

森林の炭素吸収量はどのように評価される?

山田健四

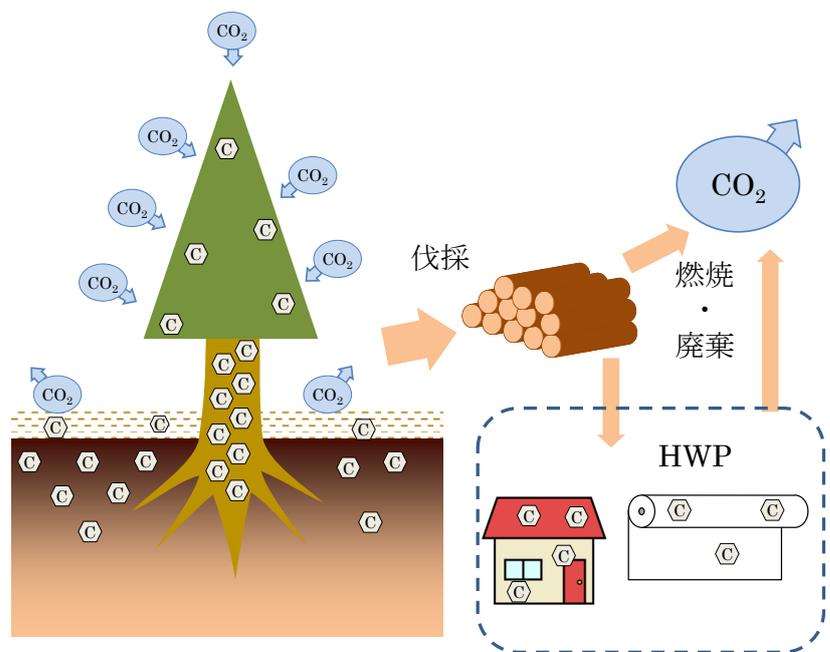
はじめに

2020年10月26日、当時の菅総理大臣は所信表明演説で「2050年カーボンニュートラル」を宣言しました。北海道では国に先駆けて2020年3月に鈴木知事が2050年までに排出量実質ゼロを目指すことを表明し、2021年3月に北海道地球温暖化対策推進計画を改訂して「ゼロカーボン北海道」を推進することとしています。ここでいう「カーボンニュートラル」や「ゼロカーボン」とは、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち、省エネや再エネ利用などにより可能な限り排出量を削減した上で、それでも排出してしまう分は森林による吸収などで相殺することにより、排出と吸収の合計を実質的にゼロにすることを意味します。このため、森林による炭素吸収機能は、2050年カーボンニュートラルの目標達成において大きな役割を担っています。本稿では、温室効果ガス削減目標に貢献する森林の炭素吸収量について、国際的なルールに基づく評価方法を解説します。

森林の炭素吸収機能とは?

森林を構成する樹木は、光合成により大気中の二酸化炭素を吸収し、炭素を含む有機物を合成して樹体を形成することにより、森林内に炭素を固定します。樹木も生き物ですから呼吸により二酸化炭素の排出も行っていますが、光合成による吸収量の方が多いため、森林は樹木の成長とともに炭素を蓄えていきます。樹木の幹以外にも、地上には枝葉が、地下には根が張りめぐらされ、幹の成長とともに樹木は体積を増やして炭素を固定しています。これらの樹木組織の総量を生体バイオマスといいます。一方、林内には立ち枯れた枯死木が発生するほか、林床には落ち葉や枯れ枝、倒木、さらに地中でも発生と枯死を繰り返している細根などが植物遺体（リター）として供給されます。これらのリターが分解される過程では、固定されていた炭素が二酸化炭素となって大気中に排出されます。ただし、北海道のような寒冷な地域ではゆっくり分解されるので、リターの供給速度が分解速度を上回っている場合は林内のリター量が増加し、ここでも炭素を蓄えます。さらにリターが分解される過程においても、一部の炭素は腐植として土壌に吸着され、長期間森林の中に蓄積され続けます。これらの生体バイオマスと枯死木やリター、土壌に含まれる炭素量の合計が増加しているとき、森林は炭素を吸収しているといえます。

