

木材および森林の炭素貯蔵量を考慮した 木製遮音壁の温室効果ガス収支

加用 千裕¹・野田 龍²・山内 仁人³・柴田 直明⁴

¹正会員 東京農工大学准教授 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

²正会員 秋田大学講師 大学院理工学研究科 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1)
E-mail:noda@gipc.akita-u.ac.jp

³非会員 長野県上伊那地域振興局 (〒396-8666 長野県伊那市荒井 3497)
E-mail:yamanochi-masato@pref.nagano.lg.jp

⁴正会員 元長野県林業総合センター (〒399-0711 長野県塩尻市大字片丘 5739)
E-mail:nsbt-mt2@snow.plala.or.jp

長野県で開発された木製遮音壁を対象として、木材・森林の炭素貯蔵量および化石燃料由来の温室効果ガス (GHG) 排出量・削減量の双方を考慮したライフサイクル GHG 収支を明らかにした。さらに、コンクリート製遮音壁を木製遮音壁へ代替することによる GHG 排出削減効果を検討した。その結果、遮音壁の耐用年数を 15 年以上維持することができれば、コンクリート製遮音壁を木製遮音壁へ代替することによる GHG 排出削減効果が得られ、その GHG 排出削減量は評価期間 30 年で 230 kg-CO₂-eq/m となることが分かった。ただし、木材伐採後の再植林および加工残材・林地残材の燃料利用が不可欠となる。また、化石燃料由来の GHG 収支だけを対象とするよりも木材・森林由来の炭素収支を考慮する方が地球温暖化緩和効果は大きくなることが示された。

Key Words: life cycle assessment, carbon storage, Japanese larch, reforestation, Nagano prefecture

1. はじめに

近年、地球温暖化の緩和、森林整備や林業振興への寄与等の観点から土木分野への木材利用の拡大が注目されている¹⁾。木材利用による温室効果ガス (GHG) 排出量や他材料との代替による GHG 排出削減効果を定量的に評価する手法のひとつとしてライフサイクルアセスメント (LCA) がある。LCA とは、対象とする製品やサービスを生み出す資源の採取から製品の使用・廃棄まで、ライフサイクル全体を通して資源消費量や環境負荷排出量を計量し、その環境への影響を総合的に評価する手法である。LCA 手法を用いて木材利用の GHG 排出量を評価する際、木材に貯蔵されている炭素はカーボンニュートラルとして取り扱われていることが多い。カーボンニュートラルとは、炭素の排出と吸収が±0 で大気中の二酸化炭素濃度に影響しないことを意味する。これには、木材の焼却や生物分解によって排出される炭素は元々森林が成長過程で光合成により吸収した炭素と同量であるという考え方²⁾がある。一方、木材の焼却や生物分解によって排出される炭素は伐採後の再植林により森林が将

来吸収する炭素と同量であるという考え方³⁾もある。どちらかの考え方に従って、多くの先行研究⁴⁾¹⁰⁾では、LCA において木材由来の炭素収支を 0 とみなして考慮してこなかった。また、国際標準化機構 (ISO) における LCA 規格¹¹⁾においても同様の考え方が適用され、木材を含むバイオマス由来の炭素収支は計上しないこととなっている。しかしながら、ここで時間変化を考慮すると、木材は一定期間炭素を貯蔵し続けており、森林の成長による炭素吸収と木材の焼却や生物分解による炭素排出の時期は大きく異なり、カーボンニュートラルとして単純に取り扱えない問題がある。そのため、木材利用による地球温暖化緩和への貢献を正しく理解するためには、LCA の枠組みにおいて木材および森林の双方における時間変化に伴う炭素収支を考慮し、GHG 排出削減効果を検討する必要がある。木材の利用拡大が期待されている土木分野においては、木杭¹²⁾や木製治山ダム¹³⁾¹⁴⁾を対象として、木材および森林における炭素収支を考慮したライフサイクル GHG 排出量を評価した先行研究が報告されている。しかし、その他の土木分野における検討はまだ進んでおらず、今後の更なる研究蓄積が必要である。

そこで、本研究では、主要な木製土木構造物のひとつである木製遮音壁に着目し、著者らがこれまで検討してきた化石燃料由来のライフサイクル GHG 排出量（前報）¹⁵⁾に加え、木製遮音壁に利用される木材とその供給源である森林における炭素収支を考慮した GHG 収支を明らかにする。また、一般に普及しているコンクリート製遮音壁を比較対象として、その GHG 収支を評価し、コンクリート製遮音壁を木製遮音壁へ代替することによる GHG 排出削減効果を検討する。

2. 方法

(1) 対象とした遮音壁

前報¹⁵⁾を踏襲し、長野県において開発されたカラマツ製遮音壁（角型・反射型遮音板）を木製遮音壁の対象とした。また、反射型遮音板として一般的なコンクリート製遮音壁を比較対象とし、それらの構造図を図-1 に示した。基礎部と支柱は標準的な構造、遮音壁の高さは設置事例が多いタイプとなっている。具体的には、基礎部は鋼管杭、支柱は H 形鋼で高さは 4.0 m、遮音板の高さは 3.0 m、土留板の高さは 1.0 m である。木製遮音壁では、遮音板の上 2.0 m 分が木製、下 1.0 m 分がコンクリート製である。木製遮音板は高さ 0.1 m の角材 5 本をボルトで連結して 1 パネルとしたものが 4 枚取り付けられ 2.0 m となっている。なお、木製・コンクリート製ともに遮音壁設計要領に準拠した構造であり、機能単位は統一されている。具体的には、400 Hz に対して 25 dB 以上、1000 Hz に対して 30 dB 以上の音響透過損失を有し、かつ、風荷重（土工部で 1.5 kN/m²）に耐えうる構造である。

