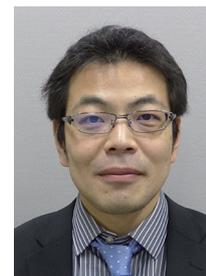


ネガティブエミッションの役割

加藤 悦史 (プロジェクト試験研究部
地球環境グループ 副部長)



1. 世界全体での人為的 CO₂排出の推移

産業化以降の人類の活動により、化石燃料の利用により排出される二酸化炭素 (CO₂) は増加の一途を辿ってきました。2020年の世界全体での化石燃料および産業プロセス由来の人為的 CO₂ の排出量は、新型コロナウイルスのパンデミック (世界的大流行) の影響により、 $34.8 \pm 2 \text{ Gt-CO}_2$ と、2019年より大きく減少しました。ただし、この減少は一時的なもので、2021年の排出推定値は $36.4 \pm 2 \text{ Gt-CO}_2$ と、2020年より4.9%上昇しています。この値は、前年の2019年排出量とほぼ同等であり、図1で示しますように、過去の排出トレンドの延長上にあります。

人為的に排出された CO₂ は、地球規模の炭

素循環によってどのような収支になっているのでしょうか。この10年を見ると、図2に示しますように、排出の89%が先ほどみた化石燃料および産業由来の排出となっています。その他に、森林伐採など土地利用の変化による排出が11%を占めます。一方、排出された CO₂ は、陸域生態系と海洋によって、それぞれ29%と26%が吸収され、残りの48%が大気中に残存しています。

このような CO₂ の排出と吸収のバランスにより、図3に示しますように、大気中の CO₂ 濃度は増加し、産業化前の280ppmから現在の415ppmを超える値となっているわけです。また、累計でみた産業化以降の人類の CO₂ 排出量は 2475 Gt-CO_2 と推計されています。

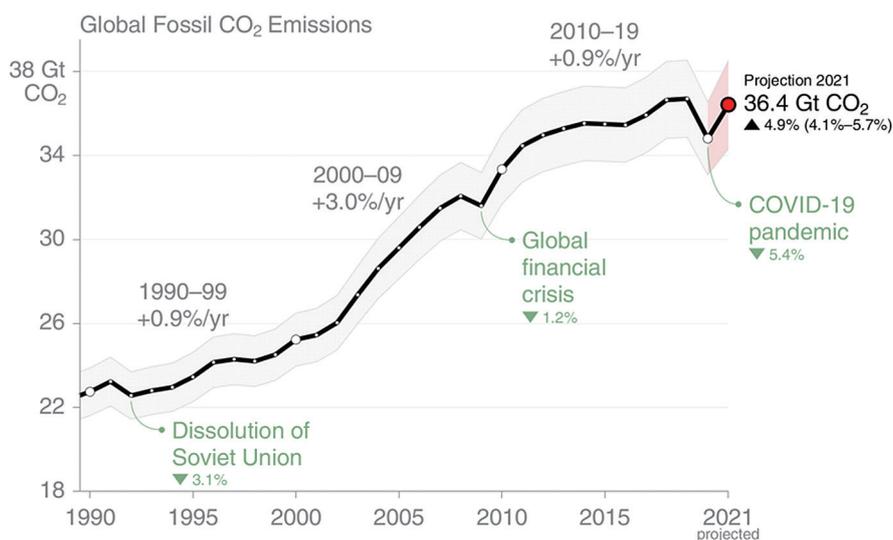


図1 化石燃料起源および産業プロセスからの CO₂ 排出 (1)

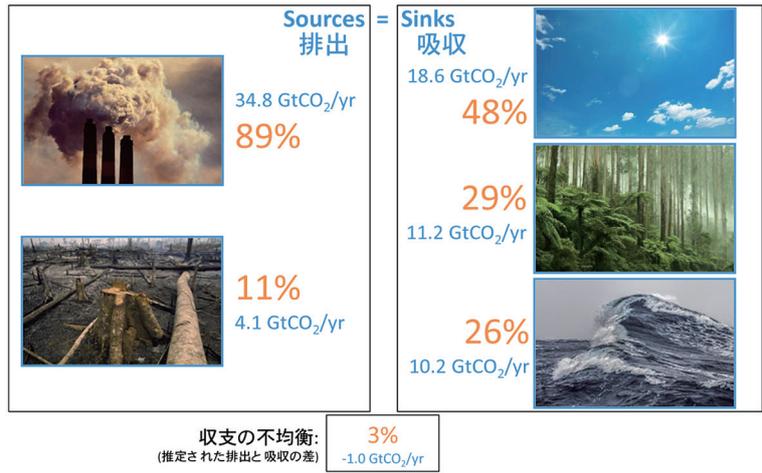


図2 人為的 CO₂排出の行方 (1)

