

学術情報

「生態学の展望」について

日本学術会議の生態科学分科会では、第22期（2011.10-2014.9）から生態学の現状分析と将来展望をおこないました。第23期（2014.10-）には文書としてとりまとめました。この「生態学の展望」には幅広い話題がとりあげられています。作成にあたっては将来計画委員会や理事会にも意見を聞いてそのコメントをとりこみました。また第63回日本生態学会仙台大会ではフォーラムを開催し、会員の意見を聞きました。現在、日本学術会議の報告という書類として出版されるための査読手続きをすすめています。

日本生態会員に幅広く読んでもらいたいと考え、これまで議論を数年かけて積み上げてきた文書を、ほぼそのまま会員に公開することにしました。分量を減らすため資料などは削除して、本文だけになっています。

会員の皆様、さらに広く生態学に関心のある方々のご意見を頂けると幸いです。

巖佐 庸

第23期日本学術会議会員

統合生物学委員長、生態科学分科会委員長

生態学の展望（案）

平成 29 年（2017 年）3 月 29 日

日本学術会議統合生物学委員会生態科学分科会

委員長	巖佐 庸	（九州大学大学院理学研究院）
副委員長	吉田丈人	（東京大学大学院総合文化研究科）
幹事	福井 学	（北海道大学低温科学研究所）
幹事	半場祐子	（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科）
	梶山雅秀	（北海道大学）
	粕谷英一	（九州大学大学院理学研究院）
	加藤 真	（京都大学人間環境学研究科）
	河田雅圭	（東北大学大学院生命科学研究科）
	嶋田正和	（東京大学大学院総合文化研究科）
	塩尻かおり	（龍谷大学農学部）
	辻 和希	（琉球大学農学部）
	中静 透	（東北大学大学院生命科学研究科）
	難波利幸	（大阪府立大学理学系研究科）
	松本忠夫	（東京大学）
	鷺谷いづみ	（中央大学理工学部）
	中野伸一	（京都大学生態学研究センター）

本報告の作成にあたり、以下の方々にご協力いただいた。

奥田 昇	（総合地球環境科学研究所）
北島 薫	（京都大学大学院農学研究科）
佐竹暁子	（九州大学大学院理学研究院）
東樹宏和	（京都大学人間環境科学研究科）
三木 健	（国立台湾大海洋科学科）
森長真一	（日本大学生物資源科学部）

要 旨

1 作成の背景

日本でも世界でも環境問題の重要性が浸透し、環境負荷の少ない社会の実現は世界的潮流となりつつあり、その基礎科学として生態学の役割は増している。他方で、生態学は、生命科学や情報科学と結びついて学術的にも大きく飛躍しようとしている。

生態科学分科会は、第22期と23期にかけて、日本の生態学の現状をレビューし、さらなる発展の障害となっている事項について検討を重ね、また急速に発展すべき研究分野についての議論を進めてきた。本報告を取りまとめるにあたって、関連学会に回覧してコメントを求め、日本生態学会仙台大会では公開シンポジウムを開き、意見を集約した。

2 生態学の中で、今後急速に発展すべき分野

(1) 地球変化の科学としての生態学

生態学は、地球規模での危急の課題の解決に貢献する必要がある。例えば、熱帯林の生態系保全と生物多様性保全、地球温暖化に伴う動植物の生息環境の急速な変化と絶滅率の増加、温暖化に伴う熱帯病の蔓延、二次的生態系である里山の持続的な環境利用と保全の取り組みを熱帯地方に広げる取り組み、などである。現在、生物多様性と物質循環の大規模長期観測プロジェクトが先進諸国で複数立ち上げられている。

(2) 生命科学との融合

生物多様性の創出とその役割を理解するには、生理学的観点と生態学的観点との協力が必要である。これまで分子生物学は、モデル生物を用いて実験室環境の生命現象の分子機構を明らかにした。非モデル生物を用いて、複雑に変化する野外の自然環境において遺伝子の働きを調べることが、分子生物学の次のフロンティアになるだろう。

(3) 大量のデータと情報機器

大量のデータを得ることが、現象の理解を大きく進め、新しい分野を開拓する。ある生息地にいる多数個体について、個体を識別して空間的位置のデータを得ることで、資源利用の実態や種間の相互作用が分かる。画像解析、センサーの設置による情報収集、ゲノムデータからの個体数推定や群集情報などから、広い地域での個体数、分布、相互作用などのデータがリアルタイムに利用できるようになる。

3 社会への貢献

(1) 自然共生社会の実現

生物多様性・生態系の健全性・生態系サービスの状態を評価し、その変化の原因を探究することは生態学の課題である。社会-生態結合システムの理解は、生態学の今後の重要な研究テーマになる。

(2) 新たな応用生態学

抗生物質や農薬、化学肥料などは、人の生存と健康に貢献してきた。しかし、微生物の薬剤耐性は短時間で進化し、改良品種のモノカルチャーを基本とする農業は病害虫の発生に対して脆弱である。これらの問題に対処する上で、生態学の知識が活用されている。

(3) 中等教育への貢献

初等中等教育におけるアクティブ・ラーニングの取り組みが検討されている。生態実習に生態学者のノウハウを活用してもらう体制を整える必要がある。科学技術立国を目指す日本の未来のためには、生徒に科学研究の面白さを実体験に基づいて伝えられる教員が必須であり、研究遂行や論文執筆の経験をもつ教員が担当する事が望ましい。

4 研究費・研究体制

(1) Future Earth

地球環境問題の解決には、気候分野、物質循環、生物多様性、人間的側面などが統合されたプロジェクトが必要との観点から、その枠組みとして Future Earth 計画が立てられた。持続可能な開発のために、学際研究を超えて、社会の多様なステークホルダーが研究の計画段階からアウトプットまでかかわる超学際研究に特色がある。

