

世界各国における伐採木材製品の炭素貯蔵量

須鎗 秋桜子¹・篠田 悠心²・加用 千裕³

¹ 学生会員 東京農工大学大学院農学府 (〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

E-mail: s180548s@st.go.tuat.ac.jp

² 非会員 東京農工大学大学院連合農学研究科 (〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

E-mail: s171521x@st.go.tuat.ac.jp

³ 正会員 東京農工大学大学院農学研究院 (〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

E-mail: kayoc@cc.tuat.ac.jp

地球温暖化緩和策へ貢献するために、世界各国における 1961～2016 年の伐採木材製品 (HWP) の炭素貯蔵量を推計した。評価アプローチに蓄積変化法、減衰関数に指数分布を用いた 2016 年の世界全体の炭素貯蔵量は 73.3 億 t-C と推計され、2015～2016 年の炭素貯蔵量の年変化は 1.1 億 t-C/year の増加となった。国毎では、2016 年の炭素貯蔵量はアメリカ、中国、ロシア、日本の順に大きく、2015～2016 年の年変化は中国の増加量が最も大きくなった。一方、評価アプローチに現行の京都議定書の生産法を用いると、2016 年の世界全体の炭素貯蔵量は蓄積変化法の 68%、2015～2016 年の年変化は蓄積変化法の 75% となり、過小評価される可能性が示唆された。また、減衰関数に正規分布を用いると、指数分布による炭素貯蔵量の年変化と大きく異なる結果が明らかになり、HWP の推定方法における今後の重要課題と考えられる。

Key Words: carbon stocks, harvested wood products, carbon accounting approach, decay function

1. 緒言

産業革命以降の人間活動によって、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出量が増加し、地球温暖化の要因となっており、その排出量を削減することは国際的な重要課題となっている。森林とそこから伐採された木材は、二酸化炭素の吸収源及び炭素の貯蔵場所、材料・エネルギー代替による化石燃料消費削減により、地球温暖化の緩和に貢献すると考えられている。森林を含む陸域生態系は過去 10 年間 (2007 年～2016 年) に年間約 30 億トンの炭素 (t-C/year) を大気中から吸収したと推定されており²⁾、全世界の化石燃料燃焼・工業プロセス由来の炭素排出量の約 32% に相当した。また、世界全体の伐採木材製品 (harvested wood products: HWP) に貯蔵されている炭素は増加していることが分かっており、その年間増加量は 0.3～3 億 (t-C/year) と見積もられている^{3,6)}。このことから、世界全体及び世界各国において HWP の炭素貯蔵量及びその変化を正しく把握しておくことは、国際的に有効な地球温暖化対策を進める上で非常に重要である。各国における HWP の炭素貯蔵量については、アメリカ⁷⁾、カナダ⁸⁾、日本^{9,10)}、中国¹¹⁾、アイルランド¹²⁾、ポルトガル¹³⁾、EU 諸国¹⁴⁾等の一部の国や

地域を対象とした研究が報告されている。しかし、世界各国を対象として HWP の炭素貯蔵量の分布やその時間変化を検討した研究はこれまで報告されていない。そこで、本研究では、世界各国における HWP の炭素貯蔵量のこれまでの変遷を明らかにすることを目的とする。さらに、HWP の炭素貯蔵量は、木材貿易の取り扱いを含むシステム境界が異なる複数の評価アプローチがこれまで提案されており^{5,15)}、主に蓄積変化法 (stock change approach: SCA)¹⁶⁾、大気フロー法 (atmospheric flow approach)¹⁶⁾、生産法 (production approach)¹⁶⁾、京都議定書の第二約束期間 (2013～2020 年) に採用されている生産法 (production approach for the Kyoto Protocol: PAkp)¹⁷⁾の 4 つの評価アプローチが議論されている。2020 年以降のパリ協定では、締約国は京都議定書に引き続き PAkp を用いた値を報告することとなっているが、同時に他のアプローチを併用することも可能な状況である¹⁸⁾。また、炭素貯蔵量の推定方法において、HWP ストック量を推定するための減衰関数や半減期、木材材積から炭素量への換算係数等の違いによって推定結果は大きく異なる可能性がある。特に減衰関数は、製材、木質パネル、紙等の各 HWP の寿命分布を表した関数であるが、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が推奨するガイドラインで

