

RF-1013 ポスト2010年目標の実現に向けた地球規模での生物多様性の観測・評価・予測

(3) 種・遺伝子多様性の評価と生物多様性の価値に関する課題の調査

九州大学大学院 理学研究院
矢原徹一・舘田英典・巖佐 庸

平成22年度累計予算額：8,433千円

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 本研究は、平成23-27年度に実施が予定されている、生物多様性観測・予測・評価に関する地球環境総合推進費戦略研究開発の具体的方途について、事前に調査・分析を行い研究開発の具体的目標となる課題を特定することであった。まず遺伝子・種・生態系レベルの生物多様性（陸域・海域を含む）の観測・予測・評価に関するこれまでの研究をレビューした。その結果、以下の課題を解決することが今後の重要な課題であると結論づけた。（1）生息地の消失にともなう種の消失速度を定量的に評価すること、（2）生息地や種の消失にともなう生態系機能・生態系サービスの消失を定量的に評価すること、（3）緊急に保護を必要とする地域を科学的証拠にもとづいて選定する方法を開発すること。これらの課題に取り組むために、5つの公募領域の設定を提案した。また、各公募領域の研究開発の具体的方途について検討するために、専門家との討論を通じて、主要な課題、および課題の解決のために採用されるべき研究手法について検討した。その結果、標本にもとづく研究、プロットにもとづく研究、地域を限定した研究、リモートセンシングによる研究を統合することが重要であり、統合にあたっては、自然要因と社会要因の両方を説明変数とする空間分布モデルにもとづく統計学的解析が重要であると結論づけた。

[キーワード] アジア、生物多様性、CBD、生態系サービス、GEO BON

1. はじめに

生物多様性条約事務局が編集した国際生物多様性概況第3版（GB03）では、生物多様性の損失速度を2010年までに有意に減らすという「2010年目標」については、達成されなかったという評価が下された。この事態を受けて、2010年10月に開催された生物多様性条約第10回締約国会議では、「ポスト2010年目標」を含む新戦略計画が策定された。「ポスト2010年目標」を実現するためには、生物多様性の価値・状態・変動傾向、およびその損失がもたらす結果についての国際的な観測・予測・評価を行うこと、そしてその結果にもとづいて適切な保全対策をとることが必要である。とくに、GEO BONによる国際観測、IPBESによる国際アセスメントに対して、日本からの貢献が求められている。このような状況を背景に、平成23-27年度には生物多様性観測・予測・評価に

関する地球環境総合推進費戦略研究開発が実施される。この戦略研究開発を効果的に推進し、国際的な要請に応えるためには、種・遺伝子多様性の評価と生物多様性の価値に関する研究の到達点を総括し、戦略的な研究開発の課題を特定することが必要である。

2. 研究目的

本研究の目的は平成23年度開始予定の戦略的研究開発における、種・遺伝子多様性の評価と生物多様性の価値に関する調査・分析を行い、研究開発の課題を特定することであった。

3. 研究方法

文献調査に加え、以下のワークショップを開催し、種・遺伝子多様性の評価と生物多様性の価値に関する専門家による討論を通じて課題の調査を行った。

- ・ 種・遺伝子多様性の評価に関するワークショップ（平成22年8月4-5日、国立環境研究所、8月27日九州大学）
- ・ 陸域（陸水）生物多様性の評価に関するワークショップ（平成22年8月26日九州大学）
- ・ 地球規模での生物多様性の観測・評価・予測に関する国際ワークショップ（平成22年8月28-30日九州大学）

また、アドバイザリー会合（平成22年8月27日九州大学）を開催し、（1）環境省からの政策的要請、（2）生物多様性の観測・評価に関する国際的要請、（3）アドバイザーの意見、を考慮して研究開発の具体的なアウトプットについて検討した。

4. 結果・考察

（1）国際的アセスメントおよび国際的な観測計画をふまえた検討

本研究の申請から開始までに平成23年度開始予定の戦略的研究開発の方向に大きく関わる以下の文書が発表された。

国際生物多様性概況第3版（GB03）の発表（平成22年5月）：生物多様性損失の現況を評価し「2010年までに生物多様性損失速度を有意に減らす」という2010年目標は達成されていないという結論を下した。また地球規模での生物多様性変化が臨界点（ティッピングポイント）にさしかかっているという見解を公表した。残念ながらこのアセスメント文書においてアジアの研究者からの貢献がほとんどなかった。一方で東南アジアは生物多様性のホットスポットに選定されながら森林減少速度がもっとも大きい地域となっている。このためアジア規模での生物多様性損失の現況を把握しその損失を防ぐための対策に関する科学的基盤を強化することが緊急の課題である。

GEO BON実施計画の発表（平成22年5月）：8つの作業部会（遺伝子・系統、多様性、陸上種、陸上生態系、陸水生態系、海洋生態系、生態系サービスリモセン・地上連携データ統合）ごとに実施計画が策定された。この実施計画文書において陸域生態系の生物多様性観測を行っているILTER（International Long-Term Ecological Research：国際長期生態学研究）などの達成状況が以下のように評価された。