(2) 研究費

科学研究費の基盤 S や JST の CREST などの大規模な研究費や新学術研究領域については、生態学分野の採択数が少ない。中核となる生態学研究者の努力が必要である。地球規模の環境変動による生物への影響解明や将来予測には、長期間にわたる継続調査が非常に重要である。継続的調査に必要な経費を長期で支給される研究資金枠が必要である。

(3) 中核的研究機関

京都大学生態学研究センターおよび総合地球環境学研究所を、国内の研究ネットワーク拠点として維持するよう、日本の生態学コミュニティは努力を継続する必要がある。将来に、国立自然史博物館が実現する場合には、フィールドサイトの併設が望ましい。

(4) フィールド研究・教育施設

公開実習などの教育やフィールド研究の基盤など、貴重な教育・研究の機会が提供されており、さらなる広報の充実や研究・教育設備の充実が求められる。

5 若手研究者の育成

(1) 英語でのコミュニケーション能力

大学院生や若手研究者は、英語でのコミュニケーション力を格段に強化するとともに、相手の主張を取り込み建設的に反論したりしながら優れた結論を導く能力を高める必要がある。このために、研究室セミナーを英語で行ない、大学院在学中から国際会議等に参加させ、海外の研究室への長期滞在や日本の研究室に留学生受け入れなどが望ましい。

(2) 国際組織での活躍の能力

国際的にさまざまな NPO・NGO の組織やプロジェクトが立ち上がり、地球環境問題に関する取組が進められているが、これらの国際組織に関与する人材の養成が日本では遅れている。国際的な舞台上で自らの専門知識と経験を活かしながら議論を戦わせ、場合によってはキャリアパスを得るような人材を発掘・育成する必要がある。

(3) キャリアパス

博士課程学生やポスドクは科学研究にとって不可欠の人材である。キャリアパスの創出や研究ポストの増加、中堅世代へつながるキャリアパスの整備、博士課程修了者やポスドク経験者がキャリアを活かせる多様なキャリアパスなどが必要である。

1 作成の背景

生態学は、個体やそれ以上のレベルでの生命現象に主な関心を寄せる生物学である。生態学は大きく異なるスケールの現象を研究対象としている。さまざまな環境要因や社会的要因のもとにおこる個体の生理的反応や動物行動を理解する分野は、生理生態学や行動生態学である。動物や植物の集団について繁殖、死亡、移動分散などにより、生物の数の変動、存続、絶滅を理解するのは、個体群生態学である。ある地域に生息する多数の種の構成や多様性等を考え複数の種間の相互作用と共存のパターン、長時間の変遷を探る分野は、群集生態学である。そして生物だけでなく土壌や海流、気象といった物理的な環境を含めたシステムを理解しようとする生態系生態学がある。そのほか、対象とする生息地や生態系により、また生物の分類群により、またアプローチによって分けて〇〇生態学という名称が多数ある。

数十年前と比較して、生態学は大きく様変わりした。当時集団遺伝学者が取り組んでいた野外集団の遺伝的構成を理解する手段は、その後発展した分子進化学や分子系統学とともに、生態学者の日々の研究の一部に組み入れられている。他方で進化生態学の勃興とともに、生物の形態や行動が、長い進化プロセスを経て形成された結果であることに着目した解析が極めて有効であることがはっきりし、野外での適応度を測定することが生態学の重要な研究テーマとなった。生態学は、動物行動学・集団遺伝学・進化学・分類学などとともに、「集団生物学」を構成している。

20世紀後半に進展した分子生物学を基盤にした生物学の発展とともに、生態学でも分子生物学的手法が取りこまれた。遺伝マーカーを使用して野外集団の動態や繁殖成功を調べる研究は、生態学に定着した。現在は、種内の社会的相互作用や生物種間相互作用にかかわる遺伝子発現を調べ、遺伝子制御ネットワークを解析する研究が急速に進展している。このような共通性の一方で、生態学には、生物学や生命科学の他分野と比較したときに、いくつかの際立った特徴がある。

まず第1に、生態学は、フィールド科学としての側面をもつ。そのため実験室での研究や理論的研究の一方で、野外調査及び野外での様々なスケールの実験を行うことに特色がある。

次に、地球科学との交流が重要なことがある。人間活動による地球環境の変化により森林等の生態系が失われたり、逆に生態系が環境変化を緩衝して押しとどめたり、生物の遠く離れた集団が交流することを理解しようとすると、気象学や地球化学、土壌の形成や海流・大陸移動などを無視することはできない。

第3に、環境科学としての側面がある。20世紀後半には人間活動が急速に自然を破壊し、気候さえ改変し、多くの生物種を滅ぼしていることが明らかになり、環境科学への一般社会の関心が高まった。人間の生存基盤である食料、水、住環境などを供給しているものが究極のところ生態系であり経済活動もこれらの資源に大きく依存していることが改めて意識されるようになり、野生動植物の種及び生態系の保全に関心が寄せられた。生物多様性の語のもとに生物進化の本質が意識され、それらの現象を理解し生物的自然を管理するための基礎科学として

生態学が注目を集めるようになった。

第4に、数理科学と緊密な関連をもっている。生態学においては、数学にもとづくモデルが分野の基礎をなし、数学や統計学、情報科学、コンピュータシミュレーションなどの理論的研究の役割がよく確立している。

生態科学分科会は、第22期と23期にかけて、日本の生態学の現状をレビューし、さらなる発展の障害となっている事項について検討を重ね、急速に発展すべき研究分野についての議論を進めてきた。今回、文書にとりまとめるにあたり、関連学会にも回覧してコメントを求め、日本生態学会仙台大会では公開シンポジウムを開き、意見を集約してきた。とくに注目すべきものとして、急速な進展が期待される研究分野、社会への貢献、研究体制と研究費、若手研究者の育成、に集中して報告する。