は、指数分布 (first order decay: FOD) が暫定関数として提示されている^{16,17)}。しかし、最初の数年間の減衰が現実の寿命分布よりも大きく、特に長寿命の木材製品には適さないという指摘があり¹⁹⁾、正規分布やガンマ分布等の他の減衰関数についても検討がなされている^{20,22)}。そこで、本研究では、世界各国における炭素貯蔵量の検討において、複数の評価アプローチや減衰関数を考慮し、それらの違いによる結果への影響を考察することとする。

2. 方法

(1) 対象国及び対象期間

国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) を批准している 196ヶ国²³⁾のうち、国連食糧農業機関 (FAO) に HWP の製品ごとの生産量、輸入量、輸出量の統計データ (FAOSTAT)²⁴⁾が存在する 193ヶ国を対象国とし、1961年～2016年を対象期間とした。なお、これらの国と期間における丸太生産量の合計は世界全体の 98～100%を占めており²⁴⁾、ほぼ世界各国を網羅できている。

(2) 評価アプローチ

HWP の評価アプローチについては、本研究では、国内に存在する HWP の炭素貯蔵量を解明するため、蓄積変化法 (SCA)¹⁶⁾を用いることとした。SCA は、国境をシステム境界とし、国内で消費される HWP の炭素貯蔵量の変化を評価するアプローチである。一方、京都議定書第二約束期間の生産法 (PAkp)¹⁷⁾は、パリ協定以降も世界共通の評価アプローチとなることから¹⁸⁾、本アプローチも用いることとした。PAkp は、国内の森林から伐採された丸太由来の HWP の炭素貯蔵量の変化を評価するアプローチである。なお、SCA 及び PAkp における炭素貯蔵量の推計方法は 2.4 節において詳述する。

(3) 減衰関数

HWP の寿命分布を表す減衰関数については、簡易にストック量の減少過程を近似でき複数の先行研究^{5,6,25)}で用いられてきたこと、IPCC のガイドライン^{16,17)}で暫定関数として提示されていることから、指数分布 (FOD) を採用した。しかし、先述の通り、最初の数年間の減衰が現実の寿命分布よりも大きく、特に長寿命の木材製品には適さない可能性があるため¹⁹⁾、先行研究^{21,22,26)}を参考に正規分布 (ND) についても検討した。FOD 及び ND による炭素貯蔵量の推計方法の詳細は次節で説明する。

(4) 炭素貯蔵量の推計

a) 蓄積変化法

評価アプローチに SCA、減衰関数に FOD を用いた各

国の炭素貯蔵量とその年変化の推計方法は、IPCC による 2006 年のガイドライン¹⁶⁾の Tier 1 に従い、製材、木質パネル、紙・板紙、その他産業用丸太を HWP の対象とし、式(1)～(4)によって求めた。

$$\Delta C(i) = C(i+1) \quad (1)$$

$$C(i+1) = e^{-k} \cdot C(i) + \left[\frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] \cdot \text{Inflows}_S(i) \quad (2)$$

