか, 藤田壮, 長澤恵美里, 柳奈保子 (2006) 首都圏中核都市における新エネルギー導入による温暖化抑制効果の算定, 第34回環境システム研究論文発表会講演集, pp.33-36.
- 内海康雄, 木村竜士, 神村一幸, 杵嶋修三, 藤田壮, 中根英昭 (2009) ;宮城高専共同テクノセンターにおける最適制御システムの導入効果に関する研究, 平成21年度空気調和・衛生工学会大会 (熊本) 講演論文集, 3頁 : 2271-2274
- 内海康雄, 木村竜士, 神村一幸, 杵嶋修三, 藤田壮, 中根英昭 (2009) 公共建物における空調自動制御システムの適応に関する研究, 日本建築学会大会 (東北) 学術講演会・建築デザイン発表会講演集, 41577 (CD-ROM), 0829.
- 王勤学 (2008) さしせまる「モンゴル草原が消える日」. Newton, 28 (2), 118
- 王勤学 (2008) 激動中国での体感. 水文・水資源学会誌, 21 (5), 390-391

Wang Q-X, Sun Z-G, Matsushita B., Watanabe M. (2011): A Simple Remote Sensing EvapoTranspiration Model (Sim-ReSET) and its Application Evapotranspiration. Evapotranspiration, ISBN 978-953-307-251-7, Edited by Leszek Labedzki, InTech Publisher. pp.151-162.

王勤学, 渡辺正孝, 劉紀遠, 塚本直也 (2008) 中国における環境資源への温暖化影響及び温暖化影響早期観測ネットワークの構築. 環境研究, 2008 (149), 31-40

Wong L. F., Fujita T. (2006) A GIS-based Regional Scale Evaluation System for the Sustainability of Energy Conversion Technologies for Organic Waste Matters, Proceedings of The Seventh International Conference on Ecobalance, pp.813-816.

徐開欽 (2006) アメリカの水事情 (5) - 水危機, 水紛争を防ぐための Water 2025, 用水と廃水, Vol.48 (1), 12-16.

徐開欽 (2006) アメリカの水事情— (6) : 排水再利用の動向, 用水と廃水, Vol.48 (11), 936-939.

徐開欽 (2006) アメリカの水事情— (7) : 排水再利用の事例, 用水と廃水, Vol.48 (12), 1020-1025.

徐開欽 (2006) アメリカの水事情—特別編: 南部を直撃したハリケーン「カトリーナ」(1), 用水と廃水, Vol.48 (4), 288-291.

徐開欽 (2006) アメリカの水事情—特別編: 南部を直撃したハリケーン「カトリーナ」(2), 用水と廃水, Vol.48 (5), 385-390.

徐開欽 (2007) 中国の水環境改善へ向けた国際環協力の重要性—中国環境科学学会水環境分会 2006 年大会に参加して—用水と廃水, 49 (1) 17-19.

徐開欽 (2007) 映画「不都合な真実」が訴える地球温暖化問題の深刻さ—米国地球物理学連合 2006 年秋季大会に参加して—用水と廃水, 49 (2) 18-21.

徐開欽 (2008) 中国における水環境の現状と深刻さ増す湖沼のアオコ問題. 科学, 78 (7), 756-759

徐開欽, 蛭江美孝, 稲森悠平 (2009) 長江流域における水環境の現状と課題. 環境技術, 38 (5), 309-316

徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一 (2007) 深刻さ増す中国のアオコ問題—対策に本格的取組み—「第 7 回江蘇科学技術フォーラム」に参加して, 用水と廃水, 49 (12), 1006-1010.

徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一, 岩見徳雄 (2008) 水域の富栄養化の制御. 湖沼マイクロコズムによる藻類制御と生態系の解析・評価. 稲森悠平編, 最新環境浄化のための微生物学, 講談社サイエンティフィク, 84-104. 105-119

徐開欽, 稲森悠平, 渡辺正孝 (2006) 三峡ダム湖湛水後の周辺流域環境の現状と課題. 用水と廃水, 48 (7), 550-553

徐開欽, 稲森悠平, 渡辺正孝 (2006) 三峡ダム湖湛水後の周辺流域環境の現状と課題, 用水と廃水, 48 (7), 553-560.

