地球温暖化と木材利用

利用部　資源・システムグループ　古俣 寛隆

■地球温暖化とは

今日，ニュースや新聞などでよく聞かれるようになった地球温暖化ですが，改めて「地球温暖化の仕組み」と「地球温暖化問題の経緯」について説明したいと思います。これらについては，全国地球温暖化防止活動推進センターのHP[1)]に分かりやすく説明されており，一部参考にさせていただきました。

１）地球温暖化の仕組み

地球は，太陽からエネルギーを受けるとともに，同じ量のエネルギーを宇宙空間に放出しています。地表レベルで見た場合でも同様に，受けるエネルギーと放出するエネルギーは釣り合っています。それらのバランスの中，地表から放出するエネルギー（赤外線）の一部は，大気中の温室効果ガスにより吸収され，地表付近が暖められます。温室効果ガスとは，その名のとおり，地球の熱を温室のように逃がさないような働きを持つガスの総称です。地球の平均気温は14℃ですが，温室効果ガスがない場合では－19℃になると言われています。旭川の冬の最低気温がこのくらいですから，平均気温と考えるとかなり寒いと思います。快適に暮らせているのは温室効果ガスのおかげでもあります。問題なのは，温室効果ガスが増え続けることにより，熱収支のバランスが崩れ，宇宙空間に放出する熱が減って地球にどんどん熱が蓄積されてしまうことです。人間活動によって増加した温室効果ガスとしては，二酸化炭素，メタン，一酸化二窒素，フロンガスなどがありますが，世界の温室効果ガス排出量の76％は二酸化炭素であり，削減すべきターゲットになっています。

２）地球温暖化問題の経緯

地球温暖化を科学的に予見した最初の人物は，スウェーデンの科学者スヴァンテ・アレニウスだそうです。彼は，1896年に地表温度に対する二酸化炭素濃度の影響について論文を発表しました。ただ，それが将来に差し迫った問題として取り上げられることはなかったようです。日本では，1932年に宮沢賢治が「グスコーブドリの伝記」において触れており，主人公が冷害による飢餓に苦しむ農民を助けるために，自らを犠牲にして火山を噴火させ，放出した二酸化炭素により世界を温暖化させます。今から100年近くも前のことですが，既に科学者や知識人は知っていたことかもしれません。しかし，当時は，地球が温暖化することによって，むしろプラスの効果の方が大きいと考えられていたのではないかと思われます。

その後，地球温暖化による悪い影響が目に見える形で顕在化してくると，もはや一国で対応できるレベルではないことに気付く人が増えてきました。1988年にWMO（世界気象機関）とUNEP（国連環境計画）の元にIPCC（気候変動に関する政府間パネル）という組織ができました。IPCCの主な活動は，気候変動に関する最新の科学的知見についてとりまとめた報告書を作成することです。それらの作成には，世界中の著名なたくさんの科学者が関わります。IPCCはあくまで中立な組織ですが，報告書は各国政府の気候変動に関する政策に科学的な根拠を与えます。主な報告書に，5～7年おきに公表される評価報告書があります。温暖化の現状，根拠，影響，緩和策などが詳細に記されており，非常に読み応えのある報告書です。ここでは，その極々一部，IPCC評価報告書における温暖化と人間活動の影響に関する表現の変化についてご紹介します（**図1**）。1990年の第1次評価報告書では，温暖化に対する人為的影響の確率は，文中から読み取る限りでは低いものでした。しかし，その後，確率はどんどん上がっていき，最終的には2021年の第6次報告書において「人間の影響が大気・海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」と断定されるに至ります。

1994年に，大気中の温室効果ガス濃度の安定化を目的として国連気候変動枠組条約（以下，条約といいます）が発効されました。条約に基づき，1995年から締約国会議が毎年開催されることになりました。この会議はCOPと略され，後ろに会議の回数が入って，例えばCOP27などと記載されます。COPは，条約の目的を達成するために，条約の加盟国が具体的な対策の枠組みを協議する場所です。2020年までの枠組みである京都議定書や，2020年以降の枠組みであるパリ協定はCOPで決まりました。