2 特に急速な進展が期待される研究分野

(1) 地球環境変化の科学としての生態学

生態学は、地球規模での危急の課題の解決に貢献する必要がある。例えば、熱帯林の生態系保全と生物多様性保全、地球温暖化に伴う動植物の生息環境の急速な変化と絶滅率の増加、温暖化に伴う熱帯病の蔓延、二次生態系である里山の持続的な環境利用と保全の取り組みを熱帯地方に広げる取り組み、などである。後にある「3(1)自然共生社会への貢献」、「4(1)国際共同研究：Future Earth」、「4(2)研究費」を参照されたい。

地球環境変化の科学としての生態学には理論面からの貢献も必要である。たとえば地球環境変化が、生物間相互作用の改変を通して生態系に及ぼす影響についての研究がその1例である。環境変動の結果、形質の平均値の変化の他に季節性のシフトも起こる。環境要因とフェノロジーのミスマッチは集中的に議論されてきたが、加えて環境変動の激化による変動の振幅増大と生物の絶滅との関連を明らかにすることも重要である。

生態学と地球科学の接点は、物質とエネルギーの循環を研究する生態系生態学、広域的生物多様性のパターンを研究するメタ群集生態学、過去の生物の生態を研究する古生態学などでは従来から存在した。現在、持続可能性への危惧から、生物多様性と物質循環の大規模長期観測プロジェクトが先進諸国で複数立ち上げられ、多地点で同一方法による大量のデータを集積する仕組みが構築されつつある。これにより温暖化などの地球規模の環境変動に対し生物がどう反応し、またいかなる生物-環境間のフィードバックが生じるのか実データに裏付けられた研究が展開可能になる。地球科学に生物の役割を明示的に入れることで、人類の活動の持続可能性がより良く評価できる。

(2) 生命科学（分子生物学、生理学を中心とした）と生態学の融合

生態学の知のフロンティアの一つは、どのようにして生物多様性がつくられたのか、生物多様性はどのような生物学的現象をもたらすのか、である。これは生態学だけでは解決できず、生物学のさまざまな分野からの知を総動員することが必要である。これまで生物学の中で細分化されたそれぞれの分野において、詳細な理解が進め

られてきたが、それは断片的であり、統合化された理解には至っていない。生物個体の内側を扱い、生物進化の分子メカニズムや生物進化の制約などを明らかにする生理学的観点と、生物進化を動かす選択や適応などを理解する生態学的観点とが、相互に協力することによって、生物多様性の統合的な理解が飛躍的に進むと期待される。

生理学的観点と生態学的観点を組み合わせる新しい研究アプローチが、近年進みつつある。エコゲノミクスは、生態学的な現象を、ゲノムや遺伝子から理解し、表現型と遺伝子をつなげようとしている。とくに進化生態学、機能生態学、生理生態学、発生生態学などの分野で現在爆発的に研究が進みつつある。これは次世代シーケンシングなど実験技術の発達によるところが大きい。

非モデル生物が示す多様な性質の分子レベルの発現基盤が現在続々と明らかになりつつあり、競争存在下の共存、多様性の進化、性、社会行動、共生などこれまで生態学者が扱ってきた複雑な現象の裏にある、生物体内のメカニズムが理解できるようになった。将来には、個体群・群集・生態系まで遺伝子レベルからメカニズムにもとづいて理解できることに期待したい。

モデル生物を用いた研究はこれまで飛躍的に進み、実験環境で見られる生命現象の多くの分子メカニズムが明らかになってきた。しかし、制御された実験環境下で見られる現象が、複雑に変化する野外の自然環境においてもそのまま成立するかどうかは、まだほとんどわかっていない。現在、一部の分子生物学者は、野外で遺伝子の働きを調べることが次のフロンティアになることに気づき始めている。そうした研究によって、遺伝子情報やその複雑な制御関係の中で、自然条件で生き抜くためにどの因子が重要なのか知ることが可能になり、多量の情報が蓄積する分子生物学の研究成果を節約的な視点から眺めることができる。生態学では当たり前のフィールド研究自体が、遺伝子を対象とした研究にとって新しく大きな意義があるようになった。

生命科学と生態学との間のギャップを埋める1つの道は、生態学として進化・表現型可塑性・エピジェネティクスの視点に注目した研究にある。たとえば、①生態・進化協同作用の個体群動態の基礎研究、②迅速な進化に関わる形質の適応変化のエピジェネティクス、③形質変化に関わる遺伝子発現の調節のバイオインフォマティクス、などの研究テーマが考えられる

(3) 情報機器の導入と大規模データの扱い

大量のデータを得ることが、現象の理解を大きく進めるだけでなく、新しい分野をも開拓することは、ゲノム情報やいわゆるビッグデータなどのいくつかの例でも示されている。生態学と関連する分野でも、大量のデータが得られているケースが増えている。

たとえば動物行動学については、ある生息地にいる多くの個体について、個体を識別して空間的な位置のデータを得ることは、資源利用の実態や種間の相互作用を知る新しい手法になる。そのためには技術的な面で改善を行う必要がある（参考資料1参照）。

現在、様々な領域で、ビッグデータの活用技術の必要性が指摘されている。ビッグデータとは、単に大量のデータというだけではなく、データベースなどの構造化されているデータとウェブなどに散在しているデータ、ま

た、センサーなどでリアルタイムに蓄積されているデータなどを総合したデータのことである。これらのデータの活用は、生態学の様々な分野において革新をもたらす可能性がある。現在、生物多様性の情報蓄積として、各種のデータベースなどが整備されつつある。

