

森林部門と住宅部門を合わせた国レベル 炭素吸収量の試算

Estimation of Carbon Uptake in the Forests and Houses Sectors on a National Scale

広嶋 卓也・鄭 躍軍・松本 光朗

Hiroshima, T., Zheng, Y. & Matsumoto, M.

キーワード: 温室効果, 国レベル, 住宅, 人工林, 炭素

要約: 本論では、林業施策および住宅施策が森林・住宅両部門の炭素収支に与える影響を長期的に評価することを試みた。モデルは、森林サブモデルと住宅サブモデルからなり、シミュレーションは、今後50年を予測期間として、全国の人工林と、全国の木造・非木造住宅を対象に各サブモデルにいくつかの施策シナリオを与えることにより行った。その結果、4つの林業施策に応じた森林炭素吸収量は、今後50年間でいずれの場合も減少傾向となった。また2つの住宅施策に応じた住宅炭素吸収量は、いずれの場合も、はじめの20年程度は減少傾向を示し、後に増加に転じた。

Abstract: Purpose of this study was to evaluate the political implication on carbon sequestration in the forests and houses sectors. Forests and houses sub models were constructed and employed to conduct simulations that predicted the amount of carbon to be sequestered in planted forests and wooden and non-wooden houses on a national scale over 50 years planning horizon based on several policy scenarios. As a result, carbon uptake in the forest sector got decreased in all of the scenarios year by year. Carbon uptake in the house sector got decreased in first 20 years and increased after that.

Keywords: carbon, green house effect, house, national scale, planted forest

1. はじめに

京都議定書は、温室効果ガスを削減する上で完全な枠組みではないとの議論がある。たとえば京都議定書によれば、2008年から2012年の第一約束期間に森林の伐採木材は即、排出炭素と見なされるが、本来これは木材製品として利用された後に焼却されてはじめて排出炭素と見なされるべきである。また削減目標や目標達成のためのルールは第一約束期間のごく短期間に設定されているのみであるが、本来、温室効果ガスの削減には長期的な目標設定や取り組みが不可欠である。そこで本論では、京都議定書の枠組みにとらわれず、林業施策および住宅施策が森林・住宅両部門の炭素収支に与える影響を国レベルで長期的に評価することを試みる。

これまでわが国の森林部門において国レベルで炭素吸収量の計算を行った例としては、人工林・天然林別かつ針葉樹・広葉樹別にすべての森林を対象とした松本(2001)、人工林・天然林別かつ樹種別にすべての森林を対象とした広嶋・天野(2000)、京都議定書 3 条 4 項人工林を対象としたHiroshima(2004)などが知られている。これらはいずれも林業統計と成長曲線(収穫表)にもとづき吸収量を計算したものであり、その他、光合成、呼吸、分解等の生態学的プロセスを考慮した、いわゆるプロセスベースモデルにもとづき炭素収支を計算したものとしてAlexandrov and Yamagata(2002)、山形ら(2005)などがある。以上の森林部門モデルはいずれも京都議定書の枠組みに則り、伐採木材は即、排出炭素として扱われている。また住宅部門において炭素蓄積量を推定した例としては、有馬(1991, 1992)、鄭・天野(1999)、外崎・恒次(2001)などがあり、これらはいずれも新規着工住宅量と現存住宅のライフサイクル評価にもとづき炭素蓄積量を計算したものである。このようにわが国ではこれまで森林部門、住宅部門で別々に炭素量を計算した例はあるものの、両者を統合する試みは十分になされてこなかった。これを受け、本論では森林・住宅両部門を合わせた炭素吸収量を計算する。

2. 方法

2.1. モデルの概要

上述のとおり、予測で用いるモデルは、森林サブモデルと住宅サブモデルからなる。

図1の森林サブモデルは、素材価格を媒介として国産材の需給量の均衡をはかるもので、供給量（図1左側）に関しては、まず素材価格、林道開設延長、素材生産費指数を説明変数とする回帰式にもとづき経済林率を計算した後に、経済林に対する減反率計算により伐採面積が、それに図2の収穫表の材積を乗じて伐採材積がそれぞれ求められ、さらにそれに各種歩留まりを乗じて素材量を求める。また図1では省略されているが、このモデルでは複層林も扱っており、予測分期ごとに10齢級以上の単層林の一部を複層林へ転換し、上木と下木を分けて一定の材積を伐採してゆく。また需要量（図1右側）は、新規住宅着工量、住宅木造率、各種価格指数などからなる14個の説明変数をもつ構造方程式により、製材用材、合板、その他木質パネルの3分