原生的な環境で長期間経過し、成熟した天然林では、成長量と枯死量が釣り合っ森林蓄積が一定となり、土壌に固定される炭素をのぞけば吸収量がほぼゼロとなります。し



図ー1 森林による炭素吸収・排出のイメージ

光合成で吸収された炭素は幹や葉、根に蓄積し、リターや枯死木、土壌内にも固定される。伐採・搬出により排出とみなされるが、一部は伐採木材製品（HWP）として吸収量に計上できる。

かし、北海道ではそのような成熟した天然林はそれほど多くはなく、道内に広く分布する、戦中から戦後の木材需要により伐採された後に成立した針葉樹人工林や広葉樹二次林は、現在も蓄積を増やし、二酸化炭素を吸収し続けています。

間伐や主伐により伐採された木材は、様々な用途で利用され、最終的には燃焼や廃棄により、それまで蓄えていた炭素を二酸化炭素として大気中に排出します。しかし、その二酸化炭素はもともと森林が大気から吸収したものですから、長期的に見れば二酸化炭素を増やしたことにはなりません。このため、木材は利用しても二酸化炭素を増やさない（＝カーボンニュートラルな）資源だと言われています。さらに、例えば建築材のように数十年から百年以上も使われ続ける用途では、その期間は二酸化炭素を大気に排出することなく固定しています。これらの伐採木材製品（HWP：Harvested Wood Products）も、森林の炭素吸収機能の一翼を担っているといえます（図-1）。

森林の炭素吸収量の国際的な評価方法

温室効果ガス削減への国際的な取り組みは、1992年の地球サミットで提起され、1994年に発効した気候変動枠組条約に基づいており、具体的な取り組み内容やルールは毎年開催される締約国会議（COP）で議論されています。1997年に京都で開催された第3回締約国会議（COP3）では、法的拘束力のある数値目標を定めた京都議定書が採択され、世界が温室効果ガス削減に向けて動きはじめました。その後、2008年から2012年までの京都議定書第一約束期間、2013～2020年までの第二約束期間を経て、2015年のCOP21で採択されたパリ協定では2020年以降の温暖化対策が定められ、先進国だけでなく条約加盟国すべてが参加する初めての枠組となりました。そして2020年、冒頭に記載したカーボンニュートラル宣言につながります。この間、排出量削減目標の基準年や細かい算定ルールは修正がありましたが、排出・吸収量の算定に関する基本的な考え方は京都議定書で定められたものをベースとしています。

気候変動枠組条約に基づく温室効果ガスの排出・吸収量は、国際的なルールに基づいて分野ごとに積算され、目録（インベントリ）としてとりまとめられて条約事務局に提出されます。ここでは、我が国の最新のとりまとめ結果である「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」（以下、インベントリ報告書）の2022年版（温室効果ガスインベントリオフィス（編）2022）における森林分野の報告内容に基づき、森林における炭素吸収量の評価方法について紹介します。

インベントリ報告書では、森林の温室効果ガス排出・吸収は第6章の土地利用、土地利用変化及び林業（LULUCF：Land Use, Land Use Change and Forestry）分野に位置づけられています。LULUCF分野の対象となる土地利用には森林のほかに農地、草地、湿地、開発地、及びその他の土地が含まれ、それぞれにおいて転用（例えば、農地が植林されて森林になるなど）の有無に分けて、その土地に蓄積されている炭素量の変化から排出・吸収量が計算されます。伐採・搬出された木材（排出としてカウント）のうち、伐採木材製品（HWP）として一定期間炭素固定効果を維持する分についても、この項目の中で計算されています。なお、農業活動に伴う排出（牛のゲップや水田からのメタン放出など）は、第5章として別に報告しているので、対象外となっています。