(2) 評価の枠組み

a) GHG 収支の対象範囲

木製遮音壁およびコンクリート製遮音壁における GHG (CO₂, CH₄, N₂O) 収支の対象範囲を図-2 に示した。木製遮音壁については、化石燃料由来の GHG 収支および木材・森林由来の炭素収支を対象とした。化石燃料由来の GHG 収支は遮音壁の原材料調達・製品生産、製品輸送、設置作業、廃棄・再利用の各ライフサイクル過程における GHG 排出量・削減量を評価した。木材・森林由来の炭素収支は遮音板に使用される木材およびその木材が伐採された森林における炭素貯蔵量の変化を評価した。また、評価結果に大きく影響する要因として、森林における木材伐採後の再植林の有無、加工残材・林地残材の燃料利用の有無が考えられる。再植林については、木材伐採によって森林の炭素貯蔵量は減少するが、その後の再植林によって再び炭素貯蔵量が増加するかどうかに影響する。そこで、再植林あり・なしの2通りの

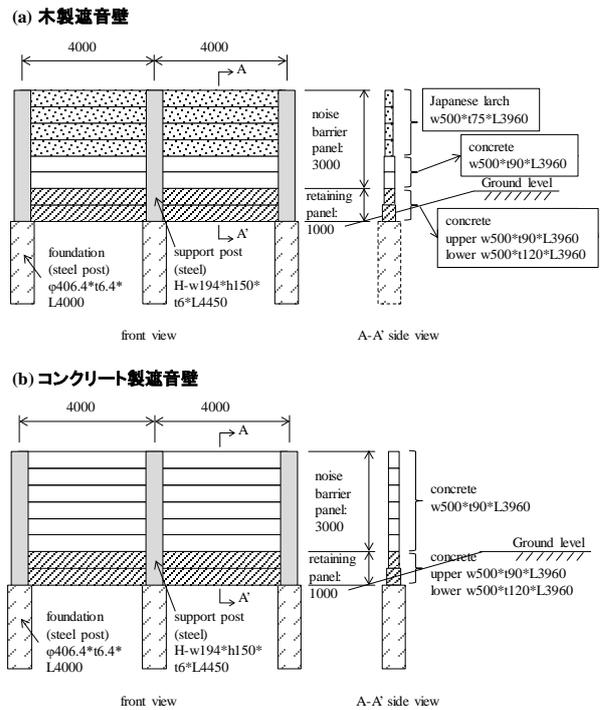


図-1 対象とした遮音壁の構造 (単位: mm) ¹⁵⁾

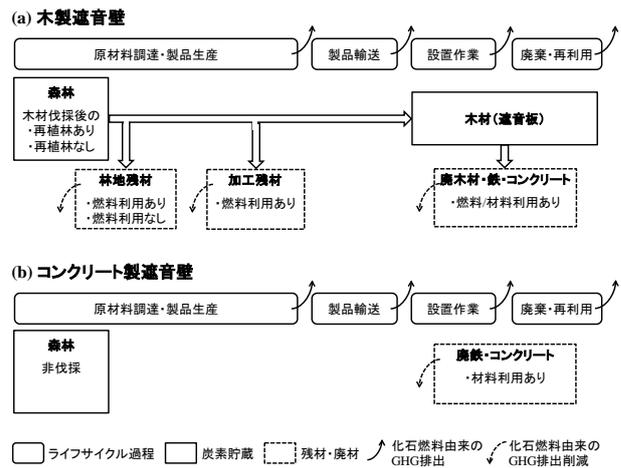


図-2 GHG 収支の対象範囲

シナリオを想定した。燃料利用については、加工残材や林地残材を化石燃料と代替利用することによって化石燃料由来の GHG 排出が削減されるかどうかに関わる。ただし、加工残材は既に燃料利用が進んでいるが、林地残材はほとんどが未利用のまま森林内に放置されている現状がある¹⁶⁾。そこで、加工残材は燃料利用を行うものとし、林地残材は燃料利用あり・なしの2通りのシナリオを設定することとした。

