

地球温暖化抑止のための森林管理システムに対する総合評価モデルの開発*

An integrated assessment model for forest management system to reduce global warming*

稲山孝典**・高木朗義***・北浦康嗣****

By Takanori INAYAMA**・Akiyoshi TAKAGI***・Koji KITAURA****

1. はじめに

適切な森林管理は、CO₂収支量の減少に繋がり地球温暖化を抑止する。しかしながら、現在では林業の衰退や人材不足が続いており多くの森林で十分な管理がなされず、地球温暖化抑止に貢献できていない森林が多い。ここで述べる森林管理とは、下刈・枝打ち・間伐などである。特に間伐は木材の成長を促す面でも重要である。木材は成長する際、二酸化炭素を吸収する。適切な森林管理は木材の成長を促し、地球温暖化抑止にも繋がる。しかし、多くの森林で十分な森林管理が行われていないのが現状である。本研究では、地球温暖化抑止のための森林管理システムに対する総合評価モデルの開発を行い、地球温暖化抑止に有効的な森林管理施策の提案する。

2. 本研究の位置づけ

森林管理評価に関する研究は数多くなされている。加用、荒巻、花木¹⁾は、日本国内の木質資源利用による炭素貯蔵およびCO₂排出削減効果のフロー・ストック分析に基づいた評価についての研究をしている。ここでは、化石燃料消費削減を重視して、木質資源を活用することを示し、今後の森林管理および木質資源利用の方向性を記している。また加用、天野、島田²⁾は、長期的炭素収支に基づく日本国内の森林経営手法の評価を行い、二酸化炭素吸収のための森林経営活動は、他の二酸化炭素削減施策の導入に比べ、1/15以下の費用負担で実行可能とも試算している。さらに、本研究で用いる環境評価と経済評価を合わせたモデルについても数多くの研究がなされている。高木ら³⁾は、流域GISを援用した総合評価モデルによる水環境改善施策の効果分析をしている。CGEモデルに基づく流域経済評価モデルと全窒素移動量に基づく流域環境評価モデルを連結した総合評価モデルの構築により、長良川流域において具体的な水環境改善施策について、効率的な施策を検討した。また先行研究^{4,5)}では、長良川流域におけるCO₂収支量に着目した森林管理システムの検討が行われている。施策による将来の林分状況を予測できる間伐モデルと、地域間産業連関表をデータセッ

*キーワード:地球温暖化, SCGEモデル, 森林管理システム
**非会員, 岐阜大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
***正員, 博(工), 岐阜大学教授, 社会基盤工学科

(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1, a_takagi@gifu-u.ac.jp)

****正員, 博(経), 岐阜大学助教, 社会基盤工学科

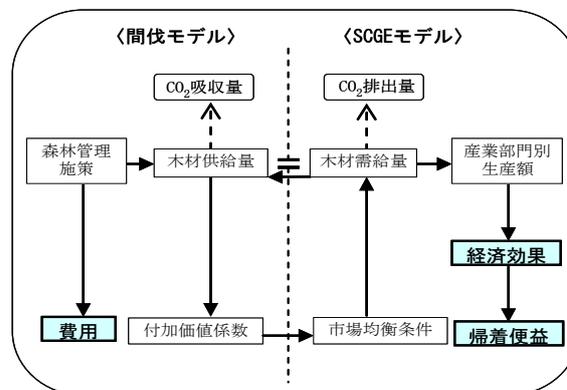


図1 森林管理システム総合評価モデル

トとして用いた経済評価モデルである地域間応用一般均衡(Spatial Computable General Equilibrium :以下SCGE)モデルを統合した森林管理システム評価モデルによる試算が行われている。