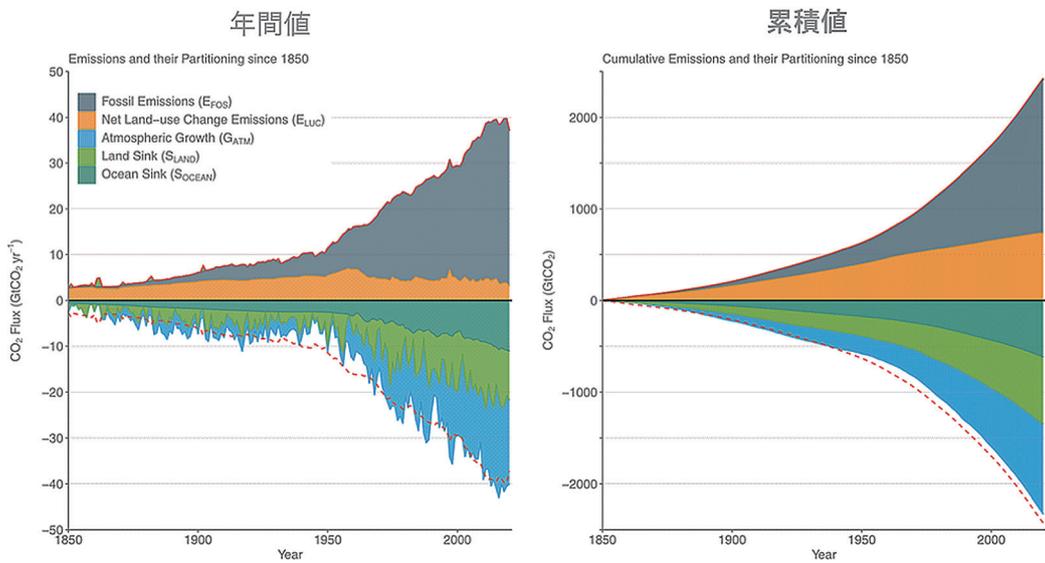


図3 産業化以降の人為的な CO₂排出と吸収のバランス (1)

2. パリ協定の長期目標と炭素管理の必要性

2015年11月の国連気候変動枠組条約第21回締結国会議(COP21)においてパリ協定が採択され、すでに5年以上が経過しました。依然として世界全体の排出量はパリ協定が目指す経路とは大きく乖離しているわけですが、2020年前後より、今世紀半に向けたカーボンニュートラルへの各国の戦略表明が進み始めています。つまり、パリ協定の第4条1項に

書かれている、「できる限り早期に世界の温室効果ガス(GHG)の排出量をピークアウトし、今世紀後半には人為的な温室効果ガス(GHG)の排出と吸収による除去の均衡」、つまり人為的なGHG排出を正味でゼロ(ネットゼロ)にする長期目標に整合的な動きが各国から表明されているわけです。

2021年8月、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)から出版された第一作業部会の「第6次評価報告書」では、最新の気候科学のレビューにより、産業化以降の温暖化を

1.5°C, 1.7°C, 2°C に抑えるための「残余カーボンバジェット」が記載されています。産業化以降の人為起源の累積の炭素排出と温暖化のレベルには直線的な関係があるので、温度上昇をあるレベルまで抑えるためには、人為的な排出量の累積値の上限がおおよそ決まるというわけです。1.5°C, 1.7°C, 2°C に抑えるための残余カーボンバジェットは、図4に示しますように、それぞれ420 GtCO₂, 770 GtCO₂, 1270 GtCO₂であり、現時点の排出が今後続く場合には、残りはそれぞれ11年, 20年, そして32年分となります。

