

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

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

森林管理において地球温暖化抑制に貢献するためには、CO₂収支量に基づき森林管理に関わる経済システム全体を検討する必要がある。本研究では、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を検討するために、1)間伐材利用の促進、2)木材輸入の停止、3)高性能林業機械の導入という3施策について評価した。その結果から、a)高性能林業機械導入と間伐材利用促進の並行、b)間伐材利用のための市場の確保、c)地産地消を軸とした木材供給、という3つの具体的な政策方針を提言する。

Key Words : *global warming, Nagara river basin, CO₂, forestry 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、地球温暖化抑制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、地球温暖化抑制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、地球温暖化抑制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、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を目的とする。検討にあたっては先行研究¹⁾で構築した評価モデルを用いる。その評価モデルは、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モデル(Spatial Computable General Equilibrium; SCGE))を統合し、森林管理システム全体におけるCO₂収支量を評価可能である。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。本研究では、このモデルを用いて①間伐材利用促進、②木材輸入停止、③高性能林業機械導入という3施策に対する評価を行ない、その結果を踏まえて総合的な森林管理システムについて検討する。

なお、過去では流域界が物質移動の境界であったが、現代の経済活動に伴う物質移動にとって流域界はあまり意味がないため、研究領域の境界を流域とする必要はない。しかしながら、森林管理の単位は、自治体単位、すなわち流域単位である場合が多く、また長良川流域は上・中・下流域にそれぞれ郡上・中濃・岐阜中央森林組合が存在し、森林管理の主な担い手となっているため、実際に施策を展開する場合を想定すると、研究領域の境界を長良川流域として検討することに意義がある。

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²⁾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を検討している。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³⁾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⁴⁾。先行研究¹⁾では、この総合環境評価モデルで使用されている SCGE モデルと間伐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している。具体的には、①間伐モデルと SCGE モデルを統合するためのアルゴリズムの考案、②モデルに必要な森林管理データ、産業連関データの設定、③モデルの適用性や妥当性の検証、を行なっている。なお、モデルの概要については3. で述べるが、最大の特徴は、森林管理を経済システムの一部として捉えることにより、森林管理に対する経済全体での CO₂収支量を評価できることにある。

本論文では、この先行研究¹⁾で構築した森林管理システム評価モデルを用いて、森林管理に対する総 CO₂収支量と林業以外の他産業への影響を分析することにより、総合的な森林管理システムについて検討することを目的とする。具体的には、①間伐材の建設材やバイオマスへの利用拡大、②素材や製材の輸入停止、③高性能林業機械の導入という3施策に対する CO₂収支量を算出するとともに、経済システム全体に与える波及効果を分析する。そして、その結果を踏まえて、CO₂収支量に着目した総合的な森林管理システムについて政策方針を提言する。

本論文では、まず3. で先行研究で構築した森林管理システム評価モデルの概要を示す。次に4. で CO₂排出抑制策の条件設定を行ない、5. で各施策について評価した上で総合的な森林管理システムの方針を提言する。

3. 森林管理システム評価モデルの概要

総合的な森林管理システムを検討するためには、森林内・外の活動を捉える必要がある。本研究で用いる評価

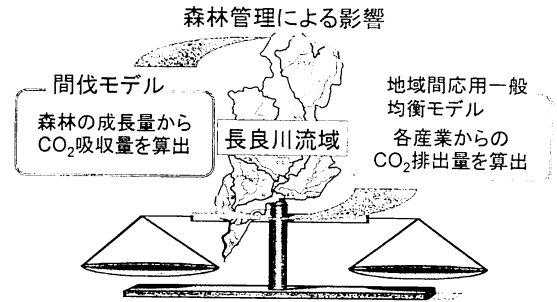


図-1 森林管理システム評価モデルの体系

モデルは、先行研究¹⁾で構築したものであり、2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にしている。以下に森林管理システム評価モデルの概要を示す。

(1) 森林管理システム評価モデル

森林管理システム評価モデルとは、林業の枠を超えて、木材の利用用途（代替性）や運搬まで含めた CO₂収支量に着目した森林管理を評価可能なモデルである。評価モデルは、2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定することができる。もう一つは、経済評価モデルであり、具体的には SCGE モデルである。SCGE 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、森林管理システム全体からの総 CO₂収支量を推定可能にする。間伐モデルからは、森林内の樹木の材積成長量が推定されるため、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定されるため、そこから CO₂排出量を算出する。これらにより CO₂収支量を推定する。図-1 に森林管理システム評価モデルの体系を示す。

(2) 間伐モデル

間伐モデルは、「シルブの森岐阜版」を長良川流域全体の森林を評価出来るように拡張したモデルである。

「シルブの森岐阜版」とは、田中⁶⁾が開発した「シルブの森」をベースに、岐阜県森林研究所⁷⁾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穫表である。「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蓄積量が予測できる。間伐計画を自由に変える

ことによって、林分の将来の姿を比較検討することが可能である。材積量の推定フローを図-2に示す。

(3) 地域間応用一般均衡モデル

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⁹⁾。SCGE モデルを構築した際の基本的な前提条件を次に示す。