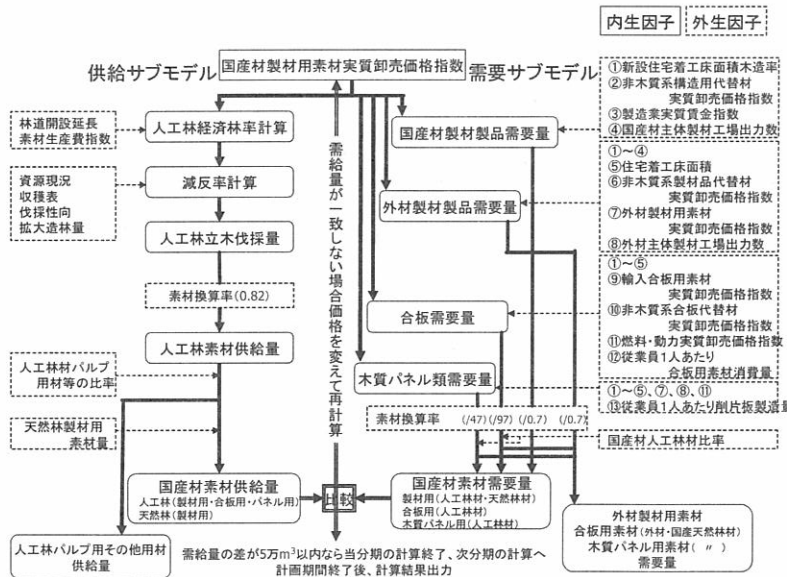


図1. 木材需給均衡モデルの構造 出典：森林計画研究会(1987)

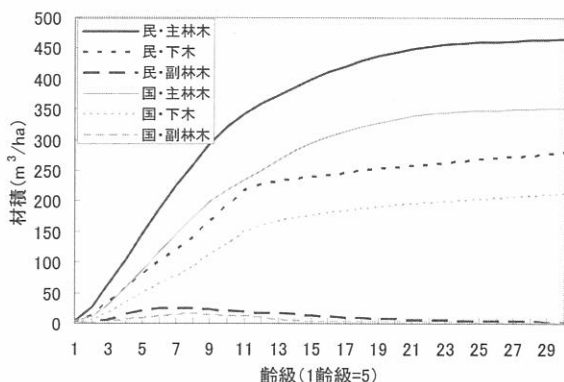


図2. 収穫表：林野庁内部資料をもとに一部改

類で求められる。モデルの詳細については、森林計画研究会(1987)、森林基本計画研究会(1997)、広嶋(2003)を参照されたい。このモデルはとくに供給量を求める過程で人工林の資源管理のみを内生的に取り扱うため（天然林からの供給量は年次のみを説明変数に持つ単回帰式により外生的に求められる）、森林部門では天然林は炭素量計算の対象外とする。こうしてモデルで内生的に計算される人工林蓄積に対して、拡大係数、容積密度、炭素含有率を乗ずることにより炭素蓄積を、その2時期間の差を取ることにより炭素吸収量を求めることができる。拡大係数は松本(2001)に従い、年齢に応じて変化するものとし、容積密度は人工林を針葉樹林と見なし木材工業ハンドブック(林業試験場 1982)に従い $0.38(t/m^3)$ とし、炭素含有率はIPCC(1996)に従い0.50とする。

住宅サブモデルは、年間新設着工延べ床面積(鄭・天野 1999)

$$[1] \quad N = e^{\frac{9.961 - 146.76P}{G}}$$

ただし、 N ：年間新設着工延べ床面積（ 万m^2 ）， G ：年間国民支出総額（万円）， P ：総人口数（万人）

と残存住宅延べ床面積(有馬 1992)

$$[2] \quad S = N \frac{e^{-r(t-a)}}{1 + e^{-r(t-a)}}$$

ただし、 S ：住宅残存量（万 m^3 ）， r ：相対残存率， t ：新設着工住宅着工後の経過年数（年）， a ：平均耐久年数（年）

の予測式からなり、前者より住宅用木材需要量をへて粗炭素吸収（増加）量を求め、後より滅失住宅量、廃棄木材量をへて炭素排出量を求め、それらをあわせて純炭素吸収（増加）量を求める。なお木材量を炭素量へ換算する際は、まず新設住宅の床面積に占める木造率を仮定した上で、木材使用量（木造： $0.2m^3/m^2$ ，非木造： $0.04m^3/m^2$ ），比重（ $0.45t/m^3$ ），炭素含有率 0.50 を乗ずることにより炭素蓄積を、その2期間の差を取るにより炭素吸収量を求める。

