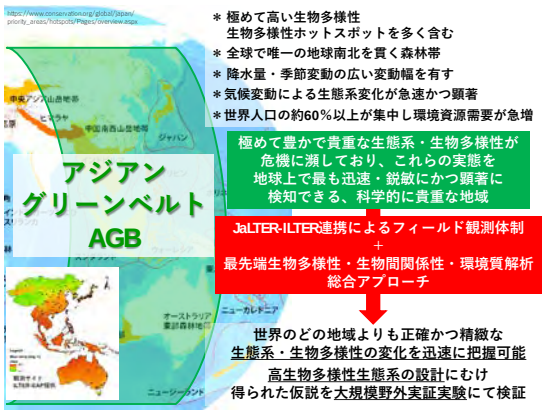
人新世における生物多様性科学の深化：アジアングリーンベルトの生物多様性維持機構解明と高生物多様性生態系設計へ向けた総合的研究

①　計画の概要

人新世での急激な気候・社会変動の中での生物多様性の保全は、全世界喫緊の課題である。しかし未だに生物多様性の現状把握自体が大変困難である。例えば我々の住むモンスーンアジアが有するアジアングリーンベルト（AGB）と呼ばれる豊かな生態系群は、世界的に重要な生物多様性ホットスポットであるが、その生物多様性の全貌は未だ不明である。

本計画では、環境DNA、オミクス技術、バイオロギング、リモートセンシング、ドローン観測、同位体など、近年急速に発展している高時空間分解能・リアルタイム生物多様性・生物間関係性・環境質測定と、ビッグデータから因果関係を取り出す時系列解析などの解析技術を駆使し、既存の生物多様性観測を抜本的に改革する。具体的には、これまで生態学関係機関が構築してきたAGB観測ネットワークにおける高山から沿岸帯までの様々な研究サイトに生物多様性･環境質計測システムを導入し、そこで得られたデータの最先端手法による解析から、生物多様性の時空間的連動様式とそれを支える生物間・生物ー環境間相互作用を世界で初めて網羅的に解明する。さらにその結果に基づく大規模野外操作実証実験を、拠点と複数観測コアサイトに設置する実験施設で実施し、生物多様性維持機構の解明から高い生物多様性を有する生態系の生態系設計へと研究を展開する。本研究ではこれらを通じ生物多様性科学の統合的研究拠点を整備する。

本研究での革新的技術の複層的な融合を通じ、高い生物多様性を有する貴重な生態系が危機に瀕しており、その生態系の気候変動や社会変動による応答を顕著に検知可能である AGB にて、生物多様性の網羅的把握とその維持機構解明という生態学の最重要課題が実現される。そして様々な形でSDGsに組み込まれている「生物多様性の維持・管理・創成」という国際社会における喫緊の課題に向け、大変重要な貢献をもたらすことが可能となる。



②　学術的な意義

モンスーンアジア地域は世界的にも類を見ない大きな気候傾度、季節変化そして地質的多様性を有する。この地域を中心に豊かな生態系が赤道のインドネシア付近から北はタイ、中国、日本、シベリア、南はオーストラリア、ニュージーランドまでつながっている。これはアジアングリーンベルト（AGB）と呼ばれ、地球上で唯一森林帯が北半球から南半球までつながっている。このAGBでは維管束植物の固有種数がヨーロッパ諸国より遙かに多いなど、極めて高い生物多様性が維持されている。

しかし包括的な生物多様性調査は大変困難である。特にAGBでは基礎的情報すら未成熟で、実際の生物多様性は大きく過小評価されている可能性がある。生物多様性の維持機構解明には、微生物から大型哺乳類までの生物が有する遺伝子・種・機能的多様性、多様性決定要因を提供する地質・時間・季節性・温度などの環境質、生態的浮動・分化・選択圧・分散などの多様性決定プロセス、これら有する時空間的なゆらぎ・同調などの変動様式を、網羅的に観測し包括的に解析する必要がある。しかしそのような網羅的生物多様性・環境質観測はこれまでの観測解析技術では不可能であった。そのため「なぜAGBでは生物多様性が高いのか？」といった学術的かつ社会的に重要な問に解を与えられずにいた。

