



自然エネルギー財団  
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

解説

# バイオマス炭素サイクルの気候中立性

森林バイオマスの「炭素負債」論争を理解する

2023年9月



## 謝辞

本解説の作成にあたり、多くのエネルギー専門家の方々にご協力をいただきました。  
ここに感謝の意を表します。

## 執筆担当者

相川 高信      上級研究員

## 免責事項

本解説に記載した情報の正確性については万全を期しておりますが、自然エネルギー財団は本解説の情報の利用によって利用者等に何らかの損害が発生したとしても、かかる損害については一切の責任を負うものではありません。

## 公益財団法人 自然エネルギー財団とは

自然エネルギー財団は、東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故を受けて、孫 正義（ソフトバンクグループ代表）を設立者・会長として2011年8月に設立されました。安心・安全で豊かな社会の実現には自然エネルギーの普及が不可欠であるという信念から、自然エネルギーを基盤とした社会を構築することを目的として活動しています。

## 【目次】

要旨 .....	1
I. はじめに.....	3
1. バイオエネルギーの重要性.....	3
2. 木質バイオマスへの注目 .....	4
3. 持続可能性を巡る論争.....	4
4. 本解説の狙いと議論の範囲.....	5
II. 論争の全体像.....	6
1. バイオエネルギー利用に伴う炭素の流れ .....	6
2. バイオマス由来の炭素について .....	7
3. 批判の論拠.....	10
III. 森林バイオマス利用の実態.....	12
1. マテリアル利用に伴う残渣が利用されている .....	12
2. 低質の丸太が燃料利用されることがある .....	15
3. 小括: 利用実態のまとめ .....	19
IV. 企業の炭素会計における進展.....	22
1. 企業レベルでの算定方法の現状 .....	22
2. 近年の議論: 土地利用セクター内での算定方法の詳細化.....	24
V. まとめ: 「やっかいな問題」を超えて.....	29
1. 森林システム全体で考えること.....	29
2. 地域の実態の理解に基づいた政策・制度を整えること .....	30
3. 企業の情報開示を促していくこと .....	30

## 要旨

バイオエネルギーは電力だけでなく熱や燃料などに利用可能で、エネルギーシステムの脱炭素化に向けて不可欠である。中でも、木質バイオマスによる供給は重要な役割を果たすが、森林から直接取り出されて利用される森林バイオマスは、一部から「カーボンニュートラルではない」「石炭よりも悪い」という批判的なキャンペーンの対象となっている。加えて科学的にも、前提の置き方によって得られる結論が変わってしまう「やっかいな問題」の様相を呈している。

本解説では、現在のバイオエネルギー利用に伴う CO<sub>2</sub> 算定の基礎となっている IPCC ガイドラインにおけるバイオマス由来炭素の計上方法などを解説しながら、論争の全体的な枠組みを整理する。その上で、議論の前提となるべき森林バイオマス利用の実態を解説した。加えて、近年の企業の炭素会計における議論の最新動向も紹介しつつ、今後の建設的な議論のポイントも3点に絞って示している。

主な内容は、以下のとおりである。

### 論争の全体像

バイオエネルギーの生産から加工、利用までのサプライチェーンの環境負荷は、ライフサイクルアセスメントにより捕捉されている。この中で、エネルギー利用（燃焼）時に排出されるバイオマス由来の CO<sub>2</sub> はゼロとされてきた。燃焼時の CO<sub>2</sub> はもともと植物の光合成により固定されたものであるため、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度に影響を与えない。つまり炭素中立（カーボンニュートラル）とみなすことができるからである。

国が国連気候変動枠組み条約に提出する温室効果ガスインベントリについての IPCC ガイドラインでも、バイオマス起源の CO<sub>2</sub> は収穫時の炭素蓄積量の変化による排出として農林業部門で計上することを基本とし、二重計上を避けるため、エネルギー部門、産業プロセス部門、廃棄物部門のいずれにおいても計上しない。

しかし、バイオエネルギーの持続可能性についての論争では、このバイオマス由来の炭素をエネルギー部門の排出として捉えている。そのため、化石燃料よりも排出が多く、かつ森林バイオマスの場合は再吸収に時間を要し「炭素負債」が発生すると批判されている。

### 森林バイオマス利用の実態

こうした批判の多くは、エネルギー利用のために森林を皆伐し、伐採した木の全部を燃料として利用することを前提としている。しかし、実態としてエネルギー利用されているのは、マテリアル利用に伴う収穫時もしくは加工時の残渣である。これは燃料部分の価格が最も安いという価格メカニズムによって成り立っている。

ただし、災害被害木や間伐材など低質の丸太がそのまま燃料利用されることはありえる。特に、日本や米国南部などパルプ材などの需要がない地域では、低質丸太が燃料材として用いられる場合がある。

しかし仮に、一定面積の森林が皆伐されてエネルギー利用される場合を想定しても、成長量の範囲内での伐採であれば、面的な範囲にある他の森林により吸収されると考えることができる。さらには、適切な政策や規制、そして経済的に魅力のある市場環境が実現すれば、森林への投資を呼び込むことにより、木材利用量と森林蓄積量を同時に増加させることが可能である。

### 企業の炭素会計における進展

企業の炭素会計で用いられている GHG プロトコルや SBTi のガイドラインにおいても、国の算定に用いられている IPCC ガイドラインとほぼ同様のアプローチを採用している。具体的には、バイオマス燃焼からの排出は直接排出として計上する必要はない（スコープ 1 に含める必要はない）が、別途報告することになっている。

一方で、土地利用セクター内での算定方法は詳細化の方向にあり、森林によるグロス吸収および排出に加えて、燃料も含めた製品の利用による排出を考慮した上で、ネットでのストック量の変化を開示することが求められるようになりつつある。

しかし、これはバイオエネルギーがカーボンニュートラルにはなり得ないということの意味するのではない。むしろ、バイオエネルギーやバイオマス製品の生産者や利用者が、森林蓄積量の的確な把握により炭素蓄積が減少していないことを確認できる場合においては、大気中の CO<sub>2</sub> 量を増やすことなく化石燃料を削減していることを明確に訴求できるようになると言える。

### 「やっかいな問題」を超えて

今後の建設的な議論において重要なことは、第一に、エネルギー利用だけではなく森林の吸収やマテリアル利用も含めた森林システム全体で考えることである。第二に、各地域における実態を的確に理解し、それに基づいた政策・制度を構築することも重要である。最後に、FiT 制度のような公的支援制度の枠外でも企業を中心に自然エネルギーの活用が広がっている中では、バイオエネルギー全般について持続可能性の証明が必須になっているという認識が必要である。

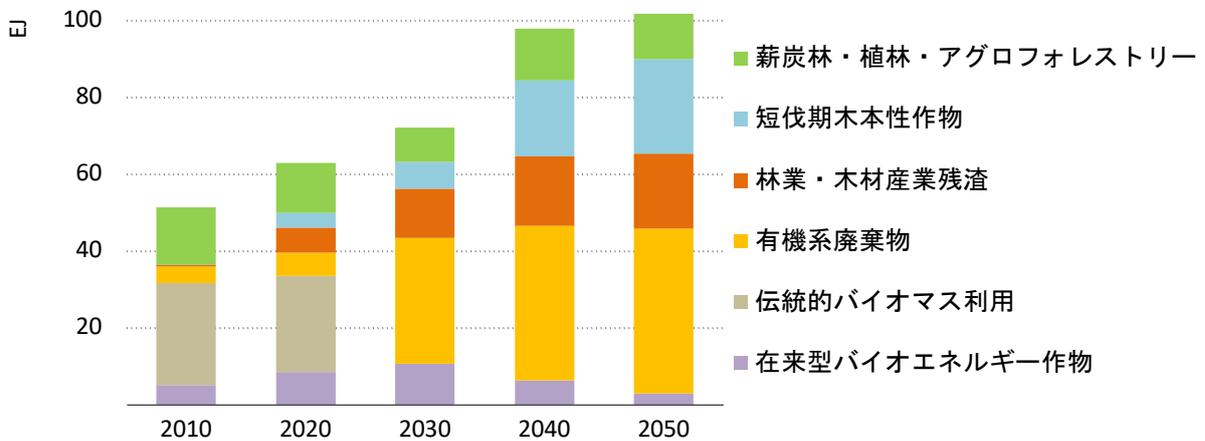
# I. はじめに

## 1. バイオエネルギーの重要性

バイオエネルギーは、2022年現在、自然エネルギーの中で最も多くのエネルギーを供給している。エネルギー専門家の多くは、バイオエネルギーは電力だけではなく熱や燃料などに利用可能で、欠かせない技術オプションであると考えている。

特に、エネルギーシステムの脱炭素化に向けて、IEA（国際エネルギー機関）やIRENA（国際再生可能エネルギー機関）などの国際機関は、現代的バイオエネルギーの利用について、2050年までに2～3倍の成長を見込んでいる（図1）。IPCCがまとめた科学研究のレビュー結果についても、ほぼ同様の予測（WGIII・AR6）が示されている。

図1：IEA ネットゼロシナリオにおけるバイオエネルギー供給の予測



出典) Net Zero by 2050 (IEA 2021)

一方で、今後のGHG削減の進展次第ではあるが、ネガティブエミッションの一つとしてのCCS付きバイオエネルギー（BECCS）の準備・検討が避けて通れない問題になっている。BECCSは自然を活用した解決策（Nature-based Solutions: NbS）の一つであり、適切な保護手段があれば、幅広い生態系サービスを強化し生物多様性の保全と持続可能な利用に貢献することが可能だと考えられている。

加えて、SDGs達成の観点からも、食糧との競合リスクを回避しながら、農林水産業など社会・経済的な発展にも資することをFAO（国連食糧農業機関）などが主張していることも重要な観点である。

## 2. 木質バイオマスへの注目

エネルギー利用されるバイオマス原料<sup>1</sup>は、廃棄物や残渣系のものを中心に多様である。IEA の Net Zero シナリオにおいては、今後は、伝統的バイオマス利用がフェードアウトしていくとともに、2050 年のバイオエネルギー総供給は 102EJ と現状の約 2 倍まで増加するとしている（図 1）。この見通しは、持続可能なバイオエネルギーのポテンシャル 150～170EJ に対して十分に余裕を持たせた数字である。

内訳を見ると、有機系廃棄物が太宗を占めていくが、木質バイオマス全体（林業・木材産業残渣、短伐期木本作物と薪炭林・植林・アグロフォレストリー）で、2020 年の 24EJ から 2050 年の 57EJ と 2 倍以上に増加する見込みである。

この中でも、本稿で中心的に取り上げる林業や木材産業からの残渣についても 2020 年の 7EJ から 2050 年の 20EJ へと増加して、2050 年のバイオエネルギー総供給 102EJ の 2 割弱を占める見込みであり、特にそのような産業が盛んな地域で重要な地位を占めることが予測される。

## 3. 持続可能性を巡る論争

バイオエネルギーの成長を実現するためには、バイオマスの持続可能な供給の実現がカギを握る。バイオマスのうち廃棄物や残渣系のものは、エネルギー利用の有無に関わらず発生し、焼却処分されるか、放置されてメタンを放出しているものも多い。そのため、エネルギー回収・利用を行ったとしても持続可能性の点で問題視されることはない。

一方で、森林から直接取り出されて利用される木質バイオマス（以下、森林バイオマス<sup>2</sup>）は、残材利用であっても樹木の伐採行為に伴って発生していることから、その持続可能性を確保するための基準づくりが慎重に進められてきた<sup>3</sup>。それにも関わらず現状では、森林バイオマスは、「バイオマスはカーボンニュートラルではない」「石炭よりも悪い」という批判を受けている。