コンクリート製遮音壁については、化石燃料由来の GHG 収支は木製遮音壁と同様に原材料調達・製品生産から廃棄・再利用までの各ライフサイクル過程を対象とした。木材・森林由来の炭素収支については、遮音板に木材を使用しないことから、木材伐採を行わない森林における炭素貯蔵量の変化を評価した。

b) 炭素貯蔵量のベースライン

木材・森林由来の炭素収支を評価するにあたり、炭素貯蔵量のベースラインを定める必要がある。前章のカーボンニュートラルの考え方において述べた通り、炭素貯蔵量のベースラインは森林における成長前の植林時および成長後の木材伐採時の2通りの考え方がある。しかし、前者の場合は、伐採後に再植林を行わなくともカーボンニュートラルと評価されることとなる。これは森林減少を引き起こす木材伐採においても炭素排出ではなくカーボンニュートラルと見なされることを意味し、大気中の二酸化炭素濃度増加の一因が森林減少にあるという科学的知見や本来あるべき木材利用による温暖化緩和策と矛盾する考え方である。そのため、本研究では、後者の考え方に依拠し、先行研究^{12, 13}を参考に、森林における木材伐採時の炭素貯蔵量をベースラインとし、**図-3**に示した。このベースラインからの増減によって炭素貯蔵量の変化を評価することとした。木製遮音壁には、林齢45年のカラマツが伐採され遮音板の木材として使用されることから¹⁵、炭素貯蔵量のベースラインは45年生のカラマツ林とした。

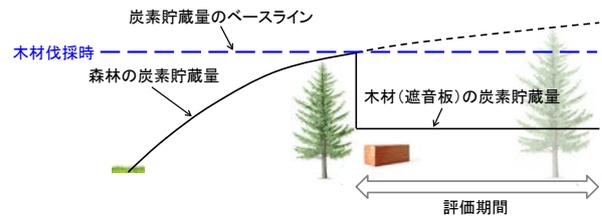


図-3 炭素貯蔵量のベースライン

c) 評価期間

前報¹⁵を参考に、木製遮音壁およびコンクリート製遮音壁の耐用年数はどちらも30年とした。一方、評価期間においては、耐用年数よりも短い期間あるいは長い期間における時間変化を想定すると、炭素貯蔵量を含むGHG収支の評価結果は大きく異なると考えられる。そこで、20年、30年、40年といった複数の評価期間を設定することとした。

(3) 評価方法

a) GHG収支評価式

GHG収支において、木材・森林由来の炭素収支は木材の炭素貯蔵量および木材が伐採された森林の炭素貯蔵量の変化を評価した。化石燃料由来のGHG収支は遮音壁の原材料調達から設置作業までの化石燃料由来のGHG排出量、遮音壁の廃材の再利用による化石燃料由来のGHG排出削減量、加工残材・林地残材の燃料利用による化石燃料由来のGHG排出削減量を評価した。単位は遮音壁延長1m当たりのCO₂換算量(kg-CO₂-eq/m)に統一した。

前節において設定した再植林および燃料利用のシナリオごとのGHG収支評価式を以下の式(1)~(5)に示した。また、本研究で使用した変数・係数の説明を表-1にまとめた。

$$GBWr_e(t) = GEW(1) - GRP(1) - GRF(1) - GRW(31) + CSF(45) - CSF(t) - CSW(t) \quad (1)$$

$$GBWr_{ne}(t) = GEW(1) - GRP(1) - GRW(31) + CSF(45) - CSF(t) - CSW(t) \quad (2)$$

$$GBWnr_e(t) = GEW(1) - GRP(1) - GRF(1) - GRW(31) + CSF(45) - CSW(t) \quad (3)$$

$$GBWnr_{ne}(t) = GEW(1) - GRP(1) - GRW(31) + CSF(45) - CSW(t) \quad (4)$$

$$GBC(t) = GEC(1) - GRC(31) + CSF(45) - CSF(45+t) \quad (5)$$

木材伐採・再植林・遮音壁設置は評価開始年に行うこととし、評価期間の1年目とした。加工残材・林地残材の燃料利用も木材伐採年すなわち評価期間1年目に行うこととした。遮音壁の廃棄は耐用年数30年が経過した評価期間30年目とし、その廃材の再利用は評価期間31年目とした。再植林の樹種は伐採樹種と同じカラマツを想定した。なお、木材伐採後に再植林を行わない場合、自然の植生回復も考えられるが、それによる炭素貯蔵量の増加は考慮しなかった。

式(1)~(5)における各変数の算定方法は次項以降において詳述する。

b) 木材の炭素貯蔵量

木材の炭素貯蔵量(kg-CO₂/m) (式(1)~(4)のCSW(t))は以下の式(6)により算出した。各変数・係数の説明は表-1に示した。

$$CSW(t) = SW(1) \times d \times c \times 44 / 12 \quad (6)$$

遮音壁の耐用年数30年間に於いて木材の腐朽等はないものとし¹⁵、評価期間30年間は木材の炭素貯蔵量を一定とした。また、耐用年数経過後には廃棄されるため、評価期間31年目以降は木材の炭素貯蔵量を0とした。

c) 森林の炭素貯蔵量

森林の炭素貯蔵量(kg-CO₂/m) (式(1)~(5)のCSF(45), CSF(t), CSF(45+t))は以下の式(7)~(9)により算定した。各変数・係数は表-1に詳述した。

$$CSF(t) = SF(t) \times bef \times d \times c \times 44 / 12 \quad (7)$$

$$SF(t) = A \times sf(t) \quad (8)$$

$$A = SW(1) / yr / ys / sf(45) \quad (9)$$

算定の結果、再植林面積(A)は0.0023 ha/mとなった。

d) 原材料調達から設置作業までの化石燃料由来のGHG排出量

木製遮音壁およびコンクリート製遮音壁の原材料調達から設置作業までの化石燃料由来のGHG排出量(kg-CO₂-eq/m) (式(1)~(5)のGEW(1), GEC(1))は前報¹⁵における原材料調達過程から設置作業過程までのGHG排出量を引用した。

