

建築分野における木材の需給バランスを 考慮した炭素収支評価

加用 千裕¹・天野 耕二²・島田 幸司³

¹立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
E-mail:rv003002@se.ritsumei.ac.jp

²正会員 立命館大学教授 理工学部
E-mail:amano@se.ritsumei.ac.jp

³正会員 立命館大学教授 経済学部
E-mail:shimada@ec.ritsumei.ac.jp

建築用木材の利用に関わる炭素収支について、国内の森林と建築分野における木材需給バランスを考慮した上で木材利用量を変化させるシナリオを検討し、2050年までの炭素収支を分析した。国内の森林は、1990年時の森林蓄積を維持した上で、京都議定書で定められた炭素吸収量を確保しながら建築分野における最大木材利用量を供給可能であることが確認できた。これを受けて、木材需給バランスを変化させるシナリオによって炭素フローを評価した結果、建築用木材利用量の政策目標達成シナリオでは、現状推移シナリオと比較して2050年に1990年時国内総CO₂排出量1.7%相当の炭素削減効果があると推計された。また、同ケースの炭素ストック評価では、2050年までの炭素蓄積増加量は現状推移シナリオの1.24倍相当と推計された。

Key Words : architectural wood, CO₂ emission, carbon mass balance, forest assimilation

1. はじめに

地球温暖化を緩和するためのCO₂排出削減対策には、化石燃料の使用削減によってCO₂排出量を抑制させることに加えて、減少した森林面積の回復や適切な森林管理によって炭素吸収量と蓄積量を増加させることがあげられる。特に日本は、京都議定書で定められた温室効果ガス削減量(1990年比6%削減)の大部分(3.9%)を森林による炭素吸収量によって達成しようとしているため、森林管理は重要な推進課題の一つである。また、伐採後も炭素蓄積効果がある木材の取り扱いも国際的に議論されており、第2約束期間以降に伐採木材の炭素蓄積量が評価される可能性がある。森林の炭素吸収量を持続的に確保するためには、林分密度を調節するための木材伐採や間伐が不可欠となる。また、伐採後の木材は社会の中で長期間利用されることによって炭素蓄積場所となる。さらに、鉄鋼やコンクリートなどエネルギー集約度の高い材料を木材に代替することや、化石燃料をバイオマスに代替することによるCO₂削減効果にも期待できる。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の「第3次評価報告書」や日本政府の「地球温暖化対策推進大綱」の中でも、温暖化対策として木材製品の利用を促進することが明記されており、森林管理と同時に木材利用拡大の方向性も

重要な課題となっている。このため、木材利用の温暖化抑制機能に関して、木質バイオマスのエネルギー利用^{1,2)}、木材の炭素蓄積効果や木質廃棄物の再資源化による炭素収支を評価する研究³⁾等が行われている。また、最も長期的な炭素蓄積場所となる建築分野においても、木造率の増加⁴⁾、建物の長寿命化や建設発生木材の再資源化⁵⁾によるCO₂削減効果が分析されている。しかし、木材利用とその炭素収支について、供給サイドである森林の木材供給可能性と需要サイドである社会の木材利用可能性との需給バランスを考慮した観点から評価する手法は未だ明確になっていない。そこで本研究では、建築分野を対象として、建築用木材の需要と供給のバランスを考慮しながら木材利用量を変化させる施策を検討し、2050年までの建築用木材に関わる炭素収支を評価する。

木材の炭素蓄積評価に関して、現在、国連気候変動枠組み条約で伐採木材の炭素評価方法が議論されており⁶⁾、国内外で研究が進められている^{7), 8), 9), 10)}。京都議定書の第1約束期間(2008年～2012年)に採用される評価方法であるDefault approach(森林から木材を伐採した時点で炭素排出と評価する方法)に対して、現在までに3つの評価方法が提案されている^{11), 12)}。第2約束期間以降に、木材の炭素蓄積量が評価されるようになった場合、どの評価方法が採用されるかによって、国によって異なる影響

を与える可能性が指摘されており¹¹⁾、まだ結論には至っていない。提案されている3つの評価方法は、大気との炭素収支を評価する方法(Atmospheric-flow approach)と、森林や社会における炭素蓄積変化を評価する方法(Stock-change approach, Production approach)の2種類に分けられることから、本研究においても、大気との炭素収支を評価する炭素フロー評価と森林や社会における炭素蓄積変化を評価する炭素ストック評価の両視点から木材利用に関わる炭素収支を評価することとする。とりわけ、本研究では、木材利用に関わる炭素収支について、木材自身による炭素蓄積量や焼却後の炭素排出量評価だけでなく、木材利用によって誘発される副次的な炭素収支も含めて拡大炭素収支評価を試みる。大気との炭素収支を分析する炭素フロー評価においては、建築用木材が建築物にストックされた後の建築物解体に伴って発生する廃棄木材自身の炭素排出量に加え、建築用木材の生産・輸送過程において消費される化石燃料起源の炭素排出量を評価対象とする。さらに、建築用木材を供給する国内の森林のみを対象とした上で、伐採後の植林による資源更新を想定し、新たな樹木成長に伴う炭素吸収量を含めて拡大フロー評価を行う。また、建築分野における炭素蓄積変化を分析する炭素ストック評価においても、建築物にストックされた建築用木材による炭素蓄積量に加え、これら建築用木材を供給した国内森林において、伐採跡地へ植林することによる森林の炭素蓄積増加量を評価対象とする。

