

京都大学生態学研究センター
外部評価報告書
(2007-2011 年度)

外部評価委員会

巻頭言

京大大学生態学研究センター（以下、生態研）は、京大において伝統ある学術潮流の一つである生態学の総合的基礎研究を目指す研究機関として、「生態学の基礎研究の推進と生態学関連の国際共同研究の推進」を目的に、当時、社会的に注目が集まりつつあった地球環境問題や生物多様性問題に対応する意味も含めて、平成3年に全国共同利用施設として設置された。平成10年度に大阪市瀬田のキャンパスに新研究棟が完成し、平成13年4月には「生物多様性および生態系の機能解明と保全理論」を研究目標として掲げて、全国共同利用施設として継続しながら、第2期生態学研究センターが発足した。さらに、平成22年度には文部科学省より生態学・生物多様性科学における共同利用・共同研究拠点として認定され、現在に至っている。

生態研は、極域から熱帯域といった広い気候帯に渡る水域や陸域において、動物・植物・微生物と多様な生物群を扱い、分子生物学・安定同位体・理論生態といった多様な解析手法を駆使した野外研究・実験研究・理論研究を進め、生物多様性の創出維持のメカニズムや物質循環を基本とする生態系の構造・機能を解明してきた。さらに、生物多様性と生態系を保全するための理論の構築も行ってきた。

共同利用・共同研究拠点としては、生態学・生物多様性科学の発展を望む研究者コミュニティの要望に応えるべく、本研究センターに集約された知識・技術・標本・資料・設備・施設をもとに多様な共同利用・共同研究を推進してきた。また、生態学・生物多様性科学の課題を扱う研究集会・ワークショップを実施し、さらにはニュースレターやホームページにより生態学・生物多様性科学の啓発を行いながら、生態学・生物多様性科学の将来を担う研究者の育成に努めてきた。

本報告書は、これらの活動状況に対して外部評価を受けた結果を取りまとめたものである。平成25年に入ってすぐに教育再生実行会議、産業競争力会議が組織され、日本の様々な社会システムの改革案が打ち出されることとなった。大学については、平成25年の6月に大学改革実行プランが発表され、同年11月末には国立大学改革プランも出された。このように大学の社会における役割そのものが見直され、大学に対して大きな改革が求められている現在、今回の外部評価は、生態研の進むべき方向を確認する貴重な指針となるであろう。種々の貴重なご意見を賜った外部評価委員の皆様、厚く御礼申し上げますと共に、今後も生態研の活動にさまざまなご支援を賜れば幸いです。

2014年2月

京大大学生態学研究センター長
中野伸一

目次

第一部 外部評価概要	1
1. 外部評価の経緯	2
2. 外部評価内容の概要と総括	3
第二部 外部評価委員による評価	7
1. 京都大学大学院農学研究科・教授 松浦健二	8
2. 京都大学理学研究科・教授 沼田英治	11
3. 総合地球環境学研究所・教授 中野孝教	13
4. 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授 齊藤 隆	15
5. 東北大学大学院生命科学研究科・教授 占部城太郎	18
第三部 外部評価資料	21
1. 准教授 有村源一郎	23
2. 教授 石田 厚	28
3. 教授 大串隆之	32
4. 准教授 大園享司	41
5. 准教授 奥田 昇	47
6. 准教授 川北 篤	53
7. 教授 工藤 洋	57
8. 准教授 酒井章子	61
9. 教授 高林純示	65
10. 准教授 陀安一郎	74
11. 教授 椿 宜高	83
12. 教授 中野伸一	89
13. 准教授 谷内茂雄	96
14. 教授 山内 淳	99

第一部 外部評価概要

1 外部評価の経緯

2007年度から2011年度までの京都大学生態学研究センターの研究、教育、運営、社会貢献等に関して外部評価を2012年10月24日に行った。外部評価委員として、京都大学内他部局から2名、他大学・研究機関から3名を委嘱した。委員は以下の通りである。

松浦健二（京都大学大学院農学研究科・教授）

沼田英治（京都大学大学院理学研究科・教授）

中野孝教（総合地球環境学研究所・教授）

齊藤 隆（北海道大学北方生物圏フィールド科学研究センター・教授）

占部城太郎（東北大学大学院生命科学研究科・教授）

各委員には、午前中にまず施設の視察をして頂き、午後から前もってお送りしていた資料（センターパンフレット（教員紹介、職員リスト、組織図）、自己点検評価報告書（2006－2011年度）、評価期間中の各研究者の研究内容に基づき大学院教育、共同利用施設、地球研連携、DIWPA、研究等の項目に関して外部評価を頂いた。

2 外部評価内容の概要と総括

京都大学全体の部局再編にともない、生態学研究センターが現状のまま継続できるか判断を許さない状況にある。以下に、外部有識者によるコメントに対する生態研の回答を述べる。

● 教育：

大学院、特に博士課程進学者の割合が減少していることについては、我々も危惧しているところであり、全国の大学院進学希望者をターゲットに、さまざまな広報活動を行っているところである。その効果は、特に他大学からの進学希望者の増加の面に、少しずつ現れている。委員からは、大学院進学者数の減少について、①他学部との連携、②協力関係にある理学研究科の卒論生の指導の可能性、③より多くの留学生の指導、④プロジェクトに依らない研究テーマ設定が指摘された。

項目①については、これまでのところ農学研究科の卒論生を受託学生として指導した実績がある。現時点では、生態研は理学研究科の協力講座であり、他の研究科・学部とは正式な協力関係を持たない。今後、京大全体の部局再編の推移を観ながら、他の研究科との関係構築をどうすべきか考えたい。

項目②理学研究科との協力関係は、現状では大変順調であるが、卒論生の指導は正式には認められていない。これについては、過去の経緯もあるため慎重に対応することとなろうが、京大全体の部局再編の中で理学との協力関係にどのような影響が生ずるか、注意が必要である。

項目③留学生の指導については、ここ数年、生態研に所属する留学生の数は年々増加の傾向にある。また、出身国は、韓国、インド、フィリピン、中国など、特定国に偏っていない。今後は、より多くの国々の留学生を指導し、世界各地に生態研ブランドの生態学者が分布するなど、日本の生態学の国際的プレゼンスを高める努力を継続する。

項目④プロジェクトに依らない研究テーマ設定については、各教員によって研究指導体制が異なるため、一概な方策は決められない。が、生態研が「プロジェクト研究のみを扱っており、個性的な研究やナチュラルな研究を行う場所ではない」とのイメージが学生の中に浸透しているようなので、この点については誤解を払拭しなければならない。

生態学の後継者育成は大変重要な課題であり、生態研はこれまで多くの優れた生態学者を輩出してきたことから、今後も我々がより多くの大学院生を指導することが、国内外の生態学および関連の研究者コミュニティへの貢献につながることを意識して取り組みたい。また、より多くの学生に生態研をアピールする手段の一つとして、セミナーの衛星配信が提案された。これについては、経費面も含めた実現可能性を今後検討する。

● 共同利用：

共同利用・共同研究拠点活動については、概ね良好に運営されているとの評価を受けたものの、以下の課題も指摘された：①施設によって利用にばらつきがある、②地球研と共同した拠点運営、③宿泊施設の実現、④ホームページの充実、⑤受益者負担として利用者から料金徴収。

項目①については、安定同位体機器のように汎用性の高いものもあれば、調査船やアクアトロンのように特定の生態系や特定学問分野の研究者しか興味を持ちにくい施設・機器もあり、施設による利用のばらつきは致し方ないと考えている。また、調査船の場合、調査の実施が気象条件に依存するため、調査予定日の他に予備日を設けざるを

得ず、利用件数を増やすには限界がある。さらに、機器によっては、高額機器のためにかつては国内にそれほど普及しておらず、共同利用が望まれていたが、現在となつては国内の多くの研究機関に普及した機器もあり、そのような機器については共同利用実績が上げにくい現実もある。

項目②地球研と共同した拠点運営については、これまで議論したことが無い。生態研の拠点は、ネットワーク型ではなく単独型であり、平成28年度以降の第3期中期計画においても、引き続き単独型での拠点申請を行う予定である。しかし、国の教育再生実行委員会等の動きにより、大学改革が進められ、拠点活動に様々な制約が課せられる事態となれば、連携関係がすでに確立し、かつ共同利用機関として、かつ生態学で用いる共通機器の管理経験もある地球研との共同拠点の運営は、今後検討すべき課題かもしれない。

項目③宿泊施設の実現については、不可能と考える。先述の通り、現在の大学には多くの削減が課せられており、新たな施設やその維持・運営のための経費を要求することすら難しいと考える。最寄駅周辺のホテルを比較的廉価で宿泊可能としている現在の方策が、現実的であると考えている。

項目④のホームページの充実は、委員からの指摘の通り、機器や施設によってホームページへの力の配分に違いが見られる。この件については、我々の拠点活動をより高いレベルに上げるために重要と考えられるので、機器や施設の管理者を含む生態研全体で取り組む。ただし、共同利用・共同研究ホームページの利用による当該機器・施設の利便性向上が、機器や施設によって異なることも考えられ、全ての機器・施設の一様なホームページ作りではなく、機器や施設ごとに適当な方策を検討しなければならない。

項目⑤、受益者負担として利用者から料金徴収については、現段階では考えていない。しかし、先述の大学改革による様々な制約の程度によっては、本件を現実にしなければならないケースも想定され、議論しなければならない課題である。

また、2011年3月の東日本大震災後の緊急支援策については、高い評価を受けた。さらに、近年の分子生物学機器の急速な発展に呼応して、生態研がこれら機器の共同利用を進めていることについても、高い評価と強い期待が寄せられた。今後も、様々な社会情勢に迅速に対応した拠点活動を行いたい。

追補：

平成25年度に、共同利用・共同研究拠点の中間評価が実施された。生態研は、書面審査に加えてヒアリングによる審査も受けることとなった。8月5日に文科省で開催されたヒアリングについては十分な準備をして臨み、最終的な中間評価の結果は幸いにも「A」であった(8月末頃発表)。また、平成26年度の概算要求継続分の拠点・特別経費の予算は増額され、我々の拠点に対する文科省の評価が比較的高いことがうかがえた。

評価コメントとして、「今後は、公開講座や講演会等の充実を図り、得られた成果を外部に対して積極的に発信するとともに、大学院生を含めた若手の人材育成にも注力することが望まれる。」とあり、すでに平成25年中に公開講座の検討委員会を立ち上げ、平成26年度には琵琶湖の研究をテーマにした第一回公開講座の実施を進めている。

● 地球研との連携：

委員からは、これまで生態研の教員が地球研において進めた学際研究について、高い評価が寄せられた。しかしながら、生態研による地球研との連携は、ここ数年はむしろ低下しており、一つの岐路に差し掛かっていると思われる。このことを生じさせた原因は、大きく2つ在る。一つは、生態研は定員13名(シーリングにより、教員数は12名)の小規模部局であり、地球研連携のために供出する教員資源が限られていること、もう一つは、平成24年度から顕在化している大学改革に伴う定員削減と人事選考システム

の改革により、地球研に異動した教員が生態研に戻るポストの確保が不透明なためである。外部評価を行った平成 24 年度 10 月の時点では大学改革に伴う諸変化が明確ではなかったが、現時点では漠然とではあるが見えてきたこともあり、以下の委員のコメントには生態研が大学改革をどう乗り切るかも含めて検討したい。委員のコメントは、以下の通り：①生態学全体を巻き込んだ共同研究の推進、②連携と成果を高めるための更なる努力、③連携体制の運用に注意（連携のための連携研究に陥らない）。

これら 3 つのコメントは、それぞれ別々に検討されるべきものではなく、3 つを同時に考慮すべきと考える。我々は、地球研での共同研究によって生態学のすそ野を広げることが重要と考えているが、あくまで基本は生態学の研究である。地球研では、生態学をベースとした独創性と新規性に高くかつ社会的に重要な研究を企画し、これにより多くの生態学および関連研究者コミュニティの研究者が関わる研究運営を行いたい。我々は、生態研の教員は皆それを行う能力を有すると考えるが、先述の事態が教員の地球研への異動に対するモチベーションを低下させている。

従来地球研との連携関係は、地球研発足当時の条件が継続しており、諸般の事態が大きく変化しつつある今日では、この状況がもはや現実にはそぐわないのかもしれない。今後、できるだけ早い時期に、生態研と地球研の現在の状況に見合った連携関係を新たに構築し直す必要があるように思われる。

委員からは、以上の他にも、「地球研には教授が異動すべきである」とのコメントもいただいた。この点についても、これまでの議論の通り、現在の状況に照らして適当と思われるシステムでの連携関係の構築が条件の一つと考えている。

- 西太平洋・アジア国際生物多様性ネットワーク (DIVERSITAS in the Western Pacific and Asia, DIWPA) :

DIWPA は、現在もなおネットワークが拡大していること、ニュースレターやホームページを通じて情報が得られにくい発展途上国の生物多様性研究者への情報提供がなされていること、国際野外生物学コースを実施していること、および環境省が進める国際生物多様性活動に対するサポートを行っていることから、概ね高い評価を受けた。また、今後の活動として、地球環境問題解決のための新たな国際研究プロジェクトである Future Earth への貢献も期待される。しかし、ここ数年の DIWPA 活動の多くは環境省が進めるアジア太平洋生物多様性観測ネットワーク (AP-BON) に依存したものが主であることについて、DIWPA 単独での事業の必要性が指摘された。DIWPA は、生態研の運営費から経済的支援を受けているが、これだけでは資金が限られている。また、先述の大学改革を考えると、この経済的支援も今後は多くを望めない。DIWPA の運営について、京都大学以外の外部機関からの資金調達を検討しなければならない。

- 研究 :

研究については、どの委員からも、教員個々人の研究活動について高い評価を得た。しかし、生態研全体としてあるいは研究者コミュニティの広い範囲を巻き込んだ研究については良い評価を得られなかった。

平成 25 年に入ってから、我々は、日本学術会議が進めるマスタープランについて、生態学会の大規模研究委員会および日本学術会議の生態科学分科会と緊密な連絡を取りながら、生態研が中核拠点となる生態学および関連研究者コミュニティの多くの研究者が参画可能な大型研究の提案を行うなど、生態研全体としてあるいは研究者コミュニティの広い範囲を巻き込んだ研究を企画・実施する努力を行っている。今後も、各教員の研究の個性を大切にしつつ、さまざまな大型研究計画の中心となる活動を展開する。

委員からは、そのほかにも、①生態学のフロンティアを拓く、②分子生物学を取り入れた最先端生態学の発展に期待、③論文の被引用数の提示がコメントとして出された。①については、生態研の教員全員がその覚悟で日々の研究を行っており、その中で必要があれば②の技術を取り入れることになり、そのための機器の整備もすでに行われている。③については、今回の外部評価では行っていなかったが、次回以降の機会に行う所存である。

● 運営・部門体制：

委員からは、以下のコメントが寄せられた：①現行の研究分野区切りは適当か？、②女性教員の採用、③どの活動を重視するか「力の配分」を考えよ、⑤次の10年の研究目標を立てよ、④教員メンバーの固定化は良くない。

項目①、③、⑤については、先述の大学改革の動きだけでなく、平成25年度に行われるミッションの再定義も関わり、これらの動きと関係させて検討したい。特に、③と④は、生態研に今後課せられるさまざまな制約とのバランスから、教育・研究、共同利用・共同研究拠点、DIWPAなどの活動のどれにどれだけの力を配分するかは、大変重要となろう。本案件については、次期中期計画策定までには、生態研としてまとまった案が作成されていなければならない。また、この案は、日本生態学会との緊密な関係において作成されなければならない。

④の教員の固定化を防ぐ方策の一つは、地球研との連携である。しかし、先述の通り、これはすでに難しい局面を迎えている。それ以外の方策は、各教員の個別判断に委ねることとなるので、生態研としての対応は難しい。

● その他

生態研の広報活動、および生態学会との連携については、高い評価をいただいた。しかし、後者についてはいまだ不十分との評価がこれまでもあったことから、運営委員会での人事案件の審議結果をより重要視するなどの検討が必要かもしれない。

第二部 外部評価委員による評価

京都大学生態学研究センター外部評価（2007-2011）
京都大学大学院農学研究科・教授
松浦健二

2012年10月24日に行われた外部評価委員会の視察、プレゼンテーションおよび自己点検評価報告書などに基づいて、京都大学生態学研究センターの運営、研究・教育、共同利用、広報・社会貢献について評価を行った結果を報告する。

運営

京都大学生態学研究センターは、「生態学の基礎研究の推進と生態学関連の国際共同研究の推進」を目的に、生態学の総合的基礎研究を目指す研究機関として、1991年に設置された。10年時限の後、2001年4月に「生物多様性および生態系の機能解明と保全理論」を目的として第二期生態学研究センターが全国共同利用施設として新たにスタートした。同年、文部科学省直轄の総合地球環境学研究所が設立され、総合地球環境学研究所流動連携研究機関となった。2004年の4月から国立大学法人化にともない、国立大学法人京都大学生態学研究センターとして運営されている。現在、教員は12名（教授7名、准教授5名）で構成されている。

少ない教員数でありながら、数理生態学、分子生態学、生理生態学から行動生態学、群集生態学、保全生態学まで主要な生態学の研究分野を網羅し、それぞれの分野で高い研究成果を出し続けている。管理運営のための資金は必ずしも潤沢ではない状況で、競争的資金を獲得して研究のアクティビティを維持できているのは、個々の教員の高い研究能力とたゆまぬ努力のたまものと思われる。第二期のスタートに際して、それまでの部門制を廃止し、大部門制（生態学研究部門）としたことで、異なる分野の研究者が総合的な研究プロジェクトに流動的に参加できるようになり、研究分野間の交流が活性化されたことは有益である。現在、部門に代わって、熱帯生態学、水域生態学、陸域生物相互作用、理論生態学、分子解析生態学、保全生態学の6つの研究グループで組織されているが、扱う系による区分と方法論による区分が混在しており、外から見るとグループ分けの意義がよく分からない。そもそも各教員の研究分野というものが別があり、12の分野を6つの研究グループに分ける必要があるのだろうか。必要であれば、外からでも生態研センター全体としてのビジョンが分かるようなグループ編成となるよう工夫してもよい時期ではないだろうか。

安全管理体制の整備や安全教育の徹底がなされ、維持されていることは高く評価できる。東日本大震災の後に、いち早く被災研究者の支援を開始し、平成23年度に短期滞在の研究者の受け入れ支援が2件実施されている。危機管理への意識の高さもさることながら、これも全国共同利用施設としての一つの重要な機能として評価できる。

総合地球環境学研究所との連携に関しては、生態研センターから4つのポストを流動定員として持ち出しており、本音と建て前が複雑な状況であるように感じられた。機関の間で人事を流動的にすれば研究上の連携が密に行われるはずだという建て前的な発想が、時間を経て人事を一層複雑化させ、教員の感情からすればむしろ多くの弊害を生んでいるように思われる（日本中の大学で）。生態研センターと総合地球環境学研究所の基本理念は異なるものである。これまで両機関の連携プロジェクトが5つ行われているが、少ない人員の中から多くのポストを出しただけのベネフィットが、実際に連携研究の成果として得られているのか本音の検討をしていただきたい。危惧されるのは連携のための連携研究に陥ることである。今後、トップダウン型、あるいは個別の問題解決型の研究により多く携わっていくことが、生態学の総合的基礎研究を目指して設立された生態研センターの理念に照らして本当に有意義なことなのかどうか、巨視的な判断が

必要であろう。環境保全に関する応用的に喫緊の課題に総合地球環境学研究所が取り組み、基礎学術上の重要度が高い課題に生態研センターが取り組むという棲み分けも、連携の一つのあり方ではないだろうか。

生態研センターの教員に全く女性が含まれていないのは、悲しい現実と言わざるを得ない。外部評価委員に女性が含まれていないことなど、女性研究者の声が反映されにくい状況があるのではないかと危惧される。生態研センターだけの問題ではないが、教員に女性が少ない（あるいは、いない）状況が続けば、研究者を志望する女子学生にとって生態学が魅力的な分野として映らなくなるのではなかろうか。女性研究者を採用するために、応募条件に性別を入れたり、研究業績に下駄を履かせたりすることは避けるべきであるし、やっても一過的な効果しかないだろう。持続的かつ効果的な対策をとるべく、早急に現状の把握と問題の分析が必要である。

研究

評価委員会におけるプレゼンテーションも、自己点検評価報告書による研究紹介においても、生態研センターで行われている研究のクオリティーの高さ、研究者の熱意が十分に伝わってきた。間接相互作用網に基づく研究アプローチにより、陸上植物が支える生物群集の組織化と生態系機能に果たす「形質介在の間接効果」の理解について、世界に先駆けた多くの研究成果を上げている。原著論文や Cambridge Press からの本の出版などを通じて、国内外の研究者に発信されており、きわめて高く評価できる。植物の匂いが媒介する生物間相互作用の研究においても、Cry wolf 仮説など興味深いテーマについて理論研究と実証研究の融合により独創的な成果を得ている。アオコの分布拡大に関する分子系統地理学的研究では、学術的にも応用的にも重要なテーマについて様々な分析手法を用いてアプローチしており、高い成果が得られている。また、植物生態学に分子生物学的手法を導入し、これまで実験室の制御環境下で行われていた遺伝子機能解析を野外の変動環境下で行うなど、先端技術を生態学に取り込んで活用する挑戦的でとても面白い研究が展開されている。安定同位体比や放射性炭素 14 の分析も生態研センターの重点研究として陸域、水域のさまざまな生態学分野で活用されている。カンコノキとハナホソガの共進化の研究も独創性が高く大変面白く、さらなる展開が期待される。今後も生態研センターならではのオリジナリティーに富んだ研究を推進し、世界に発信し続けていただきたい。

教育

学部から大学院に進学してくる学生が減少していることに関しては、1 回生、2 回生の全学共通科目教育への寄与を増すことで、ある程度改善される余地があるのではないだろうか。生態学に興味のある学生を巡って、理学部、農学部と競合するという発想ではなく、優秀な学生がより多く生態学に興味を抱いてくれるように、京都大学で生態学に携わっている分野が協力できる仕組みがあれば良いと思う。理学研究科だけでなく、農学研究科との協力関係についても検討していただきたい。他大学から大学院生を受け入れることについては、教科書や一般啓発書の出版を通じて、生態学研究センターの研究の面白さを広く知ってもらうことが効果的だと思われる。

全国共同利用

共同利用施設に関する説明や手続き、利用状況など、ホームページに掲載されており、申し込みしやすい工夫がなされている。しかし、安定同位体分析に関する説明がきわめて充実しているのに比べると、他の施設に関する部分が少し不足しているように見える。アクアトロンなど必要に応じて作られた実験装置が、その後稼働していないという状況

もみられるので、HPでの説明を加えるなど、活用する工夫をしていただきたい。都市部からのアクセスがよくないので、滞在施設の整備が望まれる。

京都大学生態学研究センター外部評価（2007-2011 年度）

京都大学大学院理学研究科・教授

沼田 英治

（1）大学院教育

生態学研究センター（以下センター）の第一の任務は、個別の研究室では担えない高度な研究を推進することであろうが、研究の発展と後継者の育成は切っても切れない関係にある。その意味で大学院教育のもつ意味合いは大きい。センター設立から10年間の卒業生たちは、現在センターに所属する中野、谷内、陀安、奥田をはじめ全国の大学、研究所で華々しく活躍しており、それが現在のセンターの地位に反映していることは間違いない。一方で、質的、量的にこのレベルの卒業生を輩出し続けることは容易ではない。センターは、過去5年間に修士36名、課程博士20名を送り出した。これは教員組織の大きさからみて決して多いとはいえないが、学部をもたない大学院組織であり、学部所在地から地理的に離れている点を考慮すると、量的にはまずまずの水準であり、発表論文などから、質的には十分高いレベルにあると判断できる。しかし、時間的経過をみると、課程博士取得者の数が1997-2001年度41名、2002-2006年度30名、そして2007-2011年度20名と減少傾向にあることは間違いない。課程博士取得者の減少は全国的傾向でセンターに限られるわけではないが、2011年度の課程博士取得者1名が例外的な事象なのかどうか、事態の推移を見守る必要がある。

センターの教員が、大学院生の教育に、また新しい大学院生の獲得に向けて、最大限の努力をしていることは認められる。しかし、京都大学理学部の学部学生にはその成果が浸透していないように見受けられるときがある。センターならではの研究を展開することは重要ではあるが、どうしてもセンターとしてのプロジェクト面が強調されるために、それぞれの教員の顔が見えにくくなっているのではないか。大きなプロジェクトに入ってインパクトファクターの高い雑誌に論文を発表し世間の脚光を浴びたいと考える学生もいるだろうが、伝統的に京都大学理学部マクロ生物学分野に多い個性的な学生たちを惹きつけるには、センターの教員が本来もっているナチュラルリジスト的な側面をもっと見せたほうがよいのではないか。

（2）共同利用施設

施設設備のハード面の充実、利用者の便宜を図るというソフト面のいずれも良好な環境にある。事務手続き上容易ではないとは思いますが、利用者から消耗品代プラスアルファの利用料を徴収して技術補助員の人件費に回すなどして、より利便を図ることが可能ではないか。

（3）地球研連携

地球研と連携することで生物学の枠の中の生態学だけでは対応しきれない学際的領域に踏み込めることは高く評価できる。一方、地球研が設立された時の経緯や明文化されていない約束事は、時間の経過とともに風化していく可能性が高いので、今後はプロジェクトの立案、人事面の交流など注意深く運用する必要があるだろう。

（4）DIWPA

事務局としての活動は評価できる。昨今は「生物多様性」という言葉が氾濫しているので、より幅広い研究者に、さらには研究者以外の国民にも存在を認知してもらう広報活動がこれまで以上に必要になるだろう。

(5) 研究

教員ごとに差はあるものの、全体としてみれば外部資金の獲得、プロジェクトの成功、成果の論文発表、いずれの面からも非常に高く評価できる。生理学を背景とするわたしの立場からは、とりわけ工藤の最先端・次世代研究支援プログラムの将来に大いに期待したい。生態学者が DNA を使った研究をできるようになって、かなりの期間が経過したが、ほとんどの場合 DNA は遺伝的な目印や系統解析の手段に過ぎず、本当に自然状態ではたらいっている遺伝子とその機能に着目した研究は少なかった。このプロジェクトが成功した暁には、本当の意味で「遺伝子の生態学」が開けるだろう。

(6) その他

ジェンダーバランスの問題を考えてもらいたい。女性の割合は専任教員 (0/13)、協議員 (センター教員除く 0/8)、運営委員 (センター教員除く 1/16) であり、全体で 2.7% という数字は極端である (特定助教、客員准教授にそれぞれ 1 名の女性がいるが、正式所属はそれぞれ次世代研究者育成センターと地球研である)。その上、外部評価委員 5 名もすべて男性である。男女平等度ランキングで日本は世界で 101 位とされており、日本のジェンダーバランスの問題は注目されている。さらに、このような外向きの体面よりも重要なのは、組織の上位がほとんど男性で占められているのを見て、センターの大学院生、ポストクの約 4 分の 1 に相当する若い女性たちが「自分こそは次の時代のリーダーになろう」という気持ちをもてるか、という点である。可能なところからジェンダーバランスを是正できるような方策を考えていただきたい。

京都大学生態学研究センター外部評価（2007-2011 年度）
総合地球環境学研究所・教授
中野孝教

（1）大学院教育

過去 10 年の学位取得の推移をみると、最近になって減少傾向が明らかである。優秀で意欲ある研究者育成はセンターの使命であり、研究活力の源泉でもある。減少の原因を探り対策を講ずる必要があるだろう。とくに修士取得者は各年 7、8 名程度であり減少傾向が小さいのに対して、博士取得者はこの 10 年で半減している。ポスドクの先が見えないことなども原因と考えられるが、優秀な博士減少は野外を対象とする多くの科学に見られる傾向で、関連分野の地盤沈下を招いている。センター固有の問題というよりは、野外を対象とするマクロ生態学全体の危機と捉え、関連する理学部や農学部などとのより緊密な協力関係を維持し、マクロ生態学を志す院生養成対策を一緒になって講ずる必要があるのではないかと考える。

これに関連して、京大生の卒論指導ができないというデメリットの解決を目指して頂きたい。大学院化が進み、多くの大学は院生の定員確保に苦慮しているが、他大学からの応募者を促進するような取組も必要に思う。例えば、すでに実施されているのかも知れないが、学部授業においてセンター全体の紹介やセンターツアーの企画といった、きめ細かい活動を行わなければ、学生・院生の育成は難しいのではないかと危惧する。とくに今後は、アジアにおける日本の貢献が期待されており、多くの大学ではアジア諸国の学生を受け入れている。センターの大学院生は日本人が大半である。他と比べれば教育面への労力も少ない。大変かも知れないが、例えばセンターの目玉の一つ熱帯研究を促進する上でも、途上国の学生の積極的な受入れを検討すべきではないだろうか。

（2）共同利用施設

共同利用施設は、他大学にないセンターの特徴を活かす上でも、また共同研究拠点としての役割を果たす上でも重要である。このような施設の設置は今後ますます厳しくなると予想されることから、施設機能を活かした研究の企画と実施は、センターだけでなく生態学全体の問題として検討して頂きたい。圃場や室内機器など多くの共用施設は利用されている一方で、アクアトロンは新しい研究を生み出す機能を持つにもかかわらず、継続的な利用がなされていないという説明であった。センター教員が参加し、ランビルや琵琶湖などのフィールドを活かし、共用施設を有機的に利活用して進める生態学研究のモデルとなるようなプロジェクトの推進、共同施設を生かした研究テーマの積極的な公募、施設を活かした研究企画をもつ職員の採用なども検討に値すると思われる。現在の財政事情を考えると、どの機関でも最先端機器の継続的な設置は難しい。安定同位体や DNA などの先端的分析機器などに関しては、地球研でも生態研関係者を中心に多くのプロジェクトで利用されてきた。これら機器の機能を活かすには、手法開発やデータの品質管理が不可欠である。(3) に関係するが、センターも地球研も共同利用機関という共通した使命があるので、室内実験機器に関しては、地球研との相互利用・管理の仕組みなども検討に値すると思われる。

（3）地球研連携

センターは生態学研究のハブとしての機能が求められている。生態研研究者を中心にしつつも、日本の生態学研究の一つの出口として生態研の特徴を活かしたプロジェクトの提案と実行が求められる。地球共生系とエコインフォマティクスという二つの柱で、センターの研究を推進するという説明であった。センター教員でなくても、前者と後者の

それぞれについて、日本の生態学研究者を巻き込んだプロジェクト提案があっても良いのではないか。例えば、前者は熱帯や水域、生物相互作用などある対象に対する研究なので、圃場、ランビルや LTER サイトなどのフィールドを生かして継続的な生態系研究プロジェクトを、後者は DNA、安定同位体、空間情報という手法に力点を置いた研究なので、それらを統合したプロジェクトなども考えるのではないか。地球環境研究における生態学研究拠点としての使命感をもって、生態学全体を見渡したプロジェクトが望まれる。

人事など最も重要な点において困難な問題を抱えつつも、最低一つの地球研プロジェクトを今後も継続して立ち上げるという説明であった。不十分であっても、経費的に数名のポスドク雇用が可能なので、その点も売りにしたプロジェクト提案も連携機関の強みを生かすことになる。

(4) DIWPA

国際的な生態学研究拠点という意味で DIWPA の継続は意義深いと思うが、この研究者交流の媒体を利用して具体的な研究へと展開する必要がある。国際的な地球環境研究は今後 Future Earth (FE) という方向で統合されて行く。その母体である DIVERSITAS 研究の重要性は変わらないであろうが、FE に向かう流れの中では、生態系の機能やサービスなどの研究がより重視されて行くと予想される。生態学研究の基盤は生態系の観測や分析・解析にあるので、DIWPA という窓口を利用して、国際的な地球環境研究の流れの中でマクロ生態学の研究ハブ拠点としての展開を期待したい。

(5) 研究

前回の外部評価でも、24 日の評価委員会でも同じように、個々の研究者の実績は高く評価できるが、問題はオール生態研としての取り組みが弱いという点にある。身分を問わず、全体で議論し、大学院生を指導して行くといった雰囲気を感じられる。この良い生態研の文化を継承しつつ、個々の研究者の能力を活かして一つのプロジェクトを進めるとも良いと考える。上記した地球研プロジェクトとの連携を含めて期待したい。

(6) その他

同じ共同利用研究機関に在職する一人として、大変良い勉強をさせて頂きました。共同利用機関は多くの研究者のニーズがあって成立するもので、個人研究では難しい研究の実施とそれを通じた来研者の拡大が使命と言えます。繰り返しになりますが、今回出席された評価委員の意見は、当日配布された前回の外部評価報告書の結論、要約すれば、「各スタッフの研究レベルは高く、タコツボ的な運営になっていないという好評価の一方で、生態学研究のハブとしてのセンターの役割が十分達成されていない」とほとんど変わらないように思われます。これは非常に重大なことで、新たな委員に評価をゆだねるより、前回の委員にこの 3 年にわたって行って来た指摘項目に対する達成度を評価してもらえば良いことです。より厳しい言い方をすれば、同じような指摘を受けながらこの 3 年間、具体的な方策が見えないことになります。私見ですが、生態学においても、今後ますます地球環境研究全体の流れの中で、その意義が問われると思います。生態学と生態研の売りを活かし、共同利用機関としてのエコインフォーマティクスや地球共生系を軸にした基盤的研究の具体化に、総力で取組んで頂きたいと思います。

京都大学生態学研究センター外部評価
北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授
齊藤 隆

センターの外部評価は平成 21 年 2 月に続いて 2 回目である。今回の評価においては、(1) 前回指摘された問題点がこの 4 年間でどのように克服されたか、(2) この 4 年間にどのような新たな課題が出現し、それにどのように対処したのか、(3) 年次的な変化にかかわらず維持しなければならない課題に対処し続けたか、について評価したい。

(1) 大学院教育について

大学院生の教育に関しては堅実な成果をあげていると評価できる。しかし、若年層の人口減少とともに大学院への進学者数が全国的に減少傾向を示す中、大学院教育の活性化には一層の努力が望まれる。また、センターへの大学院進学者数の減少には理学部の学部教育におけるセンター教員の関わり方に変化があると説明されたことは大きな懸念材料である。これまで、センター教員が担ってきた理学部学生に対する卒業研究指導が認められなくなったことはセンターばかりでなく、理学部、また学生によっても大きなマイナスである。理学部は学生に対してマクロ生物学を学ぶ場を提供する責務があり、センター教員の参画なくしてはそれは果たせないと考える。センターは卒業研究指導に参画できるよう早急に理学部と協議してほしい。