表-1 本研究で使用した変数・係数の一覧表

| 変数・係数 | 説明 | 単位 |
|------------------|--|---------------------------|
| $GBW_{r,e}(t)$ | 評価期間t年における再植林あり・燃料利用ありシナリオの木製遮音壁の正味のGHG収支 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GBW_{r,ne}(t)$ | 評価期間t年における再植林あり・燃料利用なしシナリオの木製遮音壁の正味のGHG収支 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GBW_{nr,e}(t)$ | 評価期間t年における再植林なし・燃料利用ありシナリオの木製遮音壁の正味のGHG収支 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GBW_{nr,ne}(t)$ | 評価期間t年における再植林なし・燃料利用なしシナリオの木製遮音壁の正味のGHG収支 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GBC(t)$ | 評価期間t年におけるコンクリート製遮音壁の正味のGHG収支 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GEW(1)$ | 評価期間1年における木製遮音壁の原材料調達から設置作業までの化石燃料由来のGHG排出量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GEC(1)$ | 評価期間1年におけるコンクリート製遮音壁の原材料調達から設置作業までの化石燃料由来のGHG排出量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GRP(1)$ | 評価期間1年における加工残材の燃料利用による化石燃料由来のGHG排出削減量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GRF(1)$ | 評価期間1年における林地残材の燃料利用による化石燃料由来のGHG排出削減量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GRW(31)$ | 評価期間31年における木製遮音壁の廃材の再利用による化石燃料由来のGHG排出削減量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GRC(31)$ | 評価期間31年におけるコンクリート製遮音壁の廃材の再利用による化石燃料由来のGHG排出削減量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $CSF(t)$ | 再植林後t年経過時(評価期間t年)における森林の炭素貯蔵量 | kg-CO ₂ /m |
| $CSF(45)$ | 木材伐採時の林齢である45年生の森林の炭素貯蔵量(炭素貯蔵量のベースライン) | kg-CO ₂ /m |
| $CSF(45+t)$ | 木材伐採を行わなかった45年生の森林のその後t年経過時における炭素貯蔵量 | kg-CO ₂ /m |
| $CSW(t)$ | 木製遮音壁設置後t年経過時(評価期間t年)における木材の炭素貯蔵量 | kg-CO ₂ /m |
| $SW(1)$ | 木製遮音壁の設置時(評価期間1年)における木材使用量(0.147) ¹⁵⁾ | m ³ /m |
| d | 木材の全乾密度(カラマツ:404) ¹⁷⁾ | kg/m ³ |
| c | 木材の炭素含有率(カラマツ:0.5) ¹⁷⁾ | kg-C/kg |
| $SF(t)$ | 再植林後t年経過時(評価期間t年)の森林の幹材積 | m ³ /m |
| bef | 幹材積を枝葉を含む樹木全体(地上部バイオマス)の材積へ拡大する係数(カラマツ:1.325) ¹⁷⁾ | - |
| A | 再植林面積(=木材伐採面積) | ha/m |
| $sf(t)$ | 再植林後t年経過時(評価期間t年)の単位面積当たり幹材積(本州のカラマツ新収穫表) ¹⁷⁾ | m ³ /ha |
| $sf(45)$ | 木材伐採時の林齢である45年生の森林の単位面積当たり幹材積(本州のカラマツ:236) ¹⁷⁾ | m ³ /ha |
| yr | 丸太から遮音壁に利用される角材への歩留まり(0.320) ¹⁵⁾ | - |
| ys | 樹木の幹部分から丸太への歩留まり(0.856) ¹²⁾ | - |
| $GEH_p(1)$ | 評価期間1年における加工残材によって代替した重油の生産・燃焼によるGHG排出量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GEP(1)$ | 評価期間1年における加工残材のチップ生産・燃焼によるGHG排出量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GP(1)$ | 評価期間1年における加工残材発生量 | m ³ /m |
| $GEH_f(1)$ | 評価期間1年における林地残材によって代替した重油の生産・燃焼によるGHG排出量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GEF(1)$ | 評価期間1年における林地残材のチップ生産・燃焼によるGHG排出量 | kg-CO ₂ -eq/m |
| $GF(1)$ | 評価期間1年における林地残材発生量 | m ³ /m |
| cw | 残材の全乾時低位発熱量(0.019) ¹⁵⁾ | GJ/kg |
| ehw | チップボイラーの熱利用効率(0.775) ¹⁸⁾ | - |
| ch | 重油の低位発熱量(0.037) ¹⁹⁾ | GJ/l |
| ehh | 重油ボイラーの熱利用効率(0.885) ¹⁸⁾ | - |
| eh | 重油の生産・燃焼によるGHG排出係数(3.118) ²⁰⁾ | kg-CO ₂ -eq/l |
| lc | 残材からのチップ生産による軽油消費量(1.500) ¹⁵⁾ | l/m ³ |
| el | 軽油の生産・燃焼によるGHG排出係数(2.942) ²⁰⁾ | kg-CO ₂ -eq/l |
| ew | チップの燃焼によるGHG排出係数(CH ₄ とN ₂ Oが対象, CO ₂ は対象外)(2.689) ²⁰⁾ | kg-CO ₂ -eq/GJ |

