

14. 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

杉本 達哉¹・高木 朗義^{2*}

¹八千代エンジニアリング株式会社技術推進本部社会マネジメント部企画開発課
(〒161-8575 東京都新宿区西落合2-18-12)

²岐阜大学工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

*E-mail: a_takagi@gifu-u.ac.jp

地球温暖化抑止に貢献するためにはCO₂収支量に基づいて総合的な視点から森林管理システムを検討する必要がある。本研究では、CO₂収支量に着目した総合的な森林管理システムを評価するために、林業の枠を超えて、木材の用途や輸送への影響も捉えることが可能なモデルを構築した。また、評価モデルを用いてCO₂排出抑制のための間伐材利用促進策を評価した。その結果、間伐材利用により切り捨て間伐からのCO₂放出を防ぐことができ、また他材料の代替財としてCO₂排出量抑止効果が見込めることを確認した。具体的には、間伐材利用率を10%増加し、それを建設用木材に利用した場合、50年間で約231万(t-C)の排出量が抑止されるという試算結果を得た。

Key Words : *Global Warming, Nagara River Basin, CO₂, Integrated Forest Management, Spatial Computable General Equilibrium Model*

1. はじめに

現在、長良川流域の森林は他地域と同様、適切に管理されない森林が増加しており、公益的機能が低下している。森林管理には下刈・枝打ち・間伐などがあり、特に間伐は健全で活力ある森林を育成するにあたって重要な作業とされている。しかし、コスト面や人材不足といった問題から林業の不振が続いているため、費用のかかる間伐等の森林管理システムが有効に機能していない。

一方、2001年のCOP7におけるマラケシュ合意によって、CO₂削減目標のうち上限3.9% (1300万(t-C))を森林吸収源による削減として扱うことが認められた。すなわち、森林管理がCO₂削減行動となることが定められ、地球温暖化抑止策として期待が寄せられている。しかし、現状では上限の約75%である970万(t-C)のCO₂吸収量に留まっており、より多くのCO₂吸収量を確保するために森林管理を促進する必要性が叫ばれている。

森林管理をCO₂吸収量確保のみの行動と捉えることは、地球温暖化抑止に貢献するための森林管理システムを検討する上では不十分である。なぜなら、森林自体はCO₂吸収源であるが、森林管理は林業機械導入・木材加工・木材輸送などCO₂を排出する活動であるからである。したがって、地球温暖化抑止のための森林管理システムを検討するためにはCO₂収支について考える必要がある。

本研究では、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の評価モデルを構築することを目的とする。評価モデルは対象地域の森林状態を把握する間伐モデルと市場経済を把握する経済評価モデル（地域間応用一般均衡（Spatial Computable General Equilibrium ; SCGE）モデル）を統合したものであり、森林管理システム全体におけるCO₂収支量を評価可能なモデルとする。これにより、森林の成長によるCO₂吸収から管理活動によるCO₂排出までの一連について、林業以外の他産業への波及効果も含めた森林管理システムを評価することができる。さらに、構築したモデルを用いて間伐材の利用によるCO₂排出抑制策を評価する。近年、間伐材は森林管理を行うに当たって重要な要素となっている。間伐材利用によるCO₂収支量への影響を評価することで、利用の有効性を示す。すなわち、本研究では、森林管理システムを経済システムの一部として捉えるために、SCGEモデルを用いるものの、SCGEモデルが得意とする経済厚生分析には主眼は置かず、SCGEモデルの役割はそこから得られる情報によりCO₂排出量を算定することに主眼を置くものとし、森林管理システムの川上から川下まで、つまり森林の成長によるCO₂吸収から森林管理によるCO₂排出までを総合的に捉え、社会経済システム全体としてのCO₂収支量を把握することに焦点を当てるものとする。

2. 本研究の位置付け

森林管理の評価については、これまでに様々な研究がされている。例えば、加用ら¹⁾は長期的炭素収支に基づきCO₂吸収量が見込まれる森林経営手法の検討を行なっている。さらに、森林管理経営手法ごとの木材生産による経営収支に基づいた経済的評価を行なっている。ここでは、試算結果から二酸化炭素を吸収するための森林経営活動が他の二酸化炭素削減施策の導入よりも1/15以下の費用負担で可能であることを示している。また、陳ら²⁾は森林環境税を理論化することで、県民税による森林環境整備を検討している。森林環境税の収入を森林保全に当てる地域モデルを構築することで森林環境税の存在理由やあるべき姿を示している。一方、著者らは長良川を対象に流域水環境変化が経済活動へもたらす影響を捉えるために水環境モデルと経済評価モデル(SCGEモデル)を統合した総合環境評価モデルを構築している³⁾。本研究ではこの先行研究で使用されているSCGEモデルを拡張し、間伐モデルと統合することで森林管理システムによる影響を総合的に評価することを目指す。

SCGEモデルについては、これまでに数多くの研究が行なわれ、様々なタイプのモデルが提案されている。例えば、GTAP(Global Trade Analysis Project)モデル⁴⁾は、国際貿易分析モデルとして数多くの実際の政策評価に適用されており、プログラムやデータなども一般に公開されている。その中には、温室効果ガス削減のポテンシャル評価のための土地利用データも用意されている⁵⁾。また、REAM-Lightモデル⁶⁾も汎用性の高いSCGEモデルであり、社会資本整備(主に道路ネットワーク整備)に対する経済評価を行なうことができる。様々なバリエーションを所持しており、特に本研究と同様に対象地域を小地域に分割した経済評価が可能である⁷⁾。このようにSCGEモデルは、著者らのモデルを含む様々なモデルが並行して開発されている状況にある。したがって、本研究で構築するSCGEモデルは、先行研究のSCGEモデルをベースとして、以下に示す「間伐モデル」と統合するために改良するとともに、森林管理システムを詳細に評価するためにデータベースを改良するものである。

一方、本研究では、森林管理による森林の成長量を予測し、CO₂の吸収量を算出するモデルを構築する。本研究では、これを「間伐モデル」と呼ぶ。このように森林の成長量を予測するモデルも様々なものがある。例えば、FADAS¹⁰⁾は、森林総合研究所が開発した森林資源予測モデルで、与えられた需給量等の下での森林伐採面積および森林資源の変化を推計するモデルであり、間伐による森林資源の変化を予測することが可能である。また、松本・泉・藤原¹¹⁾は、森林を林分群として捉え林分密度管理図を用いて構成し、想定した施業下での森林推移を予

測するモデルを構築している。さらに、中島・白石¹²⁾は、システム収獲表LYCSを用いた森林の成長モデルを開発している。本研究で用いる間伐モデルは、「シルブの森岐阜版¹³⁾」を長良川流域全体の森林を評価できるように拡張したモデルである。シルブの森岐阜県スギ版は田中が開発した「シルブの森¹⁴⁾」をベースに、岐阜県森林研究所が岐阜県のスギ人工林(一般地域)に合うよう調整したシステム収獲表である。したがって、本研究で構築する間伐モデルは、既往モデルをベースとして、データをセットして長良川流域全体に適用可能とし、SCGEモデルと統合するために改良するものである。

