

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第117号  
NIES Research Project Report, No.117

SR - 117 - 2016

# 流域圏生態系研究プログラム (先導研究プログラム)

Assessment of functions and integrity of basin ecosystems

平成23～27年度  
FY2011～2015

NIES



国立研究開発法人 国立環境研究所  
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES  
<http://www.nies.go.jp/>



国立環境研究所研究プロジェクト報告 第117号  
NIES Research Project Report, No.117

SR - 117 - 2016

# 流域圏生態系研究プログラム (先導研究プログラム)

Assessment of functions and integrity of basin ecosystems

平成23～27年度  
FY2011～2015

先導研究プログラム「流域圏生態系研究プログラム」

(期間：平成 23 ～ 27 年度)

プログラム総括：今井章雄

執 筆 者：林 誠二、渡邊未来、渡邊圭司、仁科一哉、小松一弘、今井章雄、矢部 徹、  
広木幹也、村田智吉、富岡典子、福島路生、吉田勝彦、中山忠暢、亀山 哲、  
野原精一

編 者：広木幹也、今井章雄

## 序

本報告書は、平成 23～27 年度の 5 年間にわたって実施した「流域圏生態系研究プログラム」の研究成果を取りまとめたものです。

現在、生態系が持つ働き、すなわち生態系機能を大いに活用して、生態系を保全し、生物多様性の低下を防止することが強く求められています。しかしながら、効果的な対策を講じるために生態系機能を具体的に数値として評価（定量評価）しなければなりません。その評価手法はほとんど確立されていません。さらに、生態系機能と環境の状態を表す環境因子との相互（連動）関係・作用についても多くが未解明なままです。

そこで、本プログラムでは、慢性的に高負荷環境にある国内の流域圏（森林域、湖沼、河川、沿岸域）を対象として、水循環や物質循環に着目し、生態系機能の新たな評価手法の開発・確立を精力的に行いました。長期的・戦略的モニタリング、新規性の高い測定法やモデル解析等を駆使して、生態系機能や生態系サービスと様々な環境因子との連動関係を具体的に評価しました。同時に、これらの科学的知見を、国外の広域スケール流域圏であるメコン川に適用して、生態系機能を最大に発揮させることで生物多様性を減少させない施策に資する戦略的環境アセスメント手法の開発や戦略的環境影響評価を行いました。国内からアジアへの展開を目指す流域圏研究の持続的な発展に対応する研究アプローチの一般化が進みました。

研究成果に基づき流域圏における生態系機能・サービスや生物多様性の変動を把握して、生態系サービスの保全・創出や生物多様性の保全のためのシナリオや、ダム開発等に対する戦略的環境アセスメント技術によるリスク回避シナリオを構築しました。窒素飽和現象に注目して国内の森林域－河川－湖沼が連なる流域圏でモデル解析とシナリオ解析を行いました。メコン川では生物生産（漁業生産）に注目して持続的な生態系サービスの在り方や生態系サービスや生物多様性の保全・回復についてモデル解析等を駆使してダム貯水池管理についての提言をまとめました。

最後に、本研究を推進する上で、研究所内外の多くの方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。

平成 29 年 2 月

国立研究開発法人 国立環境研究所

理事長 住 明 正



## 目 次

1 研究プログラムの概要	1
1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等	1
1.2 研究の概要	2
2 研究の成果	4
2.1 流域圏における生態系機能と環境因子の連動関係の定量評価に関する研究 (PJ1)	4
2.1.1 陸域自然生態系における生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究	4
(1) 目的と経緯	4
(2) 方法	4
(3) 結果と考察	5
2.1.2 湖沼における物質循環および生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究	8
(1) 目的と経緯	8
(2) 方法	8
(3) 結果と考察	9
(4) まとめ	16
2.1.3 沿岸域における生態系機能と環境因子の連動関係の定量評価に関する研究	16
(1) 目的と経緯	16
(2) 方法	16
(3) 結果と考察	18
(4) まとめ	20
2.2 戦略的環境アセスメント技術の開発と自然再生の評価に関する研究 (PJ2)	22
2.2.1 生態系機能としての底泥の分解活性評価	22
(1) 目的と経緯	22
(2) 方法	23
(3) 結果と考察	23
(4) まとめ	27
2.2.2 有害藻類の発生メカニズム解明とその予測	27
(1) 目的と経緯	27
(2) 方法	27
(3) 結果と考察	28
(4) まとめ	31
2.2.3 魚類の回遊生態解明と生態系サービス	32
(1) 目的と経緯	32
(2) 方法	32
(3) 結果と考察	33
2.2.4 広域スケールでの戦略的な自然再生評価	36
2.2.4.1 メタ生態系モデルによるダム建設の影響評価	36
(1) はじめに	36

(2) 方法	37
(3) 結果と考察	38
2.2.4.2 NICE モデルによるダム開発の影響評価	39
(1) 研究の背景と目的	39
(2) 結果と考察	40
2.2.4.3 マングローブ湿地の自然再生に関する適地選定および戦略的アセスメント	43
(1) 背景と目的	43
(2) 研究方法	43
(3) 結果と考察	44
2.2.4.4 東日本大震災後の東北沿岸湿地における自然再生評価	46
(1) 背景と目的	46
(2) 研究方法	46
(3) 結果と考察	46

[資 料]

1 研究の組織と研究課題の構成	55
1.1 研究の組織	55
1.2 研究課題と担当者	56
2 研究成果発表一覧	57
2.1 誌上発表	57
2.2 口頭発表	63



# 1 研究プログラムの概要

## 1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等

生物多様性のホットスポットとして重要な生態系の保全と、生態系機能を最大限活用して生物多様性の減少を防止することが強く求められており、そのため生態系機能の健全性評価に関する研究は喫緊の課題となっている。一方、健全性評価には生態系機能の定量評価が不可欠だが、その評価手法はほとんど確立されていない。生態系機能と環境因子との連動関係や相互作用についても多くが未解明なままであり、生態系機能の保全、再生・修復に向けた具体的な取組が大きく進展しない要因となっている。

そこで、本研究プログラムでは、(a) 流域圏（森林域、湖沼・河川、沿岸域）における生態系を対象として、水・物質循環に着目し、生態系機能の新たな定量的評価手法の開発・確立を行い；(b) 典型的な生態系に対して、長期・戦略的モニタリング、新規性の高い測定法やモデル解析を駆使して、生態系機能・サービスと様々な環境因子との連動関係（リンケージ）を定量的に評価して；(c) 更に、機能劣化が著しい自然生態系を対象に劣化メカニズムの解明と機能改善手法の構築を図り；(d) これらの科学的知見をもとに、メコン河等の広域スケール流域圏における重要な生態系を戦略的に保全し、生態系機能を最大に発揮させて生物多様性を減少させない施策に資する戦略的環境アセスメント手法を開発する。これらの成果に基づき流域圏の環境健全性を評価して、生態系機能の保全、創造、環境修復や自然再生の在り方を提言する。

本研究プログラムの推進にあたり、以下の具体的な目標を目指すこととした。

- (i) 人工林荒廃と窒素飽和現象の関連性を解明し、適正な人工林管理の推進に貢献する。落葉樹混交の種多様性回復が窒素貯留能に与える影響を評価して、窒素飽和改善シナリオ構築を目指す。
- (ii) 長期モニタリング、新規の測定手法、湖沼モデル解析等により、湖沼における湖水中と底泥での物質循環と微生物活動の連動関係、環境因子と生態系機能の連動関係を定量的に評価し、湖沼環境の環境改善シナリオ作成を目指す。
- (iii) 沿岸域における一次生産者の変化や移入種による優占現象が、生物相、水-生物-底質間の物質収支や食物連鎖などの生態系機能へ及ぼす影響を定量的に評価する。流域負荷と生物多様性の関係を探索し、生態系機能の健全性を評価する。
- (iv) ダム開発に対する戦略的環境アセスメントの技術を開発し、失われる沈水林の生態系機能を推定する。迅速・高感度のアオコ定量手法を開発し、計画中のダム貯水池でのアオコ発生の可能性を予測する。
- (v) 重要な漁業資源である回遊性淡水魚の回遊生態を解明し、ダム開発による食糧供給に対するリスクを事前に推定する。
- (vi) 沿岸域(干潟等)における底生生物の種多様性・生態系機能のデータベースを構築して、広域スケールの生物多様性、生態系機能及び健全性の関係を評価する。

本研究プログラムは2つの研究プロジェクト（PJ）からなる。

プロジェクト1（PJ1）「流域圏における生態系機能と環境因子との連動関係の定量的評価に関する研究」

プロジェクト2（PJ2）「戦略的環境アセスメント技術の開発と自然再生の評価」

PJ1は3つのサブテーマを、PJ2は4つのサブテーマを含んでいる。

### PJ1「流域圏における生態系機能と環境因子との連動関係の定量的評価に関する研究」

PJ1-Sub1: 陸域自然生態系における生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究

PJ1-Sub2: 湖沼における物質循環および生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究

PJ1-Sub3: 沿岸域における生態系機能と環境因子の定量的評価に関する研究

PJ2 「戦略的環境アセスメント技術の開発と自然再生の評価」

- PJ2-Sub1: 生態系機能としての栄養塩循環と底泥の分解活性
- PJ2-Sub2: 生態系リスクとしての有害藻類の発生と予測
- PJ2-Sub3: 生態系サービスとしての淡水魚の生態解明
- PJ2-Sub4: 自然再生と開発の適地選定

流域圏生態系 PG の全体構成を図 1 に示す。

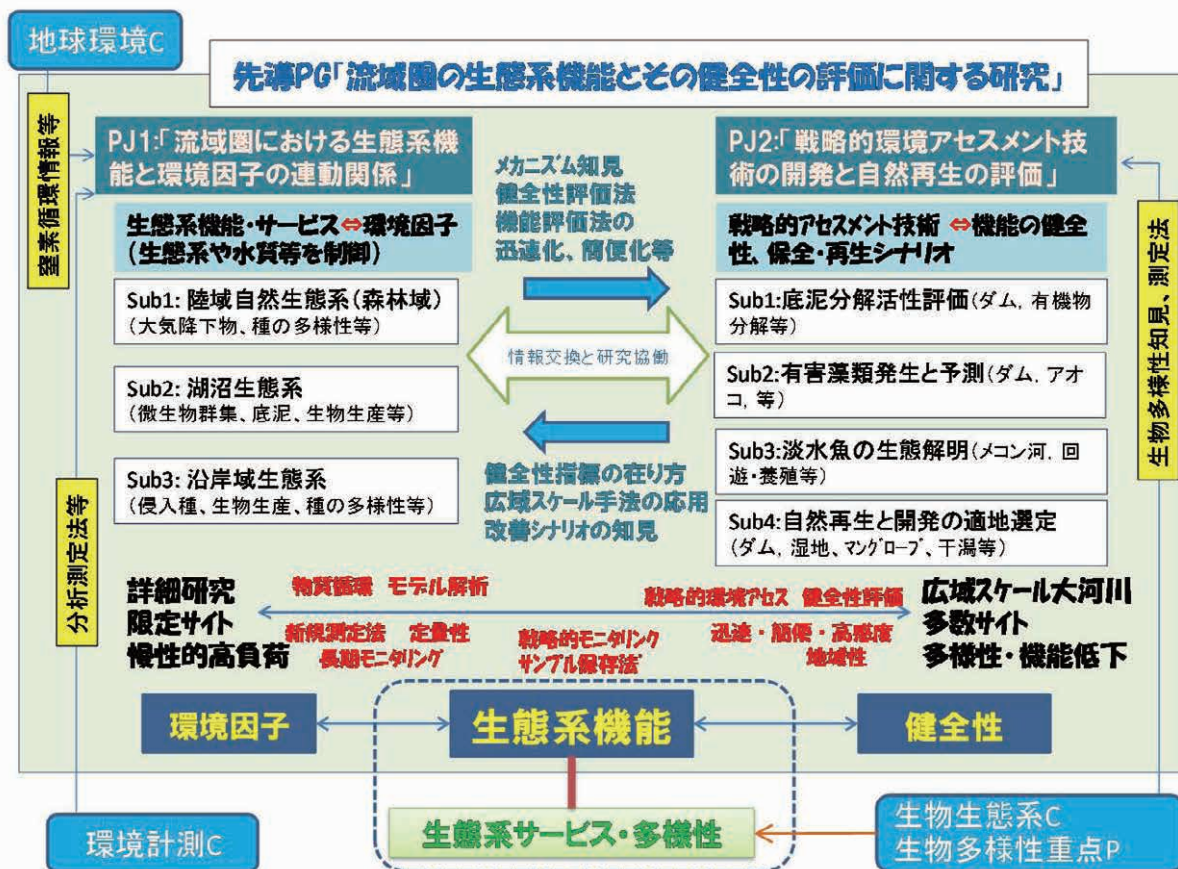


図 1 流域圏生態系研究プログラムの全体構成とプロジェクト間の連携方針

1.2 研究の概要

プログラム (PG) 全体の流れとして、(a) 新規性の高い生態系機能パラメータの定量的評価手法を開発・確立する；(b) 生物の存在量・群集構造・生産量等の生態系機能パラメータに重点を置き、共通的な測定・評価法を用いて、生態系機能と環境因子の関係が評価され；(c) 新規性の高い手法を PJ1 (国内) で開発して、当該手法を PJ2 (国外) に適用して；(d) 長期モニタリングとモデル解析を活用して、生態系サービスと生物多様性の保全・回復を目指して、対策シナリオ構築および戦略的環境影響評価が実施された。アジア展開を目指す流域圏研究の持続的発展を図るアプローチの一般化が進んだ。

多くの新規性の高い生態系機能の定量評価法を開発・確立され、それらにより生態系機能と環境因子の連動関係が定量的に評価され、その連動関係に係るメカニズムが検討され、生態系サービス・生物多様性の変動が把握された。結果、当該サービスの保全・創出や多様性の保全のためのシナリオや、ダム開発等に対する戦略的環境アセスメント技術開発によるリスク回避シナリオの構築・提言がなされた。

PJ1 では、流域圏の典型的な自然生態系ユニットである、森林域、湖沼、沿岸域における生態系機能と環境因子の連

動関係について、慢性的高負荷により発現している事象（窒素飽和、富栄養化・難分解性有機物増加、グリーンタイド）の実態評価を踏まえ、物質循環や生物多様性に係る生態系機能と森林管理や底質環境等の環境因子との連動関係を定量評価した。次いで、ユニットごとに、得られた知見を基に数値モデルや生態工法を活用して、環境改善に向けたシナリオを構築した。さらに、霞ヶ浦流域を対象に数値モデルを用い、流域スケールでの生態系機能を活用した物質（窒素）循環の適正化を目的として、シナリオの構築を行った。

PJ2では、既存のダム貯水池を自然湖沼と対比させ、貯水池から期待される生態系サービスである漁業生産がダム開発と両立するか否かを様々な観点から検証することができた。またダム開発に伴う生息環境の分断が、回遊魚に支えられたメコン地域の漁業と生物多様性にどのような影響を及ぼしているか、また及ぼしうるかについて、様々な手法とモデル解析を組み合わせて明らかにすることができた。今後、メコン地域に限らず経済発展の目覚ましい新興国でも水力発電が盛んとなり大河川の分断化、貯水池化が一層進められてゆくと考えられる。本研究プロジェクトの成果や手法が、これら地域の戦略的環境アセスメントの中で活かされることを期待したい。

## 2 研究の成果

### 2.1 流域圏における生態系機能と環境因子の連動関係の定量評価に関する研究 (PJ1)

本プロジェクトでは、生態系機能および関連環境因子の定量評価手法を開発し、人為由来の慢性的高負荷環境下にある流域圏の典型的な自然生態系である森林や河川、湖沼、沿岸域において、それぞれ発現している事象（環境問題）である窒素飽和や富栄養化・難分解性有機物増加、グリーンタイドに対して、当該手法の適用や戦略的モニタリングによる実態評価により、炭素や窒素等の物質循環や生態系機能・サービスと環境因子の連動関係の定量評価を行った。次いで、それぞれ対象とする生態系において、得られた知見を基に数値モデルや生態工法を活用して、環境改善に向けたシナリオ構築を実施した。

#### 2.1.1 陸域自然生態系における生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究

##### (1) 目的と経緯

日本の陸域自然生態系は、国土の3分の2を占める森林生態系に代表される。森林生態系は、土砂災害防止や水源涵養といった多面的機能を有し、それが発揮されることで我々の生活は支えられている。しかし、関東地域をはじめとする大都市周辺の森林では、一見きれいに見える溪流でも、高濃度の硝酸性窒素が検出されるという不思議な現象がしばしば見られる。これは“窒素飽和”という環境問題が原因と考えられる。窒素飽和とは、人間活動により放出された窒素化合物が、大気経由で森林に蓄積し、長年かけて生態系が窒素過剰な状態に陥る現象である<sup>1)</sup>。窒素飽和森林では、渓流水への硝酸性窒素の流出量が増大するため、結果として、水源水質の劣化や湖沼の富栄養化が生じる可能性もある。

窒素飽和森林において、土壌中の硝酸性窒素が渓流水に流れ出す量は、地形や植生などの影響を受けて、空間的や季節的に変動すると予想される。また、国内外の研究者からは、適切な森林管理が窒素飽和を改善する可能性が指摘されている<sup>2)</sup>。本サブテーマでは、窒素飽和森林における生態系機能と環境因子の連動関係を定量的に評価するとともに、間伐等の適正な森林管理によって窒素飽和を改善するシナリオについて検討した。我々は、日本の人工林は大部分が針葉樹林であることから、集水域における針葉樹林の占有面積率（＝針葉樹林率）が、渓流水中の硝酸性窒素濃度に影響しているかを調べるのが重要と考えた。さらに、間伐等促進法の施行や森林環境税の導入によって、全国各地で人工林の間伐が推進されていることを踏まえ、間伐には土壌からの硝酸性窒素の溶脱を抑制する効果があるかを調べることも重要と考えた。そのため、これらについて現地調査による定量評価を行い、さらにモデル解析による評価も行った。

##### (2) 方法

まず、茨城県筑波山の森林域を対象に、渓流水中の硝酸性窒素濃度と、集水域の針葉樹林率および地形特性との関係を調べた（図2）。筑波山は、1980年代から窒素飽和状態が持続している森林域であり、また、サブテーマ2で対象とした霞ヶ浦（西浦）の上流域に位置する。渓流水中の硝酸性窒素濃度は、筑波山の源流域に位置する40集水域で、我々が2007年8月から季節ごとに計4回測定した平水時の平均値を利用した。各集水域の針葉樹林率は、高空間分解能衛星であるQuickbirdの撮影画像を解析し、地理情報システム（GIS）を用いて算出した。2010年5月21日撮影の画像から、40集水域を切り抜き、Near IRバンドを用いた教師なしのクラスター分類により、針葉樹林と広葉樹林を分類して針葉樹林率を算出した。また、各集水域の地形特性は、国土地理院の10mメッシュの数値標高データ（DEM）を地理解析ソフトArcGISで解析し、集水域面積、平均標高、平均傾斜角、南向き斜面の占有面積率を求めた。得られた結果から、渓流水中の硝酸性窒素濃度を目的変数、針葉樹林率および地形特性を説明変数とした回帰木（classification and regression trees）による解析を行った。

次に、東北大学川渡フィールドセンター内にあるスギ人工林で、土壌からの硝酸性窒素の溶脱量と間伐強度との関係を調べた。本試験林には、無間伐区、弱間伐区、強間伐区が約0.5haずつ3反復で並んでいる<sup>3)</sup>。弱間伐区と強間伐

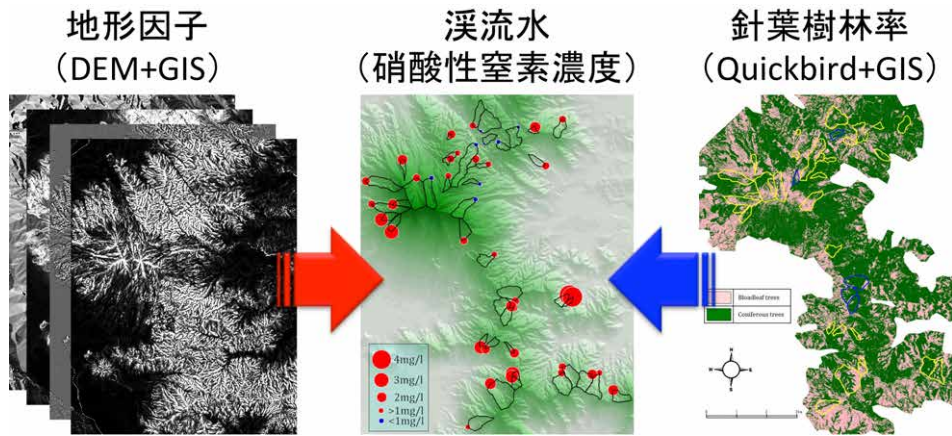


図2 筑波山における渓流水中の硝酸性窒素濃度と集水域の針葉樹林率および地形特性との関係解析の概念図

区は、2003年に立木密度  $1108 \text{ 本 ha}^{-1}$  であった20年生の林分を、それぞれ本数間伐率で33%と67%の間伐を実施し、さらに2008年にも同じ間伐率で再度間伐している。土壌からの硝酸性窒素の溶脱量は、2011年に各区の代表的な1林分において、深さ80cmの硝酸性窒素濃度を毎月1回調査し、これに土壌水の浸透量を乗じて求めた。調査は、積雪の時期を避け、土壌から硝酸性窒素が溶脱しやすい6月～11月に行った。なお、代表的な1林分は、前年に各区3林分で毎月1回調べた土壌水中の硝酸性窒素濃度の鉛直分布をもとに選定した。同じ期間における大気から土壌への無機態窒素の流入量は、林内雨法にて測定した。また、夏季の林床植生による窒素吸収量は、2010年8月上旬に各林分の3ヶ所で  $1 \text{ m}^2$  の林床植生を刈り取り、その全窒素含有量を測定して求めた。さらに、間伐強度が土壌中で硝酸性窒素を生成する微生物に与える影響は無間伐区と強間伐区を対象に調べた。2012年5月下旬に両試験区の代表的な1林分の各3地点において、土壌のO層とA層を採取し、アンモニア酸化細菌(AOB)およびアンモニア酸化古細菌(AOA)の遺伝子定量(QPCR)を行った。土壌試料は、4mmメッシュで篩別した後、市販の土壌微生物DNA抽出キットを用いて、DNAの抽出および精製を行った。対象とする遺伝子は、AOBおよびAOAが保有するアンモニア酸化遺伝子(*amoA*)とし、QPCRは既報に従った<sup>4)</sup>。

最後に、筑波山系を含む霞ヶ浦(西浦)流域において、森林域からの窒素流出量を推定するために、生態系モデルVISIT<sup>5)</sup>を用いた評価を行った。陸域生態系モデルVISITは、大気-陸域間の微量ガス交換を総合的に扱うために炭素循環と窒素循環の生物地球化学的プロセスをシミュレートするモデルである。本モデルは生態学的調査やフラックス観測が行われた様々なサイトに適用されて実効性が検証されている。VISITの窒素循環スキームの概略は図3の通りであり、地上部には上層木と下層木の2つの植生を考慮している。ここでは、入力データとして、筑波山森林域における気象因子(気温、日降雨、日射、湿度)と日毎の窒素沈着量をそれぞれ、NCEP・NCARの再解析データとCommunity Multiscale Air Quality(CMAQ) version 4.4の出力データ(1983-2009)<sup>6)</sup>から得て利用した。1983-2009における年間の無機態窒素流入量の平均値は  $27.5 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  であり、1983年より以前のデータは、線形回帰を用いて外挿したデータを用いた。霞ヶ浦(西浦)流域における植生分布は、日本全国標準土地利用メッシュデータ<sup>7)</sup>の3次メッシュデータ中分類データを用いた。本分類のうち、農耕地を除く自然植生についてVISITを用いて、各生態系の炭素・窒素(水)収支を計算した。なお気象データを繰り返し使いスピンアップとして2000年間の計算を予め行って定常状態を得た。1990年から2010年における森林域からの年間窒素流出量を植生タイプ別に求め、さらにVISITモデルで常緑針葉樹林に間伐をいれた実験も行った。

### (3) 結果と考察

まず、筑波山の40集水域における渓流水中の硝酸性窒素濃度は、各集水域の平均値で  $0.5 \sim 3.0 \text{ mgN L}^{-1}$  と集水域間で大きく異なっていたが、40集水域の平均値( $1.7 \pm 0.6 \text{ mgN L}^{-1}$ )は、全国平均値( $0.4 \pm 0.4 \text{ mgN L}^{-1}$ )の約4倍であった。また、31集水域の硝酸性窒素濃度は、窒素飽和の目安の1つとされる  $1.0 \text{ mgN L}^{-1}$  を超えており、筑波山では広範囲

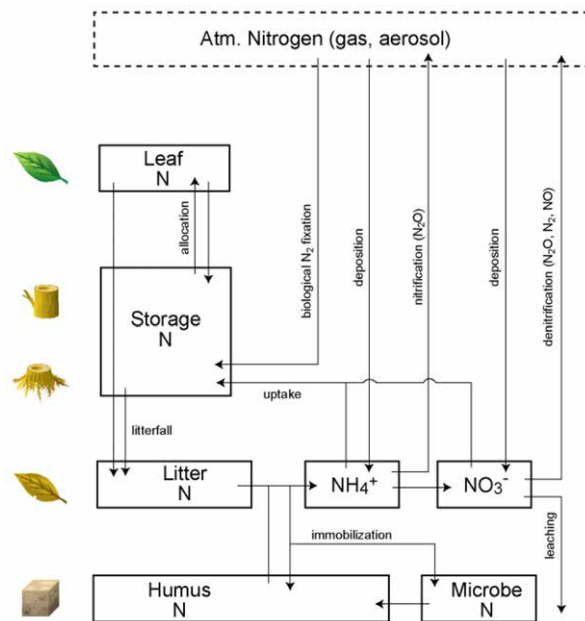


図3 生態系モデル VISIT における窒素循環スキームの概略

の森林で窒素飽和が起きていることが確認できた。また、集水域間での硝酸性窒素濃度の変動に強く関係する因子を特定するため、回帰木を用いて解析した結果、第1枝に平均傾斜角、第2枝に針葉樹林率が選択された。40集水域のなかでは、平均傾斜が26.3度を超える7集水域で渓流水中の硝酸性窒素が高濃度であった ( $2.3 \pm 0.8 \text{ mgN L}^{-1}$ )。その他33集水域の渓流水の硝酸性窒素濃度は、針葉樹林率が75%以上で高く ( $1.6 \pm 0.6 \text{ mgN L}^{-1}$ ,  $n=16$ )、75%未満で低い ( $1.4 \pm 0.5 \text{ mgN L}^{-1}$ ,  $n=17$ ) 傾向にあった。したがって、筑波山森林域における渓流水中の硝酸性窒素濃度は、地形が急峻な集水域で高くなるが、地形が急峻でない場合には、針葉樹林が多いと硝酸性窒素が流出しやすいと考えられる。その原因として、急峻な集水域では、水の滞留時間が短いため硝酸性窒素の消費量が少ないことや、硝酸性窒素の生成量が多いことが考えられる。また、針葉樹林は広葉樹林に比べて乾性沈着量が多いために無機態窒素の流入量が多いこと、針葉樹林と広葉樹林では窒素負荷に対する硝酸溶脱の応答が異なることも影響した可能性が考えられる。

次に、間伐強度の異なるスギ人工林での窒素動態調査の結果、6～11月の半年間で土壌からの硝酸性窒素の溶脱量は、無間伐区>弱間伐区>強間伐区の順であった(図4)。同じ時期に大気から流入した無機態窒素量が、どの試験区でも  $5 \sim 7 \text{ kgN ha}^{-1}$  と大きく変わらなかったことを考えると、硝酸性窒素の溶脱量の違いは森林内での窒素動態の違いを反映したものと考えられる。無間伐区の硝酸性窒素の溶脱量 ( $21 \text{ kgN ha}^{-1}$ ) は、大気から流入した無機態窒素量より3倍多く、土壌中に蓄積していた窒素化合物までもが硝酸性窒素として溶脱していることが示唆された。これに対し弱間伐区の溶脱量 ( $5.6 \text{ kgN ha}^{-1}$ ) は、大気からの無機態窒素の流入量と同程度にまで低下し、強間伐区では土壌からの硝酸性窒素の溶脱がほとんど起きていなかった ( $0.7 \text{ kgN ha}^{-1}$ )。一方、夏季の林床植生による窒素吸収は、量としては硝酸性窒素の溶脱量と同程度であったが、全く逆の結果となっており、無間伐区 ( $3.5 \text{ kgN ha}^{-1}$ ) <弱間伐区 ( $16 \text{ kgN ha}^{-1}$ ) <強間伐区 ( $24 \text{ kgN ha}^{-1}$ ) の順であった(図4)。これらの結果から、このスギ試験林における強度間伐は、林床植生を豊富にすることで、無機態窒素の吸収量や窒素動態を変化させ、特に多雨で硝酸性窒素が溶脱しやすい夏季に、土壌からの硝酸性窒素の溶脱を抑制していると考えられる。また、アンモニア酸化を行う AOB と AOA 量を無間伐区と強間伐区で比較した結果、両試験区とも AOB-*amoA* 量は O 層で多く、AOA-*amoA* は A 層で多い傾向を示した(図5)。また、A 層では、AOB-*amoA* は無間伐区<強間伐区、AOA-*amoA* 量は無間伐区>強間伐区という特徴を示していた。結果として、無間伐区の A 層では AOA/AOB が著しく高く、その pH は 4.4 と他よりも低かった(図5)。AOA は AOB より低い pH もしくは低いアンモニウム濃度環境に適応し、AOB はその逆に適応することで、それぞれニッチを分けていることが知られているが<sup>9)</sup>、このスギ試験林でも同様の傾向が確認された。これは、強間伐区では無間伐区と比較して下層植生が著しく発達し、土壌の間隙率も高いため、降雨により供給されるアンモニウムの土壌浸透がより深

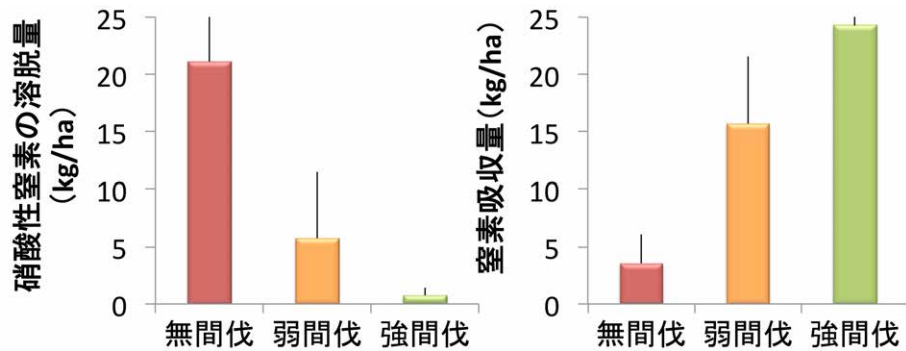


図4 土壌からの硝酸性窒素の溶脱量 (左) と林床植生による窒素吸収量 (右) エラーバーは標準偏差を示す。

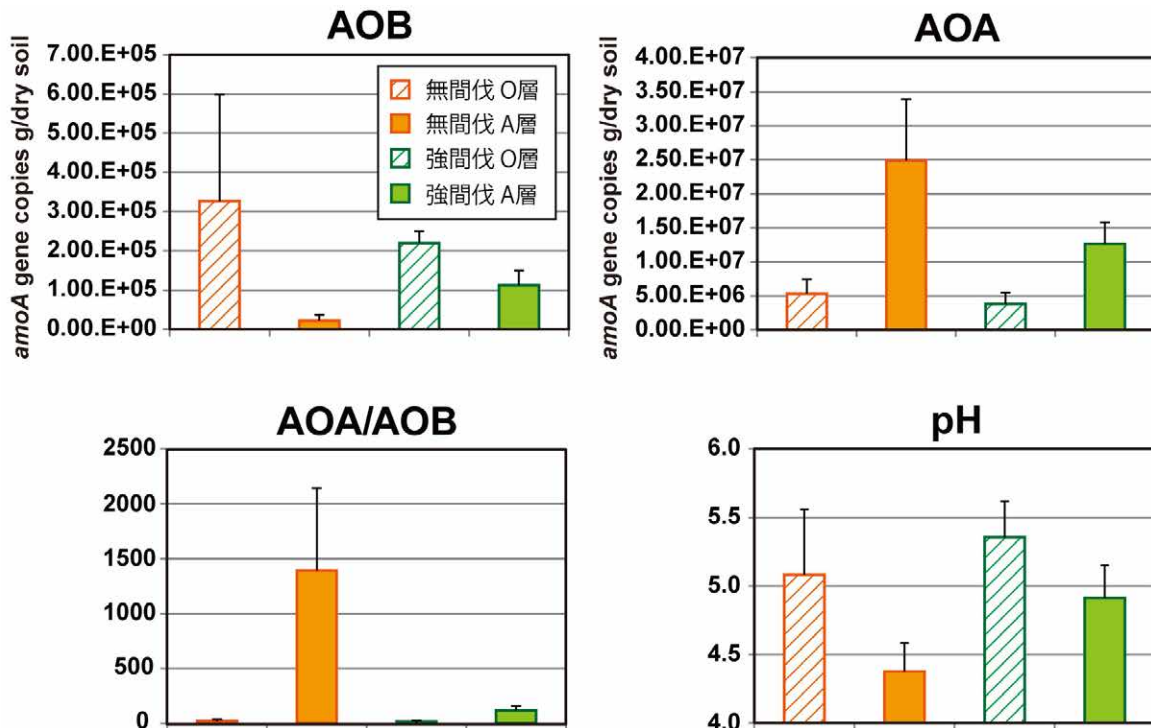


図5 無間伐区および強間伐区におけるO層とA層のAOB-amoA、AOA-amoA、AOA/AOB および pH エラーバーは標準偏差を示す。

い地点まで達していることによるものと推察される。AOA と AOB のタンパク質当りのアンモニア酸化活性はそれほど大きな差は無いが、AOB は、AOA と比較して細胞のサイズおよびバイオマスが大きいため1細胞当りのアンモニア酸化速度は10倍以上速い<sup>9)</sup>。強間伐区のA層では、AOA-amoA量はO層のおよそ1/2、AOB-amoA量はおよそ5倍であったことから、強間伐区では無間伐区と比較してより深い深度でも活発な窒素循環が行われていると推察された。

最後に、霞ヶ浦(西浦)流域における森林域からの窒素流出量を推定するため、対象流域154万haの植生分布を調べた結果、森林生態系は33万haであった。さらに森林生態系のうち、常緑針葉樹林(スギ・ヒノキの人工林が主たる構成)が86%を占めており、落葉広葉樹林は12%程度であった。1990年から2010年における各植生タイプの年間窒素流出量のシミュレーション結果を図6に示した。森林植生タイプ間では、年変動は大きいものの常緑針葉樹林からの窒素流出量は一貫して他の植生タイプよりも多く、過去二十年の中央値では $3.9 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であった。一方、他の植生タイプでは $1.7 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 程度の流出量と推定された(図6)。本推定結果は、針葉樹林率の高い集水域ほど高い渓流水中の硝酸性窒素濃度が見られたという筑波山での観測結果とも整合する。これらの推定結果をもとに、植生タイプを考慮した流域全体における森林(および草地)生態系からの窒素負荷は2010年時で $1265 \text{ Mg-N year}^{-1}$ と推定された。本流域における大気からの無機態窒素流入量を $27.5 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ とすると、森林域に流入した9080

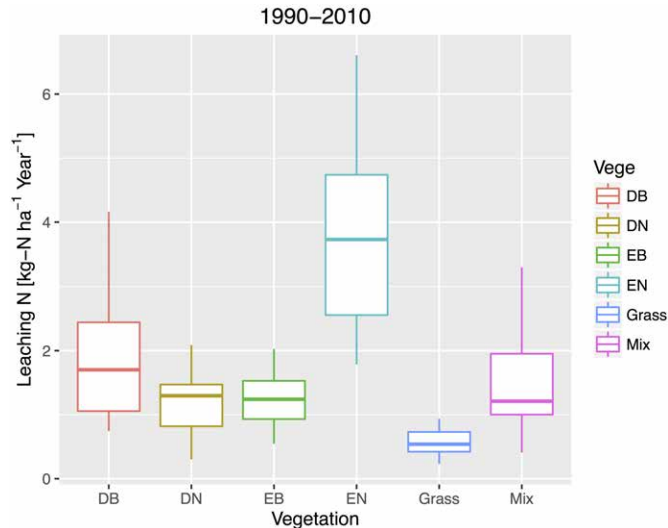


図6 1990年から2010年における筑波山流域における植生タイプ別の年間窒素流出量 (DB、DN、EB、EN、Grass、Mixはそれぞれ、落葉広葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹、草地、針広混交林を示す。箱髷図において、上下の髷はそれぞれ最大値と最小値を示し、箱の上下はそれぞれ第3四分位数、第1四分位数を示す。箱の中央の線は中央値を示す。)

Mg-N year<sup>-1</sup>の無機態窒素のうち86%が森林域で蓄積、または脱窒作用をうけて浄化された見積もりになる。先述した強度間伐により硝酸性窒素の溶脱が抑制された観測結果を受け、流域からの窒素流出量の逡減を見積もるために、VISITモデルで常緑針葉樹林において間伐をいれた実験を行った。伐採直後は硝酸性窒素の流出量が増大するものの、13年後には流出量が間伐後のバイオマス再成長促進によって無間伐の森林より低下した。仮に、本流域の全人工林において1990年に一斉に強間伐を入れたとすると、非常にラフな前提ではあるが2010年時では17%ほど全体の流出量が逡減することが試算された。実際の林班状況に則した、現実的な試算を行う必要があるが、森林管理によって、窒素流出に対しても森林生態系の公益的機能の最大化を行える可能性が示唆されたと言える。

## 2.1.2 湖沼における物質循環および生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究

### (1) 目的と経緯

近年、比較的浅い湖沼において、難分解性と考えられる溶存有機物 (dissolved organic matter, DOM) 漸増とアオコ発生が頻繁に報告されている。一方、世界各地の湖沼でも DOM 濃度の上昇と、特にアジアの湖沼でアオコの大発生が報告されている。浅い湖沼では有機物と栄養塩の供給源として底泥からの溶出はとても重要である。霞ヶ浦では、アオコ問題が23年振りに2009年に生じ、2011年には大規模なアオコが社会問題化した。流域発生源対策が着実に進められている中での突然のアオコ大発生について、底泥環境の変化とその影響にアオコ発生の要因があるのではないかと着想した。そこで本サブテーマでは、底泥環境に焦点を当て、湖沼における湖水柱と底泥における生元素 (炭素、窒素、リン等) の循環・挙動と微生物生態系 (プランクトン、バクテリア等) の連動関係・相互作用に注目して、湖沼における生態系機能と環境因子の連動関係を定量的に評価し、湖沼環境の環境改善シナリオ作成を目指した。長期モニタリング、新規性の高い測定手法、湖沼モデル解析等を駆使して、生態系機能と環境因子の連動関係を評価した。

### (2) 方法

#### 1) 試料採取及び前処理方法

国立環境研究所が実施している霞ヶ浦長期モニタリングの調査日に、霞ヶ浦の湖水柱試料及び底泥試料を採取した。湖水柱試料は2mのアクリル製カラムサンプラーで採取し、底泥試料はコアサンプラー (直径4cm、10cmのアクリル製パイプ) により採取した。沈降堆積物は、底泥からの巻き上がり影響を極力少なくするため、1日を通じて採取中の平均風速が4ms<sup>-1</sup>以下となるような、微風時に採取した。自作の簡易型セディメントトラップを霞ヶ浦の3地点 (湖心、



土浦入り、高浜入り)に設置し、24時間後に回収した。湖水柱試料については、一部をガラス繊維ろ紙(GF/F、名目孔径0.7 μm)でろ過し、溶存態試料とした。底泥試料については、窒素雰囲気下において底泥表面から層別にスライスし、遠心分離後、ガラス繊維ろ紙でろ過し間隙水試料を得た。

## 2) 有機物、窒素、リンの測定

各試料の粒状有機物(Particulate organic matter、POM)の有機炭素、有機窒素濃度は、一昼夜塩酸蒸気処理した後に元素分析計で測定した。DOMはろ過サンプルを塩酸でpH2とした後に不揮発性有機炭素濃度として島津TOC-Vによって分析した。また全窒素、全リンはペルオキシ二硫酸カリウムを添加後に130℃、60分間で加熱分解し、それぞれ硝酸イオン、リン酸イオンとした後に、オートアナライザー(BLTEC, QuAAtro 2-HR)を用いて測定した。アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リンについては、ろ過試料をオートアナライザーで分析した。

## 3) 溶存有機物(DOM)の分子サイズ測定

DOMの分子サイズ分布は、Kawasakiらの手法<sup>10)</sup>に準じ、自ら開発・作製したサイズ排除-高速液体クロマトグラフィー(HPLC-SEC)システムを用いて測定した。DOMの分子サイズを、吸光度(254 nm)、蛍光強度(励起/蛍光=345/435 nm)、TOC(NDIR検出器)として測定・評価した。