たとえば、フィールドワークによる個体数調査や分布調査などは、リアルタイムに広大な地域で実施することは不可能である。しかし、個体数の推定は、画像解析、様々なセンサーの設置による情報収集、収集されたゲノムデータからの個体数推定（現在と過去の個体数推定が可能）、メタゲノムデータからの群集情報、ウェブ上の生物情報などから、広い地域での個体数、分布、相互作用など様々なデータがリアルタイムに利用できる状況になる可能性がある。さらに、今後蓄積される可能性のある次世代シーケンサーによるゲノム、発現量、メチル化などのエピジェネティクスデータと環境データの組み合わせから、生物の環境に対する適応機構などをさぐる上でも重要になる。

生態学において、ビッグデータの推進に関連した重要課題としては、次のようなものがある。①多様な生物に関する情報を収集するデータベースの統合・推進。②様々なセンサー（映像や音、環境データ、バイオリギングなど）の配備の推進、データの収集技術の整備（たとえば、熱帯多雨林に多数の画像センサーを設置し、生物多様性解析を行うなど）。③各種のデータ（生物、気候、環境物質、農業、林業、漁業、ゲノム、メタボローム、エピジェネティクスなど）の蓄積と相互利用の活用法の推進。④学術論文内のデータ、情報を検索・収集できるテキストマイニング技術の推進。⑤収集したデータの可視化・解析技術の促進。

3 社会への貢献

(1) 自然共生社会への貢献

「社会のための生態学」が目指すものとしては、まず、持続可能な社会の構築に不可欠な自然共生社会の実現に対する貢献がある。生物多様性・生態系の健全性・生態系サービスの状態を評価し、その変化の原因を探索することは生態学の課題である。

しかし生物多様性の多くの問題は、どのように施策をすれば問題が解決できるかを知るだけでは不十分であり、それが社会の中で実行され、実際に解決につながるかどうかが重要である。それを社会科学の問題として生態学から切り離すことはできない。

顧みれば、多くの生態系は、人間の社会経済システムと密接に関係しながら互いに強い影響を与え合って形成されてきた。このような社会-生態システムの理解が、生態学の今後の重要な研究テーマである。合意形成プロセスの研究は、人々の協力維持に関する進化生態学の研究と深く関連しており、その意味でも社会科学と生態学の距離は近い。

また社会からの生態学に対する期待に応えるためには、既存の生態学を超えて、超学際的（Transdisciplinary）なアプローチが必要という意見もある。それは教育活動を通じた生態学の普及、問題解決のために生態学を活用する応用科学、また市民が参加する市民科学などを超えて、

社会の多様なステークホルダーと新しい知を共創するものである。

(2) 応用科学としての生態学の未来

農学や医学において、生態学に基づいた新しい分野が急速に進展する可能性がある。抗生物質や農薬、化学肥料といった医療・化学工業上の革新は、20世紀を通じて人の生存と健康に貢献してきた。しかし、膨大な個体数と短い世代時間、加えて強い淘汰圧によって、微生物の薬剤耐性は短時間で進化する。医薬品や農薬の安全性評価・認可までにかかる時間は、微生物の耐性進化よりもはるかに長い。農業を例にとれば、改良品種のモノカルチャーを基本とする農地は病害虫の発生に対して脆弱であり、近年も新たな真菌系統が世界の小麦生産を脅かしつつある。

他方で、現代農業は、全世界の石油消費の1%におよぶエネルギーを必要とする窒素肥料生産と、埋蔵量の大半がモロッコと西サハラに集中するリン鉱石の供給に依存している。海を越えた資源が大量に農地に流入することで、地球レベルでの物質循環に歪みが生じている。また、過度の耕作やモノカルチャーでは、投入された化学肥料の大部分が植物に吸収されることなく農地から流出し、河川、湖沼、地下水、海洋の汚染を引き起こす。

こうした問題に対処する上で鍵となるのが、システムとしての生態系の挙動であり、多様な生物種が安定的なシステム（生物群集・生態系）を構成する基本原理を追求してきた生態学が、主導的な役割を果たすことが期待される。耐性菌の進化や拡大を抑制する輸送・都市システム的设计については進化生態学が現在でも貢献している。また、農地生態系の管理について、農薬散布が病害虫の天敵個体群を絶滅させることによって誘導多発生（リサージェンス）が生じることや、種多様性・遺伝的多様性が作物収量を向上させるしくみが明らかになった。さらには、さまざまな新興感染症や食品衛生など医学を含む公衆衛生、水産資源や森林資源の持続的な管理、農作物への獣害対策など、多くの医学・農学分野で生態学の知識が活用され、さらなる貢献が求められている。今後、医学・農学上の課題解決において生態学が果たす領域はますます広がると予想される。

(3) 中等教育への貢献

中学の理科第二分野、高等学校の生物では、2012～2013年に学習指導要領が改訂され、大きく現代化した。高校での『生物基礎』（高校1年生約95万人〔全体の約90%〕が履修する）では、分子生物学が大きく解説されることになったが、他方で「生物の共通性と多様性」の単元を教科書の冒頭に置く指定があり、多様な生物の持つ共通性は共通祖先に起源するという進化系統の思考を学ぶ。また「生物の多様性と生態系」では、里山や干潟の保全など「生態系の保全の重要性を認識すること」と指導要領に書き込まれている。

高校2～3年生が学ぶ『生物』（選択）では、遺伝子発現とその調節に焦点が当たり、発生の単元も分子生物学による遺伝子の発現とその生産物であるタンパク質の働きが詳しく解説される。それとともに、生態の単元では、伝統的な生物間相互作用、個体群、生物群集だけではなく、集団の絶滅リスクや絶滅促進要因などが取り上げられて