本研究では、地球温暖化抑止のための森林管理システムについて、CO₂収支量のみだけでなく、施策による経済面での効果分析も行い、森林管理システムを総合評価できるモデルを開発する。本研究では先に示したように、今日までに森林に関する様々な研究がなされている。しかし、森林管理評価は木材に関する消費、輸送、加工など林業を取り巻く産業を含めた広域的な評価を行うことで、森林管理システムについてより多面的な評価が可能となり、かつ有効的な地球温暖化抑止策の検討ができる可能性がある。森林管理施策が与える経済への波及効果を算出することで、森林管理を地球温暖化抑止に着目するだけでなく、施策の実現性を考慮することが可能となる。このように本研究では、CO₂収支に加え森林管理施策に対する社会的純便益を算出し、地球温暖化抑止のための森林管理システムを検討する。

3. 総合評価モデルの概要

総合的な森林管理システムを検討するためのモデルを構築した。ここで、既存モデルの整理とその改良点を示す。森林管理システム総合評価モデルでは間伐モデルと地域間応用一般均衡(SCGE)モデルを統合したものである(図1)。間伐モデルでは、森林管理の影響を考慮し、森林内の樹木の成長を推計することが可能である。その結果、施策による将来の木材蓄積量が予測でき、CO₂収支量を試算可能な評価モデルである(式

$$2.1). C_{in} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot [W - (1 - r_n) \cdot \mu \cdot V'] \quad (2.1)$$

ここで C_{in} : CO₂ 吸収量, β_1 : 拡大係数(1.7), β_2 : 木材比重(0.4), β_3 : 炭素含有量(0.5), W : 材積成長量, r_n : n 期における間伐材利用率, μ : 腐朽速度(0.1/年) V' : 切り捨て間伐材量を表す. 他方, SCGE モデルでは, 地域間産業連関表をデータセットとすることで, 地域間及び主体間の相互関係を考慮した経済波及効果を計測可能である. 間伐モデルより推定された木材蓄積量から生産額と財価格を推定し, 各産業の生産額に CO₂ 排出量原単位を乗じて CO₂ 排出量を推計する(式 2.2)

$$C_{out} = \alpha \cdot P \quad (2.2)$$

ここで C_{out} : CO₂ 排出量, α : CO₂ 排出量原単位, P : 生産額, C_{net} : CO₂ 収支量を表す.

以上より森林管理施策によるCO₂収支量を算定する(式 2.3).

$$C_{net} = C_{out} - C_{in} \quad (2.3)$$

本モデルは, 式 2. 4, 5より最終的な帰着先である家計の効用変化分に対して等価的偏差の概念を用いて計量化し, 森林管理施策による社会的純便益(Social Net Benefit:以下SNB)を算出可能なモデルである.

$$V(p_H^{wo}, p_C^{wo}, M^{1wo} + EV) = V(p_H^w, p_C^w, M^{1w}) = V^w \quad (2.4)$$

$$SNB^j = \sum_t \frac{EV_t^j}{(1+i)^t} \quad (2.5)$$

ここで, SNB^j : 地域 j における社会的純便益, i : 社会的割引率, EV_t^j : 地域 j の t 期における等価的偏差を表す. 尚, 2000 年から 5 年ごとに算出しているのので, 当該期から 5 年間は EV を同値としている. ここで p_H : 当該消費財価格, p_C : 貯蓄価格, M^1 : 総所得, V : 効用水準, 添字 w : 施策有, wo : 施策無を表す.

さらに, 本モデルでは複合施策評価のための施策設定条件にて, 投入係数の変化率を表す変数を各施策オプションに設け, 複合施策評価を可能とした(式 2. 6).

$$a_{ij}^{rs'} = e_k \cdot a_{ij}^{rs} \quad (2.6)$$

ここで, a : 変化前の投入係数, a' : 変化後の投入係数, e_k : 施策オプション k における投入係数変化率を表す.

