木造住宅に使用される新潟県産 スギのライフサイクルアセスメン ト調査

RESEARCH INTO THE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF JAPANESE CEDER IN NIIGATA PREFECTURE USED IN WOODEN HOUSES

高村秀紀 — * 1 浅野良晴 — * 2
櫻庭 瞳 — * 3 上田智輝 — * 3
早川慶朗 — * 4

Hideki TAKAMURA — * 1 Yoshiharu ASANO — * 2
Hitomi SAKURABA — * 3 Tomoki UEDA — * 3
Yoshiaki HAYAKAWA — * 4

キーワード：
スギ, ライフサイクルアセスメント, 製材, CO₂ 排出量, 木造住宅

Keywords:
Japanese Cedar, Life cycle assessment, Lumber, CO₂ emissions,
Wooden houses

We researched and calculated the percentage of wood that is wasted at the forest and the lumber mill. We measured the energy used at the two locations and also the timber market. Then we calculated the CO₂ emissions of one cubic meter of lumber production, targeting the four cases. We also researched the volume of by-products from the lumber mill. After that, we calculated the carbon balance by subtracting carbon emissions from the amount of fixed carbon. Finally, we calculated the CO₂ emissions of a single wooden houses using Japanese Cedar in Niigata prefecture.

1. はじめに

地球温暖化をはじめとする地球環境問題は深刻化しており、早急に対策に取り組むべき課題となっている。こうした背景の中、木材は気候変動枠組条約のCOP17において、京都議定書の第1約束期間では認められていなかった伐採木材製品(HWP)による炭素固定量が、森林吸収源として計上される取り組みが採用されており¹⁾、木材の利用がCO₂削減に貢献することは明らかとなっている。しかし、我が国の森林は老齢化が進み、森林の炭素吸収能力が低下しており、適切な森林成長サイクルが望まれている。そのため、森林整備は重要な課題であり、木材製品の利用量増加や長期的利用の促進が図られている²⁾。我が国では森林吸収量の上限である3.5%の確保に向け努力する方針であり、2020年の国産木材の自給率を50%とする目標をたてている³⁾。そこで、木材の利用量増加のために木材の環境負荷を明らかにする必要がある。一方、CO₂削減対策の一つとして製品のCO₂の見える化を行うカーボンフットプリント(以下CFPとする)プログラムの推進が挙げられる。しかし、CFP対象製品³⁾のうち木材製品は合板と集成材のみであり、製材についてはデータが整備されていない。そこで、製材のLCA調査を行い、データを整備する必要がある。

伊香賀ら^{4)~5)}は現地調査と文献調査により、木材の素材生産、輸送及び製造を範囲としたLCA調査を行い、環境負荷の小さい木材選定の検討に有効なデータベースを構築した。調査対象は国産材に加え、6ヶ国の輸入材であり、広範囲で比較分析がされている。ただし、より詳細なLCAを実施する場合には代表値や平均値ではなく、

実際の値に置き換えてデータベースを利用すべきだと述べている。川鍋ら⁶⁾は国産木材と輸入木材の伐採から施工現場への搬入までを範囲としたインベントリ分析を行い、CO₂排出量の最も多い工程は製材・乾燥工程であることを明らかにしている。今後の課題として、データ数と精度の確保、木材のライフサイクルを通しての炭素収支の推定、木造住宅全体における木材の影響の分析等を挙げている。宇城ら⁷⁾は現地調査と文献調査により木材のライフサイクルを通じた炭素収支のモデル化を行った。森林成長サイクルまで考慮しており、カーボンポジティブとなるための木材の利用すべき期間を明らかにしている。原木の伐期は様々であることから、示した結果は限定的なものであると述べている。服部ら⁸⁾は国産丸太の生産段階に着目した環境影響評価を行い、社会コストで評価している。施業面積や林業機械についてより詳細な分析を行っている。山形ら⁹⁾は長野県産材の4樹種について実測調査に基づいてCO₂排出量及びカーボンバランスで評価し、炭素放出のより少ない材の選択の一助となる指標として提案した。これらの既往研究^{4)~9)}により、木材の炭素固定量やCO₂排出量は地域や樹種、生産工程によって差が生じることが明らかとされており、それらの異なる事例において実測調査に基づくデータが必要となる。

本研究では、地場産木材の実測調査に基づくデータを拡充すること及びその地域差を明らかにすることを目的とした。そこで、新潟県全域において素材生産されているスギを対象に、地域の異なる4事例のLCA調査を行った。なお、調査範囲は製材のライフサイクルのうち原材料調達段階と生産段階とした。また、新潟県内の製材工

¹⁾ 信州大学工学部建築学科、信州大学山岳科学総合研究所 准教授・博士(工学)
(〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

²⁾ 信州大学工学部建築学科、信州大学山岳科学総合研究所 教授・工博

³⁾ 信州大学大学院理工学系研究科建築学専攻 大学院生

⁴⁾ 信州大学大学院総合工学系研究科山岳地域環境科学専攻 博士課程、
㈱NTTファシリティーズ

¹⁾ Associate Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Shinshu Univ. and Institute of Mountain Science, Shinshu Univ., Dr. Eng.