こうした「石炭よりも悪い」というロジックにおいては、森林バイオマスを用いた発電利用、特に石炭火力発電所を転換、もしくは代替するような大型のバイオマス発電所が想定されている。日本の場合では、特に輸入バイオマスが念頭に置かれている。しかし、一度この論理を採用してしまうと、輸入や国産、用途（発電・熱利用、燃料）や規模の大小に関わらず、バイオエネルギーの根源的な否定に繋がってしまう可能性があり、十分な注意が必要である。

---

<sup>1</sup> 日本では「バイオマスエネルギー」と表記されることが多いが、国際的には「バイオエネルギー（Bioenergy）」が一般的なため本レポートでもそれに倣う。燃料や原材料を指す場合は「バイオマス」を使う場合がある。

<sup>2</sup> 一次バイオマス（Primary biomass）と呼ばれることもあるが、木質系以外にも適用される呼称のため、ここでは森林バイオマスという用語を用いる。

<sup>3</sup> EU や英国の状況については、[自然エネルギー財団（2020）「木質バイオエネルギーの持続可能性について 温室効果ガス削減に資する持続可能性確保の制度化」](#)を参照のこと。

しかも、この主張は実態から乖離した単純化された前提に基づいていることが多く、個別ケースへの批判をバイオエネルギー全体への否定に繋げていることに問題がある。たとえば、森林バイオマスの中には残材由来のものも含まれており、この利用についてはバイオマス利用に批判的な論者も否定しているわけではない。それにも関わらず、両者の区別なく語られることが多く、バイオエネルギーの推進そのものに対する否定的なイメージの拡大に繋がっている。

これには、バイオエネルギーの利用実態、特に森林バイオマスについては地域ごとの林業構造の違いなどがあり、複雑でわかりにくいことが関係している。科学論文も多く出版されているが、前提の置き方によって得られる結論が変わってしまう「やっかいな問題」の様相を呈している<sup>4</sup>。実際に、森林バイオマス利用に肯定的・否定的な 500 人以上の科学者達それぞれがサインをした公開書簡を公表する事態になっており<sup>5</sup>、一概にどちらかが「科学的に正しい」とは言えない状況である。

#### 4. 本解説の狙いと議論の範囲

そこで、本解説では持続可能なバイオエネルギー利用の実現に資する建設的な議論の土台を提供することを目的として、第一に論争の全体像を示す。つづいて第二に、森林バイオマスの利用実態について可能な限りデータを示して実態を整理しながら、論争を解きほぐしていきたい。第三には、企業の炭素会計を中心に、森林バイオマスを含めた森林の炭素動態を把握・公表していこうという動きがあることも紹介する。最後に、前向きな議論を行っていく上でのポイントを3点に絞って提示したい。

なお、本解説での議論では、持続可能な利用ポテンシャル内での利用を想定するが、その量的な議論は行わない。生物多様性の保護価値が高い原生林などにおいては、そもそも伐採は禁止されるべきであり、エネルギー利用がなされるべきではない。ただし、森林政策や生物多様性保全の枠組みで適切な規制や守るべき基準が先にあり、その枠組みの中で持続可能なバイオマスの利用ポテンシャルが明らかになる。

また、バイオエネルギーの特定の用途（発電、熱、燃料）の是非や優先順位を論じること本解説では行わない。バイオマスの有限なポテンシャルをどのように有効に使うべきかという点については、エネルギー利用だけではなくマテリアル利用なども含め、他の脱炭素化手段の利用可能性など複数の要因を考慮しながら慎重に検討する必要がある。ただし、いずれの場合もバイオマス炭素サイクルの気候中立性が前提となることから、先んじて本解説の理解が重要になってくる。

---

<sup>4</sup> 相川高信「『やっかいな問題』として森林バイオエネルギー問題を捉える JRC レポートを読み解く」(2021年2月22日)

<sup>5</sup> それぞれ、Letter Regarding Use of Forests for Bioenergy, to President Biden, President von der Leyen, President Michel, Prime Minister Suga, and President Moon (February 11, 2021), Scientist Letter regarding the need for climate smart forest management, to the President of the European Commission, Mrs. U. Von der Leyen, to the President of the European Parliament, Mrs. R. Metsola and to the President of the European Council, Mr. C. Michel (October 27, 2022)

## II. 論争の全体像

### 1. バイオエネルギー利用に伴う炭素の流れ

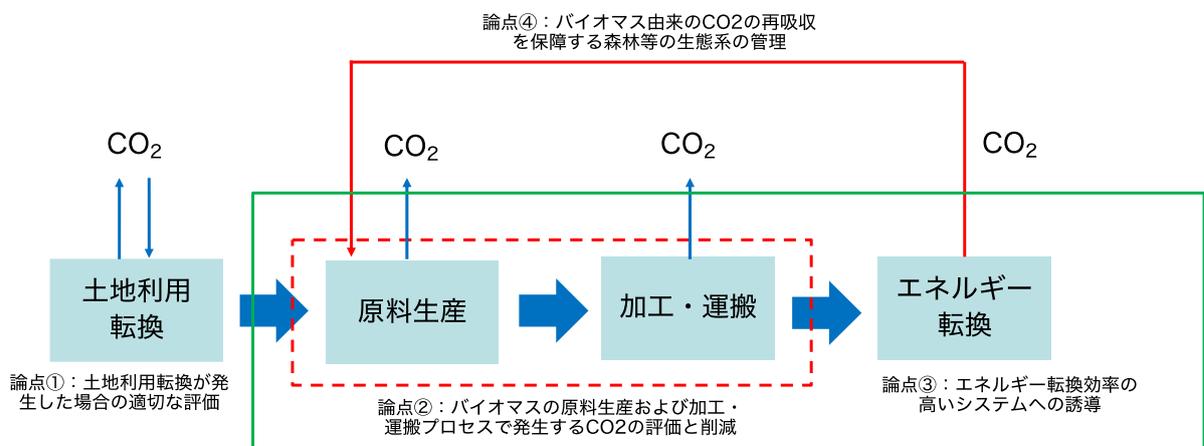
#### (1) LCA による GHG 削減効果の確認

最初に、バイオエネルギーの生産から加工、利用に至るまでの一連のサプライチェーンにおける炭素動態を確認しておこう（図 2）。

こうした工程ごとの環境負荷は、ライフサイクルセサメント（LCA）により捕捉されている。EU の再生可能エネルギー指令（RED：Renewable Energy Directive）や日本のエネルギー供給構造高度化法（主にバイオエタノールが対象）、そして後述の FiT 制度においては、化石燃料を利用した場合と比較して一定以上の削減が求められている。土地利用変化を伴わない場合は、同工程は計算の範囲外となり、残渣や廃棄物の場合は、最初の収集地点以降（原料生産は含まれない）となる。

重要な点は、これらの制度においては、エネルギー利用後に排出されるバイオマス由来の CO<sub>2</sub> 量（④の赤い矢印）はゼロとされてきたことである。この理由については、「2. バイオマス由来の炭素について」において解説する。

図 2：バイオエネルギー利用に伴う炭素の流れの全体像



出典) 自然エネルギー財団

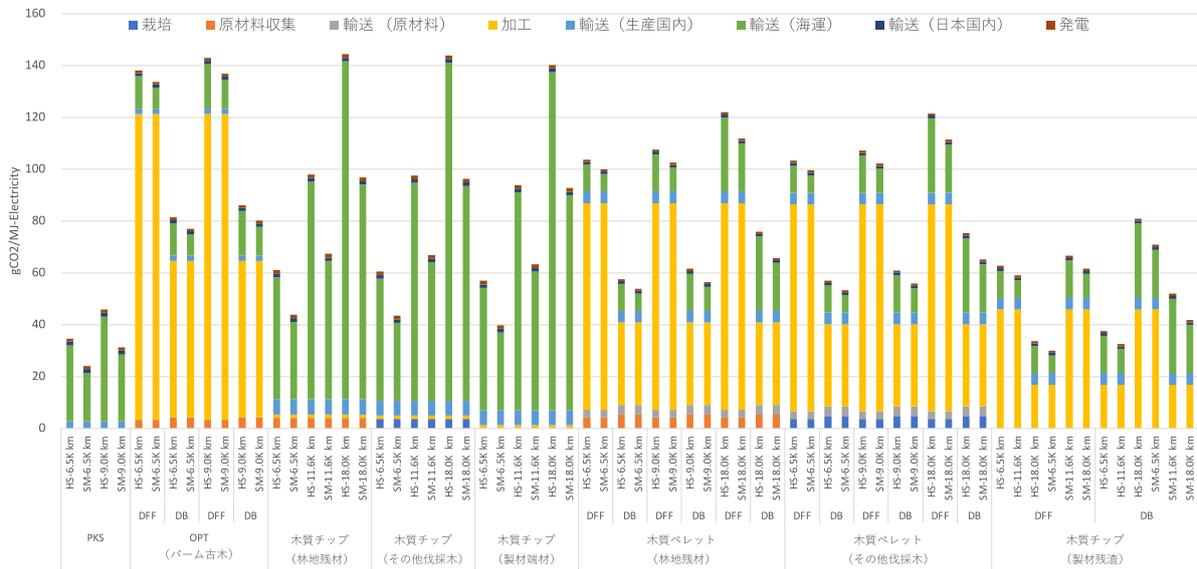
#### (2) FiT 制度における GHG 削減基準の策定状況

FiT 制度では、2023 年度より、LCA に基づく GHG 削減基準が適応されることになった。2022 年度から 2030 年までの間に認定された案件は、火力発電平均から 50%削減 (90.0g CO<sub>2</sub>/MJ-Electricity)、2030 年以降の認定案件は 70%削減 (54.4g CO<sub>2</sub>/MJ-Electricity) を燃料調達毎に満たす必要がある。これ以前に認定を受けた発電所については、自主的取組の情報開示と報告が求められる。

代表的な燃料種とその調達経路については、既定値が公表されている（図 3）。多くの

燃料種類において、化石燃料比で 50%もしくは 70%といった削減が可能であることが分かる。一方、削減基準を上回るケースもあるので、そのようなケースの利用を避けるか、削減対策を講じる必要がある。

図 3：日本の FiT 制度で用いられている燃料のライフサイクル GHG 規定値



(注) 発電効率は、輸入バイオマス 25%、国産バイオマス 21.6%で計算。FiT で利用が認められた燃料（既存燃料）であり、いわゆる新規燃料は含まれてない。DFF は化石燃料、DB はバイオマス燃料で乾燥工程を行うことを示す。

出典) バイオマス持続可能性ワーキンググループ「第三次中間整理」(2023年7月6日)より自然エネルギー財団作成

## 2. バイオマス由来の炭素について

### (1) バイオマス炭素と化石燃料炭素の違い

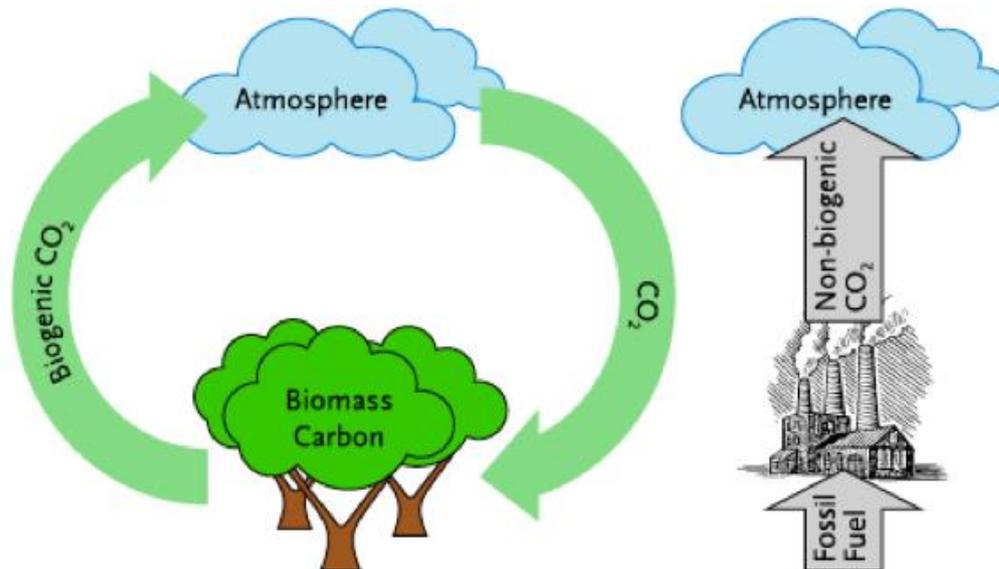
前節で見たように、従来の一般的な LCA の中で、バイオマスの燃焼に伴う排出はゼロとされ、計算の対象外となってきた (図 2)。これは、化石燃料に含まれる炭素とバイオマスの炭素の本質的な違いによるものである。

