

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04384

研究課題名（和文）木材利用による炭素排出削減効果の世界モデルの開発と将来予測

研究課題名（英文）Development of a global model of carbon emission reduction by using wood and its future projections

研究代表者

加用 千裕 (Kayo, Chihiro)

東京農工大学・（連合）農学研究科（研究院）・教授

研究者番号：50550183

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、世界各国における木材のフロー・ストックに関わる炭素貯蔵、材料代替、燃料代替による総合的な炭素排出削減効果の将来予測を行った。世界の木材の炭素貯蔵量は2018年の74億t-Cから2050年に110～152億t-Cに達することが分かった。廃棄木材のリサイクル推進、木材製品の鋼材・コンクリート代替、木質燃料の石炭代替によって、2018年に対する2050年の総合的な炭素排出削減量は世界全体で8～23億t-CO₂/年になることが初めて明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界各国を対象として木材利用による炭素貯蔵、材料代替、燃料代替による炭素排出削減効果を総合的に推計できるモデルはこれまで存在せず、本研究はその推計モデルを世界に先駆けて開発した。これにより、今後の世界における社会経済経路や木材利用に関わる政策のシナリオに応じて温暖化対策への貢献ポテンシャルの将来予測が可能となったため、各国における効果的な政策決定を支援するツールを提示できた。

研究成果の概要（英文）：This study conducted future projections of global carbon emission reduction through carbon stock, material substitution, and energy substitution associated with wood flow and stock in each country of the world. We found that global carbon stock in wood products will reach 11.0-15.2 billion t-C in 2050 from 7.4 billion t-C in 2018. With policies promoting waste wood recycling, substituting steel and concrete products with wood products, and substituting coal with wood fuel, global carbon emission reduction will be 0.8-2.3 billion t-CO₂/year in 2050 compared to that in 2018.

研究分野：環境システム学

キーワード：木材 世界モデル 炭素貯蔵効果 材料代替効果 燃料代替効果 マテリアルフロー・ストック分析
ライフサイクルアセスメント 気候変動対策

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人類が直面している最も深刻な問題のひとつである地球温暖化問題に全世界が取り組む新たな国際条約として、パリ協定が開始された。森林とそこから伐採された木材は地球上の炭素循環に大きく寄与しており、木材利用は以下の3つの炭素排出削減効果が期待でき、科学的にも国際条約上も重要視されている。

炭素貯蔵効果：森林が吸収した二酸化炭素を伐採後の木材も炭素として貯蔵し続ける効果。

材料代替効果：木材よりも生産・加工時の化石燃料消費量が大きい材料を木材へ代替することにより、材料の生産・加工等のライフサイクルにおける化石燃料消費量を減らす効果。

燃料代替効果：化石燃料を木質燃料へ代替することにより、化石燃料消費量を減らす効果。

炭素貯蔵効果については、全世界を一括りに取り扱った先行研究により、木材の炭素貯蔵量は世界全体で増加していると推定されている。また、材料代替効果や燃料代替効果については、日本を含む一部の国や地域を対象とした先行研究により、炭素貯蔵効果よりも材料・燃料代替効果に大きいポテンシャルが示唆されている。

一方、今後の温暖化対策は、これまで温室効果ガス排出削減義務を負っていた先進国だけでなく発展途上国も含めた世界全体における積極的な取り組みが不可欠である。世界各国の政策決定者が木材利用による効果的な温暖化対策を立案・実施するためには、炭素排出削減効果およびその将来ポテンシャルを各国単位で定量的に把握しておくことが重要となる。しかし、国ごとに世界全体を網羅し、木材の炭素貯蔵量や材料・燃料代替による炭素排出削減量の各国分布やこれまでの変遷を明らかにした研究は皆無であり、将来の可能性も検討されていない。

そこで、本研究では、「世界各国および世界全体における炭素貯蔵、材料代替、燃料代替による炭素排出削減効果の定量的な大きさはどのくらいなのか、これまでどのように変化してきたのか、将来のポテンシャルはどのくらいなのか」を研究課題の核心をなす学術的「問い」と設定し、以下の研究を実施した。