²⁾ Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Shinshu Univ. and Institute of Mountain Science, Shinshu Univ., Dr. Eng.

³⁾ Graduate Student, Faculty of Eng., Shinshu Univ.

⁴⁾ Doctoral Program, Dept. of Mountain and Environmental Science, Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu Univ. and NTT Facilities, Inc.

場を対象に端材の利活用状況についてアンケート調査を行い、端材の発生量及び利用用途を把握した。その調査結果を基に、製材の生産工程におけるCO₂排出量と焼却処分される端材によるCO₂排出量を他産業と建築分野で按分し、木材のCO₂固定量と建築分野が負担すべきCO₂排出量を差引きして算出したカーボンバランスで評価した。さらに、木造住宅に新潟県産スギを使用した場合の住宅建設時のCO₂排出量を試算し、4事例間におけるCO₂排出量の差が木造住宅建設時のCO₂排出量に与える影響について検討した。

2. 調査概要

新潟県の森林資源においてもその多くが高齢級の人工スギで構成されており、木材としての利用が待たれている¹⁰⁾。新潟県における平成21年度の樹種別素材生産割合及び用途別生産割合¹¹⁾を図1、2に示す。調査対象樹種を新潟県樹種別素材生産割合の約86%を占める新潟県産スギ、調査対象製品を新潟県用途別生産割合の約75%を占める製材とした。調査対象範囲をカーボンフットプリント制度において認定された商品種別算定基準¹²⁾で定められた製材のライフサイクルのうち原材料調達段階、生産段階とした。新潟県の主要森林計画区¹³⁾である下越地域、中越地域、上越地域において、それぞれ実際の流通経路に沿って調査を行った。新潟県産スギの生産工程及び4事例の調査対象を図3に示す。調査対象の位置を図4に示す。また森林計画区別の森林面積、素材生産量、治山事業量の割合¹³⁾を図5に示す。下越地域は林業の盛んな地域であり、素材生産割合の66%を占める。中越地域は森林面積及び治山事業が多いにも関わらず、素材生産量が少ない。なお、本研究における実測調査及びアンケート調査はすべて、新潟県木材組合連合会が認証した越後スギブランド^{注1)}認証工場¹⁴⁾を対象とした。

3. 伐採工程における調査

調査対象は下越地域関川村のA森林組合、中越地域津南町のB森林組合、上越地域上越市のC森林組合とした。

3.1 歩留まりの算出

森林組合の近隣の林地で実測調査を行った。ただし、B森林組合の場合は約25km離れた十日町に位置する林地で調査を行った。各林地において原木2本について、玉切りされた丸太の重量及び材積量を計測し、伐採工程における歩留まりを算出した。結果を表1に示す。C森林組合での造材時の歩留まりがやや低くなった。C森林組合の林地では曲がりや二股のある木が多く、出荷可能である材が少ないためと考えられる。

3.2 含水率と全乾比重の算出

玉切りされた原木の小口から厚さ3cm程度の円盤を試料として採取し、105℃で約30時間乾燥させた。乾燥前後の重量及び材積量を計測し、原木2本分の含水率及び全乾比重、炭素固定量^{注2)}を算出した。結果を表2に示す。全乾比重を既往研究⁹⁾によるスギの結果と比較すると、個体差はあるがおおよそ近い値となった。

3.3 出荷材積量あたりの燃料消費量の算出

各森林組合に対して新潟県産スギの1年間の出荷材積量及び伐採に係わる燃料消費量について聞き取り調査を行い、伐採工程における出荷材積量あたりの燃料消費量を算出した。結果を表3に示す。いずれの森林組合でもスイングヤード、フォワーダ、ハーベスタ、

図1 樹種別素材生産割合

図2 用途別素材生産割合

図3 生産工程及び調査対象

図4 調査対象の位置

図5 森林面積、素材生産量、地産事業量の森林計画区別割合

表1 伐採工程における重量歩留まり及び材積歩留まり

地域	調査対象	重量歩留まり		材積歩留まり
		枝払い	造材	造材
下越	A森林組合	0.91	0.87	0.89
中越	B森林組合	0.81	0.85	0.85
上越	C森林組合	0.95	0.55	0.59