また森林サブモデルと住宅サブモデルの接続は、両モデルに共通する外生因子である「新設住宅着工床面積木造率」を媒介として行う。森林サブモデルでは伐採された木材は、排出炭素と見なされるが、住宅サブモデルにおける炭素吸収量を加味することにより、伐採木材が住宅資材として利用され炭素が固定されつづける効果を、間接的に評価することができる。

2.2. シミュレーションの概要

シミュレーションは、今後50年間を予測期間として、各サブモデルの外生因子に様々な見通しを与えることにより行う。林業施策は、森林サブモデルにおいて4通りの見通しを想定し、すべての外生因子に関して過去の傾向を延長する「すう勢」、林道開設の増加などにより伐採の推進を意図する「伐採推進」、国産材製材工場の減少などを見込むことにより伐採の抑制を意図する「伐採抑制」、すう勢の倍の面積で複層林の造成を進める「複層林推進」からなる。これら林業施策の詳細は、森林基本計画研究会(1997)を参照されたい。住宅施策は、住宅サブモデルにおいて[1]式の G には、GDP成長率 1.3% のもとでの年間国民支出総額を、 P には国立社会保障・人口問題研究所(2005)の中位推計の総人口数を、[2]式の r に日本平均値 0.2 (有馬 1992)をそれぞれ与えた上で、木材量を炭素量へ換算する際の住宅木造率が4割、5割、6割と向上する場合と、[2]式の平均耐用年数 a が40年、50年、60年と向上する場合の2通りの見通しを想定する。以上の林業・住宅施策に基づき今後50年間の森林および住宅の炭素吸収量を予測し、施策の効果を分析する。

3. 結果と考察

4つの林業施策に応じた今後50年間の森林炭素吸収量と素材生産量（単層林主伐，単層林間伐，複層伐（誘導伐），複層林下木間伐の合計値）の推移を図3に示す．図中，棒グラフは炭素吸収量を，折れ線グラフは素材生産量をそれぞれ表し，値はいずれも全国人工林を対象としたものである．まず素材生産量に関して，2005年以降は生産量の多い順に，伐採推進，複層林推進，すう勢，伐採抑制となる．ただし複層林推進とすう勢にはほとんど差がなく，生産量の内訳に関して，前者は複層伐主体，後者は単層林主伐主体という違いがある．つぎに炭素吸収量に関しては，2005年以降は吸収量の多い順に，伐採抑制，複層林推進，すう勢，伐採推進となる．ただし伐採抑制と複層林推進にはほとんど差がなく，予測期間終了時にはむしろ後者が前者を上回る．以上のように素材生産量と森林の炭素吸収量は反比例する．その中でとくにすう勢と複層林推進を比較すると，予測期間中，単層林では高齢化が進み成長量が徐々に減少するのに対し，複層林では若い下木の成長量が増加するため，ほぼ同じ素材生産量のもとでも，炭素吸収量は，時間とともに後者の方が多くなる．結局，伐採量を保ちつつ炭素吸収量を獲得するには，複層林推進が有効となる．実際，予測期間終了時に複層林推進は伐採抑制と比較して，500万 m^3 ほど多い素材生産量を達成しつつ，ほぼ同量の炭素吸収量を獲得している．