以上のことから、本研究は、森林管理システムをCO₂の収支量に着目して総合的に評価するために、森林管理を林業の枠を超えて、木材の利用用途(代替性)や運搬先などが考慮できることを特徴としている。また、林業と他産業が関連していることが一般均衡により表現されているため、例えば、高性能林業機械を導入した際の他産業に与える影響などの林業による波及効果も計ることができる。これにより総合的な視点から森林管理システムの検討を可能としている。具体的には、森林管理に関するCO₂の収支量を社会経済システム全体で捉えていることに最も特徴があると言える。

本論文では、まず3.で、森林管理システム評価モデルを構築する。次に4.で、評価モデルに用いるデータセットを作成する。5.では、評価モデルを用いて岐阜県での森林管理計画について評価を試み、モデルの適用性を検証する。さらに6.では、いくつかの間伐材利用促進策を想定し、施策によるCO₂収支量への影響を評価することで、本モデルの有効性を確認する。

3. 森林管理システム評価モデルの構築

総合的な森林管理システムを評価するためには、森林内・外の活動を捉える必要がある。本研究では、二つのモデルを統合することによって総合的な森林管理システムを評価可能なモデルを構築する。

(1) 森林管理システム評価モデルの概要

森林管理システム評価モデルとは、森林管理を林業の枠を超えて、木材の利用用途(代替性)や運搬先などを考慮してCO₂収支量に着目した評価が可能なモデルである。評価モデルは、二つのモデルを統合した構造になっている。一つは、間伐モデルであり、これを用いることで、森林管理の影響を考慮して森林内の樹木の成長を推計することができる。一つは、経済評価モデルであり、具体的にはSCGEモデルである。このモデルを用いることで、各産業間の「購入・生産・販売」の関係、地域間

の交易の関係を考慮して森林管理による他産業への影響を地域ごとに把握することができる。

それぞれのモデルからCO₂吸収量とCO₂排出量を算出して、森林管理システムからのCO₂収支量の推計を可能にする。間伐モデルからは、森林内の樹木の材積成長量が推計されるため、そこからCO₂吸収量を算出する。SCGEモデルからは各産業の生産額が推計されるため、そこからCO₂排出量を算出する。これによりCO₂収支量の推計を行う。図1に森林管理システム評価モデルの体系を示す。

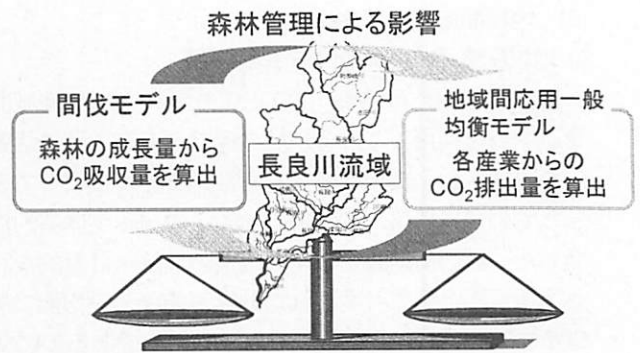


図1 森林管理システム評価モデルの体系

(2) 間伐モデル

a) 間伐モデルの概要

先述したように間伐モデルは、「シルブの森岐阜版」（岐阜県のスギ人工林（一般地域）に合うよう調整したシステム収獲表）を長良川流域全体の森林を評価できるように拡張したモデルである。人工林管理のためには、林分の現況把握と将来の林分における成長量や収獲量の予測が重要である。従来は人工林の収獲量を予測するために、収獲表や密度管理図がよく用いられてきた。しかし、これらから得られる情報は、林分の平均樹高、平均胸高直径や材積などに限られており、直径階別の本数分布を予測することができなかった。「シルブの森岐阜版」では、実際の林況に基づいて林分の成長を予測することができ、システム上で間伐の時期や本数を入力すると将来の林分の直径階分布や材積量が予測できる。したがって、間伐計画を変更することによって、将来の林分の姿を比較検討することが可能である。材積量の推計フローを図2に示す。

b) モデルの拡張

長良川流域全体の森林を評価可能とするために、「シルブの森岐阜版」を間伐モデルへ拡張する。「シルブの森岐阜版」は、単一の林分に対してのみ材積量が推計可能なモデルである。そのため本研究では、森林内の全ての林分を推計可能とするためにモデルの拡張を行う。

c) 間伐・主伐箇所選定方法の設定

モデル内での間伐箇所選定・主伐箇所選定方法の扱いについて整理する。

本モデルでは、2000年での予算制約内で間伐を実施することとする。さらに、その期に余った予算は次の期に持ち越すこととする。間伐を行うためには予算が必要である。そのため、間伐を実施しなければならない箇所があったとしても、全て実施することはできない。本研究では、2000年での間伐面積を予算制約として仮定し、その制約の中で、間伐を必要とする森林に対して間伐を実施する。

また、間伐の実績がある森林への間伐を優先して行うこととする。なぜなら、森林管理を行う上で、林道は重

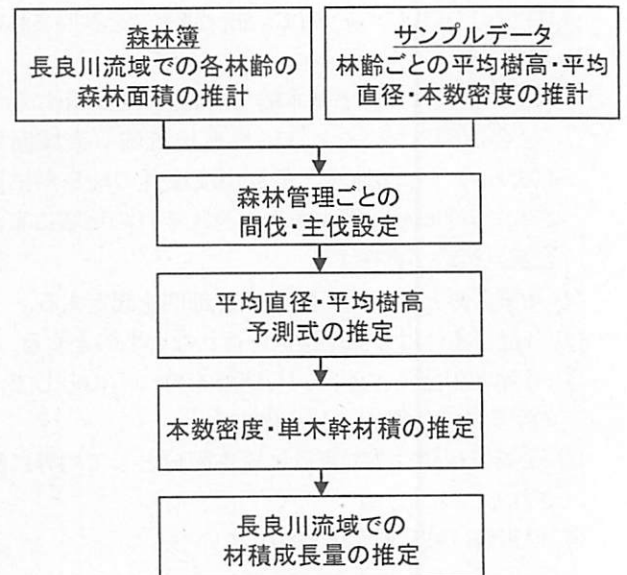


図2 材積成長量の推計フロー

要な要素であり、林道が整備されている箇所での森林管理は容易であるため、優先されて実施されると考えられる。本研究では林道の整備状況は変わらないと仮定し、間伐実績がある森林はその後効率的な観点から管理されると設定する。

主伐は高林齢な林分から行うこととする。樹木は高林齢であるほど単木幹材積が大きい。一本当たりより多くの材積量を搬出するために高林齢のものから主伐を行うこととする。

このような間伐のスケジューリング問題は、一般的な環境資源計画と同様の問題であるが、内生的に間伐の順序まで決定しているものは見当たらない。しかし、一般的な環境資源については、著者らの先行研究でも構築している均衡制約付き数理計画問題¹⁵⁾を含め、多くの既往研究において、内生的に環境政策スケジュールの最適解を求めているモデルが存在する。本研究では、間伐スケジュールはシナリオとして与えて、その影響を分析することに留めるが、既往研究などを参考にして、将来的には内生的に間伐スケジュールを求めることが可能なモデルへと拡張したい。