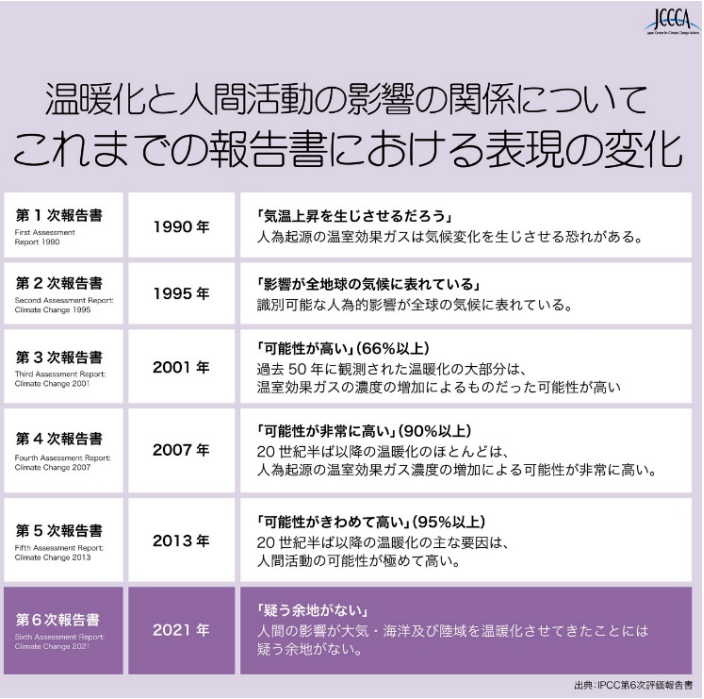

図1　IPCC評価報告書における温暖化と人間活動の影響に関する表現の変化[1)]

次に，現在進行中の枠組みであるパリ協定について説明します。パリ協定では，196ある全ての加盟国に削減目標の提出を義務付けています。日本は，2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度の水準から46%削減すると決めています（当初の26%から引き上げられた）。日本の目標は先進国の中でも高いとされており[2)]，民間，商業等全ての部門での排出削減に加え，再生可能エネルギーや省エネ製品の導入，消費スタイルや生活様式の変革などが必要です。

■林業部門，木材利用の貢献

林業部門がパリ協定実現のために貢献できる取り組みには，「森林吸収による大気からの炭素除去」と「伐採木材製品の利用による排出削減」があります。「森林吸収による大気からの炭素除去」とは，樹木の光合成（光，水，二酸化炭素から酸素と糖をつくる活動）を通じて，大気中の二酸化炭素を直接減らす効果のことです(**図2**)。

一方，伐採木材製品の利用は，二酸化炭素を間接的に削減する3つの効果があります。1つめは，木材が一定期間，炭素を固定し，炭素の排出時期を遅らせる“炭素ストック効果”，2つめは，木材が化石燃料を代替することによって炭素排出を削減する“燃料代替効果”，3つめは，木材が製造過程で化石燃料を大量に消費する他材料を代替することによって炭素排出を削減する“材料代替効果”です。これら伐採木材製品の利用による効果について詳しく説明します。

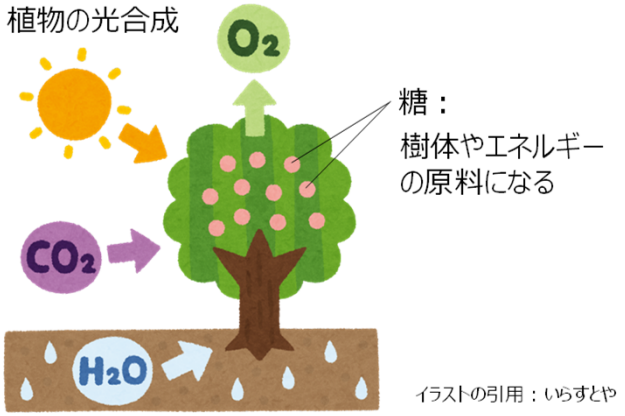

図2　森林吸収による大気からの炭素除去

■伐採木材製品の利用による貢献

・「炭素ストック効果」

「炭素ストック効果」とは，例えば，建築物や家具等の使用期間が比較的長い最終製品に木材を利用することで炭素を長期間固定する効果です。この効果は，しばしば，穴の開いた“たらい”に水を貯める作業に例えられます。水は木材製品，蛇口から出る水の量は新たに作られる木材製品の量，“たらい”の中の水の量は世の中にある木材製品のストック，流れ出る水の量は廃棄される木材製品の量です。