また、学部に基づ盤を持たない他の教育機関と協力して、大学院生進学希望者を対象とした説明会の開催などを検討してはいかがだろうか。

大学院教育における留学生の少なさが前回の外部評価で取り上げられたが、目立った改善は見られていない。どのような原因があるのかについて早急に検討する必要がある。

(2) 共同利用施設としての運営について

全国利用施設として観測船、安定同位体測定器は充実したサービスが提供されていることが確認できた。これからも継続させて欲しい。野外実験池、実験圃場、林園などの共同利用施設は、主にセンター内の利用に止まっている、という印象を受けた。これは、前評価でも指摘されたように、交通の便が悪いにもかかわらず宿泊施設がないことが原因だと考えられる。瀬田駅前のホテルと契約して、この欠点を補う努力をしているが十分な成果に結びついていない。利用者をさらに増やすためには長期間安価で滞在できる体制を整える必要がある。

東北関東大震災後に支援体制を整え、「緊急支援共同研究」等の募集を行っていることは高く評価できる。組織としての意志決定が円滑に行われていることが確認できた。

(3) 地球研との連携について

総合地球環境研究所との連携のあり方についても前回の外部評価で検討課題とされていた。同研究所との連携は望ましく、発展させることの重要性に疑いはないにも関わらず、連携強化の具体案についてこの 4 年間に大きな前進が見られないことは大変残念である。相手があることなので、センターの努力だけでは成果をあげることは難しいかもしれないがさらに努力されることを期待する。

(4) DIWPA について

DIWPA (西太平洋アジア生物多様性ネットワーク) の事務局としての活動は、国際研究活動への貢献として評価できるだけでなく、センターの活動の国際展開にとって有用なツールになり得ると思われる。センター本務の活動との連携をさらに工夫する必要が

ある。

海外学生を対象とした Field Biology Course を開催したこと、ニュースレターの発行、DIWPA 事務局が中心となって編集した英文書籍を出版は、センターの国際的な評価を高めている。

(5) 研究について

私はセンターに、研究を通じて、生態学の根幹に位置づけられる大きな問いに答える、生態学のフロンティアを拓くこと、を期待している。これまで、センターは熱帯林の樹冠生態学、安定同位体測定を駆使した野外研究、生物多様性創出における間接相互作用網の役割などで生態学のフロンティアを拓くことに大きく貢献してきた。今回、これに続いて遺伝子分析の最新技術を駆使した研究においても同様の貢献を果たす意気込みを感じ取ることができ、大変頼もしく感じた。

センターで行われた研究の多くが国際的に評価の高い学術雑誌に発表され、国内の他の研究機関に比較して十分な研究成果をあげていると評価できる。ただ、前回の外部評価において「他の大学での生態学グループと似たことをして良い成果をあげているというだけでは不十分と感じる」と指摘された点について、十分には説明されていないことは残念だった。私は、センターにおいて個々の教員が優れた資質を伸び伸びと発揮してもらうことを望んでいる。しかし、この指摘は、各教員がばらばらの研究テーマに取り組むことを奨励しているわけではない。「センターならではの研究」について教員がコンセンサスを持ち、個々が力を十分に発揮すれば自ずと達成できるものと期待している。

(6) その他

運営全般について

前評価書において、センターがとっているグループ制について、「分類方法が必ずしも一貫していない」との指摘を受け、検討課題とすると総括されている。現在のグループ分けは対象学的分類と研究手法的分類が混在しており、前回の指摘は正しく、外部からなぜ分類方法が二元的なのか分かりにくい。この4年間にどのように検討したのかを説明するべきである。私は、個人的には分類方法が二元化していてもセンター全体の研究の活性化の上で必要であることが説明できるならば問題はないと考える。問題は、「二元化」の説明がなく、分かりにくいことであると思う。

女性教員の積極的な採用について、「今後の人事に反映させたい」と総括されたが、実現されなかった。生態学において若手研究者においては（大学院やポスドク）、女性が多く活躍しているにも関わらず、常勤の研究職を得る女性が少ない、という現状がある。これは、センターだけの問題ではなく、日本全体の問題である。若手女性研究者の育成に関しては、教育面と関連させて継続的な努力を期待する。

広報活動について

研究機関の広報手法として、講演会、シンポジウム、フォーラム、セミナー、啓発書の出版などがあげられる。センターはいずれの活動にも積極的に取り組んでいる。また、DIWPA ニュースレターの発行は、センターの国際的な評価を高めるために有用である。さらに、DIWPA 事務局が中心となって英文の書籍を出版したことは大変好ましい。センターはこれまでも「生物多様性科学のすすめ」、「群集生態学の新たな挑戦」、「流域環境評価と安定同位体」など評価の高い書籍の出版を続けてきた。また、近年にも「シリーズ群集生態学」、「環境史シリーズ」など旺盛な生産性を示しており、研究成果の社会還元として高く評価できる。

日本生態学会との連携について

日本生態学会はセンターの設立に深く関わり、連携関係を築いてきた。生態学会はセンターに運営委員を推薦し、センターは学会の運営に主体的に関わってきた。第59回日本生態学会大会は、2011年に大津市で開催され、センターの教員は全面的に大会の運営を支えた。この大会は第5回 EAFES を兼ねており、東アジアの生態学の発展にも大きく貢献した。その後もセンターの教員は生態学会の運営に大きく寄与しており、生態学会の役員として深く感謝している。

(7) まとめ

センターの設置目的は「生物多様性と生態系を保全するための一般理論を構築する」ことである。すべての活動はこの目的達成の方向に向かっていなくてはならない。センター自身の研究活動だけでなく、共同利用施設としての運営もこの目的に沿って行う必要がある。センターの常勤教員は12名、常勤の技術職員は3名である。この小さな所帯で、研究活動、共同利用施設としての運営、教育、広報にと精一杯の努力をしていると評価できる。もちろん、「一般理論を構築する」ためにさらに努力を求めることもあるが、手を広げすぎるリスクも考慮して、「力の配分」を決めて欲しい。大学全体の改革構想との関わり合うため、センター独自の改革構想を持つことは難しいかもしれないが、より大きな組織構想をもってほしい。

京都大学生態学研究センター外部評価（2007-2011）
東北大学大学院生命科学研究科・教授
占部城太郎

2012年10月1日に自己点検評価報告書及び研究者の研究内容に関する資料等を受け取り、同年10月24日には生態学研究センター（以下センター）で施設の概要、運営、共同利用及び教育・研究について説明を受けました。これら資料と説明をもとに行ったセンターの評価について報告します。

（1）大学院教育

センターが我が国のフィールド科学や生態科学で果たして来た大きな役割の1つは人材育成にあると思います。設立以後、大学院での教育研究活動を通じて多くの生態学研究者を育ててきました。正確な数字の説明はありませんでしたが、センターでの学取得者やポスドク経験者がアカデミックポジションを獲得している割合は現在でも単独の研究教育機関としては群を抜いているのではないかと思います。設立以後20年を経ているにもかかわらず、分野によっては指導的役割を担う研究者さえ輩出しています。このような優れた研究者の育成はセンターのもっとも大きな実績であり、我が国生態学への大きな功績と言えるでしょう。

センターでは国内外の著名な研究者を招いて定期的にセミナーを開催しています。このようなセミナーは個々人の研究の刺激になるばかりでなく、大学院生の視野を広げることになるので、教育的効果は大変高いと思います。また、セミナー開催は逐次学外に広報するなど、センター以外の大学院生にも学ぶ機会を提供していることは大いに評価出来ます。このような定期セミナーは、是非今後も続けて欲しいと思います。可能であれば、テレビ会議システムを導入してセミナーをネット配信するなど、遠隔地の学生にもサービスすることを検討してはどうでしょうか。生態学の教育・研究センターとして、さらに価値が高まると思います。

残念ながら、大学院進学者、特に博士課程進学者はここ数年減少傾向にあるようで、かつては毎年7～8名の学位審査が行われていましたが、2008年以後は学位審査は毎年4人前後となっています。定削や地球研連携のため教員が減ったということも一因かもしれませんが、センターの実績を引き継ぎ拡大して行くためにも、より多くの学生を惹きつける努力が必要でしょう。広報とか啓発書を出版するだけでなく、例えば世界中が注目するような研究課題やプロジェクトの推進など、センターで展開している研究そのもののアピールが重要と思います。

（2）共同利用施設

センターは全国共同利用施設として共同研究や公募研究会の他、調査船や大型分析機器、実験設備は圃場を学外利用者にも提供しています。利用者数は年によって多少変動するようですが、一定のニーズを満たしていると言えます。特に、安定同位体関連機器の共同利用はこれまでも評価されてきましたが、最新機器を導入して提供するなど設備や利用環境はさらに充実してきました。この点は外部に開かれた共同利用施設として大いに評価できます。DNA分析は今や生態学の中心的機器ですので、他部局との連携に頼るのではなく、自前のシステムを揃えテクニシャンなど含めて充実させることで共同利用をこれまで以上に活発にして欲しいと思います。センターには、分子生態分野での優れた研究者がおり、ハード面のみならず講習会やワークショップなどソフト面での充実も、センターの存在価値をいっそう高めることになるでしょう。

（３）地球研連携

地球研との連携はセンターの特色の１つでもあり、研究の幅や生態学のポジションを広げて行くうえで大いに利用すべきであると思います。しかし、現在は必ずしも連携が上手くいっていないように感じました。現在、２つの連携プロジェクトが終了、もしくは終了しつつあり、新たにセンターの若手教員が中心となって連携プロジェクトを立ち上げつつあります。しかし、センター教員の研究業績のなかで地球研との連携によるプロダクトは多く読み取ることが出来ませんでした。連携がうまく行っていない理由の１つは、近年センター教員のなかで教授層がプロジェクト推進に積極的でないためではないでしょうか。センターが地球研と連携することは、歴史的にも道義的にも大切です。道義的というのは地球研設立に奔走していたかつてのセンター教員、生態学を牽引していた研究者が、志半ばで事故のためプロジェクトを実現できなかった点です。その志を継いでセンターを発展させていくことは、センター教員としての道義的責務と言えます。いずれにしても、地球研との連携は大きな可能性を有しています。教授層が中心となって地球研との連携プロジェクトをさらに緊密に推進していただけるよう、期待しています。

（４）DIWPA と国際貢献

DIWP はセンターの国際貢献であり、生物多様正城約第 10 回締約会議（名古屋）と関連して、AP-BON や生物多様性に関するシンポジウムなどのサポート活動を行っています。その動向を、News Letter や Web page などを通じて国外にも積極的に広報していることは優れた評価に値します。特に、アジアの学生を対象にした野外実習の広報やサポートはアジア地域でのセンターのプレゼンスに効果があり DIWP の存在価値を高めています。しかし、DIWP はネットワーク活動として重要であるものの、センターの国際貢献という点ではもっと広がりのある、あるいは幅広い国際的な役割を担う活動も考えてはどうでしょうか。DIWP の活動はセンターというよりも、特定の教員の努力によるものと見受けられます。今後はセンター教員全体の活動としての可視化が必要でしょう。

パンフレットにあるように、センターは「生態学の基礎研究の推進と生態学関連の国際共同研究の推進」を目的に設置されました。この目的が今でも生きているのか分かりませんが、少なくとも好きな生態学の研究だけでなく、センターが設立当初に志していた、世界が求めている研究やその基盤形成にも貢献して欲しいと思います。IGBP-GCTE など、センターは日本のノードとして国際共同研究プログラムに積極的に関与してきた経緯があります。地球環境変化の高まりに伴って、ESSP から Future Earth へと、生態学を含む地球環境分野の国際共同研究プログラムがシフトしつつあります。このような国際共同研究プログラムのなかで新たなプロジェクトを提案したり事務局を誘致したりするなど、国際的な役割を担いつつ世界の中の（生態学研究）センターとしてプレゼンスを高めて欲しいと思います。

（５）研究

センター教員の研究内容や業績は配布資料や各人の説明で詳しくすることが出来ました。特に 10 月 24 日のプレゼンテーションでは各人の研究成果のポイントを易しく説明していただくとともに、質問にも丁寧に応えて頂きました。研究そのものが興味深いばかりでなく、それに見合う多くの論文を国際誌に発表し、また大型の研究資金獲得など、いずれの教員も個々人の研究では申し分ない成果・実績があがっていると言えます。特に、センターには世界の先端的研究を牽引する研究者がいること、また比較的若い教員が分野最高水準の雑誌にオリジナリティーの高い論文を多数発表しているなど、日本

の生態学の発展に大きな期待を持ちました。ただし、興味ある課題の研究を行って論文を良い（インパクトファクターの高い）雑誌に書くのは当然として、自身の研究のインパクトも意識してほしいと思いました。かつて、センターでは個々人の論文被引用数も評価資料としていました。被引用数は自身の研究のインパクトの目安になるので、個々人で確認していただきたく思います。私は、例えば若手中堅であれば年間50回、教授層であれば年間100回程度の被引用率を目安と考えています。

自己点検評価報告書にあるように、教員個々人の研究業績は申し分ないのですが、センター独自のプロジェクト研究、あるいは看板となるような研究フレームは認められませんでした。センター教員には学部教育の負担がない分、センター教員が連携して行う複合的で視野の広い、あるいはスケールの大きな研究が期待されます。生態学という分野に特化したセンターである以上、共同研究等をつうじて、日本のみならず世界が求めている研究を行うことも責務の1つと言えるでしょう。個々人の研究は申し分ないので、それらがセンター全体の共同研究やプロジェクトに展開していくよう期待します。

平成13年以来、センターは「生物多様性及び生態系の機能解明と保全理論」を研究目標にかかげていますが、10年を経た現在、目標達成具合の総括とともに目標そのものを見直してはどうでしょうか。古い目標や枠組みにこだわることなく、次の10年を見越した研究目標を新たに設けることで、センターならではの具体的な研究フレームやプロジェクト課題が浮かび上がると思います。

（6）その他

優秀な若手教員を積極的に採用している点は大いに評価できます。その一方で、人事が停滞し、長期にわたって教員メンバーが固定化しないようにセンター教員各々が意識して欲しいと思います。プロモーションにより教員が外部に転出することで教員メンバーが回転してきたことは、生態学という狭い分野に特化してきたセンターの強みの1つです。いずれの組織でもそうですが、狭い分野のなかでは古参は時に組織の停滞を招く原因になりがちです。そうならないよう、センターは常に赤の女王であることを期待しています。

第三部 外部評価資料

評価委員には、(1)生態学研究センターパンフレット、(2)自己点検評価報告書(2007-2011年度)、ならびに(3)外部評価時点で所属している職員に関する研究概要、今後の展望、代表的な論文5編以内と各論文の概要、および論文リストを事前配布した。資料(3)を以下にアルファベット順で掲載する。

有村源一郎（准教授）

研究概要

「植物—昆虫間相互作用の分子メカニズム」の解明は、植物自身ももつ免疫力を積極的に活用する技術の核となり、次世代の作物生産および園芸技術を構築する上で非常に重要な研究課題である。中でも、食害により誘導的に生産する揮発性物質によって害虫の天敵（捕食者、捕食寄生者）を誘引する植物の間接防御システムは、植物が潜在的に持つ能力であり、害虫密度抑制において重要な役割を果たしている。これらは、これまで未開拓であった植物—昆虫、植物—植物間の相互作用を媒介する情報化学物質の機能と制御メカニズムの解明ならびに、植物の誘導的間接防御システムを利活用した減農薬、無農薬の作物生産体系を確立することを中長期的にめざしてきた研究課題である。それらの成果の概要を以下に示す。

1. 植物揮発性化合物を介した間接防御メカニズムの解明

植物—害虫—捕食性天敵の三者間相互作用系をモデルとして、食害応答に関与する植物ホルモンおよび揮発性化合物等の情報伝達物質を同定し、それらの化合物の植物の適応戦略、生物多様性維持における役割について明らかにしてきた。さらに、無細胞タンパク質合成系を用いて合成したカルシウム結合タンパク質（CDPK）と HsfB2a（転写制御因子）の分子間相互作用実験および植物個体（シロイヌナズナ）での解析を実施することで、当該シグナル伝達系の免疫機構における重要な役割を見出した。

2. 揮発性テルペン合成酵素遺伝子の同定と生態機能の解明

植物が作る揮発性テルペンは、抗病虫害活性、抗酸化作用、熱耐性、周囲の植物の成長を阻害するアレロパシー作用のみならず誘導的間接防御においても重要な役割を担っている。揮発性テルペンを介した植物の間接防御メカニズムに関する研究において、リマメからテルペン生合成遺伝子の単離と、それらの生合成遺伝子の個体レベルでの免疫機構における機能解明に取り組んできた。

3. 遺伝子組換え植物を用いた生物間相互作用ネットワーク研究

生物間相互作用における揮発性テルペンの生合成遺伝子を恒常的に発現させた組換え植物を解析することで、トレニア—ハダニ（害虫）—カブリダニ（捕食性天敵）の三者間相互作用系におけるテルペンの多様な生理機能およびそれらの情報化学物質が仲介する生物間の相互作用が生物の適応戦略に及ぼす影響を見出したシーズ研究として評価された（図1）。

また、ファイトアレキシンである hydroxycinnamic acid amide 生合成酵素を過剰発現させた組換えトレニア植物の生態機能評価も実施し、園芸植物トレニアを基軸とした生物間の相互作用研究のモデル系の確立を推進している。

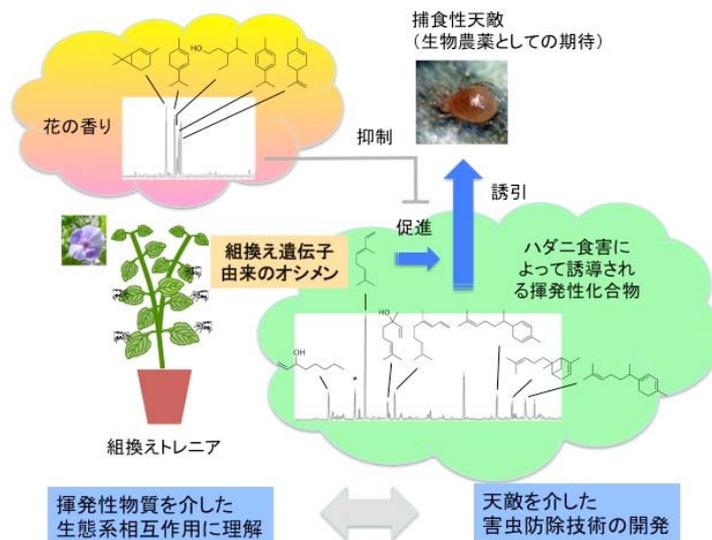


図1 揮発性物質が媒介する生物間情報ネットワークの解明

4. 植物間相互作用「talking plants」の分子生態メカニズムの解明

食害によって誘導される揮発性物質が植物間の相互作用を促す現象、いわゆる「talking plants」現象の分子メカニズムを世界に先駆けて解明した。さらに、風洞、ガラス温室レベルでの組換え植物を用いた操作実験を実施し、ゲノムから生態系までの「talking plants」に関する様々な次元での相互作用メカニズムの理解に努め、3植物間の相互作用のポテンシャルを実証するに至った（図2）。

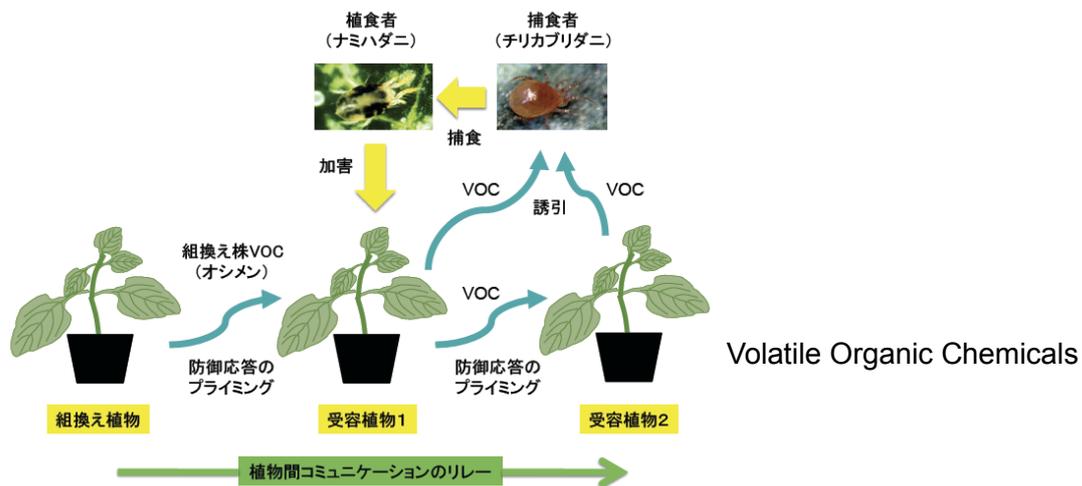


図2 3植物間コミュニケーションのモデル図 VOC, Volatile Organic Chemicals

5. 温暖化に適応した植物—害虫—天敵相互作用系の分子生態メカニズムの解明

温暖化の生態系、生物多様性に対する影響評価を里山生態系の植物—害虫—天敵相互作用系の視点より研究することは重要である。我々は、リママメ—ハダニ—カブリダニの三者間相互作用に着目し、高温下で発現するハダニ、カブリダニ遺伝子を次世代シーケンサーを用いたトランスクリプトーム解析により同定することに成功した。現在、天

敵の働きを利用した高品質な無農薬の作物生産体系の確立を目指し、植物—天敵遺伝子ライブラリーを用いた国際的な共同研究のための拠点づくりを目指した研究を推進している。

今後の展望

情報化学物質が役割を担う生き物の関わり（植物—動物相互作用網）を分子レベルで解明し、またそれを基に自然の営み（生態系サービス）を利用したアグリバイオ技術を構築し、中長期的な安全安心な農作物生産の基盤をつくることを目指す。

特に、「分子・細胞・個体・生態系レベルでの共生の維持機構に関する基礎研究」から、植物—動物間相互作用網が駆動する生態系、生物多様性の維持機構の解明に努める。また、植物の防御メカニズムの解明を通して従来の農薬に依存した育種・園芸法から脱却し、次世代のバイオテクノロジーを取り入れた、新たな害虫防除技術および里地里山の生物多様性と生態系サービスの保全技術を確立することを目指す。今後予定している主要研究項目を以下に述べる。

1. 生物多様性維持機構の解明、植物の害虫防除に関する新技術開発に向けた組換え植物の利用
2. 植物由来の揮発性テルペンの生態機能の解明とその生産性の最適化
3. 揮発性物質受容植物における転写制御／エピジェネティクス制御機構の解明
4. 植物の食害応答を制御するエリシターの受容機構の解明
5. 寄主植物による害虫系統多様性の分子機構の解明

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Shimoda T, Nishihara M, Ozawa R, Takabayashi J, Arimura G (2012) The effect of genetically enriched (*E*)-beta-ocimene and the role of floral scent in the attraction of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* to spider mite-induced volatile blends of torenia. *New Phytologist* 193:1009-1021

揮発性テルペンであるオシメンの生合成遺伝子を恒常的に発現させた組換えトレンニアを用いて、トレンニア—ハダニーカブリダニの三者間相互作用系における組換え植物由来の揮発性物質の影響を解析した。

(2) Muroi A, Ramadan A, Nishihara M, Yamamoto M, Ozawa R, Takabayashi J, Arimura G (2011) The composite effect of transgenic plant volatiles for acquired immunity to herbivory caused by inter-plant communications. *PLoS ONE* 6:e24594

遺伝子組換え用ガラス温室内での組換えタバコとリママメの相互作用を検討し、これまで実証されてきた植物—植物間の2者間の植物間コミュニケーションに加え、植物—植物—植物間の相互作用ネットワークのポテンシャルを見出した。

(3) Nagamangala Kanchiswamy C, Takahashi, H Quadro S, Maffei ME, Bossi S, Berteaux C, Atsbaha Zebelo S, Muroi A, Ishihama N, Yoshioka H, Boland W, Takabayashi J, Endo Y, Sawasaki T, Arimura G (2010) Regulation of Arabidopsis defense responses against *Spodoptera littoralis* by CPK mediated calcium signaling. *BMC Plant Biology* 10:97

害虫や環境ストレスによって活性化されるカルシウム依存性タンパク質リン酸化酵素（Calcium-Dependent Protein Kinase: CDPK）とそれらの基質タンパク質に着目し、食害および高温ストレスに曝されたシロイヌナズナにおける遺伝子転写制御の分子機構を解明した。

論文リスト

原著論文

Maffei ME, Arimura G, Mithöfer A (2012) Natural elicitors, effectors and modulators of plant responses. *Natural Product Reports* 29:1288-1303

Ozawa R, Nishimura O, Yazawa S, Muroi A, Takabayashi J, Arimura G, Temperature-dependent, behavioral, and transcriptional variability of a tritrophic interaction consisting of bean, herbivorous mite, and predator. *Molecular Ecology* 21:5624-5635

Arimura G, Muroi A, Nishihara M (2012) Plant-plant-plant communications, mediated by (*E*)- β -ocimene emitted from transgenic tobacco plants, prime indirect defense responses of lima beans. *Journal of Plant Interactions* 7:193-196

Shimoda T, Nishihara M, Ozawa R, Takabayashi J, Arimura G (2012) The effect of genetically enriched (*E*)- β -ocimene and the role of floral scent in the attraction of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* to spider mite-induced volatile blends of torenia. *New Phytology* 193:1009-1021

Arimura G, Ozawa R, Maffei ME (2011) Recent advances in plant early signaling in response to herbivory. *International Journal of Molecular Science* 12:3723-3739

Muroi A, Ramadan A, Nishihara M, Yamamoto M, Ozawa R, Takabayashi J, Arimura G (2011) The composite effect of transgenic plant volatiles for acquired immunity to herbivory caused by inter-plant communications. *PLoS ONE* 6:e24594

Ramadan A, Muroi A, Arimura G (2011) Herbivore-induced maize volatiles serve as priming cues for resistance against post-attack by the specialist armyworm *Mythimna separata*. *Journal of Plant Interactions* 6:155-158

Muroi A, Arimura G (2011) Future prospects of GM plant-based plant-plant communications. *Journal of Plant Interactions* 6:159

Nagamangala Kanchiswamy C, Muroi A, Maffei ME, Yoshioka T, Sawasaki T, Arimura G (2010) Ca^{2+} -dependent protein kinases and their substrate HsfB2a are differently involved in the heat response signaling pathway in *Arabidopsis*. *Plant Biotechnology* 27:469-473

Arimura G, Shiojiri, K, Karban R (2010) Acquired immunity to herbivory and allelopathy caused by airborne plant emissions. *Phytochemistry* 71:1642-1649

Arimura G, Maffei ME (2010) Calcium and secondary CPK signaling in plants in response to herbivore attack. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 400, 405-460

Arimura G, Sawasaki T (2010) *Arabidopsis* CPK3 plays extensive roles in various biological and environmental responses. *Plant Signaling & Behavior* 5:1263-1265

Nagamangala Kanchiswamy C, Takahashi, H Quadro S, Maffei ME, Bossi S, Berteaux C,

Atsbaha Zebelo S, Muroi A, Ishihama N, Yoshioka H, Boland W, Takabayashi J, Endo Y, Sawasaki T, Arimura G (2010) Regulation of Arabidopsis defense responses against *Spodoptera littoralis* by CPK mediated calcium signaling. BMC Plant Biology 10:97

Ozawa, R, Berteaux, CM, Foti, M, Narayana, R, Arimura, G, Muroi, A, Maffei, ME, Takabayashi, J (2010) Polyamines and jasmonic acid induce plasma membrane potential variations in Lima bean. Plant Signaling & Behavior 5:308-310

Ozawa R, Berteaux CM, Foti M, Narayana R, Arimura G, Muroi A, Horiuchi J, Nishioka T, Maffei ME, Takabayashi J (2009) Exogenous polyamines elicit herbivore-induced volatiles in Lima bean leaves: involvement of calcium, H₂O₂ and jasmonic acid. Plant & Cell Physiology 50:2183-2199

Arimura G, Matsui K, Takabayashi J (2009) Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions. Plant & Cell Physiology 50:911-923

著書

有村源一郎 (2012) 植物らのコミュニケーション. 生き物たちのつづれ織り (上) 多様性と普遍性が彩る生物模様、阿形清和、森哲監修、京都大学学術出版会発行、pp. 209-215

有村源一郎 (2010) 植物らのコミュニケーション. 生き物たちのつづれ織り (第三巻)、京都大学グローバル COE プログラム 生物の多様性と進化研究のための拠点形成 —ゲノムから生態学まで—発行、pp. 127-131

その他

有村源一郎 (2011) 植物の「会話」を促す組換え植物を利用した害虫防除 Aroma Res 48:335-336

有村源一郎、大西利幸 (2011) 植物由来のテルペンを介した Ecological volatiles —その分子基盤—. 植物の成長調節 46:58-67

有村源一郎 (2010) 動植物の相互作用に関わる HIPV の生合成と制御メカニズム. Aroma Research 43:218-223

石田厚（教授）〈2010年着任〉

研究概要

1. タイ熱帯季節林での研究： タイでは約3ヶ月に及ぶ明瞭な乾季が存在し、熱帯季節林を形成している。しかし同じような年間降水量や降雨の季節パターンを持つにも関わらず、常緑樹林や乾季落葉樹林といった異なったタイプの森林が成立していることから、土壌要因の違いが異なった森林タイプを形成する主要因であると思われる。そのことから「土壌—植物—大気間の相互作用によって森林タイプが決定され、またその森林の機能も決定される」と仮説づけ、森林総合研究所や産業技術総合研究所、東北大学と共同研究を行っている。ここでは異なった森林タイプに観測タワーをたて、気象・森林Cフラックスや、自動撮影カメラシステムによる葉や花のフェノロジーの長期連続観測を行っている。また同時に、樹木生理の季節変化特性、土壌栄養塩特性、土壌呼吸と物質循環、森林動態とC貯留といった各要因をお互いに関連づけて研究を進めている。温帯の冬木落葉樹では、茎木部の水切れ（キャビテーション）と落葉が結びついていることが広く知られている。しかしタイ乾季落葉樹では、その落葉はキャビテーションと結びついていないこと、また水分特性は常緑樹、落葉樹種間で重なりがあるにも関わらず、乾季の光耐性については、常緑樹、落葉樹種間で異なった生理機構が働いているようであった（図1）。今後さらに測定樹種を増やして検証していく必要がある。

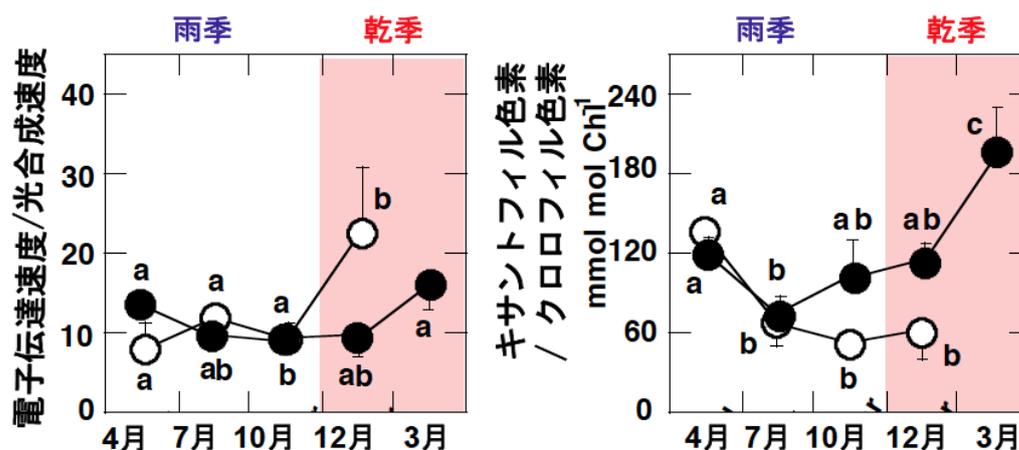


図1. 光阻害耐性の機構の1つである光呼吸速度の指標である「電子伝達速度/光合成速度」（左図）と、過度の光エネルギーの熱放散の指標である「キサントフィル色素/クロロフィル色素」（右図）の季節変化。白丸は乾季落葉樹（*Vitex peduncularis*）の、黒丸は常緑樹（*Hopea ferrea*）。乾季に光阻害がかかりやすくなってくると、落葉樹では光呼吸速度が増加し（右図）、常緑樹では熱放散が増加しているのがわかる。他の落葉2樹種、常緑2樹種も同じ傾向を示した。

2. 小笠原亜熱帯林での研究： 小笠原亜熱帯林では、在来樹種の生理生態学的な基礎研究と、外来樹種がなぜ島内で分布拡大を可能にしているのかといった応用面に繋がる研究をしてきている。乾燥尾根部には多樹種が共存する乾性低木林が発達し、木本の約75%が固有種である。この乾性低木林に共存する樹木について、生理機能と解剖学的特性を結びつけて、乾燥・強光・低栄養塩耐性を比較し、多様性を生理面から解析し、多樹種共存や環境適応のメカニズムの解明研究や森林保全管理技術の開発を行ってきた

いる。特に在来樹種や固有樹種の研究成果は、ユネスコへの小笠原の世界自然遺産登録のための申請書の植物編で重要な位置をしめ、2011年6月に日本で4番目の世界自然遺産として認められた。小笠原では、研究者、行政、島民と密接な連携をもち、貴重な生態系の保全と啓蒙活動といった社会貢献にも努めている。材の堅い樹種は、葉の水ポテンシャルが低く、分布特性からみてもより乾燥に強いと予測されているが、2011年夏の極端な乾燥年には、材の堅い樹種で枝や個体の枯死が見られた。こういった現象は北アメリカでも1論文報告があり、かれらは、カタストロフィックな乾燥では材の堅い樹種では大きく水ポテンシャルが低下することに、その原因を求めた。しかし我々はポット苗実験から、材の堅い樹種では、水切れを起こした道管がかん水によって再充填されにくいのが、材の柔らかい樹種では、再充填されやすいという、異なった仮説を持っている（図2）。現在森林総合研究所などと共同で科研費を取り、乾燥耐性に対する、我々の新しい仮説の検証を行っている。