2. 建築分野における木材の需要と供給

(1) 供給サイド

a) 森林蓄積量の維持が可能な最大木材供給可能量

国内の森林における森林蓄積増加量に木材伐採量を加算することにより、毎年森林蓄積量を減少させず維持することが可能な最大木材供給可能量を推計する。1990年¹³⁾および2002年¹⁴⁾「森林資源現況調査(以下、現況調査)」を用いて、1990年時における人工林および天然林蓄積量(幹材積)と12年経過後の2002年時における人工林および天然林蓄積量(幹材積)の差から期間12年の森林蓄積増加量(m^3)を算出した。ただし、この12年間には伐採によって森林から減少した蓄積量もあるため、「林業統計」の1990年¹³⁾から2002年¹⁴⁾までの木材伐採量(幹材積)合計(m^3)を加えることにより、総森林蓄積増加量(=最大木材供給可能量)を算出した。この値を期間12年で除して1年間の最大木材供給可能量を求めた。なお、現在国内で伐採の禁止されている森林は国立公園・自然公園等の天然林であるが、これらは現況調査

の対象森林から除外されているため、現況調査の対象となっている天然林全てを含めて算定した総森林蓄積増加量を最大木材供給可能量と見なして問題ないものとした。1年間の最大木材供給可能量の推計結果である1億473万 m^3 を1990年時における国内の森林蓄積を維持しながら利用可能な年間最大木材供給可能量と設定した。2002年の国内木材伐採量は2012万 m^3 であり、国内森林には現状伐採量の5倍以上の木材供給能力があると考えられる。

b) 京都議定書で定められた炭素吸収量の確保を考慮した木材供給可能量

京都議定書の発効により、森林の炭素吸収量が温室効果ガス削減量の評価対象となっており、京都議定書の目標を達成するためには、国内の森林において2008年から2012年に年平均約1300万t-Cの炭素吸収量を確保する必要がある。日本政府は、「森林・林業基本計画」の目標に沿った森林整備が行われると、2010年頃に国内森林面積の約70%に相当する1750万ha(育成林1160万ha、天然林590万ha)の森林が京都議定書の炭素吸収源対象となり、炭素吸収量目標値1300万t-Cを達成できるとしている¹⁶⁾。この推定の基本となる国内森林の年間炭素吸収量は、森林の年間成長量(幹材積)に幹と樹木全体の比率を表す拡大係数、容積密度および炭素含有率を乗じて算出する方法が用いられている。本研究では、国内の全森林面積を対象として(1)a)で示した2時点の森林蓄積量の差から年間炭素吸収量を算出する方法を採用し、さらに期間内の木材伐採量も含めた総森林蓄積増加量(最大木材供給可能量)を用いて、京都議定書の炭素吸収量目標1300万t-Cを確保しながら利用可能な木材供給可能量を試算する。炭素吸収量要求値1300万t-Cを、拡大係数1.7¹⁷⁾、容積密度0.45¹⁷⁾、炭素含有率0.5¹⁷⁾で除することにより、炭素吸収量1300万t-Cに相当する森林蓄積量(幹材積)3399万 m^3 を算出し、この値を(1)a)の年間最大木材供給可能量1億473万 m^3 から差し引いて7074万 m^3 を求めた。この7074万 m^3 を京都議定書の目標達成に必要な炭素吸収量を確保しながら利用できる年間木材供給可能量とした。「森林・林業基本計画」では、炭素吸収量1300万t-Cを確保した上での年間木材供給可能量を3400万 m^3 と試算しており、本研究の試算値7074万 m^3 と比較して1/2以下と小さく見積もられている。これは、「森林・林業基本計画」において推定されている森林蓄積増加量が相当に過少評価されている可能性があることを示している。

(2) 需要サイド

a) 建築分野の法令・政策等に基づいた木材利用可能量

建築分野における木材利用量拡大施策として、建築基

準法に基づいて非木造建築物を木造建築物に代替することによる木材利用量の拡大、国内の森林整備のために国産材利用を促進させる目的から輸入材を国産材に代替することによる国産材利用量の拡大、の2点について木材利用可能量を検討する。

建築基準法において、2004年に木造2×4工法が耐火構造認定（耐火性能1時間）¹⁹を取得したことから、防火地域での4階建て建物や5階以上建物の上層4階部分等において木構造の建設が可能となった¹⁹。また、木造建築物の建築コストは非木造建築物と比較して安価となる試算例が報告されている²⁰。上記の木造2×4工法の認定取得を含めて、木造代替可能な非木造建築物を検討した結果、2000年1年間に着工された非木造建築物床面積²¹ 9844万m²（鉄骨鉄筋コンクリート造[SRC]、鉄筋コンクリート造[RC]、鉄骨造[S]）の79%に相当する7804万m²が木造代替可能対象となった（表-1）。この木造代替可能な非木造建築物床面積7804万m²に同年着工の木造建築物床面積6116万m²（木造[W]）を加算して1億3920万m²を求めた。これに木造建築物の建築時木材投入量原単位0.202（m³/m²）²²（表-2①）を乗じ、さらに木材製品生産歩留り0.6¹⁴で除して素材材積に換算することにより建築用木材の年間利用可能量4684万m³を算出した。なお、木造建築物の建築時木材投入量原単位は「建設資材・労働力需要実態調査（建築部門）報告書（以下、建設資材調査）平成12年度実績²³」の木造居住専用区分の素材・製材・合板および工事時の損料対象材（合板・その他木材）合計値を引用している（表-2①）。先に算出した建築用木材の年間利用可能量4684万m³を全て国産材によって供給すると仮定した場合、(1)b)に示した国内の森林による年間木材供給可能量7074万m³と建築用木材の年間利用可能量4684万m³の需給バランスにおいて、建築用木材は国内の森林から充分供給可能である。国内の森林には、建築分野において非木造建築物を最大限木造建築物に代替し、さらに利用される建築用木材全てを国産材に代替可能な木材供給能力があると考えられる。

b) 建築分野における木材需給シナリオの設定

国内の森林と建築分野における木材需給バランスを考慮した上で、木材利用量を変化させるシナリオを検討するために、今後の建築着工量を予測し、現状推移(BAU)シナリオを設定する。対象期間を2000年から2050年として、将来推計人口²³と既往研究^{24, 25}を参考にした建築物の寿命分布を表す確率密度関数を用いて、以下の推計方法①～④により各年の構造別建築着工床面積を算定する。