図 4 に示すように、化石燃料の炭素も元々は植物体に含まれていたものであるが、数億年といった地質学的な単位の時間で地中深くに蓄積・隔離されていたものである。これを燃焼させて再び大気中に放出させると、元には戻らない。この産業革命以来の化石燃料の消費が大気中の CO<sub>2</sub> 量を増加させ、地球温暖化の原因となってきたのである。

一方で、バイオマスの炭素はより短い生物学的な時間スケール (短ければ 1 年以内、長くても数 10 年) で、植物の光合成により大気から一時的に固定され、植物の枯死もしくは動物の摂食を経て、最終的には微生物の分解により再び大気中に戻るものである。その分解の手前でバイオマスを手取的に取り出して利用するというのが、バイオエネルギーの基本的な原理である。燃焼させれば確かに CO<sub>2</sub> を発生させるが、この炭素はもともと植物

の光合成により固定されたものであるため、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度に影響を与えない。つまり炭素中立（カーボンニュートラル）とみなすことができるのである。

図 4：バイオマスと化石炭素の性質の違い



生物圏の炭素循環内では、バイオエネルギーはカーボンニュートラルでありえる。なぜならば、燃焼時に放出される炭素は、大気から以前に隔離されたものであり、持続的に生産されれば、植物が再成長する際に再び隔離されるからである。

出典) IEA Bioenergy (2017)より。囲み内の解説の仮訳は、自然エネルギー財団による。

## (2) IPCC ガイドラインにおける取り扱い

こうしたバイオマスと化石燃料の炭素サイクルの違いを考慮して、IPCC は各国が提出する温室効果ガスインベントリにおけるバイオマス起源の炭素の取り扱いを定めている。具体的には、生態圏の炭素循環内での把握を原則とし、エネルギー利用もしくは廃棄・焼却時点ではカウントしないことを基本的な考え方としてきた。日本も含め、国連気候変動枠組み条約（United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC）の附属書 I 締約国（いわゆる先進国）は、温室効果ガスの排出データ目録（インベントリ）を条約事務局に毎年提出している<sup>6</sup>。インベントリの構成及び内容は、COP19 で採択された改訂 UNFCCC インベントリ報告ガイドラインで規定されている（Decision 24/CP. 19, Annex<sup>7</sup>）。この中で、詳細な計算方法については IPCC のガイドラインに従うことが求められている。

IPCC の最初のガイドライン（IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories）は 1996 年に出版され、2006 年版が長く使われてきたが、2019 年に改良版（2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories）が出版されている。

IPCC ガイドラインにおいては、バイオマス起源の CO<sub>2</sub> について、1996 年版から同じアプローチが取られている。このことは第 1 巻第 1 章のコンセプトとして書かれており、

<sup>6</sup> <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/overview.html>

<sup>7</sup> <https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a03.pdf>

IPCC ガイドラインの根幹を成す計上方法と言える (BOX1)。つまり、バイオマス起源の CO<sub>2</sub> は、収穫 (Harvest) 時の炭素蓄積量の変化として AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use) 部門で計上することを基本とし、バイオマス燃焼時の CO<sub>2</sub> はエネルギー部門、産業プロセス部門、廃棄物部門のいずれにおいても計上しない。

同様に、廃棄物の焼却など、エネルギー回収を伴わない場合のバイオマスの燃焼により発生する CO<sub>2</sub> についても、AFOLU 部門との二重計上を避けるために計上しないことになっている。一年生の作物の場合は、収穫・枯死する場合と吸収が一年の間に同時に起こることから、ネットでの CO<sub>2</sub> の吸収・排出は発生しないこととされ、AFOLU でも計上されない。

ただし、IPCC ガイドラインでは、「information item」として、バイオマス起源 CO<sub>2</sub> 量を記録することを推奨している (第 4 巻エネルギー部門第 4 章)。ただし、この CO<sub>2</sub> 量を排出量インベントリに加えてしまうと、AFOLU 部門との二重計上になってしまうので、注意が必要である。

**■BOX1: IPCC ガイドラインにおけるバイオマス炭素の取り扱い(抜粋)**

バイオマスもしくはバイオマス製品の燃焼により発生する CO<sub>2</sub> 排出は、農業・林業・土地利用 (AFOLU) セクターにおいて、たとえ物理的には排出が別のセクターで起こったとしても (たとえば、エネルギー利用)、炭素蓄積の変化、つまりバイオマス収穫の推計を通じて捕捉されている。バイオマスもしくはバイオマス製品の CO<sub>2</sub> 排出を AFOLU セクターにおいて、推計・報告するこのアプローチは、バイオマス収穫についてのデータとの密接な関係および二重計上を避けるという実務的な理由を考慮して、最初の IPCC ガイドラインにおいて導入された。

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from the combustion of biomass or biomass-based products are captured within the CO<sub>2</sub> emissions in the AFOLU sector through the estimated changes in carbon stocks, e.g. from biomass harvest, even in cases where the emissions physically take place in other sectors (e.g., energy). This approach to estimate and report all CO<sub>2</sub> emissions from biomass or biomass-based products in the AFOLU was introduced in the first IPCC guidelines for national greenhouse gas emissions (IPCC 1995), reflecting close linkages with data on biomass harvesting, and for the pragmatic reason to avoid double counting.

出典) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

このアプローチの一つの問題点は、バイオマスの生産と消費が国をまたぐ場合 (バイオマス燃料が輸出される場合)、消費国では AFOLU 部門とは無関係にエネルギー部門の排出を純減させることができることである。そのため、この計上方法に対して、資源の輸出国から反対があったとも言われている。しかし、もし消費国側で排出を計上することになると、資源生産国における森林管理の主體的な責任をあいまいにしてしまうことが懸念され、このアプローチは採用されなかった<sup>8</sup>。

<sup>8</sup>貿易に伴う内包性 CO<sub>2</sub> の問題と言われる。全ての製品やサービスについて、最終消費国の排出とみなして計算することが理論的には可能である。ただし、そのためには、途中のサプライチェーンのフローについてのデータベース構築が必要になる。

### 3. 批判の論拠

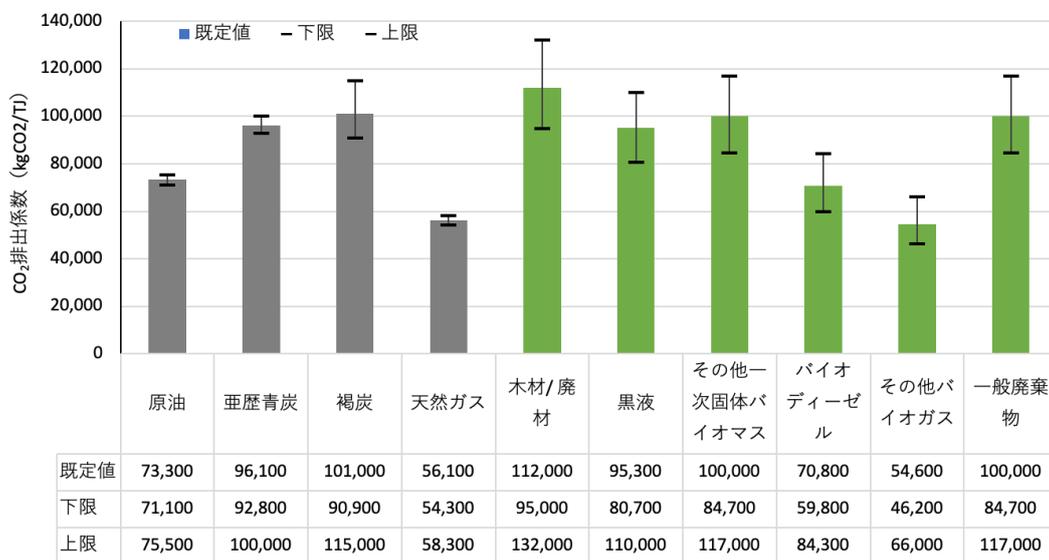
#### (1) エネルギー量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量：薪ストーブはガスストーブより悪い？

IPCC を中心にこのような整理が行われたにも関わらず、バイオマスと化石燃料の CO<sub>2</sub> のこのような本質的な違いを区別しない議論が、バイオエネルギーに対する近年の批判の論拠となっている。

バイオマスと化石燃料の CO<sub>2</sub> の違いを考慮せずに燃焼に注目した場合(図 2 の論点④：赤い矢印)、エネルギー量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量はバイオマスの方が化石燃料より多くなる(図 5)。これは、両者の分子組成の違い(バイオマスの方が酸素原子が多いなど)に起因するものであり、しばしば「バイオマスが石炭より悪い」とされる根拠の一つに使われている。

しかし、ここで注意しなければならないことは、こうした主張には、前述したようなバイオマスと化石燃料の炭素の起源と、循環に要する時間スケールが異なるという本質的な違いが考慮されていないということだ。加えて、石炭だけではなくガスや原油よりも木材の排出係数は大きいということから、「薪ストーブは灯油・ガスストーブより悪い」し、「バイオジェット燃料(SAF<sup>9</sup>)も(化石燃料由来)のジェット燃料より悪い」という結論すら導かれてしまう。

図 5：IPCC ガイドラインに記載されている排出係数 (kg-CO<sub>2</sub>/TJ)



(注) ここでは、燃料の製造・加工・輸送にかかる CO<sub>2</sub> は含まれていない。  
 出典) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

<sup>9</sup> Sustainable Aviation Fuel (持続可能な航空燃料)。

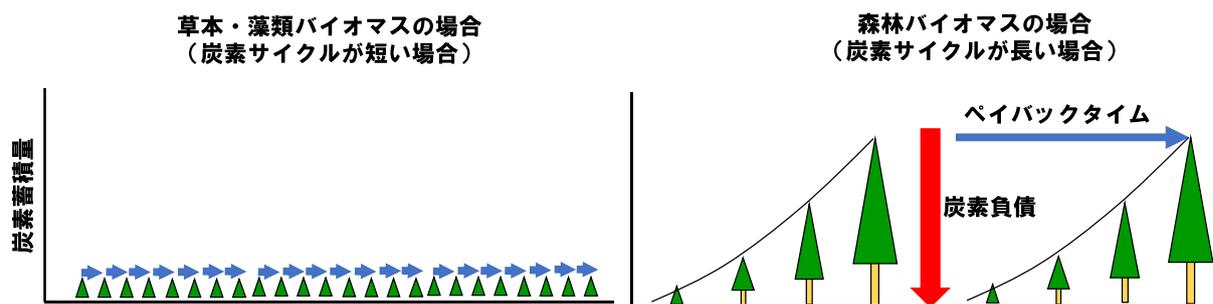
## (2) 吸収期間が長い：炭素負債が発生している？

次に、バイオマス由来 CO<sub>2</sub> の再吸収の時間が長期に渡る場合があり、「炭素負債 (Carbon debt)」が発生しているという批判がある。

実はこの炭素負債という概念は、2000 年代の液体バイオ燃料のブーム時に提案されたものである。ただし、この時に問題視されたのは森林からの農地転換など、土地利用変化に伴う炭素蓄積の減少であった<sup>10</sup>。一方で、液体バイオ燃料の原材料となるエネルギー作物の多くは一年生の作物であり、一年以内の短いサイクルで炭素が再吸収されるため、バイオマス起源の CO<sub>2</sub> については問題にはならなかった。現在でも、野焼きも含め焼却処分されているようなバイオマスや、草や藻類など成長サイクルが早いもの場合は、炭素負債の議論の対象外となっているのは同じ理由による。

それに対して、森林を伐採してエネルギー利用が行われた場合、再植林により森林が再生したとしても、炭素の再吸収に要する時間 (ペイバックタイム) は、数 10 年~100 年になる。そのため、ネット排出ゼロを 2050 年までに実現するという時間軸を考えると、気候変動対策として意味がないという批判を受けているのである (図 6)。

図 6：草本・藻類と森林バイオマスの炭素サイクルのイメージ図



出典) 自然エネルギー財団作成

<sup>10</sup> Fargione et al. (2008) Land clearing and the biofuel carbon debt, Science (319) 1235-1238.