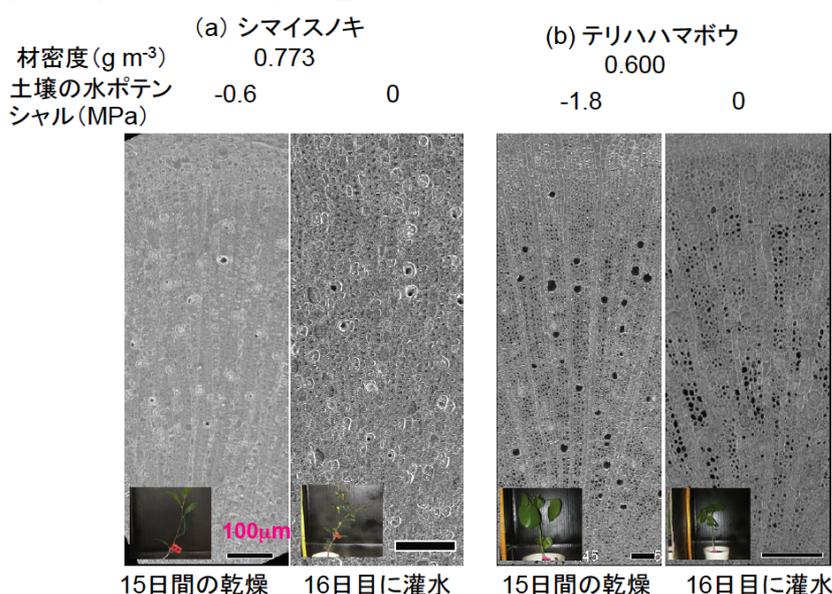


図2. 茎のクライオセム画像。白く見える道管は水が入っていることを、黒く見える道管は水切れを起こしていることを示す。(a) 材密度が高く低木種であり、より乾燥地に強いと考えられるシマイスノキと、(b) 乾燥地にも見られるが、材密度が低く高木種であり、より湿った場所を好むと考えられるテリハハマボウの苗木を使ったポット実験の結果。15日間乾燥させた時と（それぞれの樹種の左側）、16日目にかん水処理（右側）した時の、茎のクライオセム画像を示す。野外の普通の乾燥状態では、材密度がより低いテリハハマボウは高い葉の水ポテンシャルを示すが、乾燥させると大きく水ポテンシャルを落とし(-1.8MPa)、かつ道管にも水切れを起こしているが、かん水によってすべての道管に水の再充填がされた。一方材密度がより高いシマイスノキでは、15日間の乾燥でも水ポテンシャルの低下は小さく、水切れを起こした道管はかん水によっても再充填されなかった。

今後の展望

今後も、樹木の生理機能と組織学的な特性との結びつきを基盤に、樹木個体生理の解明、さらに森林の成立や動態、森林生態系機能の理解へと結びつく研究を志していく。特に今後の地球温暖化は降水量分布のシフトを予測しているが、それによる森林生態系への影響評価はほとんど出来ていない。しかし私の主調査地であるタイにしても小笠原にしても、ここ十年から数十年オーダーで、降水量の変化が起こってきており、乾燥

が樹木生理に大きな影響を与えるような熱帯、亜熱帯地域では、降水量シフトは大きな問題になってくると予測される。そこで乾燥や強光といった、温暖化によってより厳しくなると思われるストレスに対する樹木の適応機構を解明するとともに、タイや小笠原を舞台に、樹種組成や森林機能や生態系サービスの変化予測につなげていきたい。またこいうった大きな地球温暖化問題を解決するには、樹木生理分野ばかりでなく、組織、森林動態、遺伝、気象、土壌といった、幅広い分野の協力なしでは推進できないため、大型プロジェクトを取得し、今後の研究を推進していきたい。

代表的な論文 5 編以内と各論文の概要

(1) Adachi M, Ito A, Ishida A, Kadir WR, Ladpala P, Yamagata Y (2011) Carbon budget of tropical forests in Southeast Asia and the effects of deforestation: an approach using a process-based model and field measurements. *Biogeosciences* 8: 2635-2647

マレーシアの熱帯雨林とヤシ植栽林、およびタイの熱帯季節林で、VIST モデルの活用により森林のC貯留の年変動、および樹木伐採によるC放出量とその後回復過程を推定し、また実際のデータとの整合性で推定の検証を行った。ヤシ植栽林では30年たっても、天然林の約30%のC貯留量しかなかった。

(2) Ishida A, Harayama H, Yazaki K, Ladpala P, Sasrisang A, Kaewpakasit K, Panuthai S, Staporn D, Maeda T, Gamo M, Diloksumpun S, Puangchit L, Ishizuka M (2010) Seasonal variations of gas exchange and water relations in deciduous and evergreen trees in monsoonal dry forests of Thailand. *Tree Physiology* 30: 935-945

タイ乾季節林樹種では、冬季落葉樹と異なり、木部の水切れと落葉とに結びつきは無いことがわかった。また乾季節林樹種では、水分特性には、常緑と落葉樹種間で明確な差異は見られなかったが、乾季の強光阻害耐性をもたらす生理機構には、常緑と落葉樹種間で異なっていることがわかった。

(3) Mori S, Yamaji K, Ishida A, et al. (2010) Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 1447-1451

小さな実生から大きな成木の個体呼吸速度を測定する技術確立した。その技術を使って、熱帯から温帯、寒帯に生育する、実生から成木の様々なサイズの樹木個体について、個体サイズと個体呼吸速度との関係式を確立した。そのことによって、今まで推定の域でしかなかった個体呼吸量のスケールリング則を、実測値から求めることができた。

論文リスト

原著論文

Adachi M, Ito A, Ishida A, Kadir WR, Ladpala P, Yamagata Y (2011) Carbon budget of tropical forests in Southeast Asia and the effects of deforestation: an approach using a process-based model and field measurements. *Biogeosciences* 8: 2635-2647

Yasumura Y, Ishida A (2011) Temporal changes in photosynthetic nitrogen-use efficiency and nitrogen partitioning during the leaf life of an evergreen tree, *Quercus myrsinaefolia*. *Journal of Plant Research* 124: 115-123

Ishida A, Harayama H, Yazaki K, Ladpala P, Sasrisang A, Kaewpakasit K, Panuthai S, Staporn D, Maeda T, Gamo M, Diloksumpun S, Puangchit L, Ishizuka M (2010) Seasonal variations of gas exchange and water relations in deciduous and evergreen trees in monsoonal dry forests of Thailand. *Tree Physiology* 30: 935-945

Mori S, Yamaji K, Ishida A, Stanislav G, Prokushkin, Oxana V M, Rafiqul ATM Hoque, Hagihar A, Suwa R, Osawa N, Nisizono T, Ueda R, Kaneshiro T, Miyagi K, Kajimoto T, Koike T, Matsuura Y, Toma T, Olga A Zyryanovad, Anatoly P Abaimov, Awaya Y, Araki M, Kawasaki T, Chiba Y, Marjnah U (2010) Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 1447-1451

Yazaki K, Sano Y, Fujikawa S, Nakano T, Ishida A (2010) Responses to dehydration and irrigation in invasive and native saplings: osmotic adjustment versus leaf shedding. *Tree Physiology* 30: 539-607

田中浩、ドクラク マロード、石田厚、高橋正通、齋藤智之、中静透 (2010) 同所的に存在する熱帯性タケ類の一斉開花枯死後の更新 —タケに稚樹バンクが存在する?— *日本生態学会誌* 60 : 63-72

著書、その他

石田厚、前田高尚 (2011) タイ熱帯季節林の多様性と生理機能. 海外の森林と林業 (財団法人 国際緑化推進センター) 第 81 号 PP.3-7

石田厚(2011) 小笠原諸島の世界自然遺産登録に向けて, 生き物たちのつづれ織り 第五巻 京都大学グローバル COE プログラム PP.142-148

大串隆之（教授）

研究概要

1. 間接相互作用網アプローチの発展

陸域生態系では、非栄養関係・間接効果・相利関係が普遍的に生じており、生物群集の構造や生態系における生物多様性を生み出すきわめて重要な役割を担っている。それにも関わらず、従来の食物網ではこれらの関係は無視されてきた。とりわけ、生態系において物質生産の担い手である植物の形質変化を介する間接効果は、植物と節足動物の食物連鎖を互いに結びつけることによって新たな相互作用ネットワークを作り出す。これらの関係を食物網に取り入れた相互作用ネットワークの新たな考え方を「間接相互作用網（Indirect interaction web）」として世界に先駆けて提案し、陸上生態系の生物多様性の維持促進機構として位置づけた（Ohgushi 2005）。

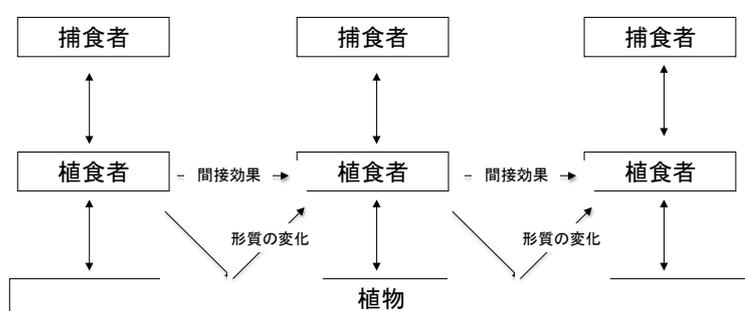


図1。間接相互作用網。食物網に非栄養関係、間接効果、相利関係を組み込んだ生物間相互作用ネットワーク。植物上の個々の食物連鎖（縦系）を植物の形質変化による間接効果（横系）が結びつける。生物間相互作用が織りなす自然界の

タペストリー。

この間接相互作用網の重要性と普遍性の検討を行い、さまざまなシステムでその実態を明らかにしてきた（Ohgushi 2007, 2008, 2012; Ohgushi et al. 2007; Ohgushi et al. 2012）。評価期間（2007—2011）では、「間接相互作用網アプローチ」をさらに発展させ、この概念の重要性を明らかにするために、微生物-植物-昆虫の相互作用ネットワーク、地上部と地下部の相互作用、間接相互作用による陸上生態系の窒素動態、植食者および捕食者群集の多様性を生み出すボトムアップ栄養カスケード、群集構成種の形質進化、などの進化生態学、群集生態学、生態系生態学の主要課題に焦点を当て、植物の表現型可塑性の役割についての解明に取り組んだ。

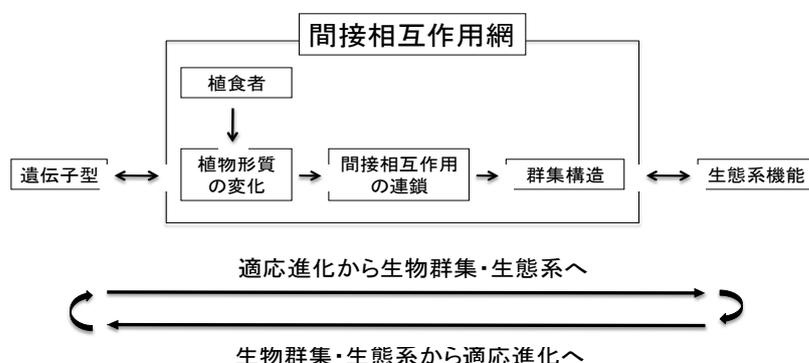


図2。間接相互作用網アプローチの拡張。遺伝子型と生態系機能を組み込むことで、適応進化から生物群集・生態系に至るアプローチと生物群集・生態系から適応進化に至る

アプローチを統合する。これにより、生態学の新たな展開を目指す、進化—生態ダイナミクス研究を促進する。

1) 生態系におけるボトムアップ栄養カスケード

間接相互作用網の重要な予測の一つは、植食者が誘導する植物の形質を介した高次栄養段階への効果、つまり、ボトムアップ栄養カスケード (bottom-up trophic cascade) である (Ohgushi et al. 2007)。これは、従来の植物から植食者を介して捕食者への一方向的なボトムアップ制御の考え方を超えて、植物に対する植食者のトップダウン効果がボトムアップ栄養カスケードを駆動することを明らかにした。つまり、生態系におけるトップダウン効果とボトムアップ効果を結びつけ、両者のフィードバックの実態に迫る新たな取り組みである。

野外操作実験により、植物に対する植食者によるトップダウン効果 (植物の植食者に対する誘導反応) が、ボトムアップ栄養カスケードを生じさせることを実証した (Ohgushi 2012)。特に、ヤナギに対するコウモリガの幼虫の食害 (Utsumi and Ohgushi 2009)、アワダチソウに対するアブラムシの食害 (Ando et al. 2011)、ダイズに対する根粒菌の共生 (Katayama et al. 2011) が、植物上の植食者と捕食者の種多様性、個体数、群集構造を大きく変えること、季節的に棲み分けている群集にボトムアップ栄養カスケードを生じさせることを解明し、植食者が誘導するボトムアップ栄養カスケードが自然生態系において普遍的な現象であることを指摘した。

2) 帰化植物と間接相互作用網

帰化生物による生物間相互作用ネットワークの崩壊と再生の実態を明らかにするために、100年前にアメリカから侵入したセイタカアワダチソウとそれを利用する昆虫を対象にして、日米の同じ遺伝子型のアワダチソウを用いた相互移植による圃場実験をミネソタ大学と共同で進めてきた。この圃場実験により、(1) 日本のアワダチソウを利用する昆虫群集の種多様性・密度・群集構造は、原産地のアメリカと比較して大きく異なること、(2) 日本では、優占種のセイタカヒゲナガアブラムシによる植物の形質変化とアブラムシに共生するアリが、アワダチソウ上の昆虫群集を規定していること、(3) アワダチソウの遺伝子型と表現型可塑性が昆虫群集の構造に大きな影響を与えていること、(4) 発育初期でのアワダチソウに対する葉食害が訪花者群集の構造を大きく変えること、(5) 近年アメリカから侵入したアワダチソウゲンバイの食害による葉の著しい劣化が植食者と捕食者の個体数と種数を大きく低下させていること、を次々に明らかにした (Ando and Ohgushi 2008; Ando et al. 2010, 2011; Ikemoto et al. 2011)。帰化植物が移入先で新たな相互作用ネットワークを形成し、それがどのように直接的あるいは間接的に在来生物に波及するかという問題は、生物多様性保全を生物間相互作用の視点で考えるために不可欠な課題である。

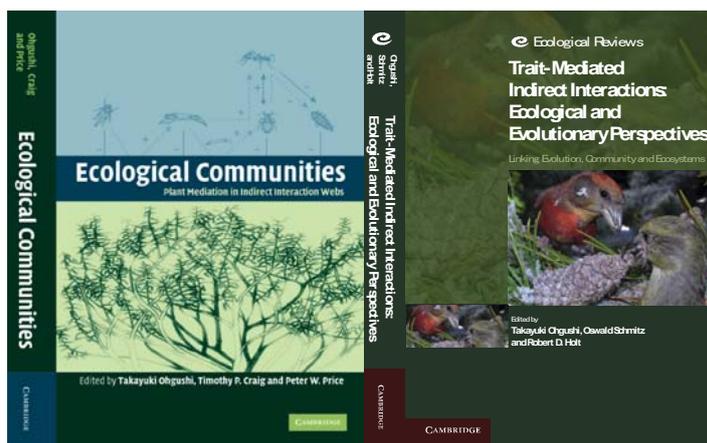
3) 群集構造が形質進化を促す

ヤナギを寄主植物とするヤナギルリハムシ成虫の新葉に対する選好性に注目し、植食性昆虫の群集構造が新葉選好性の進化を促進するという仮説を提唱し、野外個体群の調査・ミニ生態系を使った野外操作実験・分子遺伝解析による統合アプローチによって検証を進めてきた (Utsumi et al. 2009)。これまでに、(1) 新葉選好性には大きな地理的変異があること、(2) 新葉選好性はヤナギの再成長の強さに依存して強くなること、(3) 新葉選好性は遺伝形質であること、(4) 地域によって異なる植食性昆虫の群集構造がヤナギの再成長の強さを決めること、(5) 植食性昆虫の群集構造により淘汰の強さと方向が変わること、を明らかにして、生物群集がメンバーの形質進化の淘汰圧に

なることを主唱した。この研究は形質進化と生態プロセスの統合を目指し、新たな研究分野として発展を遂げつつある Eco-Evolutionary Dynamics に大きく貢献するものである。

2. 国内外の生態学研究者への研究成果のフィードバック

「間接相互作用網」アプローチの成果に基づいた、群集生態学の新たな概念を生態学の発展に貢献させるために、「Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect



Interaction Webs (2007) 左」と「Trait-Mediated Indirect Interactions (2012) 右」をケンブリッジ大学出版局から、「シリーズ群集生態学 全6巻 (2008-)」を京都大学学術出版会から刊行している。前2書は、それぞれ陸上植物が作り出す「形質介在による間接相互作用」と、この研究分野の理論と実証研究の統合を目指した、いずれも世界初の専門書である。

今後の展望

過去5年間の間接相互作用網に基づく総合的研究により、陸上植物が支える生物群集の組織化と生態系機能に果たす「形質介在の間接効果」の理解について、世界に先駆けて大きな進展が見られた。さらに、生物群集の構造がそのメンバーの形質進化に大きく関与している可能性が浮き彫りにされた。これらの成果により、今後取り組むべき以下の課題が明確になった。これらの課題は、いずれも生態学の飛躍的発展を可能にする Big Question であり、そこから得られる知見は、生物多様性の維持・創出機構の本質的な理解と生物多様性保全の方法論に大きく貢献するものと期待される。

- (1) 形質進化と群集・生態系をつなぐ新たな生態学の方法論の確立。
- (2) 間接相互作用網の時間的・空間的ダイナミクスの解明。
- (3) 遺伝子型と表現型可塑性が群集構造と生態系機能にはたす役割。
- (4) 異なる生物間相互作用（植食・捕食・寄生・送粉）ネットワークの統合による生態系における生物多様性の維持創出機構の本質的理解。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Utsumi S, Ando Y, Craig TP, Ohgushi T (2011) Plant genotypic diversity increases population size of a herbivorous insect. *Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences* 278:3108-3115

セイタカアワダチソウの抵抗性に関わる遺伝的多様性がセイタカヒゲナガアブラムシの個体群サイズを増加させることを野外操作実験により解明した。これにより、植物の遺伝的多様性が植食性昆虫のメタ個体群動態を変えることを世界に先駆けて明らかにした。

(2) Utsumi S, Ando Y, Ohgushi T (2009) Evolution of feeding preference in a leaf beetle:

the importance of phenotypic plasticity of a host plant. Ecology Letters 12: 920-929

ヤナギを利用するヤナギルリハムシの新葉選好性には大きな地理的変異があり、ヤナギの再成長の強さに依存して強くなることを明らかにした。これに基づいて、植食性昆虫の群集構造が形質進化を促進する可能性を指摘した。

(3) Ohgushi T (2008) Herbivore-induced indirect interaction webs on terrestrial plants: the importance of non-trophic, indirect, and facilitative interactions. Entomologia Experimentalis et Applicata 128: 217-229

植食者が誘導する植物の形質変化が、ボトムアップ栄養カスケードを通して、植食者と捕食者の群集構造（種多様性・密度・群集構成）の決定要因になることをそれまでの研究成果に基づいて明らかにした。

(4) Ohgushi T, Craig TP, Price PW (2007) Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs. Cambridge University Press, Cambridge.

陸上植物とそれに依存する節足動物や微生物の多様な相互作用系における植物の形質変化（表現型可塑性）が作り出す「植物の形質を介した間接相互作用」についての世界初の専門書。Hard cover の第 1 刷を完売し、paper back 版を増刷した。

(5) Ohgushi T (2007) Nontrophic, indirect interaction webs of herbivorous insects. In Ohgushi T, Craig TP, Price PW (eds) Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs. Cambridge University Press, Cambridge, pp 221-245

間接効果を代表とする非栄養関係が植食性昆虫の群集構造を決定するメカニズムの詳細について、それまでの研究成果に基づいて明らかにした。

論文リスト

Kagata H, Ohgushi T (2011) Ecosystem consequences of selective feeding of an insect herbivore: palatability-decomposability relationship revisited. Ecological Entomology 36:768-775

Ando Y, Utsumi S, Ohgushi T (2011) Community-wide impact of an exotic aphid on an introduced tall goldenrod. Ecological Entomology 36:643-653

Utsumi S, Ando Y, Craig TP, Ohgushi T (2011) Plant genotypic diversity increases population size of a herbivorous insect. Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences 278:3108-3115

Miura K, Ohgushi T (2011) A new host record for *Blaesoxipha rufipes* (Diptera: Sarcophagidae) on *Atractomorpha lata* (Orthoptera: Pyrgomorphidae) from Japan. Entomological News 121:213-214

Kagata H, Ohgushi T (2011) Ingestion and excretion of nitrogen by larvae of a cabbage armyworm: the effects of fertilization application. Agricultural and Forest Entomology 13:143-148

Craig TP, Itami J, Ohgushi T, Ando Y, Utsumi S (2011) Bridges and barriers to herbivory resulting from host plant genotypic variation. *Journal of Plant Interactions* 6:141-145

Yamauchi A, Nishida T, Ohgushi T (2011) Mathematical model of colonization process of mycorrhizal plants: effect of interaction between plants with fungi. *Journal of Plant Interactions* 6:129-132

Ohgushi T, Ando Y, Utsumi S, Craig TP (2011) Indirect interaction webs on tall goldenrod: community consequences of herbivore-induced phenotypes and genetic variation of plants. *Journal of Plant Interactions* 6:147-150

Miura K, Ohgushi T (2011) A native predator affects the indirect interaction between exotic herbivorous insects on an invaded plant. *Journal of Plant Interactions* 6:175-176

Ikemoto M, Ohgushi T, Craig TP (2011) Space-dependent effects of floral abundance on flower visitors. *Journal of Plant Interactions* 6:177-178

Ando Y, Utsumi S, Craig TP, Itami J, Ohgushi T (2011) How are arthropod communities organized on an introduced plant *Solidago altissima*? *Journal of Plant Interactions* 6:169-170

Utsumi S, Ando Y, Ohgushi T (2011) Evolutionary consequence of indirect interactions among insect herbivores through herbivore-induced plant regrowth. *Journal of Plant Interactions* 6:171-172

Katayama N, Zhang ZO, Ohgushi T (2011) Belowground rhizobia positively affect abundances of aboveground sap feeding and leaf chewing herbivores. *Journal of Plant Interactions* 6:173-174

Katayama N, Zhang ZO, Ohgushi T (2011) Community-wide effects of belowground rhizobia on aboveground arthropods. *Ecological Entomology* 36:43-51

Ohgushi T (2011) From genome to ecosystem. *Population Ecology* 53:5-7

大串隆之 (2010) 動物の相互作用. (石原勝敏・末光隆志編) 生物の事典, 291-292. 朝倉書店, 東京

大串隆之 (2010) 植物と動物の相互作用. (石原勝敏・末光隆志編) 生物の事典, 292-295. 朝倉書店, 東京

Nishida T, Katayama N, Izumi N, Ohgushi T (2010) Arbuscular mycorrhizal fungi species-specifically affect induced plant responses to a spider mite. *Population Ecology* 52:507-515

Katayama N, Nishida T, Zhang ZQ, Ohgushi T (2010) Belowground microbial symbiont enhances plant susceptibility to a spider mite through change in soybean leaf quality. *Population Ecology* 52:499-506

Utsumi S, Kishida O, Ohgushi T (2010) Trait-mediated indirect interactions in ecological communities. *Population Ecology* 52:457-459

Ando Y, Utsumi S, Ohgushi T (2010) Community structure of insect herbivores on introduced and native *Solidago* plants in Japan. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 136:174-183

大串隆之・近藤倫生・椿宜高 (2009) シリーズ 群集生態学 6 : 新たな保全と管理を考える. 京都大学学術出版会, 京都

椿宜高・大串隆之・近藤倫生 (2009) 応用群集生態学への展望. (大串隆之・近藤倫生・椿宜高編) シリーズ 群集生態学 6 : 新たな保全と管理を考える, 173-183. 京都大学学術出版会, 京都

大串隆之・近藤倫生・難波利幸 (2009) シリーズ 群集生態学 3 : 生物間ネットワークを紐とく. 京都大学学術出版会, 京都

大串隆之 (2009) 食物網から間接相互作用網へ. (大串隆之・近藤倫生・難波利幸編) シリーズ 群集生態学 3 : 生物間ネットワークを紐とく, 151-184. 京都大学学術出版会, 京都.

難波利幸・大串隆之・近藤倫生 (2009) 生物間ネットワークを紐とく. (大串隆之・近藤倫生・難波利幸編) シリーズ 群集生態学 3 : 生物間ネットワークを紐とく, 245-266. 京都大学学術出版会, 京都

大串隆之・近藤倫生・吉田丈人 (2009) シリーズ 群集生態学 2 : 進化生物学からせまる. 京都大学学術出版会, 京都

石原道博・大串隆之 (2009) 適応と生物群集をむすぶ間接相互作用. (大串隆之・近藤倫生・吉田丈人編) シリーズ 群集生態学 2 : 進化生物学からせまる, 41-63. 京都大学学術出版会, 京都

吉田丈人・近藤倫生・大串隆之 (2009) 群集生態学と進化生物学の融合から見えてくるもの. (大串隆之・近藤倫生・吉田丈人編) シリーズ 群集生態学 2 : 進化生物学からせまる, 263-274. 京都大学学術出版会, 京都

Utsumi S, Ohgushi T (2009) Community-wide impacts of herbivore-induced plant regrowth on arthropods in a multi-willow species system. *Oikos* 118:1805-1815

Kishida O, Trussell GC, Nishimura K, Ohgushi T (2009) Inducible defenses in prey intensify predator cannibalism. *Ecology* 90:3150-3158

Yamauchi A, Nishida T, Ohgushi T (2009) Stochastic tunneling in the colonization of mutualistic organisms: primary succession by mycorrhizal plants. *Journal of Theoretical Biology* 261:74-82

Utsumi S, Ando Y, Ohgushi T (2009) Evolution of feeding preference in a leaf beetle: the importance of phenotypic plasticity of a host plant. *Ecology Letters* 12:920-929

Utsumi S, Nakamura M, Ohgushi T (2009) Community consequences of herbivore-induced bottom-up trophic cascades: the importance of resource heterogeneity. *Journal of Animal Ecology* 78:953-963

Nishida T, Izumi N, Katayama N, Ohgushi T (2009) Short-term response of arbuscular mycorrhizal association to spider mite herbivory. *Population Ecology* 51:329-334

Nakazawa T, Ohgushi T, Yamamura N (2009) Resource-dependent reproductive adjustment and the stability of consumer-resource dynamics. *Population Ecology* 51: 105-113.

大串隆之 (2008) 競争排除. (日本科学者会議編) 環境事典, 25. 旬報社, 東京

大串隆之 (2008) ギルド. (日本科学者会議編) 環境事典, 265-266. 旬報社, 東京

大串隆之 (2008) 形質置換. (日本科学者会議編) 環境事典, 294. 旬報社, 東京

大串隆之 (2008) 種間競争. (日本科学者会議編) 環境事典, 487-488. 旬報社, 東京

大串隆之 (2008) 生存競争. (日本科学者会議編) 環境事典, 572. 旬報社, 東京

大串隆之 (2008) トップダウン効果. (日本科学者会議編) 環境事典, 764-765. 旬報社, 東京

大串隆之 (2008) ニッチ. (日本科学者会議編) 環境事典, 788. 旬報社, 東京

大串隆之 (2008) ボトムアップ効果. (日本科学者会議編) 環境事典, 935. 旬報社, 東京

大串隆之・近藤倫生・野田隆史 (2008) シリーズ 群集生態学 5 : メタ群集と空間スケール. 京都大学学術出版会, 京都

野田隆史・近藤倫生・大串隆之 (2008) 課題と展望. (大串隆之・近藤倫生・野田隆史編) シリーズ 群集生態学 5 : メタ群集と空間スケール, 149-163. 京都大学学術出版会, 京都

大串隆之・近藤倫生・仲岡雅裕 (2008) シリーズ 群集生態学 4 : 生態系と群集をむすぶ. 京都大学学術出版会, 京都

仲岡雅裕・近藤倫生・大串隆之 (2008) 生物群集と生態系をつなぐ. (大串隆之・近藤倫生・仲岡雅裕編) シリーズ 群集生態学 4 : 生態系と群集をむすぶ, 205-219. 京都大学学術出版会, 京都

Ohgushi T (2008) Herbivore-induced indirect interaction webs on terrestrial plants: the importance of non-trophic, indirect, and facilitative interactions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128:217-229

Ando Y, Ohgushi T (2008) Ant and plant-mediated indirect effects induced by aphid colonization on herbivorous insects on tall goldenrod. *Population Ecology* 50:181-189

Utsumi S, Ohgushi T (2008) Host plant variation in plant-mediated indirect effects: moth boring-induced susceptibility of willows to a specialist leaf beetle. *Ecological Entomology* 33: 250-260

Etterson JR, Delf DE, Craig TP, Ando Y, Ohgushi T (2008) Parallel patterns of clinal variation in *Solidago altissima* in its native range in central USA and its invasive range in Japan. *Botany* 86:91-97

Ishihara M, Ohgushi T (2008) Enemy-free space? Host preference and larval performance of a willow leaf beetle. *Population Ecology* 50:35-43

Ohgushi T, Craig TP, Price PW (2007) *Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs*, Cambridge University Press, Cambridge.

Ohgushi T (2007) Nontrophic, indirect interaction webs of herbivorous insects. In: Ohgushi T, Craig TP, Price PW (eds) *Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 221-245

Ohgushi T, Craig TP, Price PW (2007) Indirect interaction webs: an introduction. In: Ohgushi T, Craig TP, Price PW (eds) *Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 3-15

Ohgushi T, Craig TP, Price PW (2007) Indirect interaction webs propagated by herbivore-induced changes in plant traits. In: Ohgushi T, Craig TP, Price PW (eds) *Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 379-410

大串隆之 (2007) ヤナギをめぐる虫たちの相互作用ネットワーク：生物多様性を生み出すしくみ。(京都大学総合博物館・京都大学生態学研究センター編) 生物の多様性ってなんだろう？ 生命のジグソーパズル, 50-6. 京都大学学術出版会, 京都

大串隆之 (2007) 五万匹のテントウムシにマークをつける。(京都大学総合博物館・京都大学生態学研究センター編) 生物の多様性ってなんだろう？ 生命のジグソーパズル, 106-109. 京都大学学術出版会, 京都

Utsumi S, Ohgushi T (2007) Plant regrowth response to a stem-boring insect: a swift moth-willow system. *Population Ecology* 49:241-248.