$$\text{Inflows}_S(i) = P(i) + I(i) - E(i) \quad (3)$$

$$k = \frac{\ln(2)}{HL} \quad (4)$$

ここで、 i は年、 $\Delta C(i)$ (t-C/year) は i 年における HWP の炭素貯蔵量の年変化、 $C(i)$ (t-C) は i 年期首における HWP の炭素貯蔵量を表す。1961 年～2016 年を対象期間としたが、推定精度を高めるために 1960 年以前も簡易的に推定し、1900 年の炭素貯蔵量 ($C(1900)$) を初期値 0¹⁶⁾とした。 $\text{Inflows}_S(i)$ (t-C/year) は i 年の間に国内で消費された HWP として炭素貯蔵プールに新たに投入される炭素量を表す。 $P(i)$ 、 $I(i)$ 、 $E(i)$ (t-C/year) はそれぞれ i 年における各 HWP の生産量、輸入量、輸出量を示し、1961 年～2016 年は FAOSTAT²⁴⁾を参照し、2006 年のガイドラインの炭素換算係数¹⁶⁾を用いて炭素量に換算した。1900 年～1960 年は世界各地域における HWP の増加率¹⁶⁾によって推定した。 HL (year) は HWP の半減期を表し、2006 年のガイドライン¹⁶⁾をもとに、製材、木質パネル、その他産業用丸太は 30 年、紙・板紙は 2 年を用いた。

一方、減衰関数に ND を用いた炭素貯蔵量は、上述の式(2)を下記の式(5)に変更して推計した。

$$C(i+1) = \sum_n [\text{Inflows}_S(i-n) \cdot (1 - \Phi(\frac{n-\mu}{\sigma}))] \quad (5)$$

ここで、 n (year) は対象期間の各年から i 年までの経過年数を表す。また、 Φ は標準正規分布の累積分布関数を示し、炭素貯蔵プールに投入された各 HWP の n 年経過後の残存率を表すために用いた。 μ は平均を示し、上記の各 HWP の半減期 (HL)¹⁶⁾とした。 σ は標準偏差を示し、各 HWP の半減期 (HL) の $1/3^{22)}$ を用いた。

b) 京都議定書の第二約束期間の生産法

評価アプローチに PAkp、減衰関数に FOD を用いた各国の炭素貯蔵量とその年変化の推計方法は、IPCC による 2013 年のガイドライン¹⁷⁾の Tier 2 に従い、製材、木質パネル、紙・板紙を HWP の対象 (その他産業用丸太は対象外) とし、前述の式(2)(3)を以下の式(6)～(9)に変更して求めた。

$$C(i+1) = e^{-k} \cdot C(i) + \left[\frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] \cdot \text{Inflow}_P(i) \quad (6)$$

$$\text{Inflow}_P(i) = P(i) \cdot D(i) \quad (7)$$

$$D(i) = \frac{[IRW_P(i) - IRW_E(i)]}{[IRW_P(i) + IRW_I(i) - IRW_E(i)]} \quad (8)$$

$$D(i) = \frac{[IRW_P(i) - IRW_E(i)]}{[IRW_P(i) + IRW_I(i) - IRW_E(i)]} \cdot \frac{[WP_P(i) - WP_E(i)]}{[WP_P(i) + WP_I(i) - WP_E(i)]} \quad (9)$$

ここで、 $Inflows(i)$ (t-C/year) は i 年の間に国内の森林から伐採された丸太から生産された HWP として炭素貯蔵プールに新たに投入される炭素量を表す。 $D(i)$ は i 年の間に国内で生産された HWP のために消費された原材料のうち国内の森林から伐採された丸太由来の割合を示し、製材と木質パネルは式(8)、紙・板紙は式(9)を用いた¹⁷⁾。 $IRW_P(i)$ 、 $IRW_I(i)$ 及び $IRW_E(i)$ (t-C/year) はそれぞれ i 年における産業用丸太の生産量、輸入量及び輸出量を表し、1961 年～2016 年は FAOSTAT²⁴⁾ から数値を引用し、2013 年のガイドラインの炭素換算係数¹⁷⁾ によって炭素量へ換算した。1900 年～1960 年は 2006 年のガイドラインの HWP の増加率¹⁶⁾ を用いて推定した。 $WP_P(i)$ 、 $WP_I(i)$ 及び $WP_E(i)$ (t-C/yr) はそれぞれ i 年における木材パルプの生産量、輸入量及び輸出量における炭素量を表し、同様に FAOSTAT²⁴⁾、炭素換算係数¹⁷⁾、増加率¹⁶⁾ により算定した。なお、式(4)における半減期 (HL) については、2013 年のガイドライン¹⁷⁾ を参照し、製材で 35 年、木質パネルで 25 年、紙・板紙で 2 年を用いた。