(3) 中核研究プロジェクト 3 : 流域生態系における環境影響評価手法の開発

【査読あり】

Bagan H., Wang Q., Watanabe M., Kameyama S., Yuhai B. (2007) Land-cover Classification Using ASTER Multi-band Combinations Based on Wavelet Fusion and SOM Neural Network. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol73, No.5, pp.333-342.

福原晴夫, 大高明史, 木村直哉, 菊池義昭, 山本鎔子, 落合正宏, 福井学, 野原精一 (2006) 尾瀬ヶ原のアカシボ現象に関する研究—尾瀬ヶ原のアカシボにみられる無脊椎動物—. 陸水学雑誌 (67), 81-93.

福島路生, 帰山雅秀, 後藤晃 (2008) イトウ: 巨大淡水魚をいかに守るか. 魚類学雑誌, 55 (1), 49-53

福島路生, 亀山哲 (2006) サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価. 応用生態工学, 8, 233-244

Fukushima M., Kameyama S., Kaneko M., Nakao K., Steel E.A. (2007) Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. Freshwater Biology (52), 1511-1524.

- Fukushima M., Shimazaki H., Rand P.S., Kaeriyama M. (2011) Reconstructing Sakhalin taimen historical distribution and identifying causes for local extinctions. *Transactions of the American Fisheries Society* 140: 1-13.
- Han M., Fukushima M., Fukushima T. (2008) A spatial linkage between dams and non-native fish species in Hokkaido, Japan. *Ecology of Freshwater Fish*, 17 (3), 416-424.
- Han M., Fukushima M., Fukushima T. (2008) Species richness of exotic and endangered fishes in Japan's reservoirs. *Environmental Biology of Fishes* 83 (4): 409-416.
- Han M., Fukushima T., Fukushima M. (2008) Effect of damming on distribution of rainbow trout in Hokkaido, Japan. *Environmental Biology of Fishes* 84: 175-181.
- Han M., Fukushima M., Kameyama S., Fukushima T., Matsushita B. (2007) How do dams affect freshwater fish distributions in Japan? Statistical analysis of native and nonnative species with various life histories. *Ecological Research* 23(4): 735-743.
- Hiroki M., Nohara S., Hanabishi K., Utagawa H., Yabe T., Satake K. (2007) Enzymatic evaluation of decomposition in mosaic landscapes of a tidal flat ecosystem. *Wetlands*, 27, 399-405.
- Hirota M., Senga Y., Seike Y., Nohara S., Kunii H. (2007) Fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in two contrastive fringing zones of coastal lagoon. Lake Nakaumi, Japan. *Chemosphere* (68), 597-603.
- Inoue T., Matsumoto K., Nohara S., Anzai Y. (2011) What happens to soil chemical properties after mangrove plants colonize? *Plant and Soil* 346, 259-273.
- Inoue T., Takagi H., Nohara S., Anzai Y. (2011) Contrast of nitrogen around roots of mangrove plants *Plant and Soil* 339, 471-483.
- Inoue T., Tsuchiya T. (2009) Depth distribution of three *Typha* species, *Typha orientalis* Presl, *Typha angustifolia* L. and *Typha latifolia* L., in an artificial pond *Plant Species Biology* 24, 47-52.
- Inoue Matsui T., Tsuchiya T., (2006) Growth strategy of an emergent macrophyte, *Typha orientalis* Presl, in comparison with *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L. *limnology* 7, 171-174.
- Inoue Matsui T., Tsuchiya T. (2008) Interspecific differences in radial oxygen loss from the roots of three *Typha* species *limnology* 9, 207-211.
- 亀山哲 (2006) 3.5 陸域環境のリモートセンシング. 井口洋夫監修, 宇宙環境利用と人類の将来 (II) - 宇宙に住む, 宇宙から地球をみる -, 宇宙航空研究開発機構, 114-133.
- Kameyama S., Fukushima M., Han M., Kaneko M. (2007) Spatio-temporal changes in habitat potential of endangered freshwater fish in Japan, *Ecological Informatics*, Vol 2/4, pp 318-327 (DOI information: 10.1016/j.ecoinf.2007.08.001)
- Kameyama S., Sakawa T., Sato T., Shimazaki H., Nohara S., Inoue T. (2008) Impacts of anthropogenic structural changes to the Mekong River watershed on seasonal hydrologic dynamics in the watershed and floodplain, *Verh.Internat.Verein. Limnol.*, Vol.30, No.5, pp.794-800.
- Kameyama S., Shimazaki H., Nohara S., Sato T., Fujii Y., Kudo K. (2012) Hydrological and Sediment Transport Simulation to Assess the Impact of Dam Construction in the Mekong River Main Channel, *American Journal of Environmental Sciences*, in press.
- 金子正美, 田中克佳, 赤松里香, 長雄一, 濱原和広, 木戸和男, 濱田誠一, 亀山哲 (2011) 油汚染等の海洋生態系への影響評価につながる海域-陸域統合型 GIS の構築について, 沿岸域学会誌, 第 23 巻, 第 3 号, pp.1-7.
- Koshikawa-K.M., Takamatsu T., Nohara S., Shibata H., Xu X., Yoh M., Watanabe M., Satake K. (2007) Speciation of aluminum in circumneutral Japanese stream waters. *Appl. Geochem.*, 22, 1209-1216.
- 越川昌美, 渡邊未来, 高松武次郎, 林誠二, 野原精一, 佐竹研一 (2011) 新潟県三面川水系における渓流水質と集水域の地質および地形の関係. *陸水学雑誌*, 72 (1), 71-80.
- 森康則, 吉村英基, 前田明, 志村恭子, 大熊和行, 小川正彦, 橋爪清, 野原精一, 近藤雅秋, 加治佐隆光 (2010) 直近の新規温泉掘削が既存温泉に与える地球化学的影響. *温泉科学*, 60, 22-36.
- 野原精一 (2010) 湿原生態系の窒素汚染. *地球環境*, 15 (2), 153-160
- 野原精一, 井上智美 (2006) 干潟と地球温暖化. *地球環境* (11), 245-254.