本研究では、気候変動の影響が地球上の他の生態系よりも迅速かつ顕著に現れることが知られている AGB において、生物多様性の現状把握ならびにその維持機構の解明を、生態学、分子生物学、ビックデータ科学、地球化学などからの最新観測解析技術の融合と大規模野外操作実験による検証により包括的に行う。この世界初包括的多様性研究により、新生代の環境・社会変化による生物多様性の減少要因、さらに生物多様性の回復と維持を可能とする生態系制御機構について世界をリードすることができる。

③　国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国では20サイトでの環境連続観測･現地踏査等を実施するナショナルエコロジカルオブザーバトリーネットワークがあり、欧州でも類似のナチュラ2000ネットワークが運営されている。しかしこれらがカバーする環境傾度はAGBに比べて狭い。日本には58サイトという膨大な研究サイトを有する日本長期生態学研究ネットワーク（JaLTER）があり、大学や国公立研究所等によって運営されている。JaLTERには生物情報と環境質情報が蓄積されており、国際長期生態学研究ネットワーク（ILTER）との連携などを通じAGB諸国の観測サイトとも長年に渡る学術交流がある。

本提案はこれらのネットワークを駆使し、欧米よりも広くかつ多様な生態系における生物多様性観測網を構築し、環境変化に最も鋭敏かつ社会・経済的に最も重要な AGB を扱う点、そしてモニタリングにとどまらず野外実証実験による高生物多様性生態系の設計までを視野に入れている点で、国際的にリードする先駆的な内容となっている。

④　実施機関と実施体制

全体調整・総括は、京都大学生態学研究センター（CER）と JaLTER が担う。国内長期生態学研究を牽引している JaLTER は本計画の学術的側面を、全国共同利用・共同研究拠点である CER は下記の５つの研究部門を設置し、本計画の学術的側面と共に

管理運営面も担当する。

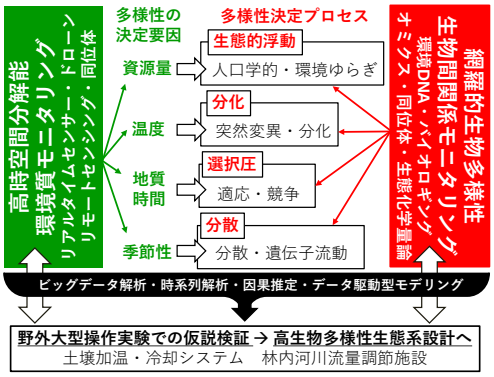
●生物種多様性研究部門：次世代シークエンサー等の分子生物学的先端機器を用いたメタバーコーディング、オミクス分析を進める。プライマー設計などの分子生物学的な研究とともに、アジアングリーンベルトにおける様々な生物種についての DNA ライブラリー構築、その基本となる分類の若手人材養成も進める。

●遺伝子多様性研究部門：特定の生物種に着目し、その遺伝的多様性などを扱う部門。例えば個体数が少なく観測が難しい生物の環境 DNA 情報から個体群推定などを行う手法開発と応用を担当する。高次捕食者、希少種、侵入種などを対象とする。

●生態系多様性研究部門：各観測サイトの気象・水文等の物理・化学環境、同位体比、生態化学量論、生物移動などの情報を、リモートセンシング、ドローン、現場センサー、バイオロギング、などの最新技術を用いて収集する。また、これらの観測をさらに高度化するための技術開発を推進する。

●生物多様性機構研究部門：上記３つの部門から得られたデータ群に基づき、因果推定法やネットワーク理論などに基づく解析を行い、生物多様性の維持機構を解明し、高い生物多様性を持つ生態系の実装に向けた理論的検討を行う。並行して SDGs のような社会的ニーズに応じた問題対応のためのデータ解析、モデリング、シナリオ分析や政策決定支援システムを開発する。

●統合エコインフォマティックス部門：上記４つの部門から得られた情報の、社会ニーズへ対応した形での情報公開を担当する。市民科学としての生物多様性科学の普及および指導も行う。