また、減衰関数に ND を用いた炭素貯蔵量の推計には、前述の式(5)を用いたが、 $Inflows(i)$ は $Inflow(i)$ とし、 HL は 2013 年のガイドラインの半減期¹⁷⁾ を引用した。

3. 結果・考察

(1) 世界全体における HWP の炭素貯蔵量

1961 年～2016 年における世界全体の HWP の炭素貯蔵量を図-1 に、炭素貯蔵量の年変化を図-2 に示した。SCA・FOD で推定した各国内に存在する HWP の炭素貯蔵量の世界合計は、1961 年以降増加し続け、2016 年時点の世界全体の炭素貯蔵量は、約 73.3 億 t-C と推計された。これは 1961 年の炭素貯蔵量と比較して約 2.5 倍であった。また、世界全体の炭素貯蔵量の年変化は、全対象期間において増加し、炭素排出削減に貢献していることが分かった。1998 年～1999 年の年変化が約 0.5 億 t-C/year で最も小さく、2015 年～2016 年の年変化が約 1.1 億 t-C/year で最も大きく、約 2.1 倍の差が生じる結果となった。

SCA・FOD による世界全体の結果を先行研究と比較すると、Lauk et al. (2012)⁹⁾ が報告している 1961 年～2008 年の世界全体の HWP の炭素貯蔵量と本研究の結果はよく一致しており、両者の差は 3% 未満であった。炭素貯蔵量の年変化においても、両者の差は 7% 未満と僅かであることが確認された。一方、Pingoud et al. (2003)⁹⁾ の 1961 年～2000 年の結果では、炭素貯蔵量は約 15～33 億 t-C、年変化は約 0.3～0.6 億 t-C/year と報告されており、本研究の結果よりも小さい値となった。この様な違いが生じた原

因として、用いた HWP の半減期、炭素換算係数、1960 年以前の HWP の増加率等の違いが影響していると考えられる。

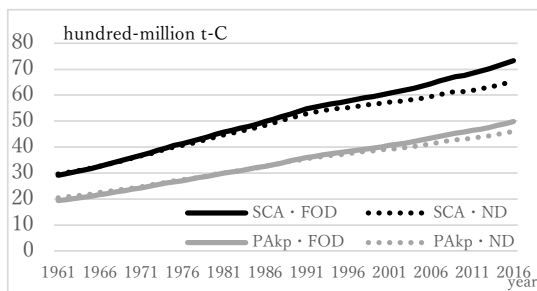


図-1 世界全体における HWP の炭素貯蔵量 (億 t-C)

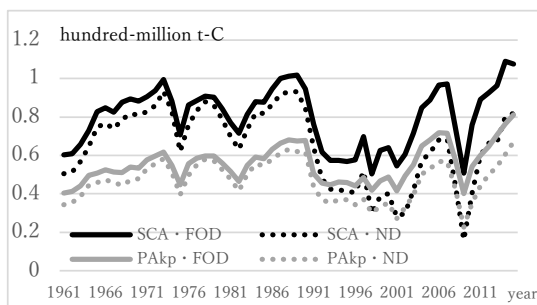


図-2 世界全体における HWP の炭素貯蔵量の年変化 (億 t-C/year)

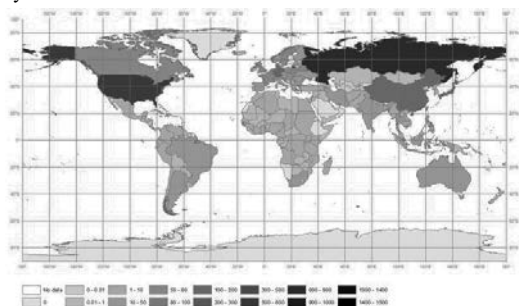


図-3 1961 年における HWP の炭素貯蔵量の世界分布 (評価アプローチ: SCA, 減衰関数: FOD) (百万 t-C)