このように、パリ協定の長期的な温度抑制目標の達成には、今後排出可能なCO₂の量には厳しい制約があり、気温上昇を1.5度以下に抑える排出シナリオでは、2050年頃に世界

全体の排出量がネットゼロCO₂となる経路が描かれています。

図5では、各シナリオのネットCO₂排出(実線)と総排出量(灰色面)と総吸収量(0以下の黄色およびオレンジ面)が描かれています。この総吸収量を達成するために必要とされる技術が、大気中から人為的にCO₂を除去するネガティブエミッション技術(NETs: Negative Emissions TechnologiesあるいはCDR: Carbon Dioxide Removal)と呼ばれるもので、これは典型的な4つの経路すべてに必要となります。

このうち「P3シナリオ」を例にとり、その排出経路の内訳を図6で説明します。まず、2030年から2055年頃に向け、各エネルギーセクターの急激な排出削減が必要となります。発電および民生部門に関しては、長期的にはほぼゼロエ

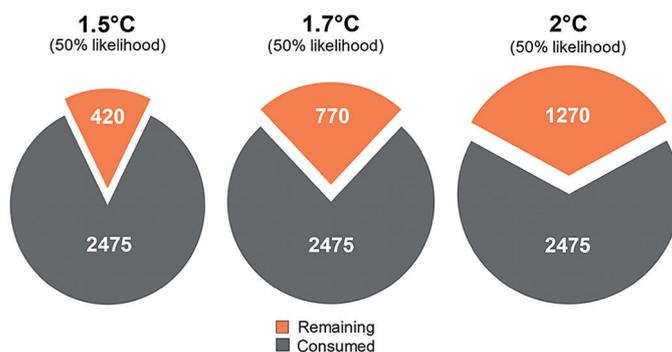


図4 残余カーボンバジェット (1) (2)

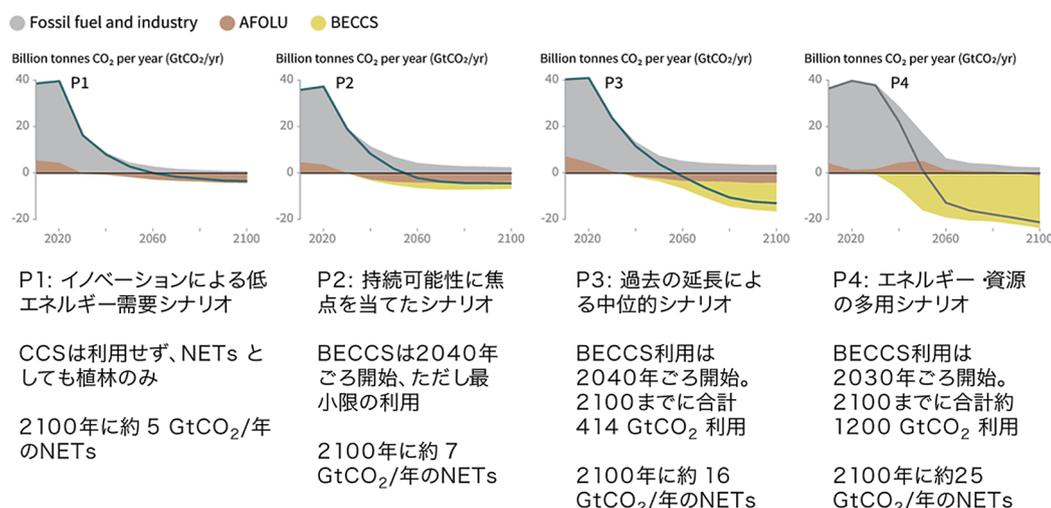


図5 1.5°Cシナリオにおける人為CO₂排出経路の4類型 (3)