前述のとおり、森林に蓄えられている炭素は生体バイオマスと枯死木やリター、土壤に含まれる炭素に分けられます。生体バイオマスのうち、幹の量（材積）は把握されていますが、枝葉や根の量は分からないので、幹の量から枝葉も含めた地上部の量を求めるバイオマス拡大係数や、地下部の量を求める地上部・地下部比が用いられます。このほか、材積を重量に換算するための容積密度や木材の炭素含有率も考慮して、ある林分の生体バイオマスに含まれる炭素量は、以下の式で求められます。

$$\text{炭素量 (t-C)} = \text{林分材積 (m}^3\text{)} \times \text{容積密度} \times \text{バイオマス拡大係数} \times (1 + \text{地上部・地下部比}) \times \text{炭素含有率}$$

なお、炭素量（t-C）を二酸化炭素量（t-CO₂）に換算するには44/12を乗じます。容積密度、バイオマス拡大係数、地下部・地上部比はそれぞれ樹種ごとに定められ、バイオマス拡大係数はさらに林齢20年

生以下と 21 年生以上で異なる数値が用いられます。炭素含有率は針葉樹では 0.51, 広葉樹では 0.48 がそれぞれ用いられます。例えば, 400m³ の材積を持つ 50 年生のカラマツ林では, 容積密度 0.40, バイオマス拡大係数 1.15, 地上部・地下部比 0.29, 炭素含有率 0.51 を用いて, 400 × 0.40 × 1.15 × (1+0.29) × 0.51 × 44/12 ≒ 444t - CO₂ に相当する炭素が

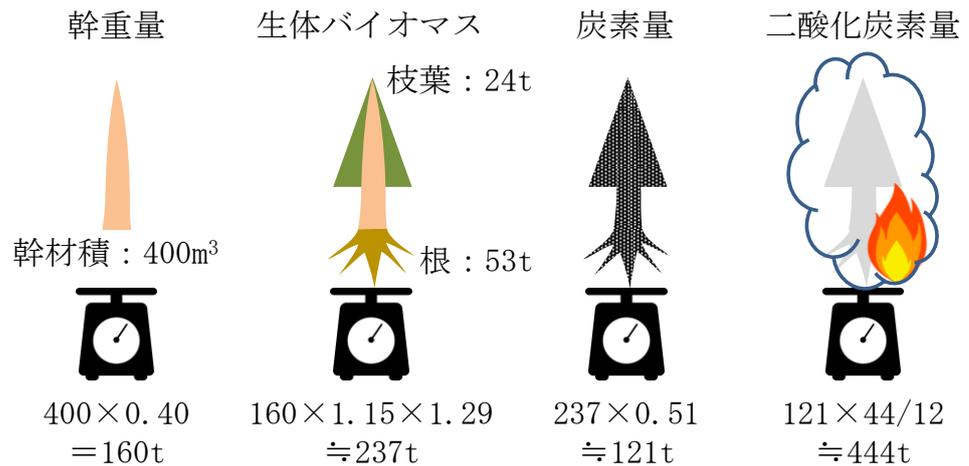


図-2 カラマツ林の生態バイオマスに含まれる二酸化炭素量の計算例

幹の材積に容積密度を掛けると幹重量が得られ, バイオマス拡大係数と地上部・地下部比, 炭素含有率, 二酸化炭素と炭素の分子量比を順に掛けると生体バイオマス, 炭素量, 二酸化炭素量がそれぞれ得られる。

蓄積されていることとなります(図-2)。林野庁が全国の森林資源をとりまとめている国家森林資源データベースの数値にこの式を当てはめることで, 年度ごとの生体バイオマスに含まれる炭素量が推定できます。枯死木やリター, 土壌中の炭素については, 森林総合研究所が構築したシミュレーションモデルにより推測されます。これらについてそれぞれ前年と比較し, 増えていれば炭素が吸収され, 減っていれば炭素が排出された, ということになります。

伐採木材製品 (HWP) の炭素固定効果については, 木材製品を「建築物」, 「その他木材利用」及び「紙製品」の3つのカテゴリーに区分し, それぞれの区分において, 現存する HWP に含まれる炭素量である HWP プールの変化量を推定します。「建築物」については, 各種統計から求めた建築着工に投入される木材炭素量 (インフロー) と, 建築解体により排出される木材炭素量 (アウトフロー) から HWP プールの変化量を算出します。「その他木材利用」および「紙製品」については, 製品別の出荷量・生産量等と国産材利用率から求めた HWP プールへの炭素投入量と, 製品ごとの寿命により設定された半減期に基づく減少量から, それぞれ HWP プールの変化量を算出します (図-3)。