いる。同様に、進化の単元も、分子系統樹が前面に出てきて、総合説と中立説の2つの理論的支柱を解説することになった。

このように、高校から大学教養課程への接続は急速に実現できた。他方で、現場の教師は、生徒実験ができにくくなったとの戸惑いがある。そこで生態学教育を高校生物に取り入れることを提案したい。分子生物学の実験とは異なり、生態学分野の実習・実験はアイデア如何では、10分ほどで野外の季節ごとの絶滅危惧植物を見せて解説するだけで、身近な生き物を多くの生徒に気づかせることができる。「生物基礎」のバイオームの単元では、落葉樹と照葉樹の葉を集めさせ、生息地域の平均気温と平均降水量を調べ、植物の適応を理解させることもできる。そのために、日本生態学会生態学教育専門委員会では、「生態教育支援データベース」を構築しており、そこに生態教育に使える実習資料や写真が掲載され始めている。

今回の学習指導要領の改訂は、生物科学の教育にとって望ましい方向へのものであったが、将来のために、どのような問題点があるかを検討し始めることが必要である。

近い将来の重要な案件として、文部科学省は、2014年（平成26年）11月20日に中教審に対して、「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について」の諮問を発表した。この中心が、初等中等教育におけるアクティブ・ラーニングである。アクティブ・ラーニングとは、教員による従来の一方向的な知識伝達型の講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法の総称である。学修者（児童・生徒・学生）が能動的に学修することによって、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成を図る。発見学習、問題解決学習、体験学習、調査学習等が含まれるが、教室内でのグループ・ディスカッション、ディベート、グループ・ワーク等も有効なアクティブ・ラーニングの方法である。一般的特徴として、①学生は、授業を聴く以上の関わりをしていること、②情報の伝達より学生のスキルの育成に重きが置かれていること、③学生は高次の思考（分析、総合、評価）に関わっていること、④学生は活動（例：読む、議論する、書く）に関与していること⑤学生が自分自身の態度や価値観を探究することに重きが置かれていること、⑥認知プロセスの外化¹を伴うこと。

生態学は、高額の実験設備がなくても、生物の授業中での季節の材料を観察したり、校庭や身近なフィールドでの動植物を使った野外実習などにより、アクティブ・ラーニングが比較的容易に実施できる。生態学は、野外観察等により教育実践活動の中に先端研究の内容を取り込むことが可能な分野である。生態実習にあまり経験のない教師にも生態学者のノウハウを活用してもらおう体制を整える事が必要で、上述した生態実習の教材などをデータベース化した「生態教育支援データベース」²に多くの教材資料を投稿して充実化することもそのひとつであろう。

また、2015年（平成27年）8月5日付で公表した中

¹ 問題解決のために知識を使ったり、人に話したり書いたり発表すること。

² <http://www.esj.ne.jp/education/db/index.php>

教審による次期学習指導要領の答申素案では、この高校の授業に、数学と理科を統合した「数理探求」を選択科目として新設する案が盛り込まれている。従来の物理・化学・生物・地学の4科目の上に、選択科目として「数理探求」を置き、「数理横断的なテーマに徹底的に向き合い考え抜く力を育成する」と明記された。文部科学省が指定し、先進的な理数教育を行う「スーパー・サイエンス・ハイスクール (SSH)」での授業内容をモデルに、高度な思考力を培う試みとなると予想される。大学・大学院での専門研究では、生態学では伝統的に数理生態学が1分野を形成してきた。進化分野での集団遺伝学や細胞生物学のシステム生物学などと連携して、大学の数理生物学の内容をもとに高校教育に使えるように工夫し、生物分野の数理的・理論的扱いを担い、「数理探求」の科目への教育的貢献が期待される。そのために生態学分科会や進化学分科会などが連携して、中等教育向けの「数理探求—数理生物編」といった平易な教科書・参考書を編纂することも一案である。

中等教育で生態学教育を充実化するには、生態学をしっかり学び研究した理科教師の養成が重要となる。そのため修士課程で生態学を研究した経験のある若手が中等教育の学校に職を得ることが必要である。中等教育に職を得た若手に、生態学専門の学協会がアウトリーチ活動の一環として教育支援できる体制を早急に構築する事が望ましい。

小学校の生活科・理科において、身近な自然を理解する取り組みは重視されており、小学校の教員養成課程において、生活科・理科の関連科目を地域の自然への理解が深い生態学研究者が担うことは、教員養成の観点からも重要である。さらに中高理科の生物分野においても、生物個体全体を包括的に取り扱う内容も多いため、これらの科目の指導においても生態学研究者は適している。

中等教育の理科は、研究遂行や論文執筆の経験をもつ教員が担当することが必要である。ところが現状では、教職課程の大学生・大学院生が生物学の先端的な研究の現場を体験できる機会はほとんどなくなりつつある。文科省主導で行われた大学のミッション再定義を受け、理科教育課程における卒論研究だけでなく修士論文テーマも教育実践につながるものに特化するカリキュラムの改革案が議論されている。それが実施されると、教職課程の学生や院生が生態学の最前線に触れる機会や、科学に対する深い理解へのモチベーションを奪うことになる。これはひいては、生徒に科学研究の面白さを実体験に基づいて伝えられる教員の不在を招き、生徒の理科離れを引き起こし、科学技術立国を目指す我が国の未来を暗くするものであるため、常に先端科学と中等教育とを連携させるしくみを充実させることを、科学教育政策の支柱に据える必要がある。

4 研究体制と研究費

(1) 国際共同研究：Future Earth

国際共同研究プログラムとしては、気候分野では1979年に世界気候研究計画(WCRP)が、生態学に関係する分野では、1990年に地球圏・生物圏国際協同研究計画(IGBP)が、1991年に国際生物多様性科学国際共同研