- 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。
- ④ 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。
- ⑤ 財市場は岐阜県内で閉じている。この条件により、施策による県外への影響を明示的に評価することはできないが、本研究では、CO₂ 排出抑制の観点から長良川流域における木材の地産地消を目指しているため、この条件下で施策を評価することは特に問題ないと考えている。

(4) モデルの統合

前項までに示した2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となる。具体的には、間伐モデルで算出された素材供給量（単位： m^3 ）と SCGE モデルで算出された素材需給量（単位： m^3 ，素材生産額を価格で除して算出）を一致させることでモデルを統合する。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素材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する。その外生変数を SCGE モデルに与えることで、素材需給量を算出する。さらに、各素材需給量から更新する主伐面積を更新する。以上の手順を繰り返して均衡計算を行なうことにより素材需給量を一致させる。計算フローを図4に示す。なお、主伐面積の更新には逐次計算法を用いる。図4中に示されている n は逐次段階（ステップ数）である。

また、変化させる外生変数は付加価値係数とする。ここで活動変化とは、主伐・間伐・植栽を行なう面積量の変化である。付加価値係数の変化を森林管理の活動変化とすることで SCGE モデルでの森林管理の活動変化を表現する。外生変数の変更には次式を用いる。

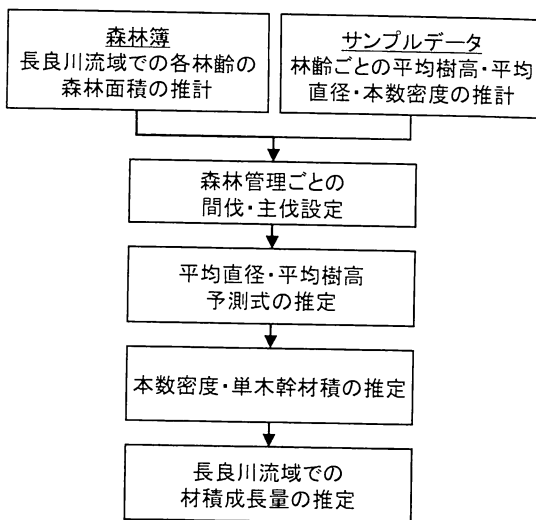


図-2 材積成長量の推定フロー

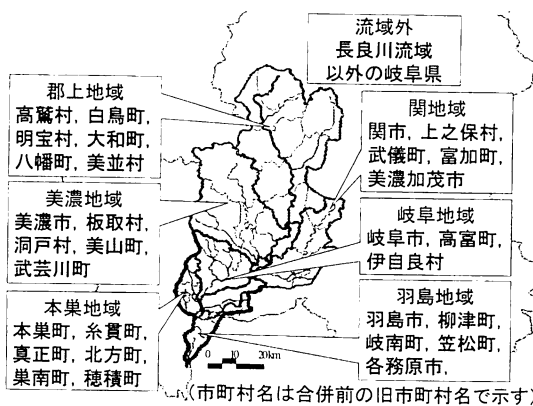


図-3 対象地域とその区分

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・装備品	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		

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

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 での皆伐面積、 S_0^{wo} : 基準年における without での植栽面積、 α : 間伐率(0.3)を表す。

(5) CO₂収支量の算出方法

間伐モデルより CO₂吸収量を、SCGE モデルより CO₂排出量を推計し、排出量から吸収量を引くことにより 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。

$$C_{in} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot (W - \mu \cdot V') \quad (2)$$

ここで、 C_{in} : CO₂吸収量、 β_1 : 拡大係数(1.7)¹⁰⁾、 β_2 : 木材比重(0.4)¹⁰⁾、 β_3 : 炭素含有量(0.5)¹⁰⁾、 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。

$$C_{out} = \gamma \cdot P \quad (3)$$

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排出量原単位は産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)¹¹⁾の値を用いる。

4. CO₂排出抑制検討のための条件設定

総合的な森林管理システムを検討するために、CO₂ 排出抑制策の検討条件を設定する。

まず最初に、岐阜県において、2000 年から実施されている「緊急間伐促進五ヵ年計画¹²⁾」が 2050 年まで継続されるとした状態を「施策無」として CO₂ 収支量を算出する。したがって、評価基準年は 2000 年とする。また同計画では、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。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