## 4) 一次生産速度(FRRF: Fast repetition rate fluorometry法)の測定

FRRF法では、水中に存在する植物プランクトンに対し、高速のパルス光(飽和過程で1 μ秒間隔、緩和過程で50~200 μ秒間隔)を繰り返し照射し、クロロフィル蛍光強度の時間変動を捉える(Kautsky誘導曲線)。同曲線から得られる様々なパラメータを以下の式に代入することで、一次生産速度を算出する。本サブテーマでは、小松らの手法<sup>11)</sup>に準じて測定を行った。

$$P^*_{O_2}(E) = E \cdot \sigma_{PSII} \cdot n_{PSII} \cdot f \cdot qP(E) \cdot \phi_e(E)$$

ここで $P^*_{O_2}(E)$ は一次生産速度( $O_2 \cdot mol \cdot Chl.a \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}$ )、 $E$ は現場で太陽光から与えられる光エネルギー( $quanta \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )、 $\sigma_{PSII}$ は光化学系II(PSII)の有効光吸収断面積( $m^2 \cdot quanta^{-1}$ )、 $n_{PSII}$ はChl.a 1分子あたりのPSIIにおける反応中心クロロフィル(P680)数( $electron \cdot Chl.a^{-1}$ )、 $f$ は有効なP680の割合、 $qP(E)$ は有効なP680のうち還元状態にあるものの割合、 $\phi_e(E)$ は1電子が流れて発生する酸素量( $O_2 \cdot mol \cdot electron^{-1}$ )である。

## 5) 安定同位体比の測定

安定同位体比は、元素分析計と同位体質量分析計からなるCF/IRMS(Flash EA1112/Delta plus Advantage, ThermoFinnigan)により分析を行った。炭素・窒素の安定同位体比の分析精度はともに±0.2%程度であった。炭素・窒素安定同位体比は下記の変換式により、測定物質中の安定同位体存在比をもとに再計算された値を使用している。

$$\text{炭素安定同位体比 } \delta^{13}C(\%) = \left\{ \frac{(^{13}C/^{12}C \text{ 試料})}{(^{13}C/^{12}C_{PDB})} - 1 \right\} * 1000$$

$$\text{窒素安定同位体比 } \delta^{15}N(\%) = \left\{ \frac{(^{15}N/^{14}N \text{ 試料})}{(^{15}N/^{14}N_{\text{大気窒素ガス}})} - 1 \right\} * 1000$$

ただし、炭素安定同位体比の再計算時に用いる標準物質としてのPDBは矢石という化石(Peedee Belemnite)中に含まれる炭酸塩のことであり、これに同位体組成の近い海洋中の溶存無機炭素の多くも0%に近い値をとる。

## 6) リンの化合物形態測定方法

懸濁態試料および底泥試料におけるリンの化合物の形態分析はShinoharaら<sup>12-14)</sup>の方法に準じ、<sup>31</sup>P NMR法で測定した。リンの化合物形態、特に有機態リン[モノエステル結合態(Adenosine monophosphate等)・ジエステル結合態(DNA等)、無機態である縮合態リン(ポリリン酸、ピロリン酸等)]を分析・定量した。

## (3) 結果と考察

本サブテーマでは、底泥における生態系機能として底泥溶出を取り上げ、湖水柱環境への影響を評価した。また湖水柱における生態系機能として植物プランクトンの生物生産(一次生産)と沈降・堆積(物質供給)を取り上げ、底泥環境への影響を評価した。

### 1) 底泥における生態系機能が湖水柱環境へ及ぼす影響

底泥間隙水中の溶存有機物 (DOM) と栄養塩類 (アンモニア性窒素  $\text{NH}_4\text{-N}$  とリン酸態リン  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) は 2006 年頃から濃度の顕著な増加が見られた (図 7)。また、同時期に、間隙水 DOM の高分子画分と溶存炭水化物の濃度がいずれも間隙水全層において急激に減少した。さらに 2007 年 8 月、間隙水  $\text{NH}_4\text{-N}$  の急激な濃度上昇と、底泥細菌群集での *Firmicutes* 門 *Bacillus* 属の急激な優占化が明白に観察された<sup>15)</sup>。同 *Bacillus* 属が持つ *npr* 遺伝子によるタンパク質分解が水温上昇に伴い (15℃ 以上)、活性化して間隙水  $\text{NH}_4\text{-N}$  の濃度上昇を加速化したと示唆された。湖水柱から沈降・堆積した底泥中の植物プランクトン由来のタンパク質が分解されたと考えられる。底泥間隙水中のリンに着目すると、冬季に有機態リンが高濃度になり (無機態リンは低濃度)、夏季には有機態リン濃度が低濃度・無機態リンが高濃度になる傾向が毎年観測されている。図 8 に示す通り、底泥内では、オルトリン酸 ( $\text{PO}_4$ ) の割合が最も高く、オルトリン酸は冬季に低濃度・夏季に高濃度になっていた<sup>13)</sup>。従来の仮説では、底泥中のオルトリン酸が遊離することで間隙水中の  $\text{PO}_4$  が供給されると考えられてきたが、観測結果では従来仮説とは異なる結果が得られた。

また、間隙水 DOM の分子サイズ分布を全有機炭素 (TOC) として世界で初めて測定した。その結果、高分子画分 (> 35,000Da) と低分子画分 (1,000 ~ 16,000 Da) の存在が確認された。紫外線吸収がほとんどない高分子画分 DOM の存在はこれまで報告例がない。DOM の底泥溶出はその分子サイズの逆数の 1/3 乗に比例する上、高分子画分は分解性がとても高い。従って、高分子画分 DOM は DOM の底泥溶出や底泥表層の酸素消費に強く影響を及ぼすと推察された。

以上の様な底泥における生態系機能 (溶出等) は、湖水柱環境に様々な影響を及ぼすと考えられる。例えば 2007 年に観測された間隙水中の急激な  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度上昇は、底泥からの溶出フラックスを上昇させ、湖水柱での  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度にも影響を及ぼしていた。2008 年頃から湖水柱での  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は急激に上昇しており、2009 年 7 月には約 40 年継続された霞ヶ浦モニタリングにおいて最大濃度の 455  $\mu\text{g/L}$  (湖心) が観測された。2011 年の爆発的なアオコ発生の引き金になったと推察される。

### 2) 湖水柱における生態系機能が底泥環境へ及ぼす影響

前セクションでは底泥の生態系機能 (溶出) が湖水柱環境へ及ぼす影響について報告したが、その逆、つまり湖水柱における生態系機能が底泥環境へ及ぼす影響も当然ながら存在する。例えば、2007 年に観測された底泥環境の様々な変化は底泥環境の還元化として説明できるが、それが引き起こされた要因は何であろうか? 本サブテーマでは、湖水

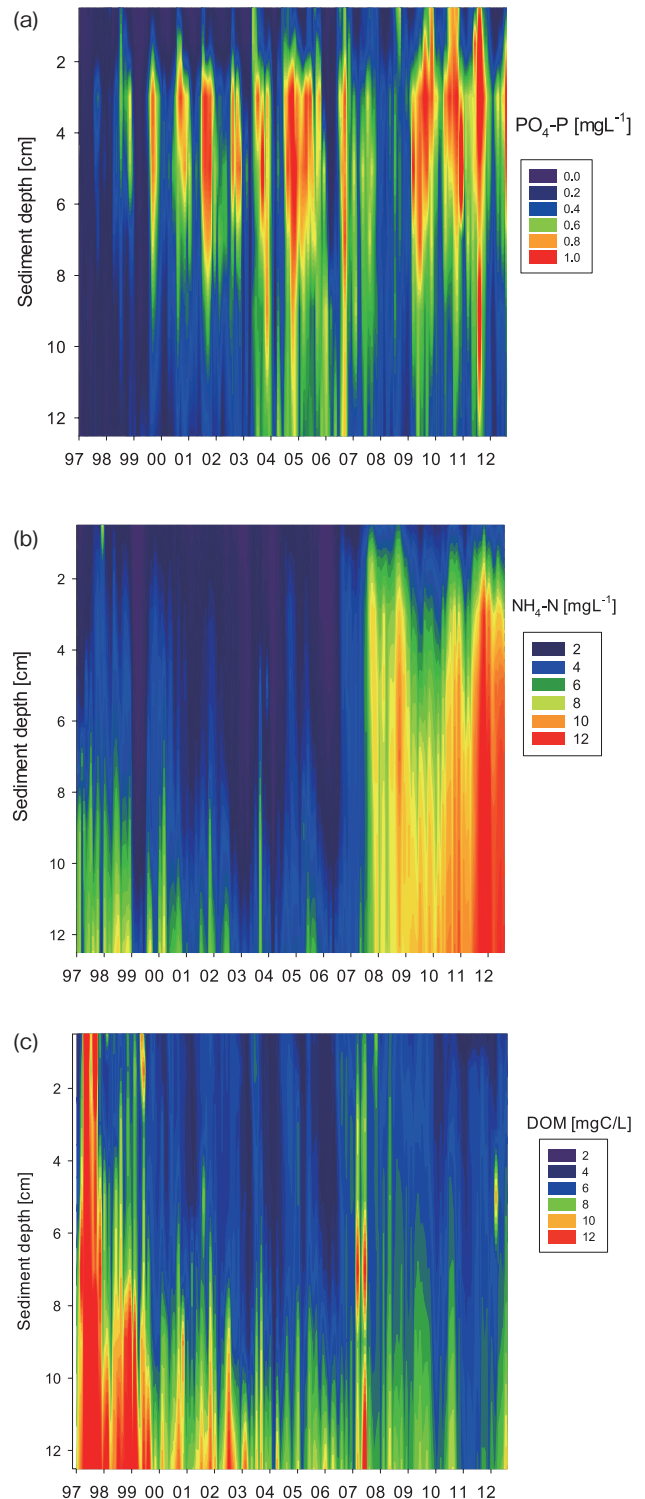


図 7 霞ヶ浦湖心における底泥間隙水中の (a) リン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、(b) アンモニア性窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、(c) 溶存有機物 (DOM、DOC として) の深さ方向濃度等高線表示 (横軸は西暦)

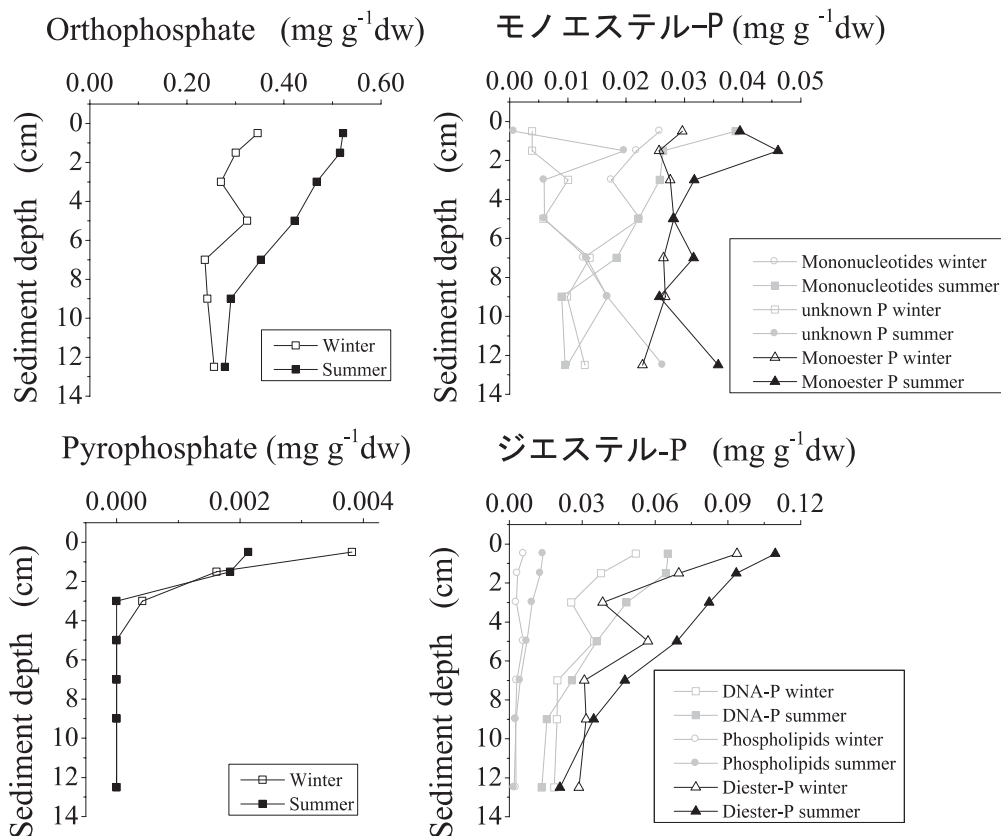


図8 霞ヶ浦底泥に存在するリンの季節変化 (冬季と夏季) [Shinohara et al. (2016)<sup>13)</sup>

柱における生態系機能が影響しているものと考え、湖水柱における生態系機能として生物生産及びそれらの底泥への沈降・堆積を注目してその解析を行った。

湖水柱における一次生産速度については<sup>13</sup>C法や<sup>14</sup>C法など培養を伴う手法がこれまで適用されてきた。しかしこれらの手法は、時間と労力がかかる、現場測定ができない、放射性同位体を使用しなくてはならず我が国での適用が難しい等の欠点があった。そこで多くのデータを取得するため、アクティブ蛍光法の一種であるFRRF (Fast Repetition Rate Fluorometry) 法による一次生産速度測定の手法開発を行った。従来法 (培養法) の一種である<sup>13</sup>C法とFRRF法とで同一水塊で同時に一次生産速度の測定を行い、その結果を比較検討した。湖内3地点×11回のデータを比較した結果、両者の決定係数は0.93-1.00を示しており、高い相関関係が認められた。しかし、その回帰直線の傾きは1近傍ではなく1対1の関係にはならなかった。回帰直線の傾きと優占藻類種の季節変動との関係を検討したところ、藍藻類が優占する時期・地点でFRRF法は一次生産速度を過小評価していることが分かった<sup>11)</sup>。<sup>14</sup>C法との比較における既往の研究には同様の傾向を確認しているものもあるが<sup>16,17)</sup>、FRRF法が過大評価しているとする逆の研究例も見られる<sup>18,19)</sup>。FRRF法と<sup>13</sup>C法とで一次生産速度の評価に違いが見られた理由は、藍藻類の補助色素が集光する波長 (660 nm 前後) とFRR蛍光光度計の照射波長 (450 nm 前後) とが一致していなかったためと考えられる。逆に集光波長が450 nm 前後である珪藻類が優占する時期には、両者での値に一致が見られた。アオコが発生した2012年における一次生産速度をFRRF法で測定したところ、Chl.a濃度が高い地点であっても、一次生産速度は必ずしも高いわけではないことが示された (図9)。

また、PJ2における代表的な調査地点の一つであるナムグム湖 (ラオス国) で、FRRF法による一次生産測定を行った。同一クロロフィル濃度かつ同一光条件下での霞ヶ浦データと比較したところ、ナムグム湖の植物プランクトンは、霞ヶ浦の約4倍の一次生産速度を示していることが分かった。霞ヶ浦と異なりナムグム湖は年間を通して水温が高い貧栄養湖であるため、栄養状態の高さと藻類の生産性が必ずしも連動しないことが明らかとなった。また一次生産の生産主である藻類の存在量については、定量PCRによる測定を行った。その結果、湖心における藍藻類 (*Microcystis aeruginosa*)

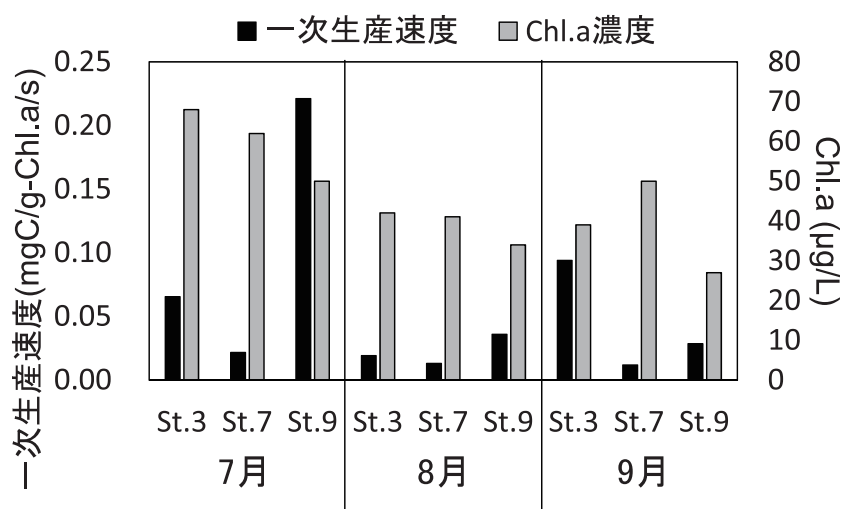


図9 2012年夏季における一次生産速度とChl.a濃度 [小松ら (2015)<sup>11)</sup>

及び *Plantothrix agardhii* の存在量は2006年頃を境に増加傾向へ転じていることが分かった。

さらに霞ヶ浦水環境保全再生研究ステーション近くの棧橋に設置した自動昇降システム付き多項目水質計の結果から、アオコ発生時（見た目アオコレベル2）における藍藻類の顕著な増加は、水面付近だけでなく底層付近にまで達していることが分かった。すなわち霞ヶ浦の様な浅い湖においては、湖水柱における藻類の発生と生産が底泥環境に影響を及ぼしていることが示唆された。

湖水柱の懸濁物および底泥における物質の化学的組成の相違について比較・検討を行った。例えばリン組成について<sup>31</sup>P NMRを用いて分析したところ、懸濁態ではリン脂質由来のリン化合物が多かったのに対し、底泥表層ではDNAに含まれるリン化合物の割合が高いことが明らかになった<sup>12)</sup>。懸濁物—底泥に含まれるリン形態の違いは、沈降・堆積に伴って、DNAのリンの割合が上昇していることを示している。細菌の細胞内ではDNA、RNAなどの割合が多いことが知られているため、沈降する際に、細菌による分解に伴って、リンが形態変化した可能性が推察される。DNAに含まれるリンは底泥内では比較的短時間に分解されるため、水柱—底泥間におけるDNA-Pの増加は、底泥からのリン溶出に寄与しているものと推察される。

この様に底泥中の物質動態には、底泥表面に沈降する湖水柱からの堆積物が大きな影響を及ぼすと考えられる。例えば2007年に見られた底泥間隙水の還元化とそれに伴う底泥環境の変化（溶存炭水化物濃度の減少、タンパク質の分解に伴うNH<sub>4</sub>-N濃度の急上昇、底泥細菌構造の急変、生物由来リンの分解等）は、2006年に大発生した珪藻による生産物が底泥に沈降・堆積したことによりもたらされたと推測できる。そこで本サブテーマでは、沈降堆積物速度を測定する簡易型装置（セジメント・トラップ）を自作して霞ヶ浦の3地点（湖心、土浦入り、高浜入り）において沈降フラックスの評価を行った。その結果、図10に示す通り沈降フラックスは0～120 g・m<sup>-2</sup>・d<sup>-1</sup>と大変大きな時間変動と地点間の違いが観察されたものの、年間を通しての明瞭な季節変動といえるものは見られなかった。しかしながら、これに沈降粒子中の炭素、窒素含量を乗じることで産出される炭素や窒素の沈降フラックスには一貫した変動パターンをみることができた。すなわち、炭素・窒素の沈降フラックスは春から夏にかけて高く、秋から冬にかけて低下し、春に向けて再び上昇するというパターンである。沈降粒子のC/N比は湖心の8月のデータを除けば、ほぼすべて5から7の間になり、いわゆる植物プランクトンのC/N比とほぼ同じ値を示した。このことから、沈降粒子のうち物質循環に重要な植物プランクトンを起源とする有機物の沈降フラックスに関しては上記のような季節変化が存在している可能性が高い。春から夏にかけて炭素の沈降フラックスは場所による違いはあるものの、8 gC/m<sup>2</sup>/d前後で推移し、一方、冬季には2 gC/m<sup>2</sup>/d以下にまで低下していた。<sup>13</sup>C法等により評価された総一次生産速度に関しては、そうした季節変動は見出されていない<sup>20)</sup>。こうしたことから、一次生産量と沈降フラックスは同様な挙動をしていないことが分かった。霞ヶ浦では冬季の植物プランクトンは珪藻を主体とすることから、植物プランクトン遺骸の分解性の違いが炭素・窒素の沈降フラックスの季節変化をもたらしている可能性がある。

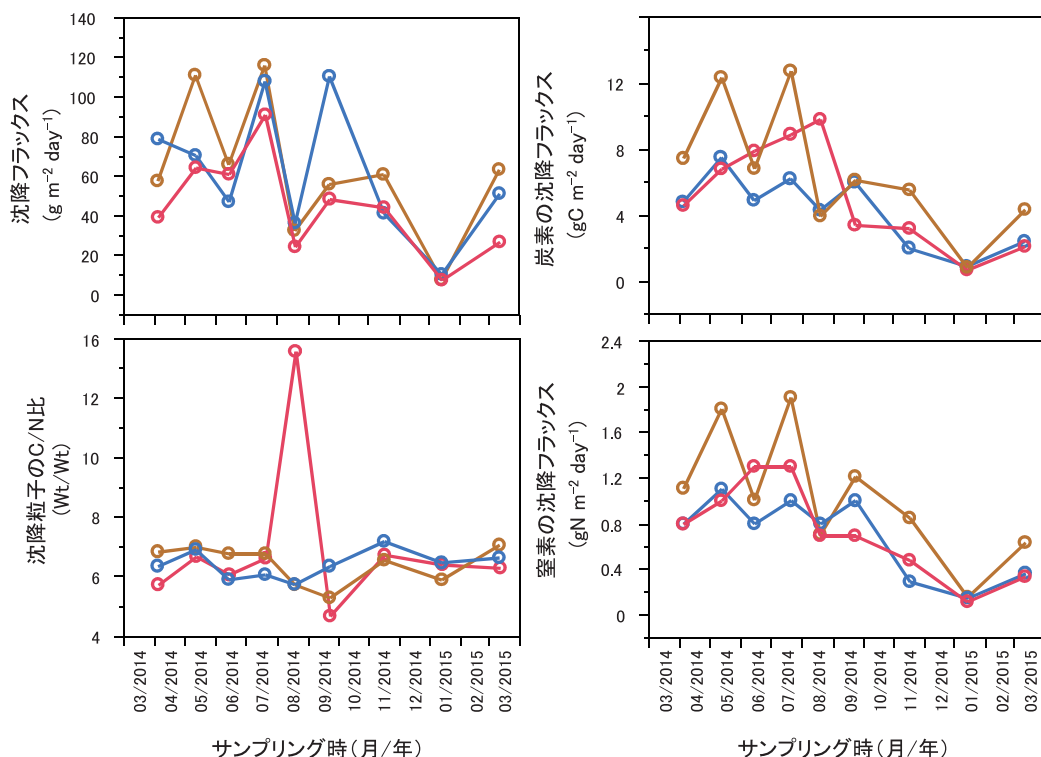


図10 霞ヶ浦(西浦)における沈降フラックス(左上図)、沈降粒子のC/N比(左下図)、炭素の沈降フラックス(右上図)、窒素の沈降フラックス(右下図)の時系列変動。(湖心(赤色)、高浜入り(黄色)、土浦入り(青色)で示した。)

また既往の研究<sup>21,22)</sup>でも指摘されている通り、植物プランクトンの種類によって沈降速度が異なる可能性も考えられる。沈降粒子中の藍藻類の存在量について定量PCRで解析を行った。その結果、湖心における沈降粒子中には0～20%の割合で、*M. aeruginosa*の細胞が含まれていること、特に夏季でその割合が高いことが分かった(図11)。また、2014年7月のSt.3(高浜入り)で採取された沈降粒子中の*M. aeruginosa*濃度割合は表層水の0.6%であったが、同年8月には51%と急激に増加していた。FRRFの結果から、アオコ発生時において必ずしも一次生産速度が高いわけではないことが示唆されたが、発生後には藍藻類の遺骸等が急激に沈降し、底泥環境へ影響を及ぼす可能性が高いことが示された。また沈降粒子におけるC/N比等の結果から、藻類種によって異なる遺骸の分解性や沈降特性も、底泥への沈降フラックスに関連していることが明らかになった。

沈降粒子の炭素、窒素安定同位体比を時系列に解析した(図12)。測定したのは沈降粒子中の有機物であり、そのC/N比からそれが植物プランクトンの遺骸由来であることは先述したとおりである。炭素安定同位体比は底泥表層のそれとほぼ同じ、-26.5から-24%の範囲で変動した。春先に若干高くなる傾向はあるが、全体として明瞭な季節変化は見られなかった。一方、窒素安定同位体比に関しては、全体として底泥表層の値(+8.2%程度)より高い値をとる場合が多かった。その詳細な理由は不明であるが、下記のような理由が複合的に影響を及ぼしている可能性が高い:(a)植物プランクトンが一時的に窒素同位体比の高くなった無機態窒素(硝酸態窒素やアンモニウム態窒素)を吸収・同化したため;(b)沈降粒子が底泥表層に堆積した後に分解が進んだため(窒素同位体比の高い有機物画分が易分解性であることが前提)。現段階では理由(b)を支持する情報を持ち合わせてはいないものの、理由(a)については本サンプリング期間中に硝酸性窒素やアンモニウム性窒素の濃度が大きく変動していることから、十分起り得ると考えられる。サンプリング期間の前半はアンモニウム性窒素が比較的豊富にあり、植物プランクトンの主たる窒素栄養となっていた可能性が高い。一方、後半はアンモニウム性窒素が枯渇し、硝酸性窒素が植物プランクトンの主たる窒素栄養と考えられる。この切り替わりは2014年9月から11月にかけて起こった可能性が高いが、切り替わる直前まで沈降粒子の窒素安定同位体比は上昇を続け、切り替わり時に低下し、その後一定という特徴を示した。硝化影響下や植物プランクトンによる同化過程では、その窒素同位体比が上昇する可能性が高いとされており<sup>23)</sup>、そうした要因が背景にあること

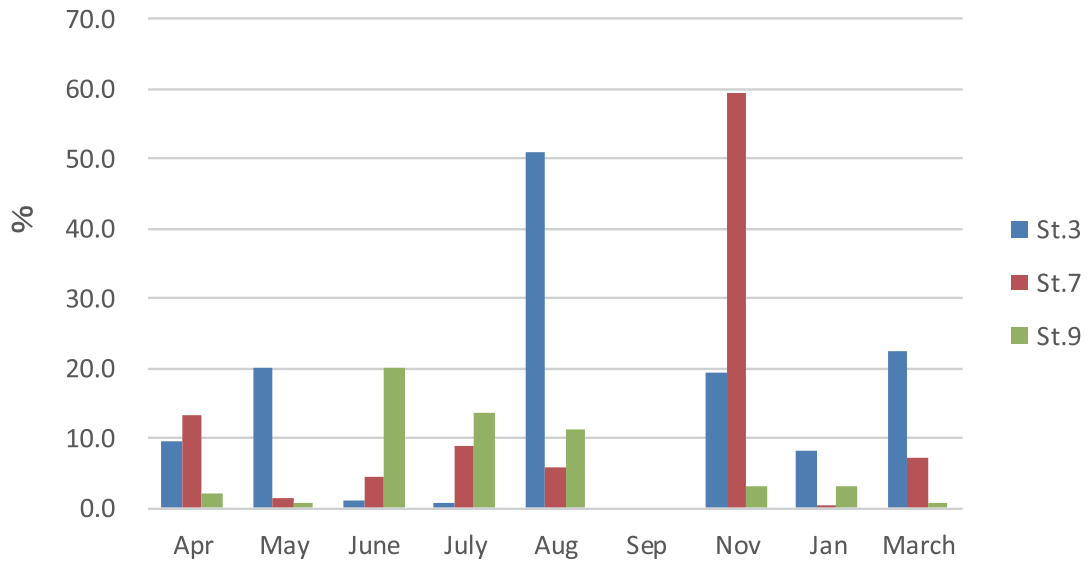


図 11 定量 PCR により測定した *M. aeruginosa* の濃度比 (沈降粒子：表層水比)

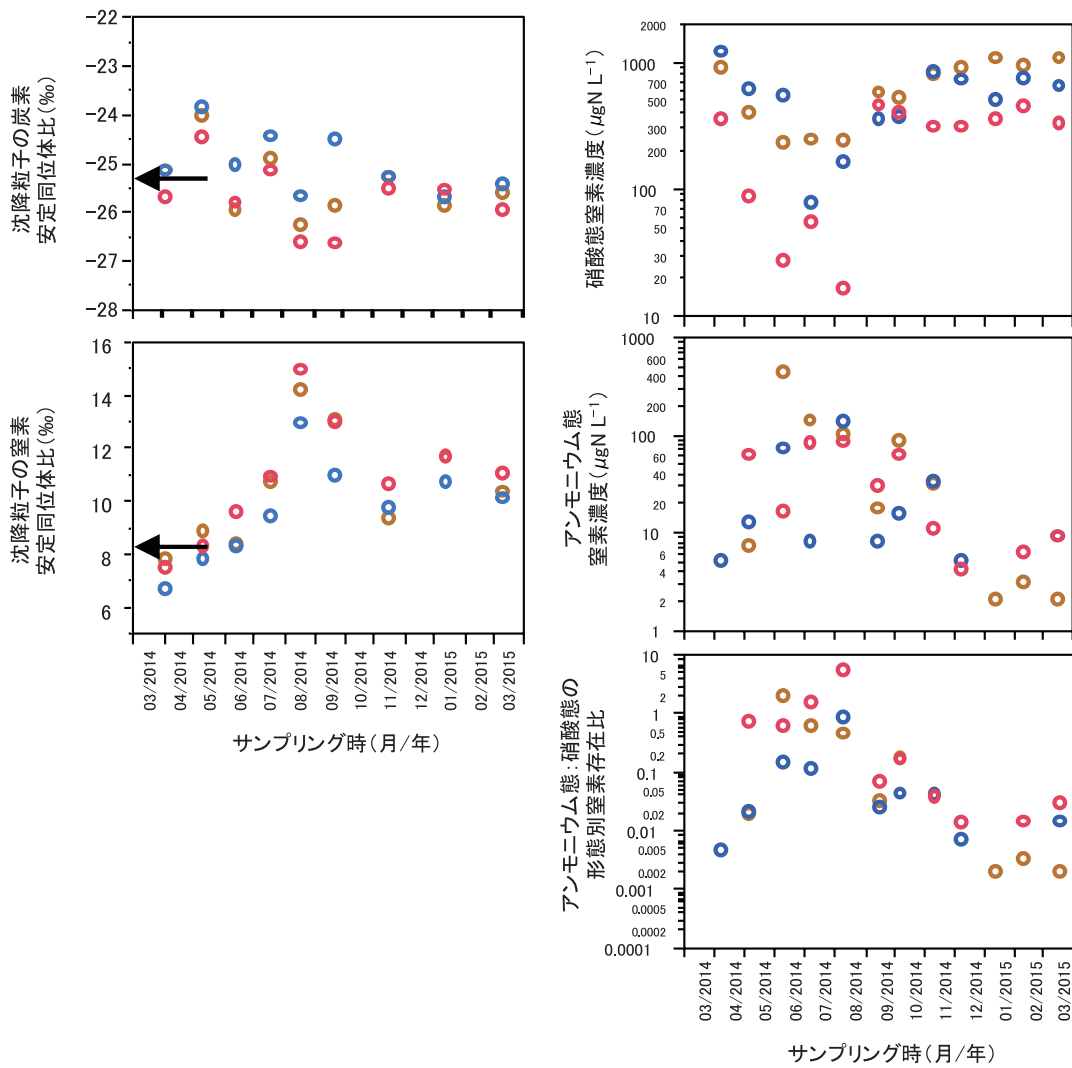


図 12 霞ヶ浦 (西浦) における沈降粒子の炭素安定同位体比 (左上図)、窒素安定同位体比 (左下図) の時系列変動、同期間の湖水柱の硝酸態窒素濃度 (右上図)、アンモニウム態窒素濃度 (右中図)、アンモニウム態：硝酸態の存在比 (右下図) の時系列変動。  
(左上図および左下図の左向き←は湖心の底泥表層有機物の安定同位体比を示す。)  
(湖心 (赤色)、高浜入り (黄色)、土浦入り (青色) で示した。)

が推察された。以上より、沈降粒子の同位体特性からは、起源となる植物プランクトンの窒素栄養に関する情報が得られることが分かった。

### 3) 流域における窒素飽和に係る影響のモデル解析

筑波山における窒素飽和現象に注目して、森林域（筑波山）－河川（恋瀬川）－霞ヶ浦として連なる流域圏（恋瀬川－霞ヶ浦高浜入り流域圏）を対象として（図 13）、湖沼流動+生態系モデルにより、恋瀬川起源の硝酸態窒素（硝酸イオン、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）の動態に係るモデル解析を実施して、筑波山における森林管理（間伐）が霞ヶ浦の湖水  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度に及ぼす影響を、統合モデルにより評価した。筑波山森林域への大気降下物量は CMAQ（Community Multiscale Air Quality model）により計算し、森林域から河川の流出量は生態系モデル VISIT（Vegetation Integrated Simulator for Trace Gases）により算出し、河川（恋瀬川）での森林域起源  $\text{NO}_3\text{-N}$  の寄与算定には  $\text{NO}_3\text{-N}$  に存在する N と O の安定同位体比から算出した寄与割合<sup>24)</sup>を用いて、最終的に、霞ヶ浦（高浜入り）での  $\text{NO}_3\text{-N}$  の動態解析については、3次元流動モデル POM（Princeton Ocean Model）と生態系モデル CE-QUAL-ICM（米国工兵隊、生態系モデル）を使用した。計算期間は 2010 年～2011 年とした。

結果として、人工林を間伐しても霞ヶ浦湖水  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の削減効果は 1～2% ととても低い値に留まることが明らかとなった。これは霞ヶ浦では畑地起源の  $\text{NO}_3\text{-N}$  が圧倒的に卓越するためである。すなわち、森林管理による  $\text{NO}_3\text{-N}$  削減効果は、湖沼ではなく、河川や渓流水に顕著に現れると考えられた。従って、霞ヶ浦を対象とする  $\text{NO}_3\text{-N}$  対策としては、畑地からの流出を抑制する対策を集中的に実施すべきであると結論された。

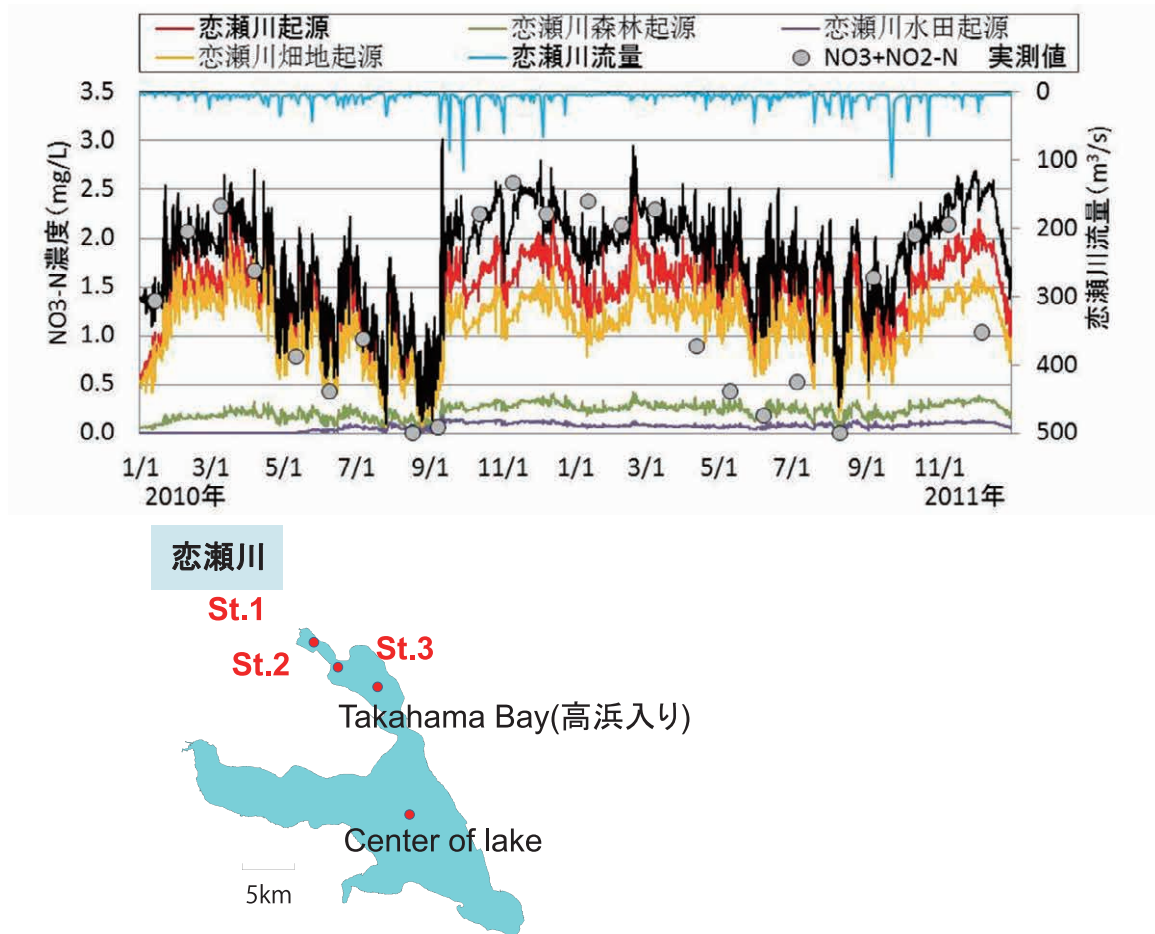


図 13 森林域（筑波山）－河川（恋瀬川）－霞ヶ浦（高浜入り）として連なる流域圏における硝酸性窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）の高浜入りにおける動態のモデル解析結果（場所は St.1、人工林間伐無しのケース。恋瀬川における  $\text{NO}_3\text{-N}$  の起源を森林由来、畑地由来および水田由来に分けて計算した。）

#### (4) まとめ

本サブテーマでは多くの新規性の高い生態系機能や環境因子の測定法・分析法が開発された：同位体を使用しない迅速測定可能な藻類一次生産速度測定法（FRRF法）、放射性同位体を全く使用しない細菌2次生産速度測定法<sup>25)</sup>、溶存有機物（DOM）の全有機炭素（TOC）検出での分子サイズ分布測定法<sup>10,26)</sup>、DOMの励起蛍光に基づく特性評価法（EEM-PARAFAC）、リンの存在形態分析（<sup>31</sup>P-NMR法）<sup>12)</sup>、口径11 cmの不攪乱採泥器を用いたコア試料採取法、自動昇降システム付き多項目水質計等。これらの方法の幾つかをPJやサブテーマの違いを越えて適用した。これまでの成果から、霞ヶ浦では、湖水柱と底泥の間で各々の持つ生態系機能が各々の環境因子（環境状態）に双方向に影響し合っていると示唆された。湖水柱の藻類生産（機能）は沈降・堆積（キャッピング）を介して底泥の酸化還元状態（因子）に影響を及ぼし（底泥を嫌気化し）、結果、底泥・間隙水物質濃度（因子）を変化させ栄養塩等の溶出フラックス（機能）を増大させる。一方、底泥溶出フラックス（機能）の変化は、湖水柱の栄養塩等の水質（因子）に影響を及ぼす。浅い湖沼である霞ヶ浦の水質改善のためには、底泥環境の酸化還元状態に着目することが重要と言える。霞ヶ浦で、アオコ（藍藻類）問題が1986年以来23年振りに2009年に生じた。この原因は、2006年春季に珪藻類が大増殖して沈降・底泥堆積したと推察される。結果、底泥表層の嫌気性化に伴い間隙水NH<sub>4</sub>-N濃度が劇的に増大、次いで溶出フラックスも顕著に増大したためアオコ形成藍藻類の大増殖に至った。春季の珪藻増殖にも栄養塩等の底泥溶出が大きく寄与していると考えられる。従って、夏から秋のアオコ発生に対する対策として、冬季から初春にかけて底泥溶出対策を実施することが有効であると提言された。

窒素飽和現象に注目して、森林域（筑波山）－河川（恋瀬川）－霞ヶ浦として連なる流域圏（恋瀬川－霞ヶ浦高浜入り流域圏）を対象として、湖沼流動＋生態系モデルにより、恋瀬川起源のNO<sub>3</sub>-Nの動態に係るモデル解析を実施した。結果として、霞ヶ浦高浜入り中央での恋瀬川森林起源のNO<sub>3</sub>-Nの寄与はかなり低く、湖沼沖帯ではほとんど影響しないと推察された。従って、筑波山森林域での窒素飽和現象は渓流水や恋瀬川が霞ヶ浦に流入する地点近傍に顕著な影響が出ると予測された。

### 2.1.3 沿岸域における生態系機能と環境因子の連動関係の定量評価に関する研究

#### (1) 目的と経緯

近年、世界中の沿岸域、特に高負荷環境となりやすい閉鎖性海域において海藻アオサ類の大量繁茂と堆積現象が報告されており、それらはグリーンタイドと呼ばれている<sup>27,28)</sup>。わが国でも東京、大阪、広島、博多湾といった巨大都市に隣接する湾域でグリーンタイドの発生が報告されており<sup>29-33)</sup>、その結果として悪臭や漁業被害、景観悪化など沿岸域における生態系サービスの低下が懸念されている<sup>34,35)</sup>。本課題では、かつて一連の前浜干潟であり、現在でも底質の鉱物組成や供給される海水組成がほぼ等質な千葉県谷津干潟と三番瀬干潟を主要な研究対象とし、1990年代以降報告されている侵入種ミナミアオサ（*Ulva ohnoi*）を含むアオサ類によるグリーンタイド現象<sup>36)</sup>が生態系機能へ及ぼす影響の定量的評価を目標として研究を実施した。野外調査や操作実験、室内実験を通じて、一次生産者の変化や侵入種による優占現象が干潟の生態系機能に及ぼす影響を検討し、最終的に干潟等沿岸域におけるグリーンタイドに関する適正管理シナリオの作成を目指した。