インベントリ報告書によれば, 2020 年の日本国の森林における炭素量は 57, 139kt-CO₂ 増加しました。そのうち生体バイオマスの増加, すなわち森林の成長による蓄積増加の効果が 56, 255kt-CO₂ と大部分を

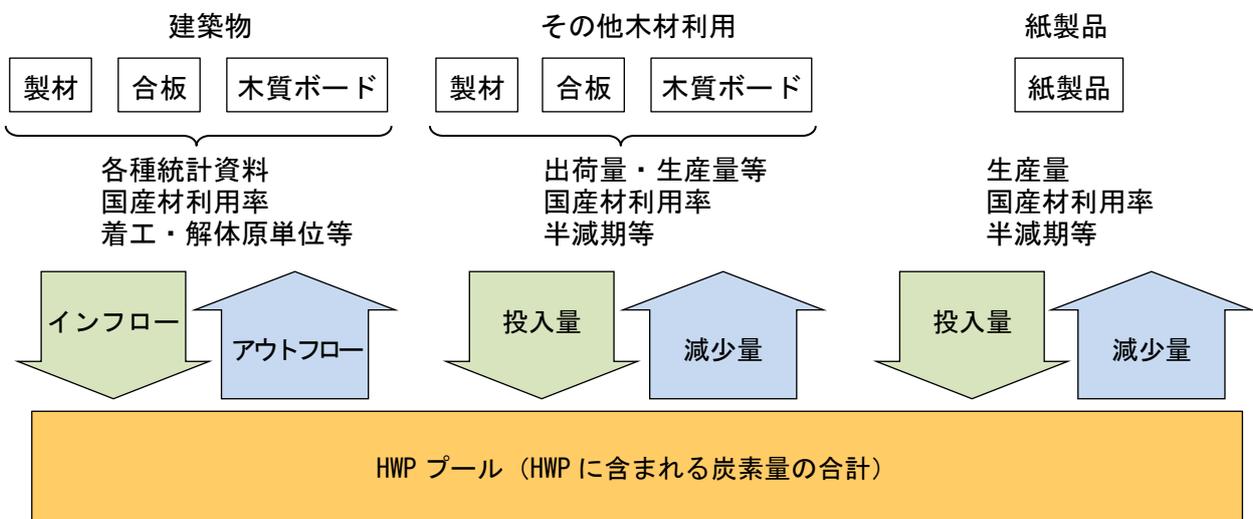


図-3 HWP による炭素固定量の算定イメージ

炭素固定量は HWP プールの変化量から算出される。

占め、枯死木やリター、土壌の効果は 1.6%程度にとどまっています。また、土地利用変化については、1990 年から 2020 年の 30 年間で森林面積は 225.04kha 減少していますが、森林面積全体に占める割合は 1%以下であり、1 年間での森林減少による炭素量の変化はごくわずかです。HWP は合計で 807kt-CO₂ 増加しました。ただし、HWP は経済状況等の外的要因の影響を受けやすく、2019 年度は 2 倍以上の 1,720kt-CO₂ 増加していましたが、1995～2013 年は逆に減少していました。

なお、京都議定書やパリ協定における国際的な温室効果ガス排出量の削減目標においては、森林が吸収する炭素量のすべてをその他の排出量から差し引くことはできません。京都議定書では、排出量から削減できるのは、「人為的吸収源活動」による吸収量のみとされています。これは、温室効果ガスの排出量が人為的な活動に起因する排出のみを計算対象としているため、そこから削減できる吸収量についても人為的活動により変化した吸収量のみを計算対象とする、という考え方に基づいています。森林における人為的吸収源活動は新規植林・再植林 (AR)、森林減少 (D)、森林経営 (FM) に分けられ、継続的な森林管理が行われていない非 FM 森林の炭素吸収量は計算対象から除外されます。FM には HWP による吸収量も加算され、AR は森林の増加なので吸収、D は減少なので排出となります。これらの合計が森林による排出削減量になります (図-4)。