2. 研究の目的

本研究では、世界各国における木材のフロー・ストックに関わる炭素貯蔵、材料代替、燃料代替による総合的な炭素排出削減効果を過去から現在まで推計するとともに、その将来予測が可能となるモデルを開発する。この世界各国モデルを用いて、木材利用に関わる複数のシナリオに沿った将来予測を行い、世界各国および世界全体における木材利用による効果的な温暖化対策およびその炭素排出削減ポテンシャルを提示することを目的とした。

3. 研究の方法

本目的を達成するために、世界235カ国を対象とし、下記に示した(1)世界各国における木材による炭素排出削減効果モデルの開発、(2)モデルの適用による将来予測と木材利用による効果的な温暖化対策の提示、の流れで本研究を進めた。

(1) 世界各国における木材による炭素排出削減効果モデルの開発

木材フロー量のデータとして、国連食糧農業機関から丸太、製材、木質パネル、紙、木質燃料等の生産量・貿易量の過去(1961~2019年)のデータを国ごとに収集し、寿命関数を乗じることにより、木材ストック量および廃棄木材発生量を推定した。また、木材ストック量に炭素換算係数を乗じて炭素貯蔵量とその年変化量を推計した。材料代替では木材製品による非木材製品(鋼材・コンクリート)の代替、燃料代替では木質燃料による化石燃料(石炭・石油・天然ガス)の代替を対象とし、木材製品・木質燃料および被代替材料・燃料のライフサイクルにおける二酸化炭素排出係数データを収集した。これらと世界各国の木材(材料・燃料)消費量データを用いて、材料・燃料代替に伴う炭素排出削減効果を推計した。これらを定式化し、炭素貯蔵、材料代替、燃料代替による炭素排出削減効果の将来推計モデルを開発した。

(2) モデルの適用による将来予測と木材利用による効果的な温暖化対策の提示

各国における過去の人口や経済成長率と木材製品・木質燃料消費量との関係を分析した。この分析結果を用いて、5つの共通社会経済経路(Shared Socioeconomic Pathways: SSP)シナリオによる人口および経済成長率の将来予測値をもとに、各シナリオによる各国の2050年までの木材製品・木質燃料消費量・生産量および産業用・燃料用丸太需給量を推計した。さらに、加工残材・廃棄木材の材料・燃料へのリサイクルの推進、木材製品・木質燃料による非木材材料・化石燃料の代替利用の推進といった政策シナリオを想定した。(1)で開発した将来推計モデルにおいて、各SSPシナリオ・政策シナリオに沿った各国の木材製品消費量・生産量等の将来推計値を用いて、世界全体・各国の木材製品の炭素貯蔵量とその年変化量および材料・燃料代替に伴う炭素排出削減量を2050年まで推計した。これらの結果に基づいて、世界全体・各国における炭素貯蔵、材料代替、燃料代替による総合的な炭素排出削減効果を2050年まで明らかにした。

4. 研究成果

(1) 木材の炭素フロー・ストック

世界全体・各国における過去から将来までの木材の炭素フロー・ストックを定量化した。2018年時点での世界全体の木材の炭素フロー・ストック(図1)において、インフロー量は約10.4億t-C/年であり、約8%は残材・廃材由来のリサイクル材であった。また、アウトフロー量は約8.6億t-C/年と推計され、そのうち約0.8億t-C/年はリサイクル材として循環利用されていることが分かった。さらに、木材としての炭素ストック量は73.7億t-Cと推計された。一方、2050年には、炭素ストック量は約110.2億t-C(SSP3シナリオ)～約151.9億t-C(SSP5シナリオ)まで増加すると推計された。また、廃棄木材のリサイクル率が2050年に90%に達する場合、インフロー量において残材・廃材由来のリサイクル材は27～28%を占めることが明らかになった。

中道的な社会経済発展経路であるSSP2シナリオにおける2050年の木材の炭素貯蔵量(炭素ストック量)の世界分布(図2)において、中国、アメリカ、ロシア、インド、ドイツ、日本、ブラジル、カナダ、ポーランド、イギリスの順に貯蔵量が大きく、この上位10カ国だけで世界全体の炭素貯蔵量の約66%を占めており、地球上の炭素循環への寄与が大きかった。一方、同シナリオにおける2050年の炭素貯蔵量の年変化を見ると、中国、インド、アメリカの順に年増加量が大きく、ロシア、日本、ベラルーシの順に年減少量が大きかった。なお、パリ協定等の国際条約における取り扱いと同様に、本研究の炭素貯蔵効果においても、炭素貯蔵量の年増加量は排出削減量、年減少量は排出量として取り扱った。