#### (2) 方法

##### 1) グリーンタイド形成アオサ類の種別現存量

調査対象地は、侵入種ミナミアオサを含むグリーンタイドが発生しており、かつ物質収支を捉えやすい形状である東京湾奥に位置する谷津干潟とした。谷津干潟におけるグリーンタイドについては、過去の発生面積や季節的消長に関するデータの蓄積がある<sup>36,37)</sup>。本対象地において、基本的に月1回のアオサ類のバイオマス調査を実施した。サンプリングには予備検討の結果得られたサイズの方角枠を用いた。サンプルは干潮時に現地で刈り取り、各枠1箇所重なるの層数を求めた。調査で得られた約50個体を用い、遺伝子解析により種同定を行い、グリーンタイド形成アオサ類の種別現存量の季節変化を見積もった。



## 2) グリーンタイド発生面積の季節変化

現地調査と同時期に撮影された航空写真と GPS を用いた現地踏査による観測結果から、本対象地におけるグリーンタイド発生面積の季節変化を見積もった。さらに発生面積データと上記の種別現存量データから同干潟における侵入種ミナミアオサと在来種アナアオサの現存量を推定した。

## 3) 底生生物調査と海水環境および底質環境

谷津干潟における底生生物については1月から7月まで2か月に1回、干潮時に25 cm 四方、深さ15 cm の方形枠を3個設置し、全量を採取し、目合い1 mm のメッシュで篩った後に生物種の同定と個体密度を計測した。採取時には、堆積しているアオサ類もあわせて採取しここから得られたサンプルと、地表面および底質内から得られたサンプルを分けて評価を行った。海水環境については干潮時の約1時間前に当たる下げ潮時と約1時間後に当たる上げ潮時に表層水を採取し、ガラス繊維フィルター（グレードGF/F、GEヘルスケアジャパン）にて濾過後、オートアナライザーによる各態無機窒素濃度、リン酸態リン濃度および全有機体炭素計による溶存無機炭素の計測を行った。底質環境については、底質直下5 cm 層における底質間隙水を採取し表層水同様に分析を行った。干潮時における現地調査の際に多点ORP電極を用いて底質内の深度別計測を行った。同時に、底質表層を採取して実験室で酸揮発性硫化物や強熱減量を計測した。

## 4) アオサ類各種の増殖制限要因の検討

高水温期に増殖期があるとされる侵入種ミナミアオサは冬から春に繁茂するとされる在来種アナアオサよりも高水温帯で最大増殖速度が観測されることが予想された<sup>29)</sup>ため、事前に遺伝子解析により種を決定した侵入種ミナミアオサと在来種アナアオサを用いた。増殖実験を実施するに当たってははじめに温度による成熟誘導条件を確認した。その上で培養にはインキュベーターを用い、水温（6℃、11℃、20℃、25℃、30℃）を制御した。庫内光量についても成熟誘導を起こさない程度の受光量とされた弱光<sup>38)</sup>で $65\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ までに抑えた。現地で採取したアオサ類から直径25 mm の円状サブサンプルを分取し、3枚1組として実験に供した。培地には人工海水マリンアート SF-1（富田製薬 KK）と藻類培養液 KW21（第一製網 KK）を純水で希釈して用いた。実験期間は7～10日程度とし、重量相対成長速度を算出した。

## 5) 栄養塩類吸収速度の季節変動の推定

谷津干潟におけるアオサ類のバイオマス調査結果から、実験前後3ヶ月相当の平均バイオマスを算出した。干潮時に現地で採集したアオサ類を海水で軽くすすぎ、過剰な水分を簡易脱水機で処置した後、上記バイオマス当量を野外試験に供するサンプルとした。

透明同化箱と光不透過の暗処理箱を、それぞれ明条件、暗条件用反応容器として用意した。各容器には定量済みのアオサ類サンプルと現地海水6 L を試水として投入し、現場海域に2時間程度固定した。対照として各容器には海水のみを充填した。いずれも試水投入時には気相が混入しないように調整した。実験終了後、試水を約150 mL 分取し、オートアナライザーによる各態無機窒素濃度、リン酸態リン濃度および全有機体炭素計による溶存無機炭素の計測を行った。アオサ類サンプルは実験室に持ち帰った後、湿重量および80℃48時間以上の乾燥処理後の重量を測定した。同時に直径16 mm の円状サブサンプルを分取し、100%メタノールを溶媒とした乳鉢による粉碎による色素抽出を行い、Porra et al. (1989)<sup>39)</sup>の式に基づいてクロロフィル a 量の計測を行った。それらの経時変化から、アオサ類による乾燥重量あたり、あるいはクロロフィル a 量あたりの栄養塩類吸収速度を推定した。

## 6) 物質収支へ及ぼす影響の定量化

栄養塩類吸収速度および炭素固定速度の季節変動の推定値の結果に谷津干潟の平均水量を乗じて、谷津干潟で優占する侵入種ミナミアオサを対象として干潟の物質収支に及ぼす影響を定量的に見積もった。

以上の結果を利用して、干潟の生態系機能としての生物生息場機能、生物地球化学的機能、水文学的機能への影響を、アオサ類のフェノロジーに留意してまとめた。

### (3) 結果と考察

#### 1) グリーンタイド形成アオサ類の種別現存量

アオサ類の現存量の調査に適切な方形枠サイズは50 cm 四方、繰り返し数は12以上ということが明らかになった。その結果、アオサ類現存量の季節変動が明らかになった(図14)。春に徐々に増加し5月に150 gDW m<sup>-2</sup>程度を示したが、夏には10 gDW m<sup>-2</sup>以下にまで激減した。秋に回復し12月には300 gDW m<sup>-2</sup>を超えたが、2月に再度100 gDW m<sup>-2</sup>程度まで減少した。層数は春に平均2-3層から4層まで増加し、夏に激減し平均1層、秋に回復し平均6-7層程度まで回復していた。

アオサ類の種同定については従来、PCR法によりITS領域を増幅しダイレクトシーケンスによって塩基配列を決定行われてきたが、シーケンスには時間とコストを要する。本研究のような定量的種同定には実用的な遺伝マーカーの開発が必要であり、予備試験を通じて開発、検証した遺伝マーカーを用いた。その結果、周辺干潟での出現が確認された3種のグリーンタイド形成アオサ(アナアオサ、ミナミアオサ、リボンアオサ)の簡便かつ低コストな種判別が可能となった。谷津干潟では春に滞筋など局所的に在来種アナアオサが出現したものの、全域ではミナミアオサが優占しており、本研究の固定調査点ではミナミアオサの出現頻度は調査期間(2011年1月~2014年2月)を通じて1078個体中1074個体(99.6%)であった。アナアオサは残りの4個体(0.4%)であり、25回の調査のうちでも3回しか出現せず、1回の調査での最大値で5%出現した(2011年2月)のみであった。

#### 2) グリーンタイド発生面積の季節変化

本対象地におけるグリーンタイド発生面積の季節変化を見積もることを目的として、谷津干潟の干潮時に撮影された可視航空写真、同時に撮影された近赤外フォルスカラー航空写真を取得し、GPSを携帯した現地踏査の結果を教師とし、アオサ類の分布面積を計算した結果、2月に約22 ha、4月に約4 ha、7月に約27 ha、11月に約4 haの分布が確認された。種組成の結果と現存量の結果を乗じて谷津干潟におけるミナミアオサの最大現存量は7月に約25 t、アナアオサについては2月に約1 tと推定された(図15)。

#### 3) 底生生物調査と海水環境および底質環境

谷津干潟における底生生物はアオサ類が衰退し腐敗する夏に種数、個体数いずれも大きく減少した。生活場所で区分したところ、地表面より上、すなわち堆積しているアオサ類の隙間に生息する葉上生活者の種数は底質内生息者とはほぼ等しく、個体数については冬・春で2倍以上計測された(図16)。葉上生活者を合わせて計上した結果を、谷津干潟に隣接しグリーンタイドの発生しない三番瀬干潟と比較したところ、冬には谷津干潟で約2倍の種数が出現した。個体数も夏で約3倍、冬で約25倍にまで増加した。侵入種ミナミアオサが優占することで干潟の生態系機能のうち生息場供給機能について量的に正の効果を示すことが明らかとなった。

表層水中の栄養塩類を測定した結果、隣接する三番瀬干潟などの既知の裸地干潟とは異なり、一年を通じて全窒素(TN)と全リン(TP)ともに下げ潮の方が上げ潮よりも低濃度であることが明らかとなり、干潟内では栄養塩吸収の傾向が明らかになった(図17)。

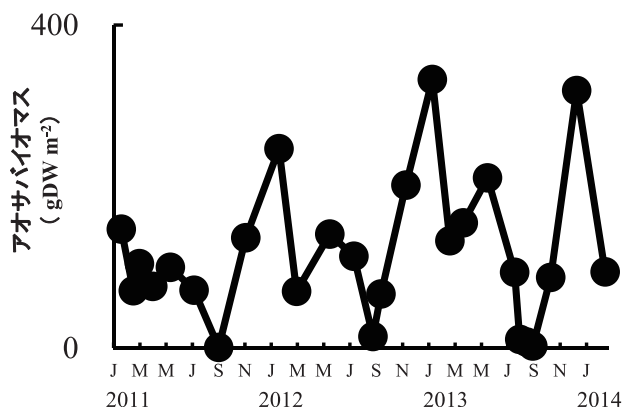


図14 アオサ類現存量経月変化

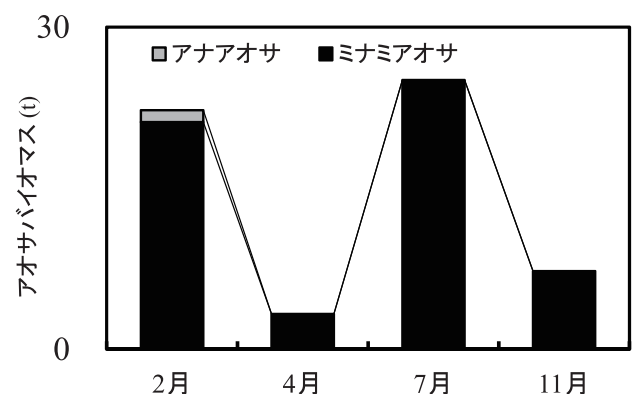


図15 谷津干潟アオサ現存量の推定結果

一方、底質直下深度5 cmの間隙水中の溶存態全窒素(DTN)と溶存態全リン(DTP)は、盛夏から初秋にかけて1桁オーダーで上昇した後に減少した。また底質直下0~5 cm層の酸揮発性硫化物(AVS)は春から初夏にかけて上昇する傾向が見られた。したがって、底質環境においてはアオサ類の衰退(バイオマスの減少)にともなう還元化および間隙水中の栄養塩類濃度の上昇と、その後のアオサ類の再生(バイオマスの増大)にともなう間隙水中の栄養塩類濃度の低下という、アオサ類のフェノロジー(生物季節性)にあわせた変化が生じていることが明らかとなった。一方で、これら底質表層での変化は干潟の直上海水中における栄養塩類濃度の変動には大きく影響しない可能性が示唆された。

#### 4) アオサ類各種の増殖制限要因の検討

アオサ類の培養実験を試みる際に、サンプル移動時や一時保管の際に4℃の低温に曝されることがなければ繁殖誘導

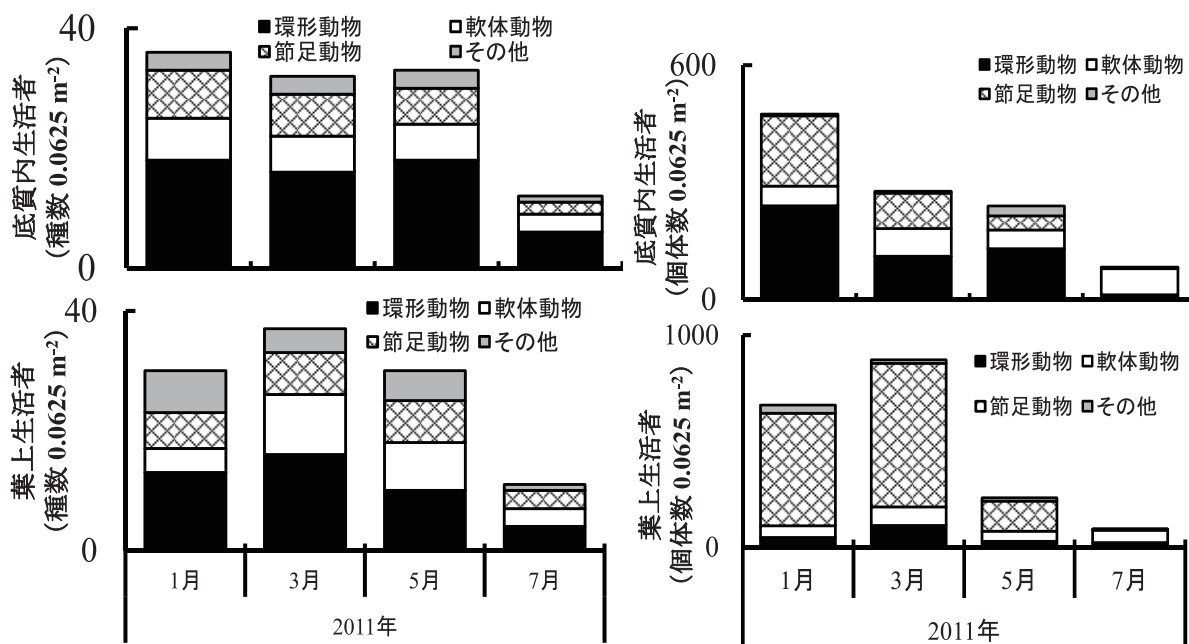


図16 底質および葉上におけるベントスの種数(左)、個体数(右)の経月変化

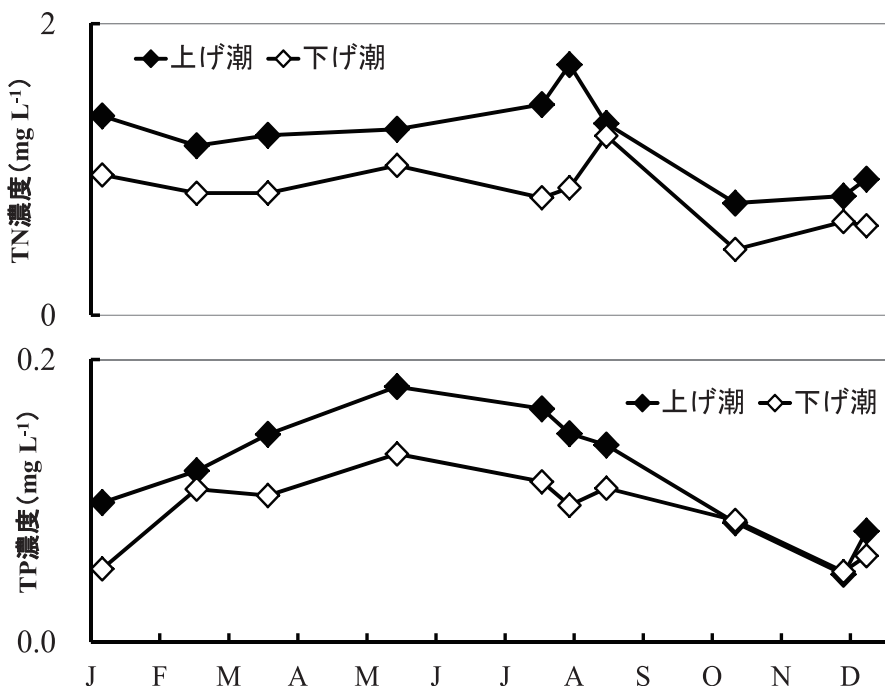


図17 下げ潮時、上げ潮時における表層水中全窒素・全リン濃度の経月変化

の確率を大幅に下げることができることが確認された。そこで、アオサ類の培養試験に必要な条件検討の結果、重量相対成長速度を求めたところ 20～30℃ではミナミアオサは 10 (% day<sup>-1</sup>) を越える値を示し、アナアオサでは 11～25℃で 6 (% day<sup>-1</sup>) を越える値を示した。その結果 20℃以上の条件ではミナミアオサの成長が卓越すること、一方で 12～2月の水温に相当する 6℃では両種ともほぼ 0 (% day<sup>-1</sup>) であった。

#### 5) 栄養塩類吸収速度および炭素固定速度の季節変動の推定

アオサ類乾重 1 g あたりの無機態窒素およびリン酸態リン吸収速度の推定結果は、日中光合成をしている条件下でそれぞれ 0.03～0.19、0.001～0.028 mg gDW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>、夜間呼吸のみをしている条件下で 0.02～0.15、0.004～0.028 mg gDW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> であった。同様に日中の無機態炭素固定速度は真の光合成速度として 2.7～9.8 mgC gDW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> であった。クロロフィル a 量あたりに換算すると 0.7～2.4 mgC μg chl.a<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>、であった。夜間に計測される無機炭素放出速度は呼吸速度であり 1.2～4.8 mgC μg chl.a<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> であった。Littler & Littler (1980)<sup>40)</sup> による機能分類群ごとの炭素固定速度に関する報告によれば、アオサ類は最も炭素固定速度が高い膜状形態グループに属し、さらにその平均値 5.2 mgC gDW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> よりもはるかに高い値を示すことが明らかになった。

呼吸速度と窒素吸収速度は夏だけ高く、他の季節は低いが、光合成速度とリン吸収速度は夏から秋にかけて高い季節が続くことが明らかになった。

#### (4) まとめ

ここまでの結果をまとめ、谷津干潟でグリーンタイドを形成しているアオサ類の 99 % 以上は侵入種のミナミアオサであり、本種が最大で谷津干潟の面積の約 3/4 を占め、現存量では 25 t に至ること、および 1 日あたりの栄養塩類吸収速度や炭素固定速度の実験結果を乗じて物質収支への影響を評価した (図 18)。

その結果、谷津干潟全体での日中の窒素の吸収速度は 0.81～1.62 tN day<sup>-1</sup>、夜間は、0.06～0.79 tN day<sup>-1</sup>、リンでは日中 0.07～0.24 tP day<sup>-1</sup>、夜間 0.04～0.29 tP day<sup>-1</sup> を示した。それらの結果から、昼夜あわせた年間の総吸収量は窒素 406 t、リン 113 t と計算され、その NP 比は日中平均値が 4.8、夜間が 2.5 となった。Fan et al. (2014)<sup>40)</sup> によれば中国でグリーンタイドを起こしている近縁種スジアオノリの育成に関する最適 NP 比 (重量比) は約 5 とされ、本結果と近い値であった。また、無機態炭素の吸収速度は 3～74 tC day<sup>-1</sup> であり、年間総吸収量に換算すると炭素約 8300 t と計算された。

侵入種ミナミアオサが谷津干潟に分布を広げ優占種となったことにより、アオサ類の枯死に伴う底質の還元化がおきる夏に硫化物の増加と悪臭の素となる硫化水素の発生がみられたものの、底生生物の生物量や種数については増加がみられ、栄養塩吸収や炭素固定能といった生態系サービスについても向上がみられたことが示唆された。

従来、生態系サービスの観点から干潟は水質浄化するならち有機物分解の場として評価されてきたが、一次生産者であるアオサ類がグリーンタイドを形成することで有機物蓄

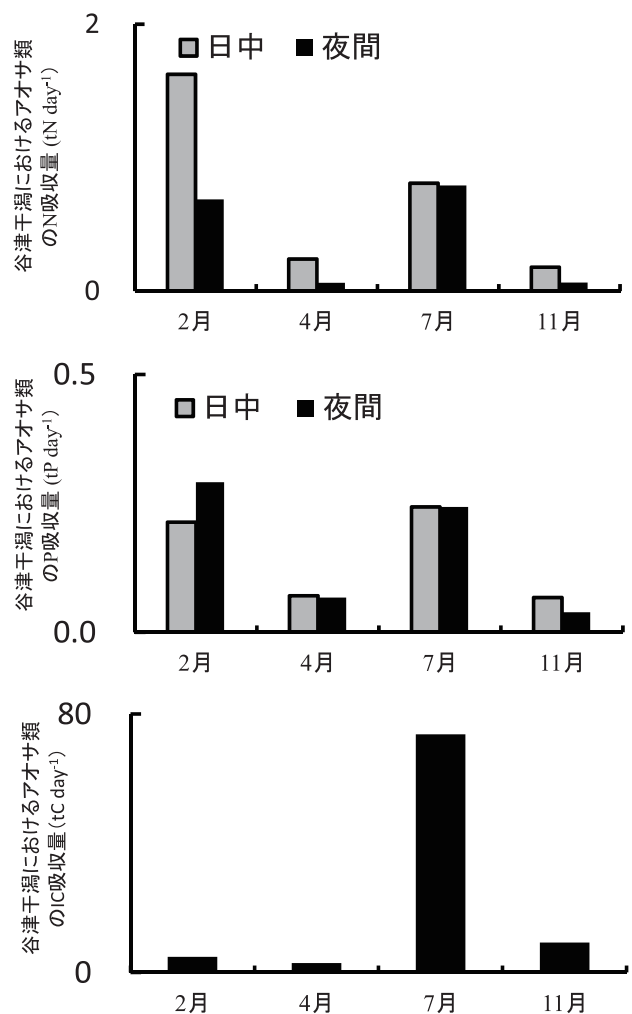


図 18 アオサ類による 1 日あたりの全窒素 (上)、全リン (中)、無機炭素 (下) の吸収 (固定) 速度

積の場としての機能が付加されたことが明らかになった。特に高負荷環境である都市域の干潟では流域からの窒素流入が短期間に改善されることは困難な状況であるが、グリーンタイドが形成されている干潟では流入してくる海水から多くの窒素を除去して沿岸に放出していることが明らかになった。都市域の干潟で多発するアオサ類のグリーンタイドの生態系管理は周辺浅海域における窒素濃度管理の一助となることが明らかになった。

侵入アオサによるグリーンタイド現象が干潟の生態系機能に対して様々な役割を果たしていることが明らかになる一方で、周辺住民から夏期に多く発生する主に硫化水素による悪臭苦情も絶えず、アオサ類による生態系機能やそこから得られるサービスに関する有益性に対する相互理解は中々進んでいない。そこで、少なくとも悪臭の発生は夏期の短い期間に限られること、臭気拡散の範囲は限定的であることから、風向きや場所に応じた部分的な生態系管理で対応できるのではないかと考え、所轄の環境省担当部署と協議して現場における硫化水素の機器モニタリングと腐敗アオサが住居近隣に溜まりにくい生態工法、適切なアオサ類回収の場所とタイミングを提案し、谷津干潟における生態系サービスのトレードオフ解消に向けて、国指定谷津鳥獣保護区保全事業に協力している。

## 2.2 戦略的環境アセスメント技術の開発と自然再生の評価に関する研究 (PJ2)

戦略的環境アセスメント (SEA) は従来型のいわゆる事業アセスと異なり、個別の事業実施に先立つ戦略的な意思決定段階、すなわち事業の計画 (位置や規模など) や政策の検討段階から、著しい環境影響を把握し、重大な環境影響を事前に回避・低減することに主眼を置いている。SEA は国内ではまだ県レベルでわずかな実施事例があるにとどまるが、米国、カナダ、また EU 諸国の多くがこの制度を導入している。開発の波が押し寄せるインドシナ半島の国際河川メコン川の流域においても SEA はすでに実施され、水力発電を目的とする数多くのダム建設計画がアセスの対象とされた<sup>42)</sup>。この報告書は、ダム開発が地域を経済的に豊かにする反面、著しい生物多様性の減少、漁業の衰退またそれに支えられた食の安全保障の低下を招くと警告している。

日本の国土の2倍の流域面積を持つメコン川は、1つの河川流域の内水面漁獲量 (260万トン/年) としては世界最大の漁業生産を誇り<sup>43)</sup>、それを支える淡水魚類の生息種数もアマゾン川に次いで世界で2番目に多い<sup>44)</sup>。生物生産と生物多様性がともに極めて高いこの川の流域では、下流4か国だけでも6千万の人口をかかえ、住民の多くが今でもこの川の自然の恵み、言い換えれば生態系サービスに大きく依存した生活を送っている。しかしながら、現在メコン川中下流域に計画されている (一部、着工された) 11の本流ダム、さらに支流に計画された100を超えるダム<sup>45)</sup>は、この川の連続性をいたるところで分断し、回遊性の淡水魚に支えられた世界最大規模の内水面漁業に間違いなく致命的な打撃を与える。では、メコン川の生態系サービスに対するダム開発の脅威を定量的かつ広域的に見積もり、重大な環境影響を事前に回避・低減することは果たして可能であろうか。また一方で、100を超えるダムがつくられるということは、同時に100以上の広大な湖 (ダム貯水池) が1つの河川流域に誕生することを意味するが、これら大型水界で生み出される (栽培漁業などによる) 漁業生産は、ダム開発で失われる (回遊魚を主体とする) 漁業生産をある程度補償してくれるのだろうか。前述の SEA は、住民の聞き取りや漁師の言い伝えなどを主な情報源に社会科学的アプローチに基づいて行われたものだが、陸水学・生態学的アプローチが欠かせないダム貯水池での水質、物質循環、生物生産の測定やそれへのダムの影響評価を定量的また網羅的に行えたとは言い難い。それは本研究プロジェクト (PJ2) も同じであり、我々は SEA そのものをメコン川流域で行ったわけではない。PJ2 が目指したものは、大河川流域を対象にした SEA に有効な観測プロトコルを確立することであり、具体的にはメコン川流域で、迅速、簡便、かつ高感度な観測手法を用い、ダム開発の生態系サービスへの影響を可能な限り高い精度で評価、予測するための技術を開発することであった。

PJ2 は4つのサブテーマで構成された。サブテーマ1では生物生産、特に一次生産の要ともいえる栄養塩循環に注目し、メコン流域に既存する複数のダム貯水池や湖沼でのリンの挙動について2年間のモニタリング調査を行った。サブテーマ2ではこれら水界における有害藻類またアオコ発生リスクの評価を行い、同時に漁業生産に大きく貢献しうるピコシアノバクテリア増殖の好適条件や制限因子を特定した。サブテーマ3では、ダム建設の影響を直接受ける回遊性淡水魚の生態を耳石の元素分析によって調べ、既存のダムまた本流に計画されたダムの影響を評価した。サブテーマ4は4つの独立した、しかし互いに関連性のある研究を網羅し、初めの2つでメコンのダム開発の淡水魚類への影響 (4-1) と水・物質循環への影響 (4-2) をモデルによって評価した。さらにベトナム沿岸で自然再生の適地選定を地域スケールで効率的に実施し (4-3)、国内では東日本大震災直後の津波により破壊された沿岸湿地生態系の回復状況を迅速、簡便、高感度な手法によって調べた (4-4)。

いずれのサブテーマも外部組織と緊密な連携のもとに実施したが、特にメコン流域での調査はタイの Ubon Ratchathani University、Department of Fisheries Thailand、カンボジアにある University of Battambang、ラオスにある National University of Laos および LARReC の多大なる協力のもとに行った。3か国に散らばる現地カウンターパートが統一した手法で観測また試料採取を行えるよう調査に先立ち詳細な英文マニュアルを作成した。これによりメコン川流域で恐らく例を見ないほどに組織的、効率的に信頼性の高い環境・水生生物モニタリングを実現することができた。

### 2.2.1 生態系機能としての底泥の分解活性評価

#### (1) 目的と経緯

ダム貯水池を含む湖沼生態系では、水界を取り巻く陸域から土砂や生物遺体、栄養塩類など様々な物質が流入し、そ

れが水中の生物によって吸収され利用される。これらの物質はその後、様々な物理・化学・生物学的プロセスを経て、底泥に沈殿し、微生物に分解され、無機化された栄養塩が再び湖水に溶出回帰することで生態系内を循環する。特に窒素、リンなどの栄養塩類はその循環過程で、生態系の一次生産を支え、ひいては複雑な食物網を介して高次の生物生産を支えている。我々が享受する水産資源などの生態系サービス、また反対に有害藻類によるアオコ発生のリスクは、このような湖沼生態系における物質循環の産物である。

メコン川流域に既存する、あるいは近い将来数多くつくられるダム貯水池において、そこでの生態系サービスとリスクについて正しく予測をたて、適切かつ持続的にダム貯水池を管理し有効利用するには、上で述べた物質循環、特に栄養塩循環を明らかにすることが重要である。なかでもリンは、生物活動に必須な元素の一つであると同時に、陸水生態系では生物生産の主要な制限因子となる傾向が強い<sup>46)</sup>。また環境中でリンは有機態、無機態の様々な形態で存在し、その形態によって挙動も異なるなど底泥－湖水をめぐる動態は複雑で未だ十分に理解されてはいない。

本サブテーマでは、陸水生態系で特に重要なリン循環の反応場としての底泥の機能とリンの動態を明らかにすることを目的として、メコン川流域の既設のダム貯水池および自然湖沼において調査を行った。

## (2) 方法

ラオスのナムグム貯水池、タイの7つのダム貯水池、カンボジアのトンレサップ湖の合計9つの水界を対象に2012～2014年の2年間にわたり3～4か月毎のモニタリング調査を行った（注：ブンコンロン、ナムウン、ノンハンの3貯水池では2013年以降に開始）。

トンレサップ湖は東南アジア最大の自然湖沼、ブンコンロンとノンハン貯水池は元来自然湖沼であったものに堰を設けて灌漑用貯水池として利用している。他の貯水池は1960～70年代にメコン川の支流に発電・灌漑等を目的に建設されたダムによってできたものである（表1）。

これら水界の湖心部および沿岸部（数地点）に定点観測地を定め、上記の期間・頻度で現地観測および試料採取を行った。調査では水温、pH、透明度、光環境などの現場測定項目に加え、湖水および底泥試料を採取し、水中の窒素・リンなどの栄養塩、有機物、クロロフィル、底泥のリンや鉄、微生物活性などを実験室にて測定した。

## (3) 結果と考察

### 1) 湖水・底泥での形態別のリン存在量

図19に湖岸と湖心における水中の全リン濃度を示した。湖岸のリン濃度は採水した地点間でばらついたが、概して湖心の濃度よりも高い値を示している。これはリンが陸域（集水域）から湖岸に供給されたこと、また水深の浅い湖岸

表1 メコン川流域のダム貯水池、湖沼の概要

水界	記号	国	建設年	目的	面積 (km <sup>2</sup> )	平均水深 (m)	最深部 (m)
ナムグム	NN	ラオス	1971	多目的	370	18.9	25.7
ブンコンロン	BK	タイ	自然湖沼	灌漑	22	0.8	3.7
フェイロン	HU	タイ	1973	灌漑	31	3.6	6.6
ナムウン	NU	タイ	1973	灌漑	86	6.4	13.4
ノンハン	NH	タイ	自然湖沼	灌漑	135	1.9	3.0
ウボンラタナ	UB	タイ	1966	多目的	410	5.5	10.6
ランパオ	LA	タイ	1968	灌漑	230	6.6	11.6
シリントーン	SI	タイ	1971	多目的	288	6.8	15.8
トンレサップ	TS	カンボジア	自然湖沼		2,700-16,000		1-10

(季節的に変動)

で湖水が巻き上げられ、底泥からの水中へのリンの回帰が湖心を上回ったことによると考えられる。

次に、これら水界の湖岸と湖心の水中ではなく、底泥中の全リン（横軸）とそれに占める有機態リンの比率（縦軸）との関係を示した（図20）。タイ、ラオスの山間部に位置する水界では、底泥中の全リン含量は湖岸よりも湖心のほうが高く、湖水のパターン（図19）とは逆の傾向が見られた。さらに、底泥中のリンを有機態、無機態の別で見ると、湖岸で有機態リンが卓越し、湖心に向けて（リンの全量は増えるものの）有機態リンが減って無機態リンが相対的に増えた。このことから、湖岸の有機態リンが無機化されて湖心に移動し、そこで無機態リンとして底泥に堆積することが考えられる。

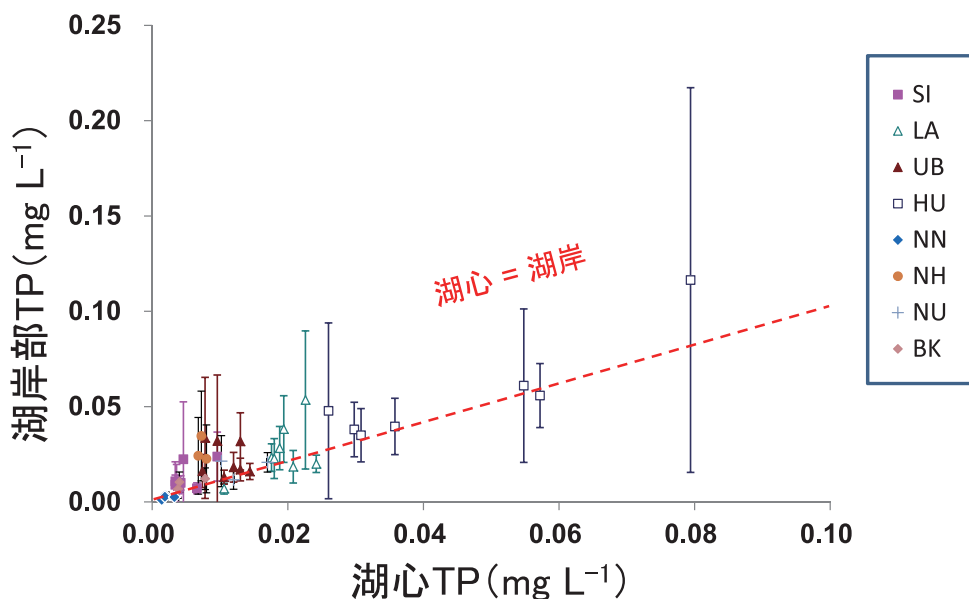


図19 ダム貯水池の湖心と湖岸における水中の全リン含量  
湖岸の全リンは4～7地点の平均値と標準偏差を示す。

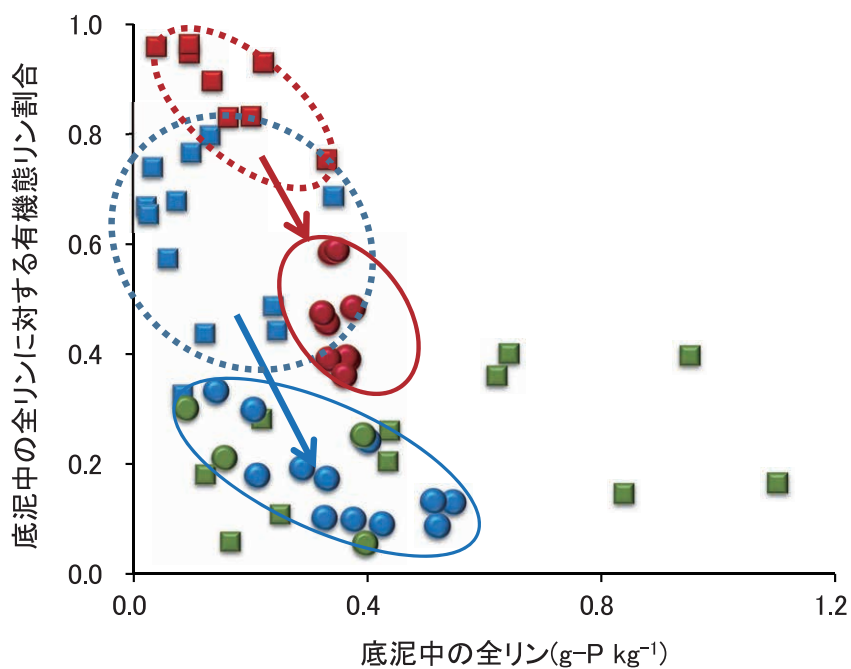


図20 底泥中の全リン含量とそれに占める有機態リンの割合  
青：タイの貯水池 (LA, SI, UB, HU)、赤：ラオスの貯水池 (NN)、緑：トンレサップ (TS)、□：湖岸、○：湖心



一方、トンレサップ湖では、ラオス、タイの貯水池より平均して湖岸底泥のリン濃度は高いが、湖心の濃度とは有意な差はなかった。リンの形態も湖岸・湖心ともに有機態リンの比率が常に低く無機態リンが優占した。トンレサップ湖のこのような特徴は、ダム貯水池と違って湖岸付近にまで農地が迫ること、また水上生活者による生活排水由来の無機態リンが大量に湖水に供給されることが原因ではないかと考えられる。

## 2) 湖岸の底泥におけるリンの無機化

湖水と底泥に見られたリンの挙動の水界間の違いをさらに詳しく調べるために、底泥中の微生物による有機物の分解、無機化機能の指標である酵素活性（ $\beta$ -グルコシダーゼ、フォスファターゼ活性）を測定した。一般に、土壌・底泥中の酵素活性は微生物の分布が不均一であることから空間的にばらつきが大きい。しかし基質となる有機物の多いところでは微生物も多く、結果的に酵素活性と有機物量との間には正の相関がみられることが知られている。一方、微生物の増殖には炭素源以外に、窒素や無機リン酸なども必須である。無機リン酸が十分に存在する環境では、微生物は有機リンを無機化する必要がないが、無機リン酸が欠乏し、制限因子となる環境では有機リンを無機化して増殖に利用するようになる。そのため炭素源としてのセルロース分解に関わる $\beta$ -グルコシダーゼに比較して、有機態リンを無機化するフォスファターゼの働きが相対的に重要となる。調査を行った水界の底泥でのグルコシダーゼ活性とフォスファターゼ活性の間には概ね正の相関が認められた（図21）。しかしナムグム貯水池では他の水界と比べ $\beta$ -グルコシダーゼ活性に対するフォスファターゼ活性の増加率が一段と高い。このことは、湖水中のリン濃度も底泥中の無機態リンの割合も低いナムグム貯水池において（図19、20）、底泥の有機リンを無機化する微生物の活性が他の水界より高く、リンの循環過程でこのような生物学的プロセスがより重要な働きをしている可能性を示唆している。

## 3) 底泥へのリンの吸着と溶出の可能性

次に底泥へのリンの蓄積機構を明らかにするため、底泥の理化学性とリンの蓄積量との関係を調べた。その結果、底泥中の有機態リンと粘土含量（直径2ミクロン以下の無機粒子の含量）との間には高い正の相関が認められた（図22）。有機態リンを含む有機物が、粒径が小さく比表面積の大きな粘土粒子と結合しやすいためか、あるいは粘土粒子が堆積しやすい場所にリンを含む微細な有機物も堆積する傾向のあることを示唆している。

一方、無機態リンは酸化物質鉄含量と密接な関係にあり、特にカンボジアのトンレサップ湖の湖岸における底泥表層の無機態リン含量は鉄含量と明瞭な正の相関を示した（図23）。これは鉄酸化物表面の正電荷が負電荷をもつリン酸を

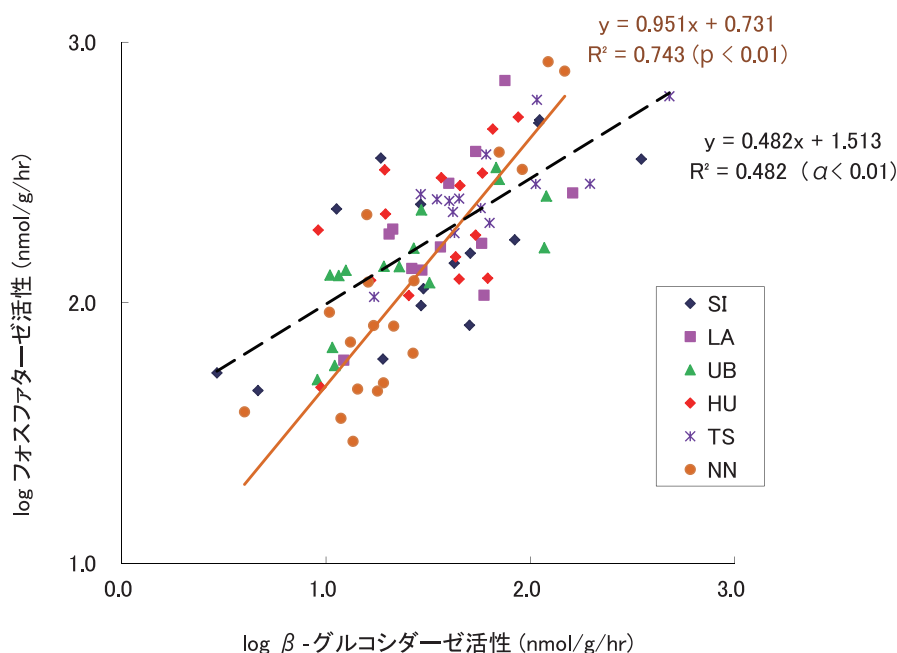


図21 底泥中の $\beta$ -グルコシダーゼ活性とフォスファターゼ活性との関係  
 実線（茶色）はナムグム貯水池の、破線（黒色）はそれ以外の貯水池、湖沼についての回帰直線