① 推計を開始する2000年に現存している建築物床面積統計値²⁶を2000年の国内総人口²³で除して、一人当た

表-1 2000年着工の非木造建築物の木造代替可能床面積

	W造	SRC造	RC造	S造	非W造合計
2000年建築着工面積(万m ²)	6116	1489	3081	5274	9844
①1~4階建て建物	6116	111	1269	4664	6044
②5階以上建物の上層4階	0	477	937	346	1760
W造代替可能面積(①+②)	-	588	2206	5010	7804

表-2 構造別の建築物床面積当たり木材投入・蓄積量原単位

	W造	SRC造	RC造	S造
①建築時の木材投入量(m ³ /m ²)	0.202	0.046	0.056	0.052
②建築物の木材蓄積量(m ³ /m ²)	0.176	0.026	0.031	0.042

り現存建築物床面積を算出し、2001年以降この値が欧州水準²⁷に達するまで増加し、その後は安定化すると仮定して、2050年までの一人当たり現存建築物床面積を設定する。この一人当たり現存建築物床面積に将来推計人口を乗じて2001年から2050年まで各年の現存建築物床面積を推計する。さらに、2000年時に現存している建築物の構造別比率が今後も同比率で推移すると仮定して、2001年から2050年まで各年の現存建築物床面積を建築構造別の床面積に配分する。

② ①で推計した2000年から2050年までの構造別現存建築物床面積と、1950年から1999年までの建築着工床面積統計値²⁸を用いて、以下の(1),(2)式によって2000年から2050年における各年の建築着工床面積を推計する。

$$BD_t = \sum_{i=1}^{50} \{BE_{t-i} \cdot f_i(i)\} \quad (1)$$

$$BE_t = BS_t - BS_{t-1} + BD_t \quad (2)$$

ここで、 $f_i(i)$: $t-i$ 年着工の建築物のうち、 i 年経過後の t 年中に解体される建築物の割合

BE_{t-i} : $t-i$ 年の建築着工床面積(m²)

BE_t : t 年の建築着工床面積(m²)

BD_t : t 年の解体建築物床面積(m²)

BS_t : t 年の現存建築物床面積(m²)

(1)式の $f_i(i)$ は $t-i$ 年に着工された建築物のうち、 i 年経過後の t 年中に解体される建物の割合を示す寿命分布関数として用いる確率密度関数（表-3）である。(1)式において、 $t-i$ 年の構造別建築着工床面積 BE_{t-i} と建築構造別の $f_i(i)$ から t 年中に解体される構造別建築物床面積 BD_t を算出し、この構造別解体床面積 BD_t と②で設定した $t, t-1$ 年に現存している建築物の構造別床面積 BS_t, BS_{t-1} を(2)式に代入することによって、 t 年に

着工される構造別建築物床面積 BE_i を算出することができる。

③ 既往研究^{24, 29}から引用した建築構造別の $f_i(i)$ と「建築統計」から得られる1950年から1999年までの構造別建築着工床面積統計値²⁸ BE_{t-i} ($1 \leq i \leq 50$)を(1)式に代入し、推計開始年である2000年($t = 2000$)の構造別建築物着工床面積 BE_{2000} を算定する。この推計値 BE_{2000} が「建築統計」から得られる統計値 BE_{2000} と一致するまで $f_i(i)$ のパラメータの修正を繰り返す。修正の結果、 $f_i(i)$ を表-3のように設定した。

④ ③で設定した $f_i(i)$ (表-3)を用いて、②の作業を $t = 2000$ から $t = 2050$ まで繰り返すことによって、2000年から2050年まで各年の構造別建築着工床面積を推計する(図-1)。

図-1の建築着工床面積推計結果を現状推移(BAU)シナリオ(1A.)とした上で、木造代替可能な非木造建築物を木造建築物に代替するシナリオ(2~4.)と輸入材を国産材に代替するシナリオ(B~D.)を表-4のように設定した。日本政府は、京都議定書の森林吸収源に関して、「森林・林業基本計画」として2010年頃の木材伐採量見込みを前提とした国産材利用量目標¹⁴を提示しており、その中で、主に建築分野で利用される製材および合板の国産材利用量目標は2010年に1900(製材用材1800, 合板用材100)万 m^3 とされている。設定したシナリオの中で、木造代替可能な非木造を毎年1%ずつ木造に代替し、さらに輸入材を毎年1%ずつ国産材に代替する2B.シナリオは、2010年国産建築用木材の建築時投入量が1162万 m^3 と推計され、これを木材製品生産歩留り0.6で除して素材材積に換算すると1936万 m^3 となる。この1936万 m^3 は、上記の製材および合板用国産材供給量目標1900万 m^3 を達成できる国産建築用木材利用量であるため、2B.シナリオを政策目標達成シナリオとした。

3. 炭素収支評価手法

(1) 評価対象範囲

建築用木材需給を変化させるシナリオ(表-4)による炭素収支評価において、対象とした炭素フローおよびストックの時間スケール・空間スケールを図-2に示す。時間スケールは2000年から2050年、空間スケールは国内の建築分野および国内の森林において建築用木材を供給した木材伐採跡地とする。図-2は2000年に着工された建築物を例として、前述の時間スケール・空間スケールにおいて対象となる建築用木材に関わる炭素フローおよびストックを示している。2000年に着工された建築物には建築用資材(木材・非木材)がストックされ、建築用木材によって炭素が蓄積される。建築時2000年には、

表-3 建築構造別の寿命分布関数(確率密度関数) $f_i(i)$

建築構造	W造	SRC造	RC造	S造
寿命分布関数	対数正規分布	ワイブル分布	ワイブル分布	ワイブル分布
パラメータ	$\mu = 3.650(3.655)$ $\sigma = 0.633$	$m = 3.091$ $\eta = 49.289(61.195)$ $\delta = -3.740$	$m = 3.091$ $\eta = 50.459(61.195)$ $\delta = -3.740$	$m = 3.127$ $\eta = 41.971(40.444)$ $\delta = -7.329$
平均耐用年数(年)	38	40	41	30

