

ネットゼロを実現するカーボン・オフセット

Short Review

2022年5月

社会システム研究所
主任研究員 寺山 恵

1. はじめに

2021年英国グラスゴーで開かれたCOP26（気候変動枠組条約締約国会議）において、地球の平均気温の上昇を、産業革命以前より1.5℃に抑えることを目標とすることが合意された。IPCC特別報告書によると、1.5℃目標達成のためには、2030年までに温室効果ガス排出を2010年比45%削減、2050年頃には実質的にゼロ排出を達成することが必要とされる（環境省、2018）。

この1.5℃シナリオをふまえ、国や地域だけでなく、地方自治体や都市、グローバル企業からもネットゼロ宣言が相次いでいる。Black, R., et al. (2021)によるとForbs Global 2000企業のうち、21%以上がネットゼロを宣言しているという。この企業の「ネット（実質）」ゼロ排出を達成する手段としてカーボン・オフセットが注目されている。物理的に削減しきれない温室効果ガスはオフセットする必要があるからだ。

2. カーボン・オフセットとは

カーボン・オフセットとは、自らの温室効果ガス排出を、どこか別の場所で行われた温室効果ガス排出削減で埋め合わせることをいう。

オフセットの考え方は、京都議定書における京都メカニズムと呼ばれた柔軟化措置に由来する。京都議定書では、法的拘束力のある温室効果ガス排出削減の目標が、先進国各国に割り当てられていた。各国が削減目標の達成にあたって、物理的な温室効果ガス排出削減以外にも、排出削減として加算できるものが京都メカニズムとして定められた。

代表的な京都メカニズムのひとつであるClean Development Mechanism (CDM)は、途上国での温室効果ガス削減プロジェクトを先進国が行った場合、その温室効果ガス削減量を当該先進国の温室効果ガス削減として認めるというものだ。温室効果ガス排出削減の目標は先進国にのみ割り当てられて、途上国にはなかった。例えば、日本の削減目標は1990年比マイナス6%であったが、日本では80年代に省エネがすすんでおり、1990年比では国内には削減できる余地がすでに少なかったとされる。途上国での温室効果ガス削減プロジェクトは、日本でさらなる削減を目指すより効率的であるし、目標のない途上国における温室効果ガス削減をすすめるインセンティブにもなる。また、途上国のプロジェクトは、環境保護や経済開発面の効果も期待できる。

実際、京都議定書の約束期間である2008年から2012年の間の平均的な日本の物理的温室効果ガス排出量は基準年比1.4%増加したが、CDMなど京都メカニズムによるカーボン・クレジットで5.9%、

さらに森林等吸収量で 3.9%をオフセットしたことにより、基準年比マイナス 8.4%と計算でき、日本は目標を達成した¹。

3. 自主カーボン・クレジット市場

京都議定書の第一約束期間が 2012 年に終了すると、それ以降、法的な削減目標が設定されることはなかった。そのため、先進国は削減目標達成のため、CDM 認証のカーボン・クレジットを集めてオフセットする必要はなくなった。2020 年から有効となっているパリ合意においては、途上国も含め、すべての国が自主的な削減目標 (Nationally Determined Contribution, NDC) を掲げるが、NDC 達成に法的な義務はない。NDC は自主目標であるから、国家間で温室効果ガス排出のやり取りを前提にした目標設定はしないと考えられる。したがって、国際的な制度としてのオフセットを目的としたカーボン・クレジットは現在では取引されていない。