作業部会1（遺伝子・系統多様性）では活動計画の中で以下の課題を指摘した。

1.3.4 Genetic diversity monitoring in biodiversity observation core sites

For ecological observations, sites for LTER (Long Term Ecological Research) have been developed in many countries and ILTER (International Long Term Ecological Research) is organized as an international organization networking observation activities on these sites. The Genetics WG will promote corresponding activities for biodiversity observations by developing Biodiversity Observation CORE Sites (BIOCORES). While most LTER sites are developed as research sites, often in well-protected ecosystems that ensure long-term monitoring, the Genetics WG will explore placing BIOCORES in areas where biodiversity is seriously threatened. This is because the aim of BIOCORES is to assess the processes, trends and outcomes of ongoing biodiversity loss during shorter terms than those of LTER and provide data useful for further conservation planning. It is desirable that monitoring and assessment activities in BIOCORES are integrated with conservation and adaptive management activities in the same area.

要約：長期的観測を保証するためにLTERサイトはよく保護された生態系に設置されていることが多い。この作業部会では生物多様性が脅威にさらされている地域における観測を実施するために Biodiversity Observation CORE Sites (BIOCORES) を展開しLTERよりも短期の観測を実施する。BIOCORESでは保全や生態系管理の活動と連携してモニタリング・アセスメントを実施することが望まれる。

一方で作業部会3（陸上生態系）では以下の課題を指摘した。

3.3.2 GEO BON observation nodes

There is currently no global network of in situ field stations and no coordinated worldwide effort that can provide consistent in situ data for biodiversity monitoring. As discussed with NEON and ILTER, a well-distributed system of “GEO BON Observation Nodes” is important for integration of biodiversity into global modeling.

Such a system of sites could deliver coherent and consistent data for climate modeling, agricultural potential modeling, water availability assessment and change in biodiversity, as well as be useful for capacity building. During the GEO BON Implementation Plan Meeting of 22-25 February 2010, the Species, Ecosystem, Freshwater, and In Situ/Remote Sensing working groups discussed and agreed internally on the need for a global network of Observation Nodes.

要約：生物多様性モニタリングに関して、一貫した地上データを提供するフィールドステーションの地球規模ネットワークが現状では存在しない。このため “GEO BON Observation Nodes”（GEO BON観測ノード）を世界各地に展開し、それらを統合するシステムが必要である（NEON and ILTERからの参加者も同意）。そのようなシステムによって気候モデリング、農業生産力モデリング、水利用度のアセスメント、生物多様性の変化に関する整合性のとれたデータが得られる。GEO BON実施計画策定会合を通じて種陸上生態系陸水およびリモセン・地上連携作業部会は観測ノードの全球ネットワークの必要性について合意した。

以上のように生物多様性の地上観測に関する国際的なネットワーク構築の必要性がGEO BON関係者間で広く合意されている。ただし “GEO BON Observation Nodes”（GEO BON観測ノード）が生物多様性観測と他の地上観測（気候や水など）との連携に重点を置き長期の継続的観測を重視し

ているのに対してBiodiversity Observation CORE Sites (BIOCORES) では保全や生態系管理の活動との連携に重点を置きLTERよりも短期の観測を重視している。実はBiodiversity Observation CORE Sites (BIOCORES) の提案はGEO BON実施計画策定会合に参加した矢原によるものである。保全や生態系管理の活動との連携をめざす方針は日本からの特色ある提案であり、平成23年度開始予定の戦略的研究開発では“GEO BON Observation Nodes” (GEO BON観測ノード) 構想への国際的連携をはかるとともに、重点調査地において保全や生態系管理と連携した観測を進めることが望ましい。

作業部会3 (陸上生態系) ではまた以下の課題を提起した。

.3.3 Terrestrial Ecosystem Functioning Index (TEFI)

The initiative to develop a Terrestrial Ecosystem Functioning Index should be discussed within the fora that develop and assess biodiversity indicators such as CBD, OECD and EEA/SEBI. If the indicator is considered to fill a gap then a Working Group can be assembled to initiate TEFI development by bringing together several approaches used for International Long Term Ecosystem Monitoring (ILTER, BIOTA, NEON).

要約：生物多様性条約事務局OECDなどの生物多様性指標開発・評価グループの中に陸上生態系機能指数(TEFI)を開発するチームを作るべきである。国際的な生態系の長期モニタリング(ILTER, BIOTA, NEON)で用いられているいくつかのアプローチを整理することで、TEFIの開発を進めたい。上記の指摘のようにILTERなどの生態系長期観測データから生態系機能を評価することは、未解決の課題として残されている。この課題に関連して作業部会1 (遺伝子・系統多様性) では上記のBiodiversity Observation CORE Sites (BIOCORES)の提案に続いて以下の課題を提起した。

In these BIOCORES, organisms listed are inventoried in a series of plots placed along an environmental gradient, and abundance of each taxon in each plot is recorded to quantify species diversity. DNA sequences are determined for all taxa collected within plots to describe spatial distribution of phylogenetic diversities. In addition, functional traits such as leaf size and leaf nitrogen of plants and body size and body shape of animals are recorded and spatial distribution of functional trait diversities are measured in order to relate them with spatial differences of environmental variables. The Genetics WG will project changes of biodiversity by modeling spatial distributions of species diversity, phylogenetic diversity and trait diversity and examining sensitivity of these diversities to environmental changes.