究計画(DIVERSITAS)が、さらに人間的側面として1996年に地球環境変化の人間的側面国際研究計画(IHDP)が、国際科学会議(ICSU)の国際共同研究プログラムとして設立されてきた。2000年までは、こうしたプログラムが独立に研究を行ってきたが、地球環境問題としてはこれらが相互に関係するのは明白であるし、解決を考えると単独分野の提言は有効性が低い。そのため、2001年に地球システム科学パートナーシップ(ESSP)という枠組みが、WCRP、IGBP、DIVERSITAS、IHDPを横断する形で結成された。具体的な横断プログラムとして、全球炭素計画(GCP)、全球水システム計画(GWSP)、地球環境変化と食糧システム計画(GECAFIS)、地球環境変化と健康計画(GECHH)などが動いてきた。しかし、10年間を経過して、加速化する地球環境問題の解決に対して、さらに有効な枠組みが提案されるようになった。それがFuture Earth計画である。

Future Earthは、国際科学会議(ICSU)、国際社会科学協議会(ISSC)、国連環境計画(UNEP)、国連大学(UNU)、国連教育科学文化機関(UNESCO)、国際研究資金配分機関(IGFA)、ベルモントフォーラム(BF)の7つのアライアンスの連携で進めている統合的地球環境研究プログラムである。前述のさまざまな地球環境研究が統合されると同時に、持続可能な社会に関する目標持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals)に貢献しようという目的がある。こうした目的のために、これまでの学際(interdisciplinary)研究の枠組みを超えて、研究者コミュニティ以外のステークホルダー(政策・行政担当者、経済界、各種NGO/NPOメディアなど)が研究の計画段階からアウトプットまでかかわるといふ、協働・共創(Co-design/co-production)による超学際

(trans-disciplinary)研究という点にその特色がある。2014年に世界に5か所ある国際本部事務局の一つを東京大学が、アジア地域事務局を総合地球環境学研究所が担当することが決定された。すでにSRA(戦略的研究アジェンダ)が発表されており、いくつかのフィージビリティ研究が開始されている。

生物多様性や生態系に関する問題は人間生活に必須な要素をたくさん含んでおり、地球システムの持続性を考えるうえで最も重要な問題の一つとして注目されている。他の研究分野との学際性を高めると同時に、ステークホルダーとの協働・共創をすすめ、研究を積極的に提案してゆく必要がある。

(2) 研究費

生態学研究のための研究費については、科学研究費の基盤A、BやCのような中小規模の科学研究費補助金は、他分野と同様に支給されている。また応用生態学のプロジェクトについては、それに加えて環境省や農水省の研究費にもサポートされている。これらの省庁の生態学関連プロジェクトについては、参考資料2を参照。

ただし、科学研究費の基盤SやJSTのCRESTにあたるような大規模な研究費、さらに新学術研究領域については、生態学分野では採択数が少ない。このことは、日本の生態学分野での大規模研究の進展を阻むものであり、他国と比較したときに大きな研究プロジェクトでの成果があげられない理由となっている。中核となる生態学研究者は、自らが中心となってこれらの大規模な研究費を

獲得し日本の生態学の牽引役を果たすことが望まれる。

生態学は、対象とする生物のライフスパンや環境の季節性のため、研究期間が長い。また予期できない気象変化により、データがとれない可能性がある。加えて、長期間にわたる継続調査は、地球規模の環境変動による生物への影響を明らかにし、将来の予測をするうえで非常に重要であり、それは生態学がもつ使命の1つでもある。長期の研究期間を有し、継続的な調査が、新しい重大な発見を導く可能性が高い。ところが、現在の競争的資金による研究費の期間は多くが3年で長くて5年であり、継続的調査のサポートが困難である。

以上のことより、継続的調査に必要な経費を長期で支給される研究資金枠が必要である。

(3) 中核的研究機関

日本には、国立の生態学研究所がない。しかし国立生態学研究所実現に向けた長年の努力の結果として、京都市立生態学研究所および、総合地球環境学研究所が実現した[1]。

特に前者は全国共同利用施設として機能し、生態学が取り組むべき分野横断的研究課題の推進に努力してきた。後者は人文社会科学や物理学等他分野との共同研究を7年といった有期のプロジェクトとして交代で走らせるものであるために、生態学の研究機関として機能するには限界がある。

これまで日本生態学会を中心とする日本の生態学者コミュニティは、これら2つの研究機関を、国内の研究ネットワークの拠点として維持するように継続的に努力してきた。今後ともその努力を続けることが必要である。

加えて大型研究費・プロジェクトや国際共同研究を進める核を確保するためには、安定して運営される機関の存在が不可欠であり、競争的な資金を取り続けることで維持するのは困難である。

韓国は大規模な国立生態学研究所を新設したが、国立大学の定員を削減し続けている日本にはその力がないとするならば、せめて京都大学の生態学研究所センターを、生態学の中心研究機関として機能するように充実させることが必要である。

またもし恒久的な自然史博物館がつけられる機会があるならば、以下のことを考えるべきである。たとえばアメリカ合衆国の多数の博物館を擁するスミソニアン協会は、パナマのバロコロラド島に、恒久的な森林フィールドサイトを運営し、スミソニアン多数の研究者に加え、他国の研究者も使用でき、熱帯林研究の中心となってきた。このことで全世界の研究者が長期の研究にたずさわり、また大学院生の教育に使用されるサイトとなっている。加えて、一般市民への生態学の教育・普及の活動を行う専門家を養成することものぞましい。さらには、生態学や生物多様性の研究に必要な資料を保管する設備が必要である。これらの実現に向けて努力することが、日本の将来の社会への重要な貢献になる。

(4) フィールド研究・教育施設

2010年から2011年にかけて、基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同生態科学分科会は、「国立大学のフィールド研究・教育施設における研究・教育の現状」というアンケート調査を行ない、それをもとにした議論を重

ね、2011年9月26日、「生物多様性の研究・教育に資する大学フィールド施設の維持とネットワーク化にむけて」と題する提言を行った。日本列島の生物多様性の解明に大きな貢献をしてきたのは、日本列島各地に存在する国立大学等の多くの演習林、あるいは臨海実験所などのフィールド研究・教育施設であるという認識に立って、①大学フィールド施設の重要性と活用、②共同利用施設としてのフィールド施設のネットワーク化、③フィールド施設の震災復興、を提言したのである。公開臨海・臨湖実習については資料3を参照。