Nakamura M, Ohgushi T (2007) Willow regrowth after galling increases bud production through increased shoot survival. *Environmental Entomology* 36:618-622

Kagata H, Ohgushi T (2007) Carbon-nitrogen stoichiometry in the tritrophic food chain: willow, leaf beetle and predatory ladybird beetle. *Ecological Research* 22:671-677

大園享司（准教授）〈2008 年着任〉

研究概要

菌類は生態系における分解者や共生者、寄生者として、他の生物にはないユニークな機能を持つ真核微生物である。菌類は地球上に約 150 万種いると推測されるほど種数の多い生物群であるが、これまでに約 10 万種が記載されているにすぎず、その多様性の実態や、生態系における機能的な役割について全容どころか概要が解明されたとも言い難い。特に熱帯・亜熱帯地域では菌類の分類学的な研究が進められているものの、その種多様性や機能的な多様性、動植物との種間相互作用のバリエーション、および熱帯・亜熱帯地域の誇る生物多様性の維持・創出に果たす菌類の役割については、ほとんど調べられていないのが現状である。菌類研究には、分離・培養に基づく研究手法が従来から用いられてきたが、培養条件による選択性が多様性評価の妨げとなっていた。その問題点を克服するため、基物中から菌類ゲノム DNA を直接抽出し、塩基配列を決定する環境 DNA 手法が用いられている。最近の次世代シーケンサーを用いたメタゲノミクスは、熱帯・亜熱帯地域における菌類の多様性研究を一気に進展させる起爆剤になることが予想されるが、いまだ研究例は少ない。そこで私は、従来からの菌学的な研究手法を用いた熱帯・亜熱帯産菌類の多様性・機能研究を進めるとともに、最新の分子生物学的手法を用いて研究に取り組んでいる。

落葉分解菌を対象とした研究のメタ解析により、アジアの熱帯林から亜高山帯林に至る気候傾度に沿った年平均気温の上昇に伴って菌類の多様性が増加すること、熱帯林・亜熱帯林には強力な分解活性を有するリグニン分解菌が分布することを示した（図 1）。このような菌類多様性の気候傾度に沿ったパターンは菌根菌や内生菌では知られていたが、落葉分解菌では初の知見となった。このリグニン分解菌の定着が落葉の速やかな分解と窒素の放出を促進することを、熱帯林での野外分解実験に基づいて確かめた。種多様性の機能的な意義を明らかにすることを目的として、リグニン分解菌の分離菌株を用いた接種培養実験を実施した。熱帯産の落葉分解菌類は強力な分解活性を有するものの、リグニン含有量の高い落葉や材は比較的分解しにくい基質であることが分かった（図 2）。また熱帯林の人為的な改変にともなう土壌分解系の変化にも興味を持っている。熱帯地域では窒素固定樹種であるマンガウムアカシアの大規模造林地が拡大しているが、窒素を多量に含むマンガウムアカシアの葉の供給はリグニン分解菌の定着を抑制することを野外調査から明らかにした（図 3）。窒素は菌類のリグニン分解酵素系の発

現を抑制する場合が知られており、この研究から、人間活動に起因する環境改変が土壌分解系の構造や機能を変化させることが示された。



図 1. リグニン分解菌が定着して白色化したスダジイ落葉。沖縄本島北部の亜熱帯常緑広葉樹林で採取。

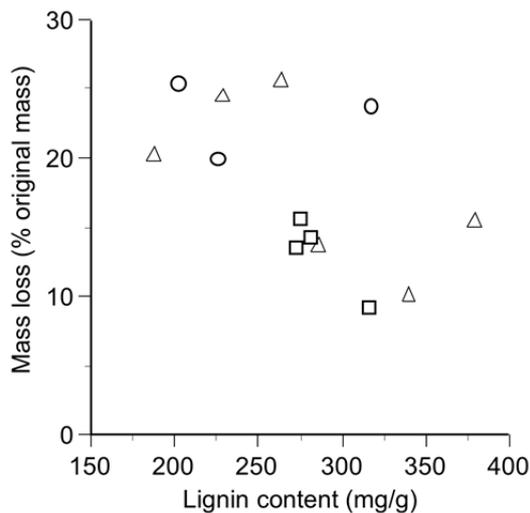


図2. 基物のリグニン濃度と熱帯産クロサイワイタケ属菌による落葉重量減少率の関係。培養系での接種試験。□材, ○葉柄, △葉身。

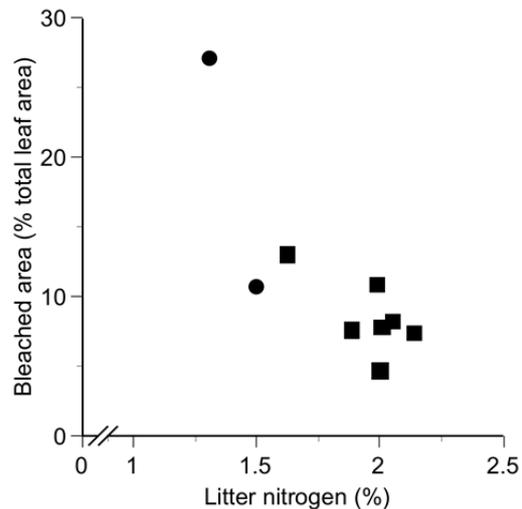


図3. 落葉の窒素濃度と落葉の漂白面積率（リグニン分解菌のアバンダンスの指標）との関係。■アカシア人工林, ●二次林。

温帯林, 北方林, 極域における菌類の多様性・機能に関する比較研究を、熱帯林での調査と並行して進めている。落葉分解菌に加えて、枯死材や殻斗の分解菌、生葉に定着する内生菌や葉面菌などの葉圏菌、植物の細根に感染して相利共生的な養分吸収を担う菌根菌、コケ定着菌などの調査も行っている。これらの研究課題を継続して実施することにより、菌類の多様性—機能関係に見られる一般的なパターンと個別事例の独自性を明らかにしたいと考えている。菌類との相互作用が他の生物群の多様性に及ぼす影響に興味がある。病原菌の感染が森林植物の多様性に及ぼす影響について文献レビューを行い、それに基づいて病原菌が長期的な森林動態に及ぼす影響について考察した。

今後の展望

現在、沖縄本島北部の亜熱帯常緑広葉樹林（通称やんばるの森）で、菌類多様性に関する研究プロジェクトを日本大学、酪農学園大学、農業環境技術研究所、鳥取大学、北海道大学と共同で実施している。落葉分解菌、内生菌、菌根菌を対象として、子実体や菌株の標本採取と DNA 解析、および次世代シーケンサーを用いた環境中の菌類 DNA を対象としたメタゲノミクスにより得られた大量の菌類 DNA の塩基配列の解析を進めている。リグニン分解菌類の多様性と生態、内生菌由来のリグニン分解菌の生態、菌根菌の多様性・基質利用様式の解析、菌根菌の多様性と共生機能との関係、菌根菌と落葉分解菌の相互作用といった個別の仮説を設定し、その仮説に基づいたデータ解析を進めている。沖縄の亜熱帯林で得られた結果の一般性を検証するため、マレーシアとオーストラリアの熱帯降雨林においても比較調査を実施している。菌類多様性の最後のフロンティアともいわれる熱帯降雨林の林冠部を対象に、林冠クレーンを用いてアクセスして採取した生葉中に存在する内生菌の多様性解析を進めている。加えて、熱帯林を特徴付ける植物と動物との相利共生系に関わる菌類の多様性と機能に注目した調査を行っている。菌類や土壌分解系を軸とした多様性—機能関係、生物間相互作用および生態系研究を、新しい分子生物学的手法を導入しながら、プロジェクトベースの共同研究等を通じて展開していきたい。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Osono T, To-Anun C, Hagiwara Y, Hirose D (2011) Decomposition of wood, petiole, and leaf litter by *Xylaria* species from northern Thailand. *Fungal Ecology* 4:210-218

熱帯林における主要な分解者であるクロサイワイタケ属 (*Xylaria*) 菌類の機能的な多様性を明らかにした。落葉由来の菌株より材由来の菌株で分解力が高いこと、材よりもリグニン含有量が低く窒素分に富む落葉をよく分解することが示された。

(1) Osono T (2011) Diversity and functioning of fungi associated with leaf litter decomposition in an Asian climatic gradient. *Fungal Ecology* 4:375-385

アジアの熱帯林から亜高山帯林に至る気候傾度に沿った落葉分解性の菌類群集の多様性と機能のパターンをメタ解析により明らかにした。多様性が年平均気温の上昇に伴って増加すること、熱帯・亜熱帯林には強力な分解活性を有する菌類が多く分布することを示した。

(2) Osono T, Ishii Y, Takeda H, Seramethakun T, Khamyong S, To-Anun C, Hirose D, Tokumasu S, Kakishima M (2009) Fungal succession and lignin decomposition on *Shorea obtusa* leaves in a tropical seasonal forest in northern Thailand. *Fungal Diversity* 36:101-119

熱帯林においてリグニン分解菌の定着が速やかな落葉の分解を引き起こすことを野外実験により明らかにした。リグニン分解菌が定着した落葉の白色部では選択的なリグニン分解と窒素の速やかな無機化が認められることを示した。

論文リスト

原著論文

Osono T, Hobara S, Hishinuma T, Azuma JI (2011) Selective lignin decomposition and nitrogen mineralization in forest litter colonized by *Clitocybe* sp. *European Journal of Soil Biology* 47:114-121

Osono T, Hirose D (2011) Colonization and lignin decomposition of pine needle litter by *Lophodermium pinastri*. *Forest Pathology* 41:156-162

Osono T, To-Anun C, Hagiwara Y, Hirose D (2011) Decomposition of wood, petiole, and leaf litter by *Xylaria* species from northern Thailand. *Fungal Ecology* 4:210-218

Osono T, Hagiwara Y, Masuya H (2011) Effects of temperature and litter type on fungal growth and decomposition of leaf litter. *Mycoscience* 52: 327-332

Osono T (2011) Diversity and functioning of fungi associated with leaf litter decomposition in an Asian climatic gradient. *Fungal Ecology* 4:375-385

Fukasawa Y, Osono T, Takeda H (2011) Wood decomposing abilities of diverse lignicolous fungi on nondecayed and decayed beech wood. *Mycologia* 103:474-482

大園享司 (2011) 病原菌との相互作用が作り出す森林の種多様性. *日本生態学会誌* 61:297-309

清和研二・大園享司 (2011) 菌類・植食者との相互作用が作り出す森林の種多様性—要点と展望. *日本生態学会誌* 61:291-295

Osono T (2010) Decomposition of grass leaves by ligninolytic litter-decomposing fungi. *Grassland Science* 56:31-36

Hosoya T, Hirose D, Fujisaki M, Osono T, Kubono T, Tokumasu S, Kakishima M (2010) Internal transcribed spacer haplotype diversity and their geographical distribution in *Dasyscyphella longistipitata* (Hyaloscyphaceae, Helotiales) occurring on *Fagus crenata* cupules in Japan. *Mycoscience* 51:116-122

Fukasawa Y, Osono T, Takeda H (2010) Beech log decomposition by wood-inhabiting fungi in a cool temperate forest floor: a quantitative analysis focused on the decay activity of a dominant basidiomycete *Omphalotus guepiniformis*. *Ecological Research* 25:959-966

Osono T, Hirose D (2009) Effects of prior decomposition of *Camellia japonica* leaf litter by an endophytic fungus on the subsequent decomposition by fungal colonizers. *Mycoscience* 50:52-55

Fukasawa Y, Osono T, Takeda H (2009) Dynamics of physicochemical properties and occurrence of fungal fruit bodies during decomposition of coarse woody debris of *Fagus crenata*. *Journal of Forest Research* 14:20-29

大園享司 (2009) わが国における樹木の葉圏菌類 (エンドファイト・エピファイト) の生態学的研究. *日本菌学会誌* 50:1-20

Osono T, Ishii Y, Takeda H, Seramethakun T, Khamyong S, To-Anun C, Hirose D, Tokumasu S, Kakishima M (2009) Fungal succession and lignin decomposition on *Shorea obtusa* leaves in a tropical seasonal forest in northern Thailand. *Fungal Diversity* 36:101-119

Osono T, Hirose D (2009) Altitudinal distribution of microfungi associated with *Betula ermanii* leaf litter on Mt. Rishiri, northern Japan. *Canadian Journal of Microbiology* 55:783-789

Fukasawa Y, Osono T, Takeda H (2009) Microfungus communities of Japanese beech logs at different stages of decay in a cool temperate deciduous forest. *Canadian Journal of Forest Research* 39:1606-1614

Fukasawa Y, Osono T, Takeda H (2009) Effects of attack of saprobic fungi on twig litter decomposition by endophytic fungi. *Ecological Research* 24:1067-1073

Ueno T, Osono T, Kanda H (2009) Inter- and intraspecific variations of the chemical properties of high-Arctic mosses along water-regime gradients. *Polar Science* 3:134-138

Osono T, Takeda H, Azuma JI (2008) Carbon isotope dynamics during leaf litter decomposition in a cool temperate forest with reference to lignin fractions. *Ecological Research* 23:51-55

Osono T, Iwamoto S, Trofymow JA (2008) Colonization and decomposition of salal (*Gaultheria shallon*) leaf litter by fungi in successional forests on coastal British Columbia. *Canadian Journal of Microbiology* 54:427-434

Osono T (2008) Endophytic and epiphytic phyllosphere fungi of *Camellia japonica*: seasonal and leaf age dependent variations. *Mycologia* 100:387-391

大園享司 (2008) カナダにおけるリター分解の地域間比較 : CIDET プロジェクトの成果と課題. *日本生態学会誌* 57:87-101

Mori A, Osono T, Uchida M, Kanda H (2008) Changes in the structure and heterogeneity of vegetation and microsite environments with the chronosequence of primary succession on a glacier foreland in Ellesmere Island, high arctic Canada. *Ecological Research* 23:363-370

Osono T, Ishii Y, Hirose D (2008) Fungal colonization and decomposition of *Castanopsis sieboldii* leaf litter in a subtropical forest. *Ecological Research* 23:909-917

著書、その他

Lysek G. & Jennings D.H. (広瀬大・大園享司訳) 菌類の生物学 (原題 : Fungal Biology, Understanding the fungal lifestyle, second edition). 京都大学学術出版会、2011.

大園享司・鏡味麻衣子 微生物の生態学、共立出版、2011.

大園享司・鏡味麻衣子 生態学からみた微生物の世界. 微生物の生態学 (大園享司・鏡味麻衣子編)、共立出版、2011、3-15.

山下聡・大園享司 熱帯林における菌類の生態と多様性. 微生物の生態学 (大園享司・鏡味麻衣子編)、共立出版、2011、pp. 55-70.

谷口武士・大園享司 共生菌・病原菌との相互作用が作り出す植物の種多様性. 微生物の生態学 (大園享司・鏡味麻衣子編)、共立出版、2011、pp. 101-116.

深澤遊・大園享司 植物リター分解菌とブナ林の土壌分解系. 微生物の生態学 (大園享司・鏡味麻衣子編)、共立出版、2011、pp. 169-185.

菱沼卓也・南雅代・伊藤公一・大園享司 (2011) 14C 測定による粗大枯死材の枯死年および分解速度の推定. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 22: 72-81.

Osono T. & Hirose D. Ecology of endophytic fungi associated with leaf litter decomposition. In: *Applied Mycology* (ed. by M. Rai & P. Bridge), CAB International, 2009, pp. 92-109.

大園享司 熱帯林・亜熱帯林の落ち葉は白く腐る. 生き物たちのつづれ織り第2巻、京都大学グローバルCOEプログラム、2009、pp. 129-134.

大園享司 落葉分解. 森林大百科事典 (森林総合研究所編)、朝倉書店、2009、pp. 179-180.

大園享司 (2009) 西南暖地において収集した落葉漂白菌類のリグニン分解特性の評価. 微探収報 22: 33-41.

大園享司・広瀬大 (2009) 利尻島においてミズナラ落葉の漂白に関わる子囊菌類. 利

屍研究 28: 51-56.

奥田昇（准教授）

研究概要

1. 空間的異質性と長期変動からみた大規模湖沼・琵琶湖の生物多様性評価（担当：中野、奥田、谷内）

本研究は、環境研究総合推進費・H23戦略研究開発プロジェクトS-9「アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究」サブグループ課題「陸水生態系における生物多様性損失の定量的評価に関する研究」（代表：高村典子、2011-2015年度）の一環として実施中である。世界有数の生物多様性を誇る琵琶湖の水生生物を対象として、それらの産卵・生育地として重要な沿岸生態系、周辺湿地生態系である内湖、および水資源・水産資源の供給場となる沖合生態系の3つの生態系に焦点を当て、流域生態系を総合的に保全するための生物多様性損失評価モデル、湖沼の高次捕食者となる魚類の炭素・窒素安定同位体比から生物多様性を評価する食物網モデル、および、生態系応答予測モデルを構築・適用することにより、琵琶湖の生物多様性保全地区の選定、生物多様性の損失を引き起こす駆動因の特定、および、社会適応シナリオ下での回復予測を行うことを目的とする。

2. 安定同位体を用いた生物多様性の機能解析手法の開発（担当：陀安、奥田）

本研究は、環境研究総合推進費地球環境問題対応型研究課題D-1102「生物多様性の機能評価のための安定同位体指標に関する研究」（代表：陀安一郎、2011-2013年度）の一環として実施中である。琵琶湖集水域をフィールドとして、水生生物群集により形成される食物網の構造と栄養塩循環機能の関係解明に取り組んでいる。特に、従来の安定同位体食物網解析において問題とされてきた栄養段階推定にアミノ酸種特異的窒素同位体分析を導入することにより、食物網解析の解像度の向上および長期所蔵液浸標本を用いた生態系復元手法の確立を目指している。

3. 捕食者の栄養多型の遺伝的基盤解明と湖沼生態系への波及効果の実験的検証（担当：奥田、陀安）

本研究は、グローバル COE プログラム「生物の多様性と進化研究のための拠点形成ゲノムから生態系まで」（代表者：阿形清和、2007-2011 年度）における重点的研究課題として実施された。次世代シーケンサーを用いた非モデル生物の QTL 解析技術を適用することにより、魚類に見られる栄養多型現象の分子遺伝学的研究の基盤を確立した。また、魚類の摂餌機能の多様性が湖沼生態系の構造や機能に及ぼす影響を室内中規模人工生態系下で実験的に検証した。捕食者の多様性が餌生物群集の食物網構造や生態系代謝機能を大きく改変することを明らかにした。

4. 感染症が野生生物に及ぼす影響の評価（担当：奥田）

本研究は、総合地球環境学研究所連携プロジェクト「病原生物と人間の相互作用環」（代表：川端善一郎、2006-2011 年度）の一環として実施された。琵琶湖で 2004 年に発生したコイのヘルペスウィルス病を事例研究として、本湖に生息する在来野生集団および外来移入集団の出現頻度の時空間パターンをモニタリングした。外来生物の人為移入に伴う外来病原生物の偶発的持ち込みが、在来近縁種に対して負の相乗効果をもたらす危険性を指摘し、野生生物と人間の関わり方に関する新たな自然観・環境観の醸成に貢献した。

5. アオコの分布拡大に関する生態・分子系統地理学的研究（担当：中野、奥田）

本研究は、環境研究総合推進費「アオコの分布拡大に関する生態・分子系統地理学的研究」（代表：中野伸一、2009-2011年度）の一環として実施された。シアノバクテリア *Microcystis aeruginosa* の大増殖によってもたらされるアオコは、湖沼生態系から提供される生態系サービスを著しく損ねるため、深刻な環境問題とみなされている。本研究は、*M. aeruginosa* の野外集団の遺伝的多様性の地理的変異を解析するとともに、琵琶湖集団を野外実験池に導入し、栄養塩類と高次捕食者である魚類を操作することによって、本種の密度および遺伝的多様性に及ぼす影響を実験的に評価することを目的とした。実験集団の遺伝的多様性は導入後の時間経過とともにダイナミックに変化し、魚類の存在は植物プランクトン組成に強い影響を及ぼすことが明らかとなった。

6. 陸水生物の温暖化影響評価（担当：陀安、奥田）

本研究は、地球環境研究総合推進費地球環境問題対応型研究課題Fa-084「温暖化が大型淡水湖の循環と生態系に及ぼす影響評価に関する研究」（代表：永田俊、2008-2010年度）の一環として実施された。琵琶湖の深底層に生息する固有魚イサザの長期所蔵標本および長期環境観測データを用いて、イサザの個体群動態に影響を及ぼす環境要因の解析を行ったところ、温暖化に関連した3つの気候変動要因（深底層の貧酸素化、秋季の沖合表層水温低下時期、春季の沿岸水温上昇時期）の重要性が示唆され、さらなる温暖化の進行によって個体群が絶滅する恐れが危惧された。環境行政施策として、イサザの絶滅リスクを軽減する幾つかの局所適応策を提言するとともに、「温暖化の湖沼学」と題する研究者向け教科書を出版し、温暖化研究の啓発に努めた。

7. 人為攪乱に対する湖沼の生態系応答に関する研究（担当：奥田、中野）

本研究は、日台共同研究事業「人為攪乱による魚類資源崩壊が水界生態系に及ぼす影響の理論的・実験的検証」（代表：奥田昇、2009年度）および「グローバルな気候変動に脆弱な水源池生態系の影響評価：翡翠水庫の順応的管理に向けて」（代表：奥田昇、2010年度）の一環として実施された。温帯湖沼である琵琶湖と亜熱帯域に位置する台湾の翡翠水庫において、気候変動に対する湖沼生態系の長期変動過程をモニタリングすることにより、将来予測モデルを構築することを目的とした。本研究により、翡翠水庫において冬季にメタン栄養食物網の発達を観察され、気候変動下で湖沼生態系の炭素循環を支配する重要な要素となりうることを示唆された。現在、本成果を足がかりとして、海外基盤研究による新たな日台共同研究が進行中である。

8. 安定同位体を用いた沿岸生態系の健全性評価（担当：陀安、奥田）

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（CREST）「各種安定同位体比に基づく流域生態系の健全性／持続可能性指標の構築」（代表：永田俊、2005-2008年度）の一環として実施された。琵琶湖沿岸帯および内湖湖沼群を対象として、人為攪乱に対する食物網構造の変化を炭素・窒素安定同位体分析により評価した。生物多様性の減少により、栄養転送効率が改変され、食物網構造が矮小化することを明らかにした。また、研究者や環境行政関係者を対象とした「流域環境評価と安定同位体」と題する専門書の出版を通じて、本研究技術の普及を促進した。

9. 陸水生態系の生息地ネットワーク評価手法の開発

本研究は、地球環境保全等試験研究費「在来淡水魚保全の為の生息地ネットワーク形成技術に関する研究」（代表：箱山洋、2006-2008年度）の一環として実施された。琵琶湖周辺に点在する内湖湖沼群と本湖の生息地ネットワークの物理構造が水生生物の

多様性および群集構造に及ぼす影響をメタ群集解析により評価した。また、炭素・窒素安定同位体分析を用いて、生息地ネットワーク構造が在来・外来魚の移動分散に及ぼす影響を評価する手法を開発した。

今後の展望

当センターのミッションとして掲げる生物多様性科学の創生に向けて、流域の人間活動が陸水生態系の生物多様性に及ぼす影響の評価および生物多様性と生態系機能の関係解明を2つの柱として研究を展開したい。特に、陸水生態系の栄養素バランスの時空間異質性と生態系代謝に焦点を当て、生態系機能の指標として、流域の栄養（炭素・窒素・リン）循環を統合的に評価する方法論の開発を目指す。また、総合地球環境学研究所との連携を強化し、連携プロジェクトの立案・実施に積極的に参画したい。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Okuda, N., T. Takeyama, T. Komiya, Y. Kato, Y. Okuzaki, Z. Karube, Y. Sakai, M. Hori, I. Tayasu & T. Nagata (2012) A food web and its long-term dynamics in Lake Biwa: a stable isotope approach. In: Lake Biwa: Interactions between Nature and People. (Eds. Kawanabe, H. et al.) Springer Academic, Amsterdam, pp205-210.

水深が深く、多様性の高い古代湖・琵琶湖の食物網の構造特性と人為攪乱に対する長期変動過程を炭素・窒素安定同位体分析によって評価した。湖内を主生息地とする魚類群集の植物プランクトン生産への依存率は魚種平均で72.6%となり、北米の湖沼に比べてはるかに高い値を示した。この高い表層生産依存性は琵琶湖の固有種の多くが、沖合の発達した北湖盆環境に適応進化したためと考えられる。また、過去100年近くに亘って収集・保存されている魚類標本の窒素安定同位体比に基づいて栄養段階を推定したところ、1970年代以降に富栄養化や外来魚の移入によって魚類の栄養段階が有意に増減することが明らかとなった。

(2) Araki, K. S., T. Nakazawa, A. Kawakita, H. Kudoh & N. Okuda (2012) Development of nine markers and characterization of the microsatellite loci in the endangered *Gymnogobius isaza* (Gobiidae). International Journal of Molecular Sciences 13(5):5700-5705

従来、ホルマリン固定された生物標本からDNAを抽出し、増幅することは技術的に困難とされてきた。本研究は、液浸標本から核DNAを抽出し、DNAマーカーを増幅する方法に改良を加えることによって、ホルマリン固定された琵琶湖固有魚イサザの長期所蔵標本のマイクロサテライト遺伝子座を特定することに成功した。本技術を応用することにより、イサザの個体群激減が遺伝的多様性に与える影響を調べる研究への展望が開けた。

(3) Shibata, J., Z. Karube, M. Oishi, M. Yamaguchi, Y. Goda & N. Okuda (2011) Physical structure of habitat network differently affects migration patterns of native and invasive fishes in Lake Biwa and its tributary lagoons: Stable isotope approach. Population Ecology 53:143-153

琵琶湖の付属湖である内湖湖沼群は、在来魚の産卵・生育地として重要な機能を担う。しかし、その一方で、内湖は外来魚の分散経路ともなりうる。本研究は、在来フナ類と外来魚オオクチバス・ブルーギルの炭素・窒素安定同位体分析を行うことによって、個体の回遊履歴を推定することを試みた。琵琶湖本湖と内湖を連結する水路の物理特性が

個体群の移住パターンに及ぼす影響は、在来魚と外来魚で大きく異なることが明らかとなった。

(4) Nakazawa, T., Y. Sakai, C.-H. Hsieh, T. Koitabashi, I. Tayasu, N. Yamamura & N. Okuda (2010) Is the relationship between body size and trophic niche position time-invariant in a predatory fish? First stable isotope evidence. PLoS ONE 5:e9120

水界の食物網では、一般的に、小さな生物が大きな生物に捕食されるというサイズ依存的な捕食・被食関係が見られる。高次捕食者となる魚類は相対的に高い栄養段階に位置するが、稚魚から成魚に至る過程で体サイズに応じて栄養段階が上昇する傾向がある。従来、このような種内の栄養段階のサイズ依存性は、種特有の形質であると考えられてきた。しかし、本研究により、これまでの通説に反して、イサザの体サイズと栄養段階の関係は不変的な種特有の形質でないことが明らかとなった。

論文リスト

原著論文

Kawabata, Z., T. Minamoto, M. N Honjo, K. Uchii, H. Yamanaka, A. A. Suzuki, Y. Kohmatsu, K. Asano, T. Itayama, T. Ichijo, K. Omori, N. Okuda, M. Kakehashi, M. Nasu, K. Matsui, M. Matsuoka, H. Kong, T. Takahara, D. Wu & R. Yonekura (2011) Environment-KHV-carp- human linkage as a model for environmental diseases. Ecological Research 26:1011-1016

Hodoki, Y., K. Ohbayashi, Y. Kobayashi, N. Okuda & S. Nakano (2011) Temporal variation in cyanobacteria species composition and photosynthetic activity in experimentally induced blooms. Journal of Plankton Research 33:1410-1416

Myint O., T. Takeyama, N. Okuda, N. Ohnishi & M. Kohda (2011) Mate availability facilitates cannibalistic behaviour in a nest brooding fish: effects of timing during the brood cycle. Behaviour 148:247-264

Shibata, J., Z. Karube, M. Oishi, M. Yamaguchi, Y. Goda & N. Okuda (2011) Physical structure of habitat network differently affects migration patterns of native and invasive fishes in Lake Biwa and its tributary lagoons: Stable isotope approach. Population Ecology 53:143-153

濱岡秀樹・渡部純平・木下文子・伊藤明・大森浩二・奥田昇・高木基裕(2010)「ミトコンドリアDNA D-loop多型によるホタルジャコの集団構造」水産育種 44:11-17

Karube, Z., Y. Sakai, T. Takeyama, N. Okuda, A. Kohzu, C. Yoshimizu, T. Nagata & I. Tayasu (2010) Carbon and nitrogen stable isotope ratios of macroinvertebrates in the littoral zone of Lake Biwa as indicators of anthropogenic activities in the watershed. Ecological Research 25:847-855

Okuzaki, Y. I. Tayasu, N. Okuda & T. Sota (2010) Stable isotope analysis indicates trophic differences among forest floor carabids (Coleoptera: Carabidae) in Japan. Entomologia Experimentalis et Applicata 135:263-270

Nakazawa, T., Y. Sakai, C.-H. Hsieh, T. Koitabashi, I. Tayasu, N. Yamamura & N. Okuda (2010) Is the relationship between body size and trophic niche position

time-invariant in a predatory fish? First stable isotope evidence. PLoS ONE 5:e9120

Fukumori, K., N. Okuda, K. Yamaoka & Y. Yanagisawa (2010) Remarkable spatial memory in a migratory cardinalfish. *Animal Cognition* 13:385-389

Kato, Y., M. Hori, N. Okuda, I. Tayasu & Y. Takemon (2010) Spatial heterogeneity of trophic pathways in the invertebrate community of a temperate bog. *Freshwater Biology* 55: 450-462

Okuzaki, Y., I. Tayasu, N. Okuda & T. Sota (2009) Vertical heterogeneity of a forest floor invertebrate food web as indicated by stable isotope analysis. *Ecological Research* 24:1351-1359

Fukumori, K., N. Okuda & Y. Yanagisawa (2009) Female territoriality in a paternal mouthbrooding cardinalfish to avoid predation against spawned eggs. *Canadian Journal of Zoology* 87(6):508-514

Ikemoto, T., N. P. C. Tu, M. X. Watanabe, N. Okuda, K. Omori, S. Tanabe, B. C. Tuyen & I. Takeuchi (2008) Analysis of biomagnification of persistent organic pollutants in the aquatic food web of the Mekong Delta, South Vietnam using stable carbon and nitrogen isotopes. *Chemosphere* 72:104-114

Ikemoto, T., N. P. C. Tu, N. Okuda, A. Iwata, K. Omori, S. Tanabe, B. C. Tuyen & I. Takeuchi (2008) Biomagnification of trace elements in the aquatic food web in the Mekong Delta, South Vietnam using stable carbon and nitrogen isotope analysis. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54:504-515

Fukumori, K., N. Okuda, H. Hamaoka, T. Fukumoto, D. Takahashi & K. Omori (2008) Stable isotopes reveal life history polymorphism in the coastal fish *Apogon notatus*. *Marine Ecology Progress Series* 362: 279-289

Fukumori, K., M. Oi, H. Doi, D. Takahashi, N. Okuda, T. W. Miller, M. Kuwae, H. Miyasaka, M. Genkai-Kato, Y. Koizumi, K. Omori, & H. Takeoka (2008) Bivalve tissue as a carbon and nitrogen isotope baseline indicator in coastal ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79:45-50

Fukumori, K., M. Oi, H. Doi, N. Okuda, H. Yamaguchi, M. Kuwae, H. Miyasaka, K. Yoshino, Y. Koizumi, K. Omori & H. Takeoka (2008) Food sources of the pearl oyster in coastal ecosystems of Japan: Evidence from diet and stable isotope analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76:704-709

濱岡秀樹・奥田昇・大森浩二 (2007) 「垂下式養殖網籠を利用した二枚貝と海藻の混合養殖の生産ならびに環境効果」 *水産増殖* 55(4):547-555

Kuwae, M., N. Okuda, H. Miyasaka, K. Omori, H. Takeoka & T. Sugimoto (2007) Decadal- to centennial-scale variability of sedimentary biogeochemical parameters in Kagoshima Bay, Japan, associated with climate and watershed changes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73:279-289

Uchii, K., N. Okuda, R. Yonekura, Z. Karube, K. Matsui & Z. Kawabata (2007) Trophic polymorphism in bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) introduced into Lake Biwa: Evidence from stable isotope analysis. *Limnology* 8:59-63

Takeyama, T., N. Okuda & Y. Yanagisawa (2007) Filial cannibalism as a conditional strategy in males of a paternal mouthbrooding fish. *Evolutionary Ecology* 21:109-119

著書・その他の論文

奥田昇(2011)「生命のるつぼ「琵琶湖」：生物標本はタイムマシーン」(グローバル COE 広報委員会編) 生き物たちのつづれ織り、第四巻：p.179-180

奥田昇 (2010)「魚類生態学の基礎」(塚本編) 分担執筆、恒星社厚生閣

Hamaoka, H., N. Okuda, T. Fukumoto, H. Miyasaka & K. Omori (2010) Seasonal dynamics of a coastal food web: Stable isotope analysis of a higher consumer. In: *Earth, Life, and Isotopes*. (Eds. Ohkouch, N., I. Tayasu & K. Koba) Kyoto University Press, Kyoto, pp.161-181.

奥田昇(2010)「生命のるつぼ「琵琶湖」：琵琶湖を汚したのは誰？」(グローバル COE 広報委員会編) 生き物たちのつづれ織り、第三巻： p.61-62

奥田昇・柴田淳也 (2010) 生物多様性を育む生態系ネットワーク：安定同位体分析を用いた評価手法の開発。「中国・日本科学最前線－研究の現場から－」、独立行政法人科学技術振興機構 (JST) 中国総合研究センター、2010 年版：275－278

奥田昇(2009)「生命のるつぼ「琵琶湖」：「生息地のつながり」が育む生物多様性」(グローバル COE 広報委員会編) 生き物たちのつづれ織り、第二巻： p.99-100

奥田昇 (2008)「流域環境評価と安定同位体」(永田・宮島編) 分担執筆、京都大学学術出版会

奥田昇(2008)「生命のるつぼ「琵琶湖」：琵琶湖の生い立ちと生物多様性」(グローバル COE 広報委員会編) 生き物たちのつづれ織り、第一巻： p.113-114

奥田昇 (2008)「失われゆく琵琶湖の生物多様性」野鳥 73(11)：30－31

Fukumori, K., M. Oi, N. Okuda, Y. Koizumi & H. Takeoka (2007) Bivalve stable carbon isotopes as indicators of source production in coastal ecosystems. In: *Chemical Pollution and Environmental Changes*. (Eds. Tanabe, S., H. Takeoka, T. Isobe & Y. Nishibe) Universal Academy Press, Inc., Tokyo, pp.327-330.

奥田昇・陀安一郎(2007)「琵琶湖の食物網：現在と過去－安定同位体比から見た水中世界－」(今福・山村編)生物多様性研究－その魅力と楽しみ－、p.40-43.

奥田昇 (2007)「生物の多様性ってなんだろう？－生命のジグソーパズル－」(京都大学総合博物館・京都大学生態学研究センター編) 分担執筆、京都大学学術出版会

研究概要

自然界にはさまざまな生物間相互作用が見られ、それらが互いに錯綜しながら生物多様性を形作っている。生物どうしが互いに影響を及ぼしあいながら進化する過程を「共進化」と呼ぶが、共進化が自然界でどのように進行し、生物多様性の創出にどのように関わってきたのかを明らかにすることが、現在私が目指している課題である。近年は特に、共生系の進化的安定性や、共進化が促す種分化や多様化を主眼に研究を進めており、これらを通して生物間相互作用がどのように現在の生態系や生物多様性を作り上げてきたのかを理解したいと考えている。

1 億 3000 万年前に被子植物が誕生するまで、陸上生態系はシダ植物と裸子植物に覆われた状態が 3 億年以上も続いたが、その間植物の多様性は現在とは比較にならないほど乏しかった。被子植物が現在のような多様性をもつことができた理由の一つに、花の進化と、花を訪れる昆虫との共進化があったと考えられているが、植物と昆虫が関わり合うことでどのように植物の多様化がもたらされたのかはまだよく分かっていない。一方、被子植物の多様化は、それらをさまざまな形で利用する植食性昆虫の多様化をもたらした。しかし、被子植物と関わりをもつことなく多様化を遂げた昆虫も多く、植物と昆虫の共進化がどれほど植食性昆虫の多様化に寄与したのかは未解決の問題である。生態学研究センターに着任して以降、私はこれらの課題に取り組むべく研究を行い、それらの成果を発信してきた。以下に主な研究成果について述べる。

主な研究成果

1) 共生系における高い種特異性の進化

密接に関わり合う生物同士の共生系では、しばしば目を見張るほどの高い種特異性が見られることがある。イチジクとイチジクコバチ、またはユッカとユッカガの間の絶対送粉共生系はその最たる例だが、これらの生物がなぜ高い種特異性をもつのかについてはまだ十分な説明がなされていない。従来、イチジクコバチやユッカガが高い種特異性をもつのは、それらの祖先がもともと高い寄主特異性をもつ内在性の植食性昆虫であったことに起因していると考えられてきた。しかし、近年新たに発見されたコミカンソウ科植物とハナホソガ属ガ類の絶対送粉共生系において、送粉者であるハナホソガ属の種特異性と、ハナホソガ属に近縁で、同じ寄主植物を利用する潜葉性の他の属の種特異性を比較したところ、ハナホソガ属の種特異性のほうが高いことが分かった (Kawakita et al. 2010 Proc. R. Soc. B)。これまでの研究から、コミカンソウ科植物は種ごとに異なる花の匂いをもっており、ハナホソガはその違いを識別して寄主植物へたどり着けることが分かっている。こうした化学シグナルをめぐる共進化が、コミカンソウ科植物とハナホソガ属ガ類の高い種特異性をもたらしたと考えられる。植物と送粉者の高い種特異性は、植物の側の生殖隔離を促すことで、植物の多様化をもたらす可能性がある。

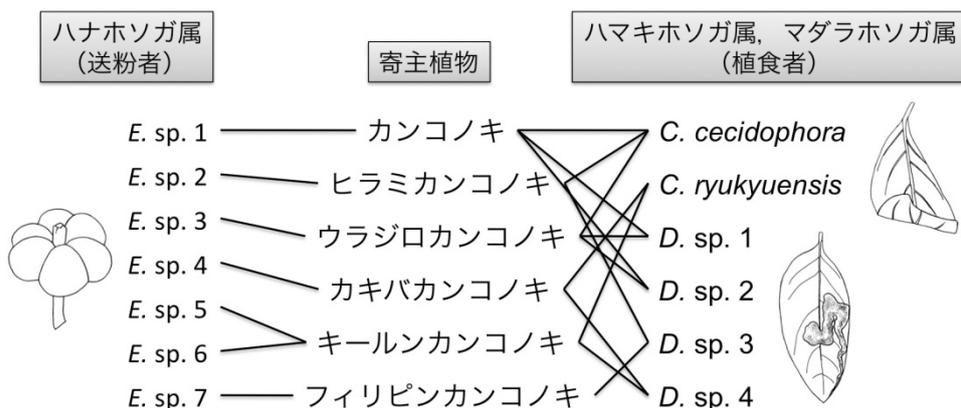


図. ハナホソガ属のガはそれぞれ 1 種のコミカンソウ科植物に特異的であるが、近縁の葉食性の属ではほとんどの種が 2 種以上のコミカンソウ科植物を利用する。

2) コケ食昆虫における寄主転換を伴わない多様化

鱗翅目は地球上で最も繁栄した植食性昆虫の一群である。白亜紀以降の鱗翅目の急速な多様化は、被子植物との共進化の産物と広く考えられているが、最も初期に分岐した鱗翅目であるコバネガ科は、コケ食でありながら高い多様化をもつ。分子系統解析と野外における生態・分布調査から、東アジアに固有のコバネガ科の一群は、ジャゴケを食草としながら 25 種以上に多様化したことが分かった (Imada et al. 2011 Proc. R. Soc. B)。これら 25 種はいずれも分布が重なることはなく、地理的分化が種分化の主な原動力であると考えられる。この研究は、植食性昆虫の多様化において地理的種分化が従来考えられていたよりも重要であることを世界に先駆けて提唱したものであり、Nature News で紹介されるなど、高い評価を得ている。



図. コバネガは湿潤な溪流環境に生息しており (上段)、幼虫はジャゴケを食べる (下段右)

今後の展望

私はこれまで一貫してコミカンソウ科植物とハナホソガ属ガ類の絶対送粉共生系を主要な研究対象としてきた。これまでに、絶対送粉共生系がコミカンソウ科で 5 回独立に進化していること、共生の進化に伴って高い種特異性が進化したこと、両者の特異性には化学シグナルをめぐる共適応が関わっていることなどを明らかにしてきた。また現在、コミカンソウ科の中でハナホソガ属のガと共生関係にある種群は、そうでないものより顕著に種多様性が高いことがわかりつつある。今後は絶対送粉共生系を進化させた系統でなぜ多様化が進んだのかをさまざまな角度から明らかにし、共進化がもたらす生物の多様化についての一般的な理論を構築することを目指す。

こうした研究と並行して、自然界の共生系がどのように安定的に維持されているのかを明らかにしていきたい。共生系は、関わり合う生物がともに利益を得る関係であるが、相手に与える利益を減らし、自らの利益を過剰にむさぼる個体がなぜ広まらないのかは生物学における長い疑問である。過剰な搾取を試みる個体に罰が下るしくみが存在することをコミカンソウ科の絶対送粉共生系でも明らかにしてきたが (Goto et al. 2010 Ecol. Lett.)、これだけでは説明できない現象も多く、共生系の進化的安定性をさまざまな角度から探ることで統一的な理解を目指す。

代表的な論文 5 編以内と各論文の概要

(1) Imada Y, Kawakita A, Kato M (2011) Allopatric distribution and diversification without niche shift in a bryophyte-feeding basal moth lineage (Lepidoptera: Micropterigidae). *Proceedings of the Royal Society B* 278:3026-3033

鱗翅目の多様性は被子植物との共進化の産物と広く考えられているが、最も原始的な鱗翅目であるコバネガ科は、食草の変化を伴わずに著しい多様化を遂げたことを示し、植食性昆虫の多様化において地理的種分化が重要であることを世界に先駆けて提唱した。

(2) Kiers ET, Denison RF, Kawakita A, Herre AE (2011) The biological reality of host sanctions and partner fidelity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 108:E7

Weyl et al. (2010) PNAS 107:15712-15716 によって提唱された共生の進化的安定性を説明するモデルの問題点を整理し、自然界に見られる多くの共生が、利益をもたらさない共生者への宿主の制裁によって安定的に維持されていること、またその生物学的根拠を明確にした。

(3) Kawahara A, Ohshima I, Kawakita A, Regier JC, Mitter C, Cummings MP, Davis DR, Wagner DL, de Prins J, Lopez-Vaamonde C (2011) Increased gene sampling strengthens support for higher-level groups within leaf-mining moths and relatives (Lepidoptera: Gracillariidae). *BMC Evolutionary Biology* 11:182.

