

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04747

研究課題名(和文) プロセスの相互関係を考慮した森林生態系サービス評価統合モデルの開発

研究課題名(英文) Development of the integrated model to evaluate forest ecosystem services considering process interrelationships

研究代表者

児島 利治 (KOJIMA, TOSHIHARU)

岐阜大学・高等研究院・准教授

研究者番号：90346057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：生態系サービス(ES)は多数のプロセスの複合した結果であり、ある箇所の改変は各ESに個別の影響を及ぼす。森林の維持管理施策の評価には、ES間のトレードオフ関係を精度よく評価し、流域スケールかつ国内の植生を対象とした総合的な生態系サービス評価モデルによる評価が必要である。本研究では、国内の植生を考慮した森林生長モデルと4種に分類されるES(調整、供給、基盤、文化サービス)のうち、調整サービスとして渇水抑制機能、炭素吸収機能、供給サービスとして木材供給機能、基盤サービスとして鳥類の生物多様性機能、文化サービスとして遠景景観のトレードオフ関係を総合的に評価する統合ES評価ツールの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

森林の維持管理施策には、供給者の立場に立った森林整備計画や森林環境税等がある。森林環境税は森林環境の維持増進を目的とし、国レベルでは令和6年度から導入されている。これらの政策は、支払者である市民は支払ったコストに対してどのようなサービスを得ているかは知らされておらず、公正な維持管理施策を進めるためには、市民のニーズを把握し、それを実現するための森林管理シナリオの方向性を示す必要がある。そのためには、各シナリオに対して市民が受けられるサービスを高精度かつ供給場所と受益場所との関係性を明示的に示すことができる評価ツールが必要であり、本研究で構築した統合評価モデルが今後活用されることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Ecosystem services (ES) are the combined result of many processes, and modification of one part has individual effects on each ES. The evaluation of forest maintenance and management measures requires an accurate evaluation of trade-off relationships among each ES and a comprehensive ecosystem service evaluation model at the watershed scale and for Japanese vegetation. We developed the forest growth model that considers Japanese vegetation and the integrated ES evaluation tool that comprehensively evaluates the trade-off relationships among the four ES (regulating services, provisioning services, supporting services, and cultural services): drought control and carbon sequestration as regulating services, wood supply as provisioning services, bird biodiversity as supporting services, and distant landscape as cultural services.

研究分野：水文学

キーワード：森林生態系サービス 森林環境税 流域スケール 総合評価モデル

### 1. 研究開始当初の背景

持続可能な森林資源を維持するためには適切な森林管理施策が必要である。現在実施されている森林管理施策は木材供給面が重要視されており、災害防止、温暖化防止、生物多様性維持などの多様な生態系サービス (Ecological Service; ES) の維持という問題に対して適切に対処されているとは言い難い。ES は多様なプロセスの相互作用による結果であり、持続可能な森林資源の維持には、多様なプロセスの複合結果である ES を定量的に評価できるツールによる各施策の演繹的な評価と最適施策の探求が必要である。一方、森林管理にかかるコストは森林環境税としてサービスの受益者が負担することとなりつつあり、コスト支払者である受益者に対して最適な森林管理シナリオの提案するためのツールとして、流域スケールでプロセスの相互作用を考慮した統合生態系サービス評価ツールを開発する必要性が高まってきている。

### 2. 研究の目的

ES は多数のプロセスの複合した結果であり、ある箇所の改変は複雑なプロセスを経由して各 ES に個別の影響を及ぼす。気候変動の予測、適応策の策定のため、様々なプロセスを組み合わせた統合モデルは全球スケールで開発されてきたが、森林の維持管理施策に対する ES 間のトレードオフ関係を精度よく評価し、一般市民の関与を増大させるためには、より身近な流域スケール、かつ国内の植生を対象とした総合的な生態系サービス評価モデルによる評価が必要である。本研究では、国内の植生を考慮した森林生態系モデルと 4 種に分類される ES (調整サービス、供給サービス、基盤サービス、文化サービス) のトレードオフ関係を総合的に評価する統合 ES 評価ツールの開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