(3) 地域間応用一般均衡モデル

a) 地域間応用一般均衡モデルの概要

地域間応用一般均衡 (SCGE) モデルとは、地域間産業連関表を利用して、各地域の家計や産業の経済活動や市場機構、および地域間取引を数理モデルによって表現したものである¹⁰⁾。SCGEモデルは、Walrasが体系的に展開した一般均衡理論を種々の政策の実証・計量的な評価へ適用するために考案された計算可能な一般均衡であるCGEモデルが1地域を対象にしたモデルであるのに対し、多地域に拡張したモデルであり、施策による地域間取引の評価ができる。なお、本研究のSCGEモデルにおける具体的な定式化については、先行研究^{3,4)}を参照されたい。

b) 前提条件

モデル構築における基本的な前提条件を以下に示す。

- ① 社会は図3に示すように長良川流域（流域面積：1,985km²）内の6地域と長良川流域外の岐阜県に区分された7地域から構成され、それぞれの地域に家計、企業、行政が存在する。
- ② 産業区分としては、表1の35部門を想定する。
- ③ 各経済主体は、立地選択を行わないものとする。
- ④ 各地域の経済主体は同じ選好を持つものとして、その平均的な行動をモデル化する。
- ⑤ 企業の利潤は全て家計に資本配分として均等に配分される。
- ⑥ 財市場は岐阜県全体で閉じている。

(4) モデルの統合

(2), (3)で示した二つのモデルを統合することで森林管理システム評価モデルを構築する。

a) 統合方法

間伐モデルで算出される素材供給量（単位：m³）とSCGEモデルで算出される素材供給量（単位：m³、素材生産額を価格で除して算出）を一致させることによりモデルを統合する。まず、間伐モデルによって、ある森林管理の活動変化を与えることで蓄積供給量が算出される。次に、活動変化による影響を受けた地域経済活動を示すために、活動変化から外生変数を決定させる。その外生変数をSCGEモデルに与えることで、素材供給量を算出する。さらに、各素材供給量から主伐面積を更新させる。以上の流れを繰り返し行い、均衡計算をすることにより材積量を一致させる。計算フローを図4に示す。

また、外生変数は付加価値係数とする。これは林業セクターにおける一単位生産当たりの労働量を示すものであり、労働効率性を示している。具体的には、主伐・間伐・植栽を行う面積の変化比を活動変化比として乗じることによって活動変化を表現する。これによりSCGEモデルでの森林管理の活動変化が表現される。式(1)に外生変数の変更方法を示す。

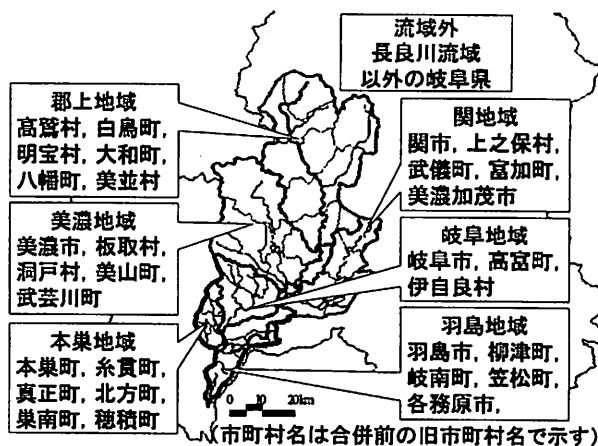


図3 対象地域とその区分

表1 産業区分表

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

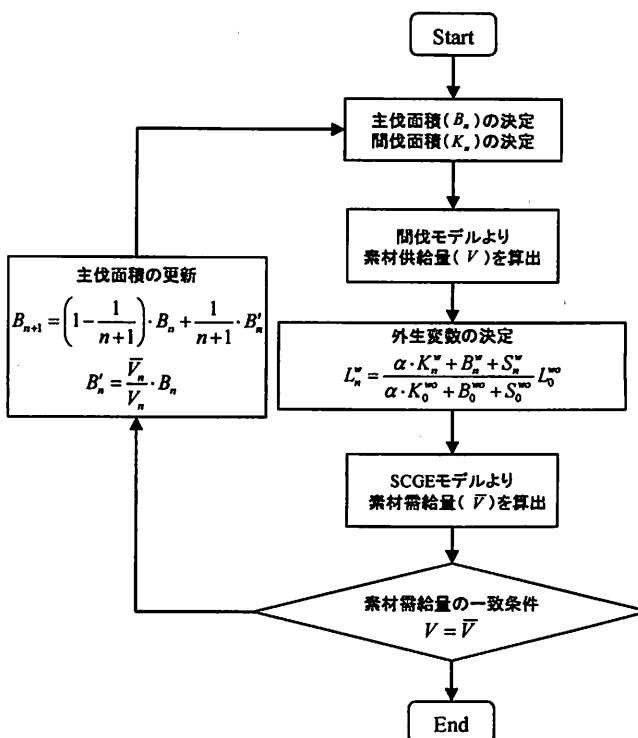


図4 モデル統合の計算フロー

$$L_n^w = \frac{\alpha \cdot K_n^w + B_n^w + S_n^w}{\alpha \cdot K_0^{wo} + B_0^{wo} + S_0^{wo}} L_0^{wo} \quad (1)$$

ここで、 L_n^w : n 期における with での外生変数、 K_0^{wo} : 基準年における without での間伐面積、 B_0^{wo} : 基準年における without での主伐面積、 S_0^{wo} : 基準年における without での植栽面積、 α : 間伐率を表す。

主伐面積を決定する際に、逐次平均法を用いることで主伐面積の更新を行う。式を以下に示す。

$$B_{n+1} = \left(1 - \frac{1}{n+1}\right) \cdot B_n + \frac{1}{n+1} \cdot B'_n \quad (2a)$$

$$B'_n = \frac{B_n}{V_n} \cdot \bar{V}_n \quad (2b)$$

ここで、 B_n : n 回目での主伐面積、 $\bar{V}_n$: n 回目での SCGE モデルでの素材供給量、 V_n : n 回目での間伐モデルでの素材供給量、 n : ステップ数を示す。

以上により、間伐モデルと SCGE モデルを統合することで森林管理システム評価モデルを構築する。

b) CO₂収支量の算定方法

間伐モデルより CO₂吸収量を推計し、SCGE モデルより CO₂排出量を推計して、CO₂収支量を算出する。

間伐モデルによって材積成長量が推計される。一方、間伐材はすべて切り捨て間伐として扱い、10 年経過後 CO₂ を完全に放出するものとする⁹⁾。また、CO₂ 放出の推移は線形とし、1 年で 10% ずつ CO₂ を放出するものとする。以上のことを踏まえて、次式により CO₂ 吸収量を算出する。

$$C_{in} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot (W - \mu \cdot V') \quad (3)$$