### III. 森林バイオマス利用の実態

こうした批判に対して、数多くの科学論文や研究レポートが出版され、反論が行われていることにも注目しなければならない<sup>11</sup>。これらの反論の多くは、森林バイオマス利用に対する批判が実態からかけ離れた前提に基づくものであると指摘している。

そのため、森林バイオマス利用の実態を適切に理解することが出発点となる。

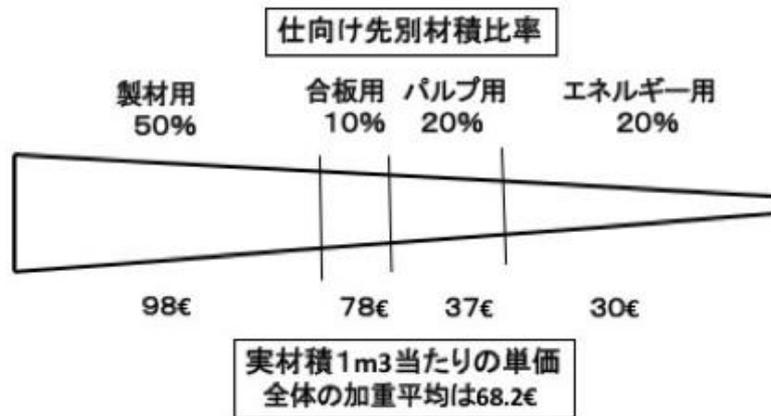
#### 1. マテリアル利用に伴う残渣が利用されている

##### (1) 収穫残渣の利用

木材は再生可能な天然資源として、様々な用途に利用可能である。特に建築や家具のための材料(マテリアル)として使われる場合は、鉄やコンクリートを代替できることから、鉄やコンクリートの製造に伴う CO<sub>2</sub> 排出を削減し、その炭素貯蔵機能も合わせた気候変動対策効果が注目されている。また、この用途の材が最も高い価格で販売できるため、林業(木材生産)ではマテリアル用材の生産を主目的とするのが基本である。

しかし、森林バイオマス利用への批判の多くは、エネルギー利用のために一定以上の面積の森林を全て伐採(皆伐: clear cutting)して、一本の木が全てそのまま(全木: whole tree)燃料利用されるということを前提にしている(図 6)。しかし実態としては、森林バイオマスとして燃料利用されているのは、マテリアル利用のための丸太(図 7では、製材・合板・パルプ用)を収穫した後の残材(収穫残渣: harvest residue, logging residue)である。

図 7: オーストリアにおける針葉樹幹材の利用方法と各部位の価格



出典) 熊崎実「迫られる『未利用木材』の再定義」(2015年7月13日)(Holzpreise Statistik Austria, November 2012より作成)

<sup>11</sup> 総説的なものとしては、次の文献を参照のこと。Cowie AL, Berndes G, Bentsen NS, et al. Applying a science-based systems perspective to dispel misconceptions about climate effects of forest bioenergy. GCB Bioenergy. 2021;00:1-22. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12844>

図 7 では、オーストリアにおいて、直径の太い幹の部分<sup>12</sup>の価格が最も高く、先端部のエネルギー利用しかできない部分が最も安いことが示されている。このような燃料部分の価格が最も安いという単純な価格メカニズムにより、伐採した一本の木が全てエネルギー利用されるということは基本的には起こらない。なお、図のオーストリアの事例では全体の 20%がエネルギー利用されているが、EU 全体でもちょうど同じ割合がエネルギー利用されていると推計されている<sup>13</sup>。

図 8 は、日本の林業現場における、マテリアル利用の材が収穫された後の残渣の発生状況である。こうした収穫残渣の利用は、林業経営の経済性の向上や大雨時の流亡を防ぐことなどを目的として推進されている。FiT 制度の買取価格区分の設定に当たっても、搬出コストの高い収穫残渣の利用を促進することを目的として、「未利用木材」というバイオマス発電の中では最も高い買取価格が設定されている（2MW 以上：32 円/kWh、2MW 未満：40 円/kWh）。

米国やカナダなど森林火災が頻発する国や地域では、こうした残材を放置すると山火事の被害拡大に繋がるため、人為的に林内で野焼きされているケースもある<sup>14</sup>。しかし、これは無為に CO<sub>2</sub> を発生させているだけであり、その有効利用が望まれている<sup>15</sup>。

図 8：日本における収穫残渣の発生状況（左：スギ人工林、右：アカマツ・広葉樹林）



写真) 自然エネルギー財団

<sup>12</sup> 林業では、一番玉、元玉と言う。

<sup>13</sup> Joint Research Center (JRC), The use of woody biomass for energy production in the EU (2021 年 2 月 19 日)

<sup>14</sup> Prescribed burn もしくは prescribed fire と言う。

<sup>15</sup> CINTRAFOR (2021) Utilizing Pacific Northwest's (PNW) residual biomass for export-oriented wood pellet production

## (2) 加工残渣の利用

次に、製材用の丸太・幹部（stemwood、図 7 左の「製材用」と書かれた部分）についても、その全てを家具や建築材料としてマテリアル利用できるわけではない。

図 9 は、カナダにおける一本の丸太の利用状況を示す。建築用材として使える製材品の歩留まりは 50%程度にとどまることから、残りの 50%の加工残渣（processing residue）を有効利用することが森林資源の有効利用の観点からも重要になっている。

加工残渣のうち、チップ形状のものは製紙用パルプの原料になるが、のこぎりで裁断したり、板を研磨する過程で発生するおが屑は、形状が小さいことから利用先が限られていた。そのため、かつては焼却処分されることが主流であったが、現在では燃料として有効利用されるようになってきている。このような部位は、森林バイオマスが一次バイオマス（primary biomass）と呼ばれるのに対して、二次バイオマス（secondary biomass）と呼ばれ、マテリアル利用により必然的に発生するものであることから気候変動対策効果が高いと見なされている。

EU においては、加工残渣（二次バイオマス）が木質バイオマス利用全体のおよそ半分を占めていることが報告されている<sup>16</sup>。日本においても集成材の普及とともに精度の高い加工が求められ、おが屑の発生量は増加しており、燃料利用の重要性が増している。

図 9：カナダにおける製材用丸太の一般的な利用方法



出典) Wood Pellet Association of Canada (2023) 「カナダの木質ペレット 林地残材を最大限に活かす」

<sup>16</sup> JRC 前掲レポート

## 2. 低質の丸太が燃料利用されることがある

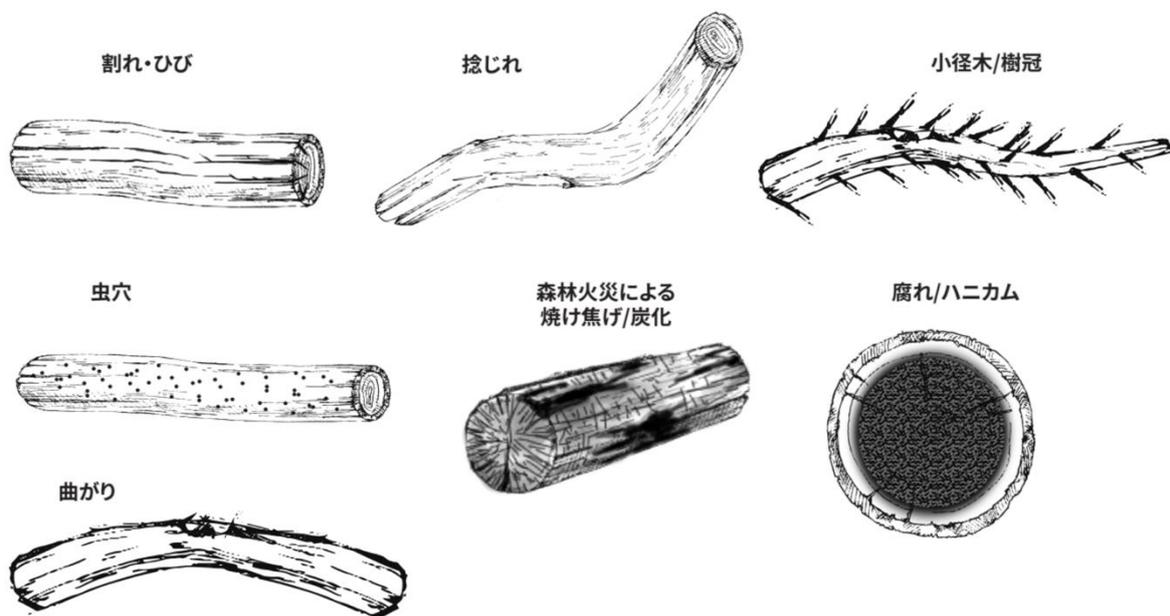
一方で、議論を混乱させているのは、直径が細いことや曲がっているなどの理由で、建築用材にならない低質の丸太（低質材）が燃料利用されているという実態があるからである。このことが「森林が（エネルギー目的で）伐採されて、丸太（全木）が燃やされている」ことの証拠とされ、バイオエネルギー全般に対する批判に結びついている。

### (1) 災害被害木等の低質材の利用

まず、病虫害や風害、森林火災などの被害木が、丸太形状のまま利用されている場合がありえる。このような災害被害木は、鳥類や昆虫、菌類などの生物多様性の創出に寄与しているとも言われるが、放置すると病虫害の発生を招くリスクがあることから、林外に持ち出されて利用されている（サルベージロギング）。その一部は、焼却処分も兼ねてエネルギー利用されてきた。

カナダでは、近年病虫害の大量発生が起こり、その被害木の利用が積極的に行われてきた。こうした被害木は林内に放置しておく、病虫害のさらなる増加に繋がるため、林外に持ち出しての利用が行われてきた。被害木もペレット原材料として使われるが（図 10）、被害木を主に利用したのは製材工場であり、ペレット工場で利用されていたのは、その加工残渣である<sup>17</sup>。欧州でも、増加している風害による災害被害木の多くが燃料として使われていた可能性が指摘されているが、これは丸太形状であったと考えられる<sup>18</sup>。

図 10：カナダで木質ペレットに使用される被害木などの低質材



出典) Wood Pellet Association of Canada (2023) 「カナダの木質ペレット 林地残材を最大限に活かす」

<sup>17</sup> Catchment area analysis: Pinnacle Renewable Energy's Burns Lake & Houston Mills (Arborvitae Environmental Services Ltd, 2020)