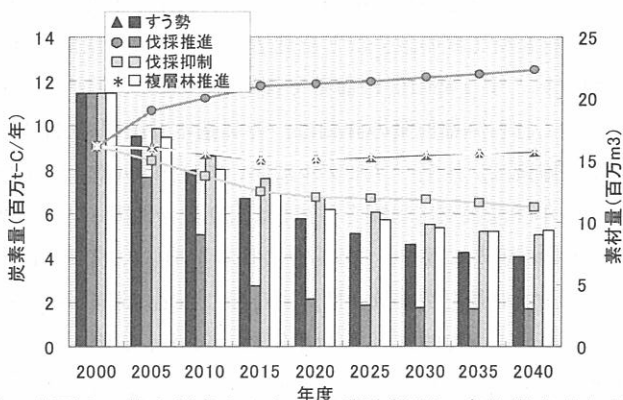


図3. 全国人工林を対象とした，林業施策別の森林炭素吸収量と素材生産量の推移（棒グラフー炭素吸収量，折れ線グラフー素材生産量）

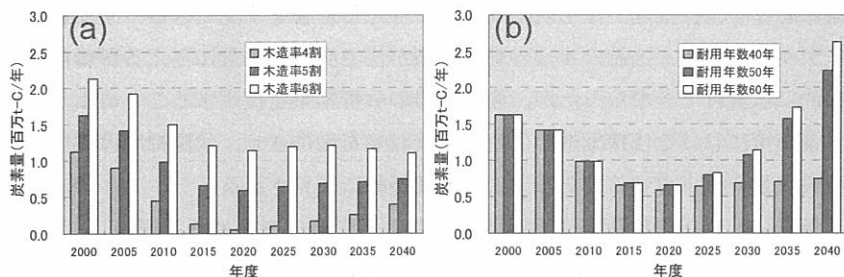


図4. 住宅施策別の住宅炭素変化量の推移。
 (a) 住宅木造率が4割～6割と向上する場合
 (b) 住宅耐用年数が40年～60年と向上する場合

つぎに2つの住宅施策に応じた住宅炭素吸収量は、いずれの場合も、はじめの20年程度は減少傾向を示し、後に増加に転じる(図4)。吸収量は木造率向上よりも、耐用年数向上の方が多く、予測期間終盤には森林の炭素吸収量に匹敵する量となる。

さらに、林業施策—すう勢、住宅施策—木造率向上の場合に、森林・住宅を合わせた総炭素吸収量の推移を図5に示す。森林の炭素吸収量は、住宅木造率が上がると減少し、住宅の炭素吸収量は、住宅木造率が上がると増加する。そして森林と住宅を合わせた総炭素吸収量は、住宅木造率が上がると、はじめは減少するが、その後、減少に歯止めがかかり、やがてゆるやかな増加に転じる。以上より、長期的に見れば、住宅木造率の上昇は炭素吸収に寄与する。なお木造率の向上は、森林からの素材生産量を増加させ、ひいては森林炭素吸収量を減少させる。このことから、図5の分析結果より、林業施

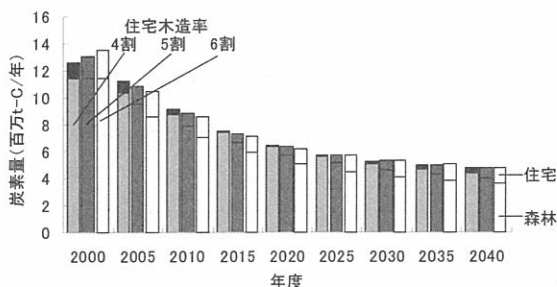


図5. 総炭素吸収量の推移
 (林業施策—すう勢、住宅施策—木造率向上の場合)

策における伐採推進が住宅炭素吸収量に与える影響を予見できる。すなわちモデルの構造上、上記の4つの林業施策が住宅炭素吸収量に与える影響は直接的には分析できなかったが、住宅施策の分析結果を援用することにより、林業施策における伐採推進は住宅炭素吸収量を増加させ、伐採抑制は住宅炭素吸収量を減少させるであろうことが間接的に予見される。

最後に、以上の施策が炭素吸収量に与える影響をまとめる(表1)。ここでは、森林モデルですう勢、住宅モデルでGDP成長率1.3%、住宅耐用年数40年、住宅木造率5割とした場合の炭素吸収量の推移をベースとして、施策の結果、炭素吸収量が増加する場合を“+”，減少する場合を“-”，変化しない場合を“n”の記号で表す。記号の数が多いほど影響が大きいことを表し、またカッコ付きの記号は、本モデルでは影響を直接分析することはできず、間接的に見込まれる影響であることを表す。これより森林・住宅を合わせた総炭素吸収量を増加させる上で、効果的な施策は、林業施策では伐採抑制および複層林推進、住宅施策では耐用年数向上であるといえる。

