

令和 2 年 9 月 2 日現在

機関番号： 8 2 1 0 5

研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間： 2017 ~ 2019

課題番号： 1 6 K K 0 1 7 6

研究課題名（和文） 生物多様性の保全を考慮した効率的な世界木材生産 国別生産量の生態経済学的最適化（国際共同研究強化）

研究課題名（英文） Economically efficient global wood production conserving biodiversity: An ecological economic approach (Fostering Joint International Research)

研究代表者

山浦 悠一 (Yamura, Yuichi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号： 2 0 5 8 0 9 4 7

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,600,000 円

渡航期間： 12 ヶ月

研究成果の概要（和文）：木材生産地の生物多様性保全上の価値と林業の経済的効率性に関する情報を収集し、国によって林業の費用対効果は大きく異なり、日本では経済的側面以外での林業の便益評価が重要だと考えられた。オーストラリアのビクトリア州とタスマニア州でユーカリ高木林を訪問し、木材生産と生物多様性の保全に関する視察を行なった。また、天然林の伐採後の構造の発達過程や針葉樹人工林内の広葉樹の増加過程を記述するモデルを実証データから開発した。植物の遺伝子解析から、日本国内の草地は地質学的スケールで安定的に維持されてきたと推測した。木材などの資源生産を行ないながら生物多様性をシミュレーションで評価するための新たな枠組みを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境保全の機運が高いオーストラリアでは、木材生産を行ないながら生物多様性を保全するため、伐採時に樹木を残す森林施業（保持林業）が先進的に行なわれている。日本国内でも保持林業の試験的な試みが行なわれているが、タスマニア州の保持林業の現場を視察し、普及誌に報告した（山浦ほか2018、森林技術918:26-29）。また、森林の生物多様性保全上の価値を、地形や気候などの広域的に利用可能な地理情報から予測するモデルを天然林だけではなく人工林も含めて開発した。温暖・湿潤で森林が極相の日本で草地が万年単位で維持されてきたことを明らかにし、人間活動は日本の自然の重要な構成要素であることを指摘した。

研究成果の概要（英文）：I collected the information about conservation and economic values of forestry areas, and found regional variabilities of cost-effectiveness of forestry in terms of biodiversity conservation. Benefits of forestry other than sole economic values are important for Japanese forestry. I visited Eucalyptus forests in Victoria and Tasmania to study biodiversity conservation in the landscapes subject to wood production. I also developed models describing structural development of natural forests after harvesting and increases in native broad-leaved trees in conifer plantations based on empirical data. I then inferred geological-scale stability of Japanese grassland ecosystems by genomic analysis. I finally developed a simple simulation-based framework to evaluate the reconciliation of wood production and biodiversity conservation.

研究分野： 森林科学

キーワード： 林業 生物多様性 経済 草地

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本国内の人工林は現在その多くが成熟し、各地で盛んに伐採されるようになった。一方、経済的な役割を失った草地は最近 100 年で激減し、草地に依存した多くの生物で絶滅が危惧されている。こうした状況で、最近の研究から、伐採や植栽直後の森林(幼齢林)は、減少を続ける草地性生物の保全に寄与すると指摘されている。そして国内林業の再生は、国内の草地性生物の保全のみならず、海外の林業活動による海外の生物多様性喪失の防止や、農山村地域における雇用維持の観点からも望まれる。しかし、国内の林業をめぐる経済的な状況は急速に大きく変化し、さらに木材生産は多くの国で重要な産業で、木材輸出は輸出国の経済を支えている。したがって世界全体の福利向上のためには、各国の生物多様性を保全しながら、いかに効率的に木材生産を行なうべきか明らかにする必要がある。そして木材を生産する管理された景観で、生物多様性とその保全活動を評価する手法を開発する必要がある。さらに、草地の維持や森林の伐採といった人間活動が生物多様性の保全に果たす役割や意義は、数十年単位ではなく、より長期的な時間スケールで明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、生物多様性の保全を考慮した木材生産について、長期的・広域的なスケールから解析・議論する。具体的には、木材生産地の生物多様性保全上の価値と林業の経済的効率性に関する情報を収集し、林業の生物多様性保全の費用対効果を国際的に比較する。また、木材の生産と生物多様性の保全の両立に関して、新たなモデルや枠組みの開発を行なう。