条約の加盟国は，国家の温室効果ガス排出量を国連に報告する義務があります。以前は，森林は伐採されると同時に，木材中の炭素が排出されるという計算がなされていました。木材製品は廃棄(燃焼)されるまでは炭素を蓄積していますので不合理でした。しかし，「京都議定書」の実施期間の途中から計算方法が変わり，木材製品の増加量(＝炭素の蓄積増加量)を森林の吸収量に加えてもよいことになりました(**図3**)。ただ，吸収源として温室効果ガスの削減に寄与するためには，前述の“たらい”の中の水の量を毎年増やすこと，つまり，世の中の木材製品を増やし続ける必要があります。

・「燃料代替効果」

「燃料代替効果」とは，石炭・石油等の化石燃料から木質燃料への代替を図り，代替された化石燃料の二酸化炭素排出量を間接的に削減する効果です。ここで大事なのは，木材燃焼による炭素は，もとも

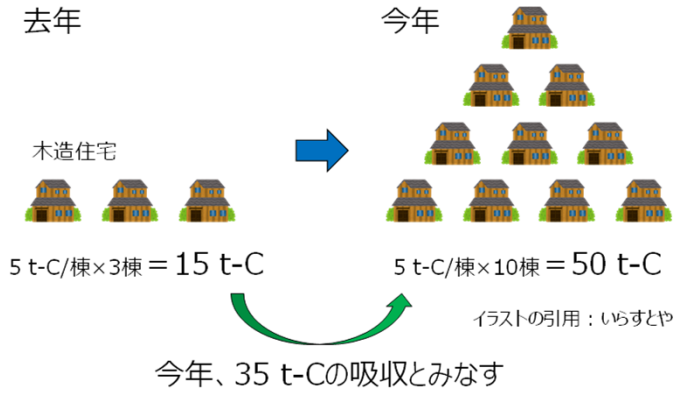

図3　炭素ストック効果

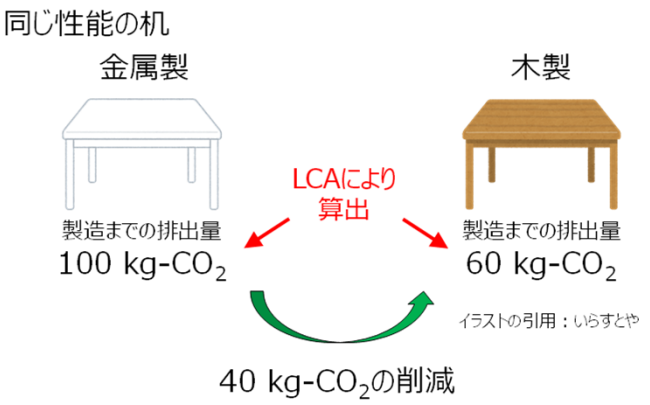

図4　材料代替効果

と光合成により大気から取り込まれたものであるため，大気中の炭素の増減に影響を与えないという考え方（カーボンニュートラルの概念）に基づいているところです。吸収した炭素がまた放出される，つまり元に戻るだけという意味では，炭素はニュートラルに違いはありません。しかし，カーボンニュートラルの概念については，欧米を中心として，「単純すぎる」との反論があります。これについては，後ほどご紹介します。

・「材料代替効果」

「材料代替効果」とは，製造・加工に要するエネルギーが少ない木材製品を，鉄やコンクリート等の製品と置き換えることによって二酸化炭素排出量を削減する効果です(**図4**)。製品の二酸化炭素排出量は，ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment，以下，LCAといいます）という手法を用いて算定します。LCAは，原材料調達から製造，使用，廃棄に至る製品等の一生（ライフサイクル）において，エネルギー・資源の投入量と環境負荷物質の排出量を求め，地球温暖化等の環境に対する様々な影響を分析する手法です。

以下に，木造建築物と非木造建築物の二酸化炭素排出量の比較結果をご紹介したいと思います。なお，評価方法，評価範囲，建物の用途や規模がそれぞれ異なるため，比較的近年に報告された複数の論文・書籍[3-8]を取り上げ，木造建築物の排出量を1とした場合の非木造建築物の排出量の比率を求めてみました(**表1**)。非木造建築物の数値はいずれも1を超えており，木造建築物には「材料代替効果」がありそうなことが分かります。今後は，パリ協定の実現に向け，あらゆる製品・サービスについて環境性能が求