表1. 各種施策が炭素吸収量に与える影響の評価

施業内容	森林吸収量	住宅吸収量	森林+住宅吸収量
林業施策			
伐採推進	--	(+)	(-)
伐採抑制	++	(-)	(+)
複層林推進	++	(n)	(++)
住宅施策			
木造率向上	-	+	n
耐用年数向上	(+)	++	(++)

※記号が多いほど影響大、※(-)は間接的に見込まれる影響

4. おわりに

本論では、林業施策および住宅施策が森林・住宅両部門の炭素収支に与える影響を国レベルで長期的に評価することを試みた。今後50年間を予測期間とするシミュレーションの結果、すう勢、伐採推進、伐採抑制、複層林推進の4つの林業施策に応じた森林炭素吸収量は、今後50年間でいずれの場合も減少傾向となったが、マイナスとなることはなかった。また木造率向上、平均耐用年数向上の2つの住宅施策に応じた住宅炭素吸収量は、いずれの場合も、はじめの20年程度は減少傾向を示し、後に増加に転じた。そして森林・住宅を合わせた総炭素吸収量を増加させる上で効果的な施策は、林業施策で

は伐採抑制および複層林推進、住宅施策では耐用年数向上であることが予見された。ただし森林モデルにおいて、図2の複層林下木の収穫表に改善の余地があること、住宅モデルにおいて、耐用年数の延長が新規住宅着工量の制約になっていないことなどを考えると、現実には複層林や住宅耐用年数が上記シミュレーションほどの効果を持たない可能性もある。これらの改善が、今後、より信頼度の高い炭素吸収量予測および施策評価のための課題となる。

引用文献

- Alexandrov, G.A. and Yamagata, Y. 2002. Net biome production of managed forests in Japan, *Science in China (series C)* 45(7):1-6
- 有馬考禮. 1991. 木造住宅のライフサイクルと環境保全, *木材工業* 46:635-640
- 有馬考禮. 1992. 住宅生産におけるCO₂排出と木材利用による炭素貯蔵, *森林文化研究* 13:109-119
- 広嶋卓也・天野正博. 2000. 森林セクター炭素収支モデルの開発, pp.24-28, 人為活動による森林・木材分野の炭素収支変動評価 (天野正博 編), 森林総合研究所
- 広嶋卓也. 2003. 木材需給均衡モデルへの拡張減反率の適用方法, pp.145-158, 森林資源管理と数理モデルVol.2. (広嶋卓也・箕輪光博 編), 森林計画学会出版局, 東京
- Hiroshima, T. 2004. Strategy for implementing silvicultural practices in Japanese plantation forests to meet a carbon sequestration goal, *Journal of Forest Research* 9:141-146
- IPCC. 1996. Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, IPCC
- 国立社会保障・人口問題研究所. 2005. 人口統計資料集, <http://www.ipss.go.jp/>

- 松本光朗. 2001. 林業統計を利用した炭素蓄積量推定手法の改善, pp.71-80, 陸域生態系の吸収源機能に関する科学的評価についての研究の現状 (天野正博・山形与志樹 編), 国際ワークショップ報告書, 地球環境研究センター/国立環境研究所
- 林業試験場. 1982. 木材工業ハンドブック, 丸善, 東京
- 森林計画研究会. 1987. 新たな森林・林業の長期ビジョン, 地球社, 東京
- 森林基本計画研究会. 1997. 21世紀を展望した森林・林業の長期ビジョンー持続可能な森林経営の推進ー, 地球社, 東京
- 外崎真理雄・恒次祐子. 2001. 建築物中の木材炭素ストック量の評価, pp. 91-97, 陸域生態系の吸収源機能に関する科学的評価についての研究の現状 (天野正博・山形与志樹 編), 国際ワークショップ報告書, 地球環境研究センター/国立環境研究所
- 山形与志樹・G.アレキサンドロフ・石井敦. 2005. 生態学的アプローチによる吸収量評価モデルの開発と不確実性解析, pp.233-243, 地球環境研究総合推進費 平成15年度研究成果ー中間成果報告集ー (II/全6分冊), 環境省
- 鄭躍軍・天野正博. 1999. 住宅ライフサイクルにおける炭素固定機能に関する分析, *環境情報科学* 28(2):45-55