大高明史, 山崎千恵子, 野原精一, 尾瀬アカシボ研究グループ (2008) 青森県のアカシボ発生地域における雪中の無脊椎動物. 陸水学雑誌, 69 (2), 107-119

Osa Y., Tahara R., Hahahaha K., Otsuka H., Kato T., Kameyama S., Maki H., Hamada S., Kido K., Takayanagi S., Maruyama S., Tanaka I., Akamatsu R., Tanaka K. (2012) Environmental assessment of the impact of oil spill and other accidental pollution on a marine ecosystem, Proceedings of International Symposium on "Environmental Conservation of the Sea of Okhotsk: Cooperation between Japan, China and Russia" in press (peer-reviewed Proceedings).

Senga Y., Hirota M., Hirao M., Fujii T., Seike Y., Nohara S., Kunii H. (2009) Nitrogen dynamics and N₂O emission in restored salt marsh Lake Shinji Japan. Verh. Internat. Verein. Limnol., 30 (6), 907-910.

Senga Y., Hiroki M., Nakamura Y., Watarai Y., Watanabe Y., Nohara S. (2011) Vertical profiles of DIN, DOC, microbial activities in the peat soil in Kushiro Mire, Northeastern Japan. Limnology, 12, 17-23.

Shimazaki H., Yamano H., Yokoki H., Yamaguchi T., Chikamori M., Tamura M., Kayanne H. (2006) Global mapping of factors controlling reef-island formation and maintenance. Suzuki Y. et al., Proc.10th Int.Coral Reef Symp., pp.1577-1584.