<sup>18</sup> JRC 前掲レポート

日本でも、豪雨災害により発生した流木や倒木など災害被害木を、地域のバイオマス発電所が燃料として受け入れるようになってきている<sup>19</sup>。また、国土交通省と環境省は連携して、普段からダムには流れ込んでいる流木を利用するためのガイドラインを策定している<sup>20</sup>。加えて、アカマツやナラなどの代表的な森林樹木の病虫害の被害が拡大していることから、枯死木のエネルギー利用の試みも始まっている。

図 11：病虫害の発生状況（左：マツ枯れ材、右：ナラ枯れ林の様子）



写真) 左：自然エネルギー財団、右：林野庁

## (2) 間伐材の利用

もう一つ、丸太形状でエネルギー利用されている可能性があるものとして、間伐材（thinned wood）がある。間伐（thinning）作業は、主に人工林の密度管理のため樹木を間引く作業であり、森林の健全性を維持し、公益的機能の発揮につながる。間伐により炭素蓄積は一時的に減少するが、残存木に多くの光が当たることで成長が促進され、間伐を行った方が面積あたりの CO<sub>2</sub> 吸収の総量は結果的に多くなると言われている<sup>21</sup>。

米国では、南東部の主要な造林樹種であるロブローリー・パインについても間伐が重要視されている。西海岸では山火事防止の観点から間伐が推進されるとともに、持ち出しでの利用が検討されている<sup>22</sup>。

日本においては、経済的な理由から間伐材の多くが林内に切り捨てられていたため、その有効利用が長く政策の中心的な課題だった。そこで、付加価値の高いマテリアル利用を中心としつつ、マテリアル利用できない間伐材についてもエネルギー利用を進めていくことが構想され、先程の FiT 未利用材区分の対象となっている。

<sup>19</sup> [「災害被災木等を有効活用するために～再生利用の手引～」日本木質バイオマスエネルギー協会](#)

<sup>20</sup> [「河川内樹木及びダム流木のバイオマス利用の手引」環境省・国土交通省（2022年3月31日）](#)

<sup>21</sup> [森林総合研究所（2006）「間伐は人工林のバイオマス成長を促すかの？」森林総合研究所 平成16年度研究成果選集](#)

<sup>22</sup> Kelsey, R. 2019. Wildfires and Forest Resilience: the case for ecological forestry in the Sierra Nevada. Sacramento, California, The Nature Conservancy. <https://www.scienceforconservation.org/products/wildfires-and-forest-resilience>

図 12：日本における切り捨て間伐材の発生状況



写真) 自然エネルギー財団

### (3) 最も安く用途のない低質材の利用

最後に、主伐時に一定割合で発生する低質材もエネルギー利用されることがありえる。これは、どうしても発生してしまう規格外品のような低質材について、新たな需要を創出することで、森林所有者や林業事業者には経済的なメリットをもたらすものである。ただし、バイオマス燃料の価格は最も安いため、質のよい丸太までエネルギー利用されることはない<sup>23</sup>。

従来、こうした低質材の一部は紙・パルプの原料として使われていたが、エネルギー利用が行われるようになり、一本の丸太から利用できる量が増加したとすることができる。先に紹介したオーストリアの事例では、パルプ材よりもさらに細い先端部分がエネルギー利用され、木材の利用率が高まっていることが分かる（図 7）。

こうした品質の材は、丸太形状であっても価格が安い。先のオーストリアの事例では、パルプ材が 37 ユーロ/m<sup>3</sup> だったのに対して、エネルギー材は 30 ユーロ/m<sup>3</sup> である（図 7）。カナダでは、ペレット原材料価格は 70 カナダドル/絶乾トンであり、パルプ材の 110 カナダドル/絶乾トン（55 カナダドル/m<sup>3</sup>）より安い<sup>24</sup>。

一方で、紙・パルプ需要が少ない／減少した国や地域では、エネルギー利用により低質材の需要が創出され、林業経営の改善に貢献している。ただし、これらの低質材は丸太形状のままエネルギー利用されることがありえる。

このような地域の例として、日本と米国南東部を挙げることができる。米国南東部では、

<sup>23</sup> 日本の FiT 制度（林野庁「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」）では、森林経営計画などであれば「皆伐材」を認めている。これは皆伐作業によって発生する材のうち、収穫残渣や低質材を指していると思われるが、誤解を招く表現であり、改めた方がよいだろう。

<sup>24</sup> Bull, G., et al. (2022) Wood pellets in BC. Woody biomass used in the industry.

紙パルプ産業が衰退した後にペレット工場が進出し、減少した需要を補完している<sup>25</sup>。そのため、この地域のペレット生産工場は最も低いグレードの材を使用しているが、それはパルプ材のグレードと重なっている<sup>26</sup>。

日本では、輸入チップと製材端材がパルプ需要の大部分を占めているため、これまで需要がなかった小径の低質材がバイオマス燃料利用として使われている。ただし、このように低質丸太がエネルギー利用されたとしても、合板丸太よりはるかに安い。製紙用チップ丸太に対しても、バイオマス丸太の方が安い価格で推移している<sup>27</sup>。そのため、エネルギー利用を目的とした伐採は基本的に起こり得ないことが確認できる。

## BOX2：残材も林内に残置した方がよいのか？

森林が蓄えている炭素の多くは生きている樹木の中にあるが、枯死木や伐採後の残材も、微生物による分解を受けて徐々にCO<sub>2</sub>を排出しながらも一定期間は炭素を貯蔵している。そのため、たとえバイオマス材が間伐材もしくは収穫残渣だったとしても、持ち出して利用するのではなく、林内に残置した方がよい場合があるという主張がある<sup>28</sup>。

ただし、残材の分解速度によって、エネルギー利用と林内への残置のどちらが気候変動対策の面で意味があるかの結論は変わってくる。たとえば、径の小さい枝や幹の先端部（fine debris）のような自然状態でも数年で分解してしまうような場合は、エネルギー利用しても炭素サイクルに与える影響は少ない。反対に、径の大きな幹部は分解に時間がかかるため、エネルギー利用によるGHG削減効果は、短期で見た場合には小さくなるだろう。さらには、分解速度は材の径だけで決まるわけではなく、温度や水分条件などの影響を受けるため不確実性が大きい。

加えて、すでに述べてきたように、林内に放置された木材は、森林火災（米国・カナダ）や虫害（カナダ・欧州）、水害（日本）の拡大に繋がる恐れがある。そのため、山火事により排出される膨大な量の炭素を削減するという意味で、炭素削減クレジットを創出する動きもある。

一方で、枯死木や残材は腐食系の動物や昆虫、微生物の資源となって生物多様性の維持に貢献しており、生態系における健全な炭素循環の実現に重要な役割を果たしている。そのため、残材の一部を林内に残すことは森林認証の要求事項になったり、欧米を中心として施業ガイドラインで推奨されるようになってきている<sup>29</sup>。日本においては、北海道において保持林業の実証実験が行われているが<sup>30</sup>、そのようなガイドラインは今のところ存在しない。林地残材の利用拡大と合わせて、残材の保持に関するガイドラインの策定が求められる。

<sup>25</sup> Forest2Market (2017) Historical Perspective on the Relationship between demand and forest productivity in the US South

<sup>26</sup> 製紙原料として使われる木材は樹種や品質に指定があるため、それ以外の木材がペレット原材料となっている可能性もある。

<sup>27</sup> (一社) 日本木質バイオマスエネルギー協会 (2023年2月) 「国産燃料材の需給動向について」

<sup>28</sup> Booth, M., (2018) Not carbon neutral: Assessing the net emissions impact of residues burned for bioenergy. Environmental Research Letters, 035001, 13(3)

<sup>29</sup> Titus B., et al. (2021) Sustainable Forest biomass: a review of current residue harvesting guidelines, Energy, Sustainability and Society, 11:10.

<sup>30</sup> 柿澤宏昭ら編「保持林業 木を切りながら生き物を守る」築地書館 (2018)

### 3. 小括：利用実態のまとめ

#### (1) エネルギー利用目的で全ての森林バイオマスを利用することは経済的にありえない

以上のように、森林バイオマス利用の実態を見た場合に、丸太が全て燃料利用されることは基本的にはなく、あるとすれば災害被害木や間伐材などの低質の丸太に限られる。このような用途のすみ分けは、バイオマス材が最も安いという単純な価格メカニズムにより成立している。

このことから、成長に長期間を要する森林からエネルギー材だけを生産することは、経済的に成り立たないということも明らかである。特に、従来の林業経営では伐採までの育成期間（伐期）が数10年以上に及ぶことから、投資効果を考えると質の高い部位を高価格で販売しなければ採算が取れない。つまり、炭素負債が生じる前提となっている「せっかく育てた森林を皆伐して全てエネルギー利用する」というような状況は考えにくい。

むしろ、成長に長期間を要し、ペイバックタイムの長さが問題になるような森林は、質が高く、燃料材よりも価格の高い用材（建築や家具の原材料として使われる）を得ることを目的に育成されると考えるのが経済的に合理的であり、現実とも合致している。

一方で、紙・パルプ材を生産する目的で造成された早成樹（アカシア、ユーカリ、ポプラなど）プランテーションの材は、燃料として利用される可能性がある。しかし、こうしたプランテーションは早ければ6-7年で収穫され、炭素サイクルの時間は短い。そのため、原生林を伐採しての開発など初期の炭素ストックの減少がなければ、炭素負債の問題は回避できると考えられる。

#### (2) 森林蓄積と利用量を同時に高めることができる

ここで仮想的に、批判の前提となっているような一定面積の森林（林分）が皆伐されてエネルギー利用された場合を考えてみよう。しかし、そのように仮定した場合でも、「面的に捉えられる成長量の範囲内での伐採であれば、面的な範囲にある他の森林により吸収される」と考えることができる<sup>31</sup>。

実際に、多くの先進国において、エネルギー利用だけではなくマテリアル利用も含めて、森林の一部が伐採されて利用されてきたが、それでもなお森林の蓄積は増大傾向にある。スウェーデンでは皆伐施業が一般的であり、伐採量（緑）は増加傾向にあるものの、成長量（赤）を常に下回る水準にあり、結果として蓄積量（青）は一貫して増加している（図13）。