3. 研究の方法

(1) 林業の生物多様性保全上の費用対効果

主要な林業国の林業の正味の現在価値、林業を行なった際の生物種数の減少を各種資料から収集した。後者を前者で除した比を林業の費用対効果とし、国際的な比較を行なった。

(2) オーストラリアの現地視察

オーストラリアのタスマニア州では、生物多様性を保全しながら木材生産を行なうために、主伐の際に樹木を残す「保持林業 retention forestry」が試験研究により検証され、現場で普及している。この試験地を訪問し、保持林業の経緯や成果などを聞き取った。

(3) 森林の生物多様性保全上の価値の広域予測

国内の天然林と人工林に関して、全国スケールで収集された毎木調査のデータ(森林生態系多様性基礎調査)を解析した。これにより、伐採後の森林の構造の回復速度と人工林内の広葉樹の増加速度を林齢と各種環境因子(気候や地形)、人工林はこれに加えて植栽樹種の関数として求めた。毎木データはプロットごとに林齢が異なるが、これは階層ベイズモデルを用いることによって考慮した。

(4) 草地の歴史の再構築

全国的に残存草地を訪問し、草地に特化した草本植物の遺伝子を収集・解析した。具体的には、遺伝子解析の対象種を、数十年前までごく一般的に見られ、秋に花をつける草地性草本(センブリ、カワラナデシコ、オミナエシ、ワレモコウ)の4種とした。次世代シーケンサーによって得られた遺伝子配列情報を元に集団サイズの変遷を推定し、それを種ごとに全国平均することによって、日本の草地の過去の変遷を推察した。

(5) 生物多様性の解析手法の開発

近年活発に開発されている生物群集の解析手法として、階層群集モデルが挙げられる。一方で、redundancy analysis (RDA) などの序列化と呼ばれる手法は最近 20 年にわたり生態学で広く使用されてきた。両者をシミュレーションにより比較し、生物群集の環境依存性を解析する視点から長所と短所を評価した。

4. 研究成果

(1) 林業の生物多様性保全上の費用対効果

日本のスギ人工林林業の費用対効果は他国の主要な林業と比較して 3-4 桁劣っているという際立った結果が得られた。これから、林業の経済性と生物多様性の保全に関しては、国内林業の経済活動以外の便益をどのようにとらえるかが大事だと考えられた。

(2) オーストラリアの現地視察

オーストラリア本土の南東に位置するタスマニア州では、湿潤ユーカリ林が林業の主要な対象となっている。1980 年～1990 年代の皆伐に対する社会への批判に対応する形で、タスマニア林業公社は保持林業をユーカリ湿潤林に適用できるかを検証するため、ワラ Warra 長期生態研究サイトを設立した。伐採地に樹木を残さない皆伐区、10-15%の樹木を残す単木保持区、30%の樹木を残す群状保持区などの処理区が設けられ、鳥類や地表性甲虫、蘚苔類、地衣類、菌類の多様性が調査された。

すべての実験区で3年が経過した2010年の初めに、本実験の成果の取りまとめが行なわれている。複数の伐採方法が、研究の結果と専門的な観点からスコア付けされた後に比較された。その結果、皆伐に代わる手法としては群状保持が優れていると結論付けられた。現在、タスマニア州では現在保持林業は州全体で採用されている。さらにこの研究チームは、一連の結果から保持林業を現場で評価するための簡易なスコア表を作成していた。こうした研究と行政、林業実施主体との緊密な連携は、日本でも保持林業のみにとどまらず、生物多様性保全を普及させ実行するために重要だと考えられた(山浦ほか2018)。

(3) 森林の生物多様性保全上の価値の広域予測

天然林の毎木調査のデータを地理情報と合わせて解析した結果、積雪深や気温が中程度の地域や、地形が平坦な場所で発達速度が速いと推定された(Yamaura et al. 2020)。例えば同じ谷の中でも、森林の構造の発達を示す指標(老齢林指数)が0.5(中程度の複雑さ)になるまでの年数は、尾根よりも斜面下部の方が100年以上も短いと推定された。人工林を対象とした解析の結果、人工林内の広葉樹の量(胸高断面積合計で「自然度指数」と名付けた)は林齢に伴って増加するが、その速度には植栽樹種が最も大きく影響し、スギとヒノキでは増加率が低く、その他の主要樹種では比較的高いことが示された(Yamaura et al. 2019a)。増加率に影響する要因として次に重要なのは植栽木の密度で、密度が低いほど自然度指数の増加率が高くなった。その次に重要な要因は積雪深や気温だった。

