

D2 生態系モデルを用いた気候変動下における森林生態系サービスの トレードオフ分析 ～モデル拡張とケーススタディ～

Trade-off Analysis among Forest Ecosystem Services under the Climate Change using an Ecosystem Model

– Model Extension and Case Study –

指導教員 町村尚准教授・地球循環共生工学領域

28H14048 古林知哉 (Tomoya FURUBAYASHI)

Abstract: Recently the climate change has become serious. So it is predicted that forest dynamics will change by environmental factor. Therefore it is expected for ecosystem models to estimate forest dynamics under the climate change and support forest management. In this study, I implemented a hybrid model by incorporating an empirical model in a biogeochemical process-based model Biome-BGC, and enabled it to support forest management. In addition, I quantified various ecosystem services that were affected by climate change and forest management, for example wood provisioning service, carbon sequestration service. It is expected that there is a trade-off relationship between these forest ecosystem services. So I analyzed the trade-off as a case study.

Keywords: Climate change, forest management, hybrid model, ecosystem services, trade-off analysis.

1. はじめに

近年、気候変動に伴う森林生態系サービスの変化が予測されており、生態系モデルを森林管理に利用することが期待されている。本研究では生態系モデルのうち、生物地球化学過程に基づくプロセスベースモデルである Biome-BGC に、林業の現場で蓄積された経験的なモデルである林分密度管理図を組み込むことによりハイブリッドモデルを開発し、気候変動や森林管理に応答する多様な森林生態系サービスを定量化することで、森林生態系サービス間のトレードオフを分析することを目的とする。

2. 分析方法

2. 1 Biome-BGC への密度効果および間伐の実装によるハイブリッドモデル化

Biome-BGC において、面積当たり立木幹炭素量 $[\text{kgC m}^{-2}]$ から面積当たりの森林の材積量 $[\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}]$ を計算し、林分密度管理図²⁾で立木密度 $[\text{ha}^{-1}]$ に変換することで、密度効果および間伐を表現できるモデルを開発した。密度効果は、林分密度管理図の式 (1) より得られる dN/dV と Biome-BGC より計算される年間材積成長量 dV/dT $[\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ 年}^{-1}]$ を乗じて、密度枯死率 m_N を求めるための式(2)を得た。

$$N = N_0 - N_0^{(1+\alpha)} \frac{V}{\kappa} \quad (1)$$

$$m_N = \frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = \frac{1}{N} \frac{dN}{dV} \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

N は立木密度 $[\text{ha}^{-1}]$, N_0 は初期立木密度 $[\text{ha}^{-1}]$, V は面積当たりの材積量 $[\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}]$, α , κ は樹種パラメータである。間伐では、間伐実行年と材積間伐率を設定し、間伐実行年の期首に材積間伐率に応じた材積量 $[\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}]$ を炭素換算し、それぞれの炭素プールを変化させることで立木密度を変化させた。

2. 2 ハイブリッドモデルによる森林生態系サービス間のトレードオフ解析

2. 1 で開発したモデルに対して、2つの気候シナリオと3つの管理シナリオの組み合わせでの木材供給サービス、生態系炭素貯蔵サービス、洪水抑制サービスの3種の森林生態系サービス間のトレードオフを分析した。気候シナリオは2000年の気候(現在)とRCP8.5シナリオの2100年の気候³⁾を採用した。管理シナリオは短伐期・中伐期・長伐期を設定し、それぞれ主伐期を40年・80年・120年とした。なお気象・地理データは兵庫県豊岡市、生態生理パラメータはヒノキでチューニングした。パラメータチューニングでは、北近畿・中国ヒノキ人工林収穫予想表を教師データ、材積量を目的関数として、初期最大葉炭素量、幹と葉の成長のアロケーション、地位に応じてNPPを制限する係数を最適化した。