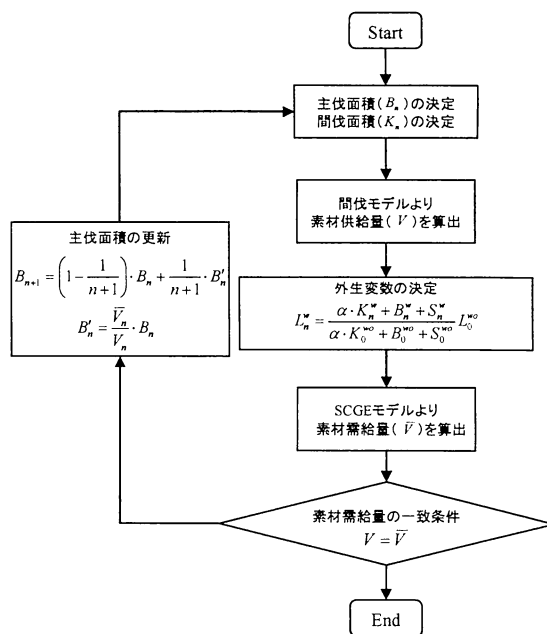


図4 モデル統合の計算フロー

表-2 CO₂排出抑制策一覧

大項目	小項目
間伐材利用用途の変化	建設用木材に利用 電力に利用 熱供給に利用
木材輸入の停止	素材(丸太)の輸入停止 製材の輸入停止
高性能林業機械の導入	

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。

次に、CO₂ 排出抑制策として表-2 に示す①間伐材利用促進、②木材輸入の停止、③高性能林業機械の導入という 3 種類の施策を取り上げて評価する。①は間伐材を利用することで、切り捨て間伐による CO₂ 放出を防ぐことができ、さらに石油を原材料とした製品(財)の代替財となるため CO₂ 削減効果が期待できる。②は木材を輸入する際、輸送過程で多くの CO₂ を排出するため、地産地消とすることで CO₂ 削減効果が期待できる。③は高性能林業機械が森林整備を効率的に行なうために必要な機械である一方で、使用には多くの燃料を必要とする。以上のように CO₂ 排出要素に着目することで 3 種類の CO₂ 排出抑制策を選定した。

(1) 間伐材利用促進による CO₂ 排出抑制策

CO₂ 排出抑制策として間伐利用の増加を想定して評価する。ここでは、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。その理由は、間伐材の利用率を10%以上とした場合が本モデルで表現できなかったからである。評価モデルでは、対象となる産業部門の投入係数（投入構造）を変化させ、間伐材の利用率が所定の値（例えば10%）になる状態を収束計算により求めることによって、施策の実施状態を表現している。本来であれば、できるだけ多くの間伐材利用を促進した方がよいと思われるが、本モデルで10%以上の間伐材利用率を設定すると、計算が収束しなくなるため、やむを得ず10%と設定した。一つの解釈として、10%以上の間伐材の利用が現在の産業構造では実現不可能であると言えないだろうか。また、「約」10%と表現しているのは、全地域で完全に10%に収束しなかったためである。

本研究では、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し、結果を比較分析する。以下に、評価モデルにおける施策の表現方法を詳細に示す。

a) 建設用木材に利用した場合

間伐材を建設用木材として利用する施策を 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」部門を減少させて間伐材の10%利用を達成させることとする。なぜなら、建設用木材は主に看板・防護柵・防護壁などであり、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からである。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、このような設定条件とする。

b) 電力に利用した場合

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」部門を減少させて間伐材の10%利用を達成させることとする。間伐材は木質チップとして加工された場合、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。

c) 熱供給に利用した場合

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」部門を減少させて間伐材の10%利用を達成させることとする。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) 木材輸入の停止による CO₂排出抑制策

木材輸入を停止した場合の CO₂排出量を試算する。木材を輸入する場合、自動車・船舶・鉄道などの輸送手段が用いられ、木材を消費するまでに多くの CO₂が排出される。CO₂排出の観点からすると木材を生産した地域で消費することが望ましい。そのため、木材輸入を停止することで木材が地産地消される場合、すなわち輸入材から国産材に変更される（木材から他の材料への代替は考慮しない）場合の CO₂排出量を試算する。試算は素材（丸太）の輸入停止、製材の輸入停止の2ケースについて行なう。以下に各ケースにおける条件設定を示す。

a) 素材（丸太）の輸入停止した場合

素材の輸入停止を SCGE モデル上で表現するため、素材関連部門の輸入係数を0と設定する。また、輸入を停止した場合の CO₂削減量を推定するために、基準年での輸入先を考慮して木材輸送に関する CO₂排出量を設定する。設定にあたって、輸入先の割合、輸送距離、輸送手段別 CO₂排出量原単位を考慮する。CO₂削減量算出式を次式に示す。

$$C_{cut} = \delta \cdot D \cdot V \quad (4)$$

ここで、 C_{cut} : CO₂削減量(t-C)、 δ : 輸送手段別 CO₂排出量原単位(t-C/km・m³)、 D : 距離(km)、 V : 素材需給量(m³)を表す。

輸入先割合は平成12年木材需要報告書¹³⁾のデータを用いて設定する。輸送距離については、県外材は各県庁舎間の距離として、外材はウッドマイルズ関連指標¹⁴⁾の算出マニュアルを参照して設定する。また、輸送手段別 CO₂排出量原単位についてもウッドマイルズ関連指標の算出マニュアルを参照して設定することとする。以上の方法・手順により CO₂排出量を推定するが、輸入過程における木材輸送に伴う CO₂排出量は、SCGE モデルを適用せずに算定するため、他施策の評価結果と比較する場合には注意をしなければならない。

b) 製材の輸入停止した場合

製材の輸入停止を SCGE モデル上で表現するため、「製材・合板・チップ」部門の輸入係数を0と設定する。また、輸入を停止した場合の CO₂削減を推定するために、基準年での輸入先を考慮して木材輸送に係る CO₂排出量を設定する。設定方法は素材の輸入停止の場合と同様とし、他施策との比較に当たっては注意が必要である。