図 1 に示すような構成の各生態系サービスを統合的に評価するモデルを構築する。間伐、皆伐、枝打ち、樹種転換などの森林管理、風雪外等による倒木や生長による林相 (森林の状態) の変化を①森林生長モデルを用いてシミュレーションする。森林生長モデルから得られた樹高、立木密度、胸高直径等の森林構造因子の変化をもとに、②木材供給能評価モデル、③炭素吸収評価モデル、④水文モデル、⑤生物多様性評価モデル、⑥遠景景観評価モデルの各 ES 評価モデルにより、森林維持管理施策に対する総合的な生態系サービスの変化を統合的に評価する。

### 4. 研究成果

統合評価モデルを構築した。各モデルと統合評価結果について以下に述べる。

#### (1) 森林生長モデル

林業分野で用いられる林分収穫表で用いられる推定式を用いて樹高、胸高直径、材積、枯死による本数減少を推定する。モデルパラメータは、既存文献や調査データから新たに計算した。胸高断面積、生枝下断面積から葉乾重量を推定するアロメトリー式、葉乾重量から葉面積を推定するアロメトリー式等を新たに作成し、様々な ES 評価

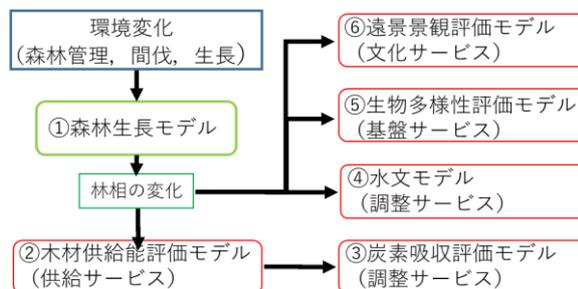


図 1 統合評価モデルの構成

に用いられる LAI (leaf area index) 等を推定する。図 2 に針葉樹としてスギ、広葉樹としてブナの森林生長モデルの計算例を示す。立木密度は初期植栽密度 4000 本/ha で枯死による減少を計算している。樹種によって異なる生長の仕方をするモデルが構築できた。

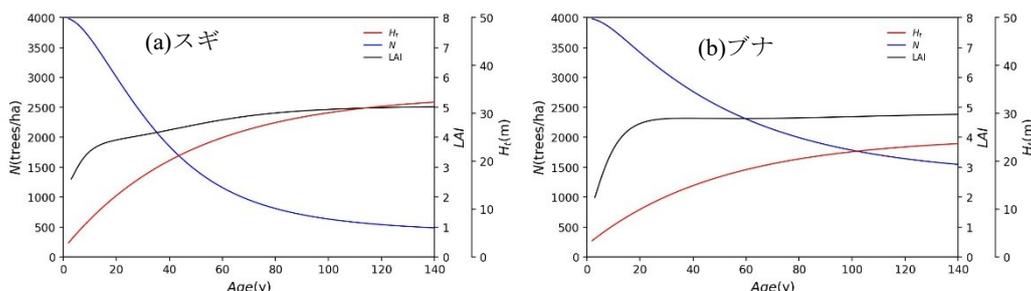


図 2 樹種毎の林齢による樹高  $H_t$ 、立木密度  $N$ 、葉面積指数  $LAI$  の変化。

#### (2) 木材供給評価モデル

森林生長モデルから出力される幹材積を木材供給量として用いる。

### (3) 炭素吸収評価モデル

日本国温室効果ガスインベントリ報告書に記載されている手法を用いて炭素蓄積量を計算する。図3にスギとブナの幹材積と炭素蓄積量の変化の計算例を示す。青線は幹材積、黒線は炭素蓄積量である。点線は25, 35, 45, 55年に30%の間伐を行った場合の計算結果である。スギは材積、炭素の単位面積当たりの蓄積量がブナより多く、同じ条件であれば炭素吸収と木材供給で高いサービスを示すことができる。またスギは間伐直後には本数減少の影響が大きいですが、林齢100年頃にほとんど影響がなくなる。ブナは間伐の影響は少ないが、林齢100年を超えても若干本数減少の影響を受けているという違いがある。このように樹種ごとに得られるサービスの差を評価できるモデルが構築できた。