4. 地球温暖化抑止のための森林管理システム

(1) 施策オプション

間伐材の多くはそのまま森林に放置されており, CO₂排出の要因となる切り捨て間伐材に対して新たな市場価値を見出し, できるだけ利用されることが望ましい. 本研究では長良川流域 6 地域(郡上・美濃・関・岐阜・本巣・羽島)を対象に以下の森林管理施策につい

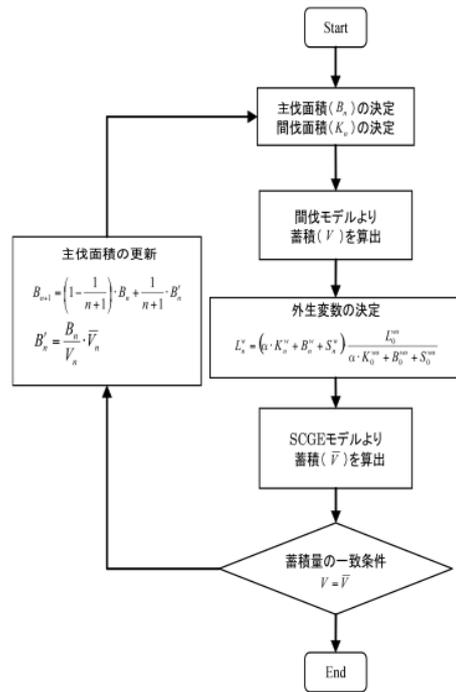


図2 モデル統合フローチャート

表1 産業区分

1 農業	13 製材・合板・チップ	25 電力
2 育林	14 その他の木製品	26 都市ガス・熱供給業
3 スギ	15 家具・装備品	27 水道
4 マツ	16 パルプ	28 廃棄物処理
5 ヒノキ	17 紙	29 商業
6 それ以外の素材	18 その他の製造工業製品	30 金融・保険・不動産
7 特用林産物	19 化学製品	31 運輸
8 海面漁業	20 石油・石炭・窯業・土石製品	32 サービス
9 内水面漁業	21 金属	33 公務
10 鉱業	22 機械	34 旅館・その他の宿泊所
11 食料品	23 住宅	35 その他
12 繊維製品	24 土木・建築	

て効果分析した. さらに, 施策の相乗効果について定量的評価を行うため, 複合施策についても分析する. 尚, 各間伐材利用率を i , ii , iii では 50%, 100%, v , vi では 100% とする.

i 間伐材の建設用木材への利用促進
ii 間伐材を利用した木質バイオマス発電
iii 間伐材を利用した熱供給
iv 高性能林業マシン導入
v 建設用木材と高性能林業マシン導入
vi 木質バイオマス発電と熱供給

(2) 総合評価モデル上での表現方法

森林管理システム評価モデル内のSCGEモデルでは, 間伐材利用促進施策について対象となる産業部門間(表1)での投入係数を変化させる. 高性能林業マシン導入については, 付加価値係数を減少させる. 導入に際し, 46.4%の労働力が軽減できるとする. その付加価値係数の減少分は稼働に伴い化石燃料の使用量が増加するため, 林業関連部門での「石油・石炭・窯業・土石製品」部門での投入係数を増加させる.