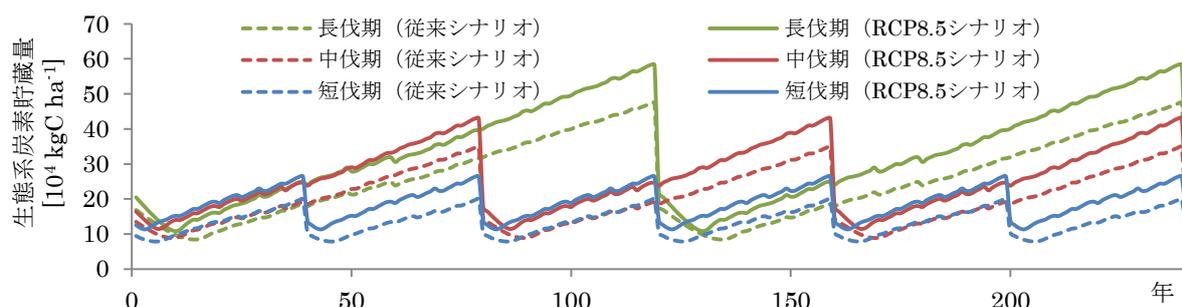


図1 各気候シナリオ・伐期ケースの生態系炭素貯蔵量

表1 各気候シナリオ・伐期ケースの木材供給量および生態系サービス指標

気候シナリオ	伐期	間伐材 [m ³ ha ⁻¹]	主伐材 [m ³ ha ⁻¹]	平均材積量 [m ³ 本 ⁻¹]	WPS	CSS	FCS
					[m ³ ha ⁻¹ 年 ⁻¹]	[kgC ha ⁻¹ 年 ⁻¹]	[mm 日 ⁻¹]
現在	短伐期	629.6	3240.6	0.52	16.1	13.3 × 10 ⁴	17.0
	中伐期	601.8	3351.7	2.50	16.5	20.2 × 10 ⁴	13.7
	長伐期	546.5	3265.1	5.17	15.9	25.9 × 10 ⁴	12.2
RCP8.5	短伐期	849.1	4115.0	0.80	20.7	18.9 × 10 ⁴	14.1
	中伐期	791.5	4089.8	3.84	20.3	25.8 × 10 ⁴	10.8
	長伐期	696.9	3941.6	8.19	19.3	33.0 × 10 ⁴	9.2

備考 - WPS: 木材供給サービス, CSS: 炭素貯蔵サービス, FCS: 洪水抑制サービス, 赤いセルはサービスが最大, 青いセルはサービスが最小.

3. 結果と考察

図1に森林生態系の炭素貯蔵量の動態を示す。生態系炭素貯蔵量は、再植林直後は減少傾向にあり、樹木の成長に伴い増加していき、主伐時に大きく減少した。伐期が長いほど平均炭素貯蔵量は増加した。気候変動シナリオでは同様の傾向がみられるとともに、従来シナリオと比較して生態系炭素貯蔵量は増加した。これは気温の上昇とCO₂施肥効果に伴う光合成量の増加によると考えられる。

各気候シナリオ、伐期ケースにおける木材供給量と各生態系サービス指標を表1に示す。表1左について気候シナリオを比較した場合、RCP8.5シナリオのほうが間伐材、主伐材ともに増加した。また、両気候シナリオに共通して、伐期が長いほど平均材積量は増加した。次に表1右の各生態系サービス指標をみる。生態系サービスのうちWPSは平均木材供給量、CSSは平均生態系炭素貯蔵量を示す。FCSはシミュレーション期間の日流出量の上位1%の値であり、小さいほどFCSが大きいことを示す。CSS、FCSは伐期が長いほど大きくなることがわかった。WPSは従来の気候では中伐期で最も大きく、RCP8.5シナリオでは伐期が短いほど大きくなり、他の生態系サービスとトレードオフの関係がみられた。

4. 今後の課題

特にFCSについて、今回の開発では基底流出を考慮していないという問題が生じているため、土壌中の水流出過程を表面流出と基底流出を表現可能にする必要がある。またWPSの他に、平均材積量や材積の断面積に応じて木材価値が算出される木材供給指標を作成する必要がある。気候変動に伴う災害や伝染病などの外部攪乱を表現可能なモデルに改良する必要がある。

参考文献

- 1) 林野庁：人工林分密度管理図，1999。
- 2) 兵庫県農林水産部林務課；ヒノキ人工林収穫予想表林分材積表，1985。
- 3) IPCC：第5次評価報告書，<<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>>(2015.01.22 参照)，2013。