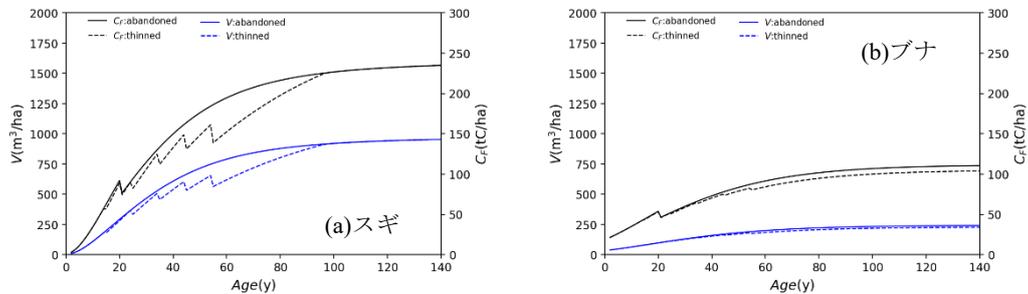


図3 樹種毎の林齢による材積 $V$ 、炭素蓄積量 $C_p$ の変化。

### (4) 水文モデル

年水収支を評価できる精度で蒸発散量と遮断蒸発量を推定する。蒸発散量は可能蒸発散量とLAIを利用する無次元蒸発散量を用いて計算する。遮断蒸発量はLAI, SAI(stem area index)と微気象モデルを用いて計算する。図4に年流出量(水供給量)、蒸発散量、遮断蒸発量の変化を示す。黒線が年流出量、青線が年蒸発散量、赤線が年遮断蒸発量である。点線は間伐を行った場合である。水供給量はスギ、ブナでそれほど大きな差はないと評価された。しかし同じ広葉樹のカンパ類ではブナより蒸発散量が少なく、水供給量が大きくなるという評価結果が得られている。またスギは間伐の影響が少ないが、広葉樹は間伐の影響により水供給量が多くなるという結果が得られた。以上のように樹種ごとに水供給量を評価できるモデルが構築できた。

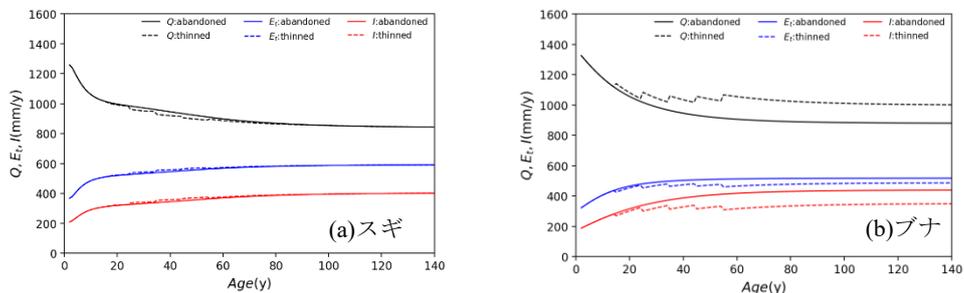


図4 樹種毎の林齢による水供給量 $Q$ 、蒸発散量 $E_t$ 、遮断蒸発量 $I$ の変化。

### (5) 生物多様性評価モデル

植生タイプ別の鳥類の種ごとの個体数を推定する評価モデルを構築した。繁殖のためには雌雄1羽ずつの2羽以上が生息できる森林域が必要である。また孤立した森林間を移動することが可能かどうかも重要である。本モデルでは流域を小領域で分割し、小領域ごとに森林種別、鳥類種別の個体数を算出した。次に小領域間に森林以外の土地被覆(ギャップ)が存在する場合、鳥類種ごとにそのギャップを移動できるかどうか判別し、移動可能な場合は1つの生息域(パッチ)として取り扱う。パッチ毎に個体数を算出し、個体数が2未満の場合は繁殖できないとして除外する。以上の手順で鳥類種ごとの個体数を算出する。図5に長崎県大村市郡川の鳥類種別個体数の計算例を示す。