これから、天然林、人工林を対象にした両モデルから、地域の気候や地形、林相や林齢の情報を整備することで、老齢林指数と自然度指数を地図化することができるようになった。また、自然度指数に大きく影響する植栽樹種と植栽木の密度を左右する施業は、人工林の生物多様性に大きく影響すると考えられた。森林の構造の複雑さと針葉樹人工林内の広葉樹の量はそれぞれ天然林と人工林の生物多様性の重要な指標のため、森林の生物多様性を広域的に予測することができるようになった。

(4) 草地の歴史の再構築

解析の結果、対象とした4種は過去10万年間にわたって、個体数を数百年前の0.5~2.0倍の範囲で維持してきたと推測された(Yamaura et al. 2019b)。草地の生成や維持に関連する地形学や人類学的な情報を整理し、日本の草地は、寒冷・乾燥した最終氷期の気候とそれ以降の活発な人為攪乱によって長期的に維持されてきており、最近100年間に起きた草地と草地性生物の国内での激減は、千年~万年を単位とする地質学的な時間スケールで見ても大きな出来事であると考えられた。この結果は、人類が環境の改変や維持に果たしてきた役割、特に野焼きなどの人為攪乱が草地と草地性生物という日本の環境や生物相を維持するうえで歴史的に重要な役割を果たしてきたことを示しており、今後の自然環境の保全や利用を考える上で新たな視点を提供した。

(5) 生物多様性の解析手法の開発

階層群集モデルとRDAをシミュレーションで比較した結果、生物群集を構成する各種の環境依存性を定量化するという意味では、両者の性能は大差ないと考えられた(Yamaura et al. 2019c)。一方で、両手法の長所と短所を明らかにすることができた。例えば、階層群集モデルはベイズ推定に基づくために計算に時間がかかるが、変数変換を解析の際に用いないため、結果の解釈が容易である。また、階層群集モデルで得られた結果をRDAなどの序列化手法のように図化する手法を考案することができた。