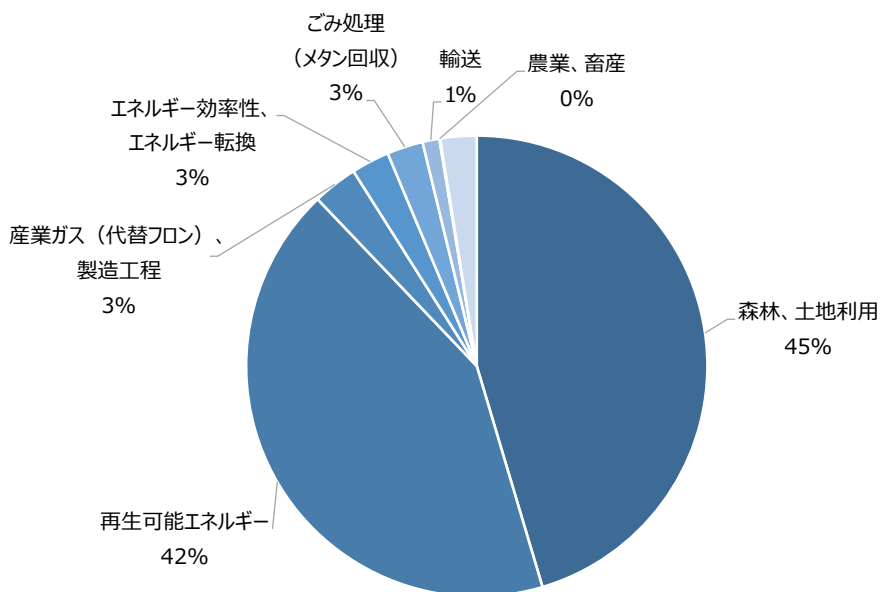
しかし、オフセットの考え方は残り、カーボン・クレジットがオフセットを求める民間の個人や企業などの間で自主的に取引されている。各国地域や地方自治体で運営されているキャップ・アンド・トレーディングの排出権取引プログラムは、それぞれ独自に定義した排出権 (クレジット) を参加者に割当てる。当該クレジットはプログラム内でのみ有効で、原則、クレジットのやり取りは参加者間に限定される。一方、自主カーボン・クレジット市場では、そのような取り決めは一切ない。誰でもカーボン・クレジットの発行ができ、購入者を見つければそのクレジットの販売することができる。

オフセット・プロジェクト

自主カーボン・クレジット市場のカーボン・クレジットは、オフセット・プロジェクトが発行する。オフセット・プロジェクトは、温室効果ガス排出を削減するあるいは回避するもので、CDM では 250 以上のオフセット・プロジェクトのタイプが想定されていた。自主カーボン・クレジット市場においても、様々なタイプのオフセット・プロジェクトが存在するが、再生可能エネルギーと森林、土地利用のプロジェクトが最も多い。Forest Trends' Ecosystem Marketplace(2021)によると、2021 年に発行されたカーボン・クレジットでは、この 2 つのタイプで 9 割近くを占める (図表 1 参照)。森林、土地利用とは、光合成による植物の CO₂ 吸収作用に由来する CO₂ 排出削減であり、具体的には森林破壊の回避活動、新規植林、森林再生などのプロジェクトのことを指す。

¹ 林野庁ウェブサイト(https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/con_3.html)

図表1 2021年発行カーボン・クレジットの内訳



(出所) Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2021)より日興リサーチセンター作成

カーボン・クレジット認証

自主カーボン・クレジット市場において、第三者機関による認証の取得は必須ではないが、多様なオフセット・プロジェクトを購入側で評価することは難しいため、市場に流通するクレジットのほとんどは認証付きである。クレジットを発行したいオフセット・プロジェクトは、計画段階で認証機関に応募し認証を取得する。

図表2 主な認証機関

認証基準	プロジェクト数	主なクレジットのタイプ	発行残高 (百万トン CO ₂ e)
Verified Carbon Standard (VCS)	1,628	45% 再生可能エネルギー 42% 森林、土地利用	410
Gold Standard	1,249	42% 再生可能エネルギー 26% 燃料変換 13% エネルギー効率性	97
Climate Action Reserve	274	42% ごみ処理 27% 代替フロン 25% 森林、土地利用	69
American Carbon Registry (ACR)	122	43% CCS/CCU 20% 森林、土地利用 15% 製造工程	50