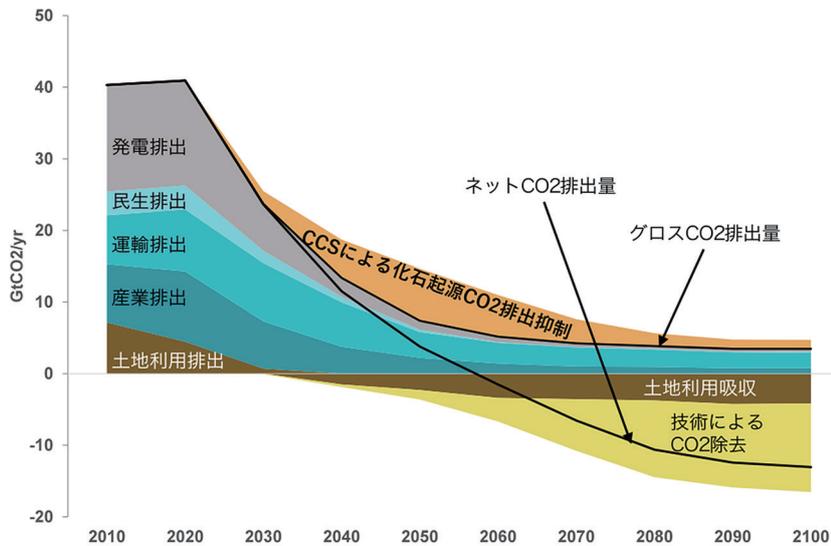


図6 1.5°CシナリオのCO₂排出経路の内訳⁽⁴⁾

ミッション（大気中へのCO₂排出ゼロ）の達成がなされる一方、運輸と産業部門に関しては、「hard-to-abate セクター」と呼ばれる重工業や長距離運輸等の排出が一部残る形になるため、人為的な土地利用や工業的技術にCO₂を除去するネガティブエミッション技術を2030年過ぎから利用していることが分かります。

3. ネガティブエミッション技術詳細とポートフォリオ

このように、大気中のCO₂を除去・隔離する技術が必要となるわけですが、その方法と

して、さまざまな技術が期待されています。主要なネガティブエミッション技術を図7に示します。

大気中から回収したCO₂の隔離時間の違いによって、自然生態系の中へ数十年単位で一時的に大気中のCO₂を移動するものと、地質・鉱物的により長い時間スケールで炭素を隔離するものに分類することができます。技術的に成熟しており、現在でも低コストで利用可能な自然生態系を活用したネガティブエミッション技術の利用開始と、長期間に隔離可能な技術の研究開発実証によるスケールアップが、この10年で求められています。

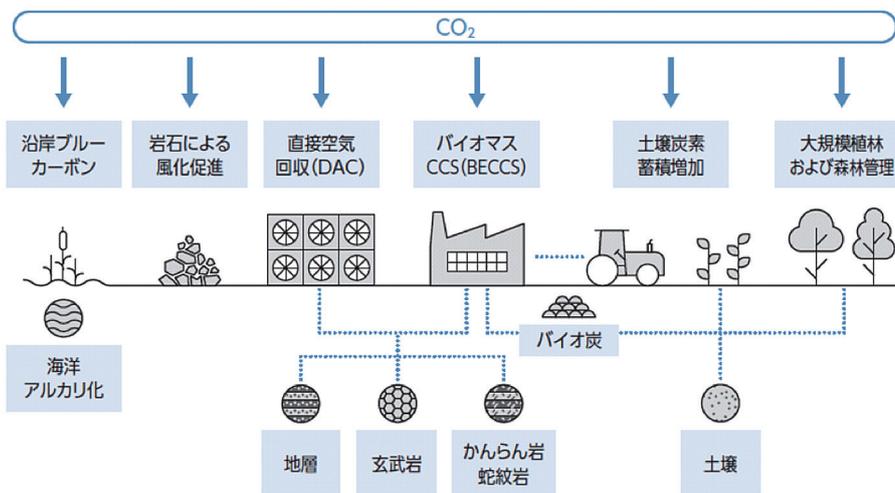


図7 主要なネガティブエミッション技術⁽⁵⁾

4. 直接空気回収に対する関心の高まり

ここ数年、ネガティブエミッション技術のうち大気中CO₂の直接空気回収(DAC: Direct Air Capture)が注目を集めています。DACを開発する民間企業もあり、本稿では3件の海外事例を紹介します。いずれも2010年前後に「スタートアップ」として動き出し、現在では年間1万t-CO₂のスケールの実施段階に移行しつつある状況となっています。