e) 廃材の再利用による化石燃料由来の GHG 排出削減量

木製遮音壁およびコンクリート製遮音壁の廃棄に伴って発生する廃材(廃木材・鉄・コンクリート)の再利用(廃木材は燃料利用, 廃鉄・コンクリートは材料利用)による化石燃料由来の GHG 排出削減量 (kg-CO₂-eq/m) (式(1)~(5)の $GRW(31)$, $GRC(31)$) は前報¹⁵⁾における廃棄・再利用過程の GHG 排出削減量を引用した。

f) 加工残材・林地残材の燃料利用による化石燃料由来の GHG 排出削減量

加工残材および林地残材の燃料利用による化石燃料由来の GHG 排出削減量 (kg-CO₂-eq/m) (式(1)~(4)の $GRP(1)$, $GRF(1)$) は以下の式(10)~(17)により算定し, 各変数・係数の説明は表-1 に示した。

$$GRP(1) = GEH_p(1) - GEP(1) \tag{10}$$

$$GEH_p(1) = GP(1) \times d \times cw \times ehw / ch / eh \times eh \tag{11}$$

$$GEP(1) = GP(1) \times lc \times el + GP(1) \times d \times cw \times ew \tag{12}$$

$$GP(1) = SW(1) / yr - SW(1) \tag{13}$$

$$GRF(1) = GEH_f(1) - GEF(1) \tag{14}$$

$$GEH_f(1) = GF(1) \times d \times cw \times ehw / ch / eh \times eh \tag{15}$$

$$GEF(1) = GF(1) \times lc \times el + GF(1) \times d \times cw \times ew \quad (16)$$

$$GF(1) = SW(1) / yr / ys \times bef - SW(1) / yr \quad (17)$$

前報¹⁵⁾を踏襲し、燃料利用の形態は熱供給、代替する化石燃料は重油を想定した。

3. 結果と考察

(1) 木材および森林の炭素貯蔵量

木材の炭素貯蔵量 (式(1)~(4)の $CSW(t)$) および森林の炭素貯蔵量 (式(1)~(5)の $CSF(t)$, $CSF(45+t)$) の評価結果を図-4 に示した。森林における伐採後の再植林による炭素貯蔵量は評価期間が 13 年以上になると木材の炭素貯蔵量よりも大きくなった。また、木材の炭素貯蔵量は評価期間 31 年目以降に 0 となるが、遮音板が耐用年数 30 年経過後に廃棄されるためである。再植林ありのシナリオにおける炭素貯蔵量 (= 森林 (伐採後再植林あり) + 木材 (遮音板)) は評価期間 20 年, 30 年, 40 年でそれぞれ 355 kg-CO₂/m, 506 kg-CO₂/m, 494 kg-CO₂/m となった。

再植林のシナリオにおける炭素貯蔵量のベースラインとの差を図-5 に示した。再植林ありのシナリオでは、炭素貯蔵量 (= 森林 (伐採後再植林あり) + 木材 (遮音板)) は評価期間全体を通してベースラインよりも減少し炭素排出となった。最大で評価期間 1 年目の 418 kg-CO₂/m, 最小で評価期間 30 年目の 21 kg-CO₂/m の排出であった。なお、評価期間 30 年目と 31 年目における炭素貯蔵量の差は木材 (遮音板) の廃棄によるものである。再植林なしのシナリオでは、炭素貯蔵量 (= 森林 (伐採後再植林なし) + 木材 (遮音板)) はベースラインよりもさらに減少した。評価期間 1~30 年において 418 kg-CO₂/m, 評価期間 31 年目以降は木材の廃棄により 527 kg-CO₂/m の炭素排出となった。また、非伐採の森林の炭素貯蔵量は評価期間全体を通してベースラインよりも増加し、最大で評価期間 40 年目において 96 kg-CO₂/m の炭素排出削減となった。

(2) 化石燃料由来の GHG 排出量・削減量

化石燃料由来の GHG 排出量・削減量 (式(1)~(5)の $GEW(1)$, $GRP(1)$, $GRF(1)$, $GRW(31)$, $GEC(1)$, $GRC(31)$) の評価結果を図-6 に示した。評価期間 1 年目に遮音壁の原材料調達から設置作業までの GHG 排出量 ($GEW(1)$, $GEC(1)$)、加工残材・林地残材の燃料利用による GHG 排出削減量 ($GRP(1)$, $GRF(1)$) が生じ、遮音壁の耐用年数 30 年が経過した評価期間 31 年目に廃材の再利用による GHG 排出削減量 ($GRW(31)$, $GRC(31)$) が生じることとなる。木製遮音壁において、前報¹⁵⁾では考慮されていなかった加工残材・林地残材の燃料利用による GHG 排