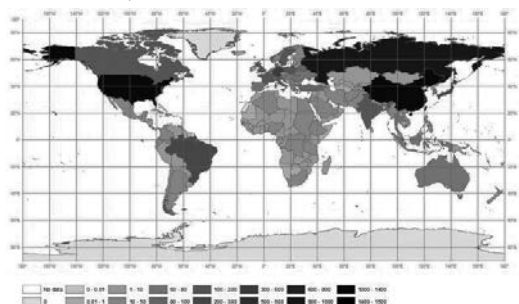


図-4 2016 年における HWP の炭素貯蔵量の世界分布 (評価アプローチ: SCA, 減衰関数: FOD) (百万 t-C)

(2) 世界各国における HWP の炭素貯蔵量

SCA・FODによる世界各国における1961年のHWPの炭素貯蔵量の分布図を図-3に、2016年の分布図を図-4に示した。2016年の各国の炭素貯蔵量は大きい順に、アメリカで約14.1億t-C、中国で約10.8億t-C、ロシアで約9.2億t-C、日本で約4.0億t-C、ドイツで約3.2億t-Cとなった。1961年と比較すると、アメリカは約2.4倍、ロシアは約1.2倍、日本は約2.3倍、ドイツは約2.1倍と1~2倍程度へ増加していたのに対し、中国は約8.4倍へ大幅に増加していることが分かった。また、各国における2015年~2016年の炭素貯蔵量の年変化において、増加した国は大きい順に、中国で約0.72億t-C/year、アメリカで約0.07億t-C/year、トルコ、ブラジル、カナダで約0.03億t-C/yearとなり、中国が顕著に大きく世界全体の年変化の約67%を占めていた。一方、年変化が減少した国は、ロシアの約-0.12億t-C/yearが最も大きく、1991年のソビエト連邦崩壊以降のHWP消費量の減少²⁹⁾が影響したと考えられる。続いて、日本の約-0.02億t-C/yearが大きく、1990年代後半以降のHWP消費量の減少傾向²⁹⁾が寄与したと考えられる。

さらに、世界各国における国土面積²⁷⁾及び人口²⁸⁾を用いて、2016年における国土面積当たりの炭素貯蔵量(t-C/ha)、人口当たりの炭素貯蔵量(t-C/person)を算定した。国土面積当たりの炭素貯蔵量は大きい順に、シンガポールで約104t-C/ha、バルバドス、ベルギー、ルクセンブルグで約12t-C/ha、マルタで約11t-C/haとなった。これらの国の特徴としては、国土面積が世界全体の平均値よりも小さいことがあげられる。さらに人口当たりの炭素貯蔵量は大きい順に、スウェーデンで約14t-C/person、ラトビアで約11t-C/person、ベラルーシとエストニアで約9t-C/person、フィンランドで約8t-C/personとなり、いずれも欧州諸国であった。これらの国々では、全期間を通してHWPの消費量よりも生産量が大きく、人口に対する生産量も大きい傾向が確認された。なお、炭素貯蔵量の総量が大きいアメリカや中国は国土面積あるいは人口当たりの炭素貯蔵量では上位国ではなかった。

(3) 評価アプローチの比較

世界全体におけるHWPの炭素貯蔵量を評価アプローチ(SCAとPAkp)間で比較すると、2016年時点の炭素貯蔵量(図-1)は、PAkp・FODで49.9億t-Cとなり、SCA・FODの約68%に留まった。また、2015年~2016年の炭素貯蔵量の年変化(図-2)は、PAkp・FODで約0.8億t-C/yearとなり、SCA・FODの約75%と小さかった。これは、両アプローチにおけるHWPの対象製品、輸出丸太の取り扱い、炭素換算係数の違い等が影響していると考えられる。PAkpでは、その他産業用丸太がHWPの対象外とされていること¹⁷⁾、自国の森林から伐採された

丸太のうち他国のHWPの生産のために国外へ輸出されたものはどの国のものとしてもカウントされていないこと¹⁷⁾、SCA¹⁶⁾と比べて炭素換算係数に小さい値が用いられていること¹⁷⁾等により、SCAよりも炭素貯蔵量が小さく評価されていると考えられる。