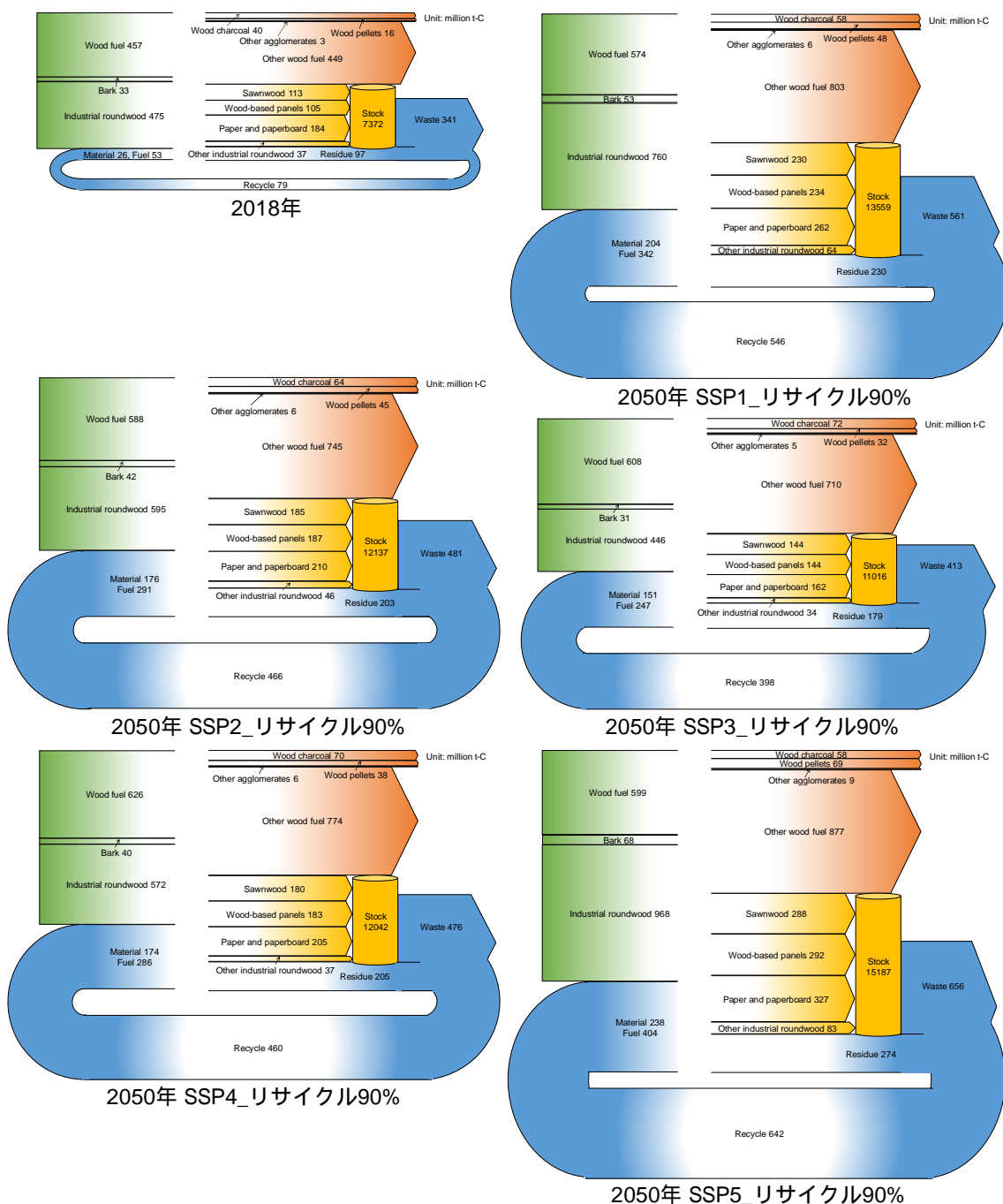
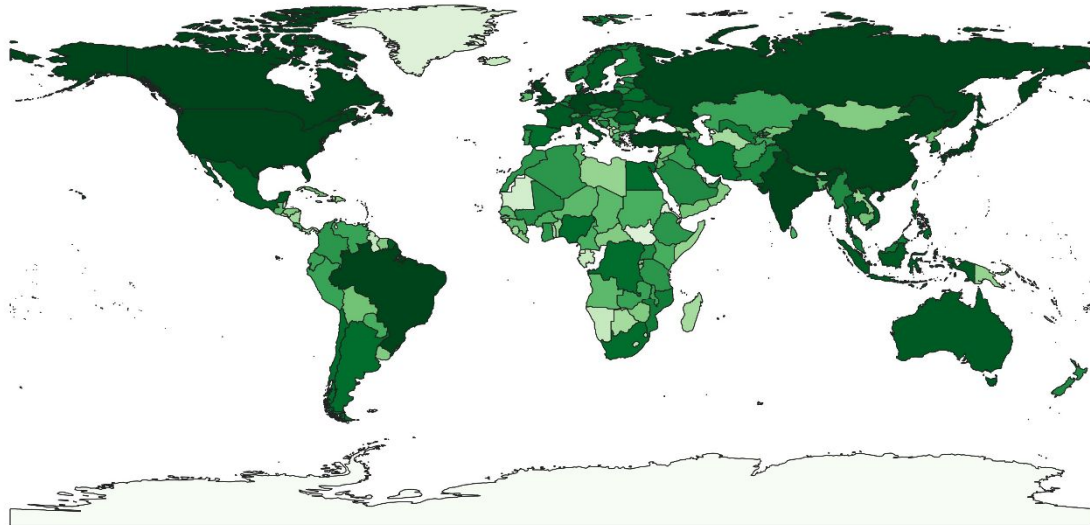