表2 試料の含水率、全乾比重及び炭素固定量

地域	調査対象	含水率	全乾比重	炭素固定量
		%	t/m ³	kg-C/m ³
下越	A森林組合	111.7	0.35	175
		110.6	0.37	185
中越	B森林組合	140.6	0.36	180
		147.4	0.29	145
上越	C森林組合	140.3	0.28	140
		156.0	0.31	155

表3 伐採工程における出荷材積量あたりの燃料消費量

地域	下越	中越	上越
調査対象	A森林組合	B森林組合	C森林組合
年間軽油消費量 L	26,867	3,974	14,208
年間ガソリン消費量 L	3,016	475	604
年間出荷材積量 m ³	3,648	432	1,383
出荷材積量あたりの軽油消費量 L/m ³	7.4	9.2	10.3
出荷材積量あたりのガソリン消費量 L/m ³	0.8	1.1	0.4

表4 保管工程における出荷材積量あたりの燃料消費量

地域	上越
調査対象	D原木市場
年間軽油消費量 L	4,770
年間出荷材積量 m ³	5,462
出荷材積量あたりの軽油消費量 L/m ³	0.9

プロセッサ、クローラに軽油が使用され、チェーンソーにガソリンが使用されていた。いずれの林地でもチェーンソーの燃料に混合油が使用されていたが、ガソリンについてのみ評価した。出荷材積量は受託造林・販売清算書から把握し、軽油消費量を免税軽油使用者証から把握し、ガソリン消費量をガソリン代の領収書から把握した。出荷材積量あたりの燃料消費量は、3カ所の森林組合で近似していた。

4. 保管工程における調査

調査対象は上越地域上越市のD原木市場とした。新潟県産スギの1年間の出荷材積量及び市場内の燃料消費量について聞き取り調査を行った。そして保管工程における出荷材積量あたりの燃料消費量を算出した。結果を表4に示す。D原木市場では、フォークリフトに軽油が使用されていた。取り扱い材積量を販売清算書から把握し、軽油消費量を免税軽油使用者証から把握した。原木市場では持ち込まれた丸太を、自動選別機を用いて仕分けすることが多いが、D原木市場を含む新潟県内の原木市場では原木の直径にばらつきがあるため、選別機が使用されていなかった。

5. 製材工程における調査

調査対象は下越地域加茂市のE製材工場、中越地域津南町のB森林組合、上越地域上越市のF製材工場とした。いずれの製材工場も仕入れ先は複数の素材生産業者及び原木市場からなっている。

5.1 歩留まりの算出

各製材工場において、投入される長さ3mあるいは4mの丸太5本分について製材前後、仕上げ前後の木材の重量及び材積量の計測を行い、製材・乾燥・仕上げ工程における歩留まりを算出した。結果を表5、表6に示す。ただし、B森林組合では3章の調査において同森林組合で伐採した原木2本分を玉切りした丸太7本分について計測を行った。木材はそれぞれE製材工場では間柱に、B森林組合では間柱、筋違、垂木、垂木掛、貫、根太、野地板、破風板に、F製材工場では間柱、桁、垂木、貫、野地板、胴縁に加工されているため、製材工程における歩留まりが小さくなったと考えられる。

5.2 含水率の算出

高周波木材水分計を用いて乾燥前後の含水率を計測した。結果を表7に示す。E製材工場では約75℃で14日間程度、燻煙乾燥を行っていた。B森林組合では天然乾燥で含水率を50%以下にした後に、約80℃で5日間程度、蒸気式乾燥を行っていた。計測した天然乾燥後の含水率は10月上旬から11月上旬まで約1ヶ月屋外に積み上げて乾燥させた後の値である。平均して約40%となっていた。またF製材工場では柱材については約85℃で10日間程度蒸気式乾燥を行い、板材については天然乾燥が行われていた。

5.3 出荷材積量あたりの燃料消費量

新潟県産スギの1年間の出荷材積量及び木材の加工に係わる燃料消費量について聞き取り調査を行い、製材・乾燥工程における出荷材積量あたりの燃料消費量を算出した。結果を表8に示す。いずれの製材工場でも製材機に電気が使用され、工場内で使用されるフォークリフトに軽油が使用され、乾燥機に灯油が使用されていた。さらにE製材工場ではリングバーガーやチッパー、乾燥庫用蓄熱式暖房機も所有しており、電気が使用されていた。なお、E製材工場では

表5 製材・乾燥・仕上げ工程における重量歩留まり

地域	調査対象	製材	乾燥	仕上げ
下越	E製材工場	0.39	0.66	0.79
中越	B森林組合	0.53	0.62	0.97
上越	F製材工場	0.63	0.68	0.80