ここで、 C_{in} : CO₂吸収量、 β_1 : 拡大係数(1.7)¹⁷⁾、 β_2 : 木材比重(0.4)¹⁷⁾、 β_3 : 炭素含有量(0.5)¹⁷⁾、 W : 材積成長量、 μ : 腐朽速度(0.1/年)、 V' : 切り捨て間伐材量。

SCGE モデルから各生産額が推計されるため、それらを用いて、以下の式により CO₂排出量を算出する。

$$C_{out} = \gamma \cdot P \quad (4)$$

ここで、 C_{out} : CO₂排出量、 γ : CO₂排出量原単位、 P : 生産額を表す。CO₂排出量原単位は表2に示す値を用いる。

4. データセットの作成

森林管理システム評価モデルに使用する森林関連・産業関連のデータセットを作成する。森林関連データセットとは間伐モデルに用い、産業関連データセットとは地

表2 CO₂排出量原単位¹⁸⁾

項目	単位直接 CO2排出量 (t-C/百万 円)	項目	単位直接 CO2排出量 (t-C/百万 円)
農業	0.179	石油・石炭 ・窯業・土石製品	1.591
育林	0.018	金属	1.298
素材	0.118	機械	0.036
特用林産物 (含狩猟業)	0.794	住宅	0.023
海面漁業	1.310	土木・建築	0.082
内水面漁業 ・養殖業	0.273	電力	6.140
鉱業	0.146	都市ガス ・熱供給業	0.188
食料品	0.104	水道	0.292
繊維製品	0.137	廃棄物処理	2.190
製材・合板・チップ	0.046	商業	0.036
その他の木製品	0.062	金融・保険・不動産	0.011
家具・装備品	0.047	運輸	1.154
パルプ	0.586	サービス	0.061
紙	0.434	公務	0.013
その他の製造 工業製品	0.071	旅館 ・その他の宿泊所	0.000
化学製品	0.528	その他	0.078

表3 森林分布表 (スギ) (ha)

スギ 齢級	代表 林齢	面積						
		郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	
1		—	—	—	—	—	—	—
2		87	54	2	1	3	0	
3	10	280	163	2	2	14	0	
4	15	450	154	9	7	20	0	
5	20	1,035	246	16	10	31	0	
6	25	1,817	460	24	15	68	0	
7	30	2,313	866	54	25	48	0	
8	35	4,105	1,967	122	39	138	1	
9	40	4,618	1,766	253	47	288	3	
10	45	3,830	1,932	306	58	284	6	
11	50	1,719	1,387	215	26	163	1	
12	55	733	688	144	10	92	2	
13	60	631	535	110	9	42	0	
14	65	405	542	63	7	38	0	
15	70	355	379	43	8	19	0	
16	75	336	471	40	6	13	1	
17	80	311	272	25	10	15	0	
18	85	180	300	19	13	14	0	
19	90	154	220	18	12	12	0	
20	95	84	116	10	6	7	0	
21	100	43	124	3	9	6	3	
22	105	22	24	1	2	3	0	
23	110	4	17	1	6	0	0	
24	115	3	6	0	0	0	0	
25	120	2	15	0	0	0	0	
26	125	0	2	0	0	0	0	
27	130	0	6	0	0	1	0	
28	135	0	3	1	0	0	0	
29	140	0	1	0	0	0	0	
30	145	1	0	0	0	0	0	

域間応用一般均衡モデルに用いるものである。

(1) 森林関連データセット

森林関連のデータには森林分布表・樹木データ・各林齢直径階データ・各初期値データがある。まず、対象地域の森林分布を把握するために森林分布表を作成する。また、樹木の成長量を推計するために、樹木データ・各林齢直径階データ・各初期値データを作成する。

a) 森林分布表

岐阜県の森林簿を用いて長良川流域における森林分布を作成する。1995 年の岐阜県の森林簿から 2000 年の森林面積を推定し算出する。具体的には、第 1 樹種と第 2 樹種の面積の和をその樹齢での森林面積とする。算出式

表 4 地域交易係数（地域間移入率）

		D							計
		郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域外	
○	郡上	0.903	0.012	0.010	0.003	0.003	0.003	0.002	0.031
	美濃	0.006	0.632	0.053	0.015	0.002	0.003	0.001	0.021
	関	0.031	0.189	0.698	0.026	0.007	0.033	0.016	0.073
	岐阜	0.011	0.111	0.053	0.698	0.201	0.184	0.017	0.150
	本巣	0.004	0.005	0.004	0.050	0.582	0.025	0.010	0.039
	羽島	0.009	0.018	0.057	0.140	0.069	0.676	0.016	0.117
	流域外	0.036	0.033	0.124	0.067	0.136	0.076	0.938	0.569
	計	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

は次式に示す通りである。作成したスギにおける森林分布表を表3に示す。

$$r_{ij} = \sum_{A=1}^k (x_j + y_j) \quad (5)$$

ここで、 r ：森林面積、 i ：地域、 j ：林齢、 x ：第1樹種面積、 y ：第2樹種面積である。

b) 樹木データ

岐阜県人工林・林分収穫表を用いて樹木データを作成する。樹木データには、樹高、本数密度、平均胸高直径がある。それぞれを岐阜県人工林・林分収穫表¹⁹⁾²⁰⁾を用いて推計する。林分収穫表とは、ある地域・樹種・地位ごとに標準的な施業を行ったときの成長経過を示した表である。この表は、スギとヒノキのそれぞれについて、10～150 林齢毎の平均樹高、1ha 当たりの平均本数、平均胸高直径、胸高断面積、幹材積、収穫比数などが整理されている。データ作成のために、全ての林齢で樹高・本寸密度・平均胸高直径を実際の樹木から作成することは困難である。そのため、本研究では、岐阜県人工林・林分収穫表を用いて樹木データを作成する。

c) 各林齢直径階データ

各林齢での直径階データを作成する。直径階データとは、各直径階での樹木の本数分布のことである。岐阜県人工林・林分収穫表の平均直径階を用いて、正規分布によって各直径階での樹木本数を推計する。

d) 各初期値データ

各初期値データ（材積量、間伐面積）を設定する。材積量は平成12年の岐阜県における素材生産量²¹⁾を利用して、各地域の森林面積によって按分してデータを作成する。間伐面積は平成12年と平成17年の岐阜県データの平均値を初期値とする。

(2) 産業関連データセット

産業関連データセットとして地域間産業連関表を用いる。そのために、まず岐阜県産業連関表(186 部門)から35 部門の岐阜県産業連関表を作成する。これを用いて、7 地域間（長良川流域 6 地域と流域外）の地域間産業連関表を作成する。

産業区分は、シナリオの影響が直接的に現れる林業部

門を細分化し、森林管理の影響を受ける産業部門を抽出するとともに、森林管理の影響が小さい産業部門を統合して35 部門に分類した（表1）。詳細に評価するためには、産業区分は細かい方が望ましいが、産業部門数が増えると、地域産業連関表の作成に要する時間と労力が増大する。そこで本研究では、影響の小さいと考えられる第2、3次産業を最小限の産業部門で統合する。