要約：BIOCORESでは環境傾度に沿って設置されたプロットにおいて、種多様性だけでなく系統多様性および機能形質(葉の大きさや窒素含量動物の体サイズなど)の多様性を記録する。種多様性・系統多様性・形質多様性の空間分布をモデル化しこれらの指標の環境変化に対する感度を評価することで生物多様性(と生態系機能)の変化を予測できる。

このような機能形質のデータを用いて生態系機能を評価するというアプローチが国際的に注目を集めている。平成23年度開始予定の戦略的研究開発ではこのアプローチを発展させることによって、アジア規模での生態系機能の評価とその変化の予測を行うことが望まれる。なおGEO BON作業部会1 (遺伝子・系統多様性)における種多様性・系統多様性・形質多様性を関連づけたモニタリングは日本からの提案である。この方向での研究開発を推進することで地球規模の生物多様

性・生態系サービスのアセスメントにおいて日本からの特色ある貢献を行うことができる。

GEO BON作業部会2（陸上種）では、地球規模の観測を実施する対象生物群として鳥類、蝶類、陸上植物をあげている。このうち鳥類に関してはBirdLife Internationalが国際的な観測網をすでに維持している。蝶類に関してはヨーロッパと合衆国において組織的な観測ネットワークがすでに構築されている。これらの理由から鳥類と蝶類が対象生物群に選ばれた。一方で陸上生態系の一次生産を担い、さまざまな生態系サービスを担い、昆虫につぐ種多様性を持つ点で陸上植物の重要性は決定的である。しかし陸上植物に関しては組織的な観測ネットワークがほとんどない。レッドリストを作成しているIUCN-SSC（種の保存委員会）にも約100のスペシャリストグループの中に地球規模で陸上植物全体を対象に活動しているチームはない。このためGEO BON作業部会2（陸上種）の実施計画文書では”A comprehensive assessment of all the world’s plants is currently prohibitive in terms of time, effort and resources available”（地球上の全植物のアセスメントは時間・労力・利用可能な資源の点で現状では困難である）と述べるに留まり実現性のある実施計画を提案できていない。本FS研究ではこの困難さを克服し、アジア規模での陸上植物種のアセスメントを実施するためのアプローチを検討した（次節参照）。

GEO BON作業部会5（海洋生態系）ではCoML（Census of Marine Life：海洋生命センサス）の成果をふまえて以下の課題を提起した。

5.3.3.1 Historical data

Among the marine biological scientific communities it is common knowledge that a huge amount of historical marine biological data, including very precious long-term data series, are still hidden in notebooks in drawers of desks of individual researchers or in dusty archives of marine stations, institutes and museums worldwide. These biological data, including textual data (e.g., longitude, latitude, water depth, sediment depth, temperature, salinity) and metadata (who did the sampling, what was the sampling protocol, how were/are the samples stored, how were they processed, etc.) if available, should be surfaced and if necessary digitalized to populate free-accessible databases according to international protocols set by OBIS, GBIF, etc. The need for this exercise, for example, is illustrated by Lotze & Worm (2009). They analyzed 256 historical records of marine mammal populations, concluding that exploited populations have declined 89% from historical abundance levels. While long-term fluctuations were mainly related to climate variation, there were rapid declines due to overexploitation

要約：（CoMLの大きな成果にもかかわらず）海洋生物に関する過去の調査結果が大量に私蔵され研究者の引き出しの中のノートなどに眠っている。過去にどのような変化が生じたかを知るためにはこれらのデータをデジタル化し、誰でもアクセスできる状態にすることが必要である。このような作業の重要性を示す例にLotze & Worm (2009)の研究がある。彼らは海棲ほ乳類個体群に関する256の過去の調査記録を解析し長期変動は主として気候変動に関連しているが過剰利用による急速な減少（過去の水準に比べ89%の減少）があることを示した。

アジアの海洋生物に関する調査結果に関しても事情は同じである。データベース化は平成23年度開始予定の戦略的研究開発の主たる目標ではないが「アジア規模での生物多様性観測・評価・予測」という目標達成のために必要なデータについては戦略的にデータベース化を進め研究開発に