図1 世界全体における木材の炭素フロー・ストック(単位:百万t-C)



Unit: t-C

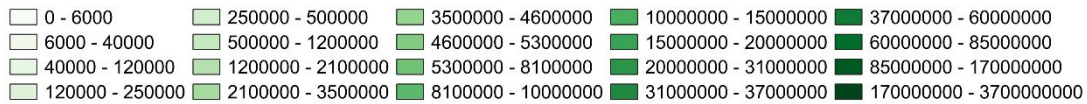


図2 SSP2 シナリオにおける 2050 年の木材の炭素貯蔵量の世界各国分布 (単位: t-C)

(2) 木材の炭素排出削減ポテンシャル

各 SSP シナリオにおいて、廃棄木材の 90%を材料・燃料にリサイクルし、製材・木質パネルによる鋼材・コンクリート代替、木質燃料による石炭代替を行うことによる総合的な炭素排出削減量(図3)は、世界全体で 2050 年に約 7.6 億 t-CO₂/年 (SSP3) ~ 約 22.7 億 t-CO₂/年 (SSP5) と推計された。これらは 2020 年時点での世界全体の二酸化炭素排出量の約 2~7%に相当しており、木材の排出削減ポテンシャルを示している。また、その内訳(図4)を見ると、燃料代替効果が最も大きかった。材料代替効果は被代替対象となる材料の違いによって結果が変わり得ると考えられる。炭素貯蔵効果は SSP シナリオによって削減側(SSP1,2,4,5)にも排出側(SSP3)にも評価されることが分かり、将来の各国における人口や経済成長率の違いが影響していた。

(3) まとめ

本研究によって、世界全体・各国における炭素貯蔵、材料代替、燃料代替による炭素排出削減ポテンシャルが初めて明らかになった。今後は、代替対象の多様化や材料・燃料利用技術の発展による炭素排出係数の改善等を考慮した将来予測を行うこと、森林による炭素貯蔵量との統合的研究を行うこと等が大きい課題である。それらにより、温暖化対策に実質的に貢献する森林管理および木材利用の方策を提示できると考えられる。

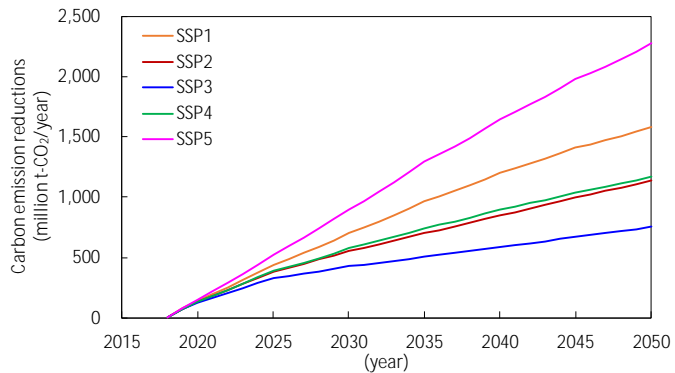


図3 2018 年と比較した 2050 年までの世界全体の総合的な炭素排出削減量 (CO₂ 換算)