強く吸着することによって考えられる。即ち、底泥中の酸化態鉄量に応じて無機態リン酸は吸着され続けるが、一定量を越えた過剰の無機態リン酸が負荷されると底泥が吸着しきれずに湖底から溶出して来る可能性がある。図 23 から、トンレサップ湖湖岸には既にリン酸がかなり負荷されていることが示唆される。一方、タイやラオスのダム貯水池では、底泥の鉄酸化物に対するリン酸の存在量は相対的に少なく、現時点で底泥からのリン溶出によって富栄養化がもたらされる状態ではないと判断された。

鉄酸化物はリン酸との間に強固な結合形態を築きやすい。ただし、湖心底層のように貧酸素化しやすい環境では、底泥中（特にその表層部）に多量の有機物が供給されると、それらを分解する微生物との反応により、鉄酸化物が還元されることが考えられる。実際、有機物量の多い底泥中では鉄が還元されやすいことが示された（図 24）。鉄酸化物が還元分解されると、その表面に結合していたリン酸は再び遊離し、水中に放出され、植物プランクトンなどの藻類に取り込まれた後、食物網を介して他の生物、そして生態系内を循環するものと考えられる。浅い貯水池や、水温躍層が消失するような水界では、湖心底泥の巻き上げに伴いリンが直接水中に回帰することも考えられる。

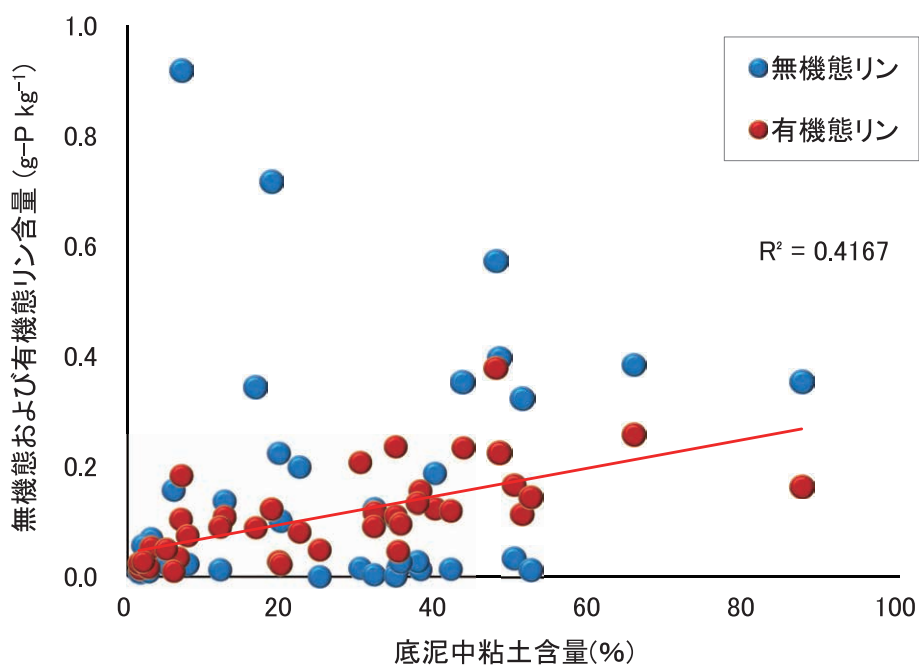


図 22 底泥中の粘土含量とリン含量との関係

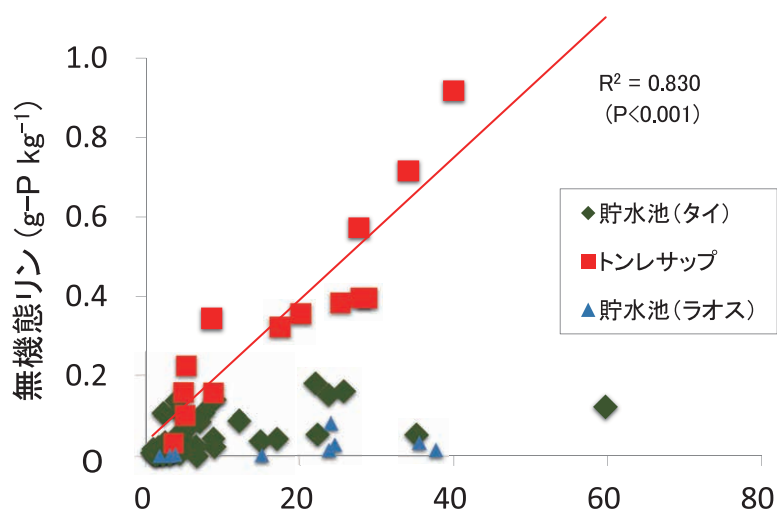


図 23 底泥中の鉄酸化物量と無機態リン含量との関係

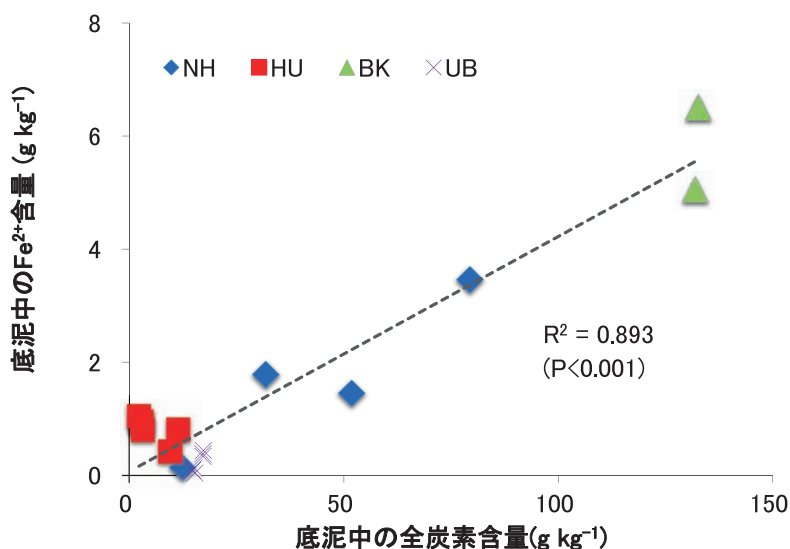


図 24 底泥中の有機物含量と還元鉄量の関係

#### (4) まとめ

リンは陸水生態系で特に重要な栄養因子と考えられている。リン循環の反応場としての湖沼底泥の機能として以下の知見を得た。

- 1) ダム貯水池では、湖水の全リン含量が湖岸で湖心より高い傾向があったが、底泥では反対に、湖心の方が湖岸より全リンが高かった。また、底泥の無機態リンと有機態リンの比率をみると、湖岸より湖心の方が無機態リンの卓越する傾向があった。これらの水界では陸域（後背地）からリンが供給され、次第に湖心に移動してゆく過程で、底泥に無機態リンとして集積していくことが示唆された。
- 2) 山間部の貧栄養な環境にあるナムグム貯水池の底泥では有機物分解活性に比較してリン無機化活性が相対的に高く、底泥中の有機態リンの無機化がリンの循環過程で重要な働きをしている可能性が示された。
- 3) 湖心底泥の有機態リン含量は粘土含量と、また無機態リン含量は鉄酸化物含量と相関が高かった。これらの物質が底泥中のリンの吸着保持に寄与していることが示唆された。また、底泥中の炭素含量と還元態の鉄含量の間に相関が見られ、底泥への有機物の蓄積が底泥の無機態リンの保持能力を低下させるものと考えられた。

### 2.2.2 有害藻類の発生メカニズム解明とその予測

#### (1) 目的と経緯

ダム貯水池や自然湖沼などの広大な水界をいくつも有するメコン川流域は、経済発展が近年著しく、人口の都市集中や農地への施肥量増大などを通じ、これら水界への栄養塩および有機物の流入量の増大、またそれによって引き起こされる水界の富栄養化が懸念されている。メコン流域を含む熱帯地域では、年間を通して藍藻が卓越することが知られており<sup>47)</sup>、藍藻の挙動が一次生産量やアオコ発生の可能性、またそれに伴う様々な影響の出方を大きく左右する。灌漑などの水利用、観光また漁業資源の確保のためには、一次生産を一定量に維持しつつ有害藻類の異常増殖を防止することが大きな課題である。本研究では、比較的貧栄養な水界で主要な一次生産者となることが知られるピコシアノバクテリア<sup>48)</sup>（特にメコン地域で優占する *Synechococcus* spp.）、有毒藻類として世界中で多くの問題を引き起こしている *Microcystis aeruginosa* および *Dolichospermum* spp.（別名 *Anabaena*）の三種類の藍藻の挙動について現地調査を実施し、藻類の挙動と栄養塩等の環境因子との関係について解析を行った。

#### (2) 方法

各水界の最深部付近より湖水を採水し、現地において試水中の藍藻類の菌体をガラスろ紙（GF/F）で捕集、75%エタノールによりDNAを固定後、保冷しながら日本（国立環境研究所）へと輸送した（調査期間や頻度についてはサブテー

マ1を参照)。藍藻類の菌体からのDNAの抽出はExtrap Soil DNA Kit Plus ver.2（日鉄住金環境）を用いた。抽出したDNAに対してそれぞれの藻類を増幅するプライマーセットを用いて定量PCRを行った。*Synechococcus* spp.の測定には*Synecho* 430fおよび*Synecho* 539rを用い、*M. aeruginosa*の測定にはMicro233fおよびCyano342r、*Dolichospermum* spp.の測定にはDolico664fおよびDolico735rを用いた。リアルタイムPCRは1x LightCycler 480 SYBR Green I Master (Roche)、8 pmolのそれぞれのプライマーおよび1μLの抽出DNAを含む16-μL反応液に対して設定した条件下で反応を行った。それぞれの藻類に対して、増幅域を含むPCR産物を作成しDNA濃度を測定することで検量線を求め、抽出DNA中のDNA濃度はこの検量線により算出した。

環境因子として月平均入射光合成有光放射（平均PAR）、水温、溶存酸素（DO）、pH、懸濁物質（SS）、栄養塩類等の濃度を説明変数の候補とし、各藻類の挙動（濃度変化）を説明する多重回帰式をステップワイズ法によって求めた。

### (3) 結果と考察

#### 1) 各貯水池および湖沼の環境

水温はラオスの貯水池（NN）の28℃からタイの貯水池（HU）の30.7℃と、温帯域の夏季に相当する高い値を示した（表2）。pHは全水界において中性から弱アルカリ性、溶存酸素も比較的高い値を示したことから、藍藻の増殖には好適な環境であったと言える。しかしカンボジアのトンレサップ湖（TS）では雨期にSSが極度に増加し（>200 mg L<sup>-1</sup>）、藻類の光合成には不利な条件となった。

リン酸態リン（PO<sub>4</sub>-P）はどの水界でも低い値で推移し、すべての水界で0.01 mg L<sup>-1</sup>以下であった（表3）。一般に

表2 メコン流域の貯水池、湖沼における物理環境

水界	記号	水温 (°C)	pH	DO (mg L <sup>-1</sup> )	SS (mg L <sup>-1</sup> )	PAR (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
ナムグム	NN	28.0	8.0	7.9	1.9	332
ブンコンロン	BK	29.3	7.4	6.8	2.6	297
フェイロン	HU	30.7	8.2	8.2	7.8	338
ナムウン	NU	30.0	8.8	8.0	3.0	297
ノンハン	NH	29.4	9.1	7.8	1.2	320
ウボンラタナ	UB	28.6	8.2	7.1	3.4	313
ランパオ	LA	28.7	7.9	7.4	4.7	326
シリントーン	SI	29.3	7.7	7.3	2.2	307
トンレサップ	TS	29.4	7.3	8.3	163.3	308

表3 メコン流域の貯水池、湖沼における栄養塩濃度

水界記号	P04-P (μg L <sup>-1</sup> )	DTP (μg L <sup>-1</sup> )	TP (μg L <sup>-1</sup> )	DIN (mg L <sup>-1</sup> )	DTN (mg L <sup>-1</sup> )	TN (mg L <sup>-1</sup> )	DIC (mg L <sup>-1</sup> )
NN	0.5	2	3	0.020	0.109	0.206	8.62
BK	0.8	4	7	0.012	0.171	0.315	0.43
HU	2.5	9	41	0.028	0.372	0.774	7.81
NU	1.2	7	14	0.016	0.288	0.469	2.74
NH	0.7	4	7	0.009	0.213	0.313	4.23
UB	1.4	3	10	0.023	0.231	0.411	15.10
LA	3.8	6	19	0.058	0.306	0.467	5.05
SI	1.1	3	6	0.024	0.163	0.269	0.49
TS	7.4	20	69	0.119	0.351	1.104	7.49

貧栄養とされる  $TP < 0.01 \text{ mg L}^{-1}$  の水界がラオスの NN、またタイの 3 貯水池 (BK、NH、SI) であり、中栄養とされる  $0.01 \leq TP < 0.035 \text{ mg L}^{-1}$  の水界がタイの 3 貯水池 (NU、UB、LA)、また富栄養とされる  $TP \geq 0.035 \text{ mg L}^{-1}$  の水界がタイの HU とトンレサップ TS であった。TN は最も高濃度の TS で  $1.10 \text{ mg L}^{-1}$ 、最も低濃度の NN で  $0.21 \text{ mg L}^{-1}$  と TP に比べてその濃度の違いは小さかった。一方、DIC は最大  $8.6 \text{ mg L}^{-1}$  (NN)、最小  $0.43 \text{ mg L}^{-1}$  (BK) と水界による開きが大きかった。

## 2) 各貯水池および湖沼における藍藻の挙動

調査期間中の各水界における *Synechococcus* spp.、*M. aeruginosa* および *Dolichospermum* spp. の濃度変化を示す (図 25)。*Synechococcus* spp. の最低濃度は貯水池 SI (2012 年 8 月) の  $9.3 \times 10^3 \text{ copies mL}^{-1}$ 、最大はトンレサップ TS (2013

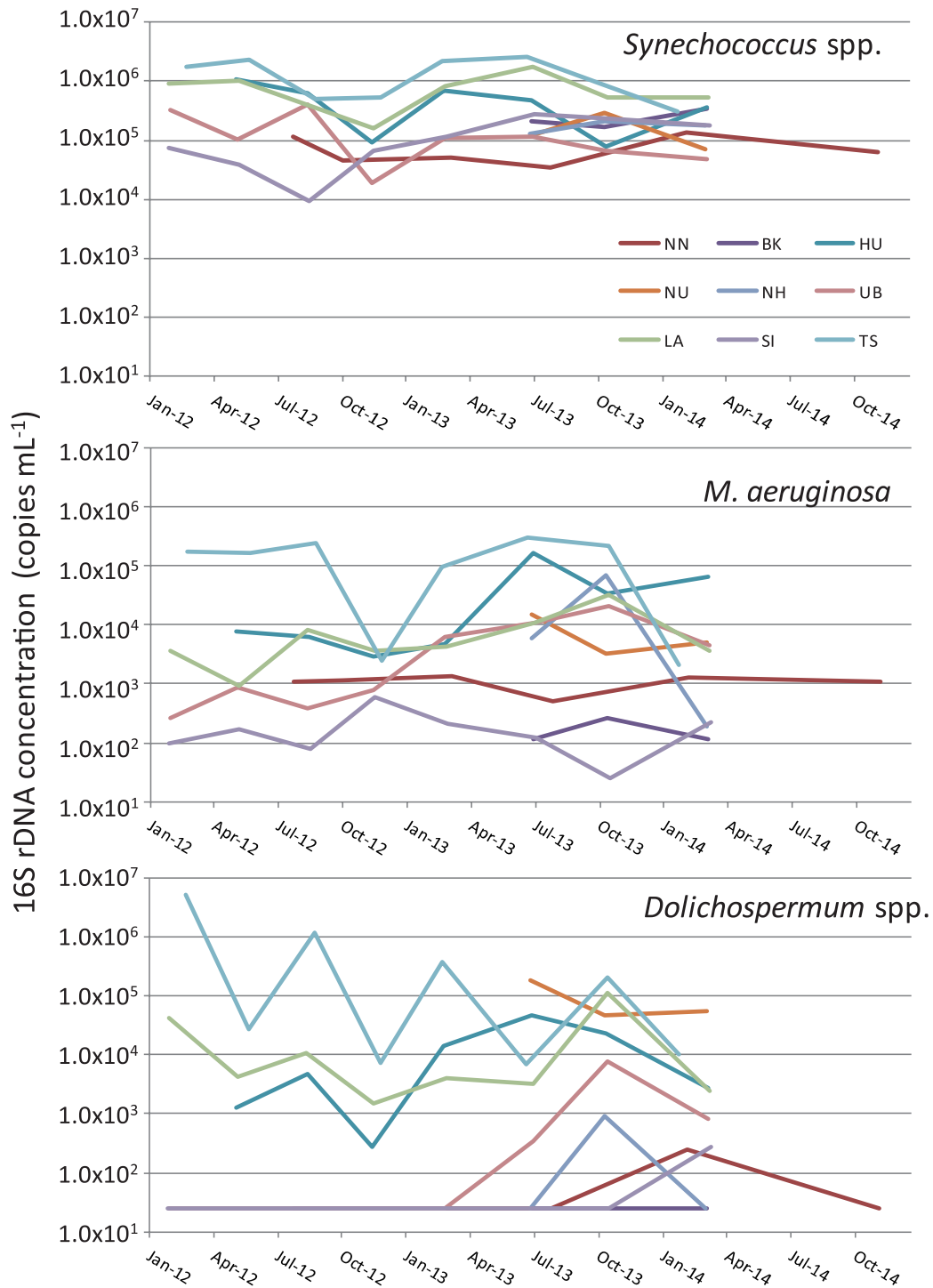


図 25 各貯水池および湖沼における藍藻類の濃度変化

年2月)の $2.7 \times 10^6$  copies mL<sup>-1</sup>であり、調査期間中は常にまたいずれの水界からも存在が確認された。*M. aeruginosa*はタイの1水界で検出されないことが一度あったが(2013年10月のSI)、他の水界また季節からは常に検出された。最大濃度は2013年6月のトンレサップTSにおいて観測されたが( $3.0 \times 10^5$  copies mL<sup>-1</sup>)、アオコの発生が目視により認められる濃度( $1.0 \times 10^6$  copies mL<sup>-1</sup>)には達しなかった。水界間で濃度に $10^3$ 倍以上の開きがあるとともに、不明瞭ではあるが季節的变化も認められた。*Dolichospermum* spp.はHU、LA、TSなど栄養度の高い水界では卓越したが、全体の40%をしめる22サンプルでは検出限界以下であった。最大値は2012年2月のTSで $5.2 \times 10^6$  copies mL<sup>-1</sup>となり、*M. aeruginosa*の10倍以上の高濃度を示した。事実、調査期間中に2回ほど目視により*Dolichospermum* spp.のアオコが観察されている(2012年2月と8月)。また本藻類の濃度には明瞭な季節性があり、雨季に高く乾季に低い傾向を示した。

### 3) 環境因子が藍藻類の挙動に及ぼす影響

藻類の増殖速度を左右する因子として重要なTPおよびTNを横軸にとって、*Synechococcus* spp.、*M. aeruginosa*および*Dolichospermum* spp.濃度との関係を検討した(図26)。TP、TN共にその濃度の増加に伴っていずれの藻類も増加した。グラフは両常用対数で示してあるが、*Synechococcus* sp.のTPに対する濃度増加の傾きは0.78と1より小さく、*Synechococcus* spp.はTP増加率より低い割合で増加した。一方、*M. aeruginosa*および*Dolichospermum* spp.の傾きはそれぞれ1.62と2.46となり、TP濃度の相加に伴い急激に増加することが示された(図26左)。TNについては、いずれの藻類も回帰直線の傾きは1より大きくなった(図26右)。*M. aeruginosa*と*Dolichospermum* spp.のTPを横軸とする回帰直線はTP=0.056 mg L<sup>-1</sup>で交わり、それよりTP濃度が増加し富栄養になると*M. aeruginosa*より*Dolichospermum* spp.が優占しやすい。*Synechococcus* spp.と*Dolichospermum* spp.のTP濃度に対する回帰直線の交点はTP=0.35 mg L<sup>-1</sup>であり、さらに過栄養な環境では*Dolichospermum* spp.が*Synechococcus* spp.濃度を上回ることが予想される。一方、*Synechococcus* spp.と*M. aeruginosa*の交点を求めると理論上TP=2.3 mg L<sup>-1</sup>となるが、*M. aeruginosa*が*Synechococcus* spp.の濃度を超えるほど富栄養化することは現実的ではない。

次に様々な環境因子を説明変数として藻類濃度の変化について回帰分析した結果を示す(表4)。ここではTP、TNに代わって増殖の際に藻類が実際に利用できる溶存態の栄養塩(PO<sub>4</sub>-PやDTP、DTNなど)を説明変数に採用した。まず*Synechococcus* spp.の濃度変化を説明する回帰モデルにはPO<sub>4</sub>-P、DTN、水深、またPO<sub>4</sub>-PとDTNの相互作用が説明変数に選択された。*M. aeruginosa*と*Dolichospermum* spp.には共通してDTPが非常に有意な説明変数として選択されている(p=0.0000)。また*M. aeruginosa*にはさらにDIC、DTN:DTP比、また季節が変数として選択されている。これはDICの著しく低い水界(BK、SI)において本藻類がほとんど検出されなかったことを反映している。*Dolichospermum* spp.の回帰モデルにはDTPに加えて水深、PAR、DTN:DTP比、また水深とPARの相互作用が選ばれている。水深の係数がマイナスであることから*Dolichospermum* spp.が水深の浅い水界で優占したことが分かる(特に

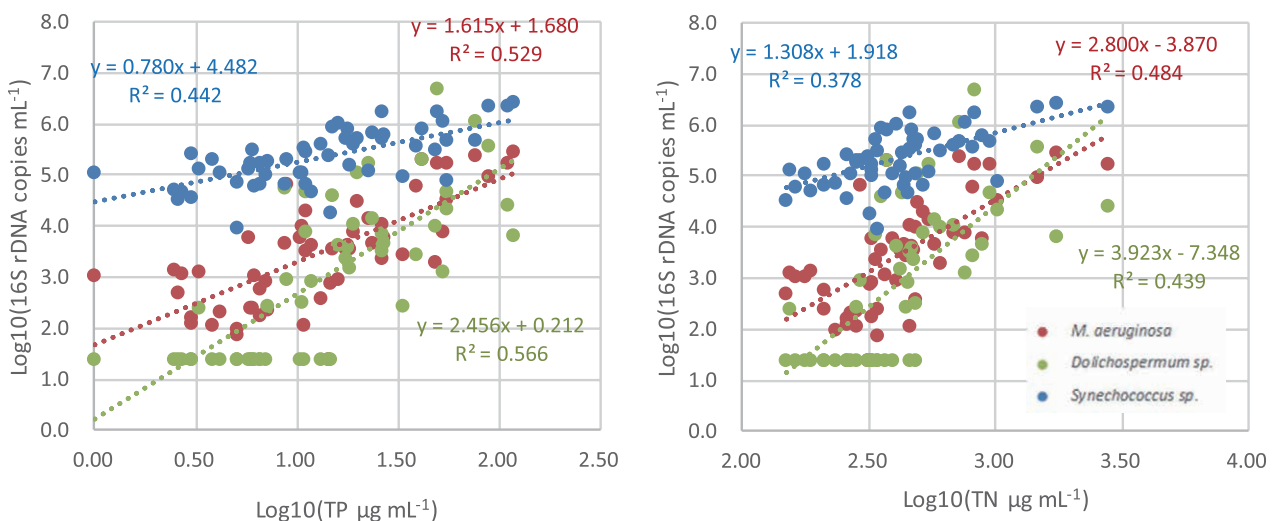


図26 TP(左)およびTN(右)濃度の変化に対する各藻類の濃度変化

青：*Synechococcus* spp.、赤：*Microcystis aeruginosa*、緑：*Dolichospermum* spp.

表 4 3つの藍藻類の濃度変化を説明する多重回帰式。係数の推定値とp値（カッコ内）を示す。

説明変数	<i>Synechococcus</i> spp	<i>M. aeruginosa</i>	<i>Dolichospermum</i> spp.
Log <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> -P)	1.150 (0.000)		
Log <sub>10</sub> (DTP)		1.922 (0.000)	4.681 (0.000)
Log <sub>10</sub> (DTN)	4.494 (0.002)		
Log <sub>10</sub> (DIC)		0.822 (0.000)	
DTN/DTP		0.009 (0.021)	0.026 (0.000)
Depth	-0.048 (0.029)		-0.841 (0.015)
PAR			-0.032 (0.028)
Season		0.833 (0.049)	
PO <sub>4</sub> -P:DTN	0.579 (0.005)		
Depth:PAR			0.003 (0.006)
df	49	49	48
R <sup>2</sup>	0.506	0.649	0.679

TS)。NP比（DTN:DTP）の係数がプラスであることから、DTPの増加に伴い *Dolichospermum* spp. の窒素固定が促進された可能性が示された。概して、メコン流域のダム貯水池と自然湖沼では、微細藻類である *Synechococcus* が可用性のリンと窒素によって、大型藻類である *Microcystis* が可用性リンとDICによって、また *Dolichospermum* については可用性リンとN:P比によってその濃度が決定されていると考えられる。

#### (4) まとめ

メコン川流域の調査水界は全リン（TP）濃度から見れば貧栄養湖から富栄養湖までに幅広い湖沼型に分類されるが、PO<sub>4</sub>-P濃度は最も高いTSでも0.007 mg L<sup>-1</sup>と低く抑えられることが示された。熱帯では水界に供給されたリンがプランクトンや微生物に素早く取り込まれ、PO<sub>4</sub>-Pとして存在する濃度は常に低く抑えられることが示された。このことから、温帯域のように冬から春に底泥に有機物が堆積し、夏から秋に分解して底泥の嫌気化を招き、湖水中にリン酸が放出されるという現象がメコン流域では起こりにくいと考えられる。またこの現象に由来するリン濃度の急激な増加と、それに伴うアオコの発生も起きにくい。一方、*Synechococcus* spp. はリンが低濃度の貧栄養水界でも1×10<sup>4</sup> copies mL<sup>-1</sup>程度は常時存在し、水界の一次生産を担い、漁業生産にいたる食物連鎖の起点として重要な役割を果たしていることが示唆された。今後、メコン川流域のダム貯水池での持続的な漁業を推進する上でも、これら人為的水界における *Synechococcus* spp. の存在量と生産性の動態や制限因子について更なる調査研究が必要である。アオコ原因藍藻の *M. aeruginosa* と *Dolichospermum* spp. については、いずれもTPの増加にともない急激に増加し、重回帰分析でも可用性リンの制限因子としての重要性が示された。特に *Dolichospermum* spp. のTP増加に対する増加率は大きく、メコン流域においてこれによるアオコの発生が今後一層懸念される。アオコが目視確認された2012年2月と8月には *Dolichospermum* spp.濃度は1.0×10<sup>6</sup> copies mL<sup>-1</sup>を超えている。同時期の水試料のTP濃度が0.05 mg L<sup>-1</sup>(2月)および0.076 mg L<sup>-1</sup>(8月)であったことから、これらの値を目安としてアオコ発生の危険をある程度予測できる可能性はある。メコン流域では（上述のように）夏季に底泥からの回帰によるリンが急増することはないが、水界外（集水域）から人間活動由来のリンが大量に流入することも考えられ、年間を通していつアオコが発生してもおかしくない状況にはある。このことから流域人口や土地利用に伴うリン負荷量の変化、また水界の富栄養化の兆候となる水質変化には十分な注意を払うとともに、アオコによる漁業被害を未然に防ぐ戦略的で迅速な流域管理が求められる。

## 2.2.3 魚類の回遊生態解明と生態系サービス

### (1) 目的と経緯

メコン川のダム開発による魚類を中心とする生物多様性への影響、また漁業を通じて得られる生態系サービスへの影響を予測するうえで、主要な淡水魚類の回遊生態を解明することが喫緊の課題である<sup>45,49)</sup>。本サブテーマでは、トレイリエルと呼ばれる体長15 cmほどの小型のコイ科魚類2種 (*Henicorhynchus siamensis* および *H. lobatus*) を対象に、その回遊生態の解明を試みた。2種を合わせた漁獲量がメコンの魚類の中では最大(全魚種の>12%)であることから経済的に極めて重要な水産資源であり、生態系サービスである<sup>50,51)</sup>。本種が回遊魚であることは、地元の漁師の言い伝えなどからわかっていたが、それを裏付ける科学的証拠、また詳しい回遊の実態についての知見はこれまで得られていない。

本研究では、耳石と呼ばれる骨組織に注目し、魚が生存中に河川水から耳石に取り込んだ微量元素を分析するという手法によって本種の回遊行動を調べた。そして、既に支流に建設されたダムの回遊行動への影響を評価し、同時にメコン川本流に建設が進められるラオス南部のドンサホンダムの潜在的影響について予測した。

### (2) 方法

メコン川流域の6つの地域(タイ北部メコン本流、ソクラム川、ガム川、ムン川、トンレサップ湖、メコン下流本流、図27)から2007-2010年に採取した計200尾のトレイリエルを分析の対象とした。メコン下流本流の調査地点

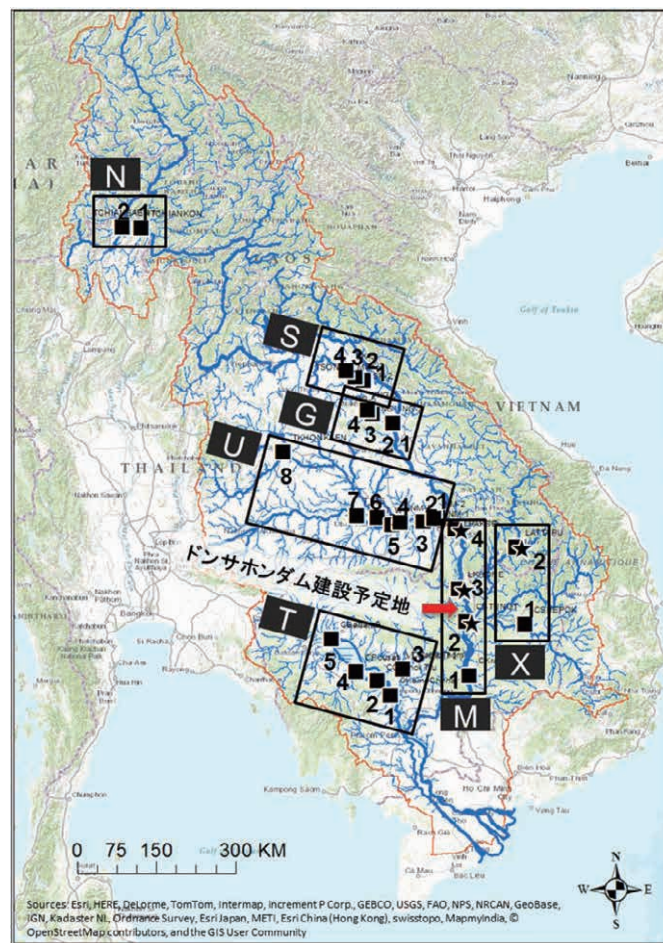


図27 メコン川のトレイリエル採集地域(四角枠)と地点(■: *Henicorhynchus siamensis* ★: *H. lobatus*)  
N=タイ北部、S=ソクラム川、G=ガム川、U=ムン川、X=セコン川、T=トンレサップ湖、M=メコン川本流。ドンサホンダム建設予定地を赤の矢印で示す。



は、ラオスが現在建設を進めるドンサホンダムの上流と下流に位置しており、ダムサイトを通過して *H. lobatus* が回遊しているか否かについて検証を行った。トレイリエルの耳石についてはレーザーアブレーション ICP 質量分析計（レーザーアブレーション New Wave Research UP-213、質量分析計 Agilent 7500c）を用い各種の元素分析を行い、魚類採集地点から得られた河川水についても同様に ICP 質量分析計で元素濃度を定量した。耳石サンプルについては 1) 耳石表面と 2) 耳石切断面の核から外縁までの成長軸に沿ったプロファイルの 2 種類の分析を行った。定量した陽イオンは、 $^{23}\text{Na}$ 、 $^{24}\text{Mg}$ 、 $^{44}\text{Ca}$ 、 $^{55}\text{Mn}$ 、 $^{63}\text{Cu}$ 、 $^{66}\text{Zn}$ 、 $^{88}\text{Sr}$ 、 $^{138}\text{Ba}$  である。内部標準に耳石の主成分である  $^{44}\text{Ca}$  を用い、外部標準として NIST612 ガラス標準試料を用いた。

河川水と耳石表面の元素濃度の関係は一次回帰分析によって求め、採集地域間（上記の 6 地域）の元素濃度の違いについては線形判別関数分析によって評価した。判別の精度評価は jackknife 法によった。すべての統計解析の有意水準は 5 % に設定した。

続いて、過去から現在、さらに未来のメコン流域のダムによる分断状況を GIS によって解析した。高解像度の標高データから作成されたメコン川小流域ポリゴンデータに、メコン川委員会（Mekong River Commission）によるダムデータベース（MRC Basin Development Programme – BDP2 Hydropower Project Database, February 2009）を空間結合した。このデータベースには合計 135 基の水力発電ダムが登録されているが、そのうち 35 基が既存のダム、残り 100 基が計画中のダムである。35 基のダムが現在までにどのように流域を分断したか 20 年間隔で概観し、100 基の新たにつくられるダムが河川の連続性をさらに低下させる様子を予想した。

### (3) 結果と考察

#### 1) 回遊履歴のマーカとしての微量元素

耳石から定量した陽イオンは、Cu 以外すべて定量限界を超えてその濃度を測定できた。耳石表面から測定した元素のうち、Na、Zn、S、Ba（これらの Ca との比）について採集地点の河川水における濃度との間に有意な正の傾きを持つ一次回帰式が得られた。特に Sr に関しては、河川水 – 耳石表面の正の相関が最も高く（ $R^2=0.389$ ）、この元素（Sr）が河川中の濃度を最もよく反映して魚の耳石表面に取り込まれていることが示された。つまり Sr が回遊経路を推定する上で最も有力なマーカーとなる。また河川水 – 耳石表面との関係は Sr を含め、すべての元素において 2 種（*H. siamensis* と *H. lobatus*）の間で有意な違いは認められなかった。

河川水中の Mg、Mn、Zn、Sr、Ba（対 Ca 比）は河川間（地域間）で有意な違いがあり、これら 5 元素を用いた線形判別関数からは、メコン本流下流で 100 %、ムン川で 98 %、ガム川で 90 % など、非常に高い正答率が得られた。一方、耳石表面の元素では Mg、Mn、Sr、Ba の 4 元素のみが地域間で異なり、これらの元素を変数とした線形判別関数はガム川の 81 % が最大で、ムン川（71 %）、トンレサップ湖（64 %）と正答率でみる判別能力はやや劣った。つまり耳石の元素情報からトレイリエルの採集河川を推定することは、河川水の元素から採水地域を判別するほど精度高く行えないということである。耳石表面の元素による線形判別関数のうち、第 1 判別関数（LDF1）と第 2 判別関数（LDF2）は以下のように求められた。

$$\text{LDF1} = -0.065\text{Mg} - 0.167\text{Mn} + 1.327\text{Sr} - 0.297\text{Ba}$$

$$\text{LDF2} = 0.055\text{Mg} + 0.813\text{Mn} + 0.188\text{Sr} + 0.689\text{Ba}$$

これより、耳石に蓄積した微量元素の地域間の違いは Sr で最も顕著に表れ、次いで Mn また Ba の影響力の大きいことが分かる。

#### 2) トレイリエル (*H. siamensis*) の回遊と既存ダムによる影響

採集したトレイリエル (*H. siamensis*) について、耳石に蓄積された Sr と Ba の濃度変化プロファイルを調べると、以下のことが分かった（図 28）。

- a. それぞれの地域内では、ほぼすべての個体でプロファイルの形状が似ており、これらの個体が同じ環境（場所）で誕生し、群れを形成して同じ経路を回遊した可能性が高いこと。
- b. しかし 6 地域間では、回遊の経路と規模が大きく異なること。

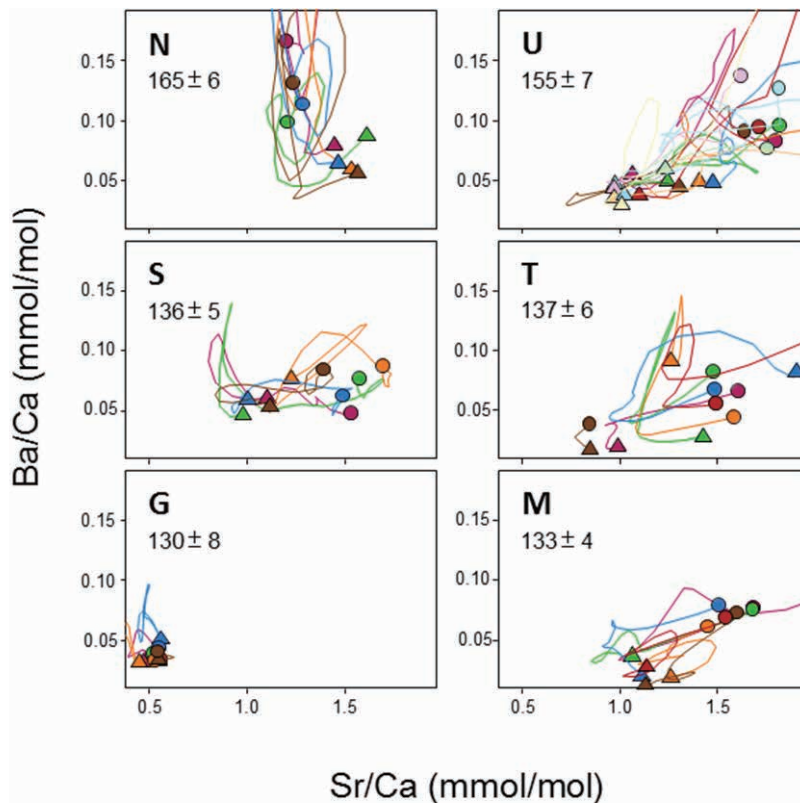


図 28 6 地域で得られたトレイリエル *H. siamensis* 耳石の Sr-Ba プロファイル  
 ▲：耳石核，○：耳石外縁。線の色は個体の違いを表す。各パネル中の数字 (165±6 など) は、個体の平均体長±標準偏差 (mm) を示す。地域記号は図 27 を参照のこと。

c. 中でもガム川 (G) の魚は、耳石中の Sr と Ba の濃度変化がほとんどなく、グラフの狭い範囲内でプロファイルが完結していること。そして G 以外の地域のプロファイルとは Sr、Ba のレンジにおいて重複しないこと。

このガム川という流れわずか 100 km ほどの支流には、既に灌漑用のダムが 5 基も建設されており、河川は著しく分断されている。これら障害物によりトレイリエルの回遊が大きく制限されていること、そして恐らくガム川からメコン本流への回遊はなく、生涯をこの小さな支流で終えていることが 3 つめの結果の意味することである。

### 3) トレイリエル (*H. lobatus*) の回遊と建設予定ダムによる影響予測

次にメコン川本流ダムの一つとなるドンサホンダムの建設予定地周辺で大量に漁獲されるもう 1 種のトレイリエル *H. lobatus* の回遊生態とダム開発の影響についてデータを示し考察を行う。メコン川本流 (図 27 の M) の魚類採集地点は、このダム予定地を中心に約 200 km 区間に 3 地点ある (下流 1 と上流 2 地点、図 29)。これらの地点で採取された本種の Sr-Ba プロファイルから以下のことが示された。

- a. 3 地点のプロファイルが互いに酷似したこと。
- b. 特に魚が誕生した場所の Sr-Ba の値に地点間で有意な違いがないこと (グラフ中の ▲ 印; Pillai's trace=0.190,  $F_{4,28}=0.733, p>0.05$ )。
- c. しかし死んだ場所 (つまり漁師に漁獲された場所) の Sr-Ba 値は、それぞれの地点の水質を反映して異なること (グラフ中の ● 印; Pillai's trace=0.811,  $F_{4,28}=4.779, p=0.005$ )。

以上の結果は、これら 3 地点で捕獲されたトレイリエルが、同じ場所で誕生 (孵化) し、その後、ダム建設予定地を通過して上流 (または下流) に分散していることを示唆する。本種の遺伝的多様性を調べた先行研究によると、上流に向かうにつれて本種の遺伝的多様度は増しており、これは下流から上流へ遡って分散回遊する可能性の高いことを示している<sup>2)</sup>。これらの事実から、ドンサホンダムはその完成後に本種の回遊経路を遮断し、個体群に甚大な影響を及ぼすことが予想される。他の回遊魚への影響も合わせて考えると、この地域の漁業また経済を揺るがしかねないダム開発と