まず、岐阜県産業連関表（総合小分類；186 部門）から岐阜県35 部門産業連関表を作成する。具体的には、186 部門の産業連関表をそのまま用いる産業部門（13 部門）、統合する産業部門（18 部門）、細分化する産業部門（4 部門）の3つに分けられる。そのままの産業部門は、186 部門の産業連関表の値をそのまま使用して作成する。統合する産業部門は、186 部門の統合する産業部門の産業連関表の値の合計で作成する。細分化する産業部門は、各種統計書からの生産額を利用し、186 部門の細分化前の産業部門の産業連関表の値から、中間投入は変化しないとして、生産額で按分して産業連関表を作成する。按分方法は次式で表される。

$$X_k^G = \frac{X_j^G}{Y_k^G} \quad (6)$$

ここで、添字 G ：岐阜県、添字 j ：細分化する前の産業部門、添字 k ：細分化後の産業部門、 X ：中間投入、 Y ：生産額。

35 部門岐阜県産業連関表を用いて、地域間産業連関表を作成する。地域間産業連関表の推計はRAS 法を用いることとし、その作業工程を以下に示す。

- ①35 部門岐阜県産業連関表をもとに、これを各地域の産業連関表に分割する。
- ②地域間交易係数を推計する。これにより、岐阜県内の地域毎の移出入と自地域への供給の大きさが推計される。
- ③②で推計した地域別の産業連関と地域間交易係数より、地域毎の中間投入を求める。

なお、地域間交易の推定には、平成11年度道路交通センサス²²⁾における貨物ODデータを用いる。貨物ODデータを用いた理由としては、岐阜県における物流を考える

と自動車を用いた貨物運輸が圧倒的であること、およびデータの入手が比較的容易であることが挙げられる。地域毎の地域間取引を把握するために市町毎の貨物ODデータを地域毎に集計し、また小型貨物と普通貨物の積載量を考慮するために、小型貨物：普通貨物=1：2として、地域間取引係数を求めた。推定された地域間取引係数は表4に示す通りである。

5. 岐阜県森林管理計画の評価

(1) 施策評価のための前提条件

長良川流域における「スギ」と「ヒノキ」の2樹種を対象とした森林管理について評価する。森林管理は間伐、主伐、植栽を対象とする。間伐対象林齢は「新緊急間伐促進五ヵ年計画²³⁾」に基づいて設定する。同計画では、ヒノキは8年、スギは9年に一度間伐を必要とするとしている。本研究では5年刻みで推計を行っているため、両樹種とも10年に一度間伐を実施するとした。また、同計画では45年生までを間伐対象としているとある。そのため、林齢が10、20、30、40年生となった際に間伐を行うものとする。間伐率については全て30%とする。主伐は60林齢を対象として実施する。また、植栽は主伐した箇所に対して実施する。

(2) 評価結果とモデルの適用性

岐阜県で平成12年から実施されている「緊急間伐促進五ヵ年計画²³⁾」を「施策有」、無間伐の森林管理を「施策無」として評価を行った。図5に施策有無のそれぞれについて50年間におけるCO₂吸収量および排出量の総量を示す。この図より施策の実施がCO₂吸収量を50年間で約30万(t-C)増加させることがわかった。間伐を行うことにより樹木の成長が促進されるためだと考えられる。しかしながら、CO₂排出量は「施策有」の方が50年間で約225万(t-C)増加している。したがって、CO₂収支量では約195万(t-C)のCO₂が増加するという結果が得られた。増加の原因は、①森林管理の波及効果によって他産業部門からのCO₂排出量が増加すること、②切り捨て間伐材からCO₂が放出されること、の2点が挙げられる。また、図6に長良川流域内6地域別における50年間におけるCO₂吸収量および排出量の総量を示す。この図から上流域に位置し森林面積の大きい郡上地域ではCO₂総吸収量がCO₂総排出量を上回っている一方、下流域に位置する地域で流域内のCO₂排出量の大部分を占めていることがわかる。

図7に流域全体のCO₂吸収量・排出量の経年変化を示す。さらに、図8～11に施策の実施有無のそれぞれについて、地域別のCO₂吸収量・排出量の経年変化を示す。

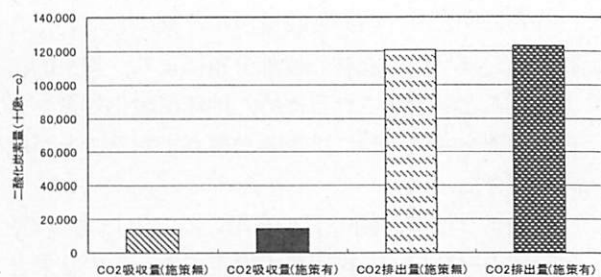


図5 岐阜県森林計画のCO₂吸収量・排出量(50年間合計)

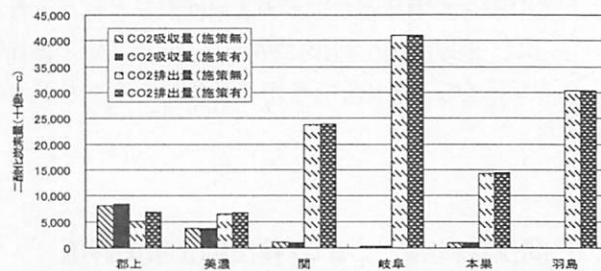


図6 岐阜県森林計画の地域別CO₂吸収量・排出量(50年間合計)

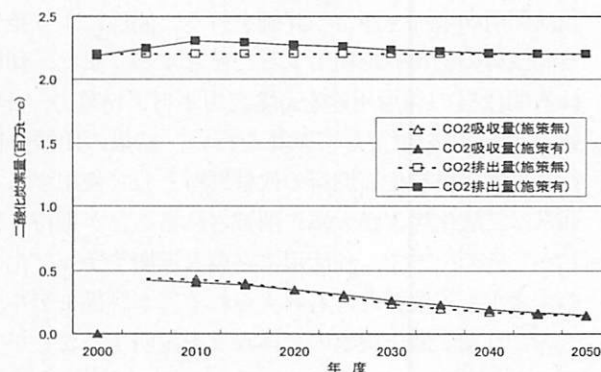


図7 岐阜県森林計画のCO₂吸収量・排出量の経年変化

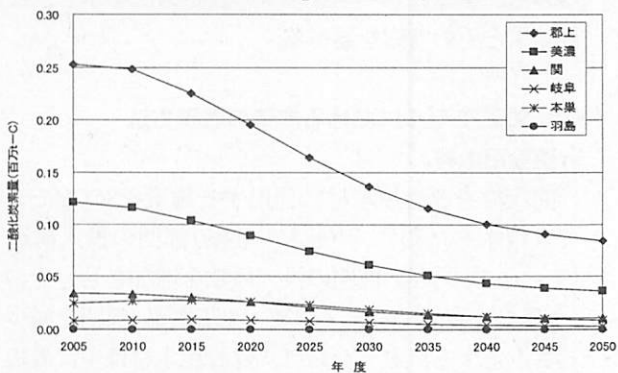


図8 施策を実施しない場合の地域別CO₂吸収量の推移

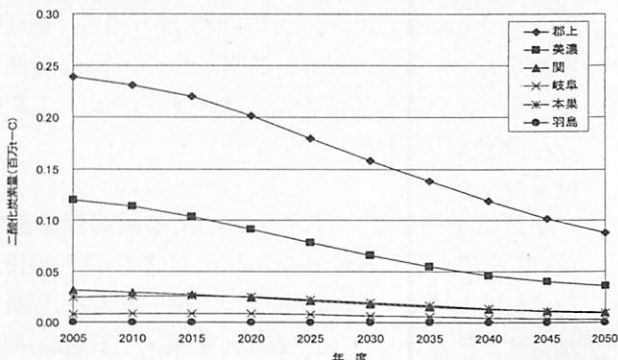


図9 施策を実施する場合の地域別CO₂吸収量の推移

これらの図より、CO₂吸収量が年々減少していくことがわかる。岐阜県の森林の樹齢分布により、将来的にこのようなことが予測されるため、地球温暖化対策としての森林管理を考える際には重要な視点であることが改めて認識できた。