AR と D の森林面積は、衛星画像判読により把握します。FM については、森林を育成林 (人工林とかき起こし等で成立した一部の天然林) とそれ以外の天然生林に分け、育成林では基準年の 1990 年以降に更新、保育、間伐、主伐を含む施業がなされたもの、天然生林では法令により保護されている保安林や自然公園等が該当します。全国の森林をランダムに抽出調査して求めた育成林の FM 対象森林面積の割合は、人工林では樹種や地域、所管 (民有林・国有林) で異なり 7～9 割程度、天然林では全樹種・全国平均で民有林が 46%、国有林が 68% となっています。

インベントリ報告書では、人為的吸収源活動による排出・吸収量は第 11 章に記載されており、2020 年の排出・吸収量は AR, D, FM でそれぞれ -1,245, 1,696, -38,939kt-CO₂ (マイナスが吸収) となっています。

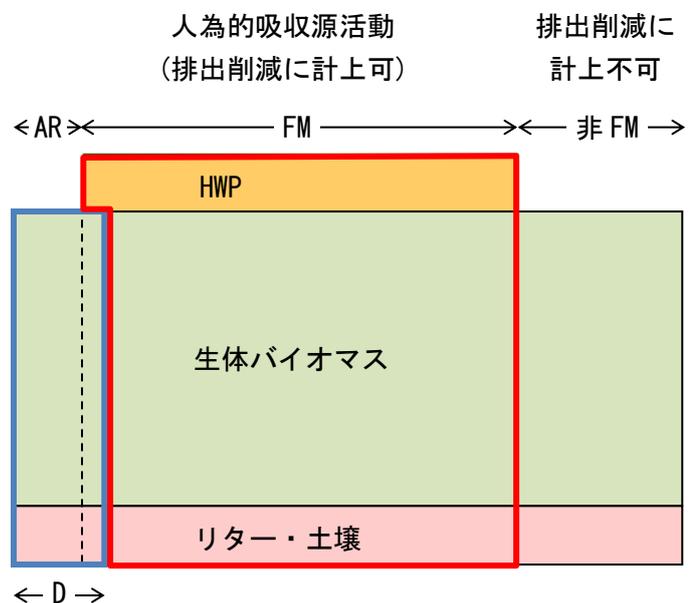


図-4 森林による排出削減量の構成イメージ

森林の生体バイオマスとリター・土壌の炭素量変化のうち、吸収量である新規植林・再植林 (AR) と森林経営 (FM) の合計から排出量である森林減少 (D: 青枠) を差し引き、HWP を加えたもの (赤枠) が排出削減量となる。

森林の炭素吸収量は今後どうなる？

前述のとおり、森林の炭素吸収量のほとんどは森林の蓄積増加によるものです。したがって、森林の炭素吸収量を増加させるには、森林蓄積の増加量を現状よりも高めなければいけません。森林蓄積の増加量を高める方法としては、森林面積を増やす、伐採量を減らす、森林の成長速度を高める、の3つが挙げられます。しかし実際には、日本の森林における炭素ストック (生体バイオマス、リター、土壌の炭素量) 変化量に起因する炭素吸収量は、2005 年をピークに減少に転じています (図-5)。我が国では森林面積の変化は小さい (AR と D がほぼ釣り合っている、図-4 参照) ため、吸収量の減少には伐採と成長速度が影響していると考えられます。日本の森林は戦中や戦後の高度経済成長による木材需要に応えるために多くが伐採され、さらに拡大造林により広葉樹林から成長の早い針葉樹人工林への転換も続けられ、大面積の針葉樹人工林が短期間に造成されました。その結果、人工林の齢級構成は一山型の分布をしており、現在の人工林は 11 齢級をピークに 50 年生を超える人工林が 50% を占め、森林の高齢化