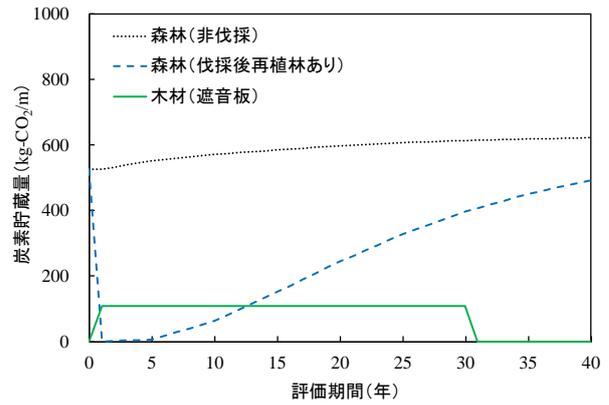


図-4 木材および森林の炭素貯蔵量

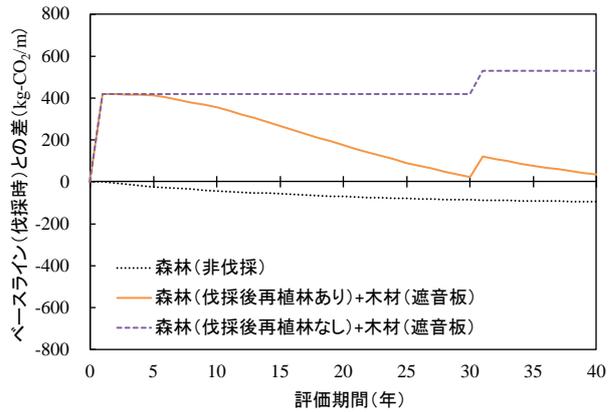


図-5 再植林のシナリオにおける炭素貯蔵量のベースラインとの差 (+値: ベースラインからの減少すなわち炭素排出, -値: ベースラインからの増加すなわち炭素排出削減)

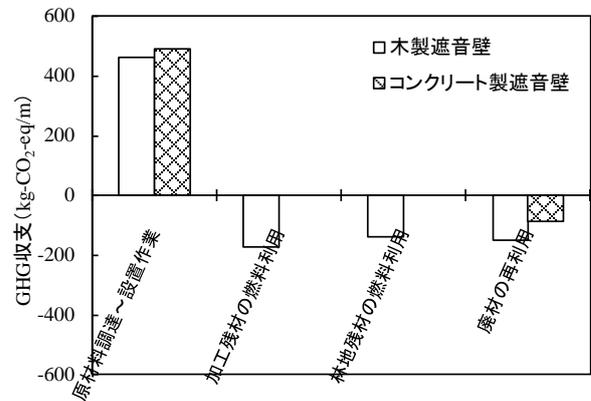


図-6 化石燃料由来の GHG 収支 (+値: 排出, -値: 削減)

出削減量 (310 kg-CO₂-eq/m) は大きく、原材料調達から設置作業までの GHG 排出量 (463 kg-CO₂-eq/m) の 67% に相当した。さらに、廃材の再利用による GHG 排出削減量 (150 kg-CO₂-eq/m) も考慮すると、99%に相当する結果となった。評価期間全体を通した正味の GHG 排出量 (= GHG 排出量 - GHG 排出削減量) は木製遮音壁で 3 kg-CO₂-eq/m となり、コンクリート製遮音壁の 404 kg-CO₂-eq/m と比べて非常に小さくなることが分かった。

(3) 正味の GHG 収支

再植林および燃料利用のシナリオごとに、正味の GHG 収支 (式(1)~(5)の $GBW(t)$, $GBC(t)$) の評価結果を図-7 に示した。なお、評価期間 30~31 年目の GHG 収支の差は、木製の場合、遮音壁の廃棄による木材の炭素貯蔵量の減少および廃材の再利用による GHG 排出削減が影響している。コンクリート製の場合は、廃材の再利用による GHG 排出削減のみの影響である。

木製遮音壁では、全てのシナリオにおいて、評価期間全体を通して正味の GHG 収支が削減 (-値) になることはなく、排出 (+値) となった。しかし、シナリオの違いによって大きな差が生じた。再植林のシナリオに着目すると、再植林ありのシナリオでは、評価期間が長くなるに従って正味の GHG 排出量が減少した。一方、再植林なしのシナリオでは、評価期間 30~31 年目における遮音壁の廃棄および廃材の再利用を除いて常に一定で推移した。これらの結果から、再植林の有無は正味の GHG 排出量に大きく影響することが分かった。燃料利用のシナリオに着目すると、燃料利用の有無によって評価期間 1 年目から正味の GHG 排出量が異なる結果となった。また、再植林と燃料利用のシナリオを比較すると、再植林ありのシナリオは評価期間が長くなるほど正味の GHG 排出量が減少し削減効果が大きくなるのに対し、燃料利用ありのシナリオは短期的にも長期的にも一定の GHG 排出削減効果が期待できるという特徴があった。

木製遮音壁とコンクリート製遮音壁を比較すると、再植林あり・燃料利用ありのシナリオでは、木製遮音壁は評価期間 15 年以上でコンクリート製遮音壁よりも正味の GHG 排出量が小さくなり、コンクリート製を木製へ代替することによる GHG 排出削減効果が期待できることが分かった。その GHG 排出削減量 (= コンクリート製の正味の GHG 排出量 - 木製の正味の GHG 排出量) は評価期間 20 年, 30 年, 40 年でそれぞれ 94 kg-CO₂-eq/m, 230 kg-CO₂-eq/m, 272 kg-CO₂-eq/m となった。再植林あり・燃料利用なしのシナリオにおいても、木製遮音壁は評価期間 24 年以上でコンクリート製よりも正味の GHG 排出量が小さくなった。コンクリート製との代替による GHG 排出削減量は評価期間 30 年, 40 年にそれぞれ 92 kg-CO₂-eq/m, 133 kg-CO₂-eq/m となった。一方、再植林なしのシナリオでは、燃料利用の有無に関わらず、評価期間全体を通して木製遮音壁はコンクリート製遮音壁よりも正味の GHG 排出量が大きく、コンクリート製から木製への代替による GHG 排出削減効果は得られないことが分かった。これらの結果から、GHG 排出削減効果を得るためには、木材伐採後の再植林が不可欠といえる。