役立てる必要がある。

(2) アジア規模での種多様性アセスメントのための3つのアプローチ

ワークショップ討議および文献レビューにもとづきアジア規模（最終的には地球規模）での広域評価を実施する上で以下の3つのアプローチをとることとした。

(1) Specimen-based approach

(2) Plot-based approach

(3) Grad-sect approach

第一のアプローチでは世界各国のハーバリウムに蓄積された標本の情報を活用する。リンネの時代以来約300年間に蓄積された標本は全球をカバーする貴重な分布情報を提供する。この分布情報をもとに分布予測モデルを作成することでアジア全域（あるいは全球規模）での広域評価が可能になる。第二のアプローチではアジア各地に設置された森林プロットの情報を活用する。森林プロットの中には伐採によって種組成が大きく変化したものや、すでに農地に転換されて消失したのものがある。これらの再評価によって森林の種組成の変化を評価することができる。第三のアプローチでは種多様性がとくに高く、かつ森林が減少している地域（ホットスポット候補地）において環境傾度（標高など）に沿って大規模なトランセクト調査を実施する。この調査によって第一・第二のアプローチで得られる情報のギャップを埋め、ホットスポット候補地の植物分布に関するより正確なモデル化を行い将来予測に役立てる。以下にこれらのアプローチによる観測・評価の計画を述べる。

(1) Specimen-based approach

標本情報にもとづいて植物多様性の評価を行った先行研究に、Raes (2009)によるボルネオの植物種多様性評価がある。彼はオランダ国立植物標本館に収蔵されたボルネオ産44,106点の分布記録を緯度・経度情報に変換し、102科2,273種について分布予測モデルを構築し、このモデルにもとづいて10kmグリッド単位の種多様性・固有性をボルネオ全域で評価した。Raes博士とコンタクトして研究の現状をヒアリングしたところ、彼は現在スマトラ島について同様な解析を進めていることが判明した。またRaes博士の技術的サポートの下でオランダ国立標本館の同僚であるPeter van Welzen博士が、タイ国についての解析を進めている。したがってボルネオ島スマトラ島およびタイ国については全域での植物種多様性評価がすでに実行されている。ただし彼らの評価には①生活形を考慮していない（高木も一年草も等価とみなされている）②系統関係を考慮していない（結果として種数の多い群に偏った評価をしている）③希少種を分析から除いている④森林減少の影響を評価していない⑤種間の分布相関を考慮していない、など多くの問題点がある。これらの問題点を解決し、彼らの成果をさらに発展させることで世界的に見てすぐれた広域評価が可能である。

広域評価を行う場合維管束植物全種を一度に扱うのは現実的ではない。そこでいくつかの対象群を選定する必要がある。さまざまな観点から検討した結果マメ科とシダ植物がまず着手すべき対象群と考えられる。

マメ科には以下のような利点がある。

① キク科ラン科とならぶ種子植物中最も種数の多い科である。

- ② 一年草から高木まで生活形が多様である（キク科ラン科はほとんどが草本）。
- ③ ほとんどの生息場所に見られる（熱帯から寒帯まで海岸から高山まで熱帯雨林から砂漠まで）。
- ④ 多くの種が窒素固定という重要な生態系サービスをになう。
- ⑤ 食糧・材・園芸などに利用される有用植物がとくに多い。

ただし、マメ科の種数はアジアの熱帯雨林では少ない。熱帯雨林の消失にともなう種多様性の損失を評価するには、代表的な高木種を含む群（フタバガキ科など）とともに林床植物を対象とする必要がある。林床植物の対象群候補としては、シダ植物、アカネ科、ショウガ科、サトイモ科などがあげられる。これらの中でマメ科と系統的にもっとも遠いシダ植物を選ぶのが妥当と判断される。熱帯雨林の高木に関しては次のPlot-based approachにおいて評価対象とされる。

(2) Plot-based approach

アジア規模での植物多様性評価に利用できるもうひとつのデータソースが、森林プロットである。東南アジアの森林プロットデータを統合して植物種の分布や多様性のパターンを把握する研究は中国科学院西双版纳熱帯植物園のFerry Slik博士が先行して進めている。ただしSilk博士にヒアリングしたところ種の同定が信頼できない場合が多いため属レベルでのデータのみを使っているという。九州大学が実施しているカンボジアの森林プロット調査においても、種の同定が信頼できないという問題に直面している。このため森林プロットの全種について標本を作成するとともにDNAバーコーディング事業で採用されている3領域についてDNA配列を決定し同定作業を進めている。同定さえ確認できればアジア諸国のさまざまな森林プロットのデータを集めることで森林における種組成の変化を評価できる。

種多様性・系統多様性・機能多様性のデータが多数の森林プロットについて得られればこれら3者の関係を評価できる。種多様性と系統多様性機能多様性の間には一般的には正の相関がある。そこで種多様性と系統多様性の回帰の残差（残差1）および種多様性と機能多様性の回帰の残差（残差2）を求め両者の散布図を作成することにより、平均的な種数から期待される状態に比べ系統多様性も機能多様性も高い地域を選定できる。同じ方法は、標本データにも適用できる（ホットスポットを選定する方法のひとつとして有効）。しかし森林の状態を評価するうえでは標本データには不足が大きい。