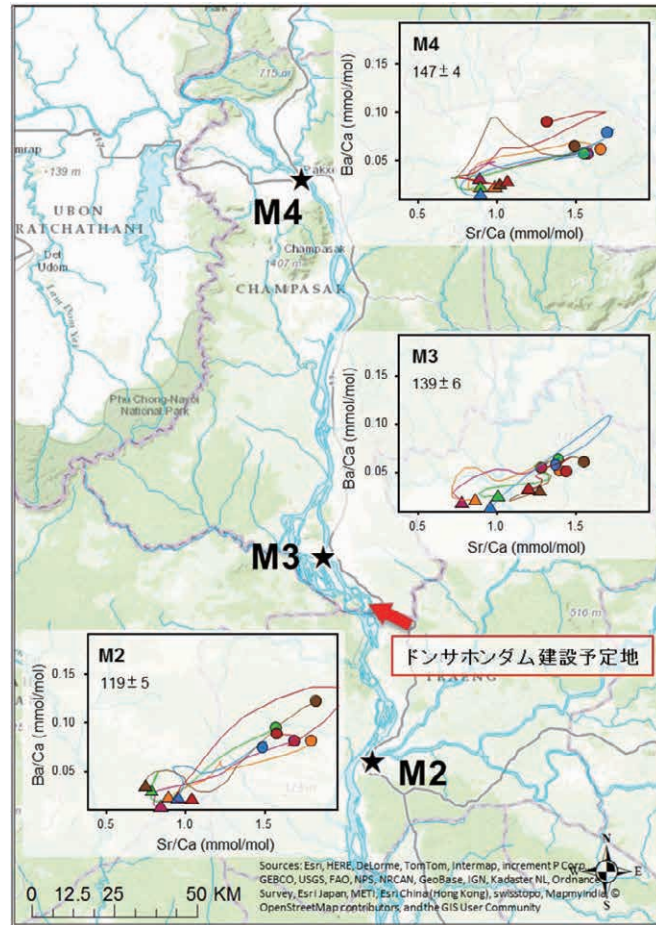


図 29 ドンサホンダム建設予定周辺から採取した *H. lobatus* 耳石の Sr-Ba プロファイル

なることは避けられない。

#### 4) メコン流域のダムによる分断化の履歴と将来

メコン川流域には 2009 年時点で既に 35 基の発電用の大型ダムが建設され、今後さらに約 100 基のダムが計画されている。多くはメコン川左岸、ラオスの山岳地帯に計画されている (図 30A)。現時点でメコン本流のダムは最上流の中国領土内にしか建設されていない。しかし下流ラオス、タイ、カンボジアに 11 の発電ダム開発のプロジェクトが浮上し、すでに 2 つは着工されている。メコン流域のダム開発は、1964 年のタイのウボンラタナ (ウボンラット) ダムの建設が最初となる (図 30B)。その後、ラオス、ビエンチャン近郊にナムグムダムが建設され (1971、図 30C)、90 年代にはタイ最大のメコン支流、ムン川下流にパクムダムが造られる (図 30D)。上記 2 基のダム (サヤブリダムとドンサホンダム) はいずれもラオス政府によって建設が正式に承認され、現在建設が進められている。2020 年までに、本流最下流にカンボジアのサンボ - ダムが完成すると、メコン流域の大部分が海から分断されることとなる (図 30E)。結果としてメコン川流域は下流から上流に向かって段階的に流域分断の度合いを増し、回遊魚の移動が次第に困難になることが予想される (図 30F)。

回遊魚の中でも、パンガシウス科に属するナマズの仲間などは日本にも輸出される高級魚として知られるが、その生活史の中で長距離の移動を行い、種によっては海からラオスやタイ北部にまで遡上し産卵するものも報じられている<sup>33)</sup>。長距離回遊を行う魚種とそれに支えられたメコンの漁業とこの地域の食の安全保障に対する本流ダムの影響が憂慮される。

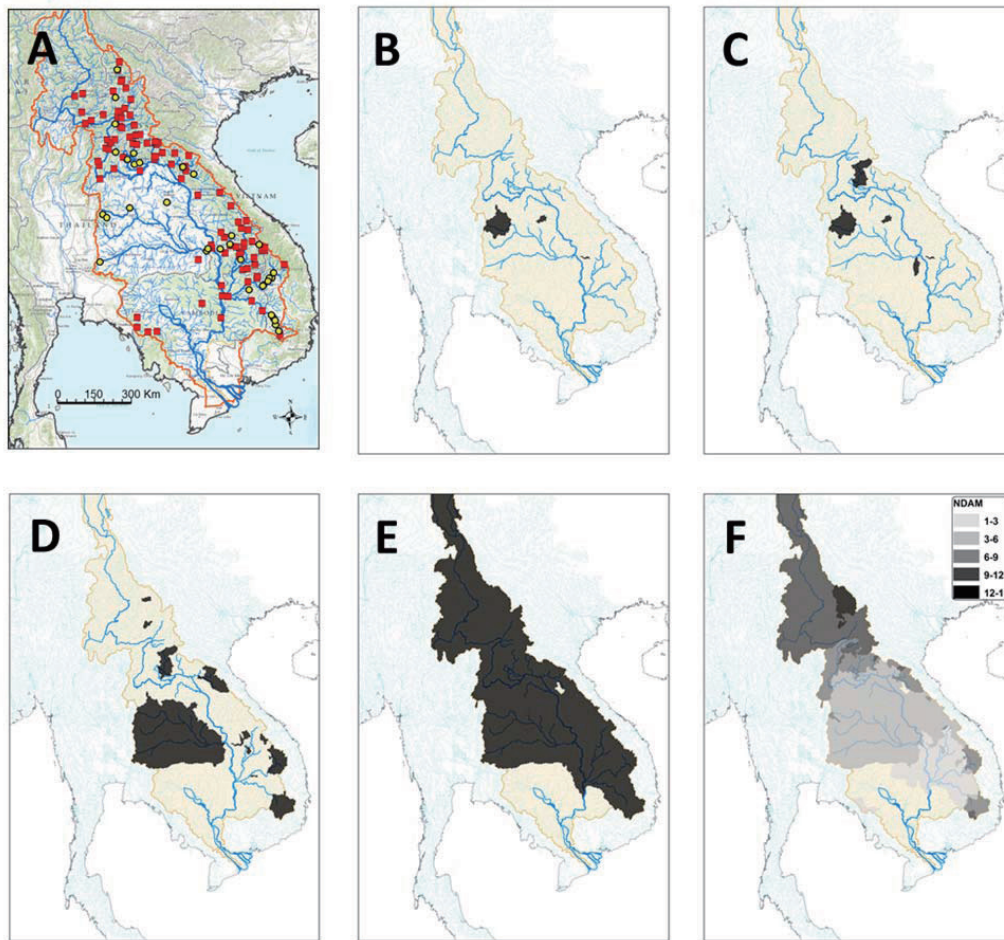


図 30 メコン川流域のダムとそれによる流域分断状況の変遷  
 A) メコンに既存の水力発電ダム (●) と計画中的のダム (■)、B) 1960 年代の流域分断状況、  
 C) 1980 年代の分断状況、D) 2000 年代の分断状況、E) 2020 年代の分断状況、F) 2020 年  
 代までに下流に建設されるダム数。

## 2.2.4 広域スケールでの戦略的な自然再生評価

### 2.2.4.1 メタ生態系モデルによるダム建設の影響評価

#### (1) はじめに

ダム建設後に形成される貯水池での栽培漁業を通して失われた漁業生産を補償できるとする楽観的な見方がある。しかし、ダム建設でどれだけ野生魚の多様性とバイオマスが失われるかは不明である。ダム建設前に、失われる魚類の多様性やバイオマスを事前に見積もり、同時にダム建設サイトや施工法を操作・工夫することでこれら損失・損益の軽減につながれば、自然共生、生態系サービスの持続的利用の上でたいへん有意義である。生態系モデルを用いたコンピュータシミュレーションはこのような局面で有効となる。

単純な生態系モデルとそれによるコンピュータシミュレーション<sup>54)</sup>からは、メコン川で計画されたすべてのダムが建設された場合、魚類の多様性とバイオマスに壊滅的な打撃が及ぼされることが指摘されている。複雑なモデルが必ずしも優れていることはないが<sup>55)</sup>、過度に単純化されたモデルは時に非現実で誤った結論を導く<sup>56)</sup>。その意味で、ある程度メコン川の特徴を考慮し、現実味のあるモデルを構築することは欠かせない。

本研究では、雨季と乾季のモンスーンの影響を強く受ける河川流域を想定し、その流域を広く回遊する魚類群集の動態を再現する生態系モデルを構築した。さらに、そのモデルの中でダムを建設するというシミュレーションを行い、ダム建設が魚類の多様性に及ぼすリスクを見積もった。バイオマスに対する影響評価も行ったが紙面の都合上、ここでは割愛する。

## (2) 方法

1つの河川が複数の独立した生態系の連鎖によって構成されると仮定するメタ生態系モデルを開発し、河川生態系の物質循環と魚類の移動を再現した(図31)。河川長は500kmとし、全流程を10個の生態系に分け、最下流の生態系では海と川との魚類の出入りを可能にした。

個々の生態系の構成要素は栄養塩、デトリタス、動物プランクトン、植物プランクトン、水生植物、無脊椎動物(水生昆虫など)、魚類とした。魚類は食性に応じて魚食、草食、腐肉食、リター食、動物プランクトン食、植物プランクトン食、無脊椎動物食、雑食も含めて12の食性タイプに分類した。各食性タイプには、初期状態で30種の魚類を割り当て、魚種間の捕食-被食関係はニッチモデル<sup>57)</sup>により決定した。個々の生態系に必要な栄養塩は、雨季に浸水する氾濫原からリターとして供給され、その量は乾季には雨季の1%に減少すると仮定。上流から流下するリターや栄養塩も生物に利用される。植物、植物プランクトンは水中の栄養塩を吸収して増殖し、動物プランクトン、無脊椎動物、魚類の一部によって摂食される。さらに他の魚類がこれら消費者を捕食して成長する。

生態系内の物質循環はHolling III型の機能反応を採用して表現した。動物は食性毎に異なった同化効率を持たせ、捕食によって取り入れた物質のうち成長と代謝に利用できない物質は糞として排出する。動物の糞や動植物の遺骸は、デトリタス食の動物に利用されるか、一定期間を経て分解されて栄養塩に回帰し、再び植物に吸収され生態系内を循環する。栄養塩、動物の糞、動植物の遺骸、プランクトンなどは上流から下流(の生態系)へと移動する。その移動量は流速(下流ほど遅くなるように設定)に比例する。遊泳能力の高い魚は流れに逆らって上流へも、下流へも移動できるものとした。繁殖に伴う季節移動を行う魚類(回遊魚)とそれをしない魚類(非回遊魚)とに分けるが、季節移動しない魚類でも生態系内の個体数が一定数を超えると、隣接する生態系に分散できるとした。また回遊魚は、雨季に産卵場所(生態系)で産卵後、乾季の生息場所へと移動。繁殖期が近づくと再び産卵場所へと回帰するものとした。

このような河川のメタ生態系に仮想的なダムを建設することとした。建設サイトは河川生態系が中央部で分断される地点、つまり10個並んだサブ生態系(パッチ)の5番目と6番目の間とした(図31)。ダム建設後、魚類を含む生物と物質の移動が阻害され、ダム湖が誕生(流水環境から止水環境への変化)、流量変化が平滑化され、氾濫原も縮小するなど、さまざまな変化が生じる。その際、回遊魚への影響の出方として産卵回遊を阻害されても死亡率に変化がない場合と、回遊を阻害されると絶滅する場合とに分け、シミュレーションを行った。本報告書では前者についての結果を中心に紹介する。シミュレーションの回数は120回とし、シミュレーション開始後、(モデル内の時間で)15年後にダムを建設し、さらに5年経過後の魚類の種多様性の変化についてダムを建設しないコントロールと比較した(Mann-WhitneyのU検定)。

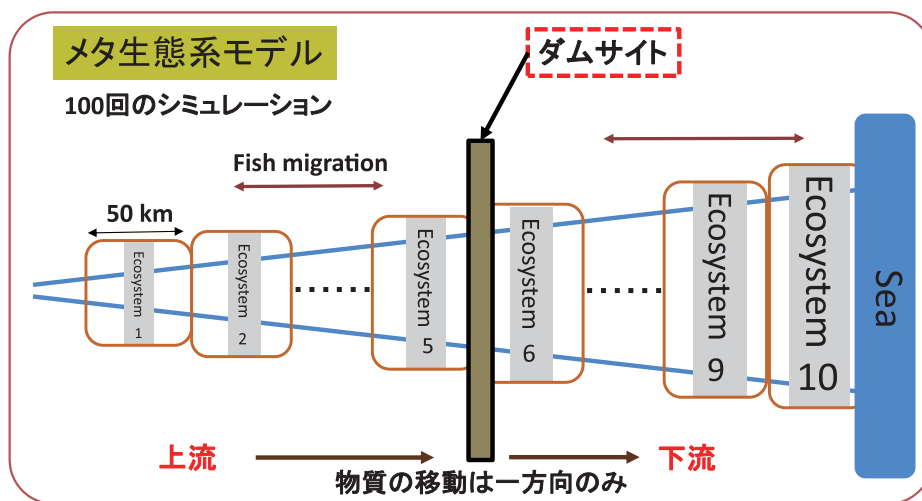


図31 河川のメタ生態系モデル

### (3) 結果と考察

最初に、モデルの妥当性を検討するために、シミュレーションの結果と実際のメコン川生態系における魚類の多様性のパターンとの比較を行った。

メコン川では上流から下流に向かって魚類の種多様性が増加することが知られている(図 32 左)。本研究のモデルで、シミュレーション開始後(モデル時間で)15年経過した時点の魚類の種多様性は、同様に上流から下流域に向かって増加し、現実のパターン<sup>58)</sup>を再現することができた(図 32 右)。

また、メコン川では回遊魚の多くは上流に遡上して産卵することが知られている<sup>59)</sup>。モデルでは、シミュレーション開始後15年経過時に平均759.3種(SD=134.6種)の魚類が生存していた。そのうちの44.3種(SD=9.82種)が回遊魚であったが、その69.3%にあたる30.7種(SD=6.68種)が上流へ遡上して産卵を行った。このことも本生態系モデルが、遡上して産卵する魚種が多いメコンの淡水魚の特徴を再現し、本質的で現実性を持つモデルであることを証明している。

ダム建設から5年経過後の魚種の生存率、すなわち生き残った魚類の種数をダム建設直前の種数で割った値について回遊魚と非回遊魚に分けて、その流程分布を示す(図 33)。これによると、非回遊魚ではダム建設後に魚種の多様性がダムサイトからそのはるか上流にかけて有意に減少していることが分かる。それに対して回遊魚では、ダム上流で多様性が減少する傾向は見られたが、その差はほとんど有意ではない。つまりダムによって移動を阻害される回遊魚よりも、そもそも回遊しない魚の方が生息環境の分断に伴う負の影響をより強く受けることが示唆された。

上記結果はダムで移動を阻害された魚類が死亡しないシナリオに基づくものであるが、ダムによる分断後に即絶滅するシナリオにおいてもほぼ同様の結果が得られ、両者間で有意な違いが認められなかった。恐らく絶滅してもしなくても、移動を阻害された魚類がももいた生態系から姿を消すことに変わりがないという理由からであると考えられる。

ダムが建設され魚類の回遊が阻害されると非回遊魚の種数が減少するのはどのようなメカニズムで説明できるのか。ダム建設前、回遊魚は季節ごとにパッチ間を自由に移動していた。このことは各々の生態系(パッチ)に生息する非回遊魚にとって、突然侵入してくる(あるいはいなくなる)生物がいるという意味で攪乱要因の一つとして作用する可能性がある。生態系が回遊魚の存在によって常に攪乱を受け続けることから、非回遊魚の種数は安定せず、多様性が増加しにくい状況がつけられる。ダム建設後、この攪乱要因が失われて環境が安定化する過程で非回遊魚の種数が増える(結果を割愛したがバイオマスもダム建設後に増加している)。しかしここで注意が必要なのは、このシミュレーション結果があくまでダムによって魚類の移動がなくなる以外、何も環境変化が起きないという仮定が置かれていること

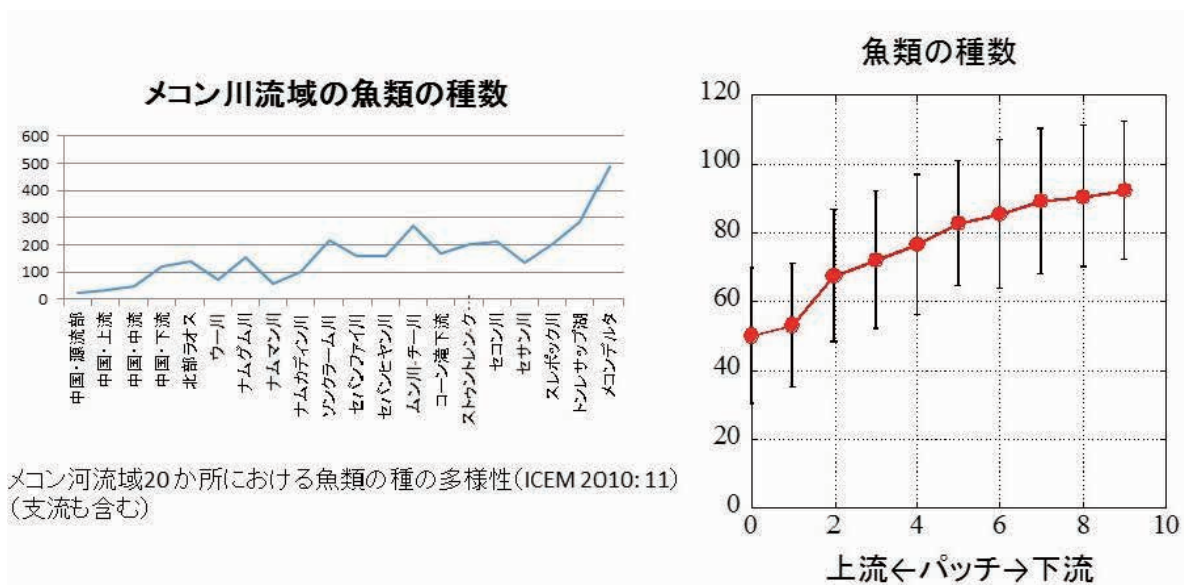


図 32 流路に沿った魚類の多様性勾配

メコン川の流程に沿った魚類種数分布(左)とシミュレーション結果(右)の比較。エラーバーは1SD

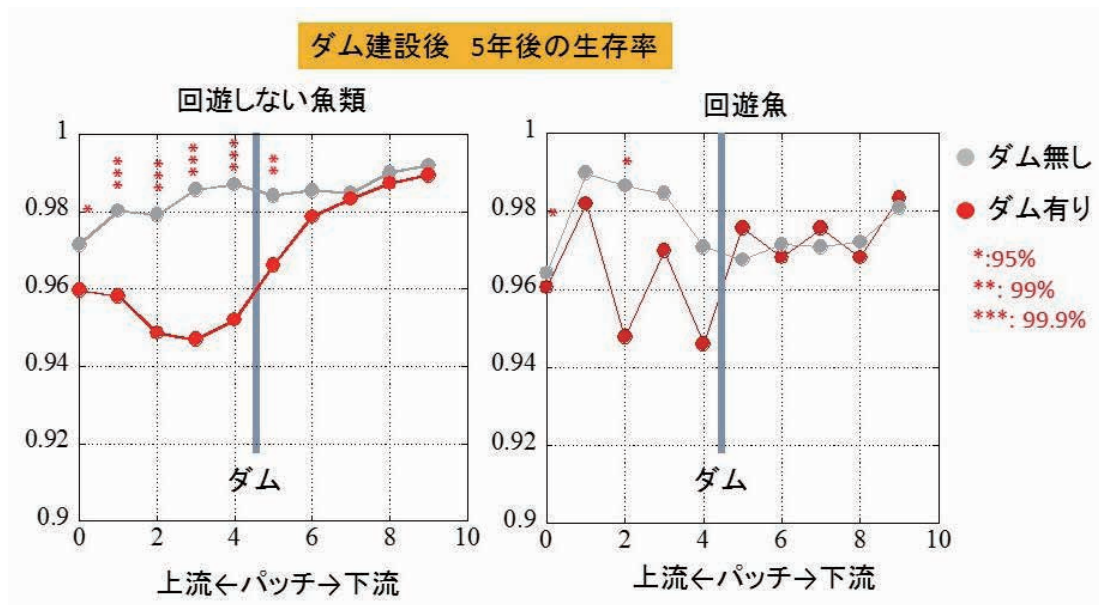


図 33 ダム建設後 5年経過後の魚種の生存率（回遊しない魚類と回遊する魚類の比較）  
赤点はダムを建設した場合、グレーの点はダムを建設しなかった場合（コントロール）。

である。例えばダム貯水池という広大な止水環境が出現することを考慮すると、魚類の種数やバイオマスは確実に影響を受けるであろうが、そのような効果は本研究では無視している。

メコン川生態系では、強いモンスーンの影響を受けて明瞭な雨季と乾季の気象の変化を毎年繰り返す。またそれによって時としてカストロフィックな水文学的な変化（大洪水など）も受ける場合がある。それはこの川に生息する魚類をはじめあらゆる生物にとっては大規模な攪乱ともいえる。さらに本研究が明らかにしたように、回遊魚の季節移動も非回遊魚にとっては攪乱に等しい効果を持つ。つまり、非回遊魚にとっての回遊魚は、ある意味で大量の侵入生物、あるいは逆に在来種の地域的大量絶滅に等しいからである。これらいくつもの攪乱にさらされるメコン川生態系は非常に不安定である。その中で現実には1度しかない（繰り返しが無い）ダム建設という生態系操作の影響を推定することは非常に困難である。ダム建設に伴うコストは大きめに想定すること、モニタリングを継続し多様性やバイオマス低下の兆候が確認された時点で、何らかの対策がとれるような順応的な管理体制を敷くことがメコン川流域では望まれる。

#### 2.2.4.2 NICE モデルによるダム開発の影響評価

##### (1) 研究の背景と目的

水循環及び生態系機能に関するモデルとしては概念型や物理型、集中型や分布型など様々なモデルが考えられるが、そのように細分化する以前に不可欠なことはモデル要素間及び全体として収支が取れている（保存則が成立する）ということである。これまでに開発してきたプロセスベースの陸域統合型水文生態系モデル NICE（National Integrated Catchment-based Eco-hydrology）<sup>60,61）</sup> は大気・森林・農地・都市・河川・湖沼・地下水・海域等の様々な生態系から構成され、地上観測・GIS データ・衛星データなどに基づく環境資源データベースとのインターフェイスを有している。このため NICE を用いて水・熱・物質循環の変化に伴う陸域での生態系機能の変化を評価・予測することが可能である（図 34）。このように、NICE は水・物質循環、都市活動、農業生産、及び植生遷移に関する複雑なサブシステムを統合し、これまで国内では北海道釧路川流域、利根川全流域を含む関東平野、また国外では中国長江・黄河流域等の地域スケールを対象にして UTM（ユニバーサル横メルカトル図法）やアルベルス投影により平面直角座標系のもとで適用してきた。しかし対象領域のスケール増大とともに地球曲率や投影に伴う歪みが増加し、またそれにより投影図の隅や極地での誤差が増大するために全球スケールへの適用には制約が多かった。この欠点を解消するために、新たに NICE の中で特に水平方向輸送と関連するサブモデルに対して地図係数を適用し、不等間隔格子と組み合わせることによって全球スケールへのアップスケーリングが可能ないようにモデルの再構築を行った。次にこれをベースにして、メコン川全流域へダウ

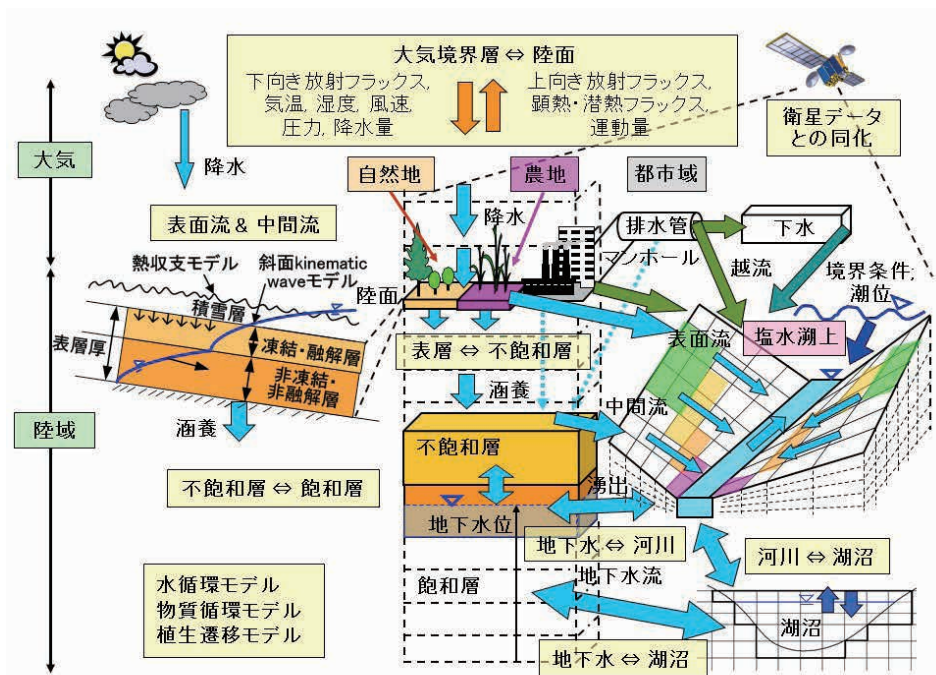


図 34 陸域統合型水生態系モデル NICE

ンスケーリングを行うことによって高解像度のシミュレーションを行った。

それに先立ち、メコン川全流域を対象にして本研究プロジェクトで取得した現地観測データ、また水・物質循環に関する既存データを収集し、地理情報システム (ArcGIS v10.1) を用いたデータベース化を行った。標高には Global Digital Elevation Model (DEM; GTOPO30)<sup>62)</sup>、土地利用には Global Land Cover 2000 (GLC2000)<sup>63)</sup>、土壌には Harmonized World Soil Database (HWSD)<sup>64)</sup>、植生には GLDAS Vegetation Class<sup>65)</sup>、河道には HYDRO1K<sup>66)</sup>、湖沼や湿原には Global Lakes and Wetlands Database (GLWD)<sup>67)</sup>、地質には Global Lithological Map Dataset (GLiM)<sup>68)</sup> を用い、現地観測データとの整合性を確認した。

## (2) 結果と考察

図 35 に計算対象エリアの標高・土地利用・土壌、及びメコン川本流に沿った河床標高図を示す。この図より、計算用の 10 km メッシュ標高は、河口から 1600 km (Vientiane 付近) までは既存の観測値<sup>69)</sup> に基づく河道に沿った標高を正確に再現していることがわかる。また、データ解析の結果、メコン川支流のトンレサップ川は本流に比べて勾配が緩く、上下流の水利条件に依存するダイナミック・フロー (河川擾乱が下流から上流に向かっても伝わる) になる可能性が示唆され、毎年の洪水期に本河川がメコン川合流点からトンレサップ湖へと逆流する現象を再現している。図 36 は GRDC データ<sup>70)</sup> によるメコン川本流における河川流量のトレンド解析を示す。同図より、直線回帰式の傾きが負であることから、この 50 年間程度で全体的に流量は減少傾向であることが分かり (図 36 右で赤いバーで表示された地点)、周辺域での土地利用変化及びダム建設に伴う影響によるものと考えられる。

上記データを用いてメコン川全流域を対象にシミュレーションを行うとともに、その結果のキャリブレーションを通してモデルの高度化を行った。図 37 は対象領域における地下水位分布のシミュレーションによる計算結果を示す。入力データの 1 つである標高データのメッシュサイズを 1 度から 10 km に細かくし解像度を上げることで、地下水位の精度が向上することがわかる。特に、ダウンスケーリングによって、比較的地下水位が浅く洪水期 (8 ~ 10 月) には冠水するメコンデルタを含む下流域では、季節変化に伴い複雑な水循環が生じている可能性が示唆される。次に、メコン川本流のダム建設に伴う下流域での流量の変化についてシミュレーションによる予測結果を示す (図 38 上)。Pakse 観測地点での GRDC の観測データと計算結果は比較的良く一致し、夏季には流量が  $25,000 \sim 30,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  に達する。増加傾向にあるメコン川流域国の電力需要を満たすためメコン川流域には数多くのダム建設が計画されており、メコン



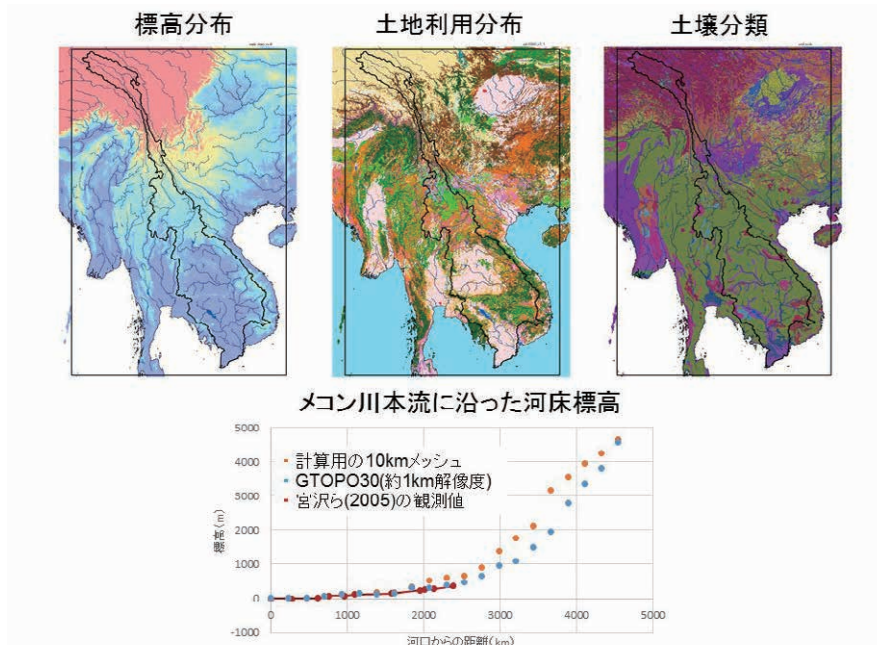
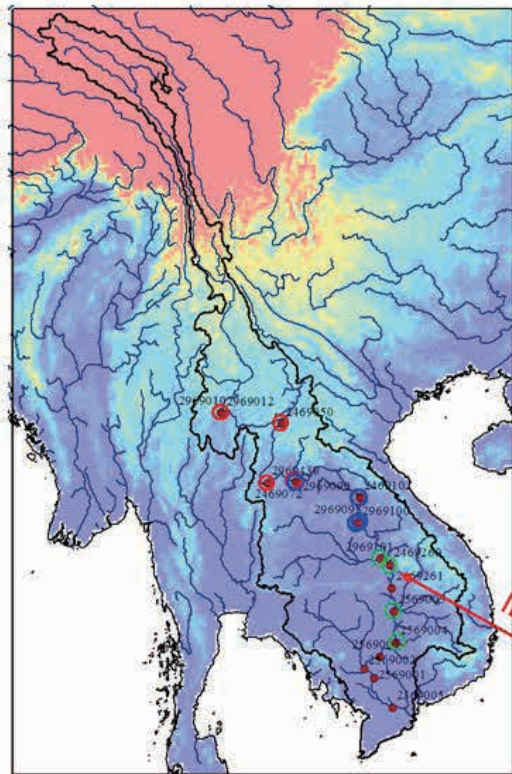


図 35 計算対象エリアの標高、土地利用、土壌分布図

標高分布及び流量観測地点(GRDC)



流量時系列

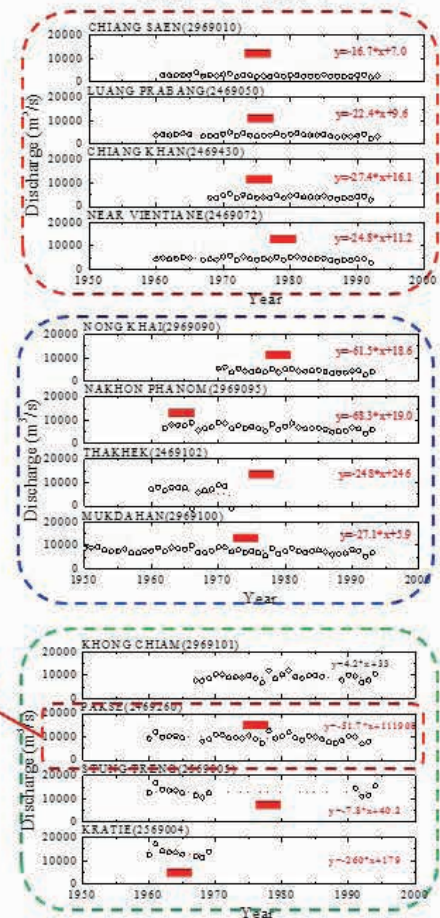


図 36 メコン川本流における河川流量のトレンド解析

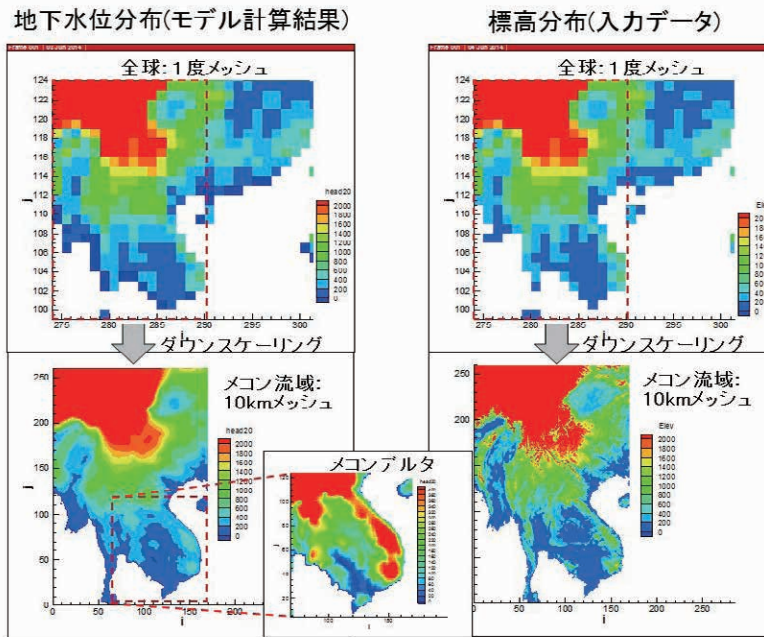


図 37 地下水位分布の計算結果

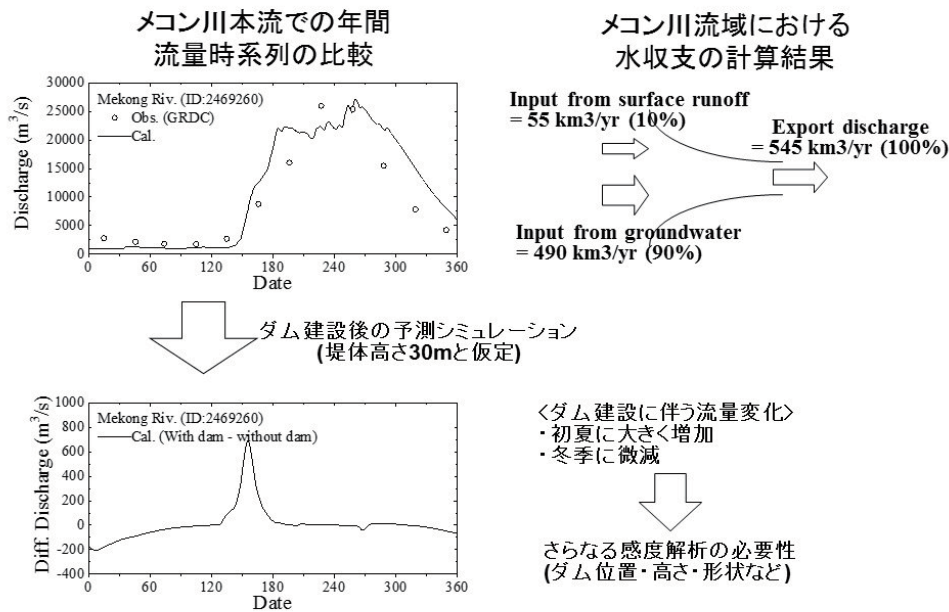


図 38 ダム建設に伴う下流域での流量予測シミュレーション結果

川本流の下流域にも大規模なダムが計画されている<sup>71)</sup>。その多くは流し込み式ダム (Run-of-River) であり堤体の高さ・幅・貯水池の面積は様々であるが、高さに関しては概ね 30～60 m の範囲にある。ここでは、Pakse 観測地点の下流に計画中の Latsua ダムの堤高が 30 m であると仮定し、NICE を用いたダム建設前後の流量変化を予測するシミュレーションを行った (図 38 下)。その結果、ダム建設によって、渇水期から洪水期に移行する初夏に流量が一時的に大きく増加するが、流量の少ない乾季 (特に 1～2 月) にはダム建設後に流量がわずかに減少することが予想された (注: 縦軸は流量の変化量である)。

今後、より多くの観測データを用いたキャリブレーションや感度解析を行うことによってモデルの精度をさらに高める必要がある。また計画されたダムの諸元や運用についての詳細なデータを収集し、モデルに反映させることでダム建設に伴う下流域での水・物質循環の変化をさらに詳細に解析することも必要となるであろう。

## 2.2.4.3 マングローブ湿地の自然再生に関する適地選定および戦略的アセスメント

### (1) 背景と目的

多様かつ豊かな生態系サービスを人々に提供するマングローブ湿地が、近年東南アジアにおいて激減している。皮肉にもその要因は、「高い生産性」と潮間帯に生育するという「立地環境の特異性」にある。主にマングローブ生態系の劣化と分布の縮小は次の二点から説明できる。一点目は気候変動に伴う平均海面の上昇といった地球規模の長期的影響。もう一点は急激な経済成長を支える土地利用の変化、中でも水産養殖地（エビ養殖など）への転換等の人為的影響である。本研究では、ベトナム北部沿岸の放棄エビ養殖池を対象に、リモートセンシングおよびGISを利用してマングローブ湿地再生の適地を選定した。また実際の再生地における現地調査を通して種ごとの生育条件を地盤高を基に定量化するなど、より効果的・効率的な自然再生に向けた戦略的環境アセスメントの手法開発を行った<sup>72)</sup>。

### (2) 研究方法

放棄エビ養殖池でのマングローブ湿地の再生事業が行われるベトナム北部クアンニン省の沿岸域を対象とし、以下の3つの調査研究活動を行った。

#### 1) リモートセンシングを用いた過去のマングローブ分布の抽出

ベトナム沿岸で養殖事業が開始される以前の1973年に取得された人工衛星画像を解析し、天然状態に近い本来のマングローブ湿地の分布域を抽出した（潜在的マングローブ域と呼ぶ）。潜在的なマングローブ域に着目した理由は、従来のマングローブ域からマングローブの再生候補地を選ぶことがより効果的かつ効率的な（生残率が高い）自然再生につながると考えたからである。

衛星画像解析にはLandsat 1号の多重スペクトル走査放射計（MSS; Multi Spectral Scanner）による画像（1973年12月29日撮像、Path 135、Row 045）を使用した。まず画像のフルシーン（画像全体）をアメリカ地質調査所（USGS）のWebサイトからダウンロードし、熱バンドを除く6つのバンド画像を重ねて1つのファイルとした。次に衛星画像解析ソフト（ERDAS IMAGINE 2010、Hexagon Geospatial）を用い、次の4段階に分けて画像分類を行った。(i) オリジナル画像に対して植生の活性度を示す指標となるNDVI（Normalized Difference Vegetation Index）画像を作成し、この画像の教師無し分類（Iso Cluster Unsupervised Classification; 12分類）を行った。この過程で作成されるSignatureファイル（分類された各クラス別の統計量を示すデータファイル）を取得した。(ii) 1～4バンドを用い教師付き分類（17分類）を行った。この際、(i)で得られたSignatureファイルを教師データとして利用した。(iii) 次に、標高データ（SRTM ver.4）を用いて、標高5mより低い地域を抽出した。(iv) さらに、標高5m以下の土地からマングローブ分布域をより正確に特定するために、Landsat画像のフルシーンの一部（ドンズイ村を含む中部域）に対して、衛星画像の分類結果と航空写真を基に作成された土地利用図（1965年ソビエト連邦製1/50,000縮尺）のマングローブ分布域とを比較し、上記17分類の内、重なったクラスをマングローブと判断した。以上の画像処理をLandsatのフルシーンに対して行い、クアンニン省全域をカバーした1973年当時のマングローブ分布図を作製した。

#### 2) GISの利用による水産養殖池のデータベース化

ベトナム沿岸域における水産養殖池（多くはエビ養殖池）の位置情報、面積、周囲長、植林履歴等を一元管理し、そのデータの定量的解析から再生候補地を選択することを目的としてGISデータベースを構築した。まず初めに、個々の養殖池の形状をGoogle Earth画像（2002-2012年）を背景としてデジタル化してポリゴンデータを作成し、上記の属性情報を与えた。次にこの養殖池データベースと潜在的マングローブ域とをGIS上でオーバーレイし、未だ植林の行われていない放棄養殖池を抽出した。最終段階では作業道などが整備された比較的アプローチの良い池をマングローブ湿地再生の候補地として選定するなどの、より具体的な検討を行った。

#### 3) マングローブ再生地における植林対象樹種と平均海面との関係解析

同時期にマングローブ3種〔オヒルギ(*Bruguiera gymnorhiza*)、メヒルギ(*Kandelia obovata*)、ヤエヤマヒルギ(*Rhizophora stylosa*)〕が植林された既存のマングローブ再生地（ベトナム北部ドンズイ村）において、植林後の生残分布と平均海面との関係を解析した。これら3種のマングローブ植列に対して地盤高に関する生育（生残）の上限と下限を求める