下田路子, 野原精一, 井上智美 (2011) ベトナム南西部におけるメコンデルタの水草. 水草研究会誌, 95, 29-38.

Steel, E.A., Hughes R.M., Fullerton A.H., Schmutz S., Young J.A., Fukushima M., Muhar S., Poppe M., Feist B.E., Trautwein C. (2010) Are we meeting the challenges of landscape-scale riverine research? A review. Living Review in Landscape Research 4 (<http://landscaperesearch.livingreviews.org/Articles/lrlr-2010-1>).

Wang L., Chen J., Gong P., Shimazaki H., Tamura M. (2009) Land cover change detection with a cross-correlogram spectral matching algorithm. Int.J.Remote Sensing, 30 (12), 3259-3273

Wu X-Z., Nakaoka T., Inoue T., Inoue H. (2009) Optical sensing of materials movements occurring at a plant surface with a probe beam Sensors and ActuatorsA: Physical 155, 241-245.

Yabe T., Ishii Y., Amano Y., Koga T., Nohara S., Tatsumoto H. (2009) Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan. Limnology, 10 (3), 239-245.

山本鎔子, 林卓志, 落合正宏, 福原晴夫, 大高明史, 野原精一, 福井学, 菊池義昭 (2006) 尾瀬ヶ原のアカシボ現象に関する研究 - 赤雪の垂直分布と藻類との関わり -. 陸水学雑誌 (67), 209-217.

Yamamoto Y., Ohtaka A., Hayashi T., Fukuhara H., Nohara S., Ochiai M. (2006) Spring red snow phenomenon caused by iron accumulated around algal spores in alpine mires in Japan. Verh. Internat. Verein. Limnol. (29), 1947-1950.

Yamano H., Kayanne H., Yamaguchi T., Kuwahara Y., Yokoki H., Shimazaki H., Chikamori M. (2007) Atoll island vulnerability to flooding and inundation revealed by historical reconstruction: Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. Global Planet.Change, 57, 407-416

Yamano H., Shimazaki H., Matsunaga T., Ishoda A., McClennen C., Yokoki H., Fujita K., Osawa Y., Kayanne H. (2006) Evaluation of various satellite sensors for waterline extraction in a coral reef environment: Majuro Atoll, Marshall Islands. Geomorphology, 82, 398-411

Yamano H., Shimazaki H., Murase T., Itou K., Sano S., Suzuki Y., Leenders N., Forstreuter W., Kayanne H. (2007) Construction of digital elevation models for atoll islands using digital photogrammetry. In: Woodroffe C.D. et al.eds., Univ.Wollongong, 165-175

Yokoki H., Yamano H., Kayanne H., Sato D., Shimazaki H., Yamaguchi T., Chikamori M., Ishoda A., Takagi H. (2006) Numerical calculations of longshore sediment transport due to wave transformation in the lagoon of Majuro Atoll, Marshall Islands. Proc.10th Int.Coral Reef Symp., pp.1570-1576.

Zimmerman, C.E., Rand, P.S., Fukushima, M., Zolotukhin, S.F. (2011) Migration of Sakhalin taimen (*Parahucho perryi*): evidence of freshwater resident life history types. Environmental Biology of Fishes 93 (2): 223-232.

【査読なし】

福島路生 (2010) ダムの分断による淡水魚類の多様性低下. 谷田一三編 『ダム湖・ダム河川の生態系と管理』 名古屋大学出版会, 175-194.