()内の数値はパラメータ修正前の文献値

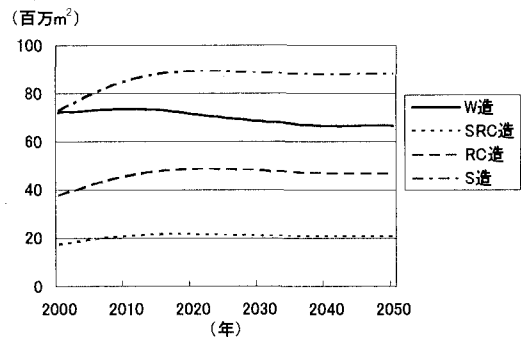


図-1 構造別の建築着工床面積推計(BAU シナリオ)

表-4 木材需給を変化させるシナリオ

<非木造建築物を木造建築物に代替するシナリオ>

1.シナリオ	木造と非木造の着工量が現状傾向(図1)のまま推移する(BAU)
2.シナリオ	木造代替可能な非木造の着工量を2005年から毎年1%ずつ木造へ
3.シナリオ	木造代替可能な非木造の着工量を2005年から毎年2%ずつ木造へ
4.シナリオ	木造代替可能な非木造の着工量を2005年から毎年5%ずつ木造へ

<輸入材を国産材に代替するシナリオ>

A.シナリオ	建築用木材の国産材と輸入材比率が現状のまま推移する(BAU)
B.シナリオ	建築用木材の輸入材を2005年から毎年1%ずつ国産材へ
C.シナリオ	建築用木材の輸入材を2005年から毎年2%ずつ国産材へ
D.シナリオ	建築用木材の輸入材を2005年から毎年5%ずつ国産材へ

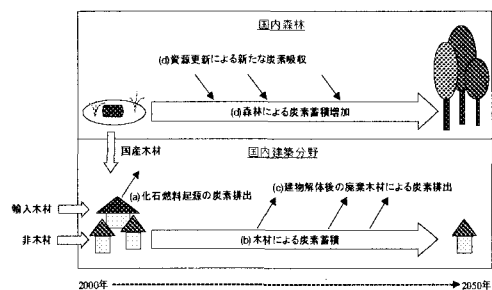


図-2 炭素収支評価対象とした時間・空間スケール
(例: 2000年着工建築物の場合)

(a)建築用資材の生産・輸送等に伴う化石燃料消費によって大気中に炭素が排出される。その後 2050 年まで(b)残存する建築物によって建築用木材の炭素蓄積は持続される。また、2050 年までに(c)解体されていく建築物から廃棄木材が発生し、焼却・分解によって大気中へ炭素が排出される。一方、建築用木材を供給した国内の森林において、木材提供後の伐採跡地へ植林することによって、(d)新たな樹木成長に伴う炭素吸収が行われ、国内森林の炭素蓄積が増加すると考えることができる。上記(a)～(d)の炭素フローおよびストックは 2001 年以降に毎年着工される建築物に関しても繰り返されるため、図-2 と同様に 2001 年から 2050 年までに毎年着工される建築物に関わる(a)～(d)炭素収支の経年変化を分析する。

(2) 炭素収支評価手法と使用したデータ

a) 建築時の建築用資材生産・輸送等に伴う化石燃料起源の炭素排出量

建築着工年における建築用資材の生産・輸送等に伴って消費される化石燃料起源の炭素排出量を建築構造別に算定する。構造別の建築物床面積 1 m² 当たりの各資材投入量原単位(t/m²)^{29, 29)}に 1995 年産業連関表から推計された部門別炭素排出量原単位 (t-Ct)³⁰⁾をそれぞれ乗じて、建築用資材の生産・輸送等に伴う炭素排出量(t-C/m²)を算定した(表-5)。算定に用いた構造別の各資材投入量原単位は、木材・非木材ともに 2.(2)a)の木造建築物の建築時木材投入量原単位と同様の建設資材調査から引用したが、非木造の木材投入量に関して、1994 年建設資材調査以降、素材・製材の投入量が調査対象から除外されている。そこで、木造の素材・製材・合板・損料対象材投入量および非木造の合板・損料対象材投入量については 2000 年建設資材調査²⁹⁾から、非木造の素材・製材投入量は調査の行われていた 1991 年建設資材調査²⁹⁾から引用することとした(表-2①)。また、産業連関表部門別炭素排出量原単位 (t-Ct) は、各資材の工場出荷価格(生産者価格)に販売や国内貨物輸送による付加価値を加算した価格(購入者価格)ベースで評価されているため、資材の生産加工過程だけでなく国内輸送過程における炭素排出量も考慮されている。さらに、輸入品の海外における炭素排出量について、輸入依存度の高い 5 品目(鉄鉱石、石炭、原油、液化天然ガス、アルミ新地金)の海外における採掘・精錬・海上輸送過程を考慮し、それ以外の輸入品は国内で生産されたと仮定して推計されている。以上の推計方法から算出した建築構造別炭素排出量原単位(t-C/m²) (表-5) に、1～4.シナリオ(表-4)による各年の構造別建築着工床面積を乗じることによって、2000 年から 2050 年まで各年建築時における化石燃料起源炭素排出量を推計した。

表-5 建築用資材の生産・輸送等に伴う化石燃料起源炭素排出量原単位(構造別の建築床面積 1m²当たりの原単位)