(出所) World Bank. (2020)より日興リサーチセンター作成

それぞれ認証機関は、独自の認証基準を持ち、クレジットのブランドを冠しているが、民間シンクタンクの World Resources Institute は、オフセット・プロジェクトとして認証されるためには、以下の5つの基準を満たす必要があるとしている(World Resources Institute, 2010)。

- ✓ Real (真正) : プロジェクトが実施され、クレジットにトン CO₂e 単位で示された温室効果ガスの削減量が実現していること。
- ✓ Permanent (永続性) : 吸収した温室効果ガスが再び放出されないこと。
- ✓ Additional (付加性) : 新規の温室効果ガスの削減であること。オフセット・プロジェクトがなくても削減されるものはプロジェクトとして成立しない。
- ✓ Verifiable (認証) : 独立した認証機関が定期的にモニタリングし認証していること。
- ✓ Enforceable (実施) : クレジットは(認証機関などに)登録し、厳正に管理され、1クレジットで1トン CO₂e の温室効果ガス排出をオフセットすること。2重オフセットを防ぐ。

カーボン・クレジット購入

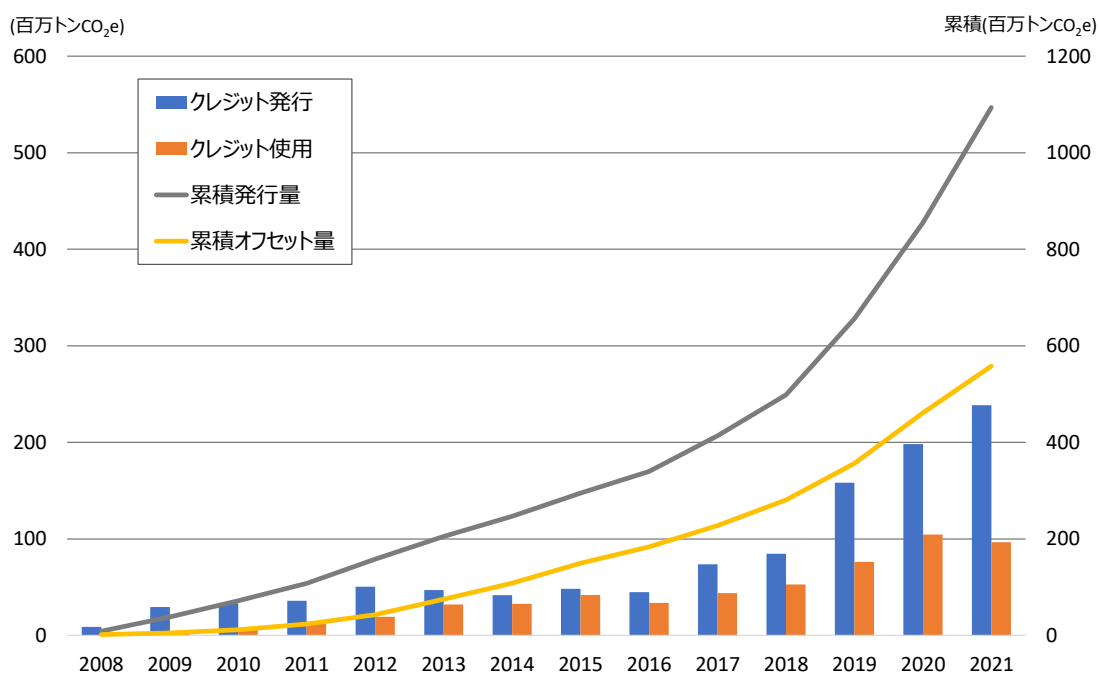
認証機関に登録されたオフセット・プロジェクトが、実際に稼働すると毎年1年分のオフセット量(単位:トン CO₂e)を証したクレジットが発行される。オフセット・プロジェクトと直接、排出削減購入契約(Emission Reduction Purchase Agreement, ERPAs)を交わし、クレジットを受け取ることもできる。また、認証機関ではオンラインサイトで認証クレジットのリテール販売を行うところもあるが、実際にはクレジットの大半は、クレジット・プロバイダー²を通じて企業が購入している。プロバイダーは、オフセット・プロジェクトの開発や認証取得の支援なども行い、テイラーメイドのオフセット・クレジットのパッケージを企業に提案する。