表6 製材・乾燥・仕上げ工程における材積歩留まり

地域	調査対象	製材	乾燥	仕上げ
下越	E製材工場	0.47	0.96	0.76
中越	B森林組合	0.57	0.85	0.97
上越	F製材工場	0.66	0.96	0.80

表7 乾燥工程前後における木材の含水率

地域	調査対象	乾燥前 %	天然乾燥後 %	人工乾燥後 %
下越	E製材工場	91.8	-	14.2
中越	B森林組合	86.6	42.5	38.8
上越	F製材工場	92.0	-	40.9

表8 製材・乾燥・仕上げ工程における出荷材積量あたりの燃料消費量

地域	下越	中越	上越
調査対象	E製材工場	B森林組合	F製材工場
年間電力消費量 kW	197,629	554,662	39,146
年間軽油消費量 L	10,868	4,811	3,840
年間灯油消費量 L	1,569	35,406	8,955
年間出荷材積量 m ³	1,794	1,710	500
出荷材積量あたりの電力消費量 kW/m ³	110.2	328.7	78.3
出荷材積量あたりの軽油消費量 L/m ³	6.3	2.8	7.7
出荷材積量あたりの灯油消費量 L/m ³	0.9	20.8	17.9

表9 各工程における重量・材積量・炭素固定量の変動

事例	地域	項目	伐採	造材	保管	製材	乾燥	仕上げ
①	下越	材積量 m ³	4.0	3.3	2.9	1.4	1.3	1.0
		重量 t	2.6	2.4	2.0	0.9	0.6	0.5
		含水率 %	118.0	118.0	91.8	91.8	14.2	14.2
		炭素固定量 t-C	0.7	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
		炭素固定割合 -	1.4	1.1	1.0	0.5	0.5	0.3
②	中越	材積量 m ³	3.1	2.5	2.1	1.2	1.0	1.0
		重量 t	2.6	2.1	1.7	0.9	0.6	0.6
		含水率 %	143.1	143.1	86.6	86.6	38.8	38.8
		炭素固定量 t-C	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2
		炭素固定割合 -	1.4	1.2	1.0	0.6	0.5	0.5
③	中越 上越	材積量 m ³	4.4	3.6	2.1	1.2	1.0	1.0
		重量 t	3.2	2.6	1.7	0.9	0.6	0.6
		含水率 %	148.1	148.1	86.6	86.6	38.8	38.8
		炭素固定量 t-C	0.7	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2
		炭素固定割合 -	2.1	1.7	1.0	0.6	0.5	0.5
④	上越	材積量 m ³	4.1	3.3	2.0	1.3	1.3	1.0
		重量 t	2.6	2.4	1.3	0.9	0.6	0.5
		含水率 %	148.1	148.1	92.1	92.1	40.9	40.9
		炭素固定量 t-C	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2
		炭素固定割合 -	2.1	1.7	1.0	0.7	0.6	0.5

は製材の他にチップの生産も行っているため、チッパーの電力消費量を工場全体の電力消費量から減じた。また事務所の照明やOA機器、製材機等に用いる電力消費量については製材とチップの出荷材積量の体積比で按分した。年間の出荷材積量は販売清算書から把握し、電力消費量は電力会社からの請求伝票から把握し、軽油消費量は免税軽油使用者証から把握し、灯油消費量は灯油代の伝票から把握した。E製材工場では燻煙乾燥の燃料として木材チップを用いているため、灯油消費量が少なくなった。E製材工場、F製材工場の従業員が10名程度であるのに対し、B森林組合は従業員145名の大規模な事務所であるため、電力消費量が多くなったと考えられる。

6. 製材1m³製造時のCO₂排出量の算出

6.1 重量・材積量及び炭素固定量の変動

製材1m³製造時のCO₂排出量を算出するために、3章～5章で算出した歩留まりの結果を用いて仕上げ後の製材1m³を製造するのに必要な各工程における木材の重量・材積量及び炭素固定量を算出した。

結果を表9に示す。表中の炭素固定割合とは、枝葉を切り落とした状態の原木の炭素固定量を1.0とした割合を示したものである。仕上げ後1m³となるまでに炭素固定量は約50%以下に減少していることがわかる。

6.2 各工程におけるCO₂排出量の算出

3章〜5章で算出した材積量あたりの燃料消費量に、製材1m³製造時の各工程における材積量を乗じることで製材1m³製造時の燃料消費量を算出した。結果を表10に示す。さらにCO₂排出原単位^{注3)}を乗じることで4事例において、製材1m³製造時のCO₂排出量を算出した。結果を図6及び図7に示す。

6.2.1 伐採工程におけるCO₂排出量

いずれもCO₂排出量の約90%が軽油によるものであった。事例③と事例④において、製材工場での歩留まりは、B森林組合では0.47、F製材工場では0.51であり、製材1m³を得るために林地に必要な材積量が異なる。そのため、2事例は同じ林地であるが、CO₂排出量に差が生じた。