<引用文献(本研究の成果)>

- 山浦悠一, 山中聡, 明石信廣. 2018. 研究から実践へ タスマニアにおける保持林業 . 森林技術 918:26-29.
- Yamaura, Y., F. G. Blanchet, and M. Higa. 2019c. Analyzing community structure subject to incomplete sampling: hierarchical community model vs canonical ordinations. *Ecology* 100:e02759.
- Yamaura, Y., D. Lindenmayer, Y. Yamada, H. Gong, T. Matsuura, Y. Mitsuda, and T. Masaki. 2019a. A spatially-explicit empirical model for assessing conservation values of conifer plantations. *Forest Ecology and Management* 444:393-404.
- Yamaura, Y., D. Lindenmayer, Y. Yamada, H. Gong, T. Matsuura, Y. Mitsuda, and T. Masaki. 2020. A spatially explicit empirical model of structural development processes in natural forests based on climate and topography. *Conservation Biology* 34:194-206.
- Yamaura, Y., A. Narita, Y. Kusumoto, J. Nagano Atsushi, A. Tezuka, T. Okamoto, H. Takahara, F. Nakamura, Y. Isagi, and D. Lindenmayer. 2019b. Genomic reconstruction of 100 000-year grassland history in a forested country: population dynamics of specialist forbs. *Biology Letters* 15:20180577.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 山浦悠一、山中聡、明石信廣	4. 巻 918
2. 論文標題 研究から実践へ - タスマニアにおける保持林業 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 森林技術	6. 最初と最後の頁 26-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 明石信廣、山中聡、山浦悠一	4. 巻 69(4)
2. 論文標題 タスマニアの森林と林業 - 木材生産と生物多様性保全 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 北方林業	6. 最初と最後の頁 154-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamaura Yuichi, Royle J. Andrew	4. 巻 8
2. 論文標題 Community distance sampling models allowing for imperfect detection and temporary emigration	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ecosphere	6. 最初と最後の頁 e02028 ~ e02028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecs2.2028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanioka Masashi, Yamaura Yuichi, Yamanaka Satoshi, Senzaki Masayuki, Kawamura Kazuhiro, Terui Akira, Nakamura Futoshi	4. 巻 27
2. 論文標題 How much abandoned farmland is required to harbor comparable species richness and abundance of bird communities in wetland? Hierarchical community model suggests the importance of habitat structure and landscape context	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biodiversity and Conservation	6. 最初と最後の頁 1831 ~ 1848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10531-018-1510-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamaura Yuichi, Narita Ayu, Kusumoto Yoshinobu, Nagano Atsushi J., Tezuka Ayumi, Okamoto Toru, Takahara Hikaru, Nakamura Futoshi, Isagi Yuji, Lindenmayer David	4. 巻 15
2. 論文標題 Genomic reconstruction of 100 000-year grassland history in a forested country: population dynamics of specialist forbs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20180577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2018.0577	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamaura Yuichi, Lindenmayer David, Yamada Yusuke, Gong Hao, Matsuura Toshiya, Mitsuda Yasushi, Masaki Takashi	4. 巻 444
2. 論文標題 A spatially-explicit empirical model for assessing conservation values of conifer plantations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 393 ~ 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2019.04.038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamaura Yuichi, Lindenmayer David, Yamada Yusuke, Gong Hao, Matsuura Toshiya, Mitsuda Yasushi, Masaki Takashi	4. 巻 34
2. 論文標題 A spatially explicit empirical model of structural development processes in natural forests based on climate and topography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Conservation Biology	6. 最初と最後の頁 194 ~ 206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/cobi.13370	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamaura Yuichi, Blanchet F. Guillaume, Higa Motoki	4. 巻 100
2. 論文標題 Analyzing community structure subject to incomplete sampling: hierarchical community model vs. canonical ordinations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecology	6. 最初と最後の頁 e02759
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecy.2759	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 藤間剛、山浦悠一
2. 発表標題 求む！ ノビタキ、キビタキの越冬情報
3. 学会等名 日本熱帯生態学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山浦悠一、David Lindenmayer、正木隆、松浦俊也、キョウ浩、山田祐亮、光田靖
2. 発表標題 A spatially-explicit empirical model of structural development processes in natural forests based on climate and topography
3. 学会等名 アメリカ生態学会年次大会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山浦悠一、成田あゆ、楠本良延、永野惇、手塚あゆみ、岡本透、高原光、中村太土、井鷲裕司、David Lindenmayer
2. 発表標題 Genomic reconstruction of 100000 year grassland history in a forested country: population dynamics of flowering specialist forbs
3. 学会等名 イギリス生態学会年次大会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山浦悠一、David Lindenmayer、山田祐亮、キョウ浩、松浦俊也、光田靖、正木隆
2. 発表標題 針葉樹人工林の生物多様性保全価値の空間明示型実証モデル
3. 学会等名 日本森林学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山浦悠一、David Lindenmayer、山田祐亮、キョウ浩、松浦俊也、光田靖、正木隆
2. 発表標題 気候と地形に基づいた天然林の構造発達過程の空間明示型実証モデル
3. 学会等名 日本生態学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山浦悠一、F Guillaume Blanchet、比嘉基紀
2. 発表標題 不完全なサンプリング下での群集構造の解析：階層群集モデルと序列化の比較
3. 学会等名 日本生態学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山浦悠一、David Lindenmayer、山田祐亮、キョウ浩、松浦俊也、光田靖、正木隆
2. 発表標題 A spatially-explicit empirical model for assessing conservation values of conifer plantations
3. 学会等名 IUFRO World Congress 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	L i n d e n m a y e r D a v i d (Lindenmayer David)	オーストラリア国立大学・Fenner School of Environment and Society・Professor	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
その他の研究協力者	R o y l e J . A . (Royle J. A.)	アメリカ地質研究所・Patuxent Wildlife Research Center・ Research Statistician	
その他の研究協力者	B l a n c h e t F . G . (Blanchet F. G.)	シャールブルック大学・Departement de biologie, Faculte des Sciences・Postdoctoral Fellow	