前報¹⁵⁾では、原材料調達から廃材の再利用までの化石燃料由来の GHG 収支だけを評価対象としたが、コンクリート製から木製への代替による GHG 排出削減量は評

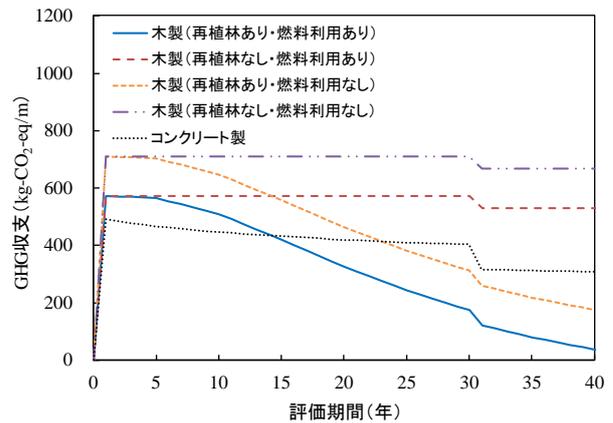


図-7 再植林・燃料利用のシナリオにおける正味の GHG 収支 (+値: 排出, -値: 削減)

価期間 30 年で 91 kg-CO₂-eq/m であった。この結果よりも本研究の再植林あり・燃料利用ありのシナリオにおける同期間の GHG 排出削減量 230 kg-CO₂-eq/mの方が大きかった。木製治山ダムを対象とした先行研究¹⁶⁾においても、同様の傾向が報告されている。これらのことから、木材および森林の炭素貯蔵量の変化を考慮した評価を行うことにより、GHG 排出削減効果は大きくなることが示された。ただし、木材伐採後の再植林および残材の燃料利用を担保することが必須であり、特に再植林が担保されない場合、削減効果は得られないことに留意する必要がある。今後の LCA 研究において、これまでカーボンニュートラルとして取り扱われ評価対象として考慮されてこなかった木材・森林由来の炭素収支を適切に評価し、木材利用の地球温暖化緩和効果を正しく把握することが重要と考えられる。

4. まとめ

本研究では、長野県における木製遮音壁を対象に、化石燃料由来の GHG 収支に加え、木材および森林の炭素収支を考慮した GHG 収支を明らかにした。さらに、コンクリート製遮音壁を木製遮音壁へ代替することによる GHG 排出削減効果を評価した。これにより、LCA の枠組みにおいて木材および森林の炭素収支を適切に考慮することによって GHG 排出削減効果は大きくなることが示された。得られた主な知見は以下の通りである。

- ・木材・森林由来の炭素収支において、遮音板に利用される木材の伐採後の再植林による森林の炭素貯蔵量は評価期間 13 年以降に木材の炭素貯蔵量よりも大きくなる。
- ・化石燃料由来の GHG 収支において、加工残材・林地残材の燃料利用による GHG 排出削減効果は大きく、これに遮音壁廃棄後の廃材の再利用を含めると、木製遮音壁の原材料調達から設置作業までの GHG 排出量の 99%

を削減可能である。

・木材・森林由来の炭素収支および化石燃料由来のGHG収支の双方を考慮すると、耐用年数を15年以上維持することができれば、コンクリート製遮音壁を木製遮音壁へ代替することによるGHG排出削減効果が得られる。

・その際のGHG排出削減量は評価期間30年では遮音壁延長1m当たり230kg-CO₂-eqが期待できる。ただし、木材伐採後の再植林および加工残材・林地残材の燃料利用が不可欠である。

本研究では、対象地域を長野県、対象樹種をカラマツとしたが、他地域あるいは他樹種を対象とすると、森林の炭素貯蔵量とその時間変化、加工残材や林地残材の発生量とその燃料利用に伴うGHG排出削減量等が異なる結果となることに留意する必要がある。また、木材伐採・再植林・遮音壁の設置を評価期間の1年目、遮音壁の耐用年数経過の廃棄を30年目、廃材の再利用を31年目と設定したが、これらの期間設定の変更によって結果は変わり得ることも注意が必要である。さらに、今後は木橋、木製防護柵、木質チップ舗装道路等の主要な木製土木構造物を対象として、木材および森林の炭素収支を考慮した地球温暖化緩和効果を明らかにしていくことが重要と考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり、瑞穂木材株式会社、大栄産業株式会社、株式会社ランバーテックの関係各位に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。本研究は、長野県信州の木先進的利用加速化事業（県産材による高性能・低コスト木製遮音板開発事業）「長野県産材木製遮音壁のLCA調査」およびJSPS科研費16K21023の支援により行われました。