また、世界各国の炭素貯蔵量の分布におけるSCA及びPAkpの違いに着目すると、2016年時点において対象193ヶ国のうち87%に相当する167ヶ国でSCAの炭素貯蔵量の方がPAkpよりも大きい値をとる結果となった。PAkp・FODで推計した2016年時点の各国の炭素貯蔵量は大きい順に、アメリカで約10.4億t-C、ロシアで約6.8億t-C、中国で約5.1億t-C、カナダで約4.1億t-C、ドイツで約2.1億t-Cとなった。特に、カナダはPAkpの炭素貯蔵量がSCAの約2.1倍で大きく、全期間においてHWPの生産量が消費量よりも大きいことが影響していた。一方、中国はPAkpがSCAの約47%に留まり、カナダと対照的にHWPの消費量が生産量よりも大きい特徴が確認された。また、アフリカや中東の地域の国々を中心に、PAkpよりもSCAの方が10倍以上大きい値となった。この理由としては、全期間においてアフリカや中東の地域でHWPの消費量とそれに伴う輸入量が増えている²⁹⁾ことが考えられる。

(4) 減衰関数の比較

減衰関数(FODとND)の違いに着目すると、SCAにおける2016年時点の世界全体の炭素貯蔵量(図-1)は、NDで約65.4億t-Cとなり、FODの約89%に留まった。PAkpにおいては、NDで約46.1億t-Cと推計され、FODの約93%に相当した。SCAでは、1966年まではFODの炭素貯蔵量の方がNDよりも小さい値をとるが、1967年以降は両者の大小関係が逆転することが分かった。この原因として、FODは経過年数の初期の減衰がNDよりも大きい、後期の減衰はNDよりも小さくなる寿命分布関数であることが挙げられる。PAkpにおいても同様の傾向が確認されたが、1984年以降にFODとNDの大小関係が逆転する結果となった。HWPの内生産量及び貿易量の大きい製材²⁹⁾の半減期の違いが影響していると考えられる。SCAでは30年¹⁶⁾、PAkpでは35年¹⁷⁾を用いており、この差によってPAkpにおけるFODとNDの大小関係が逆転する時期がSCAよりも延長された可能性がある。ただし、減衰関数の違いによる炭素貯蔵量の推定結果への影響は評価アプローチの違いによる影響よりも小さいことが確認された。

一方、世界全体の炭素貯蔵量の年変化(図-2)は、評価アプローチによらず全期間においてNDによる炭素貯蔵量の年変化がFODの年変化よりも小さかった。特に1990年代以降に両者の差は大きくなり、2008年におけるリーマンショックが影響したと考えられる2009年~2010

年の年変化の違いが最も大きく SCA で 3.2 倍、PAkp で 1.8 倍の差が生じた。このことから、近年は減衰関数の違いによる炭素貯蔵量の年変化の推定結果への影響が評価アプローチの違いによる影響と同等あるいはそれ以上であることが分かった。

4. 結論

本研究では、世界各国における 1961 年～2016 年の伐採木材製品 (HWP) の炭素貯蔵量を推定した。さらに、HWP の貿易の取り扱いが異なる評価アプローチや HWP の寿命分布を表す減衰関数を複数考慮し、それらの違いによる結果への影響を考察した。得られた主な知見を以下の 4 点にまとめた。