Idip D., Jr., Kayanne H., Yamano H., Matsunaga T., Shimazaki H., (2007) Chapter 18.Coastal Habitat Map of Palau. In: Coral Reefs of Palau(Kayanne H. et al. eds., Palau Int.Coral Reef Cent., 231p.), 170-202

- 井上智美 (2009) 東南アジアにおけるマングローブ林の減少と環境問題, 生物と科学・遺伝 7月号, (株) エヌ・ティー・エス 8-15.
- 井上智美 (2010) 水生植物の生態と栄養塩吸収能. 坂上潤一, 中園幹生, 島村聡, 伊藤治, 石澤公明編著, 湿地環境と作物, 養賢堂, 42-49
- Inoue T., Asano T., Anzai Y., Nohara S. (2010) A key to a highly productive mangrove ecosystem-Characteristics of water quality and bacterial functions in Can Gio mangrove forest, Vietnam Proceedings of the National Workshop, Restoration and management of mangrove ecosystems in the context of climate change 97-103.
- 亀山哲 (2007) III -3-4 河川の解析, 自然環境解析のためのリモートセンシング・GIS ハンドブック. 古今書院 180-189
- 亀山哲 [分担執筆] (2010) 里山・里海: 日本の社会生態学的生産ランドスケープ - 北海道の経験と教訓 - 日本の里山・里海評価 - 北海道クラスタ. ISBN 978-92-808-4501-3, 国際連合大学, 東京, 2010年3月, 108 ページ (A4版), 執筆章: 河川 (サケ科魚類に関する供給サービス, 文化的サービス, 変化への対応と今後の課題).
- Kameyama S. (2011) Developing methods for environmental impact assessment of catchment ecosystems in Southeast Asia and Japan, NIES annual report 2011, in press.
- Kameyama S., Fukushima M., Han M., Amemiya M., Kaneko M. (2006) The estimation of habitat potential for freshwater fish and its spatio-temporal change -A nationwide study in Japan-. In: Organ.Comm.Symp.Wetland Restration 2006ed., Int.Symp.Wetland Restoration 2006, 298-301
- Kameyama S., Nohara S., Sato T., Fujii Y. (2010) Impact of watershed development on seasonal flooding and fish habitat in The Mekong River, proceedings of 9th International Congress on the BIOLOGY of FISH pp.125-126.
- Kameyama S., Nohara S., Sato Y., Fujii Y. (2011) The Impact of Watershed Development on Seasonal Flooding and Fish Habitat in the Mekong River, Workshop on Sustainable Management of the Mekong River 2011, Proceedings of the Workshop on Sustainable Management of the Mekong River, pp.15.
- Kameyama S., Sakawa T., Sato T., Shimazaki H., Nohara S., Inoue T. (2008) The impacts of anthropogenic watershed change on seasonal hydrologic dynamics in the Mekong River flood plain, DHI 5th Asia-Pacific Software Conference, Conference Handbook 2008, pp.19-20.
- 水谷千亜紀, 村山祐司, 森本健弘, 齊藤達也, 亀山哲 (2007) フィールドワークを主体とした高校生向け GIS 教育 - 高校・大学・研究所・GIS 企業のコラボレーション -, 第16回地理情報システム学会講演論文集, pp.257-260.
- 野原精一, 国立環境研究所編 (2006) 湿地生態系の自然再生技術評価に関する研究. 国立環境研究所特別研究報告 SR-68-2006. 60p. (2006) 尾瀬沼の水質・底質環境 (2004 ~ 2005年) と水生植物の長期動態. 福島県尾瀬保護調査会編. 尾瀬の保護と復元 (27), 25-36.
- 野原精一 (2007) 尾瀬沼生態系の20年の変遷と外来種コカナダモの長期モニタリング. 福島県尾瀬保護調査会編. 尾瀬の保護と復元 (特別号) 149-158.
- 野原精一 (2009) 干潟の生息地評価手法と生態系評価手法. 環境アセスメント学会誌, 7 (1), 55-61.
- 野原精一 (2010) 湿地機能の歴史的背景. 坂上潤一他編著, 湿地環境と作物, 養賢堂, 11-25.
- 野原精一 (2010) 尾瀬沼生態系の変遷 (2000 ~ 2009) とコカナダモのモニタリング. 尾瀬の保護と復元, 29, 17-27.
- 野原精一, 井上智美, 広木幹也 (2009) 9章海域生態系への陸域系負荷とその緩和技術. 生田和生他編, アサリと流域圏環境 - 伊勢湾・三河湾での事例を中心として (水産学シリーズ), 恒星社厚生閣, 127-143.
- 野原精一, 佐竹潔, 高瀬智洋, 黒川信 (2009) 伊豆・小笠原島嶼における陸水・沿岸水の栄養塩環境の特徴. 陸水学雑誌, 70 (3), 225-238.
- 齊藤達也, 亀山哲 (2007) 高校生に GIS を与えると何が出来るか? 第16回地理情報システム学会講演論文集, pp.285-288.
- 高瀬智洋, 黒川信, 野原精一, 田中優平 (2010) 7.5 マクサ群落の衰退と栄養塩環境. 藤田大介, 村瀬昇, 桑原久実編著, 藻場を見守り育てる知恵と技術, 成山堂書店, 199-204.