6.2.2 保管工程におけるCO₂排出量

原木市場を経由する事例③と事例④の保管工程におけるCO₂排出量を算出した。保管工程におけるCO₂排出量は事例③と事例④の全工程のCO₂排出量の約2〜4%であり、原木市場を経由することによるCO₂排出量の増加は少ないと考えられる。

6.2.3 製材・乾燥・仕上げ工程におけるCO₂排出量

製材工場における主なCO₂排出要因は製材機や事務所で使用される電気と乾燥機に使用される灯油であった。E製材工場では燻煙乾燥に自社で発生した端材を燃料として使用しているため、灯油によるCO₂排出量が少なくなった。

6.2.4 運搬工程におけるCO₂排出量

4事例の運搬工程におけるCO₂排出量を、ウッドマイルズ関連指標算出マニュアル¹⁵⁾に従って算出した。輸送材積量と輸送距離を表11に示す。事例①において、E製材工場における材積歩留まりは0.34であり、B森林組合の0.51、F製材工場の0.47に比べて小さいため、林地から製材工場へ輸送される原木の材積量が多くなった。さらに輸送距離は他の事例の1.6〜4.1倍で最も長いため、CO₂排出量が最も多くなった。事例②においては、一つの森林組合で伐採工程から製材・乾燥工程まで行っているため、輸送距離が比較的小さく、CO₂排出量は最も少なくなった。また事例③では、上越地域の林地から中越地域の製材工場へ運搬されており、輸送距離が長くなった。

6.2.5 4事例における製材1m³製造時のCO₂排出量

各工程におけるCO₂排出量の総和を事例ごとに算出した。事例①では180.3 kg-CO₂/m³、事例②では302.1 kg-CO₂/m³、事例③では317.0 kg-CO₂/m³、事例④では179.7 kg-CO₂/m³であった。いずれもCO₂排出量の約43〜79%が製材・乾燥工程によるものであり、最も多くを占めていた。製材工場での乾燥方法を見直すことがCO₂排出量削減に貢献すると考えられる。

7. 製材1m³製造時のカーボンバランスの算出

7.1 端材の利活用状況

新潟県産スギの端材の利用用途を把握するため、新潟県内の越後スギブランド^{注1)}認定工場¹⁴⁾93社を対象に、製材工場等における端材の発生量及び利活用状況についてアンケート調査を行った。調査項

表 10 製材1m³製造時の燃料消費量

工程	事例	調査対象	電気	灯油	軽油	ガソリン
			kWh	L	L	L
伐採	①	A森林組合	-	-	21.4	2.4
	②	B森林組合	-	-	19.6	2.3
	③	C森林組合	-	-	20.3	0.9
	④	C森林組合	-	-	21.9	0.9
保管	③	D原木市場	-	-	1.9	-
	④	D原木市場	-	-	2.1	-
製材・乾燥	①	E製材工場	110.2	0.9	6.3	-
	②	B森林組合	328.7	20.8	2.8	-
	③	B森林組合	328.7	20.8	2.8	-
	④	F製材工場	78.3	17.9	7.7	-

図 6 各工程における燃料毎の製材1m³製造時のCO₂排出量

図 7 4事例における工程毎の製材1m³製造時のCO₂排出量

表 11 各施設間の輸送材積量及び輸送距離

事例	区間	輸送材積量	輸送距離
		m	km
①	A森林組合—E製材工場	2.9	106.6
②	B森林組合(林地)—B森林組合	2.1	25.8
③	C森林組合—D原木市場	2.1	14.2
	D原木市場—B森林組合	2.1	53.1
④	C森林組合—D原木市場	2.0	14.2
	D原木市場—F製材工場	2.0	18.0

図 8 製材工場における端材の発生量と利活用状況

目は平成21年度及び22年度における木材の仕入れ材積量、出荷材積量、端材の発生量及び利活用方法とした。回答の得られた下越地域4社、中越地域3社、上越地域5社、地域が不明である4社の計16社について集計した。集計の結果、端材の98%が他産業で利用され、2%は焼却処分されていた。16社の端材の利活用状況を図8に示す。木材チップや木質バイオマス、畜産用、堆肥用、きのこ用等として他産業へ有償または無償で引き取られていた。その他の用途では学校のグラウンド等に使用されていた。