ため、レーザー測量機器（トプコン社製ローテティングレーザー RL-H4C）を用いて個々の苗木の位置と地盤高と樹高の測定を行い、各マングローブ種の生残範囲と地盤高の関係を解析した。

### (3) 結果と考察

ベトナム沿岸における潜在的マングローブ域として比較的大きな群落が存在した地域は、北からモンカイ、ダムハ、ドンズイ、ハロン、ハイフォン周辺であった（図 39）。これら地域に共通する地形的特徴は、河口付近もしくは閉鎖性の水域という点である。この理由としては、河川から供給される多量の土砂と高濃度な栄養塩がマングローブに好適な立地環境に欠かせないからである。年間降水量が 2,000 mm に近い現地では毎年相応の土砂が降雨時に河口付近に排出され、沿岸域に堆積して広大なデルタが形成される。同様に、閉鎖性水域も土砂が滞留しやすいために広大な干潟が形成されやすい。マングローブの個々の樹種が、種に適した地盤高にしか生育できない以上<sup>73)</sup>、勾配の緩い（地盤高の変化が少ない）土地が広がりを見せるような場所だけに、その面積に応じてマングローブも分布していたと判断できる。今回の再生候補地であるドンズイは、バンドン島とベトナム本土に囲まれた浅い閉鎖性水域であり、かつパーチェ川の河口に位置している。この地形的な好条件が重なって、マングローブの生育に適した非常に大きな中州がここに形成されたものと考えられる。

養殖池データベースによると、ベトナム全体の養殖池の総数は 32,637 個に及び、最も数の多かった北部のタインホア省で 5,593 個であった。クアンニン省には 4,620 個の養殖池があり、その総面積は 16,124 ha（平均 3.49 ha、中央値 1.06 ha）であった<sup>3)</sup>。ドンズイ村ではほぼすべてのエビ養殖池がマングローブ湿地に造成されてきたことが確認でき（図 40）、これら放棄養殖池でのマングローブ再生がやはり最も効率的であることが裏付けされた。特にこの場所では人為的な堤防が池を取り囲んでいる為に波浪や潮流の影響も小さく、植林後のマングローブの活着にとって非常に有利であると考えられる。

マングローブ植林後の苗の生残分布と年間の海水面変動（平均海水面、年最大満潮位等）との関係を図 41 に示す。個々のマングローブ種の生残範囲は平均海水面（地盤高）と深く関係し、地盤高に対し種毎に特有な分布域があることを確認した<sup>74)</sup>。これは潮間帯に生育する 3 種の分布が、地盤高によって異なる土壌特性や塩分濃度、また滞水時間や乾燥への耐性によって決定されているためである<sup>75)</sup>。この平均海水面とマングローブ樹種の生残範囲の密接な関係は、将来予想される海面上昇（ベトナムでは 2100 年までに 65-100 cm<sup>76)</sup>）に伴うマングローブ域の分布の変化（地盤のより高い陸域側への移動）を示唆している。しかしながら、既にベトナム沿岸域は水産養殖池や埋め立て地として高度に土地利用が進展しており<sup>77)</sup>、マングローブが陸側に移動できる余地は非常に少ない。このため沿岸の未利用地のみを対象とした自然再生のみでは、今以上のマングローブの縮小は将来的に避けられないのかもしれない。

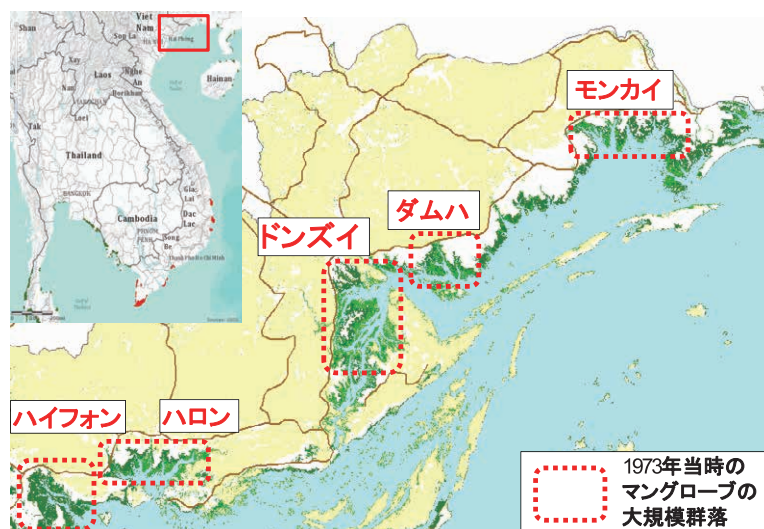


図 39 クアンニン省における 1973 年当時のマングローブ分布。Landsat1 号 MSS 画像より作成。

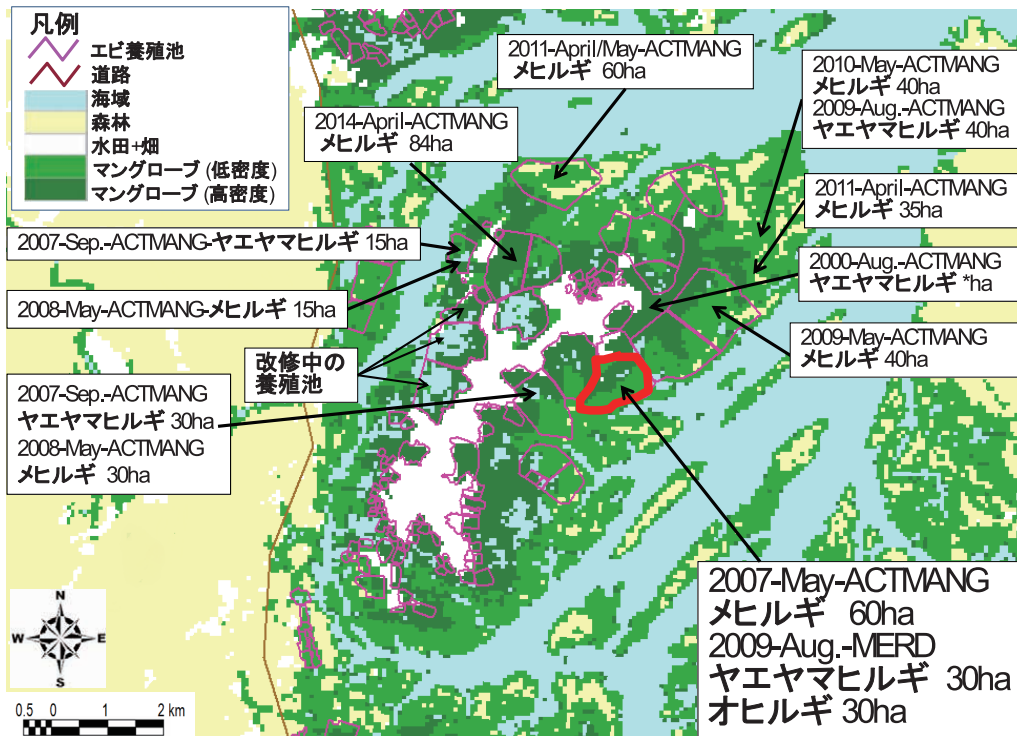


図 40 ベトナム北部ドンズイ村における潜在的なマングローブの生育範囲（1973年 Landsat MSS 画像を基に作成；Kameyama et al. 2013）と 2012 年の養殖池の分布。四角の枠は過去の植林（植林年月；組織；樹種；面積 ha）に関する属性情報。

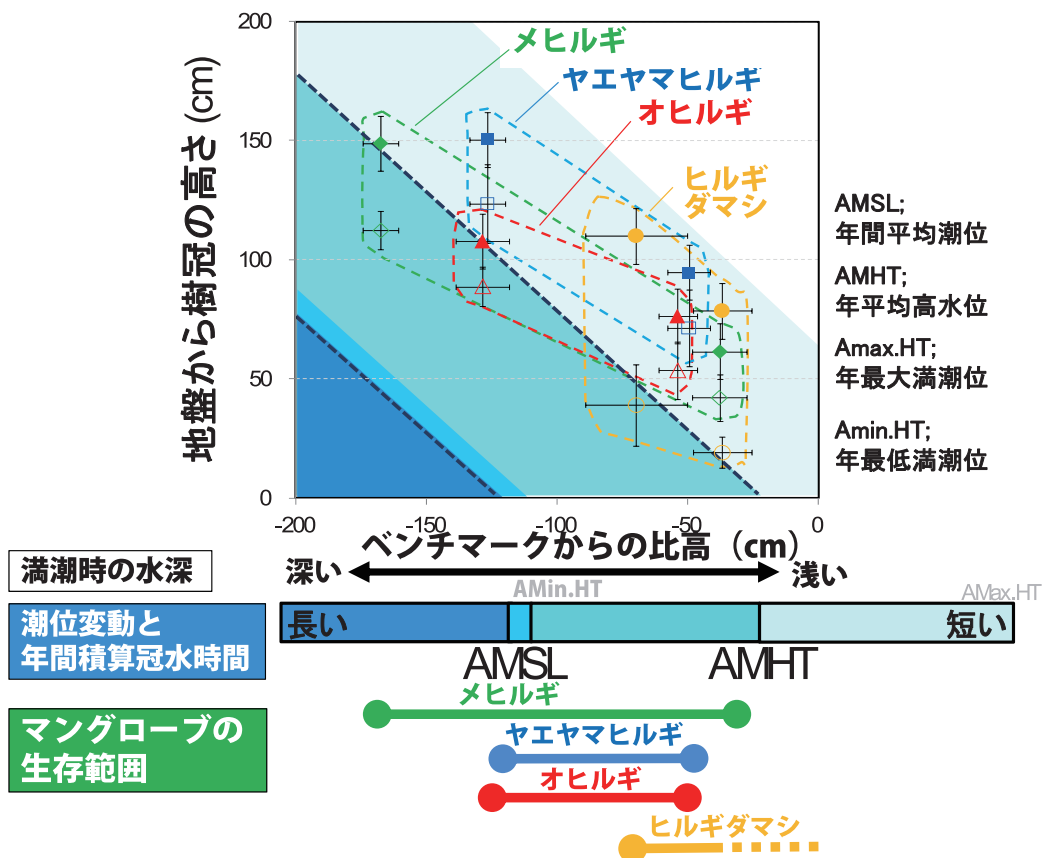


図 41 マングローブ湿地再生における基準点からの比高（地盤の高さ）（横軸）と各マングローブの樹高（縦軸）の関係。水色・青・紺色の三角形部分の斜辺は現地における年平均潮位面・年平均満潮位・年最大満潮位等をそれぞれ示す。

## 2.2.4.4 東日本大震災後の東北沿岸湿地における自然再生評価

### (1) 背景と目的

本研究では戦略的環境アセスメントのための技術開発の一環として、広域スケールでの自然再生評価に適した調査手法について検討を行った。2011年3月に発生した東日本大震災とその直後に引き起こされた大津波によって、東北地方太平洋沿岸から多数の河川下流域にかけて、広域的に水生植物などの植物群落破壊された。しかし植生の回復は当初想定されたよりも早く、ヨシやオギなどの抽水植物が群落を形成するようになった。ここでは、津波による被害から河川河口域と干潟の植生群落がどのように再生されたのかを無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）を用いた現地調査により明らかにした結果について報告する。

植物群落（植生単位）ごとの地理的広がりを克明に示した植生図は、自然環境の基礎資料としてだけでなく、様々な環境計画の立案の基礎情報として極めて重要である<sup>78,79)</sup>。植生図の作成は、古くは植生学の知識を持つ熟練した技術者により行われたが、精度の向上や効率化を重視して空中写真や衛星画像データが次第に利用されるようになった<sup>80)</sup>。現在でも、精度および効率性に優れた植生図化の手法開発は重要な技術的課題である。UAV法は、災害時の効率的な情報収集や、森林や農業分野でのリモートセンシング、河川や堤防の監視や管理、地形や構造物の簡便な計測・測量など、様々な分野においてその利用に期待が高まっている<sup>81)</sup>。植生図による草本植物種の確実な同定には1cm以下の解像度が必要であるが、従来の衛星また航空機によるリモートセンシングでは限界があった。小熊ら<sup>82)</sup>はUAVを用いた高解像度リモートセンシングを実施し、湿地性草本植物の個体レベルの種判別を可能にしたことを報告している。しかし、これまでUAV法による効率的な植生図化の事例は極めて少なく、高精度の植生図化を推進する上で検討すべき課題であった<sup>83)</sup>。

### (2) 研究方法

UAV（Ascending Technologies社、FALCON8）を用いた空中写真撮影は、福島県南相馬市を流れる2級河川の新田川の河口から約870m上流を最下流地点とし、それより上流の約1.5km区間を対象に実施した。撮影は2013年8月、植物が最も繁茂し種の同定が確実に行えるタイミングで行った。右岸から左岸の堤防にかけて河川を横断する13本のトランセクトを100m間隔に設定し、その上に約10m間隔で設けた定点（8地点/トランセクト）において、5m上空より撮影した（合計104地点）。これらの空中写真を幾何補正した後、ArcGIS9を用いて植生判読を行った。

### (3) 結果と考察

新田川下流域の13本のトランセクトで撮影されたUAVによる空中写真からは20を超える植物群落が判読された（図42）。しかし被覆率が比較的高かった群落は限られ、ヨシ、ヒメガマ、オギなどの日本在来の抽水植物が優占種として認められた。また河岸の陸域ではツル性植物や外来種のセイタカアワダチソウなどが最下流部を除く多くのトランセクトで判読されている。流程に沿った抽水植物種の出現状況を見ると、ヨシ群落は下流から上流に向けて減少し、オギ群落は反対に増加した。一方、ヒメガマは最下流部を中心に群落を形成している。これら3種の分布はいずれも比高に応じた典型的な植生遷移のパターンを再現している。図42の植物群落を湿地・水生群落、陸生（在来・外来）群落などに大きく再分類し、植生タイプの流程に沿った変遷を示したものが図43である。また各トランセクトで植生タイプの面積割合を集計し、構成比（%）で示したものが図44である。これらの図から、下流の湿地・水生植物群落から上流の陸生（在来・外来）植物群落への変遷がより明瞭に示されている。

主要な植物群落（ヨシ、ヒメガマ、オギ）の単位面積当たりのバイオマス量は、いずれの種も新田川の方が真野川より高い傾向がみられた（図45）。新田川は河口が砂州により閉塞しており、満潮時においても海水が溯上しにくいいため淡水性感潮域に近い環境を呈している。これによって高濃度の塩分に耐性が低い上記の主要植物の生育が促進されて群落密度を高め、ヨシ・オギ群落の根による懸濁物質の捕捉によって土砂の蓄積量が高められた。それがさらに植物群落の生育を促進したと考えられる。一方、真野川は河口が閉塞されていないことから、満潮時の海水溯上時には河口付近の塩分濃度が高まり、植物の生育が抑制され群落密度が低下し、ヨシ群落、オギ群落内への懸濁物質の蓄積も進行しな

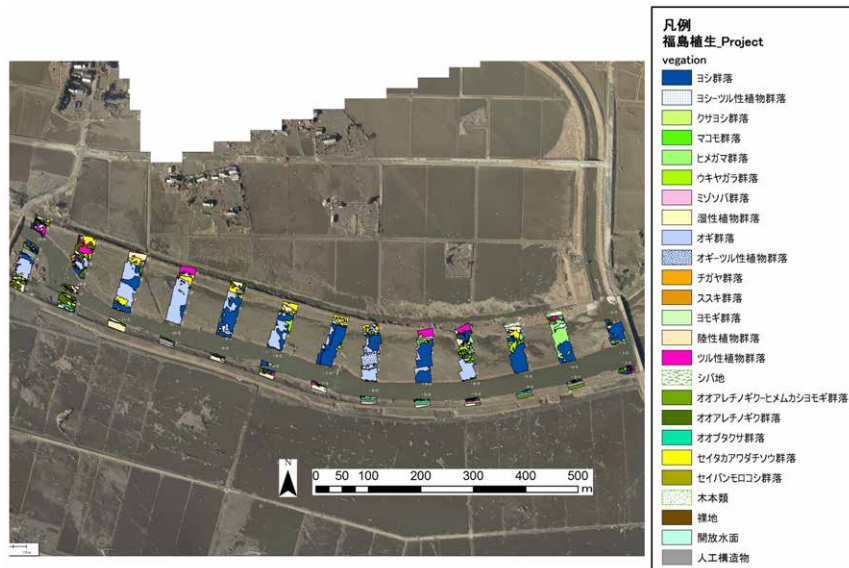


図 42 UAV による空中写真から判読した植物群落(新田川)。河川の流下方向は左(上流)から右(下流)。

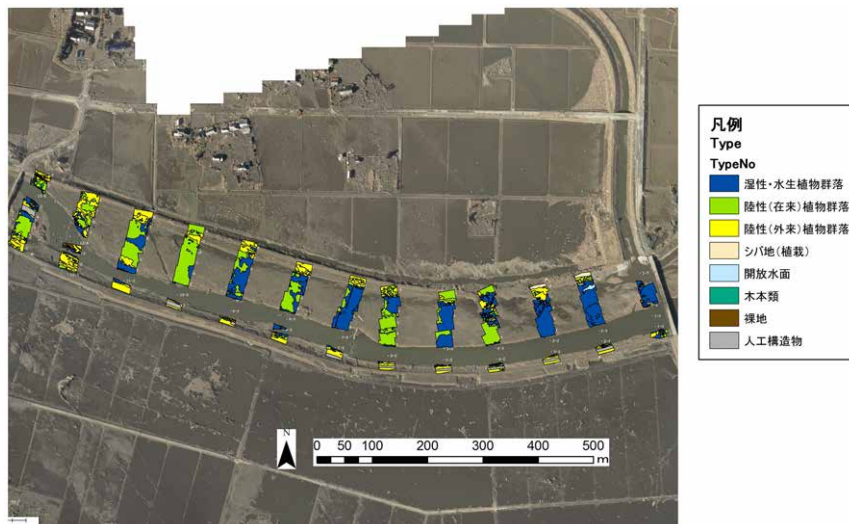


図 43 植物群落の植生タイプ(新田川)

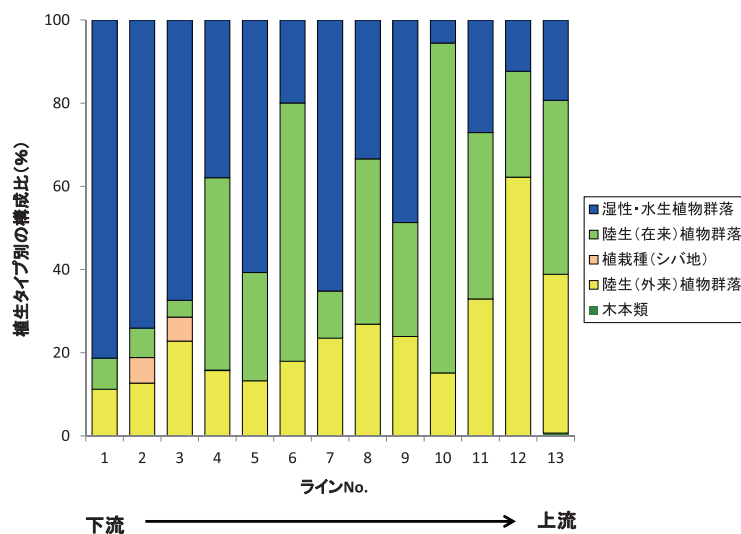


図 44 新田川における植生タイプの構成比 (%)

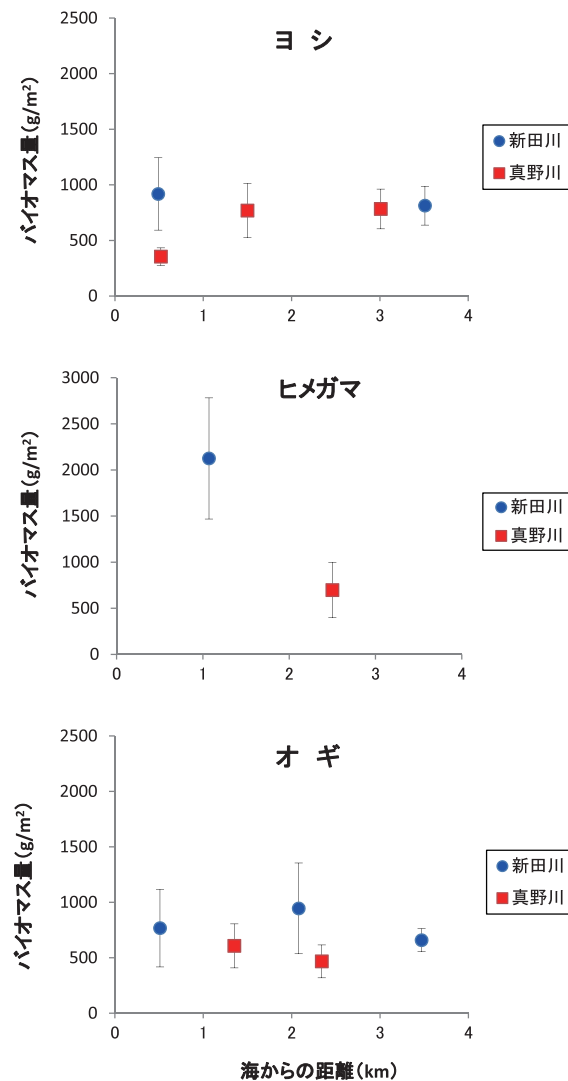


図 45 真野川と新田川における植物群落密度

かったと考えられる。

Ishihama ら<sup>84)</sup> は、ラジコンヘリコプターによる小型・軽量・高解像度のリモートセンシングシステムを開発し、1 ピクセル 1 cm と極めて高い空間解像度の画像からヨシ (*Phragmites australis*) とオギ (*Miscanthus sacchariflorus*) を判読している。今回 UAV で撮影した空中写真では、植物の本数や形状に至る細部まで詳細な確認ができ、極めて高い精度の解析が可能であった<sup>83)</sup>。また植生図化の結果でも、多くの植物群落および植生タイプを鮮明に判読・判別でき、航空写真から作成した植生図に比べてもさらに精度の高い植生図化に成功している。UAV 法による高解像度のリモートセンシングは、踏査が困難な高層湿原などでも比較的容易に行えることから、植生の長期変動を追跡することで、このような脆弱な生態系への気候変動による影響などを把握できると期待されている<sup>82)</sup>。さらに UAV を用いた植生調査は、植物群落の高さや植物体の草丈の計測を容易にし、群落の体積の算出など植生の定量的な評価を可能とする。現地調査の効率化は調査日数の短縮や労働力の軽減をもたらし、費用対効果の高い研究活動を支えることは言うまでもない。

## 引用文献

- 1) Aber J.D., Nadelhoffer K.J., Steudler P., Mellio J.M. (1989) Nitrogen saturation in northern forest ecosystems, *BioScience*, 39, 378-386.
- 2) Gundersen P., Schmidt I.K., Raulund-Rasmussen K. (2006) Leaching of nitrate from temperate forests – effects of air pollu-



- tion and forest management, *Environmental Reviews*, 14, 1-57.
- 3) Seiwa K., Eto Y., Hishita M., Masaka K. (2012) Effects of thinning intensity on species diversity and timber production in a conifer (*Cryptomeria japonica*) plantation in Japan, *Journal of Forest Research*, 17, 468-478.
  - 4) Wessén E., Söderström M., Stenberg M., Bru D., Hellman M., Welsh A., Thomsen F., Klemmedtson L., Philippot L., Hallin S. (2011). Spatial distribution of ammonia-oxidizing bacteria and archaea across a 44-hectare farm related to ecosystem functioning, *The ISME Journal*, 5, 1213-1225.
  - 5) Inatomi M., Ito A., Ishijima K., Murayama S. (2010) Greenhouse gas budget of a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in Japan estimated using a process-based model, *Ecosystems*, 13(3), 472-483.
  - 6) 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, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116 (D6).
  - 7) 小川みふゆ, 竹中明夫, 角谷 拓, 石濱史子, 山野博哉, 赤坂宗光 (2013) 植生図情報を用いた全国スケールでの土地利用図の作成, *保全生態学研究*, 18, 69-76.
  - 8) Erguder T.H., Boon N., Wittebolle L., Marzorati M., Verstraete W. (2009). Spatial distribution of ammonia-oxidizing bacteria and archaea across a 44-hectare farm related to ecosystem functioning, *FEMS Microbiology Reviews*, 33, 855-869.
  - 9) Martens-Habbena W., Berube P.M., Urakawa H., de la Torre J.R., Stahl D.A. (2009). Ammonia oxidation kinetics determine niche separation of nitrifying Archaea and Bacteria, *Nature*, 461, 976-979.
  - 10) Kawasaki N., Matsushige K., Komatsu K., Kohzu A., Nara F.W., Ogishi F., Yahata M., Mikami H., Goto T., Imai A. (2011) Fast and precise method for HPLC-size exclusion chromatography with UV and TOC (NDIR) detection: Importance of multiple detectors to evaluate the characteristics of dissolved organic matter, *Water Research*, 45, 6240-6248.
  - 11) 小松一弘, 今井章雄, 富岡典子, 高村典子, 中川 恵, 佐藤貴之, 霜鳥孝一, 高津文人, 篠原隆一郎 (2015) FRRF (Fast Repetition Rate Fluorometry) 法による一次生産速度測定手法の検討, *土木学会論文集 G (環境)*, 71 (7), 309-314.
  - 12) Shinohara R., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Miura S., Sano T., Satou T., Tomioka N. (2012) Biogenic phosphorus compounds in sediment and suspended particles in a shallow eutrophic lake: A <sup>31</sup>P-Nuclear Magnetic Resonance (<sup>31</sup>P NMR) study, *Environmental Science & Technology*, 46, 10572-10578.
  - 13) Shinohara R., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Miura S., Satou T., Tomioka N., Shimotori K. (2016) Changes in the composition of phosphorus (P) compound groups in sediment and P in sediment pore water in a shallow eutrophic lake: a <sup>31</sup>P NMR study, *Limnology* (in print)
  - 14) Shinohara R., Imai A., Kohzu A., Tomioka N., Furusato E., Satou T., Sano T., Komatsu K., Miura S., Shimotori K. (2016) Dynamics of particulate phosphorus in a shallow eutrophic lake, *Science of the Total Environment*, 563, 413-423.
  - 15) Tsuboi S., Yamamura S., Imai A., Satou T., Iwasaki K. (2014) Linking Temporal Changes in Bacterial Community Structures with the Detection and Phylogenetic Analysis of Neutral Metalloprotease Genes in the Sediments of a Hypereutrophic Lake, *Microbes and Environments*, 29 (3), 314-321.
  - 16) Smyth T. J., Perberton K. L., Aiken J., Geider J. (2004) A methodology to determine primary production and phytoplankton photosynthetic parameters from fast repetition rate fluorometry, *Journal of Plankton Research*, 26(11), 1337-1350.
  - 17) Melrose D. C., Oviatt C. A., O'Reilly J. E., Berman M. S. (2006) Comparisons of fast repetition rate fluorescence estimated primary production and <sup>14</sup>C uptake by phytoplankton, *Marine Ecology Progress Series*, 311, 37-46.
  - 18) Kaiblinger C., Dokulil M. T. (2006) Application of fast repetition rate fluorometry to phytoplankton photosynthetic parameters in freshwaters, *Photosynthesis Research*, 88, 19-30.
  - 19) Kromkamp J. C., Dijkman N. A., Peene J., Simis S. G. H., Gons H. J. (2008) Estimating phytoplankton primary production in Lake IJsselmeer (The Netherlands) using variable fluorescence (PAM-FRRF) and C-uptake techniques, *European Journal of Phycology*, 43(4), 327-344.
  - 20) Takamura N., Nakagawa M. (2016) Photosynthesis and primary production in Lake Kasumigaura (Japan) monitored monthly

- since 1981, Ecol. Res. Data Paper Archives, 31, 287.
- 21) Burns N. M., Rosa F. (1980) In situ measurement of the settling velocity of organic-carbon particles and 10 species of phytoplankton, *Limnology and oceanography*, 25 (5), 855-864.
  - 22) Huisman J., Sharples J., Stroom J. M., Visser P. M., Kardinaal W. E. A., Verspagen J. M. H., Sommeijer B. (2004) Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species, *Ecology*, 85 (11), 2960-2970.
  - 23) 高津文人 (2006) 窒素安定同位体比による富栄養化診断, *水文・水資源学会誌*, 19, 413-419.
  - 24) 越川昌美, 林 誠二 (編者) (2014) 窒素飽和状態にある森林域からの窒素流出負荷量の定量評価および将来予測, 国立環境研究所プロジェクト報告 SR-107-2014.
  - 25) Tsuchiya K., Sano T., Kawasaki N., Fukuda H., Tomioka N., Hamasaki K., Tada Y., Shimode S., Toda T., Imai A. (2015) New radioisotope-free method for measuring bacterial production using [15N5]-2'-deoxyadenosine and liquid chromatography mass spectrometry (LC-MS) in aquatic environments, *Journal of Oceanography*, 71, 675-683.
  - 26) Shimotori K., Satou T., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Tomioka N., Shinohara R., Miura S. (2016) Quantification and characterization of coastal dissolved organic matter by high-performance size exclusion chromatography with ultraviolet absorption, fluorescence, and total organic carbon analyses, *Limnology & Oceanography: Methods* (in print).
  - 27) Fletcher R.L. (1996) The Occurrence of "Green Tides" - a review, In *Marine benthic vegetation* (pp. 7-43). Springer Berlin Heidelberg.
  - 28) 大野正夫 (2001) アオサと大繁殖, 「アオサの利用と環境修復」(能登谷正浩編著) 成山堂書店, 東京, 1-15.
  - 29) 能登谷正浩 (2001) 静穏な海域で栄養繁殖する種, 「アオサの利用と環境修復」(能登谷正浩編著) 成山堂書店, 東京, 48-70.
  - 30) 工藤教勇, 児玉真史, 徳永貴久, 松永信博 (2003) 干潟におけるアオサの消長が生物生息環境に及ぼす影響, *海岸工学論文集*, 50, 1081-1085.
  - 31) 矢持 進, 柳川竜一, 松久純世 (2003) 高水温期の大阪南港野鳥園人工塩性湿地での窒素, 浮遊懸濁物, クロロフィル a 収支, *水環境学科誌*, 26, 443-448.
  - 32) Uchimura M., Yoshida G., Hiraoka M., Komatsu T., Arai S., Terawaki T. (2004) Ecological studies of green tide, *Ulva* spp. (Chlorophyta) in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea, *The Japanese Journal of Phycology*, 52, 17-22.
  - 33) Hiraoka M., Shimada S., Uenosono M., Masuda M. (2004) A new green-tide-forming alga, *Ulva ohnoi* Hiraoka et Shimada sp. nov. (Ulvales, Ulvophyceae) from Japan, *Phycological Research*, 52 (1), 17-29.
  - 34) Frankenstein G., Redman S. B. (2000) Blooms of ulvoids in Puget Sound. Puget Sound Water Quality Action Team, Office of the Governor, Washington.
  - 35) 蒲郡市 (2011) アオサ活用に関する調査報告書, 2. 国内外におけるアオサ被害と対策の概要, <http://www.city.gamagori.lg.jp/uploaded/attachment/280.pdf> (2015年12月16日時点).
  - 36) Yabe T., Ishii Y., Amano Y., Koga T., Hayashi S., Nohara S., Tatsumoto H. (2009) Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan, *Limnology*, 10 (3), 239-245.
  - 37) 石井裕一, 村上和仁, 石井俊夫, 立本英機, 瀧 和夫 (2001) 埋立てから取り残された自然干潟の生態系バランスと環境因子, *土木学会海洋開発論文集*, 17, 129-134.
  - 38) 岸田智穂, 馬場将輔 (2003) 不稔性アオサの成長と成熟に及ぼす温度, 塩分, 光強度の複合影響, *海生研研報*, 第5号, 21-26.
  - 39) Porra R.J., Thompson W.A., Kriedemann P.E. (1989) Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy, *Biochimica et Biophysica Acta* 975, 384-394.
  - 40) Littler M.M., Littler D.S. (1980) The evolution of Thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model, *Am. Nat.*, 116, 25-44.

- 41) Fan X., Xu D., Wang Y., Zhang X., Cao S., Mou S., Ye N. (2014) The effect of nutrient concentrations, nutrient ratios and temperature on photosynthesis and nutrient uptake by *Ulva prolifera*: implications for the explosion in green tides, *J. Appl. Phycol.*, 26, 537.
- 42) ICM (2010) MRC Strategic Environmental Assessment (SEA) of hydropower on the Mekong mainstream, Hanoi, Viet Nam.
- 43) Hurtle K.G. (2007) Consumption and the yield of fish and other aquatic animals from the lower Mekong basin, MRC Technical Paper 16, 1-88.
- 44) Rainboth W.J. (1996) Fishes of the Cambodian Mekong, FAO, Rome, 265 p.
- 45) Dugan P.J., Barlow C., Agostinho A.A., Baran E., et al. (2010) Fish migration, dams, and loss of ecosystem services in the Mekong basin, *AMBIO* 39, 344-348.
- 46) Sakamoto M. (1966) Primary Production by Phytoplankton Community in Some Japanese Lakes and Its Dependence on Lake Depth, *Arch. Hydrobiol.*, 62, 1-28.
- 47) Ganf G.G. (1974) Phytoplankton biomass and distribution in a shallow eutrophic lake (Lake George, Uganda), *Oecologia*, 16 (1), 9-29.
- 48) Callieri C., Modenutti B., Queimaliños C., Bertoni R., Balseiro E. (2007) Production and biomass of picophytoplankton and larger autotrophs in Andean ultraoligotrophic lakes: differences in light harvesting efficiency in deep layers, *Aquatic Ecology*, 41 (4), 511-523.
- 49) Barlow C., Baran E., Halls A.S., Kshatriya M. (2008) How much of the Mekong fish catch is at risk from mainstream dam development? *Catch and Culture*, 14, 16-21.
- 50) Roberts T.R. (1997) Systematic revision of the tropical Asian labeon cyprinid fish genus *Cirrhinus*, with descriptions of new species and biological observations on *C. lobatus*, *Natural History Bulletin of the Siam Society*, 45, 171-203.
- 51) Roberts T.R., Baird I.G. (1995) Traditional fisheries and fish ecology on the Mekong River at Khone Waterfalls in southern Laos, *Natural History Bulletin of the Siam Society*, 43, 219-262.
- 52) Hurwood D.A., Adamson E.A.S., Mather P.B. (2008) Evidence for strong genetic structure in a regionally important, highly vagile cyprinid (*Henicorhynchus lobatus*) in the Mekong River Basin, *Ecol. Fresh. Fish*, 17, 273-283.
- 53) Hogan Z., Baird I.G., Radtke R., Vander Zanden M.J. (2007) Long distance migration and marine habitation in the tropical Asian catfish, *Pangasius krempfi*, *Journal of Fish Biology*, 71, 818-832.
- 54) Ziv G., Baran E., Nam S., Rodríguez-Iturbe I., Levin S.A. (2012) Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin, *PNAS*, 109 (15), 5609-5614.
- 55) Ludwig D., Walters C.J. (1985) Are age-structured models appropriate for catch-effort data? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 1066-1072.
- 56) 松田裕之 (1996) 利己的な遺伝子が織りなす食物連鎖網, *数理生態学 シリーズ・ニューバイオフィジックス*, 10, 95-105.
- 57) Williams R.J., Martinez N.D. (2000) Simple rule yield complex food webs, *Nature*, 404, 180-183.
- 58) International Center For Environmental Management (ICEM) (2010) MRC Strategic Environmental Assessment of Hydropower on the Mekong Mainstream, Hanoi, Viet Nam, 198 pp.
- 59) Poulsen A.F., Poeu O., Viravong S., Suntornratana U., Tung N.T. (2002) Fish migrations of the Lower Mekong River Basin: implications for development, planning and environmental management, MRC Technical Paper No. 8, Mekong River Commission, Phnom Penh, 62 pp.
- 60) Nakayama T. (2014) Hydrology-ecology interactions, In *Handbook of Engineering Hydrology - Vol. 1: Fundamentals and Applications*, Saeid Eslamian (ed), Taylor and Francis, pp.329-344.
- 61) Nakayama T. (2015) Integrated assessment system using process-based eco-hydrology model for adaptation strategy and ef-

- fective water resources management, In Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle (Geophysical Monograph Series 206), Venkat Lakshmi (ed), pp.521-535, AGU.
- 62) U.S. Geological Survey (USGS) (1996) GTOPO30 Global 30 Arc Second Elevation Data Set, USGS.
  - 63) European Commission (2015) Global Land Cover 2000.
  - 64) European Commission (2012) Harmonized World Soil Database.
  - 65) NASA (2013) GLDAS Vegetation Class.
  - 66) U.S. Geological Survey (USGS) (1996b) HYDRO1K, USGS.
  - 67) Lehner B., Doll P. (2004) Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands, *J. Hydrol.*, 296, 1-22.
  - 68) Hartmann J., Moosdorf N. (2012) The new global lithological map database GLiM: A representation of rock properties at the Earth surface, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q12004.
  - 69) 宮沢直季ら (2005) メコン河下流域の河川管理のための広域水文・河道特性の抽出, 科学技術振興機構, 戦略的創造研究推進事業研究成果概要集, 8-9.
  - 70) Global Runoff Data Centre (GRDC) (2014) Global Runoff Database, GRDC.
  - 71) メコン・ウォッチ (2006) メコン河本流ダム建設予定地.
  - 72) Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano T., Nohara S. (2013) Nature restoration of mangrove ecosystem in northern Vietnam using remote sensing and GIS (from shrimp pond to mangrove forest), *Proceedings of Regional Symposium on Mangrove Ecosystem Management in South East Asia*, pp.182-187.
  - 73) 宮城豊彦, 安食和宏, 藤本 潔 (2003) マングローブ—なりたち・人びと・みらい, 日本地理学会海外地域研究叢書, 193pp.
  - 74) 亀山 哲, 宮本千晴, 須田清治, 浅野哲美, 野原精一, 中村健太郎 (2015) リモートセンシングと GIS を用いたベトナムの放棄エビ池におけるマングローブ湿地の再生, *環境科学会誌* 28 (1), 63-72.
  - 75) 松田義弘 (2011) マングローブ環境物理学, 東海大学出版会, 404pp.
  - 76) Ministry of Natural Resources and Environment VIETNAM (2009) Climate change, sea level rise scenarios for Vietnam, Hanoi, Vietnam.
  - 77) Christensen S.M., Tarp P., Hjortso C.N. (2008) Mangrove forest management planning in coastal buffer and conservation zones, Vietnam: A multi methodological approach incorporating multiple stakeholders, *Ocean & Coastal Management* 51, 712-726.
  - 78) 環境庁 (2000) 自然環境のアセスメント技術Ⅱ, 大蔵省印刷局, 東京, 29-30.
  - 79) 財団法人都市緑化技術開発機構 (2000) 都市のエコロジカルネットワーク, ぎょうせい, 東京, 141-142.
  - 80) 松林健一, 根本 淳, 百瀬 浩, 藤原宣夫, 日置佳之 (2002) 高解像度衛星データを用いた植生図化手法の開発と図化精度評価. *日緑工誌* 28 (1), 127-131.
  - 81) 鈴木太郎, 橋詰 匠, 鈴木真二 (2011) 小型自律飛行ロボット (UAV) の活用による簡便な建物計測, 建設の施工企画, 65-69.
  - 82) 小熊宏之, 宇佐美昌樹, 島崎彦人, 石濱史子 (2010) ラジコンヘリによる高解像度リモートセンシングと湿地性草本植物の個体レベル種判別への適用, 日本生態学会第 57 回全国大会, 講演要旨.
  - 83) Kaneko K., Nohara S. (2014) Review of effective vegetation mapping using the UAV (unmanned aerial vehicle) method, *Journal of Geographic Information System*, 6, 733-742.
  - 84) Ishihama F., Watabe Y., Oguma, H. (2012) Validation of a high-resolution, remotely operated aerial remote-sensing system for the identification of herbaceous plant species, *Applied Vegetation Science* 2012, 15, 383-389.