このように本評価モデルを用いることによって、CO₂吸収量のみならず、排出量も推定でき、その結果としてCO₂収支量に着目して施策を評価できることが確認できたことから、本評価モデルの適用性が示されたと言える。さらに、地球温暖化抑止に貢献するためには、森林管理システムをCO₂収支量で考える必要があることが示唆された。

6. 間伐材利用による CO₂ 排出抑止策の評価

構築した評価モデルを用いて、CO₂排出抑制策として間伐利用の増加を想定し評価を行う。間伐により発生する間伐材の約10%を利用することとする。また、利用される間伐材の利用用途をa)建設用木材、b)電力、c)熱供給の3ケースを想定して試算を行い、結果の比較分析を行う。間伐材を化石燃料の代替燃料として使用すると、通常は二酸化炭素が大幅に削減されることが期待される。しかしその一方で、利活用に必要な運搬やチップ化の為にエネルギー消費なども考えられる。本評価モデルでは、このような二酸化炭素の全体収支を説明することができる。以下では、まずSCGEモデルにおいて施策を表現する方法、すなわちパラメータの設定方法を示し、次に評価結果とその考察を述べる。

(1) SCGE モデルにおける施策の表現方法

a) 建設用木材

間伐材を建設用木材に利用する施策をSCGEモデル上で表現するために、「土木・建築」部門の投入構造での「その他の木製品」部門の投入係数を増加させ、その分、「金属」、「石油・石炭・窯業・土石製品」部門を減少させることとする。なぜならば、建設用木材は主に看板・防護柵・防護壁などがある。建設用木材に利用することで間伐材が金属やセメントの代替財と成り得る。地域間産業連関表で、金属は「金属」部門、セメントは「石油・石炭・窯業・土石製品」部門に分類されるため、上記のような設定条件とする。

b) 電力

間伐材を用いたバイオマスによる電力供給施策をSCGEモデル上で表現するために、「電力」部門の投入構造における「製材・合板・チップ」部門での投入係数を増加させ、その分、「石油・石炭・窯業・土石製品」部門を減少させることとする。間伐材は木質チップとして加工

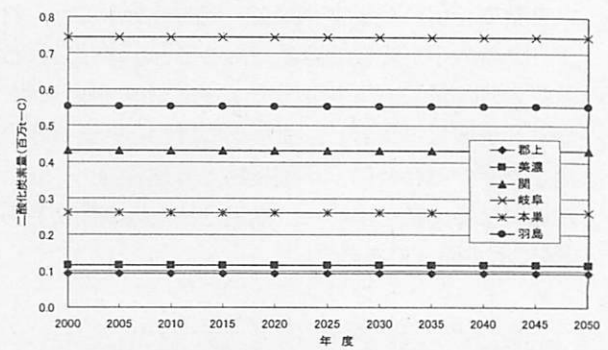


図10 施策を実施しない場合の地域別CO₂排出量の推移

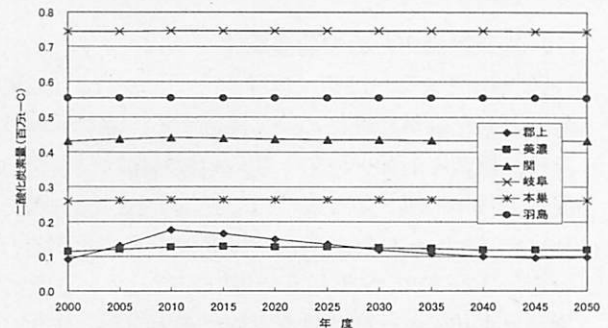


図11 施策を実施する場合の地域別CO₂排出量の推移

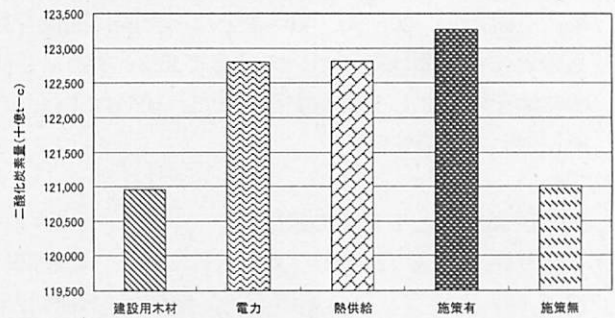


図12 間伐材利用のCO₂排出量 (50年間合計)