	W造	SRC造	RC造	S造
炭素排出量原単位(t-C/m ²)	0.052	0.165	0.153	0.095

b) 残存建築物にストックされている建築用木材による炭素蓄積量

着工された建築物が時間経過後に残存している割合を表す残存率関数 $R_t(i)$ を用いて、以下の(3),(4)式から残存建築物にストックされている建築用木材による炭素蓄積量の経年変化を推計する。

$$f_t(i) = \frac{d}{dt} \{1 - R_t(i)\} \quad (3)$$

$$BS_t = \sum_{i=1}^{50} \{BE_{t-i} \cdot R_t(i)\} \quad (4)$$

ここで、 $R_t(i)$: $t-i$ 年着工の建築物のうち、 i 年経過後の t 年に残存している建築物の割合

(3)式の残存率関数 $R_t(i)$ は、 $t-i$ 年に着工された建築物が i 年経過後の t 年に残存している割合(確率)を表しており、表-3 に示した建築構造別の寿命分布関数 $f_t(i)$ および(3)式から求めた建築構造別の残存率関数 $R_t(i)$ と、 $t-i$ 年の建築着工床面積 BE_{t-i} を(4)式に代入し、 t 年に現存している構造別の建築物床面積 BS_t を算出した。1～4.シナリオ(表-4)によって各年の構造別建築着工床面積 BE_{t-i} を変化させて、 $t = 2000$ から $t = 2050$ まで同様の作業を繰り返し、2050 年までの各年に残存している構造別建築物床面積を推計した。この値に、建築物への木材蓄積量原単位(表-2②)を乗じることにより、各年の建築構造別木材蓄積量を算定し、さらに木材の容積密度 0.45 および炭素含有率 0.5 を乗じて炭素量に換算して、木材による炭素蓄積量の経年変化を推計した。なお、建築物への木材蓄積量原単位(表-2②)については、建築時木材投入量原単位(表-2①)から建築工事時に使用される損料対象材と新築廃材発生率 10%³⁰⁾を差し引いて建築物への純蓄積量を示す木材蓄積量原単位とした。

c) 解体される建築物に伴って発生する廃棄木材による炭素排出量

表-3 の寿命分布関数 $f_t(i)$ は、 $t-i$ 年に着工された建築物のうち、 i 年後の t 年中に解体される建築物の割合を表しているため、(1)式を用いて建築構造別の寿命分

布関数 $f_i(t)$ と構造別建築着工床面積 BE_{t-i} から解体建築物床面積を算出する。 $t = 2000$ から $t = 2050$ まで 1.~4.シナリオ (表-4) によって各年の構造別建築着工床面積 BE_{t-i} を変化させて、2050 年までの各年の建築構造別解体床面積を算定した。建築物にストックされていた木材全てが建築物解体時に廃棄木材となり、焼却・分解によって最終的に炭素排出すると仮定して、各年の建築構造別解体床面積に構造別木材蓄積量原単位 (表-2②)、容積密度 0.45、炭素含有率 0.5 を乗じて廃棄木材による炭素排出量の経年変化を推計した。

d) 森林の資源更新による炭素吸収量および蓄積増加量

伐採された木材が建築物にストックされた後、森林において木材伐採跡地へ植林することによって、資源更新による新たな炭素吸収が行われる。木材の持つ資源更新性を含めた炭素収支を評価するという観点から、建築用木材を供給する国内の森林を対象として、木材供給後の伐採跡地へ植林することを想定し、樹木成長に伴う新たな炭素蓄積増加量の経年変化を試算する。国内林業山地である吉野におけるスギ人工林の 1ha 当たり樹木 (木部) 成長量実測値³⁹⁾をもとに、樹木がロジスティック成長すると仮定して成長曲線の当てはめを行い、この樹木成長量に炭素含有率 0.5 を乗じて炭素蓄積量 (t-C/ha) の経年変化を推計し (図-3)、さらに、各年の炭素吸収量として年間の炭素蓄積増加量を算出した (図-4)。国内の森林において建築用木材を供給した森林面積は、1.~4.シナリオ (表-4) による各年の構造別建築着工床面積 (m^2) に、A~D.シナリオ (表-4) によって変化する建築用木材の国産材利用量 (m^3/m^2) を乗じて各年の国産建築用木材利用量 (m^3) を求め、この値を 2002 年時の 1ha 当たり国内森林蓄積量 (幹材積) (m^3/ha)¹⁴⁾ で除することにより、建築用木材を供給した国内森林面積 (ha) を算出した。この森林面積に先に求めた植林後の炭素蓄積量 (図-3) および年間炭素蓄積増加量 (図-4) を乗じて、建築用木材伐採後の植林による炭素蓄積量および各年の年間炭素吸収量の経年変化を推計した。

4. 木材需給シナリオに基づいた炭素収支評価

(1) 拡大炭素フロー評価

図-5 は、(a)建築時に投入される建築資材の生産・輸送過程における化石燃料起源炭素排出量 (図-6) と (c) 建築物解体時の廃棄木材による炭素排出量 (図-7) をプラス (+)、(d)国内の森林において建築用木材を供給後の伐採跡地への植林による炭素吸収量 (図-8) をマイナス (-) として大気との炭素フローを評価している。

木造建築物と非木造建築物、国産材と輸入材の需要が

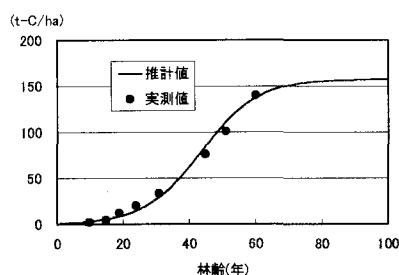


図-3 植林後の樹木成長に伴う炭素蓄積量経年変化

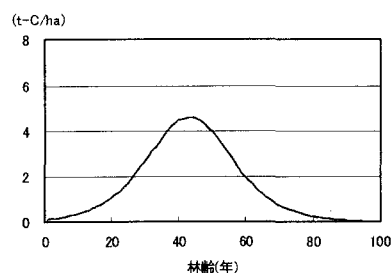


図-4 植林後の年間炭素蓄積増加量

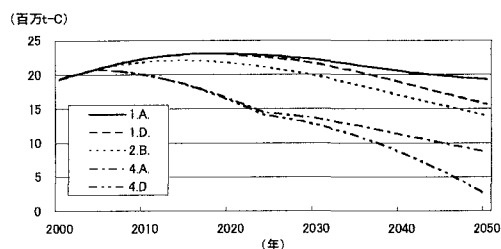


図-5 拡大炭素フロー評価結果 (炭素排出: +, 炭素吸収: -)