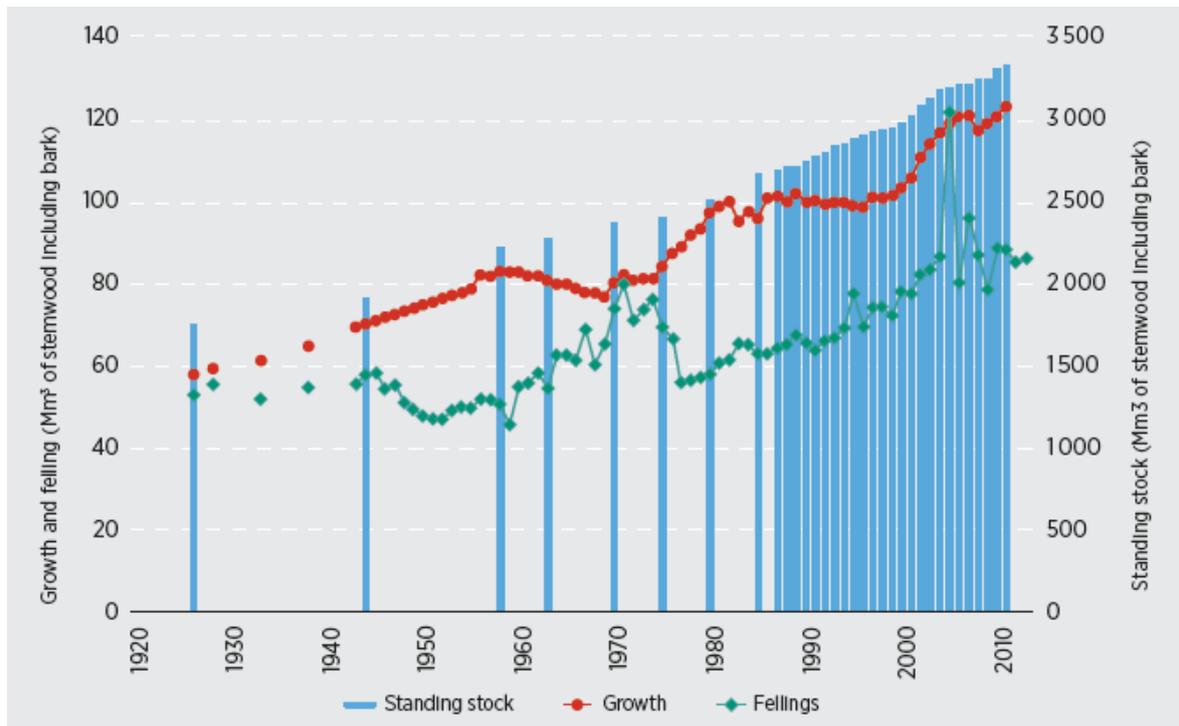
これは、適切な政策や規制、そして経済的に魅力のある市場環境が実現すれば、森林への投資を呼び込むことにより、木材利用量と森林蓄積量を同時に増加させることが可能であるということを示している<sup>32</sup>。逆に、森林バイオマスの供給が行われている人工林は、

<sup>31</sup> 加藤鐵夫（2022）「木質バイオマスエネルギー利用に関する懐疑論について」

<sup>32</sup> 米国南東部：Forest2Market (2017)前掲レポート、北方林：Sustainable boreal forest management -challenges and opportunities for climate change mitigation, Report from an Insight Process conducted by a team appointed by the International Boreal Forest Research Association (IBFRA 2021)など

経済的に利用することを前提に造成されているため、炭素の吸収源・貯蔵庫として使われることに対する経済的な対価が十分に得られない限り、農地や住宅地など別の用途に転換する恐れすらある。したがって、地域や国の成長量の範囲内で、かつ蓄積の増加が確保できるレベル内に木材の伐採量を抑えつつ経済性を追求するというのが、持続可能な森林経営の基本となっている。

図 13：スウェーデン森林における成長量、伐採量、蓄積量



出典) IRENA(2019) Bioenergy from boreal forests. Swedish approach to sustainable wood use (データソースは Swedish Forest Inventory 2018)

日本においては、第二次世界大戦後に植林された人工林が旺盛な成長を続けているのに対して伐採量が低位で推移してきたことから、利用量の伸びしろが大きいと言える。一方で、世界全体では森林が減少していることから分かるように、国や地域によっては森林の別用途（農地、宅地、産業用地など）への開発が進み、蓄積が減少している場合もある。そのような地域からの調達に当たっては、経営体レベルでの蓄積の維持・増加の確認などの追加条件が必要になるだろう<sup>33</sup>。

<sup>33</sup> EU の再生可能エネルギー指令 (RED) では、他国からの輸入を行う場合、LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry、土地利用、土地利用変化及び林業部門) 基準への適合が求められる。第一に、伐採する国がパリ協定締結国であり、NDC (Nationally Determined Contribution) の中で LULUCF における炭素増減を報告し、森林バイオマスの伐採による炭素変化についても算入されていることが必要である。加えて、伐採地域にて炭素吸収の増加を促す法律が整備されており、LULUCF での炭素排出が炭素吸収を超えないこととなっている。この基準を満たせない場合、国・地域レベルで達成不可能な場合、原料調達地域レベルで森林管理体制を構築し、長期にわたって炭素貯留量が維持、もしくは増加していることを証明する必要がある。

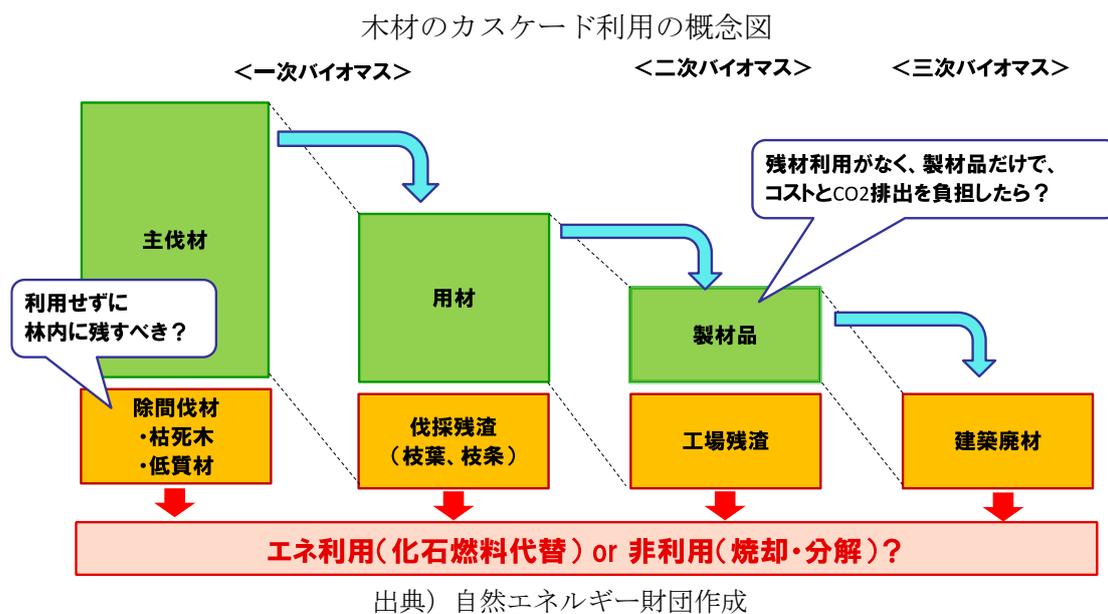
### BOX3：長寿命の MATERIAL 利用を優先させるべきか？

森林バイオマスはエネルギー利用ではなく、MATERIAL 利用、特に長寿命のもの利用を優先させるべきだという一見もったらしい主張がある。

確かに、鉄やコンクリート、プラスチックなどのエネルギー多消費素材を代替することで、木材は化石燃料由来の CO<sub>2</sub> 排出を削減できる。さらに、長寿命の製品であれば、その製品の使用期間中、樹木が吸収した炭素を大気から隔離・蓄積しておくことができる。そのため、UNFCCC のルールでは、森林から伐採された木材（Harvest Wood Products：HWP）のうち、製材と木質パネル、紙の3つの製品については、期間中の炭素量の変化を評価して計上できるようになっている。

しかし、日本の住宅の寿命は30年、商業ビルでも50年程度であり、建築廃材の多くが焼却による発電燃料として利用されているという実態を考えると、数10年単位で排出を遅らせているだけと言えなくもない<sup>34</sup>。加えて、すでに述べたように、丸太から製材して柱や板の建築用材を作る場合の歩留まりは50%程度であり（図9）、この際に発生するおが屑やかんな屑などの加工残渣（二次バイオマス）は燃料利用されており、短い期間で炭素を排出している。

したがって、長寿命の MATERIAL 利用を推進したとしても、樹木中の炭素全てを長期に渡って固定できるわけではなく、木材の MATERIAL 利用とエネルギーの利用を組み合わせることで気候変動対策効果を最大化していくことが重要である。



<sup>34</sup> 建築以外のその他の木材利用の場合の半減期は、2013年京都議定書補足ガイダンスに提示されているデフォルト値（製材：35年、合板・木質ボード：25年）が用いられている（[https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/methodology/material/methodology\\_4G.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/methodology/material/methodology_4G.pdf)）。

## IV. 企業の炭素会計における進展

すでに見たように、IPCC など科学者の知見を活用しながら、GHG の人為的排出を国レベルで計上する方法が整えられ、バイオマス由来の CO<sub>2</sub> の取り扱いについても基本的な整理が行われている。これに加えて、企業単位で算定方法も、国レベルでの方法論も参照しながら整備されてきた。企業単位の算定方法においては、サプライチェーンをたどれば国をまたぐ場合でも理論上はかなり正確に把握できるということもあって、より精緻な計上が求められるようになりつつある。

さらに近年は、森林減少の停止や BECCS や森林吸収による除去量の的確な把握などのニーズが高まっていることから、土地利用セクターに特化したガイダンスが整備され、植物による吸収から利用による排出、そして貯蔵までの流れ（フロー）をグロスで把握した上で、各炭素プールのストックの変化をネットで開示していこうという方向性が見られる。このため、IPCC ガイドラインに従った国レベルの算定と異なる部分も出てきており、的確な理解が重要になってきている。

### 1. 企業レベルでの算定方法の現状

#### (1) GHG プロトコル

企業も排出量を算定・報告することが求められるようになり、日本では、省エネ法の枠組みも活用しつつ 2006 年に温対法で企業の算定・報告制度が整えられた<sup>35</sup>。国際的には ISO なども参照しつつ様々なスキームが存在する。

WRI（World Resources Institute）と WBCSD（World Business Council for Sustainable Development）が、企業の統一的な報告ツールとして開発してきた GHG プロトコルもその一つである。企業の自主的な持続可能性関連情報の開示を求める CDP<sup>36</sup>や TCFD<sup>37</sup>/ISSB<sup>38</sup>などの枠組みでも利用が推奨され、事実上の世界標準になっていると言ってよい。

GHG プロトコルでは 2001 年に最初の Corporate Standard が作成された後、2004 年に改訂が行われたが、現在もこれが用いられている。この中で、バイオマス燃焼からの直接的な CO<sub>2</sub> 排出は、スコープ 1 には含めなくてよいことが明確に書かれている。つまり、自社でバイオマス燃料を使用したとしても、直接排出として計上する必要はない。ただし、別に報告しなければならないとされており、これは IPCC ガイドラインと同じアプローチと言える。また、バイオマス燃料の製造や輸送に伴う排出は、スコープ 3 に含まれる。

さらには、Standard 中の事例を見ると、スコープ 2 で調達できる自然エネルギー電力の中

<sup>35</sup> <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/about>

<sup>36</sup> イギリスで設立された国際的な環境非営利団体（NGO）。世界の企業に対し、二酸化炭素排出量や気候変動への取り組みに関する質問書を出して情報を収集し、その情報を開示している。

<sup>37</sup> 気候関連財務情報開示タスクフォース（Task force on Climate-related Financial Disclosures）。G20 の要請を受けて金融安定理事会（FSB）によって設立。企業等に対し、気候変動関連リスクおよび機会に関する情報開示を推奨する。

<sup>38</sup> 国際サステナビリティ基準審議会（ISSB）。TCFD の原理原則に基づいて、開示基準を具体化した。

にバイオマス由来電力が含まれていることから、調達電力についてもバイオマスの CO<sub>2</sub> 排出は、少なくとも当初はゼロとされていたと考えられる。

(第4章活動境界の設定、基準、スコープ1) 生物的に固定化された炭素から直接排出される CO<sub>2</sub> (バイオマス/生物燃料の燃焼から出る CO<sub>2</sub> 等) についての排出データ (スコープ排出とは別に報告する)。

出典) 温室効果ガス (GHG) プロトコル 事業者排出量算定報告基準 改訂版 (財団法人地球産業文化研究所 仮訳)