表1　木造建築物と非木造建築物の二酸化炭素排出量の比率

文献番号	著者	論文･書籍名	地域	建物概要 用途	階数 (階)	延床面積 (m^2)	評価範囲	二酸化炭素排出量の比率 W[注2]	SRC[注2]	S[注2]	RC[注2]
3)	日本建築学会	LCAデータベース Ver.1.02 (2013、2022改訂)	日本	住宅[注1]	–	–	設計監理～材料製造～建設 (必要となる固定資本の製造を含む)	1	1.8	1.7	1.6
				事務所[注1]	–	–		1	2.2	1.4	1.9
				工場[注1]	–	–		1	1.6	1.7	1.8
4)	渕上佑樹ら	日本木材学会誌 (2020)	日本	学校	2	407	材料製造 (現場までの輸送含む)	1	–	1.2	1.4
5)	一宮孝至ら	日本木材学会誌 (2021)	日本	老健施設	2	1,978	材料製造～廃棄 (使用除く)	1	–	–	2.0
6)	Shaobo Liang *et al.*	Sustainability (2021)	アメリカ	複合施設	12	8,360	材料製造 (使用に伴うメンテナンス、修理、交換含む)	1	–	–	1.2
7)	Zhuocheng Duan *et al.*	Journal of Building Engineering (2022)	中国	集合住宅	11	2,348	材料製造	1	–	–	2.3
8)	Gabriel Felmer *et al.*	Sustainability (2022)	チリ	集合住宅	5	1,405	材料製造	1	–	–	1.8

注1) 建設部門産業連関表を利用した分析によって日本の平均的な建物が想定されています
注2) W：木造、SRC：鉄骨鉄筋コンクリート造、S：鉄骨造、RC：鉄筋コンクリート造

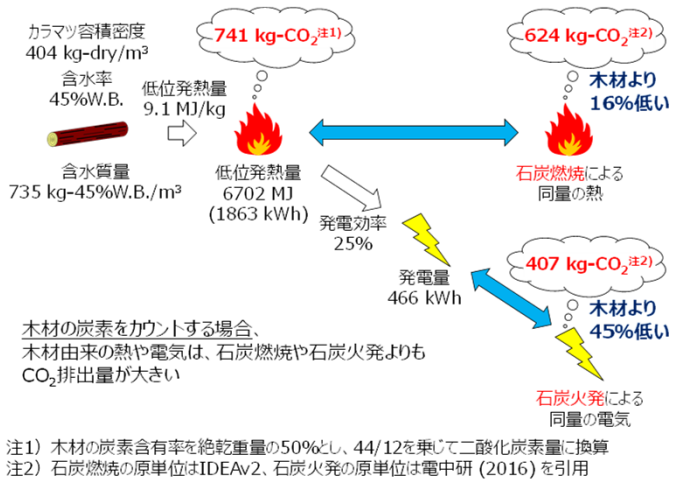

図5　もしも木材中の炭素をカウントすると

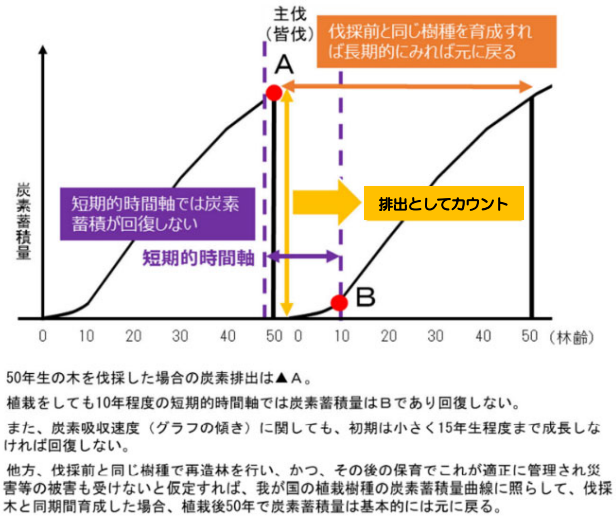

図6　樹木の成長に伴う炭素蓄積量の推移[9)]