世界各地のいくつかの大規模森林プロットにおいてDNA配列決定作業および機能形質のデータベース化が進められている。種多様性・系統多様性・機能多様性の関係を森林プロットデータから解明することは森林生態学の最先端課題として注目を集めている。上記の残差プロット法は3者の関係を解析する方法に関する新しい有望なアイデアである。このような方法で3者の関係を解明するだけでなく多様性の時系列変化（とくに損失）を評価することを重視する必要がある。この評価により種の消失がどのような機能消失を招くかを明らかにすることができる。

(3) Grad-sect approach

Specimen-based approach, plot-based approachは既存のデータソースを活用する方法である。しかし、これら2つの方法では地域スケールでの正確な評価が困難である。それは地域の種多様性の大半がその地域における希少種であるためである。この問題の解決のためには地域スケールでの分布調査を実施することが重要である。このような地域スケールでの分布調査にあたっては、

大きな環境傾度（たとえば標高）に沿って多数のトランセクトを設置し分布の有無を記録する方法（Grad-sect法）が有効である。Grad-sect法によって得られたデータは、presence onlyである標本データに比べ、より正確な分布モデル構築を可能にする。またこのGrad-sect法は地域における希少種の分布を把握する方法として優れている。

そこでGrad-sect法をホットスポット候補地（タイ北部のチェンマイ地区スマトラ西部ジャワ島ゲデ・ハリムン国立公園など）に適用し、草本・つる・木本に関する詳細な分布調査を実施する計画を立案した。Grad-sect法による調査は、東南アジアでこれまで実施されたことがないので過去との比較はできない。しかし精度の高い分布モデルを作成することにより、森林が失われた場所においてどの程度の種の消失が起きたかを推定することができる。またspecimen-based approachと組み合わせることにより、過去に採集された植物種がどれだけ消失したかを評価することもできる。Grad-sect法による分布調査はトランセクトの位置情報をGPS記録として残すが、GPS記録だけで同じ位置での再調査を行うことは困難である。トランセクトの起点・終点に杭を打つなどの方法で同じ位置での再調査を可能にすることが望ましい。

以上の3つのアプローチを組み合わせることで、アジア規模そして最終的には地球規模での広域評価が実施可能となる。加えて単に現状を評価するだけでなく、保全対策につながる政策提言を行うことが重要である。このために東南アジアの森林減少を促進している要因について、調査・解析を進めるとともに、将来の森林減少のシナリオを描き、森林減少速度を減らすために有効な対策を検討する必要がある。森林減少を促進している要因を評価するには、自然要因と社会要因の両方を説明変数として、一般化線形モデルなどにより重回帰分析を行う方法が有力である。アマゾンで行われた分析によれば、舗装道路の開通が森林減少を促進する要因として決定的に大きな効果を持っている。東南アジアではこのような分析はまだほとんど行われていない。まず人口・経済・道路・森林の変化に関する統計を集め、基本的な分析から始める必要がある。森林プロットの再調査やGrad-sect法による分布調査を行う際に、その地域に関する地図や統計資料を収集し、重回帰分析に必要なデータセットを整えることが望まれる。このような事情を念頭に置きつつ、地形道路の開通地域的な人口増加などの要因が、森林減少に相対的にどのように寄与しているかを定量的に評価すべきである。また森林伐採のみにとどまる場合と農地転換される場合の違いを分ける要因が何かについても、定量的に評価する必要がある。このような評価をもとに、将来についての複数のシナリオを策定することができるだろう。

将来のシナリオのひとつとして、経済発展にともない農業以外の産業の比重が高まり人口が都市に集中するとともに農地が森林に戻る状況が想定される。このようなシナリオの実現可能性を高めるうえで、どのような対策が有効かを検討することが望ましい。また農地が森林に戻る状況が生まれた場合に、多様性の高い森林を再生するには、断片的でも良いのでソースとなる森を残しておく必要がある。どの程度の森林をどの地域に残すべきかを検討する必要がある。このような分析をアジア諸国で行いたい、その対象としては生物多様性の宝庫でありながら急速に森林減少が進んでいるスマトラ島・ボルネオ島を優先すべきである。まず森林減少の要因分析保全に向けてのシナリオ分析を行う必要がある。一方でspecimen-based approachによるホットスポットの選定を進め、どの地域の保全を優先すべきかを判断することが有効であろう。ホットスポット候補地においてgrad-sect調査を実施するとともに、衛星画像や各種統計資料を活用して、森林減

少のトレンドとその要因を評価し、将来に向けてのシナリオ分析を行えば保全上もっとも有効な対策を提案するための科学的裏付けが得られる。ただし、このような分析は統計学的な回帰分析に依拠するものであり、長期的な予測力には乏しい。このためシナリオ分析の仮定や予測の妥当性については、要因間の関係を特定した力学モデル（生態・社会系統合モデル）によって再評価することが望ましい。定性的なシナリオ分析では、非線形的な変化、とくに要因間のフィードバックについて正確な判断が困難である。この点を力学的なモデルで評価し、どのような場合にもっとも望ましい将来が実現可能かを検討する必要がある。