参考文献

- 1) 林野庁：平成26年度森林・林業白書，2015。
- 2) Brandão, M., Levasseur, A., Kirschbaum, M. U. F., Weidema, B. P., Cowie, A. L., Jørgensen, S. V., Hauschild, M. Z., Pennington, D. W. and Chomkhamisri, K. : Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting, *Int. J. Life Cycle Assess.*, Vol.18, pp.230-240, 2013.
- 3) Holtsmark, B. : Quantifying the global warming potential of CO₂ emissions from wood fuels, *GCB Bioenergy*, Vol.7, No.2, pp.195-206, 2013.
- 4) Higo, M. and Dowaki, K. : A life cycle analysis on a bio-DME production system considering the species of biomass feedstock in Japan and Papua New Guinea, *Appl. Energy*, Vol.87, pp.58-67, 2010.

- 5) García, S. G., Gasol, C. M., Lozano, R. G., Moreira, M. T., Gabarrell, X., Pons, J. R. and Feijoo, G. : Assessing the global warming potential of wooden products from the furniture sector to improve their ecodesign, *Sci. Total Environ.*, Vol.410-411, pp.16-25, 2011.
- 6) Hennig, C. and Gawor, M. : Bioenergy production and use: comparative analysis of the economic and environmental effects, *Energy Convers. Manag.*, Vol.63, pp.130-137, 2012.
- 7) Ximenes, F. A. and Grant, T. : Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, Australia, *Int. J. Life Cycle Assess.*, Vol.18, pp.891-908, 2013.
- 8) Noda, R., Kayo, C., Sasaki, T. and Takaoku, S. : Evaluation of CO₂ emissions reductions by timber check dams and their economic effectiveness, *J. Wood Sci.*, Vol.60, No.6, pp.461-472, 2014.
- 9) Kayo, C., Watanabe, C., Sasaki, T., Kumagai, S., Noda, R. and Hashimoto, S. : Life cycle greenhouse gas emissions of woodchip-paved walkways using tsunami salt-damaged wood: examination in Otsuchi, Iwate Prefecture, *J. Wood Sci.*, Vol.61, No.6, pp.620-629, 2015.
- 10) Noda, R., Kayo, C., Yamanouchi, M. and Shibata, N. : Life cycle greenhouse gas emission of wooden guardrails: a study in Nagano Prefecture, *J. Wood Sci.*, Vol.62, No.2, pp.181-193, 2016.
- 11) The International Organization for Standardization (ISO) : TS 14067, Greenhouse gases — carbon footprint of products — requirements and guidelines for quantification and communication, p.52, 2013.
- 12) Kayo, C., Hashimoto, S., Numata, A. and Hamada, M. : Reductions in greenhouse gas emissions by using wood to protect against soil liquefaction, *J. Wood Sci.*, Vol.57, No.3, pp.234-240, 2011.
- 13) Kayo, C., Noda, R., Sasaki, T. and Takaoku, S. : Carbon balance in the life cycle of wood: targeting a timber check dam, *J. Wood Sci.*, Vol.61, No.1, pp.70-80, 2015.
- 14) 長井翔太郎, 金澤瑛, 明石浩和, 橋本征二 : 木材製品のライフサイクル炭素収支評価の枠組み : 木製治山ダムへの適用, 木材利用研究論文報告集, Vol.14, pp.69-73, 2015.
- 15) 野田龍, 加用千裕, 山内仁人, 柴田直明 : 長野県における木製遮音壁のライフサイクルGHG排出量, 木材学会誌, Vol.63, No.1, pp.41-53, 2017.
- 16) 林野庁 : 森林・林業の現状と木質バイオマスの利用(木質バイオマスの発生量と利用の現況), 2008.
- 17) 環境省 : 温室効果ガス排出量算定に関する検討結果第5部 森林等の吸収源分科会報告書, 2006.
- 18) 森のエネルギー研究所 : 木質バイオマスボイラー導入指針, 2012.
- 19) 戒能一成 : エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数の改訂案について, 2013年度改訂標準発熱量・炭素排出係数表, 2014.
- 20) 産業環境管理協会 : MiLCA (IDEA Ver.1.1.0), 2014.

(2017.8.31 受付)

GREENHOUSE GAS BALANCE OF WOODEN ROADSIDE NOISE BARRIERS CONSIDERING CARBON STORAGE IN WOOD AND FORESTS

Chihiro KAYO, Ryu NODA, Masato YAMANOUCHI and Naoaki SHIBATA

Focusing on a wooden roadside noise barrier developed in Nagano Prefecture, this study clarified the life cycle greenhouse gas (GHG) balance, taking into account both carbon storage in wood and forests and GHG emissions and reductions associated with fossil fuel use. Additionally, we evaluated the effect of replacing concrete noise barriers with wooden noise barriers on the reduction of GHG emissions. The results showed that the GHG emission reduction effects by substituting concrete noise barriers with wooden noise barriers could be expected after a service life of 15 years, and 230 kg-CO₂-eq/m of those could be obtained during an evaluation period of 30 years. However, both post-harvesting reforestation and energy use of forest residue and processing residue were essential. We found that global warming mitigation effects were greater when considering the carbon balance of wood and forests compared to when targeting only fossil fuel consumption.