注 1) 4.A.および 4.D.シナリオの 2024 年以降の推移について。

4.シナリオ (表-4)において、木造代替可能な非木造を毎年 5%ずつ木造に代替していくと、2024 年に木造代替可能な非木造の木造代替率が 100%に達し、それ以降代替率は 100%のまま変化しないため、2024 年以降の炭素排出量減少率が低下する結果となった。

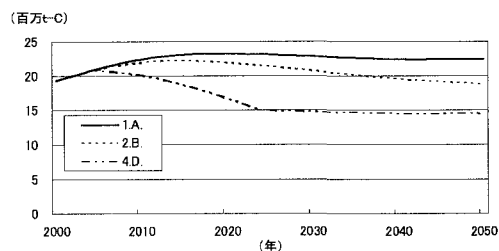


図-6 建築時の資材投入に伴う化石燃料起源の炭素排出量

注 2) 4.D.シナリオの 2024 年以降の推移について。

上記注 1)と同様に 2024 年以降の代替率は変化しないため、2024 年以降、ほぼ横ばいで推移する結果となった。

現状傾向のまま推移する 1.A シナリオ (BAU シナリオ) の場合、建築分野に関連する炭素排出量は毎年 2000 万 t-C 前後で推移すると推計された。(a) 建築資材の生産および輸送過程における化石燃料起源の炭素排出量が大部分を占めており (図-6), (c) 建築物解体後の廃棄木材の焼却による炭素排出量の影響は小さいことが分かった (図-7)。また、(d) 国内の森林において建築用木材を供給した伐採跡地への植林による炭素吸収量は、2020 年頃から増加しており (図-8)、樹齢 20 年前後から炭素吸収速度が増加する樹木の成長特性を反映している (図-4)。このため 2020 年頃から、植林による炭素吸収量が化石燃料起源の炭素排出量および解体廃棄木材の炭素排出量合計の一部を相殺し、拡大炭素フロー評価 (図-5) において炭素排出量が減少傾向を示す結果となった。

1.D シナリオは、木造比率は現状傾向のまま輸入材を毎年 5% ずつ国産材に代替していくシナリオであり、国産材の供給量が増加することによって国内の森林において建築用木材伐採跡地への植林面積が拡大することを想定している。このため、1.A シナリオ (BAU シナリオ) と比較して植林後の炭素吸収量が増加することになる (図-8)。また、4.A シナリオは、国産材比率は現状傾向のまま木造代替可能な非木造建築物を毎年 5% ずつ木造建築物に代替していくシナリオであり、非木造建築物 (鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造) と比較して、木造建築物の建築資材生産および輸送過程の化石燃料起源炭素排出量原単位は小さいため (表-5)、木造比率が増加することによって化石燃料起源の炭素排出量が削減されることになる (図-6)。その結果、拡大炭素フロー評価 (図-5) において 1.A シナリオと比較した場合、2050 年に 1060 万 t-C の炭素排出量削減効果があると推計された。また、木造化を促進させる 4.A シナリオは、国産材化を促進させる 1.D シナリオと比較して炭素排出量削減効果が高い結果となった。

また、木造代替可能な非木造建築物を毎年 1% ずつ木造建築物に代替し、さらに輸入材も毎年 1% ずつ国産材に代替していく 2.B シナリオは、京都議定書で定められた炭素吸収量を確保するための国産材供給量目標を達成できるシナリオであり、2050 年には 1.A シナリオとの比較において 528 万 t-C の炭素排出量削減効果があると推計され、この炭素排出削減量は 1990 年時国内総 CO₂ 排出量の 1.7% に相当する。さらに、木造代替可能な非木造を 5% ずつ木造に、輸入材を 5% ずつ国産材に代替していく 4.D シナリオでは、木造率の増加による化石燃料起源の炭素排出量削減に加え、国産材供給量増加によって国内森林における植林後の炭素吸収量が増加するため、1.A シナリオとの比較において、2050 年に 1685 万 t-C の

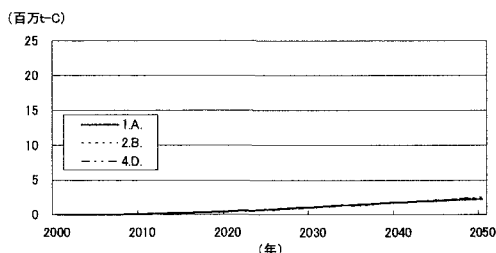


図-7 建築物解体時の廃棄木材による炭素排出量

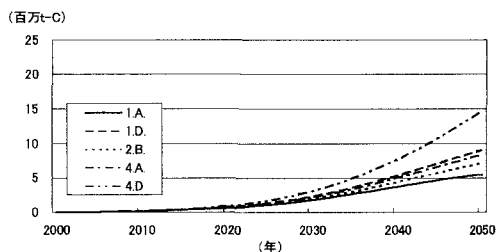


図-8 建築用木材伐採跡地への植林後の炭素吸収量

炭素排出量が削減され、1990年時国内総CO₂排出量の5.5%に相当すると推計された。しかし、植林後の樹木成長による炭素吸収量に用いた年間炭素蓄積増加量モデル (図-4) は、樹齢40年頃から年間炭素吸収量が減少すると想定しているため、拡大炭素フロー評価の2050年以降も炭素削減効果が持続するわけではなく、削減量は減少していくと考えられる。さらに、図-4には植林後の間伐等を含む木材伐採による次世代の資源更新が考慮されていないため、今後はこのような森林の資源更新を考慮した分析を行っていく必要がある。