## (2) SBTi のガイドライン

SBTi (Science Based Targets Initiative) は、科学に基づく目標設定を企業に求めるイニシアチブである。全セクター共通の **Criteria and Recommendation** に従って、適切な現状把握、目標設定及び進捗の開示を行う。これに加えて、セクター別のガイダンスを出版しており、2023年9月時点で14セクターをカバーしている。

GHG の算定・報告には、GHG プロトコルの方法論が用いられるが、全セクター共通の **Criteria and Recommendation** の中に一部独自の記述がある。バイオマスの製造・運搬、そして燃焼時も含めた CO<sub>2</sub> の取り扱いについては、会社の GHG インベントリとは別に計上しておくことが必須 (shall) である (要件10)。これは、IPCC や GHG プロトコルと同様の方法と言える。

一方で、燃焼時の CO<sub>2</sub> 排出量を目標バウンダリに含めることが求められている点が SBTi の特徴である。バイオマス製造・運搬などにかかる排出は、通常の産業活動と同様に、省エネや再エネの活用により脱炭素化を計っていくことが当然である。ただし、バイオマス燃焼による炭素排出量を化石燃料の排出同様に削減すべきだと SBTi が主張しているわけではないことに注意が必要である。

- 要件10-バイオエネルギー算定：バイオエネルギーの燃焼、加工、配送工程からの CO<sub>2</sub> 排出および、バイオエネルギー原料に伴う土地利用の排出と除去は、企業の GHG インベントリとともに報告することが必須です。さらに、これらの排出は、(スコープ1, 2, そして/または該当する場合はスコープ3について) 科学に基づく目標の設定、目標の進捗を報告する際のバウンダリに含めることが必須です。
- 土地関連排出量の算定については、直接土地利用変化 (LUC) からの CO<sub>2</sub> 排出と、土地利用管理からの N<sub>2</sub>O と CH<sub>4</sub> を含む非 LUC からの排出を含むことが必須です。間接的土地利用変化に関連する排出を含めることは任意です。
- 企業はバイオエネルギー算定についての追加の GHG プロトコルガイダンスが公表された場合、要件10への遵守を維持するべく、これに従うことが期待されます。
- C10 — Bioenergy accounting: CO<sub>2</sub> emissions from the combustion, processing and distribution phase of bioenergy- as well as the land use emissions and removals associated with bioenergy feedstocks -shall be reported alongside a company's GHG inventory. Furthermore, these emissions shall be included in the target boundary when setting a science-based target (in scopes 1, 2 and/or 3, as required) and when reporting progress against that target.
- Land-related emissions accounting shall include CO<sub>2</sub> emissions from direct land use change

(LUC) and non-LUC emissions, inclusive of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from land use management. Including emissions associated with indirect LUC is optional.

- Companies are expected to adhere to any additional GHG Protocol Guidance on bioenergy accounting when released in order to maintain compliance with criterion 10.

出典) SBTi Criteria and Recommendations (TWG-INF-002, Version 5.1) April 2023。仮訳は、CDP ジャパンの Ver5.0 の日本語版を参考に自然エネルギー財団が行った。

一方で、推奨事項 (R4) の中には、バイオマスからの直接的な炭素排出に加えて、バイオエネルギーによる除去 (BECCS) を、それぞれ開示することが推奨されている。これにより、原材料生産過程の植物による吸収から始まるライフサイクルにおける吸収と排出の実態を把握した上で、ネットで排出になっていないことの確認を行うことが求められていると解釈できる。

- 推奨事項 4-バイオエネルギーデータの報告：SBTi は、企業が直接的な生物由来 CO<sub>2</sub> 排出量と除去量について、それぞれ別に報告することを推奨しています。バイオエネルギーに関わる CO<sub>2</sub> の排出量と除去量については、C10 要件に基づき最低限でもネット (差し引き後) 排出量にて報告することが必須 (shall) ですが、バイオエネルギー原料からの総排出量と総除去量についても別々に報告することが推奨されています。
- R4- Bioenergy data reporting: The SBTi recommends that companies report direct biogenic CO<sub>2</sub> emissions and removals from bioenergy separately. Emissions and removals of CO<sub>2</sub> associated with bioenergy shall be reported as net emissions according to C10, at a minimum, but companies are encouraged to also report gross emissions and gross removals from bioenergy feedstocks.

出典) SBTi Criteria and Recommendations (TWG-INF-002, Version 5.1) April 2023。Ver5.0 と同じであるため、和訳は CDP ジャパンの日本語版による。

## 2. 近年の議論：土地利用セクター内での算定方法の詳細化

これらの全ての企業に関わる一般的な方法論に加えて、土地利用セクター固有の事情を勘案した当該部門の算定ルールを整備し、排出・除去量をより詳細に見ていこうという動きがある。特に、土地利用セクターからの排出が現在でも全世界排出量のおよそ 2 割を占めており、森林減少の早期停止が急務であることが背景にある。

加えて、BECCS などのネガティブエミッションの計上、バイオマス由来炭素を原材料とするプラスチック製造などのためには、土地利用セクターにおける炭素除去から利用・廃棄時の排出までを辿ることが二重計上を防ぐ観点からも重要になっている<sup>39</sup>。

### (1) GHG プロトコル: Land Sector and Removals Guidance

GHG プロトコルでは、土地セクター・除去ガイダンス (Land Sector and Removals Guidance) が策定中である (2023 年 9 月時点)。2022 年 9 月にはすでに原案が公表されていたが、それ

<sup>39</sup> 相川高信 (2023) 「バイオマスシステムによる炭素除去の可能性と課題：実装に向けた世界の現状分析から」エネルギー・資源 Vol.44 No.3., pp41-44.

に対して 3,000 件以上のパブリックコメントが寄せられ、その反映について検討が行われているところである<sup>40</sup>。実施上の細かい論点は残されているものの、基本的な考え方は大きく変わらないと想定されることから、ここでは 2022 年 9 月の原案に基づいて解説を行う。

このガイダンスに基づく開示は全ての企業が対象となるが、特に重要になる企業の種類は例示されている（表 1）。農地や森林を所有する企業や、そこから生産される農産物や林産物を生産する企業だけではなく、それを購入、消費、加工、販売する企業が含まれる。対象となる製品は、食品などの消費財に加えて、バイオエネルギーも含まれている。

表 1 意図されるガイダンスの読み手（企業の種類）

バリューチェーンの種類	企業の種類
農業、林業、その他の土地に依拠したバリューチェーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>土地を所有もしくは管理する企業（農産物、林産物など）</li> <li>生産者に供給する会社</li> <li>食料、繊維、飼料、林産物、バイオエネルギー、その他の生物製品を購入、消費、加工、販売する企業（食品・飲料・消費財企業、バイオエネルギー生産・使用企業、バイオマテリアル生産・使用企業、小売企業）</li> <li>生物起源 CO<sub>2</sub> を貯蔵する会社</li> </ul>
技術的な CO <sub>2</sub> 除去のバリューチェーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的 CO<sub>2</sub> 除去設備を所有もしくは管理する企業</li> <li>技術的 CO<sub>2</sub> 除去製品を購入、消費、加工、販売する企業</li> <li>技術的除去による CO<sub>2</sub> を貯蔵する会社</li> </ul>

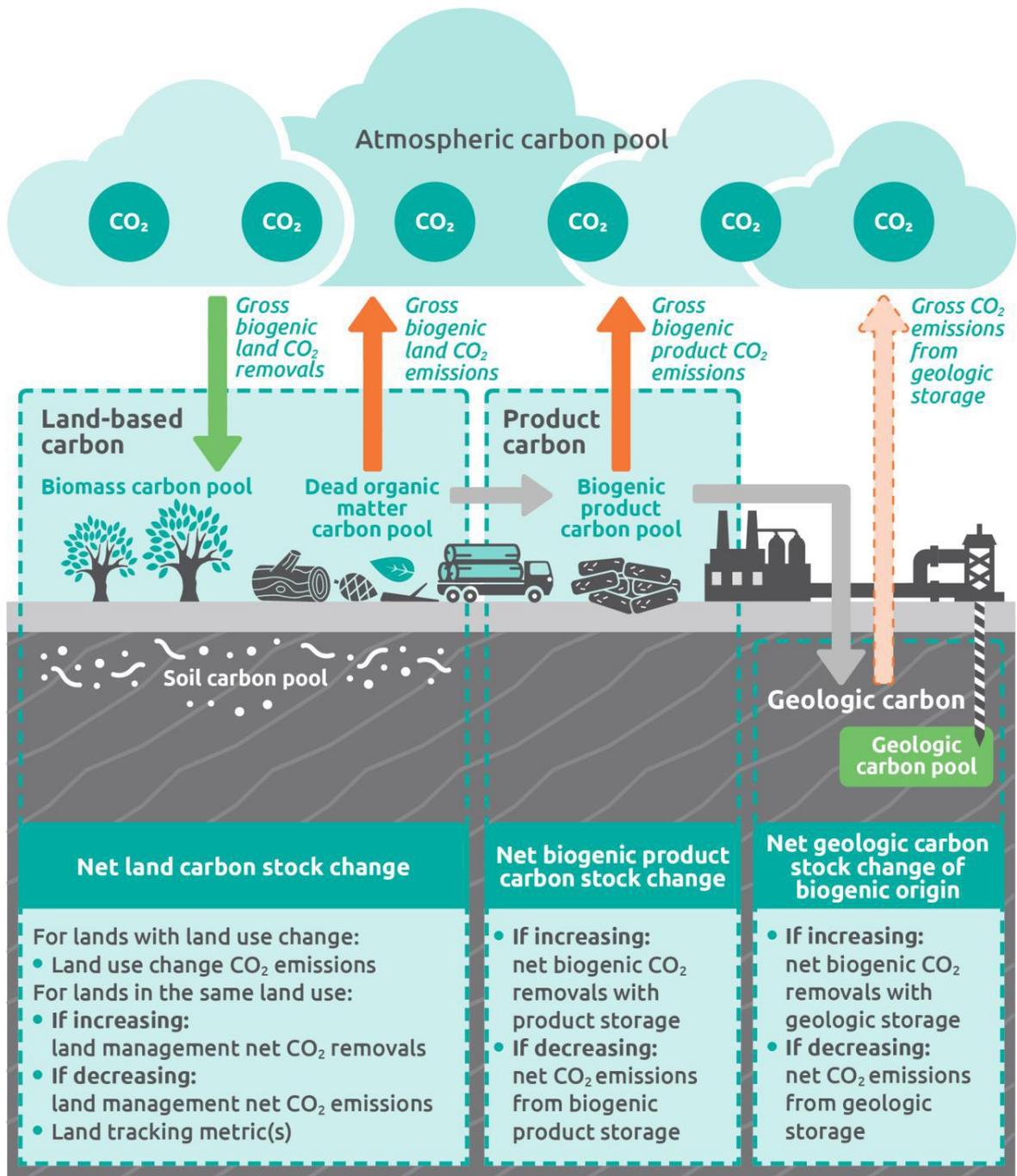
出典) GHG プロトコル Land Sector and Removals Guidance 表 1.1 より作成

GHG プロトコルにおけるバイオマス起源炭素の計上方法は、関係する全ての炭素プール（大気、土地、製品、地質）の蓄積（ストック）量の変化ならびに、プール間の変化量（フロー）を可能な限り網羅的に把握しようというものである（図 14）。具体的には、森林による吸収および排出によるグロスのフローを考慮した上で、ネットでのストック量の変化を開示する。加えて、（燃料も含め）製品として利用された後に排出される炭素量も把握することを求めている。

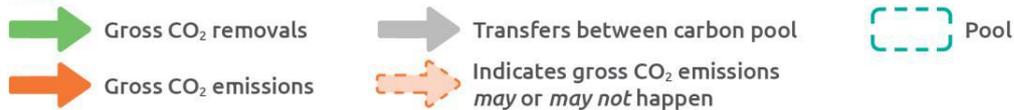
しかし、このことは「バイオエネルギーはカーボンニュートラルにはなり得ない」ということを意味しない。むしろ、バイオエネルギーやバイオマス製品の生産者や利用者が、森林蓄積量の的確な把握により炭素蓄積が減少していないことを確認できる場合においては、大気中の CO<sub>2</sub> 量を増やすことなく化石燃料を削減していることを明確に訴求できるようになる。また、炭素クレジットにおける吸収源として森林を活用する場合においても、伐採や木材利用によって排出が生じているのであれば、その実態も開示することが求められていることになる。

<sup>40</sup> <https://ghgprotocol.org/blog/land-sector-and-removals-guidance-topline-themes-stakeholder-feedback>

図 14：生物炭素サイクル内部での炭素ストックの変化とフロー（流れ）



**Key:**



*Note:* Gross CO<sub>2</sub> fluxes using flow accounting are presented as arrows above the pools; stocks are presented as dotted boxes; net CO<sub>2</sub> fluxes using stock change accounting are presented below the pools; required reporting categories are in bold.