ホソガ科で初の大規模な分子系統解析を行い、主要な属間の系統関係を明らかにした。21 の核遺伝子を解析し、鱗翅目の科内の系統解析においては、解析する遺伝子数を増やすことで系統樹の解像度を高められることを示した。

(4) Kawakita A, Okamoto T, Goto R, Kato M (2010) Mutualism favours higher host specificity than does antagonism in plant-herbivore interaction. *Proceedings of the Royal Society B*, 277:2765-2774

密接な相互作用をもつ生物同士の間ではしばしば高い種特異性が見られる。こうした種特異性は敵対関係にある植物と昆虫よりも、共生関係にある植物と昆虫の間でより高いことを明らかにした。共生の進化にはさまざまな相互適応が伴うため、共進化を介して種分化が促進される可能性がある。

論文リスト

原著論文

Kawahara A, Ohshima I, Kawakita A, Regier JC, Mitter C, Cummings MP, Davis DR,

Wagner DL, de Prins J, Lopez-Vaamonde C (2011) Increased gene sampling strengthens support for higher-level groups within leaf-mining moths and relatives (Lepidoptera: Gracillariidae). *BMC Evolutionary Biology* 11:182.

Imada Y, Kawakita A, Kato M (2011) Allopatric distribution and diversification without niche shift in a bryophyte-feeding basal moth lineage (Lepidoptera: Micropterigidae). *Proceedings of the Royal Society B* 278:3026-3033

Kiers ET, Denison RF, Kawakita A, Herre AE (2011) The biological reality of host sanctions and partner fidelity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 108:E7

Kato M, Kawakita A, Kato T (2010) Colonization of aquifers and adaptations to subterranean interstitial life by a water beetle clade (Noteridae) with description of a new *Phreatodytes* species. *Zoological Science* 27:717-722

Kawazoe K, Okabe K, Kawakita A, Kato M (2010) An alien *Sennetia* mite (Acari: Chaetodactylidae) associated with an introduced Oriental bamboo-nesting large carpenter bee (Hymenoptera: Apidae: Xylocopa) invading the central Honshu Island, Japan. *Entomological Science*, 13:303-310

Kawakita A, Okamoto T, Goto R, Kato M (2010) Mutualism favours higher host specificity than does antagonism in plant-herbivore interaction. *Proceedings of the Royal Society B*, 277:2765-2774

著書

川北篤 (2011) 花の多様性—その由来を探る. *生き物たちのつづれ織り* 第5巻, 59-64

工藤洋（教授）〈2008 年着任〉

研究概要

植物生態学の課題に分子生物学的手法をあてはめる研究をすすめた。自身の研究目標と生態学研究センターの分子生態学が果たすべき役割とが一致する方向として、以下の3つの点が強化されるように研究活動を行った。

1. 遺伝子の機能を野外で研究する：「イン・ナチュラ研究」
2. 生態学的課題に新しい分子手法を活用する：「野外エピジェネティクス」
3. 分子～生態レベルの大量データに対応する：「エコインフォマティクス」

（今後の展望に記述）

1. イン・ナチュラ研究

遺伝子は、本来、生物が生育する自然の中で機能している。その機能が、少々の環境変化で誤作動したり、機能停止におちいたりしては、生物が自然界で生きていくことは難しい。生物の機能には、野外において十分能力を発揮できるような仕組みがあるはずである。遺伝子の機能を野外で研究することを「イン・ナチュラ“*in natura*”」研究と名付け、特に生態学以外の生物分野へのアピールをはかった。生物の機能が本来の生育地において役割を果たしていること、自然淘汰が適応をもたらしてきたのは自然の生育地条件であることが、イン・ナチュラ研究を必要と考える根拠である。

植物分子遺伝学や植物分子発生学における遺伝子の機能解析は、これまで主として実験室の制御環境下で行われており、野外の変動環境下では解析されてこなかった。そこで、植物の開花応答の分子遺伝学が進展していることに着目し、温度応答性の遺伝子の季節調節を自然生育地において測定した（Aikawa et al. 2010）。アブラナ科の多年草ハクサンハタザオを対象に *FLC* 遺伝子の発現量を野外において継続的に行った。1週間に1度、2年間の測定結果を用いて、調査地での温度データに対する時系列解析を行い、*FLC* 遺伝子の季節変動を予測するモデルを作成した。解析の結果は、この遺伝子が過去6週間という長期の温度変化を参照して調節されていることを示していた。つまり、複雑な環境から情報を抽出し、ノイズが多い状況下でも季節に応答できる頑健性がこの遺伝子の重要な機能であることがわかった。

この研究の結果は、遺伝子発現を植物の内的状態を表す新規パラメータとして利用し、植物季節の予測モデルを構築できることを示している。植物季節の予測は、従来技術では、開花・結実といった一時的イベントを環境履歴に当てはめることでなされており、現在の生物科学の進展に比して十分に高度化されているとはいえない。そこで、野外環境下での遺伝子発現研究を、多種植物の多遺伝子を対象を拡大し、季節環境に対する植物の応答を網羅的に研究することを目指している。この研究は、2011年より先端・次世代研究支援プログラムの採択課題となり（「遺伝子発現の季節解析にもとづく植物気候応答の機能解明と予測技術開発」日本学術振興会）、2012年以降の次世代シーケンサ導入とトランスクリプトームのモデリングが可能なインフォマティクス体制の整備を目指した活動を行った。

2. 野外エピジェネティクス

生態学研究における分子生物学的手法の重要性が大きくなり、その普及が進んだ。一方で、生態学に即座に利用することが困難な手法も残されている。新たな手法のあてはめに、概念的にも技術的にも挑戦していく必要がある。

エピジェネティクスへの注目度は、最近の生物学においては特筆すべきものがあるが、その野外研究にはまだまだ困難がある。エピジェネティック変異と表現型との間の関係が

わかっているケースが少ないために生態学的課題が見つげにくいこと、手間においても経費においても多検体化が進んでいないことの2点を克服する必要がある。

そこで、エピジェネティクス手法のなかでも多検体化が可能な MSAP 法（メチル化感受性制限酵素 AFLP 法）を野外のクローン植物集団にあてはめ、集団の空間構造の解析をすすめた。クローン植物は、遺伝的には同じであるが生理的には独立した複数の株からなるジェネットが集まって構成されている。研究対象として、アブラナ科タネツケバナ属のコンロンソウを選び、マイクロサテライトマーカーを用いてジェネットの分布を決めるとともに、エピジェネティック変異の空間分布を決定した。エピジェネティック変異を確率として扱うデータ解析手法を確立し、特定のジェネットに属することがエピジェネティック変異のパターンに影響することを示した。

上記以外に、共同研究として、スロバキア科学アカデミー主任研究員 Karol Marhold 博士と東ユーラシアにおけるアブラナ科タネツケバナ属の系統地理学的研究、チューリヒ大学清水健太郎博士とシロイヌナズナ属とタネツケバナ属における倍数化による多様化の研究、神戸大学深城英弘博士と根における湿地適応形態の研究、北海道大学佐竹暁子博士と遺伝子発現モデリングの研究、筑波大学田中健太博士とミヤマハタザオ・タチスズシロソウの局所適応の研究をすすめた。

今後の展望

研究概要1のイン・ナチュラ研究においては、RNA-seq（網羅的 RNA シーケンス）技術を利用した環境応答と形質発現の野外解析を通じて、複雑な環境変化のもとで植物季節が巧みに調節されている仕組みを明らかにする。長期的には、植物の反応を通じて地球環境を観測する技術として利用する。2の野外エピジェネティクスにおいては、適応におけるエピジェネティック変異の役割を明らかにする。そのために、新たな手法の導入にも積極的に取り組む。現在、クロマチン免疫沈降法を用いたヒストン修飾の検出に取り組んでいる。

エコインフォマティクスにおいては、多検体の全ゲノムデータや網羅的発現データなど、大量データの解析力が研究を律速するということが現実問題となった。これらの分子生物学的手法によってもたらされる大量データは、今後ますます生態学での活用が予想される。また、それだけでなく、地理データ、気象データ、系統データとの関連付けをどのように行うかという課題がある。それらに対応する「エコインフォマティクス」技術を育てることが必要である。将来的にそのノウハウを共同利用に提供できるまで強化したい。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Momokawa N, Kadono Y, Kudoh H (2011) Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, *Rotala hippuris*: Annals of Botany 108:1299-1306

水中では R/FR 比が水深とともに急速に大きくなることに注目し、光質が両性植物の葉の形態形成に及ぼす効果を調べた。R/FR 比を高くすることで気中で水中葉の形態を、また低くすることで水中で気中葉の形態がみられた。

(2) Aikawa S, Kobayashi MJ, Satake A, Shimizu KK, Kudoh H (2010) Robust control of seasonal expression of Arabidopsis FLC gene in a fluctuating environment. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 107:11632-11637

多年生草本ハクサンハタザオの自然集団において、花成抑制因子をコードした *FLC* 遺伝子の発現変化を2年間にわたり継時測定した。時系列の解析の結果、遺伝子発現が過去6週間を参照して調節されていることが示唆された。

(3) Kawagoe T, Kudoh H (2010) Escape from floral herbivory by early flowering in *Arabidopsis halleri* subsp. *gemmaifera*. *Oecologia* 164:713-720

多年生草本ハクサンハタザオの自然集団において、開花タイミングと適応度の関係を調べた。早く開花したものは、ダイコンハムシの花器官への直接の食害を避けることができるために適応度が高くなっていることを示した。

論文リスト

原著論文

Kawagoe T, Shimizu KK, Kakutani T, Kudoh H (2011) Coexistence of trichome variation in a natural plant population: A combined study using ecological and candidate gene approaches. *PLoS One* 6:e22184

Araki KS, Kaneko S, Isagi Y, Kudoh H (2011) Isolation and characterization of microsatellite loci in a clonal herb, *Cardamine leucantha* (Brassicaceae). *American Journal of Botany* e385-e387

Momokawa N, Kadono Y, Kudoh H (2011) Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, *Rotala hippuris*: *Annals of Botany* 108:1299-1306

Shimizu KK, Kudoh H, Kobayashi MJ (2011) Plant sexual reproduction during climate change: geno function in natura studied by ecological and evolutionary systems biology. *Annals of Botany* 108:777-787

Kawagoe T, Kudoh H (2010) Escape from floral herbivory by early flowering in *Arabidopsis halleri* subsp. *gemmaifera*. *Oecologia* 164:713-720

Aikawa S, Kobayashi MJ, Satake A, Shimizu KK, Kudoh H (2010) Robust control of seasonal expression of *Arabidopsis FLC* gene in a fluctuating environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107:11632-11637

Lihova J, Kudoh H, Marhold K (2010) Genetic structure and phylogeography of a temperate-boreal herb, *Cardamine scutata* (Brassicaceae), in northeastern Asia from AFLPs and cpDNA haplotypes. *American Journal of Botany* 97:1-13

Lihova J, Kudoh H, Marhold K (2010) Morphometric studies of polyploid *Cardamine* species (Brassicaceae) from Japan. Solving a long-standing taxonomic and nomenclatural controversy. *Australian Systematic Botany* 23:1-18

Shinohara W, Ushio Y, Seo A, Nakato N, Kono M, Kudoh H, Tobe H, Murakami N (2010) Evidence for hybrid origin and segmental allopolyploidy in eutetraploid and aneutetraploid *Leposorus thunbergianus* (Polypodiaceae). *Systematic Botany* 35:20-29

Marhold K, Kudoh H, Pak J-H, Watanabe K, Spaniel S, Lihova J (2010) Cytotypic diversity and genome size variation in eastern Asian polyploid *Cardamine* (Brassicaceae) species. *Annals of Botany* 105:249-264

山口正樹, 杉阪次郎, 工藤洋 (2010) 琵琶湖東岸における絶滅危惧植物タチスズシロソウ大群落の出現とその保全: 保全生態学研究 15: 111-119

Shimizu-Inatsugi R, Lihova J, Iwanaga H, Kudoh H, Marhold K, Savolainen O, Watanabe K, Yakubov VV, Shimizu KK (2009) The allopolyploid *Arabidopsis kamchatica* originated from multiple individuals of *Arabidopsis lyrata* and *Arabidopsis halleri*. *Molecular Ecology* 18:4024-4048

著書

工藤洋 (2011) 季節を測る分子メカニズム: 遺伝子機能のイン・ナチュラ研究. 種生物学会(編) ゲノムが拓く生物学. 89-108. 文一総合出版, 東京

工藤洋 (2010) 第9章 変わる外来生物—外来生物の進化—. 種生物学会(編) 外来生物の生態学. 197-215. 文一総合出版, 東京

工藤洋 (2009) アブラナ科の生態学. グローバル COE 事務局(編) 生き物たちのつづれ織り 3. 51-58. 中西印刷, 京都

その他

工藤洋 (2011) Studing gene function in natura-robust cintrol of a flowering-time gene in natural conditions. 楽友 京都大学ニュースレター, 19:6-7

工藤洋 (2010) 'In natura'研究へ ～自然生育地における遺伝子機能の解明. 生態研センターニュース, 109:6-7

工藤洋 (2010) 植物が過去6週間の気温を記憶! 遺伝子を調節して季節に対応. 自然保護 517:26

工藤洋 (西村尚子) (2010) 野生植物が複雑な季節変化を感じ取る仕組み. nature ダイジェスト 7(9):22-23

工藤洋 (2009) 機能と適応の分子生態学. 生態研センターニュース 105:15-16

酒井章子（准教授）〈2007 年着任〉

研究概要

(1) ボルネオ島の一斉開花

多くの熱帯雨林では、降水量のリズムが生物活動にも 1 年の周期性をもたらしている。ところが、東南アジアのフタバガキ林では、降水リズムは不明瞭で、一斉開花と呼ばれる数年周期の「季節」が知られている。一斉開花がおこると、さまざまな植物が次々と開花・結実するが、それ以外にはほとんど開花しない。科学的な知見がほとんどなかったこの現象を調べるため、1992 年から生態学研究センターの研究拠点であるランビル国立公園で調査が行われてきた。

これまで 20 年以上にわたってモニタリングを行ってきた結果、フタバガキ科植物ばかりでなくさまざまな植物が一斉開花に参加すること、30 日間以上続く乾燥が一斉開花の引き金になることなどを示した。さらに、一斉開花がさまざまな動物や森林の動態に影響を与えていることを明らかにした。

ランビル国立公園は、現在国際的にみても東南アジアの熱帯林研究でもっとも重要な研究拠点の一つとなっており、2012 年度にはランビルでの研究 20 周年を記念したシンポジウムを開催した。

(2) 植物-送粉者相互作用

37 万種とも推定されている顕花植物の 9 割は、動物、主に昆虫に花粉の授受（送粉）を託している。動物は送粉サービスを提供し、植物は見返りに蜜や花粉を与える、お互いに利益のある共生関係である。しかし、植物と動物の利益は一致しているわけではなく、送粉せずに蜜を得る動物や報酬を与えずに送粉させる植物が存在し、植物や動物が自分の都合のよい相手だけを選んで相互作用するなど、いろいろな駆け引きが起こっている。

この研究は、送粉をめぐる植物と動物の関係がどのように進化し、維持されているのか、を明らかにすることを目的としている。フィールド調査による特定の種や分類群の繁殖・送粉様式の解明、分子系統樹に基づく祖先形質復元、繁殖様式や相互作用についての理論モデルなど、いろいろなアプローチで植物の繁殖について研究を行った。

(3) 人間社会と生態系の相互作用

生態学研究センターから総合地球環境学研究所に提案されたプロジェクト「人間活動下の生態系ネットワークの崩壊と再生」において、プロジェクトの立案から遂行、成果の統合に至るまで、主導的役割を果たした。

現在地球上の多くの場所で人間の直接的・間接的な生態資源の収奪や改変による生態系の劣化（生態系の変化によって生態系サービスが失われること）が顕在化し、人間社会と生態系を相互作用系、すなわち社会・生態システム（Social-Ecological System）として扱う研究の重要性が認識されるようになってきた。しかし、現代の生態系劣化の問題では、複数のアクターが直接的、間接的に複数の生態系の変化に関与しており、その複雑性と多様性が問題解決の一般化の障壁となっている。

このプロジェクトではとくに、複数のアクターと複数の生態系の関係を明示的に扱うことが重要だと考え、それらの相互作用系『生態系ネットワーク』の概念を基盤にすえた。この概念にもとづいて、生態系の性質が大きく異なるモンゴル草原とボルネオ熱帯林の生態系劣化の問題について調査を行った。その上で、この 2 つの比較を基礎に、さ

さまざまな生態系の劣化の事例を統一的に扱うフレームワークの確立を試みた。草原と熱帯雨林の比較を通じ、生態系ネットワークの構造や有効な生態系の保全策が、問題とする生態系や生態資源の性質によって大きく異なることを明らかにした。

このプロジェクトの成果は、研究所外の委員からなるプロジェクト評価委員会からも高い評価を受けている。

今後の展望

(1)については、人工的に起こした乾燥に樹木を晒すことで開花を再現しようという野外実験にいて、一斉開花の引き金を検証する野外実験が進行中である。また、開花の分子メカニズムを明らかにし、これを一斉開花の歴史を紐解く手がかりにしようという研究を計画中である。

(2)では、ドイツ・ヴェストファーレン・ヴィルヘルム大学の Arndt Telschow 博士との共同で、熱帯から寒帯までさまざまな群集の植物-送粉者ネットワークを対象にメタ解析を行い、観察されたパターンをゲーム理論によって説明することで、熱帯の送粉様式の特徴を明らかにする研究をすすめている。

(3)については、プロジェクトを通じて得られた未発表データのうち、とくに熱帯林の減少が住民の生態系サービスに与える影響について、詳細な解析を行う。

代表的な論文 5 編以内と各論文の概要

(1) Ishida, C., Kono, M., Sakai, S. (2009) A new pollination system: brood-site pollination by flower bugs in *Macaranga* (Euphorbiaceae) *Annals of Botany* 103: 39-44.

アジアの熱帯、亜熱帯地域に広く分布するトウダイグサ科オオバギ属オオバギが、花序の上で繁殖するヒメハナカメムシによって送粉されることを明らかにした。オオバギ属内では、これと類似したクダアザミウマによる送粉が知られているが、送粉者の特異性は大きく異なり、オオバギの送粉者のヒメハナカメムシは極めて広い植物種を利用する。しかし、送粉者の生活史におけるオオバギの重要性については今後検討していく必要がある。

(2) Sakai, S., Wright, S. J. (2008) Reproductive ecology of 21 coexisting *Psychotria* species (Rubiaceae): When is heterostyly lost? *Biological Journal of Linnean Society* 93: 125-134.

パナマの熱帯林に共存するアカネ科ボチョウジ属 21 種について異花柱性の有無、個体密度、送粉者などを調べ、個体密度が小さく外交配がうまくいかないことが異花柱性の喪失と自家和合への選択圧となったことを示唆した。

論文リスト

原著論文

Naoe, S., Sakai, S., Sawa, A., Masaki, T. (2011) Seasonal difference in the effects of fragmentation on seed dispersal by birds in Japanese temperate forests. *Ecological Research* 26: 301-309.

Kishimoto-Yamada, K., Itioka, T., Sakai, S., Ichie, T. (2010) Seasonality in light-attracted chrysomelid populations in a Bornean rainforest. *Insect Conservation and Diversity* 3, 266-277.

Tokumoto, U., Matsushita, M., Tamaki, I., Sakai, S., Nakagawa, M. (2009) How does flowering magnitude affect seed survival in *Shorea pilosa* (Dipterocarpaceae) at the predispersal stage in Malaysia? *Plant Species Biology* 24: 104-108.

Fujita, N., Amartuvshin, N., Yamada, Y., Matsui, K., Sakai, S., Yamamura, N. (2009) Positive and negative effects of livestock grazing on plant diversity of Mongolian nomadic pasturelands along a slope with soil moisture gradient. *Grassland Science* 55, 126-134.

Sakai, S., Nagamasu, H. (2009) Systematic studies of Bornean Zingiberaceae VI. Three new species of *Boesenbergia* (Zingiberaceae). *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 60: 49-57.

Ishida, C., Kono, M., Sakai, S. (2009) A new pollination system: brood-site pollination by flower bugs in *Macaranga* (Euphorbiaceae) *Annals of Botany* 103: 39-44.

Fukuda, D., Tisen, O. B., Momose, K., Sakai, S. (2009) Bat diversity in the vegetation mosaic around a lowland dipterocarp forest. *Raffles Bulletin of Zoology* 57: 213-221.

Kishimoto-Yamada, K., Itioka, T., Sakai, S., Momose, K., Nagamitsu, T., Kaliang, H., Meleng, P., Chong, J., Hamid, A. A., Yamane, S., Kato, M., Nakashizuka, T., Inoue, T. (2009) Population fluctuations of light-attracted chrysomelid beetles in relation to supra-annual environmental changes in a Bornean rainforest. *Bulletin of Entomological Research* 99: 217-227.

Ushimaru, A., Ishida, C., Sakai, S., Shibata, M., Tanaka, H., Niiyama, K., Nakashizuka, T. (2008) The effects of human management on spatial distribution of two bumble bee species in a traditional agro-forestry Satoyama landscape. *Journal of Apicultural Research and Bee World* 47: 296-303.

Sakai, S., Wright, S. J. (2008) Reproductive ecology of 21 coexisting *Psychotria* species (Rubiaceae): When is heterostyly lost? *Biological Journal of Linnean Society* 93: 125-134.

Nakagawa, M., Miguchi, H., Sato, K., Sakai, S., Nakashizuka, T. (2007) Population dynamics of arboreal and terrestrial small mammals in a tropical rain forest, Sarawak, Malaysia. *Raffles Bulletin of Zoology* 55: 389-395.

その他の出版物

van Jaarsveld, A. S., Takeuchi, K. (meeting co-authors), 12 coordination lead authors, 22 lead authors including Sakai, S. as 22nd (alphabetical order) (2011) International Science Workshop on Assessments for IPBES, Workshop report, July 25-29, 2011. 国連大学.

酒井 章子 (2010) 熱帯雨林の生物多様性-失われつつある生物進化 1 億年の歴史. 『地球環境学事典』 光文堂, p. 142-143.

酒井 章子 (2010) 「科学」 からこぼれ落ちる「生物多様性」. *世界思想* 37: 40-43.

酒井 章子 (2009) 生物多様性の価値の多面性と「場所」への依存性: ボルネオ熱帯雨

林の事例から. 三田学会雑誌 102 (2): 237-250.

酒井 章子 (2009) 正木隆氏受賞論文へのコメント. 日本生態学会誌 59: 25-28.

酒井 章子 (2009) 熱帯林の葉を食う虫は本当に大切か? 中静 透 (編) 『熱帯雨林研究ノート: ピーター・アシュトンと語る熱帯林研究の未来』 東海大学出版会. pp. 55-66.

酒井 章子 (2008) 応用科学を楽しむ. 生物科学 60 (1): 39-40.

酒井 章子・佐藤 廉也・竹田 晋也・山越 言・山極 寿一 (2008) 座談会: 生物多様性を理解するとはどういうことか: 研究とフィールドのはざま. エコソフィア 20: 66-79.

酒井 章子 (協力) (2008) 熱帯雨林の一斉開花. 西村尚子 (著) 『花はなぜ咲くの?』 化学同人. pp. 104-120.

Naoe, S., Sakai, S., Sawa, S., Masaki, T. (2008) Effects of forest fragmentation on tree regeneration from bird-dispersed seeds in a temperate forest in Japan. In: Ichikawa, M., Yamashita, S., Nakashizuka, T. (eds.) Sustainability and biodiversity assessment on forest utilization options. Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto. pp. 295-301. ISBN 978-4-02325-17-1.

酒井 章子 (2007) 昆虫を誘惑する花たち-花の多様性を読み解く. 京都大学総合博物館・京大大学生態学研究センター (編) 『生物の多様性ってなんだろう?: 生命のジグソーパズル』 京都大学学術出版会. pp. 6-23.

酒井 章子 (2007) フタバガキ林の一斉開花と花粉を運ぶ昆虫たち. 八尋 克郎・榎永一宏 (編) 『フェアブルにまなぶ』 日仏共同企画「フェアブルにまなぶ」展実行委員会. pp. 30-31.

酒井 章子 (2007) 昆虫を誘惑する花たち?花の多様性を読み解く. 京都大学総合博物館・京大大学生態学研究センター (編) 『生物の多様性ってなんだろう?生命のジグソーパズル』 京都大学学術出版会. pp. 6-23.

酒井 章子 (協力) (2007) 熱帯の森はいつせいに花開く. ニュートン 27(5): 82-87.

酒井 章子 (2007) ボルネオ熱帯雨林ランビルの林冠でみえたこと. 日高敏隆・秋道智弥 (編) 『森はだれのものか?アジアの森と人の未来』 昭和堂. pp. 85-107.

高林純示（教授）

研究概要

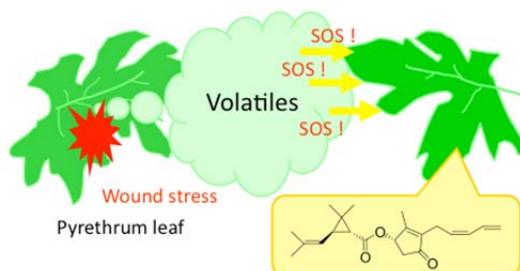
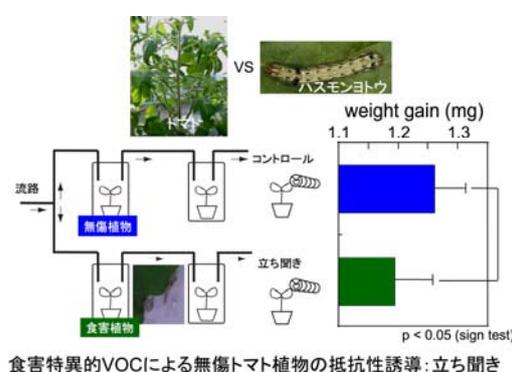
植物は害虫に食われたとき、害虫の種特異的な匂いを食害誘導的に生産・放出する。この「匂い（揮発性の化学情報）」は食害している害虫特異的な天敵を誘引する機能がある。この現象は、食害を受けた植物が「SOS」信号を出して、天敵をボディーガードとして雇っているという図式と考えることができる。この相互作用に注目した研究を行ってきた。植物-昆虫相互作用の基礎研究のみならず、アウトプットとして環境に優しい安全、安心な持続的農業技術生産に寄与する目的をもって、植物の誘導的間接防衛の解析を主要な作物が属するアブラナ科、イネ科、マメ科を用いて行って来た。1) みどりの香りの受容機構

ハスモンヨトウ食害を受けたトマトから放出される食害特異的揮発性化合物群を健全トマトに曝露すると曝露されたトマトでハスモンヨトウ抵抗性が高まることを確認した。揮発性物質曝露による抵抗性誘導機構を明らかにするため、網羅的代謝物解析（メタボローム）を実施したところ、約 8000 化合物のうち、わずかにひとつだけが顕著に誘導蓄積していた。この化合物を単離、精製し、NMR 解析によりヘキセノール配糖体であることを明らかにした。ヘキセノール配糖体を人工飼料に練り込むとハスモンヨトウ幼虫の生育抑制が確認された。受け手の植物がヘキセノールを取り込み、配糖体化することで抵抗性を高めることが明らかとなった。この抵抗性誘導にはジャスモン酸信号伝達系は関与していなかった。

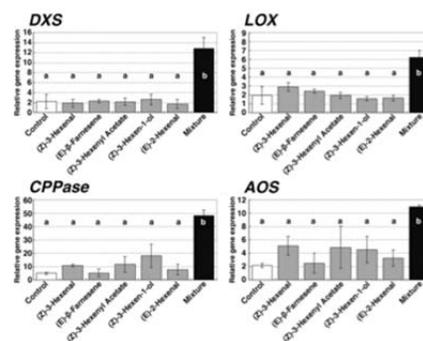
シロイヌナズナを用いた検討では、健全シロイヌナズナを揮発性フィトオキシリピン類のうち、ヘキセノール蒸気に曝すとヘキセノールを直ちに取り込み、ヘキセノールへと還元することを明らかにした。これはヘキセノールの毒性を緩和するため植物が獲得した能力だと考えられた。

先のヘキセノール配糖体化の事例と考え併せると、植物の揮発性物質官能は動物の嗅覚と明らかに異なり、揮発性物質の体内への取り込み、生化学的変換が大きく寄与していることが明らかとなった。

2) ジョチュウギクのケミカルコミュニケーション



Wound-induced VOCs act as a mixture



Matsuda et al.