(3) 高性能林業機械導入による CO₂排出抑制策

高性能林業機械を導入した場合での CO₂排出量を試算

する。高性能林業機械を導入することで森林管理の作業効率上がるため、岐阜県においても導入を進められている。しかしながら、高性能林業機械を使用した場合、使用しない場合よりも多くの CO₂ を排出してしまう。このため、本項では高性能林業機械を導入した場合での CO₂ 排出への影響を分析するための条件を設定する。

高性能林業機械導入を SCGE モデル上で表現するために、林業関連部門の投入構造における「石油・石炭・窯業・土石製品」部門での投入係数を増加させて、その分、付加価値係数を減少させて間伐材の 10% 利用を達成させる。高性能林業機械が使用されることで石油が消費される。その代わりに仕事の効率が上がる。石油は「石油・石炭・窯業・土石製品」部門に分類される。また、労働力は付加価値係数で表されるため上記の設定条件によって高性能林業機械の導入を再現する。

高性能林業機械を導入することで、44% の労働力が軽減できるとして試算する。秋田県のデータによると高性能林業機械を導入することで生産性が 2.4 倍となる¹⁵⁾。しかしながら、高性能林業機械を使用するには林道が整備されていないといけない。第 11 次長良川地域森林計画書¹⁶⁾によると、計画の 75% が林道整備されている。林道整備がされている箇所は高性能林業機械を導入した場合、44% の労働力が軽減できるため、この仮定を用いて試算する。

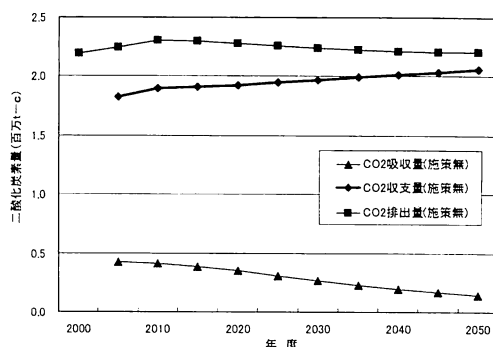


図-5 施策無における CO₂ 収支量

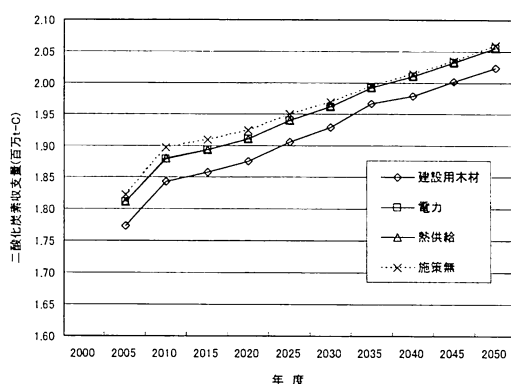


図-6 間伐材利用促進による CO₂ 収支量

5. 総合的な森林管理システムの検討

(1) CO₂ 排出抑制効果

a) 施策無における CO₂ 収支量

先に示したように岐阜県の「緊急間伐促進五ヵ年計画」が 2050 年まで継続されるとした状態を「施策無」として CO₂ 吸収量（間伐モデルによる推計値）、CO₂ 排出量（SCGE モデルによる推計値）、および CO₂ 排出量から吸収量を引いた収支量（値が正であることは、CO₂ が大気中に排出されていることを意味する）を算出した。結果を図-5 に示す。この図より、CO₂ 吸収量は年々減少する一方、CO₂ 排出量は 2010 年をピークに年々減少するが、その差分である CO₂ 収支量は年々増加していくことがわかる。これは、長良川流域における森林の林齢分布、および間伐率を 30% に固定した試算結果であることが原因である。具体的には、林齢分布を主原因として森林の材積成長量が年々減少するため、CO₂ 吸収量が減少する。一方、長良川流域の林齢分布下において間伐率を固定した試算であるため 2010 年を境に間伐量が年々減少し、それに伴って間伐に必要な林業および関連産業における経済活動が減少するため、岐阜県の産業経済活動全体から排出される CO₂ 排出量が減少することとなる。

b) 間伐材利用促進による CO₂ 排出抑制効果

施策による CO₂ 排出抑制効果を図-6 に示す。現在の間伐材利用（施策無）と比較して、利用した場合の全てのケースで CO₂ 排出量抑制効果が見られる。CO₂ 収支量では、間伐材を建設用木材に利用した場合が最も少なく、温暖化抑制策として最も効果が高いという結果が得られた。電力と熱供給に利用した場合の CO₂ 収支量はほとんど同じであり、建設用木材利用より年平均で約 3.3 万(t-C)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、他産業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 排出抑制に貢献したと考えられる。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、年平均で約 4.2 万(t-C)の CO₂ 削減となり抑制効果が高いことが示された。

c) 木材輸入の停止による CO₂ 排出抑制効果

施策による CO₂ 排出抑制効果を図-7 に示す。CO₂ 収支量では製材輸入を停止した方が素材輸入を停止した場合より年平均で約 14.3 万(t-C)少ない値となった。これは、輸入停止から発生する CO₂ 削減によるものと考えられる。輸入停止での設定条件による試算では、CO₂ 削減量は素材の場合は年平均で約 1.1 万(t-C)、製材の場合は年平均で約 15.4 万(t-C)であった。この原因としては、素材としての流通量が平均約 2.5 万 m³/年に対して、製材としての流通量が平均約 15.8 万 m³/年であり、流通量の差が大きいこと、およびバルク船舶の CO₂ 原単位が素材で 0.0013 kg-C/m³・km に対して、製材で 0.0030kg-C/m³・km であり、2 倍以上の差があることなどが挙げられる。なお、先述したように、木材輸入に伴う CO₂ 排出量は、SCGE モデルを適用せずに算定しているため、他施策と単純に比較することはできないが、製材輸入停止の効果が高いことがわかる。