また森林の減少は、国内での要因にのみ影響されるわけではない。貿易を通じた他国からの影響も受ける。東南アジアの熱帯林は、アブラヤシ・ゴムのプランテーション開発と違法伐採によって大きく減少している。いずれの要因も食用油・天然ゴム・木材の需要（とくに海外需要）と深く関係しており、日本は輸入を通じて熱帯林減少に間接的に寄与している。また退耕還林政策によって森林回復を進めている中国は、いまや木材輸入国にシフトした。このため中国での木材需要を支える形でインドシナ北部の森林が急速に減少していると指摘されている。このような貿易を通じた負荷を評価することで、消費者による商品選択や輸入国政府の規制によって輸入先の森林を守る可能性を検討できるだろう。貿易が海外の生態系に与える効果を評価する指標に、エコロジカル・フットプリント（EF）がある。この指標は一人が消費する商品を生産するために必要とされる面積（農作地・牧草地・森林・漁場）に、一人あたりCO2排出量を吸収するために必要とされる森林面積（カーボンフットプリント）を足したものである。国内消費のEF（EFc）は以下の式のように生産（EFp）・輸入（EFi）・輸出（Efe）に由来する成分に分割される。

$$EFc = EFp + EFi - Efe$$

EFの単位はグローバルヘクタールと呼ばれる換算面積である。これは土地の生産性によって物理的な面積を調整した数値である。EFは輸入による海外への負荷を評価するうえで、すぐれた手法である。ただしこの評価には生物多様性への負荷は含まれていない。商品（とくに食用油・天然ゴム・木材）の輸入を通じて、他国が東南アジアの生物多様性にどれだけ負荷をかけているかを評価するためには、「生物多様性フットプリント」を数値化する手法を開発する必要がある。「生物多様性フットプリント」を数値化するには、東南アジア各地の森林減少が種の消失にどれだけ寄与しているかを評価する必要がある。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

長期的生態系観測を実施しているLTERサイトを補完する、生物多様性観測コアサイトの概念を提唱した。また、国際的に困難視されている植物多様性評価をアジア規模で実施するための3つのアプローチ（Specimen-based approach, Plot-based approach, Grad-sect approach）を提案した。さらに、生物多様性価値評価の新たな手法として、「生物多様性フットプリント」を数値化する手法を開発するという課題を提案した。

（2）環境政策への貢献

上記の検討結果にもとづいて環境研究総合推進費平成23年度戦略的研究開発領域課題（案）を

下記のとおり策定した。

1. 課題名（仮称）：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（新S-9）

2. 目標：遺伝子・種・生態系レベルの生物多様性の現状および損失速度について日本およびアジアスケールでの評価・予測を可能にするモデル・手法を開発する。また生物多様性損失がどのような生態系機能・サービスの損失をもたらすかを評価する指標・モデルを開発する。さらにホットスポット（生物多様性が高くかつ損失リスクが大きな地域）を特定する手法を開発し保全対策の優先順位決定に科学的根拠を与えると同時に研究開発の成果にもとづいて生物多様性損失を防ぐために有効な政策を提言する。

3. 予算規模：年間約3～4億円（課題当たり数百～数千万円程度）

4. 研究期間：5年間 第1期（平成23～25年度） 第2期（平成26～27年度）

5. 研究推進の考え方：

○ 平成22年度には生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）において、2020年目標をふくむ新戦略計画が策定され、また地球観測に関する政府間会合・生物多様性観測ネットワーク（GEO BON）実行計画にもとづく国際観測がスタートする。また生物多様性・生態系サービスに関する政府間パネル（IPBES）が組織される見通しである。これらの取り組みに連携し、生物多様性条約議長国として日本の国際的責務を果たすとともに、我が国の生物多様性の総合評価やそれらの成果を踏まえた生物多様性国家戦略の改定を行ううえで、今後以下の課題に対処する必要がある。

・ 現時点では全球規模で生物多様性損失を評価するための適切なモデル・手法がない。このため「毎時間3種が絶滅している」などの評価は科学的根拠が薄い。まず日本およびアジアスケールでの生物多様性損失評価を可能にするモデル・手法を開発する必要がある。

・ 生物多様性損失を広域的に時系列データに基づいて評価するには衛星データの活用が不可欠である。しかし衛星データから得られる指標を用いて、遺伝子・種・生態系レベルの生物多様性損失を評価する手法はきわめて脆弱であり、より良い指標の開発とその地上・海域検証によって、信頼度の高い損失評価法を開発する必要がある。

・ アジア・太平洋全域の生物多様性の地上観測について、は様々な主体・プロジェクトによって取り組まれているが、観測データの多くはオープンに利用できるデータベースに登録されていない。戦略的に重要な観測データのデータベース化を早急に実施しアジアスケールでの生物多様性損失評価に活用する必要がある。