(2) 炭素ストック評価

図-9 の炭素ストック評価は、(b) 建築後に残存している建築物にストックされている建築用木材の炭素蓄積量 (図-10) と (d) 国内の森林における建築用木材伐採跡地への植林によって増加する炭素蓄積量 (図-11) の合計を、建築用木材消費に関連する国内森林と建築分野における炭素蓄積増加量として評価している。現状傾向のまま推移する 1.A シナリオの場合、2000 年から 2050 年までの炭素蓄積増加量は 2 億 4865 万 t-C と推計された。政策目標を達成できる 2.B シナリオでは、2050 年までの炭素蓄積増加量は 3 億 922 万 t-C と推定され、現状推移 1.A シナリオの 1.24 倍となる。さらに、木造化、国産材化を促進する 4.D シナリオの場合、木造率増加に伴う建築用木材の供給量拡大によって建築物の炭素蓄積量が増加することに加え、国産材の供給量増加によって国内の森林における植林後の炭素蓄積量増加する。このため、2050 年までの炭素蓄積増加量は 4 億 9250 万 t-C と推定され、

現状推移 1Aシナリオの 1.98 倍に相当する。しかし、4. (1) 拡大炭素フロー評価と同様に、植林後の樹木成長による炭素蓄積量 (図-3) は、樹齢 70 年頃から増加しないため、炭素ストック評価において、2050 年以降も炭素蓄積量が増加し続けることはないものと考えられる。さらに、今後、間伐等を含む木材伐採による次世代の資源更新を含めた評価を行っていく必要がある。

5. まとめと今後の課題

本研究では、木材利用とその炭素収支を、森林と社会の木材需給バランスを考慮した観点から評価するために、建築分野を対象として建築用木材の需要と供給のバランスを考慮しながら木材利用量を変化させるシナリオを検討し、今後の建築分野における木材利用に関わる炭素収支を分析した。

国内の森林は、1990 年時の森林蓄積を維持した上で現状伐採量の 5 倍以上の木材供給能力があり、日本が京都議定書で定められた目標を達成するために必要な炭素吸収量を確保した上で、建築分野における木材利用可能量を充分供給可能であることが確認できた。

これを受けて、国内森林および建築分野における木材需給バランスを変化させるシナリオによって 2000 年から 2050 年までの炭素収支を評価した。木材利用によって誘発される副次的な炭素収支も含めた拡大炭素フロー評価の結果、次の点が明らかになった。

① 建築用木材利用量の政策目標を達成できるシナリオである非木造・輸入材の 1%を毎年木造・国産材に代替していく場合、建築用木材利用量が現状傾向のまま推移する BAUシナリオと比較して、2050 年に 528 万 tC の炭素排出量削減効果があり、この炭素排出削減量は 1990 年国内 CO₂ 排出量の 1.7%に相当すること。

② 非木造・輸入材の 5%を毎年木造・国産材に代替するシナリオでは、BAUシナリオと比較して 2050 年に 1685 万 tC の炭素削減効果が見込まれ、削減量は 1990 年国内 CO₂ 排出量の 5.5%に相当すること。

また、炭素ストック評価の結果、以下の点が明らかになった。

③ 建築用木材の政策目標を達成できるシナリオである輸入材・非木造の 1%を毎年国産材・木造に代替していく場合、2000 年から 2050 年までの炭素蓄積増加量は、現状傾向のまま推移するシナリオの 1.24 倍となること。

④ 非木造・輸入材の 5%を毎年木造・国産材に代替する場合は、2000 年から 2050 年までの炭素蓄積増加量は、現状推移シナリオの 1.98 倍となること。

今後の課題としては、木材生産工程で発生する木くず

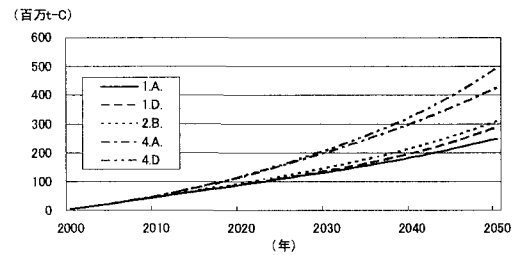


図-9 炭素ストック評価結果

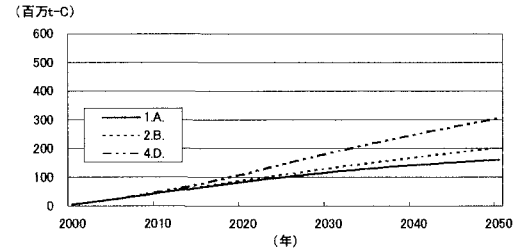


図-10 建築用木材の炭素蓄積量

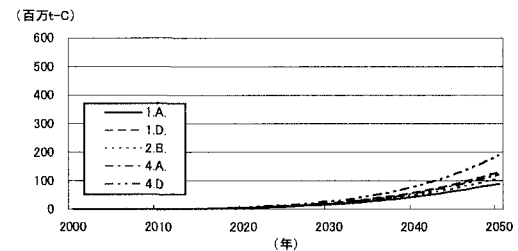


図-11 建築用木材伐採跡地への植林後の炭素蓄積量

等の廃棄木材による炭素排出、建築物解体後に発生する廃棄木材の再利用・再資源化過程、森林の炭素吸収について樹木成長過程における除伐、間伐等による炭素吸収量・蓄積量の増減を考慮すること等が挙げられ、炭素フローとストックのダイナミックな関係を網羅的整合的に評価システムの中に含める必要がある。これらを通じて、森林における木材伐採周期や伐採量を考慮した炭素収支と、社会における木材利用全体を考慮した炭素収支双方を詳細に分析し、炭素吸収量を確保するための適正な森林管理と社会における木材利用全体の需給バランスを捉えることにより、需要・供給の両面から木材利用促進のための社会経済上の課題を明らかにしていくことが重要と考えられる。