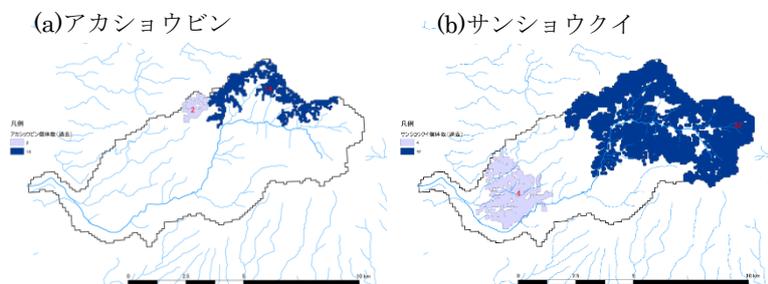


図5 鳥類種別個体数の計算例

(6) 遠景景観評価モデル

岐阜県郡上市を対象に、針葉樹林を広葉樹林に誘導するシナリオに基づき、GISを用いた3D画像を示すアンケート調査を実施した。アンケート結果を景観評価でよく用いられるSD法(semantic differential method)で評価したところ、針葉樹から広葉樹への樹種転換により、文化サービスが増加する傾向があることが分かった。



図6 3D景観モデルの例

(7) モデルの統合と評価結果

長崎県大村市の郡川流域を対象として、統合評価試験を行った。図7に森林生長モデルを用いた郡川流域のLAI分布の変化を示す。植生データは大村市と国有林の森林簿を用いた。2020年

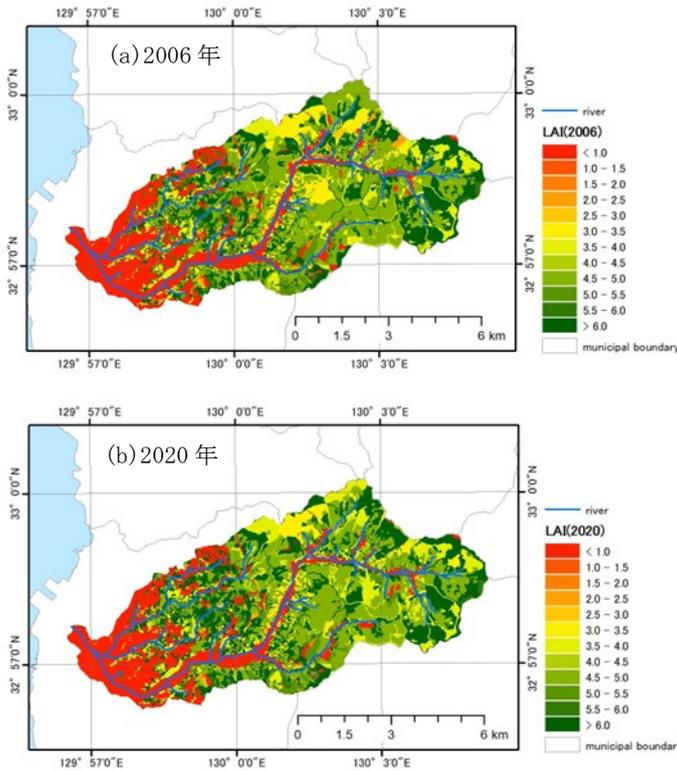


図7 森林生長モデルによる流域スケールでのLAI推定結果

供給サービスと

炭素吸収サービスの変化

領域	面積 (km <sup>2</sup> )	材積変化 (t/ha)	炭素蓄積量変化 (tC/ha)
下流	38.54	8.32	2.86
中流	31.04	9.00	3.55
上流	39.28	8.93	2.91