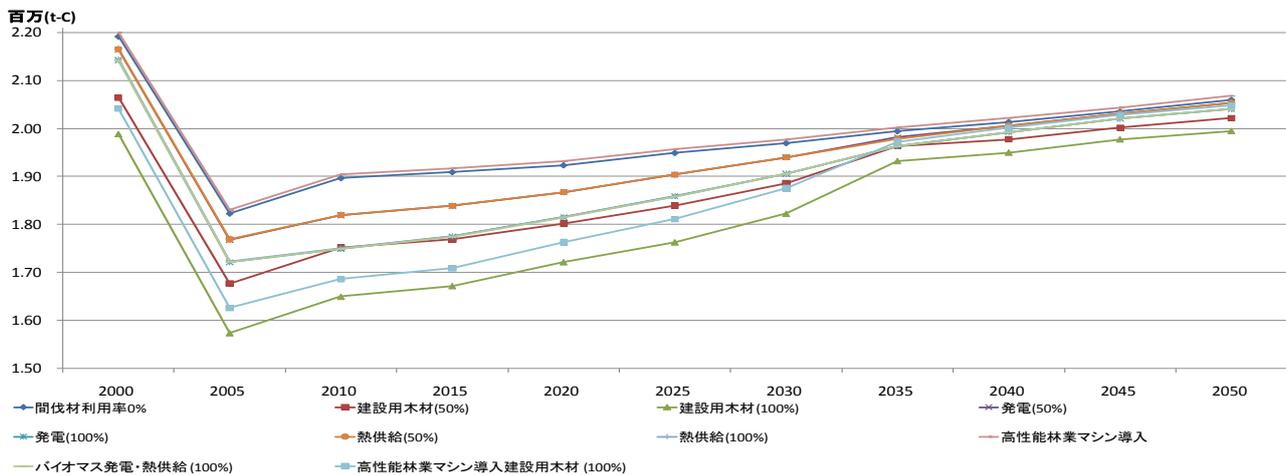


図3 各施策オプションでのCO₂収支量の推移

表3 各施策オプションでの社会的純便益(プロジェクトライフ50年)

	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域
建設用木材(50%)	264,555	28,553	-11,142	-31,710	-7,029	-14,369	228,859
建設用木材(100%)	589,033	116,477	-24,386	-79,966	-17,139	-37,691	546,328
バイオマス発電(50%)	48,219	-165	-2,669	-9,613	-1,801	-5,571	28,400
バイオマス発電(100%)	111,111	8,052	-6,253	-21,994	-4,094	-12,512	74,311
バイオマス熱供給(50%)	47,713	-647	-4,177	-15,408	-2,756	-8,602	16,123
バイオマス熱供給(100%)	110,019	7,087	-9,226	-33,350	-5,980	-18,502	50,047
高性能林業マシン導入	1,478	535	751	498	156	405	3,823
マシン導入, 建設用木材(100%)	384,144	28,001	-8,774	-32,161	-6,723	-12,981	351,507
バイオマス発電・熱供給	111,033	7,974	-6,451	-22,787	-4,226	-12,927	72,615

(百万円/50年)

5. 地球温暖化抑止策の効果分析

図3に各施策オプションでの流域全体でのCO₂収支量の推移を示す。プロジェクトライフ50年間で2005年が最もCO₂収支量が低い結果となった。これは図4に示す間伐材蓄積量の推移が関係していると考えられる。図4から各期において郡上地域の間伐材蓄積量が他地域と比較して豊富であることがわかる。次いで、美濃・関・本巣地域となり、岐阜・羽島地域においては、間伐材蓄積量が僅かしかない。また、プロジェクトライフ50年間で2005年において最大蓄積量となり、その後は減少し2035年では最小蓄積量となる。2005年と2035年において間伐材蓄積量は郡上地域で約8倍の差がある。間伐材蓄積量が豊富な2005年では、化石燃料の代替材として間伐材が多量に使用されたため、CO₂収支量が他の期と比較して低下している。また、間伐材蓄積量の減少に関連し、CO₂収支量については増加していることがわかる。各施策オプションについて、単独・複合の両施策ではi 間伐材の建設用木材への利用促進施策(100%)が最もCO₂収支量が少なく、間伐材利用率0%と比較して年平均約15.6万(t-C)削減結果となった(表2)。iv 高性能林業マシン導入については単独で行った際、CO₂収支量は増加する結果となった。

表3には、各施策オプションでの社会的純便益(SNB)の算出結果を示す。こちらもCO₂収支量と同様にi 間伐材の建設用木材への利用促進施策(100%)が最も社会的純便益が高い結果となった。基準年に