[資料]



# 1 研究の組織と研究課題の構成

## 1.1 研究の組織

### [A 研究担当者]

#### 地域環境研究センター

##### 土壌環境研究室

林 誠二

越川昌美

渡邊未来

仁科一哉

村田智吉

##### 特別研究員

渡邊圭司<sup>\*)</sup>

##### 湖沼・河川環境研究室

今井章雄

小松一弘

高津文人

富岡典子

篠原隆一郎

##### 特別研究員

佐藤貴之<sup>\*)</sup>

霜鳥孝一

##### 水環境管理研究室

岩崎一弘<sup>\*)</sup>

##### 特別研究員

坪井 隼<sup>\*)</sup>

##### 海洋環境研究室

金谷 弦

##### 大気環境モデリング研究室

森野 悠<sup>\*)</sup>

#### 生物・生態系環境研究センター

##### 生態系機能評価研究室

野原精一

福島路生

広木幹也

亀山 哲

##### 生態遺伝情報解析研究室

矢部 徹

玉置雅紀

##### 特別研究員

石井祐一<sup>\*)</sup>

山田勝雅<sup>\*)</sup>

有田康一

##### 生物多様性保全計画研究室

吉田勝彦

#### 地球環境研究センター

##### 物質循環・モデリング研究室

中山忠暢

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

[B 客員研究員]

川崎伸之	(マレーシア・セラングール大学)	(平成 23 ～ 27 年度)
松重一夫		(平成 27 年度)
渡邊圭司	(埼玉県環境科学国際センター)	(平成 25 ～ 27 年度)

[C 協力研究者]

三浦真吾	(株式会社武揚堂)	(平成 23 ～ 27 年度)
土屋健司	(創価大学)	(平成 23 ～ 27 年度)
Tuatong Jutagate	(Ubon Ratchathani University)	(平成 23 ～ 27 年度)

## 1.2 研究課題と担当者

プロジェクト 1 流域圏における生態系機能と環境因子との連動関係の定量的評価に関する研究

林 誠二・越川昌美・渡邊未来・仁科一哉・渡邊圭司\*・今井章雄・小松一弘・高津文人・富岡典子・  
篠原隆一郎・佐藤貴之・霜鳥孝一・岩崎一弘・坪井 隼・金谷 弦・森野 悠・矢部 徹・玉置雅紀・  
石井祐一・山田勝雅・有田康一・川崎伸之\*・松重一夫\*・三浦真吾\*\*・土屋健司\*\*

プロジェクト 2 戦略的環境アセスメント技術の開発と自然再生の評価

福島路生・野原精一・広木幹也・亀山 哲・富岡典子・村田智吉・吉田勝彦・中山忠暢・  
Tuatong Jutagate \*\*

(注) \*客員研究員、\*\*協力研究者



## 2 研究成果発表一覧

### 2.1 誌上発表

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

Arai H., Fukushima T., Komatsu K. (2012) Increase in silicon concentrations and release from suspended solids and bottom sediments in Lake Kasumigaura, Japan. *Limnology*, 13 (1), 81-95

有田康一, 矢部 徹, 林 誠二 (2014) 福島県松川浦における底質の放射性セシウム濃度と蓄積量の実態把握. 土木学会論文集 G (環境), 70 (7), III\_225-III\_231

Azuma N., Okano T., Tamaoki M., Nakajima N., Takamura N., Yokohata Y., Shindo J., Onuma M. (2013) Isolation and characterization of 25 polymorphic micro satellites of the large Japanese wood mouse (*Apodemus speciosus*). *Conservation Genet. Resour.* 5

Baran E., Chum N., Fukushima M., Hand T., Hortle K.G., Jutagate T., Kang B. (2012) Fish Biodiversity Research in the Mekong Basin. In: Shin-ichi Nakano, Tohru Nakashizuka, Tetsukazu Yaharaeds., *The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region - Toward Further Development of Monitoring*, Springer, 154-155

福原晴夫, 大高明史, 木村直哉, 北村 淳, 菊地義昭, 野原精一 (2012) アカシボに分布する無脊椎動物－尾瀬ヶ原のアカシボを中心に－. *低温科学*, 70, 75-85

福原晴夫, 木村直哉, 北村 淳, 落合正宏, 山本鎔子, 林 卓志, 大高明史, 小島久弥, 福井 学, 菊地義昭, 野原精一 (2012) 尾瀬地域におけるアカシボの発達過程. *低温科学*, 70, 37-47

Fukushima M. (2012) Spatially Explicit Models for Freshwater Fish for Conservation Planning. In: Shin-ichi Nakano, Tohru Nakashizuka, Tetsukazu Yaharaeds., *The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region - Toward Further Development of Monitoring*, Springer, 329-345

福島路生, 野原精一 (2012) メコン川のダム開発に対する環境影響評価. *水環境学会誌*, 35 (2), 53-58

福島路生 (2013) 15 サケとダム. 帰山雅秀・永田光博・中川大介編著, *サケ学大全*, 北海道大学出版会, 67-70

Fukushima M., Jutagate T., Grudpan C., Phomikong P., Nohara S. (2014) Potential effects of hydroelectric dam development in the Mekong River Basin on the Migration of Siamese mud carp (*Henicorhynchus siamensis* and *H. lobatus*) elucidated by otolith microchemistry. *PLOS ONE*, 9 (8), e103722

He B., Oki K., Wang Y., Oki T., Yamashiki Y., Takara K., Miura S., Imai A., Komatsu K., Kawasaki N. (2012) Analysis of stream water quality and estimation of nutrient load with the aid of Quick Bird remote sensing imagery. *Hydrological Sciences Journal*, 57(5), 850-860

Hyodo F., Nishikawa J., Kohzu A., Fujita N., Saizen I., Tsogtbaatar J., Javzan C., Enkhtuya M., Gantomor D., Amartuvshin N., Ishii R., Wada E. (2011) Variation in nitrogen isotopic composition in the Selenga river watershed, Mongolia. *Limnology*, 13(1), 155-161

今井章雄 (2011) 溶存有機物の研究－最近の動向－. *水環境学会誌*, 34 (A) (5), 129

今井章雄 (2012) アマノジャックで行こう！－溶存有機物 (DOM) の分子サイズの話－. *用水と廃水*, 54 (10), 723

Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano T., Nohara S. (2013) Nature Restoration of Mangrove Ecosystem in Northern Vietnam using Remote Sensing and GIS (From Shrimp Pond to Mangrove Forest). *Main streaming Mangroves (Proceedings of Regional Symposium on Mangrove Ecosystem Management in South East Asia)*, 182-187

Kameyama S., Shimazaki H., Nohara S., Sato T., Fujii Y., Kudo K. (2013) Hydrological and sediment transport simulation to assess the impact of dam construction in the Mekong River main channel. *American Journal of Environmental Science*, 9(3), 247-258

Kameyama S. (2014) Strategic environmental assessment and nature restoration project for mangrove wetland. In: The Promotion Office of Gifu University Rearing Program for Basin Water Environmental Leadersed., *Environment Monitoring By Remote Sensing Technology*, Gifu University, 151-172

- 亀山 哲, 宮本千晴, 須田清治, 浅野哲美, 野原精一, 中村健太郎 (2015) リモートセンシングと GIS を用いたベトナムの放棄エビ池におけるマングローブ湿地の再生. 環境科学会誌, 28 (1), 63-72
- 亀山 哲 (2016) 未来の掟を担う UAV 利用者の皆様へ. リモートセンシング学会誌, 36 (2)
- Kanaya G., Suzuki T., Kikuchi E. (2011) Spatio-temporal variation in macrozoobenthic assemblage structures in a river-affected lagoon (Idoura Lagoon, Sendai Bay, Japan): Influence of freshwater inflow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 169-179
- 金谷 弦 (2011) 東日本大震災による沿岸・干潟生態系, 生物多様性への影響. 資源環境対策, 47 (9), 13-19
- 金谷 弦, 菊池永祐 (2011) 富栄養化が汽水域の底生生態系に及ぼす影響について. 地球環境, 16, 33-44
- 金谷 弦, 鈴木孝男, 牧 秀明, 中村泰男, 宮島祐一, 菊池永祐 (2012) 2011 年巨大津波が宮城県蒲生潟の地形、植生および底生動物相に及ぼした影響. 日本ベントス学会誌, 67, 20-32
- 金谷 弦 (2012) 芦崎干潟におけるツボミガイの生息状況. むつ市教育委員会編, 平成 23 年度むつ市文化財調査報告第 40 集, むつ市教育委員会, 77-83
- 金谷 弦 (2012) 津波による蒲生干潟の底生動物と植生への影響. グリーン・エージ, 39 (9), 12-15
- Kanaya G., Nakamura Y., Koizumi T., Yamada K., Koshikawa H., Kohzu A., Maki H. (2013) Temporal changes in carbon and nitrogen stable isotope ratios of macrozoobenthos on an artificial tidal flat facing a hypertrophic canal, inner Tokyo Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 71, 179-189
- Kanaya G. (2014) Effects of infaunal bivalves on associated macrozoobenthic communities in estuarine soft-bottom habitats: a bivalve addition experiment in a brackish lagoon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 457, 180-189
- Kanaya G. (2014) Recolonization of macrozoobenthos on defaunated sediments in a hypertrophic brackish lagoon: Effects of sulfide removal and sediment grain size. *Marine Environmental Research*, 95, 81-88
- 金谷 弦, 五十嵐健志, 山田勝雅, 木村昭一 (2014) 芦崎干潟潮下帯に生息するアマモ *Zostera marina* 群落の葉上動物相. むつ市教育委員会編, 平成 25 年度むつ市文化財調査報告第 42 集, むつ市教育委員会, 55-65
- Kanaya G., Maki H., Suzuki T., Sato-Okoshi W., Kikuchi E. (2014) Tsunami-induced changes in a shallow brackish lagoon ecosystem (Gamo Lagoon) facing Sendai Bay, Japan. *Global Environmental Research*, 18 (1), 35-46
- Kanaya G., Nakamura Y., Koizumi T., Yamada K. (2015) Seasonal changes in infaunal community structure in a hypertrophic brackish canal: effects of hypoxia, sulfide, and predator-prey interaction. *Marine Environmental Research*, 108, 14-23
- Kanaya G., Suzuki T., Kikuchi E. (2015) Impacts of the 2011 tsunami on sediment characteristics and macrozoobenthic assemblages in a shallow eutrophic lagoon, Sendai Bay, Japan. *Plos ONE*, 10, e0135125
- 金谷 弦, 富山 毅, 鈴木孝男 (2015) 外来性巻貝サキグロタマツメタの安定同位体比が示すもの - 生息場所や成長段階によって餌利用は変化するのか? -. 日本水産学会誌, 81 (5), 888
- Kaneko K., Nohara S. (2013) Vegetation communities in estuarine tidal flats in the different river and basin environments of the four major rivers of Ise Bay (Suzuka, Tanaka, Kushida and Miya), Mie Prefecture, Japan. *Open Journal of Ecology*, 3(2), 205-213
- Kaneko K., Nohara S. (2014) The influence of changes in the degree and frequency of disturbance on the annual salt marsh plant (*Suaeda maritima*, *Artemisia scoparia*) communities in estuarine tidal flats: A case study of the Kushida River in Mie Prefecture, Japan. *Open Journal of Ecology*, 4 (1), 1-10
- 金子正美, 田中克佳, 赤松里香, 長 雄一, 濱原和弘, 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, 23 (3), 1-7
- Kawasaki N., Matsushige K., Komatsu K., Kohzu A., Nara F.W., Ogishi F., Yahata M., Mikami H., Goto T., Imai A. (2011) Fast and precise method for HPLC-size exclusion chromatography with UV and TOC (NDIR) detection: Importance of multiple detectors to evaluate the characteristics of dissolved organic matter. *Water Research*, 45, 6240-6248

- Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Tomioka N., Shinohara R., Satou T., Nara Watanabe F., Tada Y., Hamasaki K., Kushairi M. R. M., Imai A. (2013) Bacterial contribution to dissolved organic matter in eutrophic lake Kasumigaura, Japan. *Applied and Environmental Microbiology*, 79 (23), 7160-7168
- Kawasaki N., Kushairi M.R.M., Nagao N., Yusoff F., Imai A., Kohzu A. (2016) Release of Nitrogen and Phosphorus from Aquaculture Farms to Selangor River, Malaysia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7 (2), 113-116
- Kawasaki N., Kushairi M.R.M., Nagao N., Yusoff F., Imai A., Kohzu A. (2016) Seasonal changes of nutrient distributions along Selangor River, Malaysia. *International Journal of Advances in Chemical Engineering & Biological Sciences (IJACEBS)*, 3 (1), 113-116
- Kohzu A., Imai A., Miyajima T., Fukushima T., Matsushige K., Komatsu K., Kawasaki N., Miura S., Satou T. (2011) Direct evidence for nitrogen isotope discrimination during sedimentation and early diagenesis in Lake Kasumigaura, Japan. *Org. Geochem.*, 42 (2), 173-183
- Kohzu A., Imai A., Ohkouchi N., Fukushima T., Kamiya K., Komatsu K., Tomioka N., Kawasaki N., Miura S., Satou T. (2011) Direct evidence for the alteration of  $^{13}\text{C}$  natural abundances during early diagenesis in Lake Kasumigaura, Japan. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 12 (10)
- 高津文人, 今井章雄, 中島泰弘, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之 (2011) 硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比測定のための自作による安価な自動前処理ラインの開発. *RADIOISOTOPES*, 60 (6), 231-240
- 高津文人, 渡邊未来, 林 誠二, 今井章雄, 中島泰弘, 尾坂兼一, 三浦真吾 (2012) 筑波山周辺の渓流水中の硝酸イオンの酸素・窒素安定同位体比による硝酸イオンの生成・混合・消費プロセスの解析. *陸水学雑誌*, 73 (1), 1-16
- 高津文人 (2013) 炭素・窒素の安定同位体比による環境解析－生物間相互作用から流域の物質代謝まで－. *RADIOISOTOPES*, 62 (2), 97-103
- 小松一弘 (2011) 湖沼における難分解性溶存有機物の特性評価. *水環境学会誌*, 35 (5), 139-144
- 小松一弘, 今井章雄, 富岡典子, 高村典子, 中川恵, 佐藤貴之, 霜鳥孝一, 高津文人, 篠原隆一郎 (2015) FRRF (Fast Repetition Rate Fluorometry) 法による一次生産速度測定手法の検討. *土木学会論文集G (環境)*, 71 (7), 309-314
- Kong Y., Watanabe Mirai., Nagano H., Watanabe Keiji, Yashima M., Inubushi K. (2013) Effects of land-use type and nitrogen addition on nitrous oxide and carbon dioxide production potentials in Japanese Andosols. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59 (5), 790-799
- 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
- Koshikawa-K.M., Watanabe Mirai., Shin K., Nishikiori T., Takamatsu T., Hayashi S., Nakano T. (2016) Using isotopes to determine the contribution of volcanic ash to Sr and Ca in stream waters and plants in a granite watershed, Mt. Tsukuba, central Japan. *Environmental Earth Sciences*, 75 (501)
- Liu W., Tanimura A., Imai T., Kanaya G., Niiyama T., Maegawa S., Kohzu A., Kimura T., Toyohara H. (2014) Distribution of gastropods in a tidal flat in association with digestive enzyme activities. *Plankton and Benthos Research*, 9 (3), 156-167
- 松中哲也, 西村弥亜, 村上哲生, 井筒康裕, 奈良郁子, 渡邊隆広, 今井章雄, Liping Zhu (2012) チベット高原・プマユムツォ湖の水温躍層 (20-25m) 以深における一次生産の規模とその維持機構に関する研究. *陸水学雑誌*, 73 (3), 167-178
- 松崎慎一郎, 佐竹 潔, 田中 敦, 上野隆平, 中川 恵, 野原精一 (2015) 福島原発事故後の霞ヶ浦における淡水巻貝・二枚貝の放射性セシウム  $^{137}\text{Cs}$  の濃度推移, 濃縮係数および生態学的半減期. *陸水学雑誌*, 76 (1), 25-34
- 三浦真吾, 高津文人, 今井章雄, 小松一弘, 篠原隆一郎, 川崎伸之, 佐藤貴之 (2016) 流域特性 (黒ボク・非黒ボク・土地利用) が支配する P, N の河川流出プロセス. *陸水学雑誌*, 77 (1), 25-38

- 森 康則, 村田 将, 志村恭子, 山口哲夫, 野原精一, 加治佐隆光, 大沼章子 (2012) 三重県桑名市の長島地域における温泉付随ガス中炭化水素系可燃性天然ガスの代替エネルギー化の検討. 温泉科学, 62 (2), 168-181
- Nagai T., Tomioka N., Kawasaki T., Imai A., Matsushige K. (2011) In-situ growth rate of *Microcystis* spp. and their growth-limiting factors: use of cellular RNA content. *Limnology*, 12 (3), 235-243
- 中村泰男, 金谷 弦, 牧 秀明, 小泉知義 (2012) 大井人口干潟 (京浜運河・東京湾) 周辺の環境変動と二枚貝の生残: 特に溶存酸素濃度と底泥硫化物に着目して. 水環境学会誌, 35 (8), 127-134
- Nara F.W., Watanabe T., Kakegawa T., Minoura K., Imai A., Fagel N., Horiuchi K., Nakamura T., Kawai T. (2014) Biological nitrate utilization in south Siberian lakes (Baikal and Hovsgol) during the last Glacial period: the influence of climate change on primary productivity. *Quaternary Science Reviews*, 90, 69-79
- Nishimura M., Matsunaka T., Morita Y., Watanabe T., Nakamura T., Zhu L., Nara F.W., Imai A., Izutsu Y., Hasuike K. (2014) Paleoclimatic changes on the southern Tibetan Plateau over the past 19,000 years recorded in Lake Pumoyum Co, and their implications for the southwest monsoon evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 396, 75-92
- 野原精一 (2012) 尾瀬の自然環境の概要. 低温科学, 70, 9-20
- 野原精一, 福原晴夫, 山本鎔子, 落合正宏, 大高明史, 宇多川広勝 (2012) 尾瀬の彩雪の分布と積雪環境. 低温科学, 70, 21-35
- 落合正宏, 山本鎔子, 野原精一, 福原晴夫 (2012) アカシボ物質の化学的側面. 低温科学, 70, 49-54
- Phomikong P., Fukushima M., Sricharoendham B., Nohara S., Jutagate T. (2014) Diversity and community structure of fishes in the regulated versus unregulated tributaries of the Mekong River. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*,
- Rand P., Fukushima M. (2014) A research and conservation project on Sakhalin taimen, a rare, anadromous salmonid in Eastern Asia. *North Pacific Anadromous Fish Commission Newsletter*, 36, 33-38
- Rand P.S., Fukushima M. (2014) Estimating the size of the spawning population and evaluating environmental controls on migration for a critically endangered Asian salmonid, Sakhalin taimen. *Global Ecology and Conservation*, 2, 214-225
- 佐藤 歩, 小浜暁子, 有田康一, 嶋田哲郎, 江成敬次朗 (2013) 伊豆沼湖畔の給餌池における大腸菌群の挙動 (2013) 伊豆沼・内沼研究会報告, 7, 59-69
- 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
- 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
- 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
- Shimotori K., Watanabe K., Hama T. (2012) Fluorescence characteristics of humic-like fluorescent dissolved organic matter produced by various taxa of marine bacteria. *Aquatic Microbial Ecology*, 65 (3), 249-260
- Shimotori K., Satou T., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Tomioka N., Shinohara R., Miura S. (2016) Quantification and characterization of coastal dissolved organic matter by high-performance exclusion chromatography with ultraviolet absorption, fluorescence, and total organic carbon analyses. *Limnology & Oceanography: Methods* (in print)
- Shinohara R., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Miura S., Sano T., Satou T., Tomioka N. (2012) Biogenic phosphorus compounds in sediment and suspended particles in a shallow eutrophic lake: A 31-P-nuclear magnetic resonance (31-P NMR) study. *Environmental Science & Technology*, 46 (19), 10572-10578
- Shinohara R., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Miura S., Sano T., Satou T., Tomioka N., Shiotori K. (2016) Changes in the composition of phosphorus (P) compound groups in sediment and P in sediment pore water in a shallow eutrophic lake: a 31P NMR study. *Limnology* (in print)
- Shinohara R., Imai A., Kohzu A., Tomioka N., Furusato E., Satou T., Sano T., Komatsu K., Miura S., Shimotori K. (2016) Dynamics of particulate phosphorus in a shallow eutrophic lake. *Science of the Total Environment*, 563-564 (1), 413-423

- Sugai Y., Tsuchiya T., Kuwahara V.S., Shimode S., Komatsu K., Imai A., Toda S. (2016) Bacterial growth rate and the relative abundance of bacteria to heterotrophic Nanoflagellates in the euphotic and disphotic layers in temperate coastal waters of Sagami Bay, Japan. *Journal of Oceanography* (in print)
- 鈴木孝男, 金谷 弦 (2012) 大津波で攪乱された蒲生干潟は回復するのか. *日本ベントス学会誌*, 66 (2), 120-122
- 田辺雄彦, 富岡典子 (2014) 遺伝マーカーを用いたアオコ形成ラン藻 *Microcystis aeruginosa* の多様性解明と定量評価. *水環境学会誌*, 37 (A) (5), 164-168
- Terrel M.M., Fukushima T., Matsushita B., Imai A. (2012) Long-term light environment variability in Lake Biwa and Lake Kasumigaura, Japan: modeling approach. *Limnology*, 13, 237-252
- Tomioka N., Imai A., Komatsu K. (2011) Effect of light availability on *Microcystis aeruginosa* blooms in shallow hypereutrophic Lake Kasumigaura. *Journal of Plankton Research*, 33(8), 1263-1273
- 富岡典子, 高津文人, 霜鳥孝一 (2016) 霞ヶ浦の現状と課題－窒素負荷と底質環境の影響－. *用水と廃水*, 58 (1), 55-60
- Tsuboi S., Yamamura S., Imai A., Satou T., Iwasaki K. (2014) Linking temporal changes in bacterial community structures with the detection and phylogenetic analysis of natural metalloprotease genes in the sediments of a hypereutrophic lake. *Microbes and Environments*, 29 (3), 314-321
- Tsuboi S., Yamamura S., Imai A., Iwasaki K. (2016) Unexpected diversity of *pepA* genes encoding leucine aminopeptidases in sediments from a freshwater lake. *Microbes and Environments*, 31 (1), 49-55
- Tsuchiya K., Kuwahara V.S., Hamasaki K., Tada Y., Ichikawa T., Yoshiki T., Nakajima R., Imai A., Shimoda S. (2015) Typhoon-induced response of phytoplankton and bacteria in temperate coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 167, 458-465
- Tsuchiya K., Kuwahara V.S., Hamasaki K., Tada Y., Ichikawa T., Yoshiki T., Nakajima R., Imai A., Shimoda S., Toda T. (2015) Typhoon-induced response of phytoplankton and bacteria in temperate coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 167, 458-465
- Tsuchiya K., Sano T., Kawasaki N., Fukuda H., Tomioka N., Hamasaki K., Tada Y., Shimode S., Toda T., Imai A. (2015) New radioisotope-free method for measuring bacterial production using [<sup>15</sup>N<sup>5</sup>]-2'-deoxyadenosine and liquid chromatography mass spectrometry (LC-MS) in aquatic environments. *Journal of Oceanography*, 71, 675-683
- Tsukahara K., Sawada H., Matsumura N., Kohno Y., Tamaoki M. (2013) Quantitative trait locus analyses of ozone-induced grain yield reduction in rice. *Environ. Exp. Bot.*, 88, 100-106
- Wada E., Ishii R., Aita M.N., Ogawa N.O., Kohzu A., Hyodo F., Yamada Y. (2013) Possible ideas on carbon and nitrogen trophic fractionation of food chains: A new aspect of food-chain stable isotope and analysis in Lake Biwa, Lake Bikal and the Mongolian grasslands. *Ecol. Res.*, 28, 173-181
- Watanabe K., Komatsu N., Kitamura T., Ishii Y., Park H-D., Miyata R., Noda N., Sekiguchi Y., Satou T., Watanabe Mirai., Yamamura S., Imai A., Hayashi S. (2012) Ecological niche separation in the *Polynucleobacter* subclusters linked to quality of dissolved organic matter: a demonstration using a high sensitivity cultivation-based approach. *Environmental Microbiology*, 14 (9), 2511-2525
- Yamada K., Kumagai N.H. (2012) Importance of seagrass vegetation for habitat partitioning between closely related species, mobile macrofauna *Neomysis* (Mysidacea). *Hydrobiologia*, 680 (1), 125-133
- 山田勝雅, 金谷 弦, 宮崎勝巳, 富山 毅, 玉置雅紀 (2015) 寄生-宿主間の栄養関係に関する研究のこれまでとこれから－アサリ－カイヤドリウミグモを事例に－. *日本水産学会誌*, 81 (5), 888-889
- 山本鎔子, 林 卓志, 落合正広, 福原晴夫, 野原精一, 北村 淳 (2012) 積雪中の融解水による藻類粒子の垂直移動. *低温科学*, 70, 55-59
- Yasuno N., Shindo K., Takagi Y., Kanaya G., Shikano S., Fujimoto Y., Shimada T., Kikuchi E. (2014) Ontogenetic changes in the trophic position of a freshwater Unionidae mussel. *Fundamental and Applied Limnology*, 184 (4), 341-349

古田世子, 池谷仁里, 池田将平, 藤原直樹, 岡本高弘, 一瀬 諭, 馬場大哉, 岸本直之, 今井章雄 (2014) 琵琶湖に棲息する緑藻 *Staurastrum arctiscon* (Desmidiaceae) の生分解特性に関する研究. 水環境学会誌, 37 (3), 103-109

Yoshimura K., Zaitso N., Sekimura Y., Matsushita B., Fukushima T., Imai A. (2012) Parameterization of chlorophyll a-specific absorption coefficients and effects of their variations in a highly eutrophic lake: a case study at Lake Kasumigaura, Japan. *Hydrobiologia*, 691 (1), 157-169

Zhang L., Wang S., Imai A. (2015) Spatial and temporal variations in sediment enzyme activities and their relationship with the trophic status of Erhai Lake. *Ecological Engineering*, 75, 365-369

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)

---

## 2.2 口頭発表

発表者・(暦年)・題目・学会等名称・予稿集名・頁

- 
- 有田康一, 矢部 徹, 玉置雅紀, 中村雅子, 中嶋信美, 林 誠二, 石井裕一, 北村立実, 芝原達也 (2013) 谷津干潟におけるアオサ類の消長と水質環境. 日本水環境学会第 47 回年会, 同講演集, 134
- 有田康一, 矢部 徹, 錦織達啓, 林 誠二 (2014) 福島県松川浦における放射性セシウムの蓄積. 日本水環境学会第 48 回年会, 同講演集, 48
- 有田康一, 矢部 徹, 林 誠二 (2014) 福島県松川浦における底質の放射性セシウム濃度と蓄積量の実態把握. 第 51 回環境工学研究フォーラム, 土木学会論文集 G (環境) (環境工学研究論文集第 51 巻), 70 (7), III\_225-III\_231
- 張 成年, 山本敏博, 丹羽健太郎, 小林 豊, 深山義文, 鳥羽光晴, 山田勝雅, 良永知義 (2012) カイヤドリウミグモの寄生回避に向けた基礎的研究. 日本水産学会平成 24 年度春季大会, 平成 24 年度日本水産学会春季大会予稿集
- Fukushima M. (2011) Fish migration study in the Mekong River using otolith microchemistry. Royal Golden Jubilee Seminar series LXXXI Advances in Fish Ecology Study, Royal Golden Jubilee Seminar series LXXXI Advances in Fish Ecology Study, 9-11 (招待講演)
- Fukushima M. (2011) Reconstructing Sakhalin taimen (*Parahucho perryi*) historical distribution and identifying causes for their local extinction. 25th International Congress for Conservation Biology Workshop Conserving the largest salmon in the world: Challenges and opportunities to protect taimen as threats escalate throughout northern Eurasia, Abstracts of Conserving the largest salmon in the world Challenges and opportunities to protect taimen as threats escalate throughout northern Eurasia
- Fukushima M., Jutagate T., Baran E. (2011) Damming in the Mekong River and Its Impacts on Fish Migration. American Fisheries Society 141st Annual Meeting, Abstracts of American Fisheries Society 141st Annual Meeting, 100
- 福島路生, 野原精一, Jutagate T., Grudpan C. (2012) メコン河における Siamese mud carp の回遊生態解明. 日本魚類学会第 45 回年会, 2012 年度日本魚類学会年会講演要旨, 30
- 福島路生 (2012) 北海道とメコン川流域におけるダム開発と淡水魚類. 流域圏学会 学術研究発表会第 2 回, 流域圏学会誌, 1 (2), 103-104
- 福島路生 (2013) ダムや堰などがもたらす淡水魚類の多様性低下. 魚道セミナー 2013 in 十勝 - 水生生物の生息環境評価と保全・再生の技術 -, 同予稿集, 6-7 (招待講演)
- 福島路生 (2013) ダム開発と淡水魚の保全. 北海道淡水魚保護フォーラム第 13 回, 同予稿集, 5-7
- 福島路生 (2014) メコン川のダム開発と魚類への影響. 上智大学 環境科学特別講座, なし (招待講演)
- 福島路生 (2014) メコン川の生態系サービスとダム開発の影響. 平成 26 年度 上智大学・国立環境研究所連携講座「環境科学特別講座-研究最前線からの報告-」, なし (招待講演)
- 福島路生, 広木幹也, Jutagate T. (2014) ダム湖は湖か? 魚類の食物網解析による検証. 日本生態学会第 61 回全国大会, 同講演要旨
- 福島路生 (2015) ダム開発によって脅かされるメコン川の生態系サービス. 平成 27 年度環境研究総合推進費 研究成果発表会, なし (招待講演)
- Fukushima M. (2015) Modeling Impact of Dams on Masu Salmon in Hokkaido, Japan. 145th Annual Meeting, American Fisheries Society, Portland 2015 145th Annual Meeting August 16th-20th
- 福島路生, Rand P., 水本寛基, 荒木仁志 (2016) 絶滅危惧淡水魚イトウの産卵遡上の特徴. 第 63 回日本生態学会大会, オンラインのみ
- 広木幹也, 千賀有希子, 野原精一 (2012) 釧路湿原における土壌分解活性と植物成分. Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ and The 5th EAFES International Congress, ESJ59/EAFES5 Abstract, 583
- 広木幹也, 富岡典子, 福島路生, 村田智吉, Tuanthong Jutagate, 今井章雄, 小松一弘 (2013) メコン川流域湖沼、ダム貯水池の一次生産速度. 日本生態学会第 60 回大会 (ESJ60), 同講演要旨集, 365
-

- 広木幹也, 村田智吉, 富岡典子, 福島路生, Jutagate T., 今井章雄, 小松一弘 (2014) メコン川流域ダム貯水池における底泥の無機化、分解機能. 日本生態学会第 61 回全国大会, 同講演要旨
- 広木幹也, 富岡典子, 福島路生, 村田智吉, Jutagate T., 今井章雄, 小松一弘 (2014) メコン川流域ダム貯水池における一次生産. 日本陸水学会第 79 回大会, 同予稿集, 200
- 広木幹也, 富岡典子, 福島路生, 村田智吉, Tuanthong Jutagate, 今井章雄, 小松一弘 (2015) メコン川流域ダム貯水池における生産性とその要因. 第 62 回日本生態学会大会, 同講演要旨集
- 広木幹也, 富岡典子, 福島路生, 村田智吉, Tuanthong Jutagate, 今井章雄, 小松一弘 (2016) メコン川流域ダム貯水池の水質とその変動. 日本生態学会第 63 回仙台大会, 同予稿集
- 保原達, 阿江教治, 長谷川裕己, 小川浩史, 佐藤貴之, 今井章雄, Ronald B. (2014) 微生物起源物質は分解産物の生化学的共通性をもたらす. Japan Geoscience Union Meeting 2014, なし
- 今井章雄 (2011) 十和田湖における溶存有機物の特性・起源および動態－2004 年, 濃度上昇の原因とは－」平成 23 年度十和田湖環境保全会議, 十和田湖富士屋グランドホール, 十和田市, 2011.12.26 (招待講演)
- 今井章雄 (2011) 浄水・排水処理プロセスにおける溶存有機物 (DOM) の特性評価－DOM の分画分布と分子サイズ分布で見ると－. CREST 研究「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究会, 京都市, 京都メルパーク, 2011.9.6 (招待講演)
- 今井章雄 (2011) 日本における有機物環境基準について. 日本陸水学会第 76 回大会, 公開シンポジウム I 「指定湖沼が直面する諸問題～湖はどうあるべきか～」, 松江市, 島根大学, 2011.9.24 (招待講演)
- 今井章雄 (2012) 湖沼の水質について－水質をコントロールするもの－. 竹園中学校, つくば市, 2012.9.7 (招待講演)
- 今井章雄, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 高津文人 (2012) 底泥間隙水中の溶存有機物の分画分布および分子サイズ. 日本水環境学会第 46 回年会, 同講演集, 112
- Imai A., Komatsu K., Sato T., Kawasaki N., Tomioka N., Kohzu A., Shinohara R. (2013) Characterization of dissolved organic matter released by cyanobacteria dominant in a shallow eutrophic lake. 2013 International Environmental Engineering Conference and Annual Meeting of the Korean Society of Environmental Engineers (IEEC2013), -, 43
- Imai A., Komatsu K., Sato T., Kohzu A., Shinohara R. (2013) Characterization of dissolved organic matter in sediment porewater of a shallow eutrophic lake. 32nd Congress of the International Society of Limnology, Abstracts, 190
- 今井章雄, 小松一弘, 佐藤貴之, 富岡典子, 高津文人, 篠原隆一郎 (2013) 藍藻由来の細胞外溶存有機物の分画分布と分子サイズ分布. 第 47 回日本水環境学会, 同年会講演集, 116
- 今井章雄 (2013) 霞ヶ浦におけるアオコ形成藍藻類 *Microcystis aeruginosa* の動態. 第 1 回ダム貯水池水質保全対策研究会, (財) ダム水源地環境整備センター, 東京, 2013.1.29 (招待講演)
- 今井章雄 (2014) NIES 霞ヶ浦長期モニタリングと底泥環境研究について－霞ヶ浦底泥で激しい変化が起きている－. 平成 26 年度茨城県霞ヶ浦環境科学センター成果発表会, 霞ヶ浦環境科学センター, 2014.12.9 (招待講演)
- 今井章雄, 佐藤貴之, 小松一弘, 高津文人, 篠原隆一郎, 富岡典子, 霜鳥孝一 (2014) 霞ヶ浦底泥間隙水中の溶存有機物および栄養塩の長期トレンドについて. 日本水環境学会第 48 回年会, 日本水環境学会第 48 回年会講演集, 24
- Imai A., Komatsu K., Sato T., Kohzu A., Shinohara R., Tomioka N., Shimotori K. (2014) Long-term trends in dissolved organic matter, phosphorus and nitrogen in sediment porewater of the shallow eutrophic Lake Kasumigaura, Japan. 8th Shallow Lakes Conference, Abstracts, 192
- 今井章雄, 小松一弘, 佐藤貴之, 高津文人, 篠原隆一郎, 富岡典子, 霜鳥孝一 (2015) 底泥間隙水中の溶存有機物の分解に伴う特性変化. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 197
- 今井章雄 (2015) 長期湖沼モニタリングと関連研究－定性から定量へ－. 科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター (CRDS), H27 環境・エネルギー分野俯瞰とスコープ抽出のための検討会「環境予測・評価技術」, 2015.12.11 (招待講演)
- 今井章雄 (2016) 富栄養湖沼霞ヶ浦における藍藻類ブルームに関する研究. 河川湖沼水環境保全及び水安全戦略技術交流会, 主催: 国立研究開発法人国立環境研究所, 中国水利省長江水利委員会, 国立環境研究所, 2016.4.12 (基調講演)



Imai A. (2016) Characterization of autochthonous dissolved organic matter (DOM) in shallow eutrophic Lake Kasumigaura, Japan: Cyanobacteria-released and sediment-porewater DOMs. International symposium for world water day 2016, Mechanism of cyanobacterial bloom formation and management strategies, Seoul, Korea, National Institute of Environmental Research, Korea, 2016.4.19 (Invited)

今井達郎, 金谷 弦, 木村妙子 (2013) 幼貝期から追跡したウミニナとホソウミニナ混生域の個体群動態. 日本貝類学会平成 25 年度大会, 同予稿集

石田孝信, 早坂大亮, 風早美保, 金谷 弦 (2014) 東北沖津波後の海岸砂丘節足動物群集の動態. 日本生態学会第 61 回全国大会, 同講演要旨

Jutagate T., Fukushima M., Phomikong P., Kwangkhang W. (2015) Lessons from Damming in the Mekong Tributaries: Effects on Riverine Fish Community and Biology. 145th Annual Meeting, American Fisheries Society, Portland 2015 145th Annual Meeting August 16th-20th, American Fisheries Society

Kameyama S., Nohara S., Sato T., Fujii Y. (2011) Fish Habitat Monitoring in the Main Stream of the Mekong River using Fish finder and Acoustic Doppler Current Profiler. 2nd Biennial Symposium of the International Society for River Science 2011, Abstracts for 2nd Biennial Symposium of the International Society for River Science 2011, 142

Kameyama S. (2012) Support of Nature Restoration Project in Northern Vietnam using GIS & Remote Sensing. 2012 Special Lecture: Remote sensing water environment monitoring, Rearing Program for Basin Water Environmental Leaders, なし

亀山 哲 (2012) 流域管理と生態系サービス－流域の生態系保全と開発－. 2012 年スーパーサイエンスハイスクール科学講演会, なし (招待講演)

亀山 哲, 岡 健太 (2012) 生態系と水～アクアリウムから考えてみよう～. 2012 サイエンス Q (筑波研究学園都市交流協議会), なし

Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano T., Nohara S. (2012) Nature Restoration of Mangrove Ecosystem in Vietnam using Remote Sensing. The 33rd Asian Conference On Remote Sensing, Abstracts CD, PS1-62

Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano T., Nohara S. (2013) Nature Restoration of Mangrove Ecosystem in Northern Vietnam using Remote Sensing and GIS (from Shrimp pond to Mangrove Forest). Regional Symposium on Mangrove Ecosystem Management in Southeast Asia, Program Book (Regional Symposium on Mangrove Ecosystem Management in Southeast Asia), B3.10

Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano T., Nohara S. (2013) Strategic Assessment and Restoration Approach for Mangrove Ecosystem in Vietnam. 6th Annual International Conference on Agriculture, Agriculture Abstracts 6th Annual International Conference Agriculture, 41-42

亀山 哲 (2013) 生態系と水～アクアリウムから考えてみよう～. 2013 サイエンス Q, なし

Kameyama S. (2013) Strategic Environmental Assessment and Nature Restoration Project for Mangrove Wetland using GIS & Remote Sensing. 2013 Rearing Program for Basin Water Environmental Leaders, - (招待講演)

亀山 哲, 宮本千晴, 須田清治, 浅野哲美, 野原精一 (2013) マングローブ湿地を対象とした 戦略的環境アセスメントおよび自然再生に関する支援技術の開発. 文部科学省 2013 年 SSH 分科講演会, なし (招待講演)

亀山 哲, 宮本千晴, 須田清治, 浅野哲美, 野原精一 (2014) アジアにおけるマングローブ湿地の再生プロジェクト～ベトナムの現地に出合った・測った・考えた～. SSH 科学講演会平成 26 年度, なし (招待講演)

亀山 哲, 岡健太 (2014) 川にすむ生物のくらし－アクアリウムから考えてみよう－. 2014 年サイエンス Q 事業, なし

亀山 哲, 山形与志樹, 野原精一 (2014) 自然再生と生態系サービスの活用で創造するスマートビレッジの未来～釧路川流域の事例～. 第 17 回自然系調査研究機関連絡会議 (NORNAC17) 調査研究・活動事例発表会, 第 17 回自然系調査研究機関連絡会議 (NORNAC17) 調査研究・活動事例発表会プログラム・要旨集, 14

---

Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano T., Nohara S. (2014) Nature Restoration of Mangrove Ecosystem in Vietnam using Remote Sensing and GIS (From shrimp pond to mangrove forest). The International Conference on Mangroves of Asia-Pacific Countries in View of Climate Change 2014, Abstracts for The International Conference on Mangroves of Asia-Pacific Countries in View of Climate Change 2014, 32 (招待講演)

Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano T., Nohara S. (2014) Strategic Assessment for Mangrove Wetland Restoration in Northern Vietnam. 61th Annual Meeting of Ecological Society of Japan, Abstracts

Kameyama S., Yamagata Y., Nohara S., Sato M., Terui S. (2015) Flow and water temperature simulation with future scenarios for watershed ecosystem management in Kushiro River. The 62nd Ecological Society of Japan Annual Meeting, Abstracts

亀山 哲, 野原精一, 宮本千晴, 須田清治, 浅野哲美 (2015) 東南アジアのマングローブ湿地を対象とした自然再生に関する支援技術の開発と適応－放棄されたエビ養殖池をマングローブの森へ－. 国立環境研究所公開シンポジウム 2015, 同予稿集, 15

亀山 哲, 岡 健太 (2015) 川にすむ生物のくらし～アクアリウムから考える水生生物と流域の生態系～. 2015 サイエンス Q プログラム講座, 小絹中学校, なし

亀山 哲, 岡 健太, 成田正司 (2015) 川にすむ生物のくらし～アクアリウムから考える水生生物と流域の生態系～. 平成 26 年度サイエンス Q プログラム, なし (招待講演)

Kameyama S. (2015) The impact of river water quality change and watershed fragmentation on freshwater fish habitat in Japan. Pollution Process and Control of Nitrogen and Phosphorus in River Basin Workshop 2015, Abstracts (招待講演)

亀山 哲 (2015) 森・里・川・海を繋ぐ流域圏生態系の保全と再生～自然共生社会を目指す GIS ～. つくば GIS セミナー 2015, なし (招待講演)

亀山 哲 (2015) 東南アジアのマングローブ湿地を対象とした自然再生に関する支援技術の開発と適用. 13 回環境研究シンポジウム, 2050 年の地球と暮らし－環境技術と地球規模課題－, 72

Kameyama S., Miyamoto C., Suda S., Asano S., Nohara S. (2016) The Evaluation of Mangrove Ecosystem Restoration Project for Shrimp pond in Vietnam. The 63rd Annual Meeting of Ecological Society of Japan, ESJ63 Abstract P2-345

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

金谷 弦, 中村泰男, 牧 秀明, 高津文人 (2011) ベントスの  $\delta^{15}\text{N}$  における非常に大きな季節変動：大井海浜公園人工干潟（東京都品川区）での事例. 2011 年度ベントス・プランクトン若手の会, なし

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

金谷 弦, 鈴木孝男, 牧 秀明, 中村泰男, 菊地永祐 (2012) 蒲生潟における地形・環境の変化と底生動物への影響評価. 市民公開シンポジウム「大津波で被害を受けた沿岸域の生物多様性の現状」, なし

Kanaya G., Maki H., Nakamura Y., Suzuki T., Kikuchi E. (2012) Influences of the Tsunami disaster on a shallow brackish lagoon ecosystem (Gamo Lagoon, Japan). Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ and The 5th EAFES International Congress, ESJ59/EAFES5 Abstract

Kanaya G., Suzuki T., Maki H., Nakamura Y., Kikuchi E. (2012) Resiliency of the macrozoobenthic community in a shallow brackish lagoon (Gamo Lagoon, Sendai Bay, Japan) to tsunami disturbance. The 1st Asian Marine Biology Symposium, Abstracts, 42

金谷 弦, 中村泰男, 小泉知義, 牧 秀明 (2012) 東京湾奥部の京浜運河（品川区大井）における大型底生動物群集の季節変動：底泥への硫化水素蓄積と貧酸素水塊による影響. 2012 年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 同予稿集, 23-23

金谷 弦, 中村泰男, 小泉知義, 牧 秀明 (2013) 京浜運河・大井人工干潟（東京都）における大型底生動物群集の季節変動：貧酸素、底質劣化と生物間相互作用の影響. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会 2013 年, 同予稿集, 125

---

金谷 弦, 中村泰男, 小泉知義, 牧 秀明 (2013) 東京湾京浜運河の人工干潟におけるベントス群集の季節変動: 底質環境の悪化と貧酸素水塊による影響. 九州生態談話会第 38 回, なし

金谷 弦, Yurlova I Natalia, 鹿野秀一 (2013) 生態系内における寄生虫を介した物質循環: 安定同位体比による解析. 生態学・疫学談話会第 28 回, なし (招待講演)

Kanaya G., Suzuki T., Sato-Okoshi W. (2013) Disturbance and recovery of biota in a national wildlife protection area after the 2011 tsunami disaster: a case study in Gamo Lagoon facing Sendai Bay, Japan. 1st Asia Parks Congress, Abstracts, 272

金谷 弦, 鈴木孝男 (2013) 蒲生干潟の 20 年: 底生動物群集の長期経年変動と津波 による影響評価. 日本生態学会第 60 回大会 (ESJ60), 同予稿集, 60

金谷 弦, 鈴木孝男, 大越和加, 牧 秀明, 菊地永祐 (2014) 津波がもたらした環境攪乱と生物相の遷移 - 仙台市蒲生干潟を例にして. 日本水環境学会第 48 回年会 (2013 年度), 同予稿集, 264 (招待講演)

金谷 弦, 牧 秀明, 藤林 恵, 西村 修, 山田勝雅, 三浦 収, 中井静子, 玉置雅紀 (2014) アオサ類の大増殖が干潟の食物網構造に及ぼす影響 - 脂肪酸マーカーと安定同位体比による検証 -. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会 2014 年度合同大会, 同予稿集, 39

Kanaya G., Suzuki T., Sato-Okoshi W., Kikuchi E. (2014) Ecological consequences of the tsunami disaster in a shallow brackish lagoon (Gamo Lagoon) in Sendai Bay Japan. IUBS Triennial Program DAB in cooperation with Biodiversity Network Japan International Symposium & Workshop Disaster and Biodiversity, Abstracts, 43-45 (招待講演)

金谷 弦, 富山 毅, 鈴木孝男 (2015) 外来性巻貝サキグロタマツメタの安定同位体比が示すもの - 生息場所や成長段階によって餌利用は変化するのか? -. 平成 27 年度春季水産学会水産環境保全委員会企画シンポジウム, 同予稿集 (招待講演)

金田治彦, 荻原香大, 渡邊未来, 柏矢倉大介, 菅沼好一, 三浦真吾, 大森牧子, 林 誠二 (2014) 栃木県鹿沼地域における森林環境と溪流水質について. 日本陸水学会第 7 9 回大会, 同講演要旨集, 45

河合実名子, 岸正 敏, 川崎伸之, 今井章雄, 戸田龍樹 (2013) 浸出水と人工基質の共消化における分解特性. 第 47 回日本水環境学会, 同年会講演集, 609

Kawasaki N., Imai A., Komatsu K., Kohzu A., Sato T., Hamasaki K., Tada Y., Kushairi M.R. (2012) Bacterial contribution of organic matter to aquatic environments. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, -

児玉真史, 金谷 弦, 山田勝雅 (2015) 炭素・窒素同位体比でひも解く水産生物をとりまく環境の複雑さ. 平成 27 年度春季水産学会水産環境保全委員会企画シンポジウム, 同予稿集

Kohzu A., Imai A., Nakajima Y., Osaka K., Komatsu K., Kawasaki N., Miura S., Sato T. (2011) The introduction of the denitrifier method for the analysis of nitrate delta15N and delta18O and their variation in the surface water of Lake Kasumigaura from 2000 to 2005. The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, Abstract of The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition Toward sustainable water supply and recycling systems, 256

高津文人 (2011) 安定同位体自然存在比による植物の窒素栄養に関する研究紹介 - 菌根共生系, 湿地生態系, 河畔生態系を例に -. 「重窒素圃場利用研究会」第 30 回討論会, なし (招待講演)

高津文人, 今井章雄, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 三浦真吾, 中島泰弘, 尾坂兼一 (2012) 硝酸イオン・懸濁態有機物の同位体組成による 2000 ~ 2005 年における霞ヶ浦湖水柱での窒素循環の解析. 日本水環境学会第 46 回年会, 第 46 回日本水環境学会年会講演集, 231

Kohzu A., Watanabe M., Hayashi S., Imai A., Nakajima Y., Osaka K., Miura S. (2012) Metabolism in forest ecosystems from the analysis of nitrate 15N and 18O natural abundances in mountain streams around Mt. Tsukuba, Japan. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, -

Kohzu A., Watanabe M., Hayashi S., Miura S., Imai A. (2013) Comparison based on concentration, d15N, and d18O of nitrate to analyze run-off nitrate discharge processes different between two mountain streams around Mt. Tsukuba, Japan. 3rd International Conference on Nitrification (ICoN3), Tokyo, Japan, 2013.9.2-9.5. 73.