められます。木質製品も例外ではなく，LCAを用いて「材料代替効果」を定量的に示していくことがより重要になってくると思われます。

■カーボンニュートラルの概念について考える

繰り返しになりますが，木材中の炭素は，カーボンニュートラルの概念に基づき，燃焼による二酸化炭素排出はカウントしないのが一般的です。もし，それを評価した場合にはどうなるでしょうか。木質エネルギー(電気と熱)の二酸化炭素排出量を算出し，化石燃料(石炭火力発電所の電気，石炭燃焼による熱)と比較しました。実は，木材中の炭素を含めた場合，木質エネルギーの排出量は化石燃料よりも高くなります(**図5**)。

林野庁は2022年6月に「カーボンニュートラルの実現等に資する森林等への投資に係るガイドラインの中間取りまとめ」(以下，中間とりまとめといいます)[9)]を公表しました。この中に，主伐・再造林の際の森林吸収量の考え方が示されていて，次代の森林が先代の伐採時の林齢まで成長した時，先代の森林と同じ蓄積量が見込まれる場合には，カーボンニュートラルとみなせるとされています。逆に，1)伐採後に再造林を行わない，2)伐採後に森林の劣化や成長量の減少が生じる，3)伐採後に森林の一部あるいは全部を森林以外の土地へ転用するといった行為が行われた場合には，二酸化炭素の排出側になるとされています。木材燃焼による炭素を含めて評価した場合，製造行程で工場端材等の木質エネルギーを用いている製品の二酸化炭素排出量にも影響を及ぼします。もしかしたら，木質製品の「材料代替効果」が小さくなってしまうかもしれません。

欧米では，Carbon debt(炭素負債)，Carbon payback time(炭素回収期間)などのカーボンニュートラルに関する十年来の議論がなされてきました。これらを，中間とりまとめ[9)]の図(**図6**)を引用して説明すると，炭素負債は⊿A，炭素回収期間は50年に相当します。少なくとも言えることは，利用を前提とした人工林においては，「植える→育てる→収穫する」という森林の循環サイクルを持続させることが最も重要ということです。それこそが，石油や石炭などの枯渇性資源には決してない，木材の根源的な特性だからです。

さて，2019年度の日本の再造林率は，33%（人工造林面積：28955ha／立木伐採面積（主伐）：88050 ha)[10)]と計算されます。再造林率が100%になっていない背景には，実は複雑な要因があります。しかし，木材のカーボンニュートラルを実現するためには，再造林率を高めていくことが不可欠です，今後は，再造林を行った山が“ちゃんと森林に戻っているのか”の確認や“確実に戻る”という担保のような仕組みも必要になってくるのかもしれません。

参考文献

1) 全国地球温暖化防止活動推進センターHP：https://www.jccca.org/（最終確認日：2023.1.18）.
2) 経済産業省資源エネルギー庁HP：https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.html（最終確認日：2023.1.18）.

3）日本建築学会HP：LCAデータベースVer.1.02（2013，2022改訂），https://www.aij.or.jp/jpn/books/lca2013/（最終確認日：2023.1.18）.
4）渕上佑樹ら：CLT工法を用いた木造学校建築物の建設におけるGHG排出量の定量化，木材学会誌，66（2），101−111（2020）.
5）一宮孝至ら：木造およびRC造非住宅建築の環境経済評価（第1報）積上法LCAによるGHG排出量の比較，木材学会誌，67（1），14−19（2021）.
6）Shaobo Liang et al.：Environmental Life-Cycle Assessment and Life-Cycle Cost Analysis of a High-Rise Mass Timber Building：A Case Study in Pacific Northwestern United States，Sustainability，13（14），7831，https://doi.org/10.3390/su13147831（2021）.
7）Zhuocheng Duan et al.：Comparative life cycle assessment of a reinforced concrete residential building with equivalent cross laminated timber alternatives in China，Journal of Building Engineering，62，105357，https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105357（2022）.
8）Gabriel Felmer et al.：A Lifecycle Assessment of a Low-Energy Mass-Timber Building and Mainstream Concrete Alternative in Central Chile，Sustainability，14（3），1249，https://doi.org/10.3390/su14031249（2022）.
9）森林・林業・木材産業への投資のあり方に関する検討会：カーボンニュートラルの実現等に資する森林等への投資に係るガイドライン中間とりまとめ，https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kikaku/attach/pdf/220620-1.pdf（最終確認日：2023.1.18）.
10）林野庁：森林・林業統計要覧2021，https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/youran_mokuzi2021.html（最終確認日：2023.1.18）.