千賀有希子, 廣田充, 野原精一 (2010) 水生植物を介した N₂O 輸送に関する研究. 地球環境研究, 12, 127-132.

千賀有希子, 照井滋晴, 野原精一, 広木幹也, 渡辺泰徳 (2011) 釧路湿原内の腐植栄養湖赤沼における水質と植物プランクトンの季節変化. 地球環境研究, 13, 59-66.

千賀有希子, 照井滋晴, 野原精一, 渡辺泰徳 (2010) 釧路湿原赤沼の溶存有機物質の分解に対する微生物と紫外線の影響 (予報). 地球環境研究, 12, 133-137.

矢吹哲夫, 岩館智寛, 福島路生, 金子正美, 亀山哲 (2007) 19pRH-4 エントロピー多様性指標を用いた河川の蛇行多様性の評価, 日本物理学会講演概要集 62(1-2), 378.

Yamano H., Shimazaki H. (2006) Coastal photograph by Hiroya Yamano and Hiroto Shimazaki. J.Coastal Res., 22, 440

(4) 関連研究プロジェクト

【査読あり】

Lai L.M., Zheng Y.R., Bai H., Yu Y.J., An P., Li X.J., Rimmington G.M., Shimizu H. (2010) Strong light inhibits germination of *Artemisia sphaerocephala* and *A. ordosica* at low temperature and its relevance to revegetation in sandy lands of Inner Mongolia, China. Ecol. Res. 25, 771-780

Li Q., Zou C.J., Xu Y., Shimizu H. (2010) Yellowing of disease? Or differentiating for adaptation? Study on *Cinnamomum camphora* ecotypes. For. Stud. China. 12, 67-73

Otsuka S., Sudiana I.M., Komori A., Isobe K., Deguchi S., Nishiyama M., Shimizu H., Senoo K. (2008) Community structure of soil bacteria in a tropical rainforest several years after fire. Microbes and Environments, 23, 49-56

Shi J., Shimizu H., Zou C.J. (2010) Differentiation and population subdivision in *Picea mongolica* based on microsatellite analyses. Biochem. Syst. Ecol. 38, 1122-1128

Shimizu H., Feng Y.W. (2007) Ozone and/or water Stresses could have influenced the *Betula ermanii* Cham. forest decline observed at Oku-Nikko, Japan. Environmental Monitoring and Assessment, 128, 109-119

Shimizu H., Ito S., Sasakawa H. (2010) Responses to water stress and a functional-structural growth model of plant species growing in semi-arid desertified areas of Northeast Asia. Global Environ. Res. 14, 47-54

Sun C.X., Chen L.J., Wu Z.J., Zhou L.K., Shimizu H. (2007) Soil persistence of *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin from transgenic Bt cotton tissues and its effect on soil enzyme activities. Biol Fertil Soils, 43, 617-620

Xu Z.Z., Zhou G.S., Shimizu H. (2009) Are plant growth and photosynthesis limited by pre-drought following rewatering in grass? Journal of Experimental Botany. 60, 3737-3749

Xu Z.Z., Zhou G.S., Shimizu H. (2009) Effects of soil drought with nocturnal warming on leaf stomatal traits and mesophyll cell ultrastructure of a perennial grass. Crop Science, 49, 1843-1851