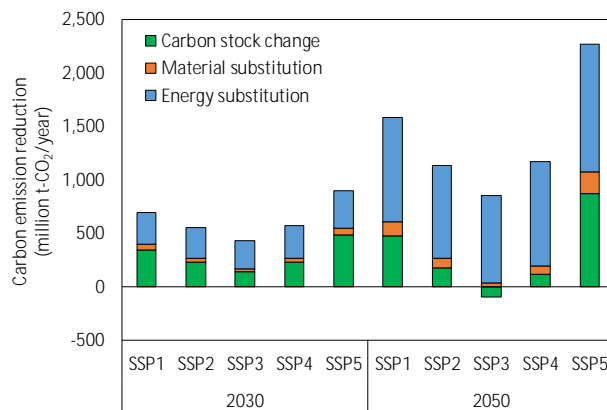


図4 2018 年と比較した 2030 年と 2050 年の世界全体の総合的な炭素排出削減量の内訳 (CO₂ 換算)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Mengyuan Liu, Tomohumi Huzita, Akito Murano, Chun Sheng Goh, Chihiro Kayo	4. 巻 14
2. 論文標題 Economic ripple effects analysis of cross-laminated timber manufacturing in Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 492
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/f14030492	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 古俣寛隆, 加用千裕	4. 巻 69
2. 論文標題 国際連合食糧農業機関の統計データベースに基づく世界の木質燃料消費量と途上国の燃料転換によるCO2排出増加量の推計	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 木材学会誌	6. 最初と最後の頁 79-91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2488/jwrs.69.79	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ryoto Matsumoto, Chihiro Kayo, Satoshi Kita, Kentaro Nakamura, Christian Lauk, Ryo Funada	4. 巻 12
2. 論文標題 Estimation of carbon stocks in wood products for private building companies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 18112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-23112-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kayo Chihiro, Tonosaki Mario	4. 巻 185
2. 論文標題 Lifetimes of buildings in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 106504
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.resconrec.2022.106504	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Issei Sato, Takanobu Aikawa, Chun Sheng Goh, Chihiro Kayo	4. 巻 14
2. 論文標題 Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions in Power Generation Using Palm Kernel Shell	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 GCB Bioenergy	6. 最初と最後の頁 875-892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcbb.12950	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ryoto Matsumoto, Chihiro Kayo	4. 巻 68
2. 論文標題 Estimation of carbon stocks in harvested wood products of buildings in Japan: flux-data method and direct inventory method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s10086-022-02035-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomohumi Huzita, Takanobu Sasaki, Shogo Araki, Chihiro Kayo	4. 巻 12
2. 論文標題 Life cycle regional economic impacts of bridge repair using cross-laminated timber floor slabs: a case study in Akita Prefecture, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Buildings	6. 最初と最後の頁 158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/buildings12020158	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chihiro Kayo, Gerald Kalt, Yuko Tsunetsugu, Seiji Hashimoto, Hirotaka Komata, Ryu Noda, Hiroyasu Oka	4. 巻 16
2. 論文標題 The default methods in the 2019 Refinement drastically reduce estimates of global carbon sinks of harvested wood products	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon Balance and Management	6. 最初と最後の頁 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13021-021-00200-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sota Makino, Takeshi Onishi, Akika Itoh, Issei Sato, Tomohumi Huzita, Chihiro Kayo	4. 巻 13
2. 論文標題 Sustainable campus: Reducing environmental and financial burdens by using pruned branches for on-campus energy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 7480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su13137480	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 松本遼斗, 加用千裕	4. 巻 67
2. 論文標題 都道府県ごとの建築物に使用される伐採木材製品の炭素貯蔵量	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 木材学会誌	6. 最初と最後の頁 138-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2488/jwrs.67.138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomohumi Huzita, Chihiro Kayo	4. 巻 12
2. 論文標題 Regional economic impacts from timber check dam construction - A comparison with concrete check dam construction, Part II: The question of premium vouchers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f12030347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuya Iwase, Takanobu Sasaki, Shogo Araki, Tomohumi Huzita, Chihiro Kayo	4. 巻 12