d) 高性能林業機械導入による CO₂ 排出抑制効果

施策による CO₂ 排出抑制効果を図-8 に示す。高性能林業機械を導入すると施策無に比べて年平均で約 0.8 万(t-C)の CO₂ を多く排出するという結果が得られた。したがって、高性能林業機械の安易な導入は、却って CO₂ を増大させる可能性があると言える。しかしながら、高性能林業機械の導入により、少ない労働力で森林整備を行なうことが可能であるため、森林整備、すなわち間伐の促進に貢献することが期待できる。ただし、ここでは高性能林業機械導入に伴って軽減された労働量が他の産業へ分散投入されると想定した試算であるため、広義の意味での森林管理システムにおける影響を分析していることにはなるが、効果的な施策の展開を想定しているとは言いがたい。したがって、余剰労働量が全産業に分散投入されるのではなく、間伐利用の促進に集中的に投入する試算を行なうこと等、高性能林業機械の効率的な利用と間伐材の利用の拡大を合わせて検討することが必要であり、これにより地球温暖化抑制に貢献が可能となる。

(2) 経済波及効果

a) 間伐材利用促進による CO₂ 排出抑制策

林業生産が最も盛んな郡上地域における間伐材利用促進による各産業部門の生産額への影響を図-9 に示す。ここでは、間伐材利用しない場合と比較して、CO₂ 削減量が最も大きい 2010 年における影響を示す。なお、経済システムへの影響は 2050 年まで評価しているが、本モデルでは、長期的な技術革新やそれに伴う産業構造変化について考慮していない。本来であれば、CO₂ 収支量の評価には、長期的な技術革新や産業構造変化を考慮する必要があるが、その評価は含まれていない。

建設用木材に利用した場合、パラメータを設定した

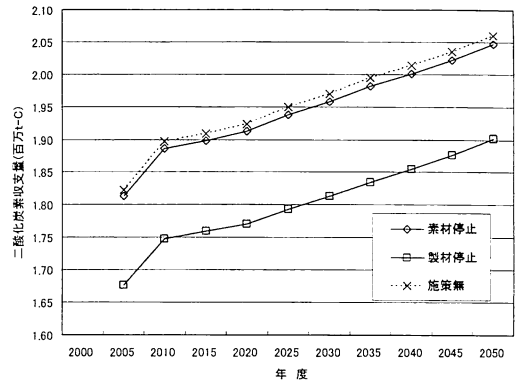


図-7 木材輸入停止による CO₂ 収支量

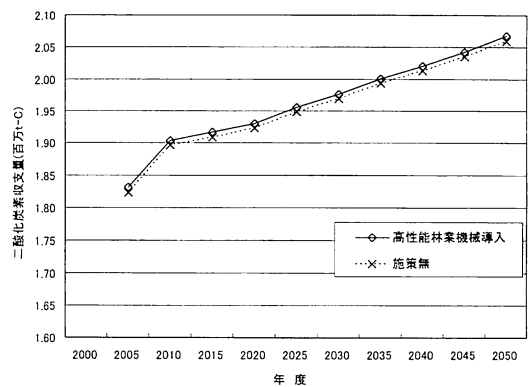


図-8 高性能林業機械導入による CO₂ 収支量

「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。これらは「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、間伐材利用促進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、間伐材利用促進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-10 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。間伐材の利用を促進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わかった。