・ 森林伐採などの生物多様性損失が生態系機能・サービスをどの程度損なうかについては、物質循環や水収支に関する研究はあるが、送粉サービスなど種多様性が深く関わる機能についての評価が遅れている。種多様性が深く関わる生態系機能・サービスを適切に評価する指標・モデルの開発が必要である。

- ・ 生物多様性損失を防ぐうえで、保護区の拡充が必要であり、2020年目標では陸域・海域の保護区拡充の目標値を盛り込むことが検討されている。保護区設定にあたっては、どの地域・海域を優先すべきかを科学的根拠をもとに判断する必要があり、その優先順位を決定する手法を開発する必要がある。
- ・ 日本は「自然共生社会」という社会目標を設定し生物多様性損失対策に取り組んでいる。今後IPBES、CBD、REDD+（森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減の拡張（Reduced Emissions from Deforestation and forest Degradation-plus））などの国際的協議において、説得力のある提言を行うには「自然共生社会」への政策を支える科学的基盤を強化する必要がある。

○ 日本人研究者は、これまでGEO BON詳細実行計画起草やアジア・太平洋地域の生物多様性観測ネットワーク（AP-BON）の組織化などに主体的に取り組み、国際的に高い評価を受けている。今後アジア・太平洋地域を対象として上記の課題について、研究開発を進め生物多様性の国際的観測・評価にこれまで以上に貢献することが期待されている。

6. 想定される研究課題構成：

対象地域は主にアジア・太平洋地域とし、地球規模への展開を視野に入れた研究を含む。モデル地域におけるリモートセンシングと地上・海域検証（ground and sea truth）を統合した研究および広域的な比較・評価を行う研究を公募する。具体的には以下の5つのテーマについて複数機関による研究を公募する。

テーマ1 生物多様性評価予測モデルの開発・適用と自然共生社会への政策提言

- ・ 生物多様性の現状および損失速度についてさまざまな空間スケール・さまざまな生物群・さまざまな生態系での評価・予測を可能にするモデルの枠組みを総括的に検討しアジアスケールでの生物多様性損失評価に適用する。森林・水域などの異質な生態系がモザイク状に配置された景観における生物多様性の変化を評価・予測するモデル・手法を開発・適用する。また他のテーマにおける研究から得られる成果を統合し、生物多様性損失を防ぐために有効な政策提言を行い、生物多様性国家戦略改定などの国内的要請、IPBES、CBD、REDD+などの国際的要請に応える。
- ・ 種の分布確率の変化多様性指標の空間的・時間的変動などを評価・予測する統計モデル（一般化線形モデル、一般化加法モデル、階層ベイズモデルなど）を開発・改良し、アジアスケールでの生物多様性損失評価に適用することにより、最適なモデルを選択する。またモデルの評価・予測を地図化する方法を整備し、アジア・太平洋地域諸国で利用可能な標準手法を確立する。
- ・ 生物多様性の中期・長期的損失を予測するには、土地利用、人口動態、産業構造の変化、人間の意思決定パターンなど社会要因の変化を考慮することが不可欠である。このため生態・社会系結合モデルを開発・改良し、社会要因の変化を考慮に入れた予測・シナリオ研究を行う。

テーマ2 遺伝子・種多様性の定量的評価に関する研究

- ・ 特定の分類群・機能群を対象として戦略的に重要な観測データをデータベース化し、アジア規模での遺伝子・種多様性の現状と土地利用の変化にともなう損失速度を推定する。この研究から得られる結果をもとに、ホットスポット（保全対策を優先すべき地域）保全に必要な面積保全

の方法などについて政策提言を行う。

- ・ 主に植物を対象に種の分布モデルを構築し、絶滅リスク評価を行う。また分子系統樹をもとに、種多様性と系統多様性の関係についての回帰モデルを構築し、熱帯林など種の同定が容易でない生態系において、遺伝子配列データから種・系統多様性を評価する方法を開発する。とくに、熱帯林の減少にともなう樹木の種多様性損失のリスク評価を行い、アジア・太平洋地域の樹木レッドデータブック編集・ホットスポット特定に寄与する。
- ・ 気候変動の下で、樹木を含む多くの動植物が適応的進化を進行させている。適応的進化は新しい環境の下での適応度が低い個体が淘汰されることによって進むので、この点への配慮を欠いた移植・増殖は新しい環境への適応進化を妨げる可能性がある。このため、絶滅を回避しつつ適応的進化を保障する対策が必要である。このような対策の基礎を築くために、気候変動下での適応的進化を定量的に評価する方法を開発する。