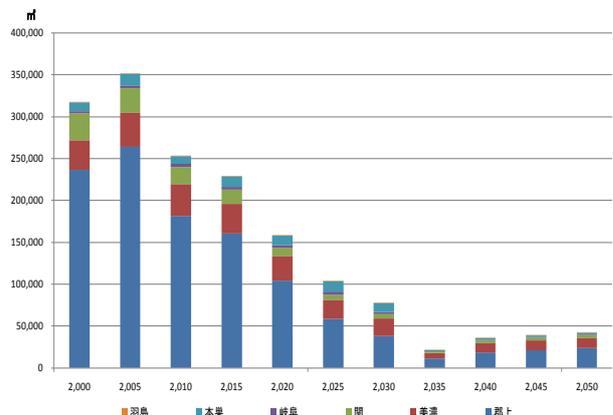


図4 間伐材蓄積量の推移

表2 CO₂収支量の推移と年平均削減量(建設用木材)

間伐材利用率	2000	2005	2010	2015	2020	2025
0%	2,192,135	1,822,812	1,896,679	1,909,112	1,923,509	1,949,193
50%	2,064,134	1,676,857	1,752,131	1,768,906	1,801,688	1,839,341
100%	1,988,560	1,573,844	1,649,551	1,671,879	1,721,559	1,762,925
間伐材利用率	2,030	2,035	2,040	2,045	2,050	年平均削減量
0%	1,969,633	1,994,476	2,013,895	2,035,441	2,060,228	-
50%	1,885,928	1,963,578	1,977,406	2,001,804	2,021,775	▲ 92,142
100%	1,822,454	1,932,238	1,949,900	1,977,441	1,995,006	▲ 156,523

単位:(t-C/年)

における対象産業の市場規模にもよるが、他の施策と比較して有効的であることがわかった。図5には、i 間伐材の建設用木材への利用促進施策(100%)での地域便益の推移を示す。図5より、郡上地域での便益が他地域と比較して高いことがわかる。また便益が正となる地域は郡上・美濃地域でとなった。これらは間伐材蓄積量の比較的豊富な地域であり、それに伴

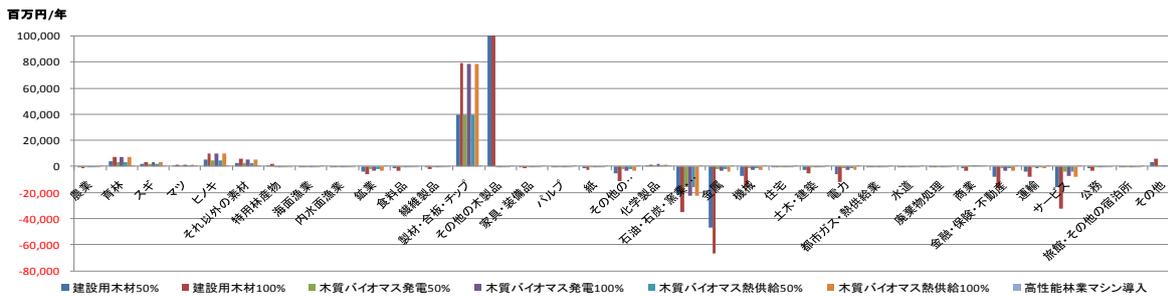


図6 2010年における産業別生産額の基準年との変化額

表4 各評価項目における施策オプションの順位

No.	CO2収支量の削減量	社会的純便益(SNB)
1	建設用木材(100%)	建設用木材(100%)
2	高性能林業マシン導入+建設用木材(100%)	高性能林業マシン導入+建設用木材(100%)
3	建設用木材(50%)	建設用木材(50%)
4	バイオマス発電+熱供給(100%)	バイオマス発電(100%)
5	バイオマス発電(100%)	バイオマス発電+熱供給(100%)
6	熱供給(100%)	熱供給(100%)
7	熱供給(50%)	バイオマス発電(50%)
8	バイオマス発電(50%)	熱供給(50%)
9	高性能林業マシン導入	高性能林業マシン導入

※色つきは複合施策を示す

い、地域便益も高い結果となった。つまり、間伐材蓄積量の影響が表れた結果といえる。そのため、間伐材蓄積量が増加するにつれて郡上・美濃地域では地域便益も増加する傾向にある。一方、その他の地域では、間伐材蓄積量が増加するにつれて地域便益は減少する傾向にある。しかしながら、郡上・美濃地域の地域便益の影響から流域全体では正の便益となる。