1. IPCC による 2006 年のガイドラインに従って、評価アプローチに蓄積変化法 (SCA)、減衰関数に指数分布 (FOD) を用いて推定した HWP の炭素貯蔵量の世界合計は、2016 年時点で約 73.3 億 t-C となり、過去 55 年間で約 2.5 倍に増加した。また、炭素貯蔵量の年変化も対象期間全体を通して増加しており、2015 年～2016 年の年増加は約 1.1 億 t-C/year であった。
2. 各国における HWP の炭素貯蔵量は、2016 年時点でアメリカ、中国、ロシア、日本、ドイツの順に大きく、特に中国は過去 55 年間で約 8.4 倍へ大幅に増加していた。炭素貯蔵量の年変化は、中国が最も大きく、2015 年～2016 年の世界全体の年変化の約 67% を占めた。また、国土面積当たりの炭素貯蔵量が多い国は国土面積が小さい特徴があり、人口当たりの炭素貯蔵量が多い国は欧州諸国に集中していた。
3. IPCC による 2013 年のガイドラインに従い、現行の京都議定書による生産法 (PAkp) を用いると、2016 年時点の世界全体の炭素貯蔵量は SCA の約 68% に、2015 年～2016 年の年変化は SCA の約 75% に留まった。両アプローチにおける HWP の対象製品、輸出丸太の取り扱い、炭素換算係数の違いが主な原因で、対象国全体の 87% の国で PAkp は SCA よりも炭素貯蔵量が低く評価されることが分かった。パリ協定以降も現行の京都議定書のアプローチを採用すると、HWP の炭素貯蔵量は世界全体で過小評価される可能性がある。
4. 減衰関数に正規分布 (ND) を用いた世界全体の炭素貯蔵量は、2016 年時点で FOD の炭素貯蔵量の約 89% に留まることが分かった。炭素貯蔵量の年変化では、減衰関数の違いは評価アプローチの違いと同等あるいはそれ以上に推定結果に影響することが明らかになり、HWP の推定方法における今後の重要検討課題と考えられる。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 16K21023 の支援により行われました。

参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press, NY, 2014.
- 2) Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., ... and Zhu, D. : Global carbon budget 2017. *Earth Syst. Sci. Data* 10, pp. 405–448, 2018.
- 3) Winjum, J. K., Brown, S., Schlamadinger, B. : Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Sci.*, 44(2), pp. 272–284, 1998.
- 4) IPCC : Land Use, Land-Use Change and Forestry, A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK, p. 209, 2000.
- 5) Pingoud, K., Perälä, A.-L., Soimakallio, S., Pussinen, A. : Greenhouse gas impacts of harvested wood products: evaluation and development of methods, *VTT Research Notes 2189*, VTT Information Service, Finland, pp. 24–27, 2003.
- 6) Lauk, C., Haberl, H., Erb, K.-H., Gingrich, S., Krausmann, F. : Global socioeconomic carbon stocks in long-lived products 1900–2008. *Environ. Res. Lett.*, 7, 034023, 2012.
- 7) Nepal, P., Ince, P. J., Skog, K. E., Chang, S. J. : Projection of US forest sector carbon sequestration under US and global timber market and wood energy consumption scenarios, 2010–2060. *Biomass Bioenergy* 45, pp. 251–264, 2012.
- 8) Smyth, C. E., Stinson, G., Neilson, E., Lemprière, T. C., Hafer, M., Rampley, G. J., Kurz, W. A. : Quantifying the biophysical climate change mitigation potential of Canada's forest sector. *Biogeosciences*, 11(1), pp. 3515–3529, 2014.
- 9) Kayo, C., Tsunetsugu, Y., Tonosaki, M. : Climate change mitigation effect of harvested wood products in regions of Japan. *Carbon Balance Manag.*, 10/24, 2015.
- 10) Kayo, C., Tsunetsugu, Y., Noda, H., Tonosaki, M. : Carbon balance assessments of harvested wood products in Japan taking account of inter-regional flows. *Environ. Sci. Policy* 37, pp. 215–226, 2014.
- 11) Zhang, L., Sun, Y., Song, T., Xu, J. : Harvested Wood Products as a Carbon Sink in China, 1900–2016. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16(3), 445, 2019.
- 12) Donlan, J., Skog, K., Byrne, K. A. : Carbon storage in harvested wood products for Ireland 1961–2009. *Biomass Bioenergy*, 46, pp. 731–738, 2012.
- 13) Dias, A. C., Arroja, L., Capela, I. : Carbon storage in harvested wood products: implications of different methodological procedures and input data—a case study for Portugal. *Eur. J. Forest Res.*, 131(1), pp. 109–117, 2012.
- 14) Brunet-Navarro, P., Jochheim, H., Muys, B. : The effect of increasing