提言が出された後、文部科学省は、平成20年度には各大学の附置研・センターに対して共同利用・共同研究拠点の制度を、平成21年度にはフィールド教育研究施設に対して教育関係共同利用拠点の制度をそれぞれ設け、募集を開始した。前者ではいくつかの臨海実験所が、後者ではほとんどの臨海実験所が拠点として認定された[2]。その結果、例えば2014年度には、国立大学法人の20の臨海・臨湖実験所で42コースの公開実習が開催されている³。これらの公開実習は、海洋生物学・分類学・生態学・発生学・進化学・環境科学などを学ぼうとする学生にとって、きわめて貴重な教育機会を提供していると言える。しかし、このような公開実習への参加者は必ずしも多くなく、公開実習の宣伝・周知や、フィールド調査の魅力の紹介などのさらなる工夫が必要である。

前回の提言には加えられていなかったが同様な問題が大学付属の植物園にもあることには注意する必要がある。

なお、2014年度に開催された公開臨海・臨湖実習についてのリストを参考資料3として添付した。

日本にとってサンゴ礁生態系の研究は非常に重要である。現在、琉球列島のサンゴ礁生態系にある、大学法人の臨海実験所では不十分であり、国立のサンゴ礁研究拠点を琉球列島に設立する必要がある。そのことについては参考資料4に取りまとめた。

5 若手研究者の育成

(1) 英語での研究発表、討議、共同研究の推進能力

日本の生態学にかかわる大学院生や若手研究者がもつ英文の論文執筆能力は、以前に比べて格段に改善されてきた。インパクトファクターなどで高く評価されるジャーナルに、積極的に研究を取りまとめて論文として掲載する努力がなされるようになった。しかしながら、国際的な研究交流をすすめる生態学の国際的な研究者コミュニティに貢献する必要性を考えると、コミュニケーションの力は十分とは言えない。単に英語の語学力だけでなく、意見を分かりやすく述べることと、相手の主張を取り込んだり建設的に反論したりしながら優れた結論にいたるよう議論を活発化させる能力が重要である。

口頭発表や論文執筆でも、自らの研究の意義について明確に話す必要がある。聴衆の背景をよく理解した上で、説得力をもって説明することに、特に欧米の研究者は多大な努力を払っている。日本の生態学者はその発表スキルについて学ぶことが重要だろう。

³ <http://www.research.kobe-u.ac.jp/rcis-kurcis/station/plan.html>
(2016年の情報)

研究者を目指す大学院生に対しては、英語での発表や議論の能力の必要性を周知させる必要がある。研究室での研究発表や質疑をできるだけ英語で行うこと、大学院在学中の初期から国際会議等に参加して国際交流を行うことなどを、研究指導者が心がけることが必要である。さらに海外の研究室に数カ月を超えて長期に滞在する機会を与えることや、日本の研究室に留学生を受け入れることも望ましい。生命科学関連の多数の学会が行っているように、学会の研究発表についても英語による発表や意見交換を行うことが望ましい。大学や大学院の講義は、一方的に講演を聴くだけでなく、議論を通じてより深い認識に至る能力を身につけるよう工夫が必要である。

国際的な生態学の若手研究者の交流組織International Network of Next Generation Ecologistsなどもあり、日本の生態学者も参加することが望ましい[3]。さらには、生態学をこえて多様な学術分野での若手研究者の交流に、生態学からも参加することが望ましく、例えば、国内では、日本学術会議若手アカデミーが運営する「若手研究者ネットワーク」などがあり、国際的には、Global Young Academyなどがある。

(2) 国際的な意思決定場面で貢献できる人材の養成

各種の国際会議等での意思決定における日本人研究者の役割について大きな課題がある。20世紀終わりから国際的にさまざまなNPO・NGOの組織やプロジェクトが立ち上がり、国際レベルでの地球環境問題に関する取組が進められてきた。しかし、これらの国際組織に関与する人材の養成が日本では大幅に遅れており、国際的に生物多様性問題を議論する場において日本人が意思決定に関わる機会がほとんど得られていない。近年、研究者の社会的役割は拡大し、特に国際的な意思決定に関わる際に専門的知識と経験を有する研究者への期待が高まっている。従来、欧米諸国等の比較的英語に強い国々が、国際的な意思決定において主な役割を担ってきており、これらの国々の国益にも少なからず影響してきた。これに気付いたアジアの新興国では、国際的な意思決定に関わる能力を有する人材の養成に力を入れるようになった。

日本の生態学でも、研究者であるだけに留まらず、国際的な舞台で自らの専門知識と経験を活かしながら議論を戦わせ、場合によっては国際的組織やプログラムへの就職といったキャリアパスを得るような人材を発掘・育成する必要がある。

(3) 若手生態学者のキャリアパスの開拓

人材育成、とくに若手研究者の育成は、生態学においても重要課題である。博士号を取得した若手研究者の就職は厳しい状況が続いており(日本学術会議提言 2014⁴)、生物科学系では問題はとりわけ深刻である(生物科学学会連合 ポスドク問題検討委員会 2014⁵)。博士研究員は任期付であるだけでなく、低い収入や不明確な労働条件など、待遇は不安定であることが多い。このため博士課程への進学者数は年々減少し、減少率は中小規模の大学において著しい。人材不足や、研究者が研究活動にかけ

る時間の減少(組織や研究プロジェクトの運営・管理にかける時間の増加)は、2000年以降の研究論文出版数の伸び悩みに見られる日本全体の研究活動の低下をもたらしている。