b) 木材輸入の停止による CO₂ 排出抑制策

林業生産が最も盛んな郡上地域における木材輸入停止による各産業部門の生産額への影響を図-11 に示す。こ

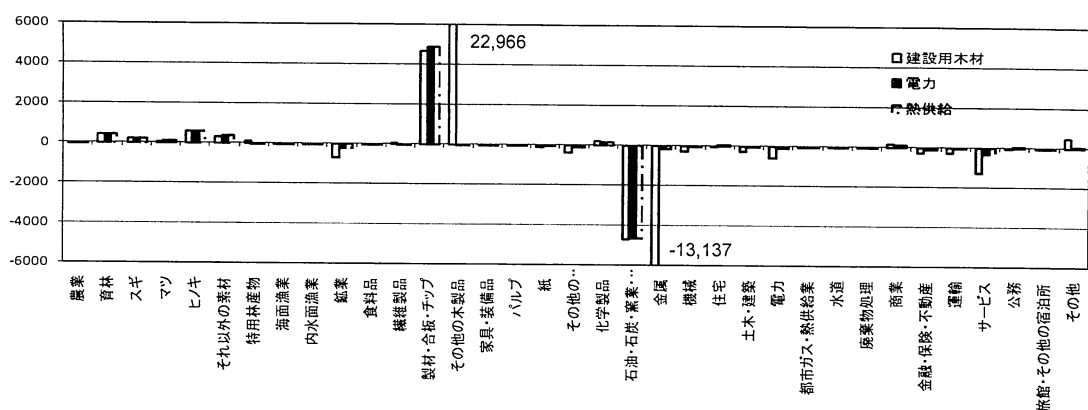


図-9 2010年における間伐材利用促進による他産業への影響（郡上地域）（百万円）

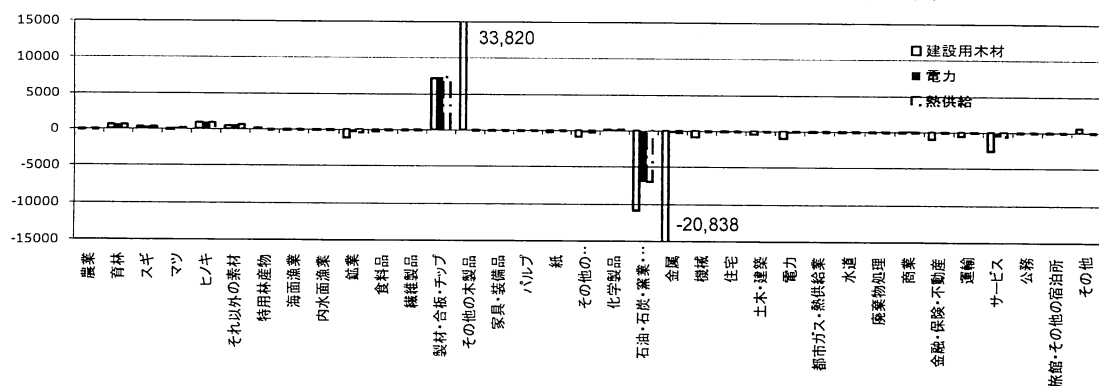


図-10 2010年における間伐材利用促進による他産業への影響（長良川流域）（百万円）

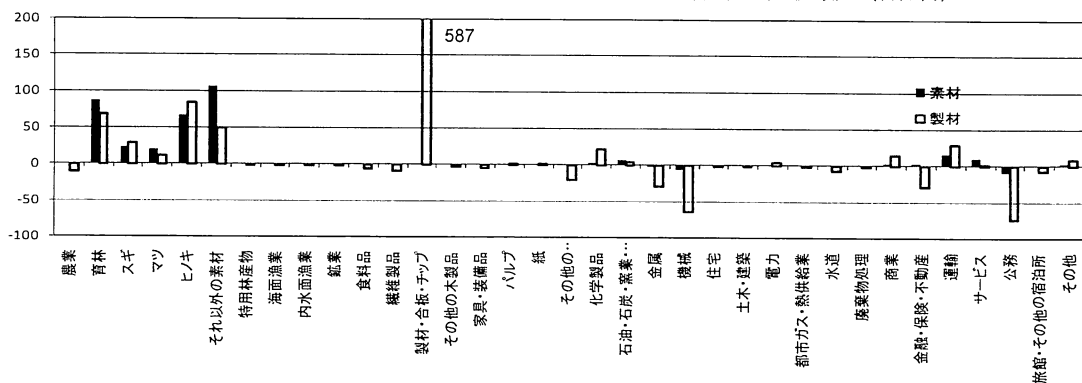


図-11 2010年における木材輸入停止による他産業への影響（郡上地域）（百万円）

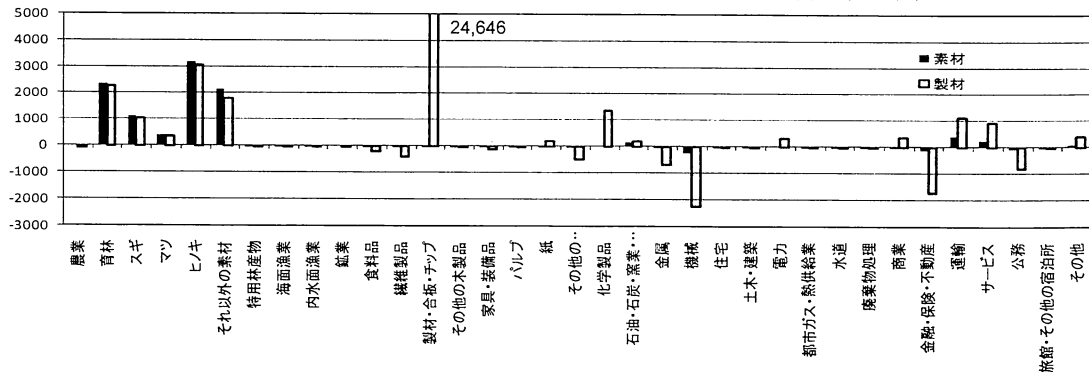


図-12 2010年における木材輸入停止による他産業への影響（長良川流域）（百万円）

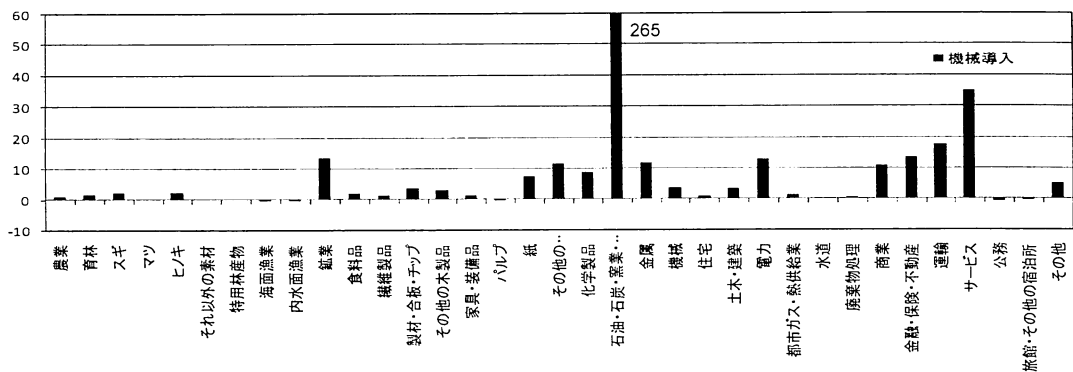


図-13 2010年における高性能林業機械による他産業への影響（郡上地域）（百万円）

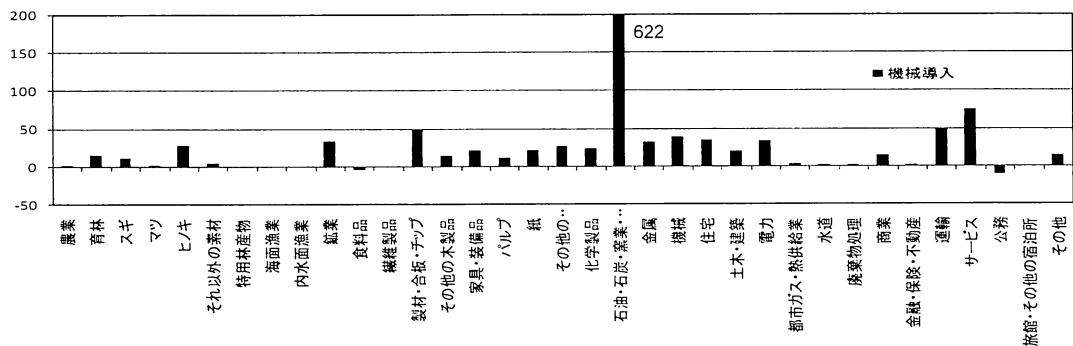


図-14 2010年における高性能林業機械による他産業への影響（長良川流域）（百万円）

ここでは、他の施策と比較するために、2010年における影響を示す。素材を停止した場合ではパラメータを設定した素材関連部門を除くと、「育林」、「石油・石炭・窯業・土石製品」、「運輸」、「サービス」部門で正の影響が見られた。「育林」部門に正の影響があったのは「素材」部門が活性化することで「育林」部門へ波及したためであると考えられる。「運輸」に正の影響があったのは、木材の地産地消により地域内での木材流通が活発になったためと考えられる。