- lifespan and recycling rate on carbon storage in wood products from theoretical model to application for the European wood sector. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change.*, 22(8), pp. 1193–1205, 2017.
- 15) Lim, B., Brown, S., Schlamadinger, B. : Carbon accounting for forest harvesting and wood products: review and evaluation of different approaches. *Environ. Sci. Policy* 2., pp. 207–216, 1999
 - 16) IPCC : 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, National Greenhouse Gas Inventories Programme, *Institute for Global Environmental Strategies*, Japan., pp. 12.5–12.33, 2006.
 - 17) IPCC : 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, IPCC, Switzerland, pp. 2.109–2.134, 2014.
 - 18) United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) : Preparations for the implementation of the Paris Agreement and the first session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement, FCCC/CP/2018/L.23, UNFCCC, Poland, p. 11, 2014.
 - 19) Marland, E., Marland, G. : The treatment of long-lived, carbon-containing products in inventories of carbon dioxide emissions to the atmosphere. *Environ. Sci. Policy.*, 6(2), pp. 139–152, 2003.
 - 20) Marland, E. S., Stellar, K., Marland, G. H. : A distributed approach to accounting for carbon in wood products. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change.*, 15(1), pp. 71–91, 2010.
 - 21) Cherubini, F., Guest, G., Strömman, A. H. : Application of probability distributions to the modeling of biogenic CO₂ fluxes in life cycle assessment. *GCB Bioenergy.*, 4, pp. 784–798, 2012.
 - 22) Fishman, T., Schandl, H., Tanikawa, H., Walker, P., Krausmann, F. : Accounting for the material stock of nations. *J. Ind. Ecology.*, 8(3), pp. 407–420, 2014.
 - 23) UNFCCC : Status of Ratification of the Convention, <https://unfccc.int/process/the-convention/news-and-updates> (2018 年 11 月 16 日参照).
 - 24) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) : FAOSTAT, Forestry Production and Trade, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (2018 年 11 月 16 日参照).
 - 25) Skog, K. E., Pingoud, K., Smith, J. E. : A method countries can use to estimate changes in carbon stored in harvested wood products and the uncertainty of such estimates. *Environ. Manag.* 33, pp. S65–S73, 2004.
 - 26) Kalt, G. : Carbon dynamics and GHG implications of increasing wood construction: long-term scenarios for residential buildings in Austria. *Carbon Manag.* 9(3), pp. 265–275, 2018.
 - 27) FAO : FAOSTAT, Land Use, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> (2019 年 5 月 20 日参照).
 - 28) FAO : FAOSTAT, Annual Population, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA> (2019 年 5 月 20 日参照).

(Received June 19, 2019)

CARBON STOCKS IN HARVESTED WOOD PRODUCTS IN VARIOUS COUNTRIES OF THE WORLD

Akiko SUYARI, Yushin SHINODA and Chihiro KAYO

With the aim of supporting measures for climate change mitigation, we estimated carbon stocks in harvested wood products (HWP) in various countries of the world between 1961 and 2016. Global carbon stocks in 2016 using the stock change approach (SCA) as the carbon accounting approach and the first order decay (FOD) as the decay function were estimated to be 73.3 hundred million t-C. It was confirmed that the annual increase of global carbon stocks between 2015 and 2016 was 1.1 hundred million t-C/year. At the national scale, the largest carbon stocks of HWP, listed in descending order, were in the United States of America, China, the Russian Federation, and Japan in 2016. With respect to the annual change of carbon stocks between 2015 and 2016, China contributed the most to the global annual increase. On the other hand, global carbon stocks in 2016 using the production approach for the second commitment period of the Kyoto Protocol (PAkp) were estimated to be 68% of those using the SCA, and annual increases of carbon stocks between 2015 and 2016 were estimated to be 75% of those using the SCA. Therefore, we found that the PAkp could lead to underestimation of the global carbon stocks in HWP. Furthermore, annual changes of carbon stocks obtained using the normal distribution for the decay function varied significantly from those obtained using the FOD, suggesting that decay functions for an appropriate method for estimating carbon stocks of HWP need to be reconsidered.