テーマ3 森林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

- ・ アジア・太平洋地域（とくに熱帯域）における農地転換などによる森林消失速度の評価は、まだ信頼性が低く、有効な対策を立案するためには、その推定精度を高めることが急務である。モンスーン気候下にあるアジア・太平洋地域では、長期データのある衛星画像において、雲の存在が森林面積の正確な推定を困難にしている。一方で、合成開口レーダーによる衛星画像では、天然林と農園の識別が容易ではない。このような技術的問題の解決をはかりながら、REDD+などの国際的要請に応えることが求められている。このため陸域のうち、森林に焦点を絞り、さまざまな手法を統合して、消失・劣化の評価を実施し政策提言を行う。
- ・ 熱帯アジアの代表的な森林（熱帯多雨林熱帯季節林など）でモデル地域を選び、各種衛星画像・航空写真などのリモートセンシングデータから森林の劣化・減少を評価するモデルを構築し、地上検証を行い、熱帯アジアにおける森林生態系の生物多様性を時系列的に評価する方法を開発する。
- ・ 森林の機能に関するこれまでのプロセスモデルでは、植物の種多様性の影響がほとんど評価されていない。気候変動に対する森林の反応（生産力の変化分布の変化など）や森林減少にともなう機能損失を評価するためには、森林の機能と植物種多様性の関連を明らかにする必要がある。このため、個々の樹木種の機能形質（葉の窒素含量厚さ寿命など）の多様性を定量化し、機能形質データの分布にもとづいて、種多様性と森林生態系の機能の関連を記述するモデルを開発する。
- ・ 森林が提供する生態系サービスには、送粉サービスのように種多様性が大きな役割をはたすものがあるが、生態系サービスと種多様性の関係については、評価が遅れている。そこで、送粉サービス・生物学的制御に焦点を絞り、森林の劣化・減少と生態系サービスとの関係を記述するモデルを構築し、森林の劣化・減少にともなう生態系サービスの損失を予測する手法を開発する。

テーマ4 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

- ・ 湖沼の内水面・流入河川・沿岸湿地をふくむ「湖沼」を単位として、生物多様性損失の評価手法を開発・改良する。各地の「湖沼」で得られたデータを用い、生物多様性指標（絶滅危惧種数生活型の多様性外来種数など）を生物多様性損失に寄与する諸要因で説明する統計モデルを構

築し、損失リスク評価を行う。この評価結果をもとに、ホットスポット（保全対策を優先すべき地域）保全の方法などについて政策提言を行う。

- ・ 富栄養化、流域開発、形状変更（ダム・護岸など）などの変化が陸水生態系の生物多様性に与えている影響を評価するために、これらの要因を説明変数に加えたモデル選択を行う。要因の定量化のために、リモートセンシングと地上検証を組み合わせた手法の開発を行う。湖沼・ため池・河川・湿地などの代表的な陸水生態系について、モデル地域を選びリモートセンシングデータから生物多様性損失に寄与する要因（クロロフィルa、森林・湿地面積、コンクリート面積など）を小スケールで定量化する手法を開発する。これらの手法をモデル地域以外に適用し、有用性を検証する。モデル地域は主として国内を対象とする。

- ・ 一方で国内・国外の大規模湖沼をモデルとして、湖沼およびそれに隣接する陸水生態系の空間的異質性と長期動態に関する研究を進め、水質改善と生物多様性保全を両立させる管理モデルを構築する。

テーマ5 海域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

- ・ 藻場・アマモ場の消失やサンゴ礁の白化など沿岸域で進行している生物多様性損失の評価手法を開発・改良する。沿岸域については、標準手法にもとづくデータが国際的に蓄積されている。この蓄積を生かし、アジア太平洋地域の沿岸域生物多様性において、比較・評価を行い、陸域の土地利用海岸の形状変更沿岸の漁業利用などを説明変数とするモデル選択を行う。またホットスポット（生物多様性が高くかつ損失リスクが大きな地域）を特定する。この評価結果をもとにホットスポット（保全対策を優先すべき地域）保全の方法などについて政策提言を行う。

- ・ 特定海域で各種衛星・航空写真・水中映像などのリモートセンシングデータからハビタットの劣化・減少を評価するモデルを構築し、海域検証を行い、海域における生態系の生物多様性・生態系サービス（漁業生産・分解など）を時系列的に評価する方法を開発する。温帯海域およびサンゴ礁の白化が顕在化している亜熱帯海域を対象とする。

- ・ 一方で沿岸～外洋域を対象として、プランクトン・底生生物・微生物の長期動態に関する研究を進め、生態系機能の長期変動を予測するモデルを構築する。

6. 引用文献

特に記載すべき事項はない

7. 国際共同研究等の状況

DIVERSITAS（生物多様性国際研究プログラム）、DIVERSITASコアプロジェクト事業の推進、Hal Mooney・スタンフォード大学・USA、コアプロジェクト共同議長・科学委員会メンバーとして事業推進に貢献、DIVERSITASはCBD、GEO BONと連携して生物多様性の国際的観測・予測・評価事業を推進している。

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表（学会等）

特に記載すべき事項はない

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- ・ 種・遺伝子多様性の評価に関するワークショップ（平成22年8月4-5日国立環境研究所、平成22年8月27日九州大学）
- ・ 陸域（陸水）生物多様性の評価に関するワークショップ（平成22年8月26日九州大学）
- ・ 地球規模での生物多様性の観測・評価・予測に関する国際ワークショップ（平成22年8月28-30日九州大学）

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

特に記載すべき事項はない