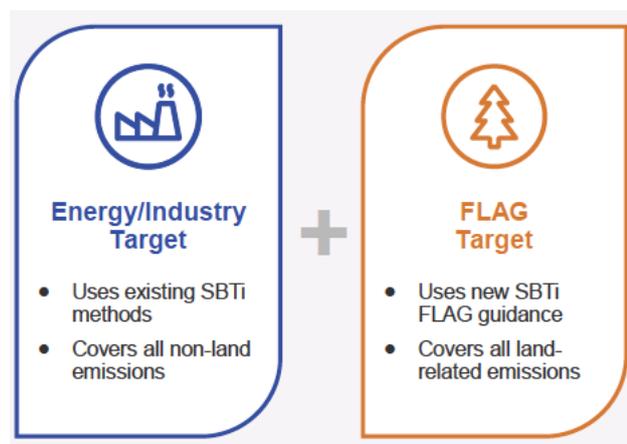
出典) Land Sector and Removals Guidance, Draft for pilot testing and review (September 2022), GHG Protocol

## (2) SBTi: FLAG Guidance and Tool

一方、SBTiでは、FLAG (Forest, Land and Agriculture) セクターについての目標設定ガイダンスを2022年9月に公表している。土地集約型活動を行っているセクター（林産物・紙製品、食糧生産、食品・飲料加工、食品小売業、たばこ）に所属する企業、そして別のセクターであってもスコープ1～3の合計排出量の20%以上が森林、土地、または農業に起因する場合は対象となる。

FLAGで考慮される排出量と吸収量は、土地利用変化、土地管理、炭素吸収や蓄積量への変化など土地利用部門に関わるものであり、バイオエネルギーを含めたエネルギー使用に伴う排出については、非土地利用部門（エネルギー・産業部門）の中で取り扱われることになっている（図15）。そのため、バイオエネルギーを生産・利用する企業は、それぞれ一般のSBTiガイダンス、もしくは交通や航空など特定のセクターのガイダンスに従うことになる。したがって、FLAGセクターの企業がバイオエネルギーを利用する場合についても、FLAGの中でバイオマス由来の排出を計上せずに、一般のSBTiのバイオエネルギー基準（要件10）に従うことが求められていると理解される。

図15：SBTiにおけるFLAGとEnergy/Industry目標の関係



出典) SBTi Forest, land and Agriculture (FLAG) Launch of FLAG Guidance and tool (September 2022)

このようにSBTiのFLAGガイドラインは、エネルギー利用によるバイオマス起源CO<sub>2</sub>の排出量を管理することが主な目的ではない。主要な要求事項は下記の5項目である。FLAG対象企業は全て森林減少ゼロ目標にコミットすることが求められており、これらの点が重要視されていることが分かる<sup>41</sup>。

- 科学に基づく短期のFLAG目標設定を行うこと（Set near-term FLAG science-based targets）
- 科学に基づく短期のFLAG目標設定において、除去を考慮すること（Account for

<sup>41</sup> <https://sciencebasedtargets.org/sectors/forest-land-and-agriculture>

removals in near-term FLAG science-based targets)

- 科学に基づく長期の FLAG 目標設定を行うこと (Set long-term FLAG science-based targets)
- 2025 年までに森林減少ゼロ目標を定めなければならない (Zero deforestation targets must be set for no later than 2025)
- 化石燃料由来排出について科学に基づく目標設定を行うこと (Set science-based targets for fossil emissions)

なお、FLAG ガイダンスは、非 FLAG セクターの削減目標に FLAG での除去量を使用すること、つまり、一般産業の化石燃料使用由来の排出を森林由来の排出削減量や除去量でオフセットすることを認めていない点も重要である。

このため、FLAG 部門と、通常のエネルギー・産業部門は、それぞれ独立にネットゼロを目指すことになる。そして、この枠組みの中で FLAG 部門のネットゼロが成立すれば、生産されたバイオエネルギーは排出ゼロの燃料としてエネルギー・産業部門で活用することができる。

## V. まとめ：「やっかいな問題」を超えて

森林バイオマスの炭素会計の問題は、前提の置き方によって、導かれる結論が異なる「やっかいな問題」の様相を呈している。本稿は建設的な議論を期待し、利用の実態や企業の炭素会計における最新動向を整理して紹介してきた。最後に、今後の議論において重要だと思われるポイントを以下のとおり3つに絞って示し、まとめとしたい。

### 1. 森林システム全体で考えること

主に第Ⅲ章で説明したように、木質バイオマスの利用実態を踏まえれば、「炭素負債」を発生させるような一定面積の森林を皆伐してその全てを燃料利用するというようなケースは想定しにくい。むしろ、森林・林業・木材産業システム全体の中に、残渣や廃棄物を中心とした木質バイオマスのエネルギー利用は組み込まれており、システム全体としての気候変動対策効果を最大化させることに貢献していると言える。

このことは、IPCCが第6次評価報告書の中で、木材の利用も含めた森林・林業・木材セクター全体で気候変動対策効果を最大化させることが必要であると結論づけていることと同じである<sup>42</sup>。日本の林野庁も、米国農務省の図を引用して同じことを主張している（図16）。同様に、欧州森林研究所の分析によれば、欧州での残渣のエネルギー利用はすでにポテンシャルの限界に近づいているものの、木材を鉄やコンクリート、プラスチックなどの代替として用いる場合のCO<sub>2</sub>削減効果のかなりの部分は、製造工場における残渣系木質バイオマスのエネルギー利用によるものになっている<sup>43</sup>。

図16：森林・林業・木材セクター全体の気候変動対策効果



出典) 林野庁「森林由来 J-クレジットの創出拡大」

<sup>42</sup> IPCC (2022), AR6 WGIII, Chapter 7: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU)

<sup>43</sup> Verkerk, P.J., Delacote, P., Hurmekoski, E., Kunttu, J., Matthews, R., Mäkipää, R., Mosley, F., Perugini, L., Reyer, C. P. O., Roe, S., Trømborg, E. 2022. Forest-based climate change mitigation and adaptation in Europe. From Science to Policy 14. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs14>

## 2. 地域の実態の理解に基づいた政策・制度を整えること

一方で、森林減少や生物多様性の喪失を食い止めることが喫緊の課題であり、バイオエネルギー利用とのトレードオフが回避されなければならないことも確かである。こうしたグローバルな森林問題への関心に加えて、森林バイオマスのエネルギー利用実態のわかりにくさが不安を増幅させ、否定的な意見に繋がっていると推察できる。しかし、大切なことは、本稿で示したように、各地域における実態を的確に理解し、それに基づいた政策・制度を構築することである。

2022年7月にEUでは、バイオマスのカスケード利用原則を徹底し、一定規模以上の発電・熱利用プラントにおいて丸太形状の森林バイオマスのエネルギー利用を禁止するという提案（REDⅢ提案）が行われた<sup>44</sup>。しかし、その後の欧州議会、欧州委員会、閣僚理事会の三者協議の結果、加盟国の裁量を高める修正が行われる見込みである<sup>45</sup>。具体的には、マテリアル利用ができる丸太に対しては補助を出さないということを原則としつつ、国ごとの森林や市場の状況を考慮して、加盟国がエネルギー利用できる森林バイオマスの定義を決められることになった。

一方、日本の場合は、FiT制度における木質バイオマスは林野庁の所管となっているため、森林・林業政策を反映して未利用間伐材の利用を推奨する制度としてきた。輸入バイオマスについては、合法性ガイドラインなど森林・林業政策の既存制度を援用することになり、生産国の状況を考慮した上で持続可能性が確認されているか不明瞭な状況である<sup>46</sup>。

日本の政策に対する批判の多くも、海外における原生林の保護や生物多様性の保全も含め、持続可能な森林経営を毀損しないためのバイオエネルギー利用制度の整備・強化を求めるものである。その点で、炭素負債や炭素中立性の問題は、政策的な対応を求めるための論拠の一つだと捉えることもできる。したがって、日本も含めた生産国の実態を的確に把握してリスクを分析し、持続可能な森林経営を確保できる実効性の高い制度の構築を急ぐ必要がある。

## 3. 企業の情報開示を促していくこと

政策的対応が急がれる一方で、現状の日本で持続可能性基準の適用対象となるのは、FiT制度の枠内のみである。今後非FiT案件が増えてくると想定される中で、FiT制度がベンチマークとして規範的に働くことを期待しつつも、木質バイオマス利用一般について持続性を担保することが課題となっている。

その点で、企業の自主的な情報開示の枠組みが重要になってくる。第IV章で詳述したように、TCFD/ISSBやCDPなど企業活動の持続可能関連情報開示の枠組みの中では、詳細な炭素会計が求められるようになってきている。さらには、社会的なものも含めたバイ

---

<sup>44</sup> [相川高信「欧州議会 REDⅢを可決 再エネとしての森林バイオマスは現状比率を維持へ」\(2022年9月28日\)](#)

<sup>45</sup> Bioenergy Europeの[声明](#)による。本稿執筆時点(2023年7月)時点では、三者協議の[合意文書](#)が公表されているが、成文化はまだ行われていない。

<sup>46</sup> 木質バイオマスの持続可能性確保の問題については、[自然エネルギー財団\(2020\)「木質バイオエネルギーの持続可能性について 温室効果ガス削減に資する持続可能性確保の制度化」](#)を参照のこと。

オマスの広範な持続性について、様々な情報開示が求められるようになっている。たとえば、CDP は、持続可能に調達されたバイオマスとそうでないものを区別して記載するとともに、その証明には第三者認証の活用を推奨している。電力ユーザー企業のイニシアチブである RE100 も、CDP が技術面でのパートナーを務めていることもあって、ほぼ同様の要求を行っている。具体的には、RE100 の技術要件では、水力発電とバイオエネルギー発電の環境負荷や持続性に関して、北米で標準的に使われている Green-e などを参考に確認することを推奨している<sup>47</sup>。

こうしたことから、制度的な要求を最低要件としつつ、自然エネルギーとしての価値を遡及していくためには、バイオエネルギー全般について持続可能性の証明が必ず求められるようになりつつあると言える。

---

<sup>47</sup> 自然エネルギー財団（2023）「企業・自治体向け電力調達ガイドブック第 6 版（2023 年版）」

解説

## バイオマス炭素サイクルの気候中立性

森林バイオマスの「炭素負債」論争を理解する

2023年9月

**公益財団法人 自然エネルギー財団**

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-10-5 KDX虎ノ門1丁目ビル 11F TEL:03-6866-1020(代表)

[info@renewable-ei.org](mailto:info@renewable-ei.org)

[www.renewable-ei.org](http://www.renewable-ei.org)