カナダで2009年に設立されたCarbon Engineering社は、アメリカのOxy Low Carbon Ventures社と共同で、「1 PointFive プロジェクト」によって、年間100万t-CO₂規模のDAC設備を2022年建設開始する予定となっています。

スイスでは、2009年設立のClimeworks社が開発したDACが、2021年現在、ヨーロッパを中心として15プラントが稼働中です。2020年にはDAC開発に1.1億ドルの民間投資を受けたことが発表されています。

アイスランドでは、DACと地中でのCO₂鉱物化を組み合わせた「Orcaプロジェクト」で、年間4000t-CO₂を除去する設備(モジュラー型のDAC設備1基で500t-CO₂)が2021年に稼働しました。

アメリカでは、2010年設立のGlobal Thermostat社が以前からDACの低コスト化を表明しています。また、米国エネルギー省から250万米ドルの資金を得たエンジニアリング会社Black & Veatch社がGlobal Thermostatの回収技術を利用し、2021年7月、年間10万t-CO₂のDACCSプロジェクトを開始しています。

5. 様々な課題

これまで見たように、ネガティブエミッション技術の必要性の理解がなされ、研究開発の実施が始まってきていますが、様々な課題の解決が必要です。

まず、ネガティブエミッション技術は、緩

和策の代替ではないという点について、政策的な理解が重要とされています。つまり、1.5°Cの温暖化抑制シナリオ例でも見たように、緩和策とネガティブエミッション技術のいずれも同時に実施していく必要があります。排出削減の目標として、排出総量、除去量を個別に設定する案も考えられています。

また、土地利用ベースの自然生態系を利用した技術(nature based solution)の過大評価に注意することも必要である。例えば、植林として「1兆本の木イニシアチブ」(trillion of trees)が提唱されていますが、利用可能な土地、食糧生産との競合、炭素蓄積増加に関する検証など、炭素除去能力が過大に推定されている可能性も指摘されています。また、生態系を利用するため、気候変化の影響や、実施後の人為的な攪乱によって、大気中にCO₂が放出されるリスクも考慮する必要があります。

一方、海洋ベースの技術については、効果、実施可能な時空間スケール、気候、環境、社会経済との相互作用などについて理解が不十分であり、さらなる研究が求められます。

CO₂除去という目的を達成するためには、制度設計や、実施に向けたインセンティブ設計、およびビジネス化が課題となります。この点において、今世紀半ばから後半にかけて想定されるビジネスの規模は大きいです。つまり、100ドル/t-CO₂の技術を年間10Gt-CO₂規模で実施するのであれば、その市場は年間10兆ドルと想定されています。そのため、すでに自主的炭素市場では大気中のCO₂除去に特化した市場も動き始めており、CO₂除去量の計算ルールとして、透明性の確保、科学に基づいた方法論、国際標準の策定が課題となっています。

6. まとめ

パリ協定の長期目標達成のためには、2030年頃からの大規模なネガティブエミッション技

術の利用が科学的に指摘されていることを見ってきました。その後の 2050 年に向けたネガティブエミッション技術のスケールアップの重要性とそのポートフォリオの確立が必要です。

そのためには、コスト的に見合いかつ副作用を避けた土地利用関連のネガティブエミッション技術の早期実施および革新技术(DAC, 鉱物化など)によるスケールアップに向けた研究開発(RD&D)がこの10年で必要です。そのような認識に加え、将来の市場を見込みのもと、RD&D およびガバナンスに向けた動きは着実に動き始めています。

CO₂ 除去の必要量と他の SDGs (持続可能な開発目標) との関連(コベネフィット, 副作用)を総合的に考慮した、地域ごとに最適な技術ポートフォリオによる実施プランを策定する必要があります。

参考文献

- (1) Pierre Friedlingstein et al., "Global Carbon Budget 2021," ESSD, November 2021
- (2) IPCC, "Climate Change 2021 : The Physical Science Basis," August 2021
- (3) IPCC, "Global warming of 1.5°C ," October 2018
- (4) IAMC & IIASA, "IAMC 1.5°C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA," August 2019
- (5) (一財)エネルギー総合工学研究所, 『図解でわかるカーボニュートラル』, 技術評論社, 2021年9月