図6には、最も地域便益が高い結果となった2010年における産業別生産額の基準年との変化額を示す。特に突出している産業としては「製材・合板・チップ」、 「その他の木製品」部門となる。これらは、施策の設定条件において投入係数を変化させた産業であり、間伐材利用に伴い産業生産額が増加したと考えられる。また、その他の木材関連産業についても増加傾向にあることがわかる。一方、投入係数を下げた産業「石油・石炭・窯業・土石」部門、「金属」部門においては、他の産業と比較して減少額が大きい結果となった。

6. おわりに

開発したモデルを用いて高性能林業マシン導入、間伐材利用率・利用用途を変化させた施策オプションについて試算した。単独施策、複合施策において **i 建設用木材への間伐材の利用促進施策**を単独で行うことが、CO₂収支量・社会的純便益ともに最も高いという結果を得た。高性能林業マシン導入は化石燃料の使用に伴いCO₂収支量が増加したため、建設用木材への間伐材の利用促進施策を並行して行うことで、CO₂収支量の削減効果を得られた。しかし、**v 建設用木材への間伐材の利用促進施策と高性能林業マシン導入**を並行して行う場合より **i 建設用木材への間伐材の利用促進施策**を単独で行う場合の方がCO₂収支量・社会的純便益の両面において高かった。そのため高性能林業マシン導入について生産効率の上昇という利点があるが、CO₂収

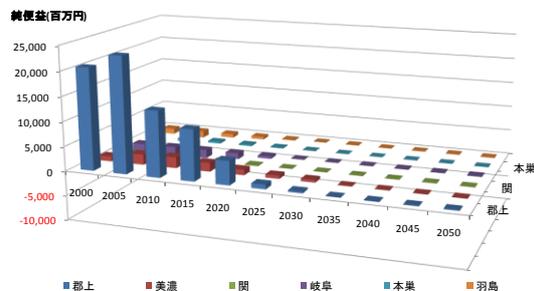


図5-a 地域便益(建設用木材：50%)

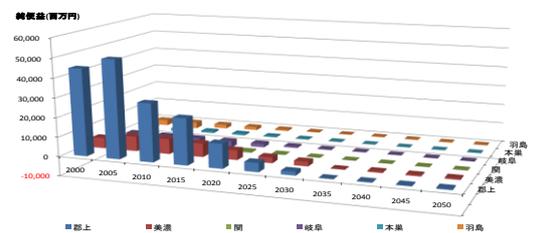


図5-b 地域便益(建設用木材：100%)

支量・社会的純便益に関しては導入しない方が望ましいという結果が得られた。

参考文献

- 1) 加用千裕, 荒巻俊也, 花木啓祐: 日本国内の木質資源利用による炭素貯蔵およびCO₂排出削減効果のフロー・ストック分析に基づく評価, 環境システム研究論文集 Vol.37, pp229-237, 2009
- 2) 加用千裕, 天野耕二, 島田幸司: 長期的炭素収支に基づく日本国内の森林経営手法の評価, 環境システム研究論文集 Vol.34, pp235-242, 2006
- 3) 高木朗義, 篠田成朗, 西川薫, 松田尚志, 片桐猛, 永田貴子: 流域GISを援用した総合評価モデルによる水環境改善施策の効果分析, 環境システム研究論文集 Vol.34, pp553-561, 2006
- 4) 杉本達哉, 高木朗義: 長良川流域におけるCO₂収支量に着目した総合的な森林管理システム評価モデルの構築, 地球環境研究論文集 Vol.17, pp103-113, 2009.
- 5) 杉本達哉, 高木朗義: CO₂収支量に着目した長良川流域における総合的な森林管理システムの検討, 環境システム研究論文集 Vol.37, pp201-210, 2009.