ジョチュウギクは天然殺虫剤ピレトリンを対昆虫防御物質として生合成する。本研究では、ピレトリンの生合成がジョチュウギクに傷害を与えることで生じる揮発性分子によって調節されるのか、ジョチュウギクの幼苗を用いて検討した。物理的に傷害を与えたジョチュウギクの幼苗の隣に無傷の幼苗を置くと、無傷の幼苗のピレトリン含量が有意に増加した。物理的に傷害を与えたときに誘導的にジョチュウギク幼苗から生じる揮発性分子を GC-MS で同定した結果、みどりの香りと呼ばれる (*Z*)-3-hexenal、(*E*)-2-hexenal、(*Z*)-3-hexen-1-ol、(*Z*)-3-hexen-1-yl acetate に加えて (*E*)- β -farnescene が主成分として放出されることが明らかとなった。これらの成分のそれぞれについて、傷害を与えた幼苗に隣接する無傷の幼苗が被爆する量を定量してブレンドした。そして、このブレンドを無傷の幼苗に気体として処理したところ、ピレトリン生合成に関わる4種の遺伝子群の発現量が上昇するとともに、ピレトリン量も増大した。またブレンドから一つでも揮発性分子の要素を欠落させると、ピレトリン生合成は活性化されないことが明らかとなった。すなわち、傷害誘導性揮発性分子は、ブレンドとしてかつ傷害を受けた幼苗に隣接する幼苗に対してのみ、ピレトリン生合成を活性化するシグナルとしてはたらくことが分かった。

3) 植物間コミュニケーションの有効距離と感度の検出

植物間コミュニケーションの有効距離に関しては、オシメン合成酵素遺伝子を組み換えたタバコ、トレニアを用いて検討を行った。遺伝子組み換え対応温室における解析により、組み換えタバコとリマメ株間のコミュニケーション距離は30cm程度と推定された。しかし、組み換え植物を起点として、3植物間のコミュニケーションが観測され、隣接植物のみならず植物群集への影響を検出することができた。

植物間コミュニケーションの感度の検出は、シロイヌナズナ野生型と hpl 遺伝子欠損ミュータントを用いて行った。シロイヌナズナに5ミリの傷を5カ所を与え、そこから放出されるみどりの香りの効果を調べた所、断続的に3週間の受容で、匂い受容株における揮発性物質生産能力と天敵誘引能力が向上した。5カ所の5ミリの傷から放出される揮発性物質は概ね 140pptV であり、動物の嗅覚応答に匹敵する感度であることが明らかになった。植物間のケミカルコミュニケーションの最高感度を検出したのは、本研究が初めてである。

4) 生物間相互作用ネットワークの応用

被害を受けた株から放出される揮発性物質により隣接する植物の防衛能力が高まる点に注目し、応用研究を行った。兵庫県立農林水産技術総合センターのダイズ圃場において、周辺雑草の刈り取りと設置による揮発性成分暴露ダイズ圃場と対象区（揮発性物質を暴露しない圃場）において、ダイズの生産性等を調査した。その結果、暴露圃場において種子数の増加と被害葉率の低下が認められ、草刈りが起点となる植物間相互作用ネットワークを利用した病害虫防除の可能性を示すことができた。

また害虫被害植物が放出する天敵誘引性揮発性物質の応用に関する研究を行った。アブラナ科、コナガ幼虫、コナガ幼虫天敵（コナガサムライコマユバチ）の系において人工的にブレンドした天敵誘引物質の設置でコナガ被害を低減できることを、雨よけハウスのみならず露地でも実証することができた。また、上記天敵誘引物質をセンター内実験圃場に設置したところ、クズとセイタカアワダチソウの群集構造に影響を与えた。

今後の展望

生態機能を有する化学情報シグナルに注目した生態学では、これまでに代表者らの研究等から、植物起源のアロマシグナルが植物—植食生動物—捕食性動物という三者相互

作用系において様々な生態機能を持つことがわかり、それを基盤として「生物間情報・相互作用ネットワーク」という新たな概念を提案した。一方、大気科学における最近の研究の進展より、大気中のみならず様々な「界面」、すなわち大気中の微小な水滴の表面や植物の葉の表面が天然有機化合物の分解、代謝の活性中心であることが解明されてきた。さらに植物の葉の表面においても微生物が関与する天然有機化合物の分解、代謝の活性中心が発見されている。このような植物アロマの自然環境中での改変（生態系メタ代謝）は生物間情報・相互作用ネットワークを駆動する植物アロマに対しても当然当てはまり、ネットワークを媒介する情報化学物質は比較的安定的なものであるというこれまでの固定観念から、生態系メタ代謝に起因する変動性、可塑性を持つものであるという新たな視点へとパラダイムシフトをもたらすであろう。このような視点に基づいた研究を展開したい。

代表的な論文 5 編以内と各論文の概要

- (1) Muroi A, Ramadan A, Nishihara M, Yamamoto M, Ozawa R, Takabayashi J, Arimura G (2011) The Composite Effect of Transgenic Plant Volatiles for Acquired Immunity to Herbivory Caused by Inter-Plant Communications. *PloS One*, e24594

植物間の相互作用に関して、オシメン合成酵素遺伝子を組み替えたタバコ植物を用いて事件室内、及び遺伝子組み換え植物対応温室(DASH システム)を用いて解析した。遺伝子組み換えにより、匂い受容植物における防衛が向上した。

- (2) Kikuta Y, Ueda H, Nakayama K, Katsuda Y, Ozawa R, Takabayashi J, Hatanaka A, Matsuda K (2011) Specific Regulation of Pyrethrin Biosynthesis in *Chrysanthemum cinerariaefolium* by a Blend of Volatiles Emitted from Artificially Damaged Conspecific Plants. *Plant and Cell Physiology* 52: 588-596

機械的傷を与えたジョチュウギクと健全なジョチュウギク間の揮発性物質による相互作用を解析した。ジョチュウギクの場合、特定のブレンドにより健全ジョチュウギク葉のピレスリン生合成系が活性化する。

- (3) Shiojiri K, Ozawa R, Kugimiya S, Uefune M, van Wijk M, Sabelis MW, Takabayashi J (2010) Herbivore-specific, density-dependent induction of plant volatiles: Honest or “Cry Wolf” signals? *PLoS One* e12161

植物間のシグナリングの感度を解明した。シロイヌナズナでは 140pptV のみどりの香りを受容することで、健全植物における天敵誘引性が向上する。この感度は、動物の嗅覚受容に匹敵する。

- (4) Arimura G, Matsui K, Takabayashi J (2009) Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: Proximate factors and their ultimate functions. *Plant Cell and Physiology* 50: 911-923

植食者誘導性の揮発性物質に関するレビュー。

- (5) Ozawa R, Shiojiri K, Sabelis MW, Takabayashi J (2008) Corn plants sprayed with either jasmonic acid or its precursor, methyl linolenate, attract armyworm parasitoids, but the composition of attractants differs. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 129:189-199

植物にジャスモン酸、あるいはその前駆体であるリノレン酸のメチルエステルを処理することで人為的に植物の誘導防衛反応を強化することができることを示した。新しい害虫管理技術の道を開いた。

論文リスト

原著論文

Muroi A, Ramadan A, Nishihara M, Yamamoto M, Ozawa R, Takabayashi J, Arimura G (2011) The Composite Effect of Transgenic Plant Volatiles for Acquired Immunity to Herbivory Caused by Inter-Plant Communications. *PLoS One*, e24594

Mandour NS, Kainoh Y, Ozawa R, Uefune M, Takabayashi J (2011) Effects of Time After Last Herbivory on the Attraction of Corn Plants Infested with Common Armyworms to a Parasitic Wasp *Cotesia kariyai*. *Journal of Chemical Ecology* 37: 267-272

Kikuta Y, Ueda H, Nakayama K, Katsuda Y, Ozawa R, Takabayashi J, Hatanaka A, Matsuda K (2011) Specific Regulation of Pyrethrin Biosynthesis in *Chrysanthemum cinerariaefolium* by a Blend of Volatiles Emitted from Artificially Damaged Conspecific Plants. *Plant and Cell Physiology* 52: 588-596

Shiojiri K, McNeil JN, Takabayashi J (2011) Do host plant volatiles influence the diel periodicity of caterpillar foraging of all species attacking the same host plant? *Journal of Plant Interactions* 6: 121-123

Ozawa R, Matsushima R, Takabayashi J (2011) Interaction between *Phaseolus* plants and two strains of Kanzawa spider mites. *Journal of Plant Interactions* 6: 125-128

Takemoto H, Kainoh K, Takabayashi J (2011) Learning of plant volatiles by aphid parasitoids: timing to learn. *Journal of Plant Interactions* 6: 137-140

Urano S, Uefune M, Abe J, Takabayashi J (2011) Analytical model to predict the number of parasitoids that should be released to control diamondback moth larvae in greenhouses. *Journal of Plant Interactions* 6: 151-154

Ueda H, Ozawa R, Takabayashi J, Maffei M, Matsuda L (2011) Microorganisms in herbivorous two-spotted spider mites regulate ecological interactions with lima bean plant. *Journal of Plant Interactions* 6: 161

Sugimoto K, Matsui K, Ozawa R, Takabayashi J (2011) Characterization of the promoter sequence of chitinase gene from lima bean plant. *Journal of Plant Interactions* 6: 163-164

Uefune M, Kugimiya S, Takabayashi J (2011) Herbivore-induced carnivore attractants enhance the resident time of carnivores to on a host food plant. *Journal of Plant Interactions* 6: 165

Yamamoto M, Shiojiri K, Uefune M, Takabayashi J (2011) Preferences of parasitic wasps for cabbage plants infested by plural herbivore species. *Journal of Plant Interactions* 6: 167-168

Kugimiya S, Shimoda T, Takabayashi, J (2011) Timing matters: release of plant volatiles that are attractive to parasitoids. *Journal of Plant Interactions* 6: 187-188

Choh Y, Takabayashi J (2011) The role of leaf volatiles in predator avoidance by phytophagous mites. *Journal of Plant Interactions* 6: 191-192

Sabelis, MW, Janssen A, Takabayashi J (2011) Can plants evolve stable alliances with the enemies' enemies? *Journal of Plant Interactions* 6: 77-80

Nakashima A, Iijima Y, Sasaki T, Shibata D, Sugimoto K, Takabayashi J, Matsui K (2011) Monogalactosyl diacylglycerol is a substrate for lipoxygenase: implications for oxylipin formation directly from lipids. *Journal of Plant Interactions* 6: 93-97

Choh Y, Uefune M, Takabayashi J (2010) Predation-related odours reduce the oviposition of herbivorous mites. *Experimental and Applied Acarology* 50: 1-8 IF 1.260

Yamashita K, Takabayashi, J Miura K (2010) Temperature and Photoperiodic Effects on Induction and Termination of Diapause in Female *Leptocorisa chinensis* (Hemiptera: Alydidae). *Annals of the Entomological Society of America* 103: 366-370

Ozawa R, Berteaux CM, Foti M, Narayana R, Arimura G, Muroi A, Maffei ME, Takabayashi J (2010) Polyamines and jasmonic acid induce plant volatiles and plasma membrane potential variations in Lima bean. *Plant Signaling and Behavior* 5: 308-310

Kugimiya S, Shimoda T, Wajnberg E, Uefune M, Takabayashi J (2010) Host-searching responses to herbivory-associated chemical information and patch use dependent on mating status by female solitary parasitoid wasps. *Ecological Entomology* 35: 279-286

Yoneya K, Ozawa R, Takabayashi J (2010) Specialist leaf beetle larvae use volatiles from willow leaves infested by conspecifics to find suitable resources in a tree. *Journal of Chemical Ecology* 31: 671-679

Uefune M, Nakashima Y, Tagashira E, Takabayashi J, Takagi M (2010) Response of *Wollastoniella rotunda* (Hemiptera: Anthocoridae) to volatiles from plants infested by prey: effects of prey species and their density. *Biological Control* 54: 19-22

Choh Y, Ozawa R, Takabayashi J (2010) Predator avoidance of phytophagous mites in response to the presence of herbivores on a neighbouring patch. *Journal of Chemical Ecology* 36: 614-619

Kugimiya S, Shimoda T, Tabata J, Takabayashi J (2010) Present or Past Herbivory: Volatiles Released from *Brassica rapa* under Caterpillar Attacks as Host-searching Cues for the Solitary Parasitoids, *Cotesia vestalis*. *Journal of Chemical Ecology* 36: 620-628

Shimoda T, Kishimoto H, Takabayashi J, Amano H, Dicke M (2010) Relationship between the ability to penetrate complex webs of *Tetranychus* spider mites and the ability of thread-cutting behavior in phytoseiid predatory mites. *Biological Control*. 53: 273-279

Kugimiya S, Shimoda T, McNeil, JN, Takabayashi J (2010) Females of *Cotesia vestalis*,

a parasitoid of diamondback moth larvae, learn to recognise cues from aphid-infested plants to exploit honeydew. *Ecological Entomology* 35: 538-541

Kanchiswamy CN, Takahashi H, Quadro S, Maffei ME, Bossi S, Berteaux C, Zebelo SA, Muroi A, Ishihama N, Yoshioka H, Boland W, Takabayashi J, Endo Y, Sawasaki T, Arimura G (2010) Regulation of Arabidopsis defense responses against *Spodoptera littoralis* by CPK-mediated calcium signaling. *BMC Plant Biology*, 10:97

Shiojiri K, Ozawa R, Kugimiya S, Uefune M, van Wijk M, Sabelis MW, Takabayashi J (2010) Herbivore-specific, density-dependent induction of plant volatiles: Honest or "Cry Wolf" signals? *PLoS One* e12161

Kugimiya S, Uefune U, Shimoda T, Takabayashi J (2010) Orientation response of the parasitic wasp, *Cotesia vestalis* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae), to visual and olfactory cues of field mustard flowers, *Brassica rapa* L. (Brassicaceae), as a potential nectar source. *Applied Entomology and Zoology* 45: 369-375

Takemoto H, Powell W, Pickett J, Kainoh Y, Takabayashi J (2009) Learning during egression is involved in the response of parasitic wasps to volatiles from a plant infested by host aphids. *Applied Entomology and Zoology* 44:23-28

Egusa M, Ozawa R, Takabayashi J, Otani H, Kodama M (2009) The jasmonate signaling pathway in tomato regulates susceptibility to a toxin-dependent necrotrophic pathogen. *Planta* 229: 965-976

Yoshida Y, Sano R, Wada T, Takabayashi J, and Okada K (2009) Jasmonic acid control of GLABRA3 links inducible defense and trichome patterning in Arabidopsis. *Development* 136: 1039-1048

Shimoda T, Kishimoto H, Takabayashi J, Amano H, Dicke M (2009) Comparison of thread-breaking behavior in three specialist predatory mites to cope with complex webs of *Tetranychus* spider mites. *Experimental and Applied Acarology*. 47: 111-120

Asai N, Nishioka T, Takabayashi J, Furuichi T (2009) Plant volatiles regulate the activity of Ca²⁺-permeable channels and promote cytoplasmic calcium transients in Arabidopsis leaf cells. *Plant Signaling and Behavior* 4: 294-300

Kohzaki K, Yamasaki-Kokudo Y, Ozawa R, Takabayashi J, Akimitsu K, Gomi K (2009) Characterization of a sabinene synthase gene from rough lemon (*Citrus jambhiri*) *Journal of Plant Physiology* 166: 1700-1704

Yoneya K, Kugimiya S, Takabayashi J (2009) Do adult leaf beetles (*Plagioderma versicolora*) discriminate between odours from intact and leaf-beetle infested willow shoots? *Journal of Plant Interactions* 4: 93-99

Arimura G, Matsui K, Takabayashi J (2009) Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: Proximate factors and their ultimate functions. *Plant Cell and Physiology* 50: 911-923 IF 3.654

Muroi A, Ishihara A, Tanaka C, Ishizuka A, Takabayashi J, Miyoshi H, Nishioka T (2009) Accumulation of hydroxycinnamic acid amides induced by pathogen infection and

identification of agmatine coumaroyltransferase in *Arabidopsis thaliana*. *Planta* 230: 517-527 IF 3.058

Il'ichev A, Kugimiya S, Williams DG, Takabayashi J (2009) Volatile Compounds from Young Peach Shoots Attract Males of Oriental Fruit Moth in the Field. *Journal of Plant Interactions* 4: 289-294

Yoneya K, Kugimiya S, Takabayashi J (2009) Can herbivore-induced volatiles inform predatory insects about the most suitable stage of its prey? *Physiological Entomology* 34 : 379-386

Choh Y, Uefune M, Takabayashi J (2008) Diamondback moth females oviposit more on plants infested by non-parasitized than by parasitized conspecifics. *Ecological Entomology* 33: 565-568

Ichiki R, Kainoh Y, Kugimiya S, Takabayashi J, Nakamura S (2008) Attraction to herbivore-induced plant volatiles by the host-foraging parasitoid fly *Exorista japonica*. *Journal of Chemical Ecology* 34: 614-621

上船雅義・仲島義貴・田頭栄子・高林純示・高木正見(2008) 植物種がヒメジンガサハナカメムシの発育に及ぼす影響 *日本応用動物昆虫学会* 52: 63-67 IF 0.413

Kishimoto K, Matsui K, Ozawa R, Takabayashi J (2008) Direct fungicidal activities of C6-aldehydes are important constituents for defense responses in *Arabidopsis* against *Botrytis cinerea*. *Phytochemistry* 69: 2127-2132

Kanaoka MM, Pillitteri LJ, Fujii H, Yoshida Y, Bogenschutz NL, Takabayashi J, Zhu J-K, Torii K (2008) SCREAM/ICE1 and SCREAM2 specify three cell-state transitional steps leading to *Arabidopsis* stomatal differentiation. *Plant Cell* 20: 1775-1785

Mitsuno H, Sakurai T, Murai M, Yasuda T, Kugimiya S, Ozawa R, Toyohara H, Takabayashi J, Miyoshi H, Nishioka T (2008) Identification of receptors of main sex pheromone components of three Lepidopteran species. *European Journal of Neuroscience* 28: 893-902

Ozawa R, Shiojiri K, Sabelis MW, Takabayashi J (2008) Corn plants sprayed with either jasmonic acid or its precursor, methyl linolenate, attract armyworm parasitoids, but the composition of attractants differs. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 129:189-199

Choh Y, Takabayashi J (2007) Predator avoidance in phytophagous mites: response to present danger depends on alternative host quality. *Oecologia* 151: 262-267.

Choh Y, Takabayashi J (2007) Timing of two indirect plant defenses primed by exposure to herbivore-induced plant volatiles. *Plant Signalling & Behavior*: 1: 13-14

安部順一郎、浦野知、長坂幸吉、高林純示 (2007) ハウス栽培のコマツナを低密度で加害するコナガに対するコナガサムライコマユバチの必要放飼率. *近畿中国四国農業研究センター研究報告* 6: 125-132

Kishimoto K, Matsui K, Ozawa R, Takabayashi J (2007) Volatile 1-octen-3-ol induces a defensive response in *Arabidopsis thaliana*. *J Gen Plant Pathol* 73:35-37

Horiuchi J, Murio A, Takabayashi J, Nishioka T (2007) Exposing Arabidopsis seedlings to borneol and bornyl acetate affects root growth: specificity due to the chemical and optical structures of the compounds. *Journal of Plant Interaction* 2: 101-104

Maeda T, Uefune M, Takabayashi J (2007) Genetic variations in a population of herbivorous mites *Tetranychus urticae* in the production of the induced volatiles by kidney bean plants. *Journal of Plant Interaction* 2: 89-92

総説・著書

Choh Y, Takabayashi J (2010) Herbivore-induced plant volatiles prime two indirect defenses in lima bean. *Trends in Acarology – Proceedings of the 12th International Congress* (eds. Maurice Sabelis & Jan Bruin) Springer 255 - 258

高林純示 松井健二 (2011) エコロジカルボラタイル-生き物を結びつける目に見えない絆 植物の成長調節 46:

竹本裕之 米谷衣代 高林純示 (2011) エコロジカルボラタイルが作り出す生物間相互作用・情報ネットワーク 植物の生長調節 46 :

高林純示 (2011) 食害植物由来の揮発性物質が媒介する昆虫-植物相互作用 アロマリサーチ 48: 344-348

Yamane H, Konno K, Sabelis M, Takabayashi J, Sassa T, Oikawa H (2010) Chemical Defense and Toxins of Plants. In *Comprehensive Natural Products II Chemistry and Biology* (Eds in Chief, L. Mander and H-W/ Lew) Elsevier. 339-376

高林純示 (2008) 野外にいる天敵の行動を制御して、雨よけハウス内の害虫を防除しよう! *Aroma Research* 33: 52-53

高林純示(2008) 天敵と植物との共生的な相互作用 in 寄生と共生 東海大学出版会

高林純示・塩尻かおり・小澤理香 2007 アワヨトウの夜行性はトウモロコシ株が出すかおりが決め手 *化学と生物* 45: 64-66

高林純示 2007 緑のかおりで害虫の天敵を誘引 —植物の改変により病害虫に対する抵抗力を上げる試み— *バオイニクス* 26: 11

高林純示 2007 生態学的三角関係 植物-植食性節足動物-肉食性節足動物相互作用ネットワーク in 植物における環境と生物ストレスに対する応答(島本巧、篠崎一雄、白須賢、篠崎和子 編) *蛋白質核酸酵素* vol 52: 724-729

高林純示 2007 虫と草木のネットワーク 東方出版

高林純示 2007 植食者抵抗性 植物ゲノム科学事典 朝倉書店

高林純示 2007 食害ストレス 植物ゲノム科学事典 朝倉書店

高林純示 2007 植物のかおりが媒介する生態系生物間相互作用ネットワーク in フェアブルにまなぶ (八尋克郎、榎永一宏 編) 日仏共同企画「フェアブルにまなぶ」展 実行委員会 58-60

高林純示 (2007) 緑のかおりの生合成経路の改変によって病害虫に対する抵抗性を上げる試み *Aroma. Res.* 29: 51

高林純示 2007 これでナットク！ 植物の謎 (日本植物生理学会編) 153-175

高林純示 2007 植物はなぜ話すのか？ 植物—植食者—捕食者三者相互作用ネットワーク *Aroma Research* 31: 76-81

浦野知、安部順一郎、小原祥嗣、釘宮総一、上船雅義、塩尻かおり、小澤理香、高林純示、佐野孝太、光永貴之、長坂幸吉、下田武志 2007 天敵誘引剤を用いた害虫管理 — 考え方と実際— *植物防疫* 61:699-703

Sabelis, M., J. Takabayashi, A. Janssen, M. Kant, M. van Wijk, B. Sznajder, N. Aratchige, I. Lesna, B. Belliure and R. Schuurink (2007) Ecology meets plant physiology: herbivore-induced plant responses and their indirect effects on arthropod communities. In *Ecological communities: plant mediation in indirect interaction webs* (Ohgushi, T., T. Craig and P. Price eds). Cambridge University Press, Cambridge. 188–217.

陀安一郎（准教授）

研究概要

1. 安定同位体比を用いた、生物多様性の機能解析手法の開発（担当：陀安、奥田）

本研究は、主として環境研究総合推進費地球環境問題対応型研究課題D-1102「生物多様性の機能評価のための安定同位体指標に関する研究」（研究代表者陀安一郎：2011年度-2013年度）によって行われている。

琵琶湖および琵琶湖集水域河川、そして京都大学和歌山研究林およびその周辺の集水域を研究の場とし、それぞれの生態系における食物網構造と栄養塩循環の関係を研究している。まず、京大大学生態学研究センターにおいて、アミノ酸窒素同位体比分析手法を確立し、野洲川と安曇川の流程に沿った河川食物網に適用した。その結果、陸上由来資源と河川内部生産資源が混在する河川生態系においては、アミノ酸窒素同位体比を用いた栄養段階推定に関して適切な混合モデルを開発する必要性が明らかになった。今後、これらの解析手法の一般化について検討する。

2. 放射性炭素同位体14を用いた水域の炭素循環と食物網の関係

本研究は、主として科学研究費補助金若手研究（A）「生態系の時間軸構造の解明-放射性炭素分析による生態系炭素循環解析手法の構築-」（研究代表者陀安一郎：2007年度-2009年度）、および科学研究費補助金基盤研究（B）「放射性炭素および分子レベル同位体解析を用いた、炭素循環と生態系構造の解明」（研究代表者陀安一郎）2010年度-2012年度によって行われている。

放射性炭素14は、成層圏における高エネルギー反応で生成する放射性元素であり年代推定に広く用いられているが、第2次世界大戦後に米ソを中心とする大国が行った大気核実験でも多量に生成した後、単調に減少している。放射性炭素14の崩壊は半減期5,730年で起きるため、何万年スケールの炭素年代と数十年スケールの炭素年代を両方とらえることができる手法として、放射性炭素14の活用法を幅広く提案している。特に、本研究では陸水における応用を目指し、研究を進めている。河川生態系においては、「河川連続体仮説(River Continuum Concept)」と呼ばれる上流から下流に向けての炭素源の移り変わりがおき、それに従って主として水生昆虫からなる食物網が変化していく。これに関して、炭素・窒素の安定同位体比を用いた研究が行われてきたが、河川内部生産として扱われる付着藻類の値が変動することで河川生態系研究者を悩ませて来た。そこで、我々は世界で初めて放射性炭素14をあわせた解析法を提示し、今後の河川生態系研究を進める道筋を提示した(Ishikawa et al. 2010, 2012, 2013)。

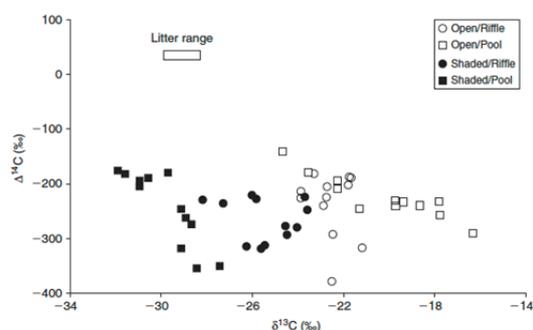


Fig. 1. The relationship between periphyton $\delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{14}\text{C}$ values at the study site. Open and filled symbols indicate open and shaded habitats, respectively. Circles and squares indicate riffle and pool habitats, respectively ($n = 12$).

図：付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ 値は流速と日射により変動し陸域生産(Litter range)と区別できない場合があるが、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値は明確に陸域生産と区別ができる(Ishikawa et al. 2012)。

3. 陸域腐食連鎖系と生食連鎖系の相互作用を考えた食物網解析

本研究は、主として地球環境研究総合推進費地球環境問題対応型研究課題F-073「土壤生物の多様性と生態系機能に関する研究」(研究代表者 金子信博)サブテーマ(3)陀安一郎分担課題「同位体を用いた土壤食物網による炭素利用の解析」(2007年度-2009年度)、および科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「デトリタス由来の資源が陸域食物網動態へ及ぼす影響の解明」(研究代表者陀安一郎:2011年度-2012年度)によって行われている。

本研究では、項目2で解説した放射性炭素14を土壤生態系に用いた研究をおこなった。土壤分解系では、土壤有機物を利用できる生き物が活躍しているが、物質レベルの変化は通常の見視分析では困難である。博士論文以降、窒素・炭素の安定同位体比を用いた研究を行って来たが、Tayasu et al. (2002)において放射性炭素14を用いた研究手法を提案した。本研究は、主として大気核実験シグナルを利用し、高精度(年単位)の年代推定を行えることに特徴があり、シロアリやミズミズの利用する炭素資源から、分解系を利用して生きる生物の多様性の研究にも広く用いることができることを示した(Hyodo et al. 2008; Toyota et al. 2010; Arai et al. 2013)。また、分解系を利用する生き物(腐食連鎖系)と生食連鎖系を捕食者がどのように利用するかで、食物網全体を把握することができることを提案した(Tayasu and Hyodo 2010)。この研究は、クモを対象とする食物網研究に発展し、徐々に成果がでてきている(Haraguchi et al. 2013)。また、陸域生態系においては、放射性炭素14のシグナルは植物にまず刻まれるために、幅広い炭素動態研究に利用できる可能性を提案し、種子の炭素年代を推定する共同研究にも発展している(Ichie et al. 2013)。

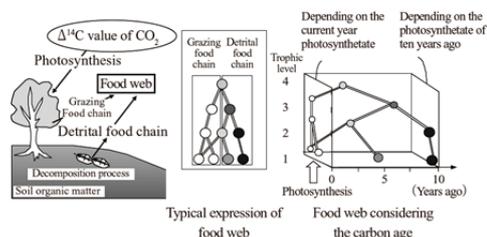


Fig. 6. Schematic diagram of the use of stable isotopes and radiocarbon ($\Delta^{14}\text{C}$) in terrestrial food webs, with special reference to the contribution of the detrital food chain. Left: the $\Delta^{14}\text{C}$ of fresh leaves reflects that of ambient CO_2 , whereas the $\Delta^{14}\text{C}$ of the litter and SOM reflects that of the source CO_2 when it was fixed. Middle: typical expression of a food web using a $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ map, in which the grazing and detrital food chains are mixed. Right: a food web considering the carbon age can be drawn with the addition of $\Delta^{14}\text{C}$ values ($\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ - $\Delta^{14}\text{C}$ map). This approach has potential utility in studying the relationships between food web structures and carbon cycling. Note that an aquatic subsidy may modify the $\Delta^{14}\text{C}$ values (see text).

図：放射性炭素14を用いた「時間軸を入れた食物網構造」(Tayasu and Hyodo 2010)

4. 同位体比の解析を用いた、生態系の中の人間の位置

本研究は、主として総合地球環境学研究所 プロジェクト5-3 日本列島における人間-自然相互関係の歴史的・文化的検討(リーダー湯本貴和)によって行われた。

安定同位体解析は、動物考古学分野(石丸ほか2008; Ishimaru et al. 2011)や人類学分野(米田ほか2011)でも発展してきており、生態学研究センターでも積極的に関わってきた。京大博物館展示や地球研との連携研究を通じて、1,000人を超える現代人の安定同位体比の解析も新たに行った。

5. 温暖化影響下における、琵琶湖の溶存酸素解析(担当: 陀安、奥田)

本研究は、主として地球環境研究総合推進費地球環境問題対応型研究課題Fa-084「温暖化が大型淡水湖の循環と生態系に及ぼす影響評価に関する研究」(研究代表者 永田

俊) サブテーマ (6) 陀安一郎分担課題「安定同位体比を用いた生態系変動評価と予測に関する研究」(2008年度-2010年度) によっておこなわれた。

本研究では、琵琶湖深水層の溶存酸素濃度の観測、溶存酸素同位体比の解析、底質の酸素消費速度と同位体比の解析を通じて、琵琶湖における深水層の酸素消費を引き起こす要因解析を行った(陀安一郎 2008; Yoshimizu et al. 2010)。

6. 同位体生態学に関する共同研究

その他、生態研センター内外の同位体生態学の研究に積極的にかかわり、いろいろな研究課題について共同研究を行っている。研究内容は、植物や動物などの対象についても、陸域や水域などの場についても、生物や化学的パラメータなど方法論に対しても幅広くとらえ、共同利用・共同研究拠点としての「同位体生態学」を強力に押し進める活動を行っている。ワークショップなどを通じた同位体研究のサポートはもちろん、共同研究として積極的にすすめているものも多数ある。

今後の展望

分子解析生態学(安定同位体生態学)分野および水域生態学分野の教員として、共同利用・共同研究拠点の役割として「中心となってプロジェクトを立ち上げる研究」と「利用者を受け入れ、共同で進める研究」の2方向をバランスよく進めたいと考えている。現在主に進めている研究は、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いたアミノ酸窒素同位体比を用いた食物網研究と、放射性炭素14を用いた食物網構造と有機炭素画分の動態研究である。生物多様性の「つながり研究」において、物質レベルのトレーサーはいろいろな次元においての実証研究につながる。このような視点に立って、例えば液体クロマトグラフィーを応用した研究など、新たな技術とその生態学的利用法を中心に進めて行きたいと考えている。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Yonekura, Y., Ohta, S., Kiyono, Y., Aksa, D., Morisada, K., Tanaka, N. and Tayasu, I. (2012) Dynamics of soil carbon following destruction of tropical rainforest and the subsequent establishment of *Imperata* grassland in Indonesian Borneo using stable carbon isotopes. *Global Change Biology* 18: 2606–2616.

インドネシアの熱帯林が *Imperata* からなる草原に変化した後の土壌炭素ストックについて時系列を追った土壌試料の比較を行った。その結果、森林から草原への変化によって生物体での炭素蓄積は減少した一方、土壌炭素は増加したことが明らかになった。

(2) Ishikawa, N.F., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu, I. (2012) Natural C-14 provides new data for stream food web studies: a comparison with C-13 in multiple stream habitats. *Marine and Freshwater Research* 63: 210-217.

河川内部生産として扱われる付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ 値は流速と日射により変動し、陸域生産と区別できない場合があるのに対し、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値は明確に陸域生産と区別ができることを世界で初めて示した。

(3) Maki, K., Kim, C., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Miyajima, T. and Nagata, T. (2010) Autochthonous origin of semi-labile dissolved organic carbon in a large monomictic lake: Carbon stable isotopic evidence. *Limnology* 11: 143-153.

琵琶湖における溶存有機物(DOC)の $\delta^{13}\text{C}$ 値の年変動を調べた。その結果、年間を通

じて変動する成分である準難分解性溶存有機物(semi-labile DOC)が流入河川からの外部流入でなく内部生産起源を持つことを示した。

(4) Ohte, N., Tayasu, I., Kohzu, A., Yoshimizu, C., Osaka, K.i., Makabe, A., Koba, K., Yoshida, N. and Nagata, T. (2010) Spatial distribution of nitrate sources of rivers in the Lake Biwa watershed, Japan: Controlling factors revealed by nitrogen and oxygen isotope values. *Water Resources Research* 46: W07505.

琵琶湖に流入する 32 河川に対して硝酸の窒素・酸素同位体比を分析した。流域の人口密度に対して硝酸の濃度および窒素同位体比は相関し、また野洲川に関しては流程に沿って窒素同位体比が上昇するパターンがみられた。

(5) Hyodo, F., Tayasu, I., Konaté, S., Tondoh, J.E., Lavelle, P. and Wada, E. (2008) Gradual enrichment of ^{15}N with humification of diets in a belowground food web: relation between ^{15}N and diet age determined using ^{14}C . *Functional Ecology* 22: 516-522.

コートジボワールの森林と草原においてミミズとシロアリの $\Delta^{14}\text{C}$ 値を測定し、分解初期のリターまたは分解後期の土壌を利用する食性の違いが、生物の「食物年齢(diet age)」として明確に分けることが可能であることを示した。

論文リスト

原著論文

Karube, Z., Okada, N. and Tayasu, I. (2012) Sulfur stable isotope signature identifies the source of reduced sulfur in benthic communities in macrophyte zones of Lake Biwa, Japan. *Limnology* 13: 269-280.

Anderson, B., Kawakita, A. and Tayasu, I. (2012) Sticky plant captures prey for symbiotic bug: Is this digestive mutualism? *Plant Biology* 14: 888-893.

Yonekura, Y., Ohta, S., Kiyono, Y., Aksa, D., Morisada, K., Tanaka, N. and Tayasu, I. (2012) Dynamics of soil carbon following destruction of tropical rainforest and the subsequent establishment of *Imperata* grassland in Indonesian Borneo using stable carbon isotopes. *Global Change Biology* 18: 2606–2616.

Ishikawa, N.F., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu, I. (2012) Natural C-14 provides new data for stream food web studies: a comparison with C-13 in multiple stream habitats. *Marine and Freshwater Research* 63: 210-217.

Tayasu, I., Hirasawa, R., Ogawa, N.O., Ohkouchi, N. and Yamada, K. (2011) New organic reference materials for carbon- and nitrogen-stable isotope ratio measurements provided by Center for Ecological Research, Kyoto University, and Institute of Biogeosciences, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. *Limnology* 12: 261-266.

Kojima, K., Murakami, M., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T. and Furumai H. (2011) Evaluation of surface runoff and road dust as sources of nitrogen using nitrate isotopic composition. *Chemosphere* 84:1716–1722.

藤田辰徳・海野徹也・斉藤英俊・小櫃剛人・徳田雅治・奥 宏海・吉松隆夫・石丸恵利

子・陀安一郎 (2011) 「広島湾における天然クロダイの筋肉成分の季節変化」日本水産学会誌 77: 1034-1042.

Murase, J., Hordijk, K., Tayasu, I. and Bodelier, P.L.E. (2011) Strain-specific incorporation of methanotrophic biomass into eukaryotic grazers in a rice field soil revealed by PLFA-SIP. *FEMS Microbiology Ecology* 75: 284-290.

Hosono, T., Wang, C-H., Umezawa, Y., Nakano, T., Onodera, S., Nagata, T., Yoshimizu, C., Tayasu, I. and Taniguchi, M. (2011) Multiple isotope (H, O, N, S and Sr) approach elucidates complex pollution causes in the shallow groundwater of the Taipei urban area. *Journal of Hydrology* 397: 23-36.

Itoh, M., Takemon, Y., Makabe, A., Yoshimizu, C., Kohzu, A., Ohte, N., Tumurskh, D., Tayasu, I., Yoshida, N. and Nagata, T. (2011) Evaluation of wastewater nitrogen transformation in a natural wetland (Ulaanbaatar, Mongolia) using dual-isotope analysis of nitrate. *Science of the Total Environment* 409: 1530-1538.