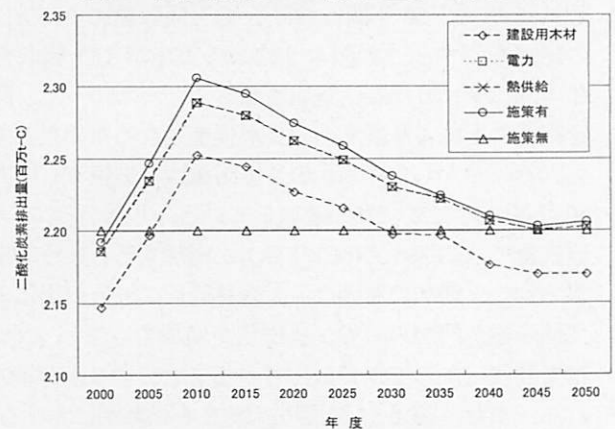
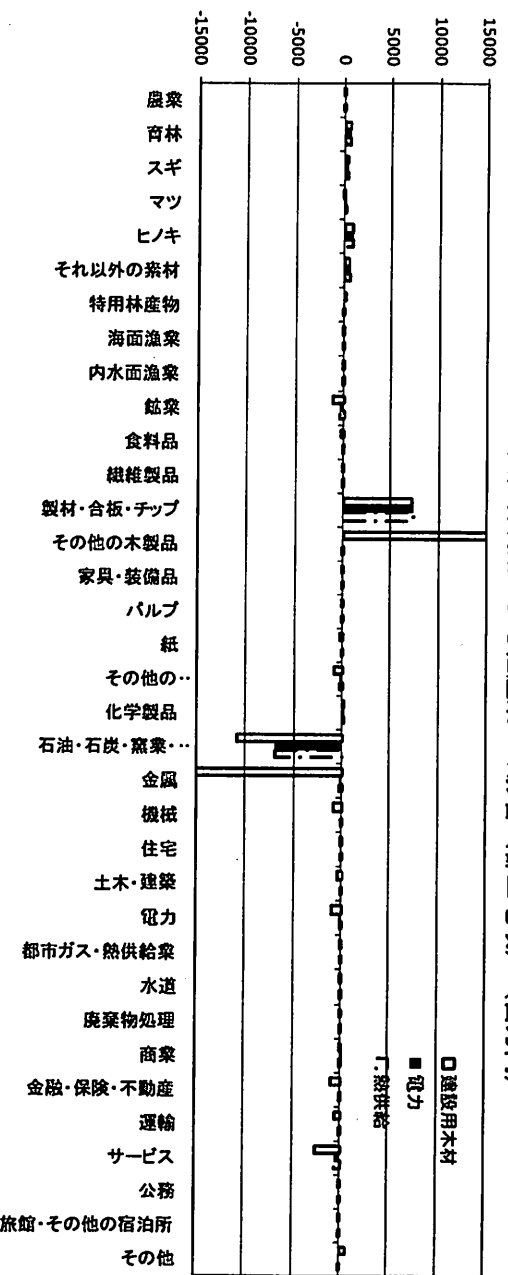
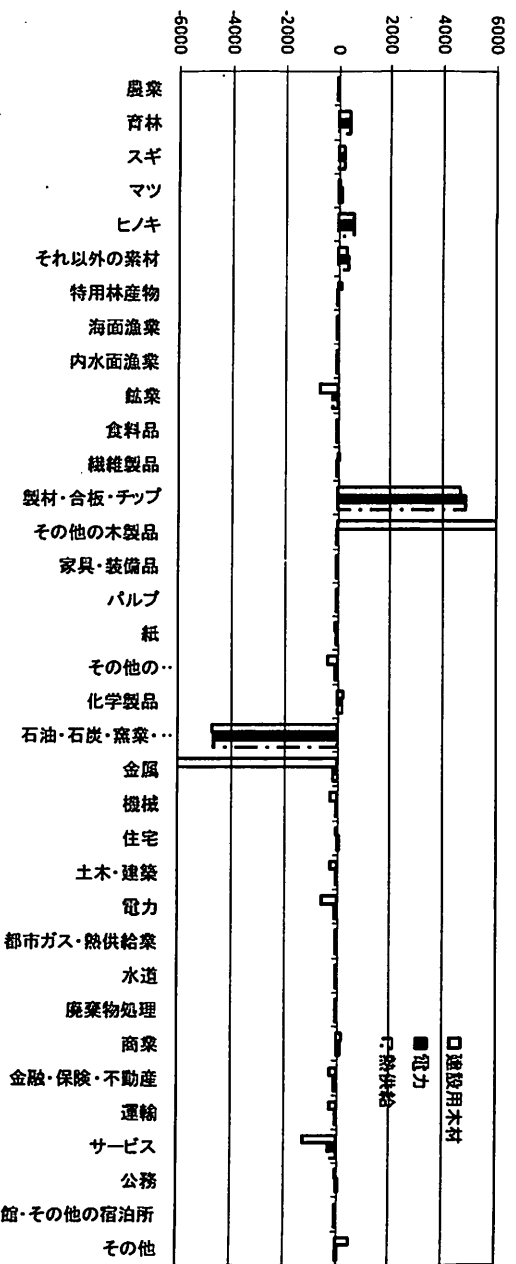


図13 間伐材利用のCO₂排出量の経年変化

された場合、木質バイオマスとして電力に利用できる。そのため、電力に利用することで間伐材が石油や石炭の代替財と成り得る。石油や石炭は「石油・石炭・窯業・土石製品」部門に分類されるため上記のような設定条件とする。



2) 遊休時間

間伐材を用いたバイオマスによる熱供給施策を SCGE モデル上で表現するために、「都市ガス・熱供給業」部門の投入構造における「製材・合板・チップ」部門での投入係数を増加させ、その分、「石油・石炭・窯業・土石製品」部門を減少させることとする。間伐材は木質チップとして加工された場合、ボイラー燃料として熱供給に利用できる。そのため、熱供給に利用することで間伐材が石油や石炭の代替財と成り得る。石油や石炭は「石油・石炭・窯業・土石製品」部門に分類されるため上記のような設定条件とする。

(2) 試算結果と考察

施策によるCO₂排出量の50年間の総量を図12に示す。また、CO₂排出量の経年変化を図13に示す。ここでの施策有無は5. で示したことで同じで、岐阜県森林計画を実施する場合と実施しないことを意味する。施策を実施しない場合のCO₂排出量が一定となっているのは、現在と同じ経済状況が継続することを示している。本来であ

れば、資本ストック等の蓄積により経済成長するが、ここでは資本ストックの蓄積過程を考慮していないため、このような結果となっている。

間伐材として利用する場合としない場合を比較すると、利用した場合の全てのケースでCO₂排出量の抑止効果が見られる。50年間のCO₂排出量の合計では、a)建設用木材を間伐材利用した場合が最も少なく、温暖化抑止策として最も効果が高いという結果が得られた。b)電力、c)熱供給に利用したケースのCO₂排出量はほとんど同じであり、建設用木材利用より190万(t-CO₂)ほど多い結果となった。これは、基準年における市場規模が関係していると考えられる。

市場規模が小さい場合、他への波及効果も小さい。基準年では、間伐材を建設用木材に利用することが最も多い。それに比べて、電力や熱供給における間伐材利用はほとんど無いに等しい。モデルでの計算過程は、基準年の市場経済構造を踏まえ、パラメータを設定して各施策に対する試算を実行している。建設用木材は基準年での市場が他の利用用途の分、波及効果が大きかったと考え

られる。その効果によってCO₂排出量削減に貢献したと思われる。以上の試算結果より、間伐材を建設用木材に利用した場合には利用しない場合と比較して、50年間では約231万(t-C)のCO₂削減となり抑止効果が高いことが示された。

林業生産が最も盛んな郡上地域において、間伐材利用による各産業部門の生産額への影響を見るために図14を示す。ここでは、間伐利用しない場合と比較して、CO₂削減量が最も大きい2010年での影響を示す。建設用木材に利用した場合、パラメータを設定した「その他の木製品」部門を除くと、「製材・合板・チップ」、「育林」部門で正の影響が見られた。これは、「その他の木製品」が利用されることで林業が活性化したことによる波及効果であると考えられる。また、「鉱業」、「電力」、「サービス」部門などで負の影響が見られた。よって、これらの部門が「金属」、「石油・石炭・窯業・土石製品」部門と関連性があることが分かる。電力や熱供給に利用した場合、建設用木材の場合と同様の部門に影響が現れている。ただし、建設用木材の利用の場合と比較すると、他産業へ与える影響は小さいことがわかる。以上のことから、間伐材利用による他産業の生産額への影響の大きさは産業毎に異なることがわかった。さらに、間伐材利用による産業部門毎の生産額への影響を長良川流域全体で見た図を図15に示す。影響を与える産業部門は郡上地域と同様の傾向が見られた。間伐材を利用することで林業に関連する産業部門に正の影響が帰着し、「鉱業」、「機械」、「電力」、「サービス」部門に負の影響が帰着することが分かった。