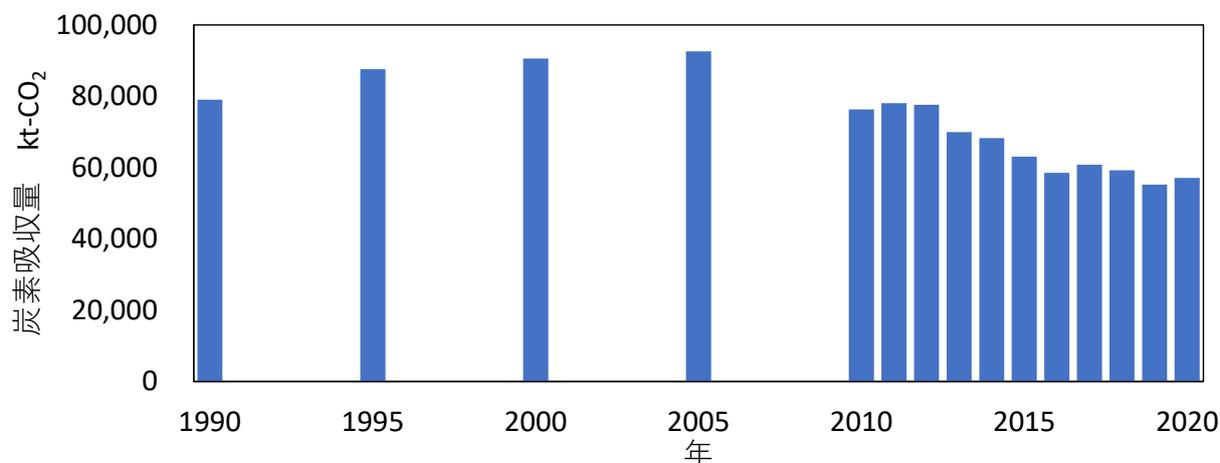


図-5 森林の炭素ストック変化量に起因する炭素吸収量

温室効果ガスインベントリオフィス（編）（2022）より作成

が進んでいます。森林は高齢化すると林分成長速度が低下するため、高齢化に伴い炭素吸収量は減少します。加えて、近年は木材生産量も増加傾向にあるため、伐採による排出量も増加しています。これらのことが、森林の炭素吸収量の減少の一因になっていると推察されます。伐採による森林蓄積の減少は吸収量を一時的に減少させますが、再生林を進めることで人工林の若返りが図られ、高齢化による成長速度の減衰傾向に歯止めを掛けることができます。あわせて、伐採された木材を建築材などの製品寿命の長い用途で利用すれば、HWPの固定効果により伐採に伴う炭素の排出を遅らせることができます。

森林の炭素吸収量を確保するためには、森林資源の状況をモニタリングしながら、バランスの取れた伐採と着実な再生林による資源の循環利用を進めるとともに、木造建築等により都市の中に木材製品として固定される炭素の量を増加させていくことが重要です。当场では、再生林による森林の炭素吸収機能の向上を図るため、炭素吸収機能の高いカラマツ類である「クリーンラーチ」も活用しながら、再生林時に「どこに何を」植栽すればカラマツ類とトドマツ人工林での炭素吸収量をどの位増加させられるかを明らかにする研究に取り組んでいます。クリーンラーチをはじめとするグイマツ雑種F₁はカラマツ類の中でも強度が優れているため、建築材としての利用が進めばHWPによる固定量の増加も期待できます。さらに、森林の炭素吸収量を正確に把握するためには、森林の資源量を正確に把握することが重要ですが、特に天然林の資源量はデータの精度が低いことが課題となっています。このため、当场ではリモートセンシング技術を活用して、人工林や天然林の資源量データを高精度化するための技術開発にも取り組んでいます。これらの成果を活用することで、精度の高い炭素吸収量評価に基づく施業計画の立案が可能となり、北海道の森林の炭素固定機能の向上が期待できます。

（森林経営部）

引用文献

温室効果ガスインベントリオフィス（編）（2022）日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2022年.
環境省地球環境局総務課脱炭素社会移行推進室（監修）国立環境研究所地球システム領域 地球環境研究センター、つくば市、茨城県