Kato, Y., Takemon, Y., Okuda, N., Tayasu, I. and Hori, M. (2010) Spatial heterogeneity of trophic pathways in the invertebrate community of a temperate bog. *Freshwater Biology* 55: 450-462. 5

Ishikawa, N.F., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu, I. (2010) A new application of radiocarbon (^{14}C) concentrations to stream food web analysis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, section B* 268: 1175-1178.

Maki, K., Kim, C., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Miyajima, T. and Nagata, T. (2010) Autochthonous origin of semi-labile dissolved organic carbon in a large monomictic lake: Carbon stable isotopic evidence. *Limnology* 11: 143-153.

Yoshimizu, C., Yoshiyama, K., Tayasu, I., Koitabashi, T. and Nagata, T. (2010) Vulnerability of a large monomictic lake (Lake Biwa) to warm winter event. *Limnology* 11: 233-239.

Okuzaki, Y., Tayasu, I., Okuda, N. and Sota, T. (2010) Stable isotope analysis indicates trophic differences among forest floor carabids in Japan. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 135: 263-270.

牧野和哉・益田晴恵・三田村宗樹・貫上佳則・陀安一郎・中屋眞司 (2010) 「水質から見た大阪市内とその周辺の地下水の涵養源と流動系」地下水学会誌, 52:153-167.

Osaka, K., Ohte, N., Koba, K., Yoshimizu, C., Katsuyama, M., Tani, M., Tayasu, I. and Nagata T. (2010) Hydrological influences on spatiotemporal variations of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of nitrate in a forested headwater catchment in central Japan: Denitrification plays a critical role in groundwater. *Journal of Geophysical Research* 115: G02021.

Nakazawa, T. Sakai, Y., Hsieh, C-h., Koitabashi, T., Tayasu, I., Yamamura, N. and Okuda, N. (2010) Is the relationship between body size and trophic niche position time-invariant in a predatory fish? First stable isotope evidence. *PLoS ONE* 5: e9120.

Ohte, N., Tayasu, I., Kohzu, A., Yoshimizu, C., Osaka, K.i., Makabe, A., Koba, K., Yoshida, N. and Nagata, T. (2010) Spatial distribution of nitrate sources of rivers in the

Lake Biwa watershed, Japan: Controlling factors revealed by nitrogen and oxygen isotope values. *Water Resources Research* 46: W07505.

Karube, Z., Sakai, Y., Takeyama, T., Okuda, N., Kohzu, A., Yoshimizu, C., Nagata, T. and Tayasu, I. (2010) Carbon and nitrogen stable isotope ratios of macroinvertebrates in littoral zone of Lake Biwa as indicators of anthropogenic activities in the watershed. *Ecological Research* 25: 847–855.

Toyota, A., Tayasu, I., Fujimaki, R., Kaneko, N., Uchida, M., Shibata, Y. and Hiura, T. (2010) Effects of vegetation switch and subsequent change in soil invertebrate composition on soil carbon accumulation patterns, revealed by radiocarbon concentrations. *Radiocarbon* 52: 1471–1486.

Hyodo, F., Kohzu, A. and Tayasu, I. (2010) Linking aboveground and belowground food webs through carbon and nitrogen stable isotope analyses. *Ecological Research* 25: 745–756.

Umezawa, Y., Hosono, T., Onodera, S., Siringan, F., Buapeng, S., Delinom, R., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T. and Taniguchi, M. (2009) Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities. *Science of the Total Environment* 407: 3219-3231.

Kohzu, A., Tayasu, I., Yoshimizu, C., Maruyama, A., Kohmatsu, Y., Hyodo, F., Onoda, Y., Igeta, A., Matsui, K, Nakano, T., Wada, E., Nagata, T. and Takemon, Y. (2009) Nitrogen stable isotopic signatures of basal food items, primary consumers and omnivores in rivers with different levels of human impact. *Ecological Research* 24: 127-136.

Kobayashi, Y., Kim, C., Yoshimizu, C., Kohzu, A., Tayasu, I. and Nagata, T. (2009) Longitudinal changes in bacterial community composition in river epilithic biofilms: influence of nutrients and organic matter. *Aquatic Microbial Ecology* 54: 135-152.

Okuzaki, Y., Tayasu, I., Okuda, N. and Sota, T. (2009) Vertical heterogeneity of a forest floor invertebrate food web as indicated by stable isotope analysis. *Ecological Research* 24: 1351–1359.

Miyajima, T., Yoshimizu, C., Tsuboi, Y., Tanaka, Y., Tayasu, I., Nagata, T. and Koike, I. (2009) Longitudinal distribution of nitrate $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in two contrasting tropical rivers: Implications for instream nitrogen cycling. *Biogeochemistry* 95: 243-260.

Nakano, T., Tayasu, I., Yamada, Y., Hosono, T., Igeta, A., Hyodo, F., Ando, A., Saito, Y., Tanaka, T., Wada, E. and Yachi, S. (2008) Effect of agriculture on water quality of Lake Biwa tributaries, Japan. *Science of the Total Environment* 389: 132-148.

石丸恵利子・海野徹也・米田穰・柴田康行・湯本貴和・陀安一郎 (2008) 「海産魚類の産地同定からみた水産資源流通の展開—中四国地方を中心とした魚類遺存体の炭素・窒素同位体分析の視角から—」 考古学と自然科学 57:1-20.

Hyodo, F., Tayasu, I., Konaté, S., Tondoh, J.E., Lavelle, P. and Wada, E. (2008) Gradual enrichment of ^{15}N with humification of diets in a belowground food web: relation between ^{15}N and diet age determined using ^{14}C . *Functional Ecology* 22: 516-522.

Kohzu, A., Miyajima, T., Tayasu, I., Yoshimizu, C., Hyodo, F., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Fujita, N. and Nagata, T. (2008) Use of stable nitrogen isotope signatures of riparian macrophytes as an indicator of anthropogenic N inputs to river ecosystems. *Environmental Science and Technology* 42: 7837-7841.

Yamada, A., Inoue, T., Hyodo, F., Tayasu, I. and Abe, T. (2007) Effects of mound occupation by the meat ant *Iridomyrmex sanguineus* on the termite *Amitermes laurensis* in an Australian woodland. *Sociobiology* 50: 1-9.

谷内茂雄・田中拓弥・中野孝教・陀安一郎・脇田健一・原雄一・和田英太郎 (2007) 「総合地球環境学研究所 (地球研) の琵琶湖-淀川水系への取り組み: 農業濁水問題を事例として」 *環境科学会誌* 20: 207-214

Hosono, T., Nakano, T., Igeta, A., Tayasu, I., Tanaka, T. and Yachi, S. (2007) Impact of fertilizer on a small watershed of Lake Biwa: Use of sulfur and strontium isotopes in environmental diagnosis. *Science of the Total Environment* 384: 342-354.

著書・その他の論文

陀安一郎・荻部甚一・石川尚人(2012)「同位体の利用法」In: 日本生態学会 編、吉田 丈人・鏡味 麻衣子・加藤 元海 担当編集委員、現代生物学講座第9巻「淡水生態学のフロンティア」共立出版, pp.122-131.

陀安一郎 責任編集、日本生態学会 編(2012)「エコロジー講座 5 生物のつながりを見つめよう -地球の豊かさを考える生態学-」文一総合出版 pp.72.

陀安一郎(2012)「安定同位体比を用いた高次生産者の栄養段階の推定」In: 永田俊・熊谷道夫・吉山浩平 編、温暖化の湖沼学. 京都大学学術出版会, pp.210-211.

Okuda, N., T. Takeyama, T. Komiya, Y. Kato, Y. Okuzaki, Z. Karube, Y. Sakai, M. Hori, I. Tayasu and T. Nagata (2012) A food web and its long-term dynamics in Lake Biwa: a stable isotope approach. In: Lake Biwa: Interactions between Nature and People. (Eds. Kawanabe, H. et al.) Springer Academic, Amsterdam, pp.205-210.

Ishimaru, E., Tayasu, I., Umino, T. and Yumoto, T. (2011) Reconstruction of ancient trade routes in the Japanese Archipelago using carbon and nitrogen stable isotope analysis: Identification of the stock origin of marine fish found at the inland Yokkaichi site, Hiroshima prefecture, Japan. *Journal of Island and Coastal Archaeology* 6:160-163.

米田穰・陀安一郎・石丸恵利子・兵藤不二夫・日下宗一郎・覚張隆史・湯本貴和 (2011) 同位体からみた日本列島の食生態の変遷. In:日本列島の三万五千年-人と自然の環境史 第6巻 環境史をとらえる技法 (湯本貴和編、責任編集高原光・村上哲明). 文一総合出版, pp.85-103.

Tayasu, I. and Hyodo, F. (2010) Use of carbon-14 natural abundances in soil ecology: implications for food web research. In: Ohkouchi, N., Tayasu, I., and Koba, K. (eds), *Earth, Life, and Isotopes*, Kyoto University Press, pp. 3-16.

Tayasu, I., Folgarait, P.J., Hyodo, F. and Lavelle, P. (2010) Carbon sources and feeding habits of selected soil animals from an abandoned rice field chronosequence determined by carbon and nitrogen isotope ratios and natural carbon-14. In: Ohkouchi,

N., Tayasu, I., and Koba, K. (eds), Earth, Life, and Isotopes, Kyoto University Press, pp.85-98.

Ohkouchi, N., Tayasu, I., and Koba, K. (2010) Summary of methods for measuring isotopic compositions presented in this book. In: Ohkouchi, N., Tayasu, I., and Koba, K. (eds), Earth, Life, and Isotopes, Kyoto University Press, pp.403-407.

Ohkouchi, N., Tayasu, I., and Koba, K. (eds) (2010) Earth, Life, and Isotopes, Kyoto University Press, 415pp.

陀安一郎 (2010)「食物連鎖」In: 総合地球環境学研究所編, 地球環境学事典, 弘文堂, 東京, pp.52-53.

陀安一郎(2010)「元素の同位体比から生物環境を見る」生き物たちのつづれ織り 第3巻:77-81

陀安一郎 (2009) 方法論から見た流域管理手法 In: 流域環境学-流域ガバナンスの理論と実践 和田英太郎 (監修) 谷内茂雄・脇田健一・原雄一・中野孝教・陀安一郎・田中拓弥 (編) 京都大学学術出版会 pp.147-149

陀安一郎 (2009) 淀川水系としての視点-琵琶湖流域から淀川流域まで In: 流域環境学-流域ガバナンスの理論と実践 和田英太郎 (監修) 谷内茂雄・脇田健一・原雄一・中野孝教・陀安一郎・田中拓弥 (編) 京都大学学術出版会 pp.197-241

陀安一郎 (2009) 本書で扱う水質指標と安定同位体指標 In: 流域環境学-流域ガバナンスの理論と実践 和田英太郎 (監修) 谷内茂雄・脇田健一・原雄一・中野孝教・陀安一郎・田中拓弥 (編) 京都大学学術出版会 pp.246-252

和田英太郎 (監修) 谷内茂雄・脇田健一・原雄一・中野孝教・陀安一郎・田中拓弥 (編) (2009)「流域環境学-流域ガバナンスの理論と実践」京都大学学術出版会 pp.564

陀安一郎 (2008) 有機物の生産と分解(II) -溶存酸素安定同位体比による評価 In: 永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学学術出版会 pp.153-162.

陀安一郎 (2008) 安定同位体比による生態系構造解析 In: 永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学学術出版会 pp.284-297.

陀安一郎 (2008) 群集生態学の研究に用いる同位体解析 In: (大串隆之・近藤倫生・仲岡雅裕 編) シリーズ群集生態学4「生態系と群集をむすぶ」 京都大学学術出版会 pp.55-65

陀安一郎・兵藤不二夫・石川尚人(2008) 大気圏核実験由来放射性炭素 14 を用いた生態学 生物の科学「遺伝」11月号:90-94

陀安一郎 (2007) 安定同位体と放射性同位体を用いた解析法 In: 土壌動物学への招待-採集からデータ解析まで- 日本土壌動物学会編 東海大学出版会 pp.105-108.

陀安一郎（2007）あなたの同位体はいくつ？ - 同位体でわかる生物のつながり In: 生物の多様性ってなんだろう？ -生命のジグソーパズル- , 京都大学学術出版会 pp.165-188.

神松幸弘・陀安一郎・兵藤不二夫（2007） 水と魚から考えるコモンズ In: 資源とコモンズ 秋道智彌編（資源人類学 08）弘文堂 pp.39-62.

椿 宜高 (教授)

研究概要

(1) 性淘汰と繁殖干渉による種分化

生態学の基本原理のひとつは「同じ資源を利用する2種は共存できない」ことである。しかし、現実には同じ資源を利用している種が同所的に生息していることが多い。その理由として、種間の資源競争が体サイズや採餌器官の形質置換をもたらし、食い分けや住み分けなどのニッチ分割によって共存が可能になっていると説明されることが多かった。ただし、共存している近縁の2種間に形質差が見られる場合、これを直ちに資源競争を回避するための形質置換であるとする説明は結論の急ぎすぎである。

近縁種が同所的に生息しにくいと考えられる理由は、資源競争だけではない。資源競争に代わるもうひとつの説明は、生殖隔離メカニズムとしての生息地分割や形質置換である。たしかに、近縁種は同じような資源を利用していることが多いと考えられるが、資源枯渇が見られない種群においては、近縁種間に存在する交雑の危険性や、誤った種から繁殖干渉を受けるリスクは、資源競争のリスクよりもはるかに大きいと考えられる。そして、同所集団における生殖隔離メカニズムの発達、近縁種の共存を可能にしている可能性が高い。同所的集団における生殖隔離メカニズムを生息地分割と形質置換の両面から解明することは、種分化理論に大きな貢献をもたらすと期待される。しかし、生息地選択の特殊化に関する生理生態学的な根拠、形質置換の行動学的意味付けなどの基本的な問題は、どの分類群においてもほとんど検討されたことがない。そこで、資源競争以外の理由で生息地分割や形質置換が生じていると考えられるカワトンボ属について、次の小課題を設けて研究を行っている。

オスの翅色多型の地理変異



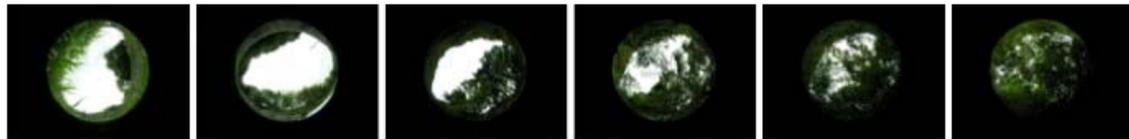
図1. カワトンボ属2種のオスに見られる翅色多型とその地理変異。単独域ではオスは多型だが、共存域1ではともに単型となる（色彩変異を小さくする形質置換）。共存域2では多型が維持されるが、体サイズに形質置換が見られる。共存域3では翅色の変化が見られ、突然変異による形質置換と考えられる。地図中の番号は採集地点。

(1) 同所・異所集団における生息地選好性の比較

カワトンボ属2種（*Mnais costalis* と *M. pruinosa*）はわが国の特産種であり、いずれも低山地の溪流に生息する。両種は図1に示したような共存関係の地理分布を示す。単独域では *M. costalis* のみ、あるいは *M. pruinosa* のみが分布し、共存域は多型の出方に地理的変異がある（共存域 I, II, III）。ただし、共存地域内では溪流の上流域に *M. pruinosa* が、下流域に *Mnais costalis* が分布し、中間域では両種が混在するのが普通である。したがって、流域を単位に考えれば同所分布を示すが、さらに細かい区画（たとえば 10m 単位）では側所的分布が見られる。ここでは、流域より大きな空間単位での共存様式を「異所、同所」と表現し、同一溪流内における上流下流の棲み分けを「（同所集団の）生息地分割」と表現する。

共存域において、森林内の木陰の多い溪流に *M. pruinosa* が、少し開けた溪流に *M. costalis* が多い傾向があるが、中流域では混在している。Samejima & Tsubaki (2010) は、この生息場所選択が開空度と体サイズ依存の体温調節と関連していることを発見した（図2）。

林内の不均一な日照環境(林冠ギャップ)は 大小2種のトンボの共存を可能にしている



Canopy openness: photographs taken with a fish-eye converter

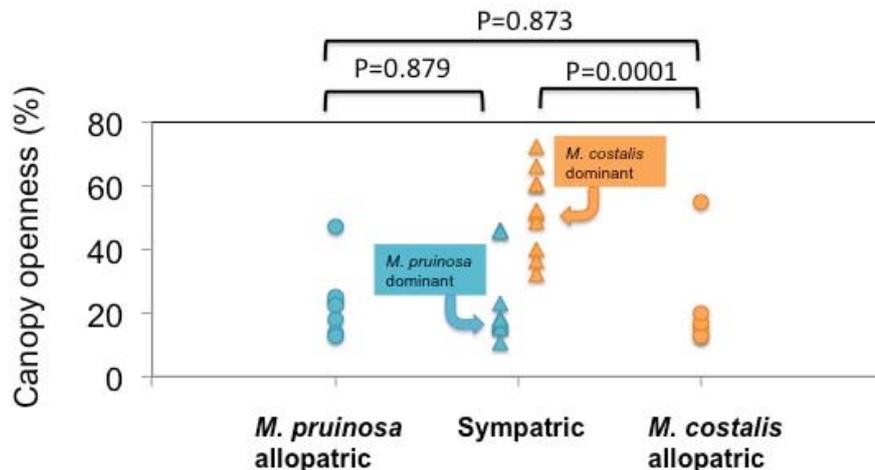


図2. 単独域では、両種とも日陰の多い林内の溪流を生息地とする傾向にあるが、共存域では *M. costalis* が日向を、*M. pruinosa* が日陰を繁殖場所にするため、生息地の分割が見られる。

(2) 体サイズと性的形質に関する形質置換の検出

2種が単独で生息する地域では、♂の翅色は橙色と透明の2型となる。翅色は遺伝形質で、行動形質と連動しており、橙色♂がなわばりタイプ、透明♂が非なわばりタイプとなる。橙色♂は透明♂に比べて日当たり繁殖成功率が高いものの、繁殖寿命が短いため、両者の繁殖成功率は等しく、頻度逆依存的に平衡が維持されていることを実証した。一方、2種が共存する地域では翅色多型が地域によって異なっている。共存域1では、*M. costalis* の翅色が橙色の単型、*M. pruinosa* の翅は透明の単型となる。共存域2では、両種の♂の多型は維持されたままである。また、共存域3では、*M. pruinosa* の翅色が橙色ではなく茶色に変化する。これらの事実がすでに、翅色(信号形質)に関する形質置換を示唆しているが、体サイズや体表面の構造にも同所性と連動した形質変化があり、おそらく闘争能力や体温調節に関係すると思われる。

(3) 同所・異所集団の種認識に関する実験的比較

種と性を識別する能力は、同所集団と異所集団で異なることが期待される。色々な翅色の♂や♀を実験的に目の前を飛ばした時の個体の反応によって、種や性の識別能力を評価することが可能だが、部分的にデータが出つつある。また、集団間比較によって、種識別能力に違いが検出されれば、種(性)認識の進化とその要因を明らかにしたい。

(4) 同所・異所集団の遺伝的多様性の比較

同所的集団で表現型レベルの形質置換が見られることから、同所集団の遺伝変異は単独の異所集団よりも小さくなっていることが期待される。2種共存の状態が異なる集団間で遺伝変異を比較することによって、同所的種分化仮説の検証に資する。たとえば、単独で生息する *M. costalis* のみは翅色多型を示すが、多型の比率は単独域内の集団間でかなり変化する。その原因は集団の生息地の環境条件（おもに開空度）が関連していると思われる。そこで、遺伝的多様性のデータと環境条件がもたらす分断化淘汰、および頻度依存選択との関連付けを行い、種内多型が種分化につながるプロセスの研究へとつなげる。

今後の展望

定年退職まで残り半年余となり、新たな展望はできないが、これまでの研究成果を取りまとめて論文や著書にまとめる作業を行う。そのことによって、種分化における性淘汰、繁殖形質置換などの重要性を指摘するとともに、野生生物保全の考え方を整理して講義や講演会などで公表し、多様な野生生物保全の課題への若手の研究意欲を喚起していきたい。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Samejima, Y., Tsubaki, Y. (2010) Body temperature and body size affect flight performance in a damselfly. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 64:685-692.

昆虫の活動性は飛翔筋の温度に影響される。飛翔筋は外気温に追従するだけでなく、太陽輻射、筋肉収縮の発熱によって上昇し、外気温との温度差によって冷却する。オスの体サイズに集団内多型が見られるカワトンボにおいて、体温が高いほど、また体サイズが大きいほど飛翔力が大きいことを示した。ところが、体サイズあたりの飛翔力は逆に体サイズが小さい方が大きかった。大型のオスは飛翔力に、小型のオスは加速度に優れていることが示唆された。

(2) Tsubaki, Y., Samejima, Y., Siva-Jothy, M.T. (2010) Damselfly females prefer hot males: higher courtship success in males in sunspots. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 64:1547-1554.

昆虫は、日当りのよい場所にナワバリをつくる傾向がある。この理由のひとつは、太陽輻射によって体温をあげることで、ナワバリ防衛を有利にしていることが示唆されていたが、否定的な意見も多かった。この研究では、日向にいるオスはメスに対して激しい求愛ディスプレイが可能になることを示し、実際にメスから受け入れられる割合が高くなることを示し、性的活動を評価するにあたっての体温の重要性を指摘した。

(3) Kishi, S., Nishida, T., Tsubaki, Y. (2009) Reproductive interference determines persistence and exclusion in species interaction. *Journal of Animal Ecology*. 78:1043-1049.

近縁の2種は同じ空間に生息できず、どちらかの種が排除されることはよく知られた生態学の原則のひとつである。同じ資源を使う2種は競争によってどちらかが排除されるとする「競争排除則」が一般的な説明である。ところが、近縁の種間には、種判別の間違いから生じる繁殖干渉によっても、どちらかの種が排除されること（性的排除）が起きうる。これまで、種間関係における繁殖干渉の効果はほとんど無視されてきたが、こ

の研究によって性的排除の強さを実証し、その重要性を指摘した。

論文リスト

原著論文

Kiyoshi, T., Takahashi, J., Yamanaka, T., Tanaka, K., Hamasaki, K., Tsuchida, K. and Tsubaki, Y. (2011) Taxonomic uncertainty of a highly endangered brook damselfly, *Copera tokyoensis* Asahina, 1948 (Odonata: Platycnemididae), revealed by the mitochondrial gene genealogy". *Conservation Genetics* 12 : 845-859

Samejima, Y. and Tsubaki, Y. (2010) Body temperature and body size affect flight performance in a damselfly. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 64: 685-692.

Tsubaki, Y., Samejima, Y. and Siva-Jothy, M. T. (2010) Damselfly females prefer hot males: higher courtship success in males in sunspots. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 64: 1547-1554.

高橋純一・山崎和久・光畑雅弘・M. J. Stephen・小野正人・椿 宜高 (2010) 根室半島のマルハナバチ相：特に北海道の希少種ノサップマルハナバチに対する外来種セイヨウオオマルハナバチの影響について。 *保全生態学研究* 15: 101-110.

Kishi, S., Nishida, T. and Tsubaki, Y. (2009) Reproductive interference determines persistence and exclusion in species interactions. *Journal of Animal Ecology*, 78: 1043-1049.

Ochi, T., Kon, M., and Tsubaki, Y. (2009) Notes on the Coprophagous Scarab-beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from Southeast Asia(XXI) Nine New Species and Two New Subspecies of *Onthophagus* from the Malay Peninsula, Sumatra and Borneo. *Entomological Review of Japan*. 64: 217-236.

高橋純一・福井順治・椿宜高 (2009) 静岡県桶ヶ谷沼地域における絶滅危惧種ベッコウトンボ (*Libellula angelina*) の遺伝的多様性。 *保全生態学研究*, 14: 73-79.

Sato, M., Kohmatsu, Y., Yuma, M. and Tsubaki, Y. (2008) Population genetic differentiation in three sympatric damselfly species in a highly fragmented urban landscape (Zygoptera : Coenagrionidae). *Odonatologica*, 37: 131-144.

Nakahara, M. and Tsubaki, Y. (2008) Sperm mortality, insemination and fertilization in the damselfly *Ischnura senegalensis*: comparisons between wild and inbred populations. *Journal of Ethology*, 26: 145-151.

Kadoya, T., Suda, S., and Tsubaki, Y. (2008) The sensitivity of dragonflies to landscape structure differs between life-history groups. *Landscape Ecology*, 23: 149-158.

Nakahara, M. and Tsubaki Y. (2007) Function of multiple sperm-storage organs in female damselflies (*Ischnura senegalensis*): Difference in amount of ejaculate stored, sperm loss, and priority in fertilization. *Journal of Insect Physiology*, 53: 1046-1054.

椿 宜高 (2007) 生態学の視点から昆虫の生理を考える。 *日本生態学会誌*, 57: 356-367.

著書

椿 宜高 (2010) 「第3章 地球温暖化と生物多様性」 鷲谷いづみ・夏原由博・松田裕之・椿 宜高『現代生物科学入門 第6巻 地球環境と保全生物学』岩波書店.

大串隆之・近藤倫生・椿宜高編 (2009) 『シリーズ群集生態学 6: 新たな保全と管理を考える』京都大学学術出版会.

椿 宜高 (2008) 「トンボの体温調節と繁殖行動」 下澤楯夫・針山孝彦監修『昆虫ミメティックス～昆虫の設計に学ぶ～』エヌ・ティー・エス (東京)

椿 宜高 (2007) 「里山の重要性」 京都大学総合博物館・京都大学生態学研究センター編『生物の多様性ってなんだろう?—生命のジグソーパズル—』京都大学学術出版会.

解説・その他

椿 宜高 (2011) 京都大学品川セミナー 「生物の進化」 読売新聞 2011.10.17 Page23

椿 宜高 (2011) “自然の恵み”とは何だろう—地球を変えた生物の進化 YOMIURI ONLINE <http://osaka.yomiuri.co.jp/>

椿 宜高 (2010) 世界の生物多様性を守る 2010年10月に開催される「COP10」ここでは、どんな議論がかわされる? Newton 30: 16-21

椿 宜高 (2010) 生物多様性 私たちの暮らしは自然からのプレゼント こころの健康ニュース 少年写真新聞 361

椿 宜高 (2010) 生物多様性はなぜ大切か? 指導用解説 こころの健康ニュース 少年写真新聞 361: 1

椿 宜高 (2009) 生物多様性研究の新展開: 静から動へのパラダイムシフト 京都大学生態学研究センターニュース No.103. 22-23.

東 和敬・中原正登・椿 宜高・上田哲行 (2008) 昆虫類 (特にトンボ類) の生息環境にたいするダム事業の影響評価法、および湿地再生予定地でのモニタリング法の検討. 水源地生態研究会. 水源地生態研究会議 10周年報告書: 85-93. 2008年3月

椿 宜高 (2007) ゼロの証明. 京都大学生態学研究センターニュース No.98. 15-16.

中野伸一（教授）〈2008 年着任〉

研究概要

1. アオコの分布拡大に関する生態・分子系統地理学的研究（担当：中野、奥田）

本研究は、環境省・環境研究総合推進費、「アオコの分布拡大に関する生態・分子系統地理学的研究」（平成 21 年度～平成 23 年度）（代表：中野伸一）により行われた。

アオコは、主にシアノバクテリアの *Microcystis aeruginosa* が大增殖したものである。*M. aeruginosa* は、風気流、鳥類などに運ばれて国内外の湖沼に分布を拡大しており、各湖沼には由来の異なる遺伝的に多様なアオコ群集を成立させ、その一部に有害性の高いタイプが含まれると考えられる。湖沼の水質は周辺の人間活動に強く影響されるため、アオコ群集の中でどの *M. aeruginosa* タイプが優勢となるかは、周辺の人間活動をも含めた湖沼環境総体により決定されていると考えられる。

本研究では、最先端のバイオテクノロジーと大型環境解析システムを駆使し、これまで国や民間団体が蓄積してきた環境データベースを活用しながら、「当該湖沼にどのようなアオコがどのように運ばれてくるか」、「湖沼に新たに入ったアオコは生き残れるのか」、「生き残ったアオコ群集はどう多様なのか」、「多様なアオコ群集の中から特定の機能を持ったアオコ（たとえば有毒種）が増殖するのはどういった理由によるものか」について、明らかにする。また、湖沼周辺の人間活動として土地利用形態の変遷や周辺住民の生活文化特性の調査も行い、アオコ群集組成との対応があるか検討する。

本研究の体制は、以下のとおりである：サブテーマ 1「移入アオコ群集の生存と増殖に関する生態学的研究」（京都大学）、サブテーマ 2「遺伝的多様性を指標としたアオコの分布拡散機構に関する研究」（筑波大学）、サブテーマ 3「アオコの生残・増殖に関する分子生態学的研究（福井県立大学）」。

本研究は、中間評価で「A⁻」の評価を受けるなど順調に進展し、平成 23 年度 3 月末で終了した。論文発表は平成 24 年 9 月時点で 5 報、国際会議発表は 15 件を行っている。

2. 身近な環境における原始地球の食物網動態の解明（担当：中野）

嫌気環境の微生物ループは、地球上に誕生した最初の食物連鎖と考えられ、その特性解明は食物連鎖の進化の研究において重要である。しかしながら、嫌気環境における微生物ループの研究は未だ限られている。本研究では、好気・嫌気の対照的な環境を有する福井県・水月湖において、嫌気環境における微生物ループの特性を解明し、原始地球に最初に発達した食物連鎖を推測した。水月湖の物理・化学的環境項目の鉛直的構造は、研究期間を通じて安定しており、水深 5m から 7m にかけて溶存酸素濃度が急激に低下し、水深 7m では硫化水素濃度の顕著な増加が見られ、それ以深では完全な嫌気状態であった。水深 5m までの好気層では、細菌とその摂食者である鞭毛虫が豊富に存在し、繊毛虫は好気環境に典型的な種組成を示した。好気・嫌気境界層は最も細菌が豊富に存在する傾向があり、鞭毛虫は活発な細菌摂食活動を示し、また繊毛虫は大型の細菌食者が優占した（Okamura et al. 2012）。この大型繊毛虫は、通常の固定剤では細胞が破壊され現存量評価が著しく低くなるため、従来の研究ではこれら繊毛虫の生態学的役割を過小評価している可能性がある。嫌気層では、繊毛虫はほとんど生存せず、細菌数はさらに低下し、糸状の巨大細胞の細菌数が増大し、鞭毛虫は好気層とは全く異なる種が観察された。嫌気層における鞭毛虫の細菌摂食活性は比較的高く、鞭毛虫は球菌や桿菌等小型の細菌を摂食しているものと考えられた（Okamura et al. 2012）。嫌気層での生物生産は、好気層の光合成に由来する有機物の沈降により支えられており、細菌生産は高

くないが生産された細菌バイオマスを鞭毛虫が消費することにより、両者の現存量は年間を通じて安定に保たれていると思われる。以上により、原始地球に最初に発達した食物連鎖は、嫌気環境に固有の細菌と鞭毛虫により成立したものであり、生産と消費が釣り合ったバランスの取れた系であったと考えられた (Okamura et al. 2012)。この研究は、福井県立大学・海洋生物資源学部の近藤竜二准教授との共同研究である。

3. 琵琶湖における細菌群集と溶存有機物の相互作用による両者の質的変遷 (担当: 中野)

本研究は、科学研究費・基盤研究 (B) (一般) (H23~H25) 「琵琶湖における細菌群集と溶存有機物の相互作用による両者の質的変遷 (代表: 中野伸一)」により行っている。

本研究では、植物プランクトンが生産・放出した細胞外溶存有機物の細菌による変性過程と、これにともなう細菌系統群集組成の変化について明らかにする。現在、琵琶湖を始めとする水質改善が進む世界の湖沼では、湖水中の全窒素:全リン比の異常上昇が、植物プランクトンと細菌などの無機塩類や溶存有機物を直接利用する生物に与える影響が注目されている。また、琵琶湖では、これと時期を重ねて湖水中の溶存態難分解有機物の漸増が確認され、この有機物の生成には植物プランクトンと細菌の関連が考えられることから、全窒素:全リン比の異常上昇とも絡めた全容解明が求められている。本研究では、溶存有機物の変性過程と細菌群集組成の変化とを対応させて研究し、細菌群集と溶存有機物の相互作用による両者の質的変遷の多様性を解明する。この研究は、滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの早川和秀専門研究員との共同研究である。

4. 微生物ループを用いた地球温暖化防止のための基礎研究 (担当: 中野)

本研究は、科学研究費・挑戦的萌芽研究 (H23~H24) 「微生物ループを用いた地球温暖化防止のための基礎研究 (代表: 中野伸一)」により行っている。

人間活動により生じた汚水は、細菌と原生生物の食物連鎖、いわゆる微生物ループを強化した系である活性汚泥法により処理される。本研究では、活性汚泥法にヒントを得て、湖沼や海洋に多く生息するピコ植物プランクトンと原生生物の鞭毛虫との微生物ループにより、大気中の二酸化炭素を低減させるシステムを構築するための基礎研究を行う。ピコ植物プランクトンの光合成により、大気中の二酸化炭素がピコ植物プランクトンのバイオマスに変換され、鞭毛虫の摂食による間引き効果でピコ植物プランクトンの生理活性状態は高く保たれる。本研究では、毎年ピコ植物プランクトンの大増殖が起こる静岡県・佐鳴湖において、ピコ植物プランクトンと鞭毛虫の微生物ループについて物質循環および個体群生態学のアプローチによる解明を行う。本研究は、静岡県立大学・環境科学研究所の谷幸則准教授、内藤博敬助教授との共同研究である。

5. 空間的異質性と長期変動からみた大規模湖沼・琵琶湖の生物多様性評価 (担当: 中野、奥田、谷内)

本研究は、環境研究総合推進費・H23戦略研究開発プロジェクト・S-9 アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究・陸水生態系における生物多様性損失の定量的評価に関する研究 (代表: 高村典子) で行われている。

61 種の固有種を擁し世界有数の生物多様性を誇る古代湖琵琶湖の固有性を象徴する魚類やベントスを対象とし、それらの産卵・生育地として重要な沿岸生態系、周辺湿地生態系である内湖、および水資源・水産資源の供給場となる沖合生態系の3つの生態系に焦点を当て、流域生態系を総合的に保全するため、生物多様性損失評価モデル、湖沼の高次捕食者となる魚類の炭素・窒素安定同位体比から生物多様性を評価するモデル、および生態系応答予測モデルを構築・適用することにより、琵琶湖の生物多様性を効果

的に保全する地区の選定および空間範囲の設定、琵琶湖の生物多様性の損失と生態系の劣化を引き起こしている駆動因の特定、マイナス要因を取り除くことによる回復予測を行う。以上により、琵琶湖の生物多様性変動パターンの網羅的な時空間解析を実施することによって、生物多様性の減少をもたらす駆動因と優先すべき保全水域を抽出・特定する。

今後の展望

上記1の研究では、アジア各国およびケニア・ビクトリア湖の陸水研究者とのネットワークを構築した。元々、国内では2と4の研究を進めてきたことから、将来的にはこれらの国内外のネットワークを駆使した湖沼長期観測体制の確立や、細菌や原生生物の群集系統多様性の機能解明などの研究に発展させたい。国際的ネットワークについては、DIWPA、ILTERやAP-BONのみならず、GLEONとの協同も視野に入れている。

上記3の研究は、成層期の琵琶湖深層で第一優占となるクロロフレクサス門の細菌種の発見 (Okazaki et al. 2013, FEMS Microbiol Ecol) や、琵琶湖深層への溶存有機物輸送とその質的変遷の解明 (Thottathil et al. 2013, Limnol Oceanogr) など、新たな成果につながっている。さらに、本研究は戦略的国際科学技術推進事業 (研究交流型) 「湖沼の溶存有機物がたどる運命：特に、有機物負荷・汚染について」 (中国科学院・環境科学・環境基準・リスクアセスメント国家重点研究所・Fengchang Wu教授との共同研究。平成24年8月に採択) につながった。

上記5の研究では、DIWPA活動、AP-BON活動と絡めて、生物多様性研究についての将来に渡る国際的な協同体制をより充実させながら、多くの成果を産み出して行きたい。なお、平成24年8月にはその成果の一部が書籍「The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring, Nakano, Yahara and Nakashizuka (eds)」として、シュプリンガー社から発行されている。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Hodoki, Y., Ohbayashi, K., Kobayashi, Y., Okuda, N., and Nakano, S. (2012)
Detection and identification of potentially toxic cyanobacteria: ubiquitous distribution of *Microcystis aeruginosa* and *Cuspidothrix issatschenkoi* in Japanese lakes. *Harmful Algae* 16: 49-57.