将来の見通しがあるキャリアパスの創出や研究ポストの増加が必要である(日本学術会議の提言「日本の展望—学術からの提言 2010」⁶)。また、若手世代から中堅・シニア世代へつながるキャリアパスを整備することには学協会や研究機関からの支援が必要である。他方で、大学院生の研究意欲や研究能力そのものを向上させることも、学術の将来を担う人材の育成にとって、重要である。

生態学を学び育っていく大学院生は、生態学の知識や技術に加えて、分子生物学などの知識や技術も同時に身につけるのが、キャリアにおいて重要である。また大学院生は、幅広い研究技術を身につける必要がある。進化学・生態学グループの1例では、分子生物学の技術を使って、分子系統解析、分子集団遺伝学、RNAseqやGWASなどのバイオインフォマティクス、GLMや階層ベイズなどの新しい統計解析、数理モデルと数値計算などを基本に研究をすすめ、大学院生は、先輩や若い助教のアドバイスを受けながら学んでいる。

日本生態学会は、学生会員が学会員のおよそ25%(約1000人)を占め、若手研究者の活動が活発な学会である。生態学を修めた若手研究者は高度な技能と知識を持った有能な人材であり、学术界だけでなく様々な分野で活躍できる可能性を持っている。実際、修士までで大学を修了した学会員の進路先はきわめて多様である(生態学者の就職先に関するアンケート結果 2014⁷)。しかし、そのような学会員が就職活動を行うにあたって、生態学を活かすことができる職種を見出せず、生態学とは直接関連がない進路を選ぶケースも多い。日本生態学会も若手研究者のキャリアパス問題に取り組んできた。日本生態学会キャリア支援専門委員会ホームページ⁸、において、日本生態学会におけるここ数年のキャリアパス支援に関した取り組みが紹介されており、フォーラム開催や企業ブース設置等の取り組みとその課題がまとめられている。日本生態学会でのキャリアパスに関する取り組みは参考資料5を参照。

政府の財政難と少子化による学生数の減少により、大学教員や国立研究機関の研究員などのアカデミックポジションの数は日本国内では今後いっそう減少すると予想される(生物科学学会連合 ポスドク問題検討委員会 2014⁸)。一方で、博士課程学生やポスドクは今や科学研究にとって不可欠の人材であり、博士課程に進学する学生の数をある程度確保することは、今後の日本の学術の質を保つためには必須である。博士課程修了後すぐ、あるいは数年間のポスドク期間を経た後に就くことができる、アカデミックポジション以外の魅力的なポジションがなくてはならない。学会におけるキャリア支援の可能性の一つとして、企業と連携し、インターンシップに若手会員を派遣することも有望であろう。

⁴ <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t201-3.pdf>

⁵ http://www.nacos.com/seikaren/pdf/2015/seikaren_postdoc.pdf

⁶ <http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/tenbou/teigen.html>

⁷ <http://www.esj.ne.jp/careersupport/2014careersurvey.html>

⁸ http://www.esj.ne.jp/careersupport/crrsprt_index.html

6 生態学の認知度を高める努力

日本でも世界でも、環境問題の重要性が浸透し、環境負荷の少ない社会の実現は世界的潮流となりつつあり、その基礎科学として生態学の役割は増している。他方で生態学は、生命科学や情報科学と結びついて学術的にも大きく飛躍しようとしている。しかし欧米に比較すると、日本においては、生態学研究の学術的および社会的な重要性が、社会での様々な立場の人々に対して十分にはアピールできていない。生態学研究者は、日本の一般社会での生態学への理解や共感、自身が考えているよりも薄いことに気がつく必要がある。

研究者自身がどんなに魅力的だと感じている学問分野であっても、国民的・社会的なサポートがなければ、持続的な研究活動は保証されない。生態学者は、生態学の重要性を浸透させる努力が必要である。

そのためには、生態学および関連学問分野の研究者は、より大きな研究者コミュニティや学際的な研究活動、社会活動の中でも役割を担うことで生態学の重要性を認識してもらう必要がある。長期的な視点に立って、生態学者の学問的な将来像とそれに基づいた日本の将来ビジョンを掲げていくことが必要である。そして学問的には国際舞台で活躍する人材を輩出できるような研究・教育活動と、社会的に期待される役割を果たすことにより、国内的・国際的な信頼を得ることが必要である。

他の学問分野では、社会の認知度を高めるために、さまざまな努力がなされている。ある学会では、様々な大学の研究室にライターがしばらく滞在し、研究がどのような環境で進められているのか知り、出版を通じて、社会とその分野を繋げる努力をしている。別の分野でも、大型予算で遂行された研究プロジェクトの多くでは、サイエンスライターの執筆による一般向けの書籍を出版している。科学コミュニケーションの努力は生態学にとっても必要である。

<参考文献>

[1]引用文献1、8ページ目、(3) 中核的研究機関
文部科学省、共同利用・共同研究拠点の期末評価結果(平成27年度実施)

http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/_icsFiles/afieldfile/2015/10/05/1362370_06.pdf

[2]引用文献2、8ページ目、(4) フィールド研究・教育施設

文部科学省、教育関係共同利用拠点の認定について
http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/daigakukan/1360542.htm

[3]引用文献3、9ページ目、(1) 英語での研究発表、討議、共同研究の推進能力

International Network of Next-Generation Ecologists
(INNGE) <http://innge.net/>

この後に以下の資料がついていたが、スペースの関係で削除しました。

- <参考資料1> 動物行動学における多数個体についての同時的な情報取得の可能性について
- <参考資料2> 環境省・農水省・文科省などの生態学関連プロジェクト
- <参考資料3> 2014年度に開催された公開臨海・臨湖実習(コース数)
- <参考資料4> サンゴ礁研究拠点の必要性
- <参考資料5> 日本生態学会のキャリアパスに関する取り組み
- <参考資料6> 分科会審議経過