7.2 原木1本の利用用途内訳

4事例の各工程における歩留まりから、事例ごとに原木1本に対して製材品となる割合を算出した。事例①では31%、事例②では40%、事例③では28%、事例④では30%となった。原木1本に対して端材となる残りの60～72%を、3.1で述べたアンケート調査の結果より、事例ごとに他産業での利用用途及び焼却処分で按分した。図9に各事例の原木1本の使用用途割合を示す。事例①ではE製材工場、事例②及び事例③ではB森林組合、事例④ではF製材工場のアンケート調査結果を用いた。E製材工場では、発生した製材端材の一部が自社の燐煙乾燥の燃料として使用されていた。残りは工場内でチップ化され、他産業に有償で引き取られていた。焼却処分されていたのは、かなな屑が年間に約5m³でほとんど無かった。B森林組合では、発生したおが屑は同森林組合で行われているきのこ産業で使用されていた。またバイオマスとして利用されなかった製材端材及び樹皮は工場内の焼却炉で焼却処分されており、原木1本に対する割合は19～23%であった。F製材工場では、発生した製材端材は木材チップとこの屑が畜産用として引き取られていた。樹皮のみ焼却処分されており、原木1本に対する割合は3%であった。

7.3 カーボンバランスの算出

製材1m³のCO₂固定量^{注4)}をプラス、伐採工程から製材・乾燥工程までの燃料消費によるCO₂排出量及び、林地または製材工場で発生した端材によるCO₂放出量をマイナスとして差引することにより、カーボンバランスを算出した^{注5)}。その際、事例ごとに7.2の結果を用いて他産業と按分し、建築用材が負担すべき正味の燃料によるCO₂排出量及び端材によるCO₂放出量を算出した。事例ごとのカーボンバランスの算出結果を表12に示す。事例①では418.5 kg-CO₂/m³、事例②では298.3 kg-CO₂/m³、事例③では91.2 kg-CO₂/m³、事例④では260.6 kg-CO₂/m³となり、カーボンポジティブとなった。燃料消費によるCO₂排出量よりも端材によるCO₂排出量が多くなった。事例①においては端材を自家消費していたため、その分負担すべき割合が増え、林地における端材によるCO₂排出量が多くなった。事例③、事例④では林地における端材によるCO₂排出量が多くなった。これはC森林組合の林地で冠雪害にあった原木に曲がりや二股が生じ、建築用材として出荷できる材積量が少なくなったためである。

8. 木造住宅に使用した場合のCO₂排出量の試算

4事例間における新潟県産スギの製材1 m³製造時におけるCO₂排出量の差が木造住宅建設時のCO₂排出量に与える影響について検討するため、新潟県産スギを使用した場合の住宅建設時のCO₂排出量を試算した。試算を行った対象住宅は、既往研究¹⁶⁾における長野県長野市に建設された木造軸組在来工法2階建ての戸建住宅である。延べ床面積は134.4m²である。対象住宅の土台以外の構造物^{注6)}に13.1m³、また

図9 原木1本の使用用途割合

表12 カーボンバランス

事例	①		②		③		④	
地域	下越		中越		中越・上越		上越	
	kg-CO ₂ /m ³	%	kg-CO ₂ /m ³	%	kg-CO ₂ /m ³	%	kg-CO ₂ /m ³	%
CO ₂ 固定量	605	100	678	100	550	100	550	100
燃料消費によるCO ₂ 排出量	-28	-5	-27	-4	-19	-3	-18	-3
林地	-19	-3	-3	-1	-7	-1	-3	0
運搬	-	-	-	-	-2	0	-2	0
原木市場	-36	-6	-114	-17	-82	-15	-33	-6
製材工場	-103	-17	-119	-18	-281	-51	-228	-42
端材によるCO ₂ 排出量	-1	0	-117	-17	-69	-12	-6	-1
製材工場								
カーボンバランス	419	69	298	44	91	17	261	47

表13 木造住宅における蓄積資材別 CO₂ 排出量

材種			事例①		事例②		事例③		事例④	
			CO ₂ 排出量	割合	CO ₂ 排出量	割合	CO ₂ 排出量	割合	CO ₂ 排出量	割合
			kg-CO ₂	%	kg-CO ₂	%	kg-CO ₂	%	kg-CO ₂	%
木材	製材	スギ	2,696	6	4,516	9	4,739	10	2,686	6
		その他	3,773	8	3,773	8	3,773	8	3,773	8
	合板	586	1	586	1	586	1	586	1	
	木製建具	2	0	2	0	2	0	2	0	
	木材以外		7,057	15	8,878	18	9,101	18	7,048	15
	計		40,212	85	40,212	82	40,212	82	40,212	85
			47,269	100	49,090	100	49,313	100	47,260	100