2. 論文標題 Environmental and economic evaluation of small-scale bridge repair using cross-laminated timber floor slabs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 3424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su12083424	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomohumi Huzita, Ryu Noda, Chihiro Kayo	4. 巻 10
2. 論文標題 Regional economic impacts from timber check dam construction - A comparison with concrete check dam construction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f11101073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計18件(うち招待講演 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 佐藤惟生, 戸田浩人, 浅田隆之, 吉田智弘, 加用千裕
2. 発表標題 スギ人工林をバイオマス生産用早生樹林に転換する際の温室効果ガス収支
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mengyuan Liu, Chihiro Kayo
2. 発表標題 Economic and environmental impact analysis of cross-laminated timber manufacturing in Japan
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三條瑚都子, 加用千裕, 外崎真理雄
2. 発表標題 木材の炭素貯蔵量推定に向けた用途・構造別の寿命の解明
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡裕泰, 加用千裕
2. 発表標題 世界の林産物生産における投入産出関係と需給の長期推計
3. 学会等名 林業経済学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirotaka Komata, Takanobu Aikawa, Chihiro Kayo
2. 発表標題 Evaluation of atmospheric carbon dioxide balance associated with forest growth and utilization
3. 学会等名 The 15th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Issei Sato, Chihiro kayo, Takanobu Aikawa, Chun Sheng Goh, Tomy Listyanto
2. 発表標題 The risk of land-use change and management of plantation in greenhouse gas emissions using palm kernel shells as power generation
3. 学会等名 The 14th International Symposium of Indonesian Wood Research Society (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古俣寛隆, 加用千裕
2. 発表標題 世界各国における木質燃料の利用による潜在的なCO2排出削減
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古俣寛隆, 加用千裕, 相川高信
2. 発表標題 森林の成長と利用に係る炭素負債問題についての一考察
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Du, Y., 橋本征二
2. 発表標題 プラスチックから紙への材料代替による環境影響のシナリオ分析
3. 学会等名 第17回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本遼斗, 加用千裕, 船田良, 喜多智, 関色葉, 中村健太郎
2. 発表標題 民間企業が建設した建築物に使用される伐採木材製品の炭素貯蔵量
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Issei Sato, Takanobu Aikawa, Chun Sheng Goh, Chihiro Kayo
2. 発表標題 Current situation and reduction potential of life-cycle greenhouse gas emissions of palm kernel shell power generation
3. 学会等名 9th Asian Conference on Biomass Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加用千裕
2. 発表標題 日本の森林吸収源の現状と課題
3. 学会等名 第17回日本LCA学会研究発表会, 企画セッション(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Du, Y., 橋本征二
2. 発表標題 プラスチックから紙への材料代替の環境影響評価～対象製品の拡張
3. 学会等名 第32回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田智郁, 加用千裕
2. 発表標題 木製治山ダム建設の地域経済波及効果: 機能と費用を統一したコンクリート製治山ダムとの比較
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本遼斗, 加用千裕
2. 発表標題 日本の都道府県における伐採木材製品の炭素貯蔵量 建築物を対象として
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤惟生, 相川高信, 加用千裕
2. 発表標題 Palm Kernel Shellを用いた発電におけるライフサイクル温室効果ガス排出量
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出羽加奈美, 橋本征二
2. 発表標題 プラスチックから紙への材料代替の環境影響評価
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西岡傑, 橋本征二
2. 発表標題 木質ボードの社会的側面を含めたライフサイクル評価
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 加用千裕	4. 発行年 2021年
2. 出版社 森林文化協会	5. 総ページ数 49
3. 書名 森林環境2021, 森林と自然エネルギーを再考する 私たちの生活の中にある木材は炭素の貯蔵庫	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	恒次 祐子 (Tsunetsugu Yuko) (00360397)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601)	
研究分担者	古俣 寛隆 (Komata Hirotaka) (00446303)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部 林産試験場・主査 (80122)	
研究分担者	野田 龍 (Noda Ryu) (00626955)	秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授 (21401)	
研究分担者	橋本 征二 (Hashimoto Seiji) (30353543)	立命館大学・理工学部・教授 (34315)	
研究分担者	岡 裕泰 (Oka Hiroyasu) (90353622)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究専門員 (82105)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オーストリア	ウィーン天然資源・生命科学大学			
マレーシア	サンウェイ大学			