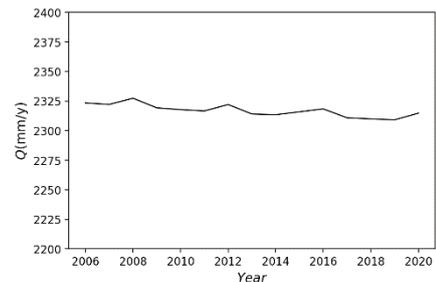


図8 気象条件を2020年に固定した場合の年水供給量の変化

状態を用いた年水供給量の変化を評価した(図8)。間伐や皆伐などによって森林が減少した箇所もあるが、森林の生長による蒸発散量の増加によって、水供給量が年々減少するであろうという予測がなされた。生物多様性サービスについては、郡川流域において2010年と2020年のアカショウビン、コルリ、サンショウクイ、ヤマドリの個体数を生物多様性評価モデルを用いて評価した。遠景景観サービスについては、広葉樹林と針葉樹林の占有面積の変化を森林生長モデル、およびGISデータより算出し、評価を行った。

以上のように、森林生態系サービスの4つのサービスを統合的に評価するため、①森林生長モデル、②木材供給能評価モデル、③炭素吸収評価モデル、④水文モデル、⑤生物多様性評価モデル、⑥遠景景観評価モデルの各要素モデルを構築、統合した。本モデルを用いることにより、流域スケールでの森林管理によって、各サービスがどのように変化するか評価可能となったと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kojima Toshiharu, Shimono Ryoma, Ota Takahiro, Hashimoto Hiroshi, Hasegawa Yasuhiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Development of a Model to Evaluate Water Conservation Function for Various Tree Species	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 588 ~ 588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w16040588	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 -

1. 著者名 Kojima, T.; Shimono, R.; Ota, T.; Hashimoto, H.; Hasegawa, Y	4. 巻 16
2. 論文標題 Development of a Model to Evaluate Water Conservation Function for Various Tree Species	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w16040588	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 太田 貴大、前波 晴彦、三浦 政司、竹島 喜芳、児島 利治、橋本 啓史	4. 巻 39
2. 論文標題 林業体験を通じて森林生態系サービスの供給と受益に対する気づきを促すシリアスボードゲーム『The Forest-est: 最上級の森林を目指した林業経営者の挑戦』の開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 環境共生	6. 最初と最後の頁 77 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32313/jahes.39.1_77	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 -

1. 著者名 Weilisi, Kojima Toshiharu	4. 巻 14
2. 論文標題 Investigation of Hyperparameter Setting of a Long Short-Term Memory Model Applied for Imputation of Missing Discharge Data of the Daihachiga River	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 213 ~ 213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w14020213	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 -

1. 著者名 児島利治, Weillisi, 大橋慶介	4. 巻 26
2. 論文標題 深層学習による流量欠損値の補完方法の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 137-142
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 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 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 橋本啓史
2. 発表標題 文献情報と植生図に基づいた流域内の森林性鳥類の個体数推定とシナリオ分析
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroshi Hashimoto
2. 発表標題 Estimation and scenario analysis of forest bird species populations during the breeding season in the upper Nagara river basin, Gifu Prefecture, Japan
3. 学会等名 3rd ESP Asia Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Hasegawa
2. 発表標題 Evaluation method of landscape beneficiary that changes due to leading artificial coniferous forests to broadleaf forests in Gujo City
3. 学会等名 3rd ESP Asia Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiharu Kojima
2. 発表標題 Relationship between forest growth and flood and draught mitigation function
3. 学会等名 3rd ESP Asia Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 児島利治, Weillisi, 大橋慶介
2. 発表標題 LSTMによる流量欠測補完方法の検討,
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kojima, Toshiharu 他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 356
3. 書名 River Basin Environment: Evaluation, Management and Conservation	

〔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
研究 分担 者	長谷川 泰洋  (Hasegawa Yasuhiro)  (10834913)	名古屋産業大学・現代ビジネス学部・准教授   (33935)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	橋本 啓史  (Hashimoto Hiroshi)  (30434616)	名城大学・農学部・准教授    (33919)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 3rd ESP Asia Conference	開催年 2021年～2021年
-----------------------------------	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------