製材を停止した場合ではパラメータを設定した「製材・合板・チップ」部門を除くと、「育林」、「素材関連」、「化学製品」、「商業」、「運輸」部門に正の影響が見られた。また、「農業」、「金属」、「機械」、「金融・保険・不動産」部門などで負の影響が見られた。これにより、上記の部門と「製材」部門に関連性があることがわかる。以上のことから比較的製材を停止した場合の方が負の影響が多くの産業に波及することがわかった。さらに、木材輸入停止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-12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。ただし、産業間で比較した際に、製材停止の場合の「化学製品」、「サービス」部門の正の影響が長良川流域の方が若干大きく、「公

務」部門では負の影響が郡上地域の方が大きいなどの違いも見られた。

c) 高性能林業機械導入によるCO₂排出抑制策

林業生産が最も盛んな郡上地域における高性能林業機械導入による各産業部門の生産額への影響を図-13に示す。ここでも2010年における影響を示す。高性能林業機械導入の場合ではパラメータを設定した「石油・石炭・窯業・土石製品」部門を除くと、「運輸」、「サービス」部門に正の影響が大きく表れた。また、負の影響はほとんどなく正の影響が多くの産業に見られた。さらに、高性能林業機械導入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-14に示す。郡上地域と同様に多くの部門に正の影響が見られた。また、産業間で比較した場合、郡上地域よりも「製材・合板・チップ」、「機械」、「住宅」部門で正の影響が大きく見られた。

(3) 地球温暖化抑制のための提言

試算結果を踏まえて、地球温暖化抑制のための森林管理システムについて検討する。前項までにCO₂収支量に着目して①間伐材利用率・用途の変化、②木材輸入の停止、③高性能林業機械の導入の3施策について試算した。