羽柄材^{注7)}に1.8m³の新潟県産スギを使用した。既往研究¹⁶⁾同様、住宅建設に要する資材重量に日本建築学会公表のCO₂排出原単位^{注8)}を乗じることで住宅建設時のCO₂排出量を算出し、新潟県産スギのCO₂排出原単位には6章で算出した事例ごとのCO₂排出量を用いた。対象住宅建設時のCO₂排出量とその割合を表13に示す。事例④の新潟県産スギを使用した場合の対象住宅建設時のCO₂排出量は47.3×10³ kg-CO₂であり、最小であった。また、事例③の新潟県産スギを使用した場合の対象住宅建設時のCO₂排出量は49.3×10³ kg-CO₂であり、最大であった。その差は2.1×10³ kg-CO₂であった。しかし、事例④の新潟県産スギを使用した場合の対象住宅建設時のCO₂排出量に対する最大値であった事例③の新潟県産スギを使用した場合の対象住宅建設時のCO₂排出量は104%であり、新潟県産スギの製材1m³製造時におけるCO₂排出量の差が木造住宅建設時のCO₂排出量に与える影響はごく僅かであるといえる。

9. まとめ

本論文では、4事例の新潟県産スギについて実際の流通経路に沿って調査を行い、製材1m³製造時におけるCO₂排出量及びカーボンバランスの算出を行った。そして、4事例間における比較を行い、新潟県産スギの環境負荷指標を検討した。さらに、新潟県産スギを木造住宅に使用した場合のCO₂排出量を試算し、製材1m³製造時におけるCO₂排出量の差が住宅1棟分のCO₂排出量に与える影響について検討した。得られた知見を以下に示す。

1) 製材のCO₂固定量は各林地における原木の全乾比重によるが、同一樹種でもばらつきがあり、最大値と最小値の差は128.0 kg-CO₂/m³であった。樹齢や地域が近似していても全乾比重の値は大きく異なり、カーボンバランスに大きく影響した。

2) 4事例の製材1m³の生産工程におけるCO₂排出量の最大値と最小値の差は137.3 kg-CO₂/m³となった。またカーボンバランスの最大値と最小値の差は327.3kg-CO₂/m³となった。差が生じた主な原因として、製材工場における乾燥方法、規模、歩留まりや端材の利活用状況の違いが考えられる。

3) 新潟県産スギ製材1m³製造時におけるCO₂排出量の差は大きく、ばらつきがあったが、その差が木造住宅建設時のCO₂排出量に与える影響はごく僅かであった。

今後の課題を以下に示す。

新潟県産スギの製材1m³製造時におけるCO₂排出量の4事例間の差が木造住宅建設時のCO₂排出量に与える影響はごく僅かであった。しかし、4事例間における差は大きく、新潟県産スギのデータの信頼性を向上させるためには、各調査地における試料数を増やし、データを整備する必要がある。また、新潟県産スギと他県産材の比較等も行う必要がある。さらに、住宅建設時のCO₂排出量について新潟県産スギを用いた木造住宅と非木造住宅との比較を行う必要がある。

謝辞

調査を実施するにあたり、新潟県の森林組合、原木市場及び製材工場関係者各位に多大なる協力を得た。ここに深く感謝の意を記す。

注

- 注1) 新潟県産スギブランドは、構造用製材については含水率20%以下、ヤング係数3.9以上という基準をクリアした品質・性能が明確な新潟県産材である。
- 注2) 林野庁HPより炭素固定量は以下の式を用いた。炭素含有率は0.5とした。
炭素固定量(t-C)=幹材積(m³)×全乾比重(t/m³)×炭素含有率
- 注3) CO₂排出原単位は環境省のデータベース算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(2010/04/01)及び東北電力の2011年度の原単位を用いた。軽油は2.58 kg-CO₂/L、灯油は2.49 kg-CO₂/L、ガソリンは2.32 kg-CO₂/L、電気は0.547 kg-CO₂/kWhとした。
- 注4) CO₂固定量の算出式を下に示す。
CO₂固定量(kg-CO₂)=炭素固定量(kg-C)×(44/12)
- 注5) 燃料や電気消費による各工程のCO₂排出量及び林地残材または製材工場で焼却処分された端材によるCO₂排出量の算出式を以下に示す。
Ee1=e1×{r1+rb+(r1+rb)×rd}
Een=en×(rn+rn×rdn) (n=2,3,4)
ただし、
Een：事例①における建築用材が負担する燃料や電気消費による各工程のCO₂排出量 [kg-CO₂/m³]
Een：事例②、③、④における建築用材が負担する燃料や電気消費による各工程のCO₂排出量 [kg-CO₂/m³]
e1：事例①の各工程におけるCO₂排出量 [kg-CO₂/m³]
en：事例②、③、④の各工程におけるCO₂排出量 [kg-CO₂/m³]
rb：製材工場で発生した端材が木屑焚きボイラ等自家消費されている割合 15 [%]