Xu Z.Z., Zhou G.S., Shimizu H. (2010) Plant responses to drought and rewatering. Plant Signaling & Behavior. 5, 649-654

山中勤, 田中正, 辻村真貴, 大倉博, 清水英幸, 吉谷純一, 嶋田純, 開發一郎, 近藤昭彦 (2008) 国際高等教育協力における水問題・環境問題の認知構造: 数量化Ⅲ類による知的リソース・ニーズマッピング. 水文・水資源学会誌, 21 (1), 39-49

Zheng Y.R., Rimmington G.M., Zhang L., An P., Zhou G.S., Li X.J., Yu Y.J., Chen L.J., Shimizu H. (2008) Growth responses of four dominant species on sand dune of central Inner Mongolia to air temperature and soil moisture. Journal of Plant Research, 121, 473-482

Zheng Y.R., Xie Z.X., Jiang L.H., Shimizu H., Drake S. (2006) Changes in Holdridge Life Zone diversity in the Xinjiang Uygur Autonomous Region (XUAR) of China over the past 40 years. Journal of Arid Environments, 66, 113-126

Zheng Y.R., Xie Z.X., Jiang L.H., Shimizu H., Rimmington G.M., Zhou G.S. (2006) Vegetation responses along environmental gradients on the Ordos plateau, China. Ecological Research, 21, 396-404

Zheng Y.R., Xie Z.X., Rimmington G.M., Yu Y.J., Gao Y., Zhou G.S., An P., Li X.J., Tsuji W., Shimizu H. (2010) Elevated CO₂ accelerates net assimilation rate and enhance growth of dominant shrub species in a sand dune in central Inner Mongolia. *Environmental and Experimental Botany*. 68, 31–36

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

Zheng Y.R., Xie Z.X., Robert C., Jiang L.H., Shimizu H. (2006) Did climate drive ecosystem change and induce desertification in Otindag sandy land, China over the past 40 years? *Journal of Arid Environments*, 64, 523–541

Zou C.J., Zhang C., Shimizu H., Song Q., Jin M.D., Ma Y.L., Xu W.D. (2008) Growth responses of *Picea mongolica* saplings to goat browsing. *Israel Journal of Ecology & Evolution*. 54, 193–204

Zou C.J., Zhou Y., Xu W.D., Shimizu H. (2009) Flora in Songshu Mountains in Inner Mongolia and community characteristics of *Pinus tabulaeformis* forest. *Chinese Journal of Ecology*, 28, 188–196

【査読なし】

Ito S., Zou C.J., Xu Z.Z., Sasakawa H., Jamsran U., Chen L.J., Zheng Y.R., Shimizu H. (2009) Eco-physiological responses of *Agropyron cristatum* and *Caragana microphylla* grown in China and Mongolia to water stress. *Proceeding of the International Symposium on “Mongolian Ecosystems and Desertification”*. 78–83

NIES, NIER, CRAES ed. (2008) The Fifth Tripartite Presidents Meeting among NIES, NIER and CRAES (第5回日韓中三カ国環境研究機関長会合報告書 + CD) 162 p.

Okuro T., Shimizu H., Yoshikawa K. (2009) Desertification control and restoration of ecosystem services in grassland regions of North-East Asia. *Proceeding of the International Symposium on “Mongolian Ecosystems and Desertification”*. 84

Sasakawa H., Yagasaki Y., Xu Z.Z., Zou C.J., Ito S., Chen L.J., Zheng Y.R., Shimizu H. (2009) Development of a functional-structural growth model of key plant species grown in desertified regions. *Proceeding of the International Symposium on “Mongolian Ecosystems and Desertification”*. 95–99.