⑤　所要経費

総額 196 億円。内訳は下記の通りである。国内の観測コアサイトにおける観測体制整備（64 億円）：栄養塩リアルタイムセンサー、ドローンリモートセンシング、ドローン型・係留型環境 DNA 自動サンプリングシステム、近接リモートセンシングシステム、動植物代謝産物モニタリングシステム、データネットワークシステム等（森林、耕地、湖、沿岸などの生態系８サイトに設置）拠点整備（30 億円）：DNA 解析機器（次世代シークエンサー等：５億円）、環境メタボローム分析システム（LC-MS/MS 等：10 億円）、同位体分析システム（質量分析計等：10 億円）、生態系情報データベースシステム（５億円）の設置 アジアングリーンベルトの観測サイト整備（60 億円）：20 サイト（観測機器設置、ネットワーク構築など）　野外大規模操作実験経費（23 億円）：土壌加温・冷却システムおよび林内河川流量調節実験施設設備導入（国内３か所：15 億円）と実験経費（８年間：８億円）　分類・メタバーコーディング・解析エキスパート養成（４億円）：ワークショップ開催など（８年間）　これら全ての施設の人件費・運営費（15 億円）：10 年間での経費

⑥　年次計画

2019 年度：国内外の観測サイトの整備および生態系操作実験施設の導入と、拠点の整備を行う。各観測サイトは従来観測を継続しつつ、環境 DNA やオミクス測定のサンプリング及び測定、そして新規観測設備が整い次第、新たにバイオロギング及び環境質観測を開始する。３地点において土壌加温・冷却システムや林内河川の流量調節施設を導入する。拠点では生物種多様性研究部門、遺伝子多様性研究部門、生態系多様性研究部門、統合エコインフォマティックス部門を開発する。

2020 年度：各観測サイトでは拠点によるコーディネイトの下、データ収集が開始され、データは拠点によって管理される。拠点は、各種生態系サンプルの生物・物理・化学項目の分析を行い、得られたデータを管理するとともに、重要で革新的な分析手法の開発をリードしながら分析手法の標準化も進める。導入された野外操作実験施設の試運転を行う。

2021 年度以降：　2020 年度中に拠点への大型研究機器等の購入と設置を完了させ、本年度中に拠点機能がフル稼働となる。2021 年度から 2028 年度にかけて、観測データや解析結果を踏まえた検証的な研究を行うための、野外における大規模人為操作実験（８年間で８億円）を行う。さらに観測結果を踏まえたより高性能の観測基材の開発とテストを国内サイトにて開始する。2021 年度は実験計画の年度とし、2022 年度から 2026 年度まで実験を行ってデータを収集し、2027 年度から 2028 年度まではデータの解析と取りまとめを行う。国内外の観測サイトは、観測によるデータ収集を継続する。2019-2028 年度の人件費・運営費：各年度 1.5 億円。アジアのネットワークの研究連携・能力技術開発プログラムの連携を図るため、毎年度国際シンポジウムを開催し、アジア各国との共同研究を進め、アジアの若手研究者のためのキャパシティ・ビルディングも行う。

⑦　社会的価値

2010 年に生物多様性条約が締結されたことに加え、SDGs17 目標の中に生物多様性が大きく関与しているものが８つもある。そのため生物多様性は国民そして経済界の関心が大変高いトピックであり、第５期科学技術基本計画にも生物多様性の研究開発が盛り込まれ、ISO14001 では生物多様性への取り組みが義務化されている。

AGB では気候変動による生態系の変化が地球上のどの生態系よりも迅速かつ顕著に表れる。また AGB には世界全人口の約 60%以上が居住し、高い生物多様性に由来する貴重な生態系サービスが失われており、その生態系サービスに依存している経済・産業に深刻な打撃を与えている。これらの現状に鑑み、生物多様性の価値を科学的知見に基づいて政策提言を行う「生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム」が 2012 年から活動している。また「パリ協定」や「仙台防災枠組 2015-2030」といった国際的枠組みにおいても生物多様性の考慮が必須である。このように生態系と生物多様性を取り扱う本計画は、SDGs を含めた社会的要請や緊急性の極めて高いものである。

⑧　本計画に関する連絡先

中野　伸一（京都大学生態学研究センター）