- rd1：事例①において原木が焼却処分される割合 0 [%]
rd2：事例②において原木が焼却処分される割合 19 [%]
rd3：事例③において原木が焼却処分される割合 23 [%]
rd4：事例④において原木が焼却処分される割合 2 [%]
r1：事例①において原木が建築用材材として利用される割合 31 [%]
r2：事例②において原木が建築用材材として利用される割合 40 [%]
r3：事例③において原木が建築用材材として利用される割合 28 [%]
r4：事例④において原木が建築用材材として利用される割合 30 [%]

$$Ew1=V1 \times \{r1+rb+(r1+rb) \times rd\} \times D1 \times C \times \sigma \times 1000$$

$$Ewn=Vn \times (rn+rn \times rdn) \times Dn \times C \times \sigma \times 1000 \quad (n=2,3,4)$$

ただし、

Ew1：事例①において林地残材または製材工場で焼却処分された端材によるCO₂排出量[kg-CO₂/m³]

Ewn：事例②、③、④において林地残材または製材工場で焼却処分された端材によるCO₂排出量[kg-CO₂/m³]

V1：事例①の各工程で生じる端材の材積量[m³]

Vn：事例②、③、④の各工程で生じる端材の材積量[m³]

D1：事例①における原木の全乾比重 0.33 [t/m³]

D2：事例②における原木の全乾比重 0.37 [t/m³]

D3：事例③における原木の全乾比重 0.30 [t/m³]

D4：事例④における原木の全乾比重 0.30 [t/m³]

C：炭素含有率 0.50 [t-C/t]

σ：CO₂換算係数 44/12 [t-CO₂/t-C]

注6) 梁、桁、大引、母屋、棟、束に使用した。

注7) 破風板、筋違、広小舞に使用した。

注8) 2013年日本建築学会公表のCO₂排出原単位を用いた。

参考文献

- 1) 農林水産省：「気候変動枠組条約第17回締約国会議（COP17）」、「京都議定書第7回締約国会合（CMP7）」等の結果について、農林水産省、
<<http://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/kankyo/111212.html>> (参照2013-1-10)
- 2) 林野庁：森林・林業白書，2011.4
- 3) 社団法人産業環境管理協会：“CFP 対象製品”、CFP プログラム、
<<http://www.cfp-japan.jp/info/index.php>> (参照2013-1-10)
- 4) 大城賢，伊香賀俊治，本藤祐樹：輸入木材のLCAデータベースの構築，日本建築学会技術報告集第16巻，第33号，pp.609-614，2010.6
- 5) 南部佑輔，他4名：建築用木材のデータベースの構築，日本建築学会技術報告集第18巻，第38号，pp269-274，2012.2
- 6) 川鍋亜衣子，他4名：木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理，日本建築学会技術報告集第16巻，第32号，pp37-42，2010.2
- 7) 宇城拓平，伊香賀俊治，目黒康平：建築用木材の利用促進における森林成長サイクルを考慮したCO₂収支の長期予測，日本建築学会技術報告集第19巻，第42号，pp649-654，2013.6
- 8) 大和田拓馬，他3名：国産丸太のLCAによる環境影響評価，第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，pp.90-91，2012.3
- 9) 山形龍一，浅野良晴，高村秀紀：長野県産スギ、カラマツのカーボンバランスの算出 地場産材を使用した住宅における木材のライフサイクルアセスメントに関する基礎調査その2，日本建築学会環境系論文集，第74巻，第645号，pp1261-1267，2013.1
- 10) 新潟県：平成23年度新潟県の森林・林業(資料編)，2012.3
- 11) 新潟県：新潟県の木材統計と木材振興対策，pp.14-15，2011.4
- 12) カーボンフットプリント算定・表示試行事業：カーボンフットプリント算定・表示試行事業、商品種別算定基準（PCR）対象製品：木材・木質材料，2011.10
- 13) 新潟県：地域森林計画について、新潟県、
<<http://www.pref.niigata.lg.jp/chisan/1294952436788.html>>，
(参照2013-1-10)
- 14) 新潟県：越後杉ブランド認証材生産工場一覧，
<<http://www.pref.niigata.lg.jp/rinsei/1219600864670.html>>，
(参照2013-1-10)
- 15) ウッドマイルズ研究会：ウッドマイルズ関連指標算出マニュアル Ver.2008-01，pp. 1-8，2008.7
- 16) 山内一矢，浅野良晴，高村秀紀：“長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツのCO₂排出量原単位及び木造住宅におけるCO₂排出量の算出 地場産材を使用した住宅における木材のライフサイクルアセスメントに関する基礎調査その1”，日本建築学会環境系論文集第645巻，pp.1261-1267，2009.11

[2013年6月18日原稿受理 2013年8月27日採用決定]