謝辞

本研究において使用したスギ人工林の成長量実測値は森林総合研究所 千葉幸弘氏にご提供頂きました。ここに謝意を表します。

本研究の一部は平成16年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(C)）の交付を受けておこなわれたことを記し、謝意を表します。また、基本統計データの収集に際して詳細なヒアリング調査および資料閲覧に際してご協力頂いた関連各種協会団体の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 天野 正博：木質系バイオマス・エネルギーの利用技術及び供給可能量の評価に関する研究，木質系バイオマス・エネルギーの利用技術及び供給可能量の評価に関する研究 平成12-14度，2003.
- 2) 三浦 秀一：日本における建築の木材フローとバイオマスエネルギーから見る地球温暖化対策 建築と地域のバイオマスビジョン(1)，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），pp.949-950，2003.
- 3) 外崎 真理雄，恒次 祐子，有馬 孝礼，林 和男：京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究 (1) 森林の炭素吸収量計測システム・評価モデルの開発 (4) 木材利用部門における炭素貯蔵量評価モデルの開発，地球環境研究総合推進費平成14年度研究成果 中間成果報告集，pp.142-154，2003.
- 4) 恒次 祐子：木材利用における環境影響評価について，木材工業，Vol. 60, No.1，2005.
- 5) 有馬 孝礼，青井 秀樹：木造住宅およびリサイクル利用による炭素貯蔵と耐用年数，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国際ワークショップ報告書 平成13年，pp.99-114，2001.
- 6) FCCC/SBSTA/2004/INF.11: Report on the workshop on harvested wood products, 2004.
- 7) S. Hashimoto, M. Nose, T. Obara, Y. Moriguchi: Wood products: potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries, *Environmental Science & Policy* 2, pp.183-193, 2002.
- 8) G. J. Nabuurs, R. Sikkema: International Trade in Wood Products: Its Role in The Land Use Change And Forestry Carbon Cycle, *Climatic Change* 49, pp.377-395, 2001.
- 9) M. J. Apps, W. A. Kurz, S. J. Beukema, J. S. Bhatti: Carbon budget of the Canadian forest product sector, *Environmental Science & Policy* 2, pp.25-41, 1999.
- 10) Timo Karjalainen, Ari Pussinen, Seppo Kellomaki, Raisa Makipaa: Scenarios for the carbon balance of Finnish forests and wood products., *Environmental Science & Policy* 2, pp.165-175, 1999.
- 11) FCCC/TP/2003/7: Estimation, Reporting and Accounting of Harvested Wood Products. Technical paper, 2003.
- 12) FCCC/TP/2003/7/Corr.1: Estimation, Reporting and Accounting of Harvested Wood Products. Technical paper. Corrigendum, 2003.
- 13) 林野庁：林業統計要覧，農林統計協会，2003.
- 14) 林野庁：林業統計要覧，農林統計協会，2004.
- 15) 林野庁：林業統計要覧，農林統計協会，2000.
- 16) 地球環境保全と森林に関する懇談会資料，2002
<http://www.env.go.jp/nature/biodic/shinrin/kondan/01/mat03-2.pdf>
- 17) 松本 光朗：日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量，*森林科学* 33, pp.30-36, 2001.
- 18) 日本ツーバイフォー建築協会：耐火構造認定一覧，2004.
http://www.2x4assoc.or.jp/news/200409_2.html
- 19) 建築資料研究社：建築基準法令集，pp.208-209，2004.
- 20) 建築資料研究社：積算ポケット手帳 2004年後期編，2004.
- 21) 国土交通省：建築統計年報平成12年度版，建設広報協議会，2001.
- 22) 国土交通省：建設資材・労働力需要実態調査（建築部門）報告書 2000年度実績，2002.
- 23) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口，厚生統計協会，2002.
- 24) 小松 幸夫：建物寿命の年齢別データによる推計に関する基礎的考察，日本建築学会計画系論文報告集第439号，pp.91-99，1992.
- 25) 小松 幸夫，加藤 裕久，吉田 俣郎，野城 智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告，日本建築学会計画系論文報告集第439号，pp.101-110，1992.
- 26) 総務省：固定資産の価格等の概要調査（平成12年度），2001.
- 27) 国土交通省：住宅経済データ集，住宅産業新聞社，2004.
- 28) 国土交通省：建築統計年報，建設広報協議会，1951～2000.
- 29) 国土交通省：建設資材・労働力需要実態調査（建築部門）報告書 1991年度実績，1993.
- 30) 日本建築学会：建物のLCA指針 環境適合設計・環境ラベリング・環境会計への応用に向けて，CD-ROM，2003.
- 31) 秋山 俊夫：木材のリサイクル，pp.78-79，1998.
- 32) 千葉 幸弘：植物への炭素蓄積のメカニズムと評価，*森林科学* 33, pp.18-23，2001.

CARBON MASS BALANCE EVALUATION CONSIDERING THE BALANCE BETWEEN SUPPLY AND DEMAND OF ARCHITECTURAL WOOD

Chihiro KAYO, Koji AMANO and Koji SHIMADA

Considering the carbon mass balance linked to the use of architectural wood, we have studied several

scenarios with different volumes of architectural wood used, taking into consideration the balance between the supply from domestic forests and demand of architectural wood in the building field. In this way, we estimated the carbon mass balance from year 2000 to 2050. We were able to confirm that the domestic forests are capable of supplying the maximum volume of architectural wood used while maintaining the level of forest stock at that of 1990 and ensuring the carbon assimilation amount as required by the Kyoto protocol. Based on this observation, we evaluated the carbon mass balance in several scenarios where the balance between the supply and demand of architectural wood was varied. The results obtained were as in the following: if the policy target for the volume of architectural wood used was achieved, the total amount of CO₂ released in 2050 would be reduced, from BAU scenario, by 1.7% of domestic CO₂ emission in 1990 based on the flow-evaluation.