以上のことから、本評価モデルは、間伐材利用に着目した地球温暖化抑制策について、CO₂収支量を推定可能であり、その結果としてCO₂削減効果を評価できることが確認できた。また、CO₂収支量のみならず、各地域における産業部門毎の生産額の変化も推定可能であるため、施策の実行可能性などの検討にも利用可能であることがわかった。したがって、本評価モデルは、CO₂収支量に着目した総合的な森林管理システムの評価に対して有効なモデルと言える。

7. おわりに

本研究では、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を構築した。以下に本研究の成果を簡潔にまとめる。

- ①木材輸送や木材用途などを含めた総合的な森林管理システムを評価可能なモデルを構築した。
- ②岐阜県における現行の森林管理計画をCO₂収支量に着目して評価できるモデルが提案できた。

③間伐材を建設用木材に利用することで利用しない場合と比較して、50年間では約231万(t-C)のCO₂削減効果を得、抑止効果が高い施策であることを示した。

④間伐材を利用することで「鉱業」、「電力」、「サービス」などの他産業部門に影響を及ぼすことが示された。

今後の課題としては、構築した評価モデルを用いて、CO₂削減効果の高い総合的な森林管理システムを検討する必要がある。具体的には、木材輸送変化や高性能林業機械導入におけるCO₂収支量への影響を分析し、各施策評価を踏まえた上で総合的な森林管理システムを検討していきたい。

また、提案した評価モデルにおいて、基準年において電力や熱供給における間伐材利用がほとんど無かったことは間伐材のエネルギー利用の評価に影響を与えていると解釈されるが、本評価モデルにおいて石油等の化石燃料と等価熱量の代替燃料として扱うことが適当ではないかと考えられる。このような点も今後の検討課題としたい。

謝辞：本研究の一部は、平成20年度科学研究費補助金（基盤研究(B)、課題番号：18310021、研究課題名：地球温暖化・気候変動下での流域環境変化に対する森林管理の有効性評価、研究代表者：岐阜大学篠田成郎教授）によるものである。ここに記して感謝の意を表する。また、匿名の査読者から多くの有益なコメントをいただき、感謝したい。

参考文献

- 1) 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 Vol34，pp.235-242，2006。
- 2) 陳艶，田中一行：県民税による森林環境整備－「森林環境税」理論化の試み，日本不動産学会誌第21巻第1号，pp.116-125，2007。
- 3) 高木朗義，篠田成郎，西川薫，松田尚志，片桐猛，永田貴子：流域GISを援用した総合環境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 Vol34，pp.553-561，2006。
- 4) Akiyoshi TAKAGI, Kaoru NISHIKAWA, Seirou SHINODA, Shinichi MUTO: Assessment of Water Environment Improvement Projects with Computable General Equilibrium Model using Geographic Information Systems, Proceedings of the 19th Pacific Regional Science Conference, CD-ROM, 137, 2005.
- 5) 高木朗義，武藤慎一，上村高大：SCGEモデルによ

- る河川の水質改善政策評価に基づいた最適汚濁負荷削減量の算定, 河川技術論文集, Vol.7, pp.435-440, 2001.
- 6) GTAPホームページ: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/>
 - 7) Huey-Lin Lee, Thomas Hertel, Brent Sohngen, and Navin Ramankutty: Towards An Integrated Land Use Database for Assessing the Potential for Greenhouse Gas Mitigation, GTAP Technical Paper No.25, 2005.
 - 8) REAM=Right Committee: 拡張費用便益分析に対応した政策評価ツール～汎用性空間経済モデル「REAM-Light」～, 「地域計測」REAM-Light Committeeセミナー・テキスト, 2008.
 - 9) 小池淳司, 佐藤啓輔, 川本信秀: 帰着便益分析による道路ネットワーク評価～応用一般均衡モデル「REAM-Light」による実務的アプローチ～, 土木計画学研究発表・講演集, Vol.37, CD-ROM, 2008.
 - 10) 森林総合研究所: 森林・林業の資源的, 社会経済的長期見通し手法の開発, 森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集12, 2006.
 - 11) 松本美香, 泉英二, 藤原三夫: 持続可能な森林経営のための施業シナリオー森林資源予測モデルを用いた愛媛県久万町での検証一, 日本森林学会誌, Vol.89, No.1, pp.31-38, 2007.
 - 12) 中島徹, 白石則彦: 伊勢神宮・式年遷宮への木材自給計画に対するシステム収穫表LYCSの適用, 日本森林学会誌, Vol.89, No.1, pp.21-25, 2007.
 - 13) 田中和義: 『シルブの森』研究庵ホームページ, <http://af2.kpu.ac.jp/keikaku/staff1.html>.
 - 14) 岐阜県森林科学研究所: シルブの森岐阜県, 2006.
 - 15) 高木朗義, 武藤慎一, 上村高大: 河川水質改善のための汚濁負荷削減策の効率的なスケジュール, 環境システム研究論文集, Vol.29, pp.47-55, 2001.
 - 16) 武藤慎一: 環境政策評価への計量厚生分析の適用, 岐阜大学学位論文, 1999.
 - 17) 北海道水産林務部森林計画課: 森林機能評価基準, 2004.
 - 18) 国立環境研究所: 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID), http://www.cger.nies.go.jp/publication/D031/jpn/index_j.htm, 2006.
 - 19) 岐阜県林政部: スギ人工林林分収穫表・林分密度管理図, 1992.
 - 20) 岐阜県林政部: ヒノキ人工林林分収穫表・林分密度管理図, 1992.
 - 21) 岐阜県林政部: 木材需給の現況, 2005.
 - 22) 国土交通省: 平成11年年道路交通センサス, 1999.
 - 23) 岐阜県: 緊急間伐推進五ヵ年計画, 2000.

(2009.3.6 受付)

(2009.7.21 受理)

An Evaluation Model for Integrated Forest Management System focusing on Absorption and Exhaust of CO₂ in Nagara River Basin

Tatsuya SUGIMOTO¹ and Akiyoshi TAKAGI²

¹ Yachiyo Engineering Co., Ltd.

² Department of Civil Engineering, Gifu University

It is necessary to examine a forest management system from a synthetic viewpoint based on the amount of absorption and exhaust of CO₂ to contribute to the global warming control. In this study, we built the model which is able to assess the impact on use and transportation of wood over the frame of forestry, in order to evaluate the integrated forest management system focusing on the amount of absorption and exhaust of CO₂. The use promotion measure of thinning timber for CO₂ exhaust control was evaluated by using the evaluation model. As the result, it was confirmed that thinning timber use can control the CO₂ exhaust from abandoned thinning timber and can expect the effect of CO₂ exhaust control as alternative goods of other material. In other words, it obtained the provisional calculation result that the amount of CO₂ exhaust of about 2,310,000 (t-C) is deterred in 50 years, when the thinning timber utilization rate is increased by 10% and it is used for the wood for construction.