この試算結果から以下のような施策方針を提言する。

a) 高性能林業機械導入と間伐材利用促進の並行

高性能林業機械を導入して間伐材利用を促進することでCO₂排出量を削減させる。高性能林業機械を用いることで作業効率が向上する。しかしながら、試算結果では年平均収支量で約0.8万(t-C)のCO₂が増加してしまう。そのため、高性能林業機械を効率的に利用して間伐を促進させ、森林によるCO₂吸収量を増加させるとともに、間伐材の利用促進を拡大することでCO₂排出量を削減させる。それによって、地球温暖化抑制を兼ねた効率的な森林管理が可能となる。

b) 間伐材利用促進のための市場確保

間伐材の市場を確保することで、他産業への波及効果を高めてCO₂排出量を削減させる。試算結果では建設用木材に間伐材利用を促進した場合がCO₂収支量として最も効果が高かった。市場規模が大きいくほど他産業への波及効果は大きく、その効果がCO₂排出量の削減に繋がる。現在、建設用木材市場に比べて木質バイオマスやボイラーの市場は極めて小さいが、新規需要を考えたとき、あるいは代替エネルギー市場の将来性を見たとき、木質バイオマス関連市場が大きく成長する期待が高まっていると言える。したがって、木質バイオマスやボイラーへの市場を拡大することで間伐材利用によるCO₂収支量としての効果を増加させる。

c) 地産地消を軸とした木材供給

輸入木材に頼らず、県産材を利用することでCO₂排出量を削減させる。SCGEモデルの適用外でのCO₂収支量も推計に含めたこともあり、他施策より効果が高いという点も考慮しなければならないが、木材輸入停止の施策は試算したケースの中でCO₂収支量として最も効果が高かった。そのため、県産材によって地域の木材供給を満たすことで、林業が活性化してCO₂吸収量が増大するとともに、木材利用が増えてCO₂排出量が削減される。

また、地域内の木材加工工場が活性化するような施策を実行することでCO₂収支量として改善させる。試算では、特に製材輸入の停止の場合でCO₂収支量としての効果が高かった。そのため、地域の木材加工工場を活性化させることで、地域内の素材を使った製材が地域内へ供給される流れをつくる。これにより、林業の活性化にも繋げ、CO₂収支量として効果の高い木材供給の枠組みをつくる。

6. おわりに

本研究では、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を検討した。以下に本研究の成果を簡潔にまとめる。

①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、CO₂収支量として年平均で約4.2万(t-C)のCO₂削減効果を得、抑制効果が比較的高い施策であることを示した。

②製材を輸入停止することで、停止しない場合と比較して、CO₂収支量として年平均で約15.4万(t-C)のCO₂削減効果を得、抑制効果が高い施策であることを示した。

③高性能林業機械を導入することで、導入しない場合と比較して、CO₂収支量として年平均で約0.8万(t-C)のCO₂を多く排出するため、高性能林業機械の安易な導入は、却ってCO₂を増大させる可能性があり、高性能林業機械の効率的な利用と間伐材の利用の拡大を合わせて検討する必要があることを示した。

④各施策の試算結果を踏まえた上で、a)高性能林業機械導入と間伐材利用促進を並行する、b)間伐材利用のために市場を確保する、c)地産地消を軸とした木材供給を行なう、という3つの具体的な施策方針を提言した。今後の課題としては、施策の実現可能性について言及することが挙げられる。本論文では3施策について試算し、その効果を示したが、施策が実行されなければその効果も表れない。実際に施策が実施されるためには、施策による便益（不便益）も評価する必要がある。本研究ではCO₂収支量に着目して総合的な森林管理システムを検討しているが、実現可能性を算するためにCO₂収支量を示すだけでなく、施策による便益（不便益）も評価する必要がある。

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いた。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 1) 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（第17回地球環境シンポジウム論文集），2009（印刷中）。
- 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，pp.235-242，2006。
- 3) 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。
- 4) 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 Vol.34, pp.553-561, 2006.
- 5) 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.
 - 6) 田中和博：『シルブの森』研究庵へようこそ，<http://af2.kpu.ac.jp/keikaku/staff1.html>, 2009.
 - 7) 岐阜県森林科学研究所：シルブの森岐阜県，2006.
 - 8) 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.
 - 9) 森林総合研究所：森林，海洋等における CO₂ 収支の評価の高度化，森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 3，2004.
 - 10) 北海道水産林務部森林計画課：森林機能評価基準，2004.
 - 11) 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.
 - 12) 岐阜県：緊急間伐推進五ヵ年計画，2000.
 - 13) 農林水産省統計部編：平成 12 年木材需要報告書，農林統計協会，2002.
 - 14) ウッドマイルズ研究会：ウッドマイルズー地元の木を使うこれだけの理由，農山漁村文化協会，2007.
 - 15) 秋田県農林水産部秋田スギ振興課：高性能林業機械による低コスト生産，収益性が高い“低コスト生産”をめざして，pp.20-28, 2009.
 - 16) 岐阜県：第 11 次長良川地域森林計画書，2006.

AN INTEGRATED FORESTRY MANAGEMENT SYSTEM IN NAGARA RIVER BASIN FOCUSING ON ABSORPTION AND EXHAUST OF CO₂

Tatsuya SUGIMOTO and Akiyoshi TAKAGI

It is necessary to examine the entire economic system concerning forestry management based on the amount of absorption and exhaust of CO₂ to contribute to the global warming control in the forestry management. In this study, we evaluated three measures such as 1) the promotion of thinning material use, 2) the stop of wood import and 3) the introduction of high performance forestry machine, in order to examine the integrated forestry management system in Nagara River basin focusing on the amount of absorption and exhaust of CO₂. As a result, it proposed three concrete ideas such as a) going side by side of the introduction of high performance forestry machine and the promotion of thinning material use, b) securing of market for the use of thinning material and c) wood supply that centers on local production for local consumption.