本研究では、有毒シアノバクテリア *Cuspidothrix issatschenkoi* のうち、アナトキシン-a を生産する株のみを特異的に検出する遺伝子プローブの開発に、世界で初めて成功しました。このプローブにより、アジアで初めて、アナトキシン-a を生産する *C. issatschenkoi* が日本の湖沼から検出された。

(2) Hodoki, Y., Ohbayashi, K., Kobayashi, Y., Okuda, N. and Nakano, S. (2011)
Temporal variation in cyanobacteria species composition and photosynthetic activity in experimentally induced blooms. *Journal of Plankton Research* 33: 1410-1416.

本研究では、光合成阻害剤 DCMU を用いて、シアノバクテリアの大増殖を事前に検知する方法を確立した。本方法は、多くの試験研究機関が有する安価な機器で実行可能であり、野外人工池において人為的に引き起こされた *Microcystis aeruginosa* のブルームの早期検出にも有効であった。

(3) Imai, H., K.-H. Chang, M. Kusaba and S. Nakano (2009) Temperature-dependent dominance of *Microcystis* (Cyanophyceae) species: *M. aeruginosa* and *M.*

wesenbergii. Journal of Plankton Research 31: 171-178.

本研究では、アオコの原因となる *Microcystis aeruginosa* と *M. wesenbergii* の松山市のため池での季節動態追跡と、これらの単離株を用いた生理生態学実験を行った。前者は温度変化に対する反応が強かつ高温域での増殖に優れていたのに対し、後者は温度変化に対する反応が鈍く低温域での増殖に優れていた。アオコの優占種が温度により決定されることを、世界で初めて報告した。

(4) Doi, H., K.-H. Chang, T. Ando, H. Imai, I. Ninomiya, and S. Nakano (2009) Resource availability and ecosystem size predict food-chain lengths in pond ecosystems. *Oikos* 118: 138-144.

本研究では、松山市の複数のため池を用いて、安定同位体解析により各池の食物連鎖構造を調べるとともに、食物連鎖長がどのように決定されるかを明らかにした。これらのため池の食物連鎖長は、resource availability と ecosystem size の両方により決まっていることが明らかとなった。

(5) Hirose, M., T. Katano, S. Nakano (2008) Growth and grazing mortality rates of *Prochlorococcus*, *Synechococcus* and eukaryotic picophytoplankton in a bay of the Uwa Sea, Japan. *Journal of Plankton Research* 30: 241-250.

本研究では、愛媛県宇和海における *Synechococcus* と *Prochlorococcus* のピコ植物プランクトンの増殖と原生生物の摂食による死滅は、バランスが取れていることを明らかにした。外洋性である *Prochlorococcus* の沿岸海域での生態解明は、世界的に大変珍しく、貴重な報告となった。

論文リスト

原著論文

Hodoki, Y., Ohbayashi, K., Kobayashi, Y., Okuda, N. and Nakano, S. (2011) Temporal variation in cyanobacteria species composition and photosynthetic activity in experimentally induced blooms. *Journal of Plankton Research* 33: 1410-1416.

Mizuta, S., Imai, H., Chang, K.-H., Doi, H., Nishibe, Y., Nakano, S. (2011) Grazing on *Microcystis* (Cyanophyceae) by testate amoebae with special reference to cyanobacterial abundance and physiological state. *Limnology* 12: 205-211.

Doi, H., Chang, K.-H., Nakano, S. (2010) Nitrogen and carbon isotope fractionations of zooplankton consumers in ponds: Potential effect of seston stoichiometry. *Marine and Freshwater Research* 62: 66-71.

Doi, H., Kobari, T., Fukumori, K., Nishibe, Y., Nakano, S. (2010) Trophic niche breadth variability differs among three *Neocalanus* species in the subarctic Pacific Ocean. *Journal of Plankton Research* 32: 1733-1737.

Chang, K.-H., Doi, H., Nishibe, Y., Nakano, S. (2010) Feeding habits of omnivorous *Asplanchna*: comparison of diet composition among *Asplanchna herricki*, *A. priodonta* and *A. girodi* in pond ecosystems. *Journal of Limnology* 69: 209-216.

Doi, H., Chang, K. H., Nakano, S. (2010) Dispersal, connectivity of systems, and local

conditions determine local zooplankton communities in artificially connected ponds. *Aquatic Biology* 10: 47-55.

Ichinotsuka, D., T. Katano, H. Takeoka and S. Nakano (2010) Effects of nutrient supplies on the growth rates of planktonic bacteria in Uchiumi Bay, Japan. *Aquatic Biology* 9: 123-130.

Doi, H., K.-H. Chang, T. Ando, H. Imai and S. Nakano (2010) Shoreline bank construction modify benthic-pelagic coupling of food webs. *Ecological Engineering* 36: 601-604.

Chang, K.-H., H. Doi, Y. Nishibe, Y. Obayashi, S. Nakano (2009) Spatial and Temporal Distribution of Zooplankton Communities of Coastal Marine Waters Receiving Different Human Activities (Fish and Pearl Oyster Farmings) *Open Marine Biology Journal* 3: 83-88.

中井大介、大塚泰介、中原紘之、中野伸一 (2009) 人工水路において添加された微細粒子の堆積が付着藻類の群落構造に与える影響、*陸水学雑誌* 69 (3): 209-221

Imai, H., K.-H. Chang, M. Kusaba and S. Nakano (2009) Temperature-dependent dominance of *Microcystis* (Cyanophyceae) species: *M. aeruginosa* and *M. wesenbergii*. *Journal of Plankton Research* 31: 171-178.

Doi, H., K.-H. Chang, T. Ando, H. Imai, I. Ninomiya, and S. Nakano (2009) Resource availability and ecosystem size predict food-chain lengths in pond ecosystems. *Oikos* 118: 138-144.

杉山裕子、Hatcher, P. G., 三田村緒佐武、片野俊也、熊谷哲、中野伸一、Drucker, V. V., Fialkov, V. A., 杉山雅人(2008) 超高分解能 FT-ICRMS を用いたバイカル湖水中未同定溶存有機物の解明、*地球科学* 42: 165-177

Katano, T., S. Nakano, H. Ueno, O. Mitamura, K. Anbutsu, M. Kihira, Y. Satoh, T. Satoh, V. Drucker, Y. Tanaka, Y. Akagashi, and M. Sugiyama (2008) Abundance and composition of the summer phytoplankton community along a transect from the Barguzin River to the central basin of Lake Baikal. *Limnology* 9: 243-250.

Doi, H., K.-H. Chang, T. Ando, H. Imai, S. Nakano, A. Kajimoto and I. Katano (2008) Drifting plankton from reservoir subsidize downstream food webs and alter community structure. *Oecologia* 156: 363-371.

Susuki, T., Y. Sugiyama, C. Wada, T. Kumagai, S. Nagao, T. Katano, S. Nakano, O. Mitamura, Y. Matsuura, V. V. Drucker, V. A. Fialkov, M. Sugiyama (2008) Role of allochthonous organic matter in Lake Baikal investigated using a 3-dimensional fluorescence excitation-emission matrix spectroscopy and high performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 30: 469-476.

Kihira M., K. Anbutsu, H. Azumi, H. Yoshida, O. Mitamura, S. Nakano, T. Katano, Y. Satoh, V. Drucker and M. Sugiyama (2008) Horizontal distribution and nutritional status of picophytoplankton in Lake Baikal in summer. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 30: 598-602.

Chang, K.-H., H. Doi, H. Imai, F. Gunji and S. Nakano (2008) Longitudinal distribution of zooplankton in reservoir-outlet river: the fate of lentic zooplankton discharged from reservoir to its outlet river and its interaction with river predators. *Limnology* 9: 125-134.

Hirose, M., T. Katano, S. Nakano (2008) Growth and grazing mortality rates of *Prochlorococcus*, *Synechococcus* and eukaryotic picophytoplankton in a bay of the Uwa Sea, Japan. *Journal of Plankton Research* 30: 241-250.

Katano, T., S. Nakano, O. Mitamura, H. Yoshida, H. Azumi, Y. Matsuura, Y. Tanaka, H. Maezono, Y. Satoh, T. Satoh, Y. Sugiyama, Y. Watanabe, T. Mimura, Y. Akagashi, H. Machida, V. V. Drucker, T. Tikhonova, O. Belykh, V. A. Fialkov, M.-S. Han, S.-H. Kang and M. Sugiyama (2008) Abundance and pigment type composition of picocyanobacteria in Barguzin Bay, Lake Baikal. *Limnology* 9: 105-114.

Hashimoto, T., K. Hyodoh, T. Hirose, S. Nishikawa, T. Katano and S. Nakano (2008) Evaluation of three phytoplankton species as food for the pearl oyster *Pinctada fucata*. *Aquaculture International* 16 (4): 309-318.

Doi H, K.-H. Chang, Y. Obayashi, M. Yoshihara, M. Shime, T. Yamamoto, Y. Nishibe, S. Nakano (2008) Attached microalgae contribute to planktonic food webs in bays with fish and pearl oyster farms. *Marine Ecology Progress Series* 353: 107-113.

Hirose, M., T. Katano, Y. Hayami, A. Kaneda, T. Kohama, H. Takeoka, S. Nakano (2008) Changes in the abundance and composition of picophytoplankton in relation to the occurrence of a Kyucho and a bottom intrusion in the Bungo Channel, Japan. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 76: 293-303.

Ohtuska, T., Y. Nakamura, S. Nakano & Y. Miyake (2007) Diatoms in Ishite Stream, near the Komenono Forest Research Center of Ehime University, Japan. *Diatom* 23: 29-48

Katano, T., A. Kaneda, N. Kanzaki, Y. Obayashi, A. Morimoto, G. Onitsuka, H. Yasuda, S. Mizutani, Y. Kon, K. Hata, H. Takeoka, S. Nakano (2007) Distribution of prokaryotic picophytoplankton from Seto Inland Sea to Kuroshio region with special reference to *Kyucho* enumerated with a dual laser flow cytometer and a spectrofluorometer. *Aquatic Microbial Ecology* 46: 191-201

著書

Nakano S (2010) The importance of developing Indonesian freshwater biodiversity observation network (BON) as satellite of Asia Pacific BON. *Proceeding International Conference on Indonesian inland waters II*, Wiadnyana N. N., Phil H. M, Haffner G. D., Nakano S. (Eds), ISBN: 978 602 95862 2 0, 9-14.

中野伸一（分担）（印刷中）生物学大事典、編集代表 石川統、東京化学同人、執筆終了

Chang, K.-H., Doi, H., Nishibe, Y., Obayashi, Y., Yamamoto, T., Yoshihara, M., Shime, M., and Nakano, S. (2007) Spatial and temporal distribution of zooplankton communities of coastal marine waters receiving different human activities (fish and pearl oyster farmings). In *Chemical pollution and environmental changes*, Tanabe S., Takeoka, H., Isobe, T., and Nishibe, Y. (eds.), 405-408, Universal Academy Press, Tokyo

その他

中野伸一、一瀬諭 (2010) : うつりゆく巨大生態系、琵琶湖—植物プランクトンの多様性と長期変化、ミルシル、No. 5, 15-17. (独立行政法人 国立科学博物館発行)

Imai, H., K.-H. Chang and S. Nakano (2009) Growth Responses of Harmful Algal Species *Microcystis* (Cyanophyceae) under Various Environmental Conditions. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry — Environmental Research in Asia*, Eds., Y. Obayashi, T. Isobe, A. Subramanian, S. Suzuki and S. Tanabe, pp. 269–275. 審査付き

中野伸一 (2008) 微生物世界への旅(17) : 微生物の世界も弱肉強食 現代化学 450 (9): 66-67

谷内茂雄（准教授）〈2008年着任〉

研究概要

おもに数理モデルを用いて、群集・生態系の構造と機能、生物多様性と生態系機能の関係、人間活動と生態系の相互作用、生態系における進化的過程の理論的研究をおこなっている。現在は、琵琶湖流域などの流域生態系を対象として、人間活動と生態系の相互作用を、水系の階層構造、社会－生態システム、レジリアンス、流域ガバナンスの視点から研究している。

1. 総合地球環境学研究所との連携研究プロジェクト

1) 流域ガバナンスに関する著作・講演・委員会等の活動

前勤務地である総合地球環境学研究所（地球研）における学際プロジェクト「琵琶湖－淀川水系における流域管理モデルの構築：和田英太郎・谷内茂雄」（2002-2006年度）の成果をもとに「流域環境学－流域ガバナンスの理論と実践（和田英太郎監修）」を2009年3月に出版した。また、流域生態系管理の上で重要となるレジリアンス、統合的流域管理について整理した（「地球環境学事典」）。関連活動として、流域ガバナンスに関する講演（国際シンポジウム、日本生態学会、日本森林学会、大学、地方自治体、市民を対象としたセミナー等）や、滋賀県の環境行政に関する下記委員会等で意見を述べた。

- ・滋賀県琵琶湖総合保全専門委員会（2007年度～2009年度）
- ・滋賀県環境審議会（環境企画、温暖化対策、琵琶湖総合保全の各部会）（2008年度～）
- ・滋賀県琵琶湖環境科学センター 琵琶湖流域管理シナリオ研究会（2008年度～）
- ・滋賀県琵琶湖淀川の流域管理に関する検討委員会（2010年度）

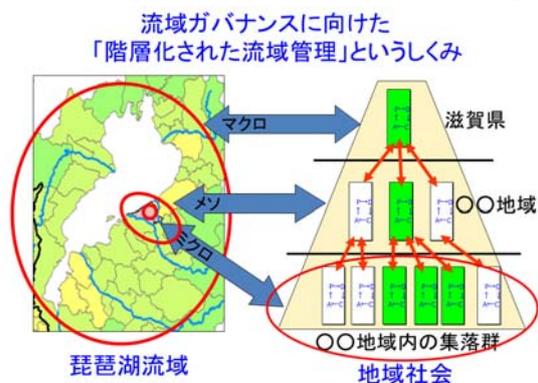


図1 「階層化された流域管理」の概念図。実際の流域では、生態系だけでなく地域社会も水系の入れ子構造に影響を受ける形で、たとえば府県□市町□集落に階層化されている。その結果、環境問題等の問題意識も階層によって分断され、合意形成を妨げる要因となっていることが多い。流域ガバナンスとは、流域全体に関わる健全な水循環といった大局的な視点を共有した上で、ボトムアップ的・自治的な視点から、多様な主体が生活と環境の多面的な関係や課題を調整しながら、持続可能な流域社会を実現していくような流域管理のことである。階層化された流域管理とは、現実の流域生態系における階層化による問題意識の分断の弊害に着目し、階層間の対話の促進を核として提案された流域ガバナンスを促進するためのモデルである。

2) 他の関係プロジェクト

下記の地球研プロジェクトに参加し、流域管理と理論的な視点から意見を述べてきた。

- ・「社会・生態システムの脆弱性とレジリアンス：梅津千恵子」（2006～2011 年度）
- ・「病原生物と人間との相互作用：川端善一郎」（2006～2011 年度）
- ・「人間活動下の生態系ネットワークの崩壊と再生：山村則男・酒井章子」（2007～2012 年度）
- ・「統合的水資源管理のための「水土の知」を設える：渡邊紹裕」（2010—2015 年度）

2. 科学研究費補助金（基盤研究（B））「地域住民による琵琶湖沿岸の〈生命の賑わい〉総合調査の方法論と具体的手法の確立：川那部浩哉代表」（2010 年度～2012 年度）

分担研究者として、住民参加型の総合調査の方法を検討している。これまでに、日本自然保護協会主催の「市民調査全国大会」（2010年7月）に参加し、参加者との情報交換をもとに市民参加型調査の課題をまとめた。

3. 環境研究総合推進費 「陸水生態系における生物多様性損失の定量的評価に関する研究：高村典子代表」（2011 年度～2015 年度）

「空間的異質性と長期変動からみた大規模湖沼・琵琶湖の生物多様性評価」班（琵琶湖班）の一員として琵琶湖底生種の絶滅リスク評価を担当している。

今後の展望

これまでの研究によって、人間活動を前提とした流域生態系の応答および流域ガバナンスに関して、主要な課題、重要な理念・概念はかなり抽出できたように思う。とはいえ、流域というスケールでの社会□生態システムの挙動、生態系・生物多様性とレジリアンスの関係、流域ガバナンス等に関する理解を深めていくには、データ同化に基づいた生態系モデルの開発、社会科学等との実証的な学際研究等とともに、やはりシステムの本質を深く考えさせるシンプルな数理モデルの提示が必要不可欠であると感じている。今後は、このような数理モデルの開発を主軸に研究を展開していきたいと考えている。

代表的な論文 5 編以内と各論文の概要

(1) 谷内茂雄（2009）共編著 和田英太郎（監修）「流域環境学—流域ガバナンスの理論と実践」564 ページ 京都大学学術出版会

地球研との連携プロジェクトの具体的成果と関連分野のレビューに基づいて、人間活動を前提とした流域生態系管理に必要な学際的・総合的な調査・診断法、流域の階層構造を踏まえた流域ガバナンスのしくみ（「階層化された流域管理」）の理論と実践の上での指針をまとめた。おもに執筆に関わったのは以下の箇所である。

第 1 部第 1 章「環境政策と流域管理」、第 2 章「流域管理の新しい潮流」、第 3 章「空間スケールと流域管理」では、流域ガバナンスを実現する上での流域管理の課題を、1) 持続可能性、2) 科学的不確実性、3) 地域固有性、4) 空間的重層性（階層性）の 4 つに整理した上で、これらの課題を克服するための現代の新たな取り組みについてまとめた。

第 4 部第 4 章「ツールとしてのモデル・GIS・シナリオ」では、流域診断の方法のひとつである数理モデルの役割と特徴を整理した。特に多様な利害関係者間の対話を促進する方法として、シナリオアプローチの意義についてまとめた。また、複合要因を前提とした固有種の存続評価モデルとその具体的事例（石井励一郎氏と共著）、階層間の対話を促進する GIS を使った方法の提案とその雛型システムの開発（プリマ・オキ・ディッキ氏および田中拓弥氏と共著）について詳述した。

第5部第2章「淀川下流域と琵琶湖－淀川水系での展開」では、都市域の広がる淀川下流域を対象として、水質・流入負荷の視点から、流域の主要な問題構造を抽出し、琵琶湖流域で展開した流域診断や流域ガバナンスの考え方がどのように課題解決に向けて提言できるかを検討した（脇田健一氏との共著）。

第5部第3章5「流域ガバナンスと持続可能性科学、地球環境問題」では、流域ガバナンスのための流域管理論を持続可能性科学および地球システム科学との関係から捉えなおし、地球環境問題の解決の上でどのように位置づけられ、今後どのような展望を持つかについてまとめた（和田英太郎氏と共著）。

業績リスト

原著論文

Vojtech, E., Loreau, M., Yachi, S., Sphehn, M., and Hector, A. (2008) Light partitioning in experimental grass communities. *Oikos* 117:1351-1361

Nakano, T., Tayasu, I., Yamada, Y., Hosono, T., Igeta, A., Hyodo, F., Ando, A., Saitoh, Y., Tanaka, T., Wada, E. and Yachi, S. (2008) Effect of agriculture on water quality of Lake Biwa tributaries, Japan. *Science of the Total Environment* 389:132-148

著書

谷内茂雄（2011）琵琶湖における農業濁水問題。（日本陸水学会編）「川と湖を見る・知る・探る」知人書館, 126-127

Umetsu, C., Taniguchi, M., Watanabe, T. and Yachi, S. (2010) Transdisciplinary Research in Watershed Conservation: Experiences, Lessons, and Future Directions. 77-102. *Sustainability Science for Watershed Landscapes*. Roumasset J A, Burnett K M and Balisacan A M (eds), ISEAS Publishing, Singapore

谷内茂雄（2010）農業排水による水系汚濁。（総合地球環境学研究所編）「地球環境学事典」弘文堂, 86-87

谷内茂雄（2010）生態系レジリアンス。（総合地球環境学研究所編）「地球環境学事典」弘文堂, 140-141

谷内茂雄（2010）統合的流域管理。（総合地球環境学研究所編）「地球環境学事典」弘文堂, 534-535

谷内茂雄（2009）共編著 和田英太郎（監修）「流域環境学－流域ガバナンスの理論と実践」564 ページ 京都大学学術出版会

谷内茂雄（2009）「Chapter 23. 遺伝システムの進化（715-756）」を分担翻訳 Barton, N. H., Briggs, D. E. G., Eisen, J. A., Goldstein, D. B., Patel, N. H./宮田隆・星山大介（監訳）「進化－分子・個体・生態系」（2009）メディカル・サイエンス・インターナショナル

谷内茂雄（2008）「琵琶湖の農業濁水と地域社会」68-71、総合地球環境学研究所編「地球の処方箋-環境問題の根源に迫る」昭和堂

山内 淳 (教授)

研究概要

1. 進化-個体群動態-群集構造の関係に注目した多種共存機構の解明

生物の進化過程が個体群や群集の動態にどのような影響をおよぼすのか、さらに個体群や群集の動態がどのように進化にフィードバックするのか、という問題を解明することは、生物多様性ひいては生態系の成り立ちを理解する上で鍵となる取り組みである。本研究室ではこれまでも、例えば1捕食者-2被食者の系において、捕食者の摂餌行動の最適化と被食者の防衛形質の進化が、系の安定性にどのように寄与するのかを理論的に解明してきた (Yamauchi & Yamamura, Ecology 2005)。

その取り組みをさらに発展させ、ニッチ空間上での多種共存メカニズムの解明に取り組んだ。生物が利用することのできるニッチは遺伝子によって決定されているであろう。その遺伝子に多様性があることで各生物種はある程度の範囲のニッチを利用可能となり、またその結果、環境状態や競争種の存在に対してニッチシフトや形質置換といった進化的な反応が可能になる。ニッチを決める遺伝子型についてその頻度変化を理論的に記述し、種内の潜在的な遺伝的多様性と種多様性の関係を、環境変動の影響を考慮しながらシミュレーションによって解析した (Yamauchi & Miki, Oikos 2009)。

直感的には、種内の遺伝的多様性はニッチ利用における自由度の高さを通じて多種の共存に貢献すると想像される。しかし解析の結果、そのような直感は必ずしも正しくないことが分かった。種内の遺伝的多様性の幅と種多様性の相関は環境変動のパターンに強く依存する。特に両者の間に強い相関が見られるのは、環境状態が各時間でニッチごとに変動し、なおかつ類似したニッチの環境状態に正の相関がある場合であった (図1)。

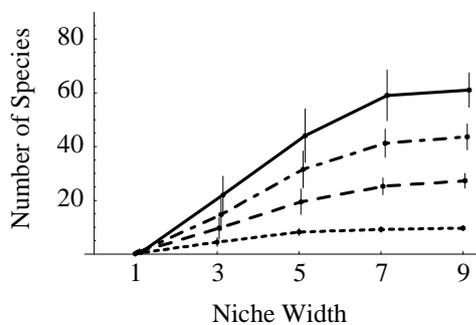


図1 種内の潜在的な遺伝的多様性 (ニッチの幅) と共存種数の関係。各ニッチの環境状態が各時間でニッチごとに変動し、なおかつ類似したニッチの環境状態に正の相関がある場合。各線は、上から初期種数が70、50、30、10種の場合に対応。

2. 種間の共生関係における個体群動態および進化動態の解明

1) 細胞内共生体における進化ダイナミクス

ある種の細胞の中に別な種が入り込んで一体となってしまう細胞内共生は、生物種間の共生関係の一つの究極の形態であるといえる。ミトコンドリアや葉緑体といったバクテリア由来の細胞内共生体は真核生物にとって必須な機能を担っているのに対して、無脊椎動物に共生するボルバキアやリケッチアはホストの性をコントロールしてメスの比率を高める能力を進化させている。こうした性質の進化過程を解明することによって、共生関係の成立にかかわる力学を明らかにすることを目指した。

(1) 父性遺伝の下での細胞内共生体によるホスト性比操作の進化

細胞内共生体が時としてホストの性比を雌に偏らせる性質を進化させるのは、細胞質がメスによってしか次世代に伝わらないからである。では、共生体が父親経路でも子孫に伝わるならば何が起きるであろうか。この問題について理論モデルを構築し解析を行った (Yamauchi & Telschow, 2010 JTB)。このモデルにおいては、ホストをコントロールする能力が高い共生体は、細胞内での増殖速度が下がるというトレードオフを導入し

た。解析の結果、トレードオフがない場合には、パラメータによっては多様な性比コントロール能力を持つ共生体が集団内に共存する可能性が示された。一方、トレードオフが存在する場合には、性比コントロール能力が高い系統と低い系統の二極化が起こり、両者が共存する可能性があることが分かった。

(2) 細胞内共生体の二つの戦略の進化過程と共存メカニズム

上記の理論モデルを発展させ、ミトコンドリアのようにゲノムを小型化しつつホストに大きな貢献をする共生体と、ボルバキアのようにほどほどのゲノムサイズを持ちながらホストの性をコントロールする共生体がそれぞれ進化し、特に無脊椎動物の細胞内で共存するメカニズムを理論的に解析した (Yamauchi & Telschow, 2012 JTB)。細胞質の遺伝様式は、現在でこそほとんどの生物で母性遺伝であるが、原始的な有性生殖では両性遺伝だったと考えられるため、こうした細胞質の遺伝様式の歴史性を取り入れながらモデルを解析した。その結果、同一なパラメータでも細胞質の両性遺伝の下では小さなゲノムが進化し、母性遺伝の下では性操作を進化させる場合があることが分かった。さらにパラメータによっては両状態が双安定になり、初期に進化したミトコンドリア型共生体と後期に進化したボルバキア型共生体が、細胞質の母性遺伝の下で共存しうることが示された。

2) 独立に分散する2種の共生に伴うコロニー動態

種間の相利共生は自然界に広く見られるが、相互作用する種の分散過程が独立である場合も少なくない。各々が独立に分散する場合、新しい生息地に先に到着した種は共生種が不在の不利な状態のまま、共生種の到着を待たなければならない。このような状況の下で、新しい生息地への侵入とそこでのコロニーの拡大プロセスについて、植物と菌根菌の共生関係を想定し、環境変動を考慮しながら理論モデルを構築して解析を行った (Yamauchi et al., 2009 JTB)。

新しい生息地へ分散した植物は、菌根菌不在のままコロニーを維持しなければならないが、多くのコロニーは成長速度の低さのために環境変動の影響を受けて高い確率で絶滅する。何とか絶滅を回避したコロニーだけが菌根菌と出会うことができ、高い成長率を獲得してコロニーを定着させることができる。コロニーの定着確率は菌根菌不在での成長率 (r_1) と存在下での成長率 (r_2) に強く依存するが、前者は定着確率を大きく高めるのに対して後者の効果は飽和する傾向がある (図2)。もしも両者の間にトレードオフがあるなら、この結果は共生関係の進化にも影響を与えうる。

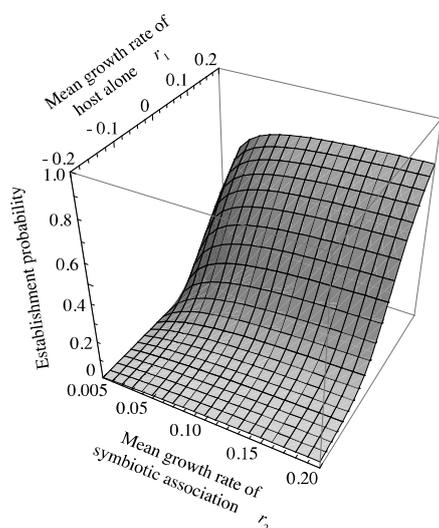


図2 菌根菌不在での成長率 (r_1) および存在下での成長率 (r_2) と、コロニーの定着確率の関係。定着確率をパイオニア種の適応度と見なすと、この図は適応度地形を示しており、トレードオフの下での進化が議論できる。

今後の展望

これまでの研究において、生物の進化が生物群集の動態や多種共存に大きな影響をおよぼすことが明らかになった。実際、進化の重要性に対するそのような認識は、生態学の中で益々高まりつつある。今後も、そうした進化と生物多様性の関係の理論的解明をさらに進めて行くべきである。そのような展望のもと、いくつか課題に取り組みつつある。少数の種から種分化によって多くの種からなる生物群集が形成されるプロセスの解明を、オーストリアの Dieckmann 博士との共同研究として進めている。また、形質に種内多型が現れるメカニズムについて、植物の共同防衛に注目しながら理論的な解析を進めている。この問題は、生物の協力の進化の問題とも密接に関連している。さらに、植物-植食者-捕食者の3者系で、植物が捕食者を呼び寄せる匂いを使った信号に見られる、恒常的な信号と被食誘導的な信号の進化に関して、オランダの Sabelis 博士と共同研究を進める計画である。

進化と並ぶ重要な生物の性質として、近年、表現型可塑性が注目を集めている。表現型可塑性の理論モデルは古い歴史を持つが、適応的な観点から最適な表現型可塑性の進化をモデル化する取り組みは十分になされていない。今後、こうした課題にも取り組む計画である。

代表的な論文5編以内と各論文の概要

(1) Yamauchi A, Kobayashi Y (2011) Joint evolution of sex ratio and reproductive group size under local mate competition with inbreeding depression. *Journal of Theoretical Biology* 270:127-133

局所的配偶者競争によって性比がメスに偏ることはよく知られているが、それに関する理論の多くでは一つの資源に共に産卵をする母親の数を定数としている。その母親の数が近交弱性の存在を反映して進化する場合に、性比と母親の数がどのように進化するかを理論モデルによって解析した。

(2) Takahashi D, Yamauchi A (2010) Optimal defense schedule of annual plants against seasonal herbivores. *The American Naturalist* 175:538-550

多くの植物は植食者からの被食を回避するために防御形質を発現するが、それには被食を受ける前から準備する恒常的防御と、被食を受けてから発現する誘導防御がある。そうした防御形質の発現パターンを、最適フェノロジーの問題として動的最適化の手法を適用して解析した。

(3) Yamauchi A, Miki T (2009) Intraspecific niche flexibility facilitates species coexistence in a competitive community with a fluctuating environment. *Oikos* 118:55-66

利用できるニッチが遺伝的に決まっている状況で、種内における遺伝的な多様性の程度が多種共存に及ぼす影響を、環境変動と関連づけながらシミュレーションによって評価した

(4) Yamauchi A, Nishida T, Ohgushi T (2009) Stochastic tunneling in the colonization of mutualistic organisms: Primary succession by mycorrhizal plants. *Journal of Theoretical Biology* 261:74-82

菌根菌と植物の共生関係に注目して、新しいハビタットへの侵入および定着のパターン

について、環境変動を考慮しながらコロニー動態をモデル化して解析した。また、その結果に基づいて共生関係の進化過程についても議論した。

業績リスト

原著論文

Yamauchi A, Kobayashi Y (2011) Joint evolution of sex ratio and reproductive group size under local mate competition with inbreeding depression. *Journal of Theoretical Biology* 270:127-133

Yamauchi A, Nishida T, Ohgushi T (2011) Mathematical model of colonization process of mycorrhizal plants: Effect of interaction between plants with fungi. *Journal of Plant Interactions* 6:129-132

Hsieh C-H, Yamauchi A, Nakazawa T, Wang W-F (2010) Fishing effects on age and spatial structures undermine population stability of fishes. *Aquatic Sciences* 72:165-178

Takahashi D, Yamauchi A (2010) Optimal defense schedule of annual plants against seasonal herbivores. *The American Naturalist* 175:538-550

Yamauchi A, Telschow A, Kobayashi Y (2010) Evolution of cytoplasmic sex ratio distorters: effect of paternal transmission. *Journal of Theoretical Biology* 266:79-87

Yamauchi A, Miki T (2009) Intraspecific niche flexibility facilitates species coexistence in a competitive community with a fluctuating environment. *Oikos* 118:55-66

Yamauchi A, Nishida T, Ohgushi T (2009) Stochastic tunneling in the colonization of mutualistic organisms: Primary succession by mycorrhizal plants. *Journal of Theoretical Biology* 261:74-82

Saito Y, Chittenden AR, Mori K, Ito K, Yamauchi A (2008) An overlooked side effect of nest scattering behavior to decrease predation risk (Acari; Tetranychidae, Stigmeidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 63:33-42

Hayashi M, Fujita N, Yamauchi A (2007) Theory of grazing optimization in which herbivory improves photosynthetic ability. *Journal of Theoretical Biology* 248:367-376

Yamamura N, Fujita N, Hayashi M, Nakamura Y, Yamauchi A (2007) Optimal phenology of annual plants under grazing pressure. *Journal of Theoretical Biology* 246:530-537

その他

Fukui S, Yamauchi A (2011) Evolution of situation dependent mutualism. *Journal of Plant Interactions* 6:179-180

Takahashi D, Brännström Å, Mazzucco R, Yamauchi A, Dieckmann U (2011) Cyclic transitions in the simulated food-web evolution. *Journal of Plant Interactions* 6:181-182

Ito K, Yamauchi A (2011) Theoretical study of evolution of polymorphism in the level of anti-herbivore defense in plants. *Journal of Plant Interactions* 6:183-184