高津文人, 今井章雄 (2013) 河川水・湖水の硝酸および溶存無機炭素の安定同位体比による流域における窒素・炭素循環の解析. 日本地球化学会第 60 回年会, 同予稿集, 166

- 高津文人, 今井章雄, 小松一弘, 三浦真吾, 川崎伸之, 佐藤貴之, 篠原隆一郎 (2013) 安定同位体分析による出水時の河川水溶存無機炭素の起源推定. 第 47 回日本水環境学会, 同年会講演集, 110
- 高津文人, 三浦真吾, 今井章雄, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 篠原隆一郎, 渡邊未来, 林 誠二, 中島泰弘, 尾坂兼一 (2015) 硝酸イオンの酸素と窒素の安定同位体比による負荷源別負荷割合算定結果の検証. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 303-303
- 高津文人, 三浦真吾, 今井章雄, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 篠原隆一郎, 渡邊未来, 林 誠二, 中島泰弘, 尾坂兼一 (2016) 小河水中の硝酸イオンの窒素と酸素の安定同位体比に影響する環境因子. 第 50 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 208
- Komatsu K., Imai A., Yonekawa H., Hashimoto T., Kawasaki N., Sato T., Kohzu A. (2011) Characterization of dissolved organic matter in water reclamation process. The 4th IWA-ASPIRE Conference and exhibition, Abstracts, 192-193
- Komatsu K. (2012) Recent research topics on dissolved organic matter (DOM) -Molecular size distribution, composition, and fluorescence properties. 6th Water Environment Seminar, -
- 小松一弘, 今井章雄, 富岡典子, 篠原隆一郎, 佐藤貴之, 高津文人, 三浦真吾 (2012) 三次元励起蛍光マトリックス (EEM) における「フミン様物質」が示すもの. 日本水環境学会第 46 回年会, 第 46 回日本水環境学会年会講演集, 113
- 小松一弘, 今井章雄, 佐藤貴之, 富岡典子, 篠原隆一郎, 高津文人, 土屋健司 (2013) Fast Repetition Rate Fluorometry (FRRF) 法による湖沼での一次生産測定. 第 47 回日本水環境学会, 同年会講演集, 342
- Komatsu K., Imai A., Shimotori K., Sato T., Shinohara R., Kohzu A., Tomioka N. (2014) Characterization of DOM in shallow and deep lakes in Japan by using EEM-PARAFAC. 8th Shallow Lakes Conference, Abstracts, 145
- 小松一弘, 今井章雄 (2014) 長期モニタリングで見えた? 霞ヶ浦 (西浦) における水質対策の効果と今後のあり方. 日本陸水学会第 79 回大会, 同予稿集, 135-136
- 小松一弘, 今井章雄, 霜鳥孝一, 佐藤貴之, 富岡典子, 高津文人, 篠原隆一郎, 三浦真吾 (2014) EEM-PARAFAC 法を用いた湖水中溶存有機物 (DOM) の特性評価. 日本水環境学会第 48 回年会, 同予稿集, 23
- 小松一弘, 今井章雄, 佐藤貴之, 霜鳥孝一, 高津文人, 富岡典子, 篠原隆一郎, 川崎伸之 (2015) オゾン及び凝集処理による溶存態有機物の特性変化. 日本陸水学会 第 80 回大会, 同予稿集, 123
- 小松一弘, 今井章雄, 富岡典子, 高村典子, 中川 恵 (2015) FRRF (Fast Repetition Rate Fluorometry) 法による一次生産速度の測定及び従前法との比較検討. 第 49 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 21
- 近藤智彦, 阿部博和, 金谷弦, 西谷 豪, 遠藤宜成, 大越和加 (2014) 東北地方太平洋沖地震と津波による攪乱後のスピオ科多毛類 *Pseudopolydora cf. kemp* と *P. reticulata* の個体群動態. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会 2014 年度合同大会, 同予稿集, 58
- 越川昌美, 渡邊未来, 越川海, 小松一弘, 今井章雄, 稲葉一穂, 高松武次郎 (2011) 霞ヶ浦湖水におけるアルミニウムの化学形態. 日本陸水学会第 76 回大会, 日本陸水学会第 76 回大会講演要旨集, 131
- Koshikawa-K.M., Watanabe Mirai., Shin K.C., Takamatsu T., Hayashi S., Nakano T. (2012) Contribution of volcanic ash on base cation cycles in the Mt. Tsukuba forest ecosystem of Kanto, Japan as interpreted by strontium isotopes. 2012 ASLO aquatic sciences meeting, Abstracts
- 越川昌美, 渡邊未来, 錦織達啓, 渡邊圭司, 高松武次郎, 中野孝教, 林 誠二 (2014) 窒素飽和状態にある筑波山における渓流水中 Ca 濃度の長期比較. 日本陸水学会第 79 回大会, 同講演要旨集, 44
- 越川昌美, 渡邊未来, 村田智吉, 林 誠二 (2015) 窒素飽和森林からの塩基カチオン流出について. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 同予稿集
- Matsunaka T., Nishimura M., Morita Y., Watanabe T., Nakamura T., Zhu L., Nara F.W., Imai A., Sasa K., Sueki K., Izutsu Y., Hasuike K. (2013) Paleoclimatic changes on the southern Tibetan Plateau after the Last Glacial Maximum recorded in Lake Pumoyun Co, and its implication for the Southwest monsoon evolution. 5th East Asia AMS Symposium, Abstracts
- 松中哲也, 西村弥亜, 守田益宗, 渡邊隆広, 中村俊夫, Liping Zhu, 奈良郁子, 今井章雄, 笹 公和, 末木啓介, 井筒康裕, 蓮池一哉 (2013) チベット高原南部域の湖沼堆積物に基づく 19,000 年前以降の南西モンスーン変動の解析. 日本地球化学会第 60 回年会 2013 年度, つくば市, 同予稿集, -

三浦 収, 牧野 渡, 金谷 弦, 中井静子, 佐藤信子, 占部城太郎 (2013) 干潟に生息する巻貝ホソウミナは津波によりどのようなダメージを受けたのか?。大規模自然災害と生物多様性- 2014 国際シンポジウム事前集会-, 同予稿集, 17-18

Miura O., Kanaya G., Nakai S., Makino W., Urabe J. (2014) Ecological and genetic monitoring of the Asian mud snail *Batillaria attramentaria*, after the 2011 tsunami. IUBS Triennial Program DAB in cooperation with Biodiversity Network Japan International Symposium & Workshop Disaster and Biodiversity, Abstracts, 42 (招待講演)

三浦真吾, 渡邊未来, 林 誠二, 高津文人, 今井章雄, 小松一弘, 川崎伸之, 佐藤貴之, 富岡典子, 篠原隆一郎 (2011) 筑波山における植生及び地形要因と渓流水中 NO<sub>3</sub>-N 濃度との関係。日本陸水学会第 76 回大会, 日本陸水学会第 76 回大会講演要旨集, 194

Miyamoto Y., Yamada K., Yamaguchi K., Hamaguchi M. (2012) Direct and indirect effects of asian mussel on manila clam in a brackish lagoon. The 59th Annual Meetings of Ecological Society of Japan, Abstracts of The 59th Annual Meetings of Ecological Society of Japan

宮本 康, 山田勝雅, 浜口昌巳 (2012) 過去 100 年間に生じた中海における貧酸素水域の拡大。2012 年日本ベントス・プランクトン学会合同大会, 同予稿集, 24

宮本 康, 山田勝雅, 畠山恵介, 初田亜希子, 浜口昌巳 (2013) 二枚貝の分布制限要因としての生物間相互作用 - 海藻の被覆が引き起こすアサリの斃死 -。鳥根大学汽水域研究センター第 20 回新春恒例汽水域研究発表会, 同予稿集, 19

宮本 康, 畠山恵介, 山田勝雅, 浜口昌巳 (2013) 海藻がアサリに与える影響: 底生微生物を介した間接効果。日本生態学会第 60 回大会 (ESJ60), 同予稿集, 288

宮崎勝己, 山田勝雅, 鳥羽光晴 (2013) カイヤドリウミグモの後胚発生段階区分とその現場動態調査への応用。日本水産学会平成 25 年度春季大会, 同予稿集, 83

Momota K., Yamada K., Hori M., Nakaoka M. (2012) Relationship between epifaunal community structure and environmental gradient in eelgrass beds of Akkeshi, northern Japan. 41th Benthic Ecology Meeting, Abstracts

Mori K., Kanaya G. (2014) Study on mercury concentration of several fishes through food web in Minamata Bay, Kyushu, Japan, using carbon and nitrogen isotope analysis. The Second Asian Marine Biology Symposium, Abstracts, 153

Muraoka A., Kanaya G., Shikano S. (2012) The spatio-temporal distribution of *dsrB*-encoding microbial community structures in response to environmental gradients in the sediments of two brackish lagoons. Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ and The 5th EAFES International Congress, ESJ59/EAFES5 Abstract <日本生態学会ポスター賞 (Excellent Poster Award) awarded>

Murata T., Hiroki M., Tomioka N., Nohara S., Yoshida K., Fukushima M., Imai A., Jutagate T., Srean P., Praxaysombath B. (2014) Sedimentation Processes of Phosphorus in the Catena in Dam Reservoirs in the Mekong River Basin. 20th World Congress of Soil Science, Proceedings of 20th World Congress of Soil Science, (P1-111)

村田智吉, 広木幹也, 富岡典子, 野原精一, 吉田勝彦, 福島路生, 今井章雄, Jutagate T. (2014) メコン流域ダム貯水池における湖岸, 湖底のリンの蓄積形態。日本ペドロロジー学会 2014 年度大会, 同講演要旨集, 40

Murata T., Hiroki M., Tomioka N., Yoshida K., Komatsu K., Fukushima M., Imai A., Utsugawa T., Jutagate T., Praxaysombath B. (2015) Sedimentation processes observed in Nam Ngum dam reservoir of Laos -A newly generated environment on the bottom in a tropical dam reservoir of the Mekong River Basin-. XIX INQUA, XIX INQUA 2015

中村方哉, 矢部 徹, 玉置雅紀, 石井裕一, 有田康一, 中村雅子, 中嶋信美 (2015) 異なるアオサ種の環境応答性に関する研究。日本藻類学会第 39 回大会, 同プログラム, 69

中村方哉, 矢部 徹, 玉置雅紀, 有田康一, 石井裕一, 中嶋信美 (2016) 谷津干潟でグリーンタイドを形成するミナミアオサの生理特性。日本藻類学会第 40 回大会, 同プログラム, 49

中村雅子, 矢部 徹, 牛山克巳, 神谷要, 石井裕一, 相崎守弘 (2011) ガンカモ類越冬池と中継池における水質季節変化の違い。日本陸水学会第 76 回大会, 日本陸水学会第 76 回大会講演要旨集, 227

中村雅子, 矢部 徹, 神谷 要, 相崎守弘 (2011) ガンカモ類による負荷量がネグラ水域に及ぼす影響を予測する。日本鳥学会 2011 年度大会, 日本鳥学会 2011 年度大会講演要旨集, 124

- 中村雅子, 嶋田哲郎, 矢部 徹, 相崎守弘 (2012) 伊豆沼・内沼における渡り性ガンカモ類による栄養塩持込量の40年の経年変化. 日本鳥学会2012年度大会, 同要旨集, 131
- 中村雅子, 矢部 徹, 芝原達也, 有田康一, 石井裕一, 相崎守弘 (2012) 谷津干潟に飛来する水鳥による栄養塩輸送量. 日本陸水学会第77回大会, 同講演要旨集, 101
- 中村雅子, 矢部 徹, 芝原達也, 有田康一, 石井裕一, 相崎守弘, 林 誠二 (2013) 谷津干潟に飛来する水鳥による栄養塩輸送量. 日本生態学会第60回大会 (ESJ60), 第60回日本生態学会大会講演要旨集, 363
- 中村雅子, 矢部 徹, 神谷 要, 相崎守弘 (2013) ガンカモ類排泄物中の窒素・リンの水中における分解過程および分解率. 日本鳥学会2013年度大会, 同要旨集, 192
- 仁科一哉, 伊藤昭彦, 花崎直太, 眞崎良光 (2014) 窒素肥料および窒素降下物による全球陸域窒素循環の改変. 日本地球惑星科学連合2014年大会, 同予稿集
- Nishina K., Ito A., Hayashi S. (2015) Development of new historical global Nitrogen fertilizer map and the evaluation of their impacts on terrestrial N cycling. AGU Fall meeting, -
- 野原精一, 安類智仁, SPP 生徒 (2011) 尾瀬ヶ原池とうの水質と水生生物モニタリング. 日本陸水学会第76回大会, 同予稿集, 208
- 野原精一 (2012) 湿地生態系の環境放射性物質汚染. 日本陸水学会第77回大会, 同予稿集, 99
- 野原精一 (2014) 河川・湖沼生態系の放射性物質の汚染と移動. 日本生態学会第61回全国大会, 同予稿集
- 荻原香大, 渡邊未来, 柏矢倉大介 (2013) 栃木県鹿沼地域の森林における窒素飽和の現状評価. 日本陸水学会第78回大会, 同講演要旨集, 31
- 岡本高弘, 佐藤裕一, 早川和秀, 今井章雄, 小松英司, 奥村陽子, 南 真紀, 三和伸彦, 藤原直樹 (2012) 琵琶湖における第6期湖沼水質保全計画の策定について (1) ~水質評価における課題~. 日本水環境学会第46回年会, 同講演集, 13
- 大槻 朝, 鈴木孝男, 木下今日子, 金谷 弦, 富山 毅, 牧野 渡, 佐藤慎一, 大越健嗣, 占部城太郎 (2016) サキグロクマツメタ (*Euspira fortunei*) 集団の人為移動履歴を遺伝的構造から探る. 日本生態学会第63回全国大会, 同予稿集
- Rand P.S., Caouette B.W., Osanai K., Fukushima M., Tsujimoto A., Reeves G. (2011) Establishing a Reserve for a Threatened Salmonid in a Working Forest in Japan. American Fisheries Society 141st Annual Meeting, Abstracts of American Fisheries Society 141st Annual Meeting
- Rand P.S., Fukushima M., Zhivotovsky L., Zolotukhin S.F., Zimmerman C.E., Weiss S. (2011) Conserving Sakhalin Taimen, One of the Largest Salmonids In the World: Applying Results of Studies On Life History Diversity, Population Differentiation and Local Extinction Risk. American Fisheries Society 141st Annual Meeting, Abstracts of American Fisheries Society 141st Annual Meeting
- 佐々木雄大, 山田勝雅, 松崎慎一郎 (2012) 種の形質および機能の違いを考慮した生物多様性の定量化: 機能的多様性の研究の展開. 日本生態学会第59回大会 (ESJ59), 日本生態学会第59回全国大会講演要旨集
- Sato T., Kawasaki N., Komatsu K., Imai A., Kohzu A., Miura S. (2011) Distribution Patterns of Dissolved Carbohydrates in Eutrophic Lake Kasumigaura. The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition Toward sustainable water supply and recycling systems, Abstract of The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition Toward sustainable water supply and recycling systems, 466
- 佐藤貴之, 川崎伸之, 今井章雄, 小松一弘, 高津文人, 三浦真吾, 篠原隆一郎, 富岡典子 (2011) 霞ヶ浦底泥および底泥間隙水における炭水化物動態と栄養塩の濃度分布との関係. 日本陸水学会第76回大会, 日本陸水学会第76回大会講演要旨集, 132
- 佐藤貴之, 今井章雄, 小松一弘, 高津文人, 篠原隆一郎, 富岡典子 (2013) 霞ヶ浦底泥間隙水における炭水化物動態と溶存有機物の分子サイズ分布との関係. 第47回日本水環境学会, 同年会講演集, 365
- 佐藤貴之, 今井章雄, 小松一弘, 高津文人, 篠原隆一郎, 富岡典子, 三浦真吾 (2013) 霞ヶ浦湖水および底泥間隙水における溶存有機物の分子サイズ分布. 日本陸水学会第78回大会, 同予稿集, -

島野智之, 永幡嘉之, 金谷 弦, 岸本年郎, 八巻明香 (2012) 東日本大震災による津波が海浜生態系に与えた影響. 日本土壤動物学会第 35 回, なし

Shimotori K., Watanabe K., Hama T. (2012) Relationship between fluorescence characteristics and molecular weight of fluorescent dissolved organic matter produced by bacteria. 2012 ASLO Summer Meeting, Abstracts, 42

霜鳥孝一, 今井章雄, 渡邊未来, 高津文人, 小松一弘, 佐藤貴之, 三浦真吾, 篠原隆一郎, 富岡典子, 越川昌美, 林 誠二 (2014) 霞ヶ浦底泥中のリンと金属元素の関連. 日本陸水学会第 79 回大会, 同予稿集, 122

霜鳥孝一, 佐藤貴之, 今井章雄, 小松一弘, 高津文人, 篠原隆一郎, 富岡典子, 三浦真吾 (2014) 海洋溶存態有機物の分子量と炭素の分布. 日本海洋学会 2014 年度秋季大会, 同予稿集, 110

霜鳥孝一, 今井章雄, 高津文人, 小松一弘, 佐藤貴之, 富岡典子, 篠原隆一郎, 三浦真吾, 桐山徳也, 岡本高弘 (2015) 湖沼における底泥表層の酸素消費速度. 日本陸水学会第 80 回大会, 同予稿集, 124

Shinohara R., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Miura S., Satou K., Tomioka N. (2012) Phosphorus compounds of suspended particles and sediment in Lake Kasumiugara ? A 31P NMR study. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, -

篠原隆一郎, 今井章雄, 川崎伸之, 小松一弘, 高津文人, 三浦真吾, 佐藤貴之, 富岡典子 (2012) 核磁気共鳴装置を用いた霞ヶ浦の底泥中に含まれるリンの形態分析. 日本陸水学会第 77 回大会, 同予稿集, 105

篠原隆一郎, 今井章雄, 川崎伸之, 小松一弘, 高津文人, 三浦真吾, 佐藤友春, 佐藤貴之, 富岡典子 (2013) 核磁気共鳴法 (31P-NMR) を用いた霞ヶ浦底泥に対するリンの形態分析. 第 47 回日本水環境学会, 同年会講演集, 110

篠原隆一郎, 今井章雄, 川崎伸之, 小松一弘, 高津文人, 三浦真吾, 佐野友春, 佐藤貴之, 富岡典子 (2013) 霞ヶ浦底泥中に存在する生物由来リンの形態と間隙水中のリン濃度との関係. 応用生態工学会第 17 回大阪大会, 同予稿集, -

Shinohara R., Imai A., Kawasaki N., Komatsu K., Kohzu A., Miura S., Sano T., Sato T., Tomioka N., Shimotori K. (2014) Temporal and Vertical Changes in Sediment P Compounds in Lake Kasumigaura, Japan - A31 P Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy Study. Joint Aquatic Sciences Meeting 2014, -

篠原隆一郎, 今井章雄, 富岡典子, 高津文人, 小松一弘, 佐藤貴之, 佐野友春, 三浦真吾, 霜鳥孝一 (2014) 霞ヶ浦の懸濁物に含まれるリン化合物の動態について. 応用生態工学会第 18 回大会, 同予稿集, 223

篠原隆一郎, 今井章雄, 富岡典子, 高津文人, 小松一弘, 佐藤貴之, 佐野友春, 三浦真吾, 霜鳥孝一 (2014) 霞ヶ浦懸濁物中に含まれる核酸に含まれるリンの動態について. 日本陸水学会第 79 回大会, 同予稿集, 121

Shinohara R., Imai A., Komatsu K., Kohzu A., Miura S., Sano T., Sato T., Tomioka N., Shimotori K. (2015) Phosphorus (P) speciation in aquatic macrophytes around Lake Kasumigaura: A 31P NMR study.. Water and Environment Technology Conference 2015, WET2015, 43

篠原隆一郎, 今井章雄, 霜鳥孝一, 高津文人, 佐藤貴之, 小松一弘, 富岡典子, 三浦真吾 (2015) 霞ヶ浦における粒子状物質の動態について. 応用生態工学会 第 19 回郡山大会, 同予稿集, 147

篠原隆一郎, 今井章雄, 富岡典子, 高津文人, 小松一弘, 佐藤貴之, 佐野友春, 三浦真吾, 霜鳥孝一 (2015) 霞ヶ浦の懸濁物に含まれる有機態リン化合物の動態について. 地球惑星科学連合 連合大会 2015, なし

杉原奈央子, 風呂田利夫, 山田勝雅, 岡本 研 (2012) お台場におけるホンビノスガイの個体群動態. 2012 年日本ベントス・プランクトン学会合同大会, 同予稿集, 132

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

田中 敦, 土井妙子, 高津文人, 小松一弘, 今井章雄, 森野 悠, 大原利真, 榊本和義, 豊田晃弘 (2011) 霞ヶ浦湖水・底質中の放射性核種の分布と動態. 日本陸水学会第 76 回大会, 日本陸水学会第 76 回大会講演要旨集, 41

田中 敦, 荻部甚一, 高津文人, 今井章雄, 林 誠二 (2013) 霞ヶ浦底質中の放射性セシウムの水平・鉛直分布と経時変動. 日本地球化学会第 60 回年会 2013 年度, 同予稿集, 271

Tomioka N., Imai A., Komatsu K. (2011) Seasonal Dynamics of *Microcystis aeruginosa* in Eutrophic Lake Kasumigaura. The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, Abstracts of The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition Toward sustainable water supply and recycling systems, 522-523

Tomioka N., Imai A., Komatsu K., Fukushima M. (2011) An analysis of temporal dynamics of *Microcystis aeruginosa* in eutrophic Lake Kasumigaura by real-time PCR. International Symposium on *Microcystis* Studies from Asia, Abstract of International Symposium on *Microcystis* Studies from Asia, 35

富岡典子, 福島路生, 広木幹也, 村田智吉, 今井章雄, 小松一弘, Jutagate T. (2013) メコン川流域湖沼、ダム貯水池の藍藻の挙動について. 第47回日本水環境学会, 同年会講演集, 18

富岡典子, 今井章雄, 小松一弘, 高津文人, 篠原隆一郎, 佐藤貴之 (2014) 霞ヶ浦におけるアオコ発生時の *Microcystis aeruginosa* の挙動について. 日本陸水学会第79回大会, 同講演要旨集, 69

富岡典子, 福島路生, 広木幹也, 村田智吉, 今井章雄, 小松一弘 (2015) メコン川流域ダム貯水池の *M.aeruginosa* の挙動と栄養塩の関係について. 第49回日本水環境学会年会, 同予稿集, 19

富岡典子, 福島路生, 広木幹也, 村田智吉, 今井章雄, 小松一弘 (2016) メコン川流域ダム貯水池のピコシアノバクテリアの挙動と栄養塩の関係について. 第50回水環境学会年会, 第50回水環境学会年会講演要旨集, 335

豊田健介, 山田勝雅, 長田敬五 (2012) 有縦溝珪藻 *Cylindrotheca closterium* に感染する新奇 RNA ウイルスについて. 日本藻類学会第36回大会, 同予稿集

坪井 隼, 岩崎一弘, 山村茂樹, 稲葉一穂, 今井章雄, 小松一弘, 高津文人, 富岡典子 (2013) 霞ヶ浦底泥における細菌群集構造の経時的変動とその生態系機能の推定. 環境バイオテクノロジー学会2013年度大会, 同予稿集, 37

坪井 隼, 今井章雄, 稲葉一穂, 山村茂樹, 高津文人, 小松一弘, 富岡典子, 岩崎一弘 (2013) 霞ヶ浦底泥表層の細菌群集構造とその経時的変動. 第47回日本水環境学会, 同年会講演集, 140

坪井 隼, 山村茂樹, 高津文人, 今井章雄, 岩崎一弘 (2014) 富栄養淡水湖底泥における活性のあるメタン生成古細菌群集の多様性. 環境微生物系学会合同大会2014, 同予稿集, 202

坪井 隼, 山村茂樹, 今井章雄, 岩崎一弘 (2014) 過栄養湖である霞ヶ浦底泥における各種細菌由来プロテアーゼ遺伝子の多様性. 日本生物工学会第66回大会, 同予稿集, 108

Tsuchiya K., Nakajima R., Kuwahara V.S., Hamasaki K., Tada Y., Kikuchi T., Imai A., Toda T. (2012) Fast response to bacteria to Typhoon Malou passage in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, -

土屋健司, 戸田龍樹, 浜崎浩二, 多田雄哉, 今井章雄, 市川忠史, 菊池智彦 (2013) 相模湾沿岸域における2010年台風 Malou 通過に対する低次生物生産群集の応答. 第47回日本水環境学会, 同年会講演集, 138

土屋健司, 戸田龍樹, 川崎伸之, 佐野友春, 富岡典子, 今井章雄, 福田秀樹, 浜崎恒二, 多田雄哉, 下出信次 (2015) 放射性同位体を全く使用しないバクテリア生産量測定法の開発. 第49回日本水環境学会年会, 同予稿集, 317

宇津川徹, 村田智吉 (2016) メコン川流域貯水池中の砂泥中の淡水動物珪酸体 Opal Sponge Spicules について. 日本ペドロロジー学会2016年度大会, 同要旨集, 46

脇田和美, 山田勝雅, 山北剛久, 八木信行, 黒倉 壽 (2012) 東京湾の人為的な管理区分と水質・生物資源分布との相関: 海洋空間計画の作成に向けた考察. 日本水産学会秋季大会平成24年度, 同予稿集

渡邊圭司, 高津文人, 竹中明夫, 山村茂樹, 林 誠二, 渡邊未来, 須田 互 (2011) 樹木葉圏における微生物活動によるアンモニア酸化の痕跡. 日本陸水学会第76回大会, 日本陸水学会第76回大会講演要旨集, 176

渡邊圭司, 佐藤貴之, 渡邊未来, 山村茂樹, 今井章雄, 林誠二, 北村立実, 小松伸行, 石井裕一 (2011) 湖沼における主要浮遊細菌群の生態と湖内炭素循環への寄与. 日本陸水学会第76回大会, 日本陸水学会第76回大会講演要旨集, 71

渡邊圭司, 渡邊未来, 山村茂樹, 今井章雄, 林誠二, 小松伸行, 北村立実, 石井裕一 (2011) 湖沼で優占する浮遊細菌群の生理生態的特徴. 日本微生物生態学会第27回大会, 第27回日本微生物生態学会大会 Program and Abstracts, 65



Watanabe K., Imai A., Watanabe Mirai., Yamamura S., Hayashi S. (2012) Ecological niche separation in the Polynucleobacter subclusters linked to quality of dissolved organic matter. 2012 ASLO Aquatic Science Meeting, Abstracts, 42

渡邊圭司, 高橋基之, 渡邊未来, 山村茂樹, 今井章雄, 林 誠二 (2013) 淡水圏から分離したポリリン酸蓄積細菌の諸性質. 第 47 回日本水環境学会, 同年会講演集, 590

渡邊未来, 石川隼人, 渡邊圭司, 山村茂樹, 高津文人, 三浦真吾, 越川昌美, 高松武次郎, 林 誠二 (2011) 筑波山の渓流水中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度は 25 年間で上昇したか?. 日本陸水学会第 76 回大会, 日本陸水学会第 76 回大会講演要旨集, 195

渡邊未来, 林 誠二, 渡邊圭司, 錦織達啓, 多田千佳, 深澤 遊, 清和研二 (2012) 間伐強度の違いがスギ林土壌からの硝酸溶脱特性に及ぼす影響. 日本陸水学会第 77 回大会, 同講演要旨集, 141

渡邊未来, 高松武次郎, 相馬久仁花, 越川昌美, 林 誠二 (2013) 茨城県における渓流水質の広域調査. 日本陸水学会第 78 回大会, 同講演要旨集, 30

渡邊未来, 三浦真吾, 渡邊圭司, 山村茂樹, 高津文人, 錦織達啓, 越川昌美, 高松武次郎, 林 誠二 (2013) 茨城県筑波山における窒素飽和と森林管理. 日本森林学会第 124 回大会, 同学術講演集, 76

渡邊未来, 三浦真吾, 仁科一哉, 高松武次郎, 高津文人, 今井章雄, 越川昌美, 林 誠二 (2014) 筑波山の渓流水中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度に及ぼす針葉樹林率の影響. 日本陸水学会第 79 回大会, 同講演要旨集, 43

渡邊史郎, 清木 徹, 小松一弘, 今井章雄, 佐藤貴之, 川崎伸之, 高津文人 (2012) 栄養状態が異なる湖沼における藍藻類の増殖要因に関する研究. 日本水環境学会第 46 回年会, 第 46 回日本水環境学会年会講演集, 327

矢部 徹 (2013) アオサのひみつ. ラムサール条約登録 20 周年記念 谷津干潟の日 アオサについて考える集い, 同予稿集 (招待講演)

矢部 徹, 有田康一, 玉置雅紀, 中村雅子, 林 誠二, 石井裕一, 芝原達也 (2013) 浮遊アオサによる極端な優占現象は干潟の生態系機能を低下させているのか?. 日本生態学会第 60 回大会 (ESJ60), 第 60 回日本生態学会大会講演要旨集, 347

Yamada K. (2012) Functional diversity and functional redundancy of faunal community in seagrass ecosystem of northern Japan. PICES 2012 Annual Meeting. S09: Ecological functions and services associated with marine macrophyte communities as indicators of natural and anthropogenic stressors in nearshore zones of the North Pacific (Conv.: Chung, I. and Shoji, J.), Abstracts, 119 (招待講演)

Yamada K., Hori M., Yamakita T., Nakaoka M., Takamura N. (2012) Changes by tsunami disaster in macrofaunal community structures of seagrass ecosystems along the northeastern coast of Japan. The 1st Asian Marine Biology Symposium, Abstracts, 40

山田勝雅 (2012) 担保される機能: 海草藻場の無脊椎動物群集における機能的冗長性. 日本生態学会第 59 回大会 (ESJ59), 日本生態学会第 59 回全国大会講演要旨集

山田勝雅 (2012) R の機能追加パッケージを利用したベントス群集データの多変量解析の実演. 2012 年日本ベントス・プランクトン学会合同大会, 同予稿集

山田勝雅 (2012) Zonation or Patch-dynamics: 海洋ベントスのメタ個体群動態. TREE セミナー東邦大学理学部第 61 回, なし (招待講演)

山田勝雅 (2012) 海の動物たちに住む場所を提供する海藻や海草の仲間. 下北自然の家沿岸観察会, なし (招待講演)

山田勝雅, 金谷 弦, 有田康一, 高津文人, 中嶋信美, 矢部 徹, 玉置雅紀 (2012) 内湾で大発生するアオサは干潟の底食物網に寄与しているか? - 谷津干潟 (東京湾奥部) における安定同位体比を用いた解析 -. 2012 年日本ベントス・プランクトン学会合同大会, 同予稿集, 109

山田勝雅, 金谷 弦, 藤林 恵, 谷村 彩, 西村 修, 豊原治彦, 玉置雅紀 (2013) 沿岸浅場のベントス食物網を改変する大型海藻の堆積. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会 2013 年, 同予稿集, 124

山田勝雅, 宮本 康, 畠山恵介, 山口啓子, 浜口昌巳 (2013) 中海におけるアサリの時空間変動パターン: メタ個体群構造の解明. 島根大学汽水域研究センター第 20 回新春恒例汽水域研究発表会, 同予稿集, 20

山田勝雅, 宮崎勝巳, 富山 毅, 金谷 弦, 良永知義, 深山義文, 涌井邦浩, 玉置雅紀, 鳥羽光晴 (2014) カイヤドリウミグモの寄生強度と宿主アサリの生残率と活力の関係: ウミグモ寄生がアサリ資源を減少させたのか?. 日本水産学会平成 26 年度秋季大会, 同予稿集, 25

Yamada K., Kanaya G. (2014) Insights into host-parasite relationships between the Manila clam and sea spider revealed by stable isotope analyses. The Second Asian Marine Biology Symposium, Abstracts, 197

山田勝雅, 金谷 弦, 宮崎勝巳, 富山 毅, 玉置雅紀 (2015) 寄生 - 宿主間の栄養関係に関する研究のこれまでとこれから - アサリ - カイヤドリウミグモを事例に -. 平成 27 年度春季水産学会水産環境保全委員会企画シンポジウム, 同予稿集 (招待講演)

Yamakita T., Miyashita T., Yamada K., Wakita K. (2012) Does seascape heterogeneity affect to the distribution of fishes and aquatic invertebrates in East Asia? : a review and a practice. Biodiversity Asia 2012: Science, Policy and Governance (The 2nd Asia Regional Conference of the Society for Conservation Biology - Asia Section), Abstracts, 24-25

山北剛久, 山田勝雅, 島田直明, 富田瑞樹 (2013) 地震・津波の生態系への影響を広域スケールで比較する. 日本生態学会第 60 回大会 (ESJ60), 同予稿集, 62

山本敏博, 張 成年, 渡辺一俊, 丹羽健太郎, 小林 豊, 山田勝雅, 石井 亮, 鳥羽光晴 (2013) 千葉県盤洲干潟と富津干潟における カイヤドリウミグモ自由生活成体の出現動態. 日本水産学会平成 25 年度春季大会, 同予稿集, 83

山本鎔子, 大高明史, 岩船敬, 野原精一, 福原晴夫, 平林公男 (2011) 異なる環境に生息するフサカの体内脂質組成. 日本陸水学会第 76 回大会, 同予稿集, 96

吉田勝彦 (2013) 川のメタ生態系モデル - 際河川メコン川のダム開発と環境保全 -. 個体群生態学会第 29 回大会, 同予稿集, 36

吉田勝彦, 広木幹也, 富岡典子, 村田智吉, 福島路生 (2014) ダムによる魚の移動阻害の影響 - メタ生態系モデルを用いたメコン川ダム開発の影響評価 -. 個体群生態学会第 30 回大会, 同予稿集

Yoshimura K., Zaitzu N., Sekimura Y., Matsushita B., Fukushima T., Imai A. (2012) Parameterization of chlorophyll a-specific absorption coefficient and effects of their variations in a highly eutrophic lake: A case study of Lake Kasumigaura, Japan. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, -

良永知義, 角谷 優, 寺井 梢, 黒岩忠嗣, 脇 司, 小林 豊, 山田勝雅, 鳥羽光晴 (2013) 千葉県盤洲干潟におけるカイヤドリウミグモのアサリへの侵入の時空間的把握および寄生の季節性. 日本水産学会平成 25 年度春季大会, 同予稿集, 84

Yurlova NI., Shikano S., Kanaya G., Doi H. (2012) Feeding links of Trematoda parasites in food webs in an estuarine freshwater ecosystems in Western Siberia. The 5 all Russian conference with international participation on theoretical and marine parasitology, Proceedings of the V all Russian conference with international participation on theoretical and marine parasitology <In Russian>

---

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第117号  
NIES Research Project Report, No.117

(SR - 117 - 2016)

流域圏生態系研究プログラム  
(先導研究プログラム)  
平成23～27年度

Assessment of functions and integrity of basin ecosystems  
FY2011～2015

---

平成29年2月28日発行

編集 国立環境研究所 編集分科会

発行 国立研究開発法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

E-mail: pub@nies.go.jp

Published by the National Institute for Environmental Studies

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

February 2017

---

組版 株式会社 イセブ

〒305-0005 茨城県つくば市天久保2丁目11-20

---

無断転載を禁じます

国立環境研究所の刊行物は以下の URL からご覧いただけます。  
<http://www.nies.go.jp/kanko/index.html>