Shimizu H. (2006) Eco-physiological characteristics of key-plant species: essential information for rehabilitating the desertified land in arid/semi-arid region. *中国北西部生態系保全プロジェクトワークショップ*, 122–133

Shimizu H. (2008) Impact of forest fire on biodiversity and the assessment of recovery – Outline of the cooperative research projects in Bkt. Bangkirai – . In 平成 20 年度環境省委託「森林火災に関する日インドネシア共同ワークショップ」への専門家派遣業務報告書, 59–75. 社団法人海外環境協力センター編, 112 p.

Shimizu H. (2008) Outline of the cooperative research projects in Bkt. Bangkirai. In *Lokakarya Program Kerjasama Penelitian Antara Pemerintah Jepang dan Indonesia (Japan-Indonesia Joint Study Workshop on Forest Fire Control)*, CD.

Shimizu H. (2008) Plant growth affected by water deficiency and air pollution. in “*Tanaka T. et al, (IReNe-WE) eds. (2008) Training Course on Sustainable Groundwater Resources Management and Related Environmental Issues*”.

Shimizu H., Goka K., Nezu A., Hayakawa N. eds (2009) *Invasive Alien Species, Causes and Impacts*, International Day for Biological Diversity Symposium 2009. Abstract. MOEJ, 137p.

Tanaka T., Kimura F., Tsujimura M., Yamanaka T., Maki M., Shimizu H., Yoshitani J., Shimada J., Kaihotsu I., Kondoh A. (Investigative Committee on Intellectual Resources and Needs Related to Water/ Environmental Issues (IReNe-WE)) eds. (2008) “On-the-Job Training Program for Sustainable Watershed Management in Headwaters Region” (Teaching Material CD). Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba publ.

Tanaka T., Kimura F., Tsujimura M., Yamanaka T., Maki M., Shimizu H., Yoshitani J., Shimada J., Kaihotsu I., Kondoh A. (Investigative Committee on Intellectual Resources and Needs Related to Water/ Environmental Issues (IReNe-WE)) eds. (2008) “Training Course on Sustainable Groundwater Resources Management and Related Environmental Issues” (Teaching Material CD). Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba publ.

田中正, 木村富士男, 辻村真貴, 山中勤, 真木雅之, 清水英幸, 吉谷純一, 嶋田純, 開發一郎, 近藤昭彦 (水・環境関連国際教育協力調査委員会) 編著 (2008) *水資源・環境・災害教育協力モデル—中国を対象とした最適化と実践検証—*. 96p.

田中正, 木村富士男, 辻村真貴, 山中勤, 真木雅之, 清水英幸, 吉谷純一, 嶋田純, 開發一郎, 近藤昭彦(水・環境関連国際教育協力調査委員会) 編著 (2009) 水資源・環境・災害教育協力モデル—インドネシアおよびモンゴルを対象とした最適化と実践検証— (平成 20 年度文科省「国際協力イニシアティブ」教育協力拠点形成事業報告書) 筑波大学陸域環境研究センター出版. 59 p.

Tanaka T., Kimura F., Tsujimura M., Yamanaka T., Ohkura H., Maki M., Shimizu H., Yoshitani J., Shimada J., Kaihotsu I., Kondoh A. (Investigative Committee on Intellectual Resources and Needs Related to Water/ Environmental Issues (IReNe-WE)) eds. (2008) "IReNe in the field of water & environment". 21 p., Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba publ.

Uehiro T., Shimizu H. (2008) Review of TPM Activities and Collaboration in the Future – Review of research priorities for possible joint projects – . in "NIES, NIER, CRAES ed. (2008) *The Fifth Tripartite Presidents Meeting among NIES, NIER and CRAES*", 109-114

REPORT OF SPECIAL RESEARCH FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

国立環境研究所特別研究報告

SR - 99 - 2011

平成 23 年 12 月 28 日発行

編 集 国立環境研究所 編集委員会

発 行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16 番 2

電話 029-850-2343 (ダイヤルイン)

印 刷 株式会社 イ セ ブ

〒305-0005 茨城県つくば市天久保 2 丁目 11-20

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

December 2011

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料 [A ランク] のみを用いて作製しています。