4. 自主カーボン・クレジット市場の拡大

Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2021)によると、自主カーボン・クレジット市場は、2016年ごろまでは4,000万トン CO₂e 台で推移していたが、2017年頃から拡大し始め、2020年には1.98億トン CO₂e のオフセット用のクレジットが発行された。2021年は8月時点で既に2.39億トン CO₂e が発行されており、累積クレジット発行量は10.9億トン CO₂e に達するとみられる。また、2019年、2020年それぞれ1億トン CO₂e が企業のオフセットに利用され、累積では発行クレジットの約半分がオフセットに利用されている。

² Climate Care (www.climatecare.org), South Pole (www.southpole.com), CO2balance (www.co2balance.com)など。この3社は営利企業。

図表3 オフセット用クレジット発行とクレジット使用



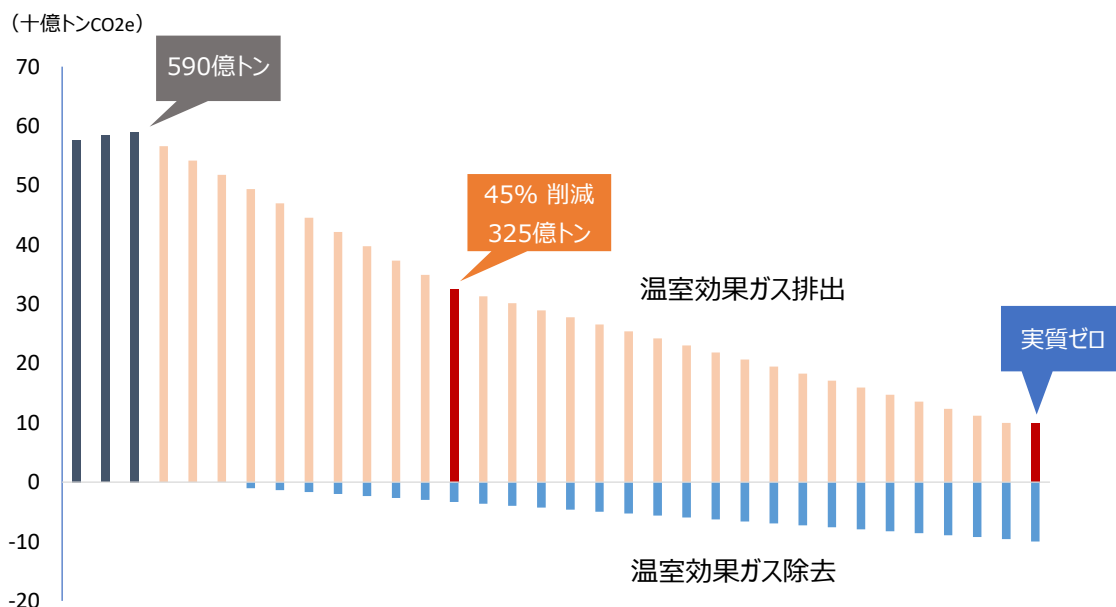
(出所) Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2021)より日興リサーチセンター作成

ネットゼロに必要なオフセット量（市場規模）

IPCC³第6次評価報告書によると、2019年の世界の温室効果ガス総排出量は590億トンCO₂e前後と推定されている。これを起点として1.5℃目標と統合的な排出削減経路では、2030年には排出量を半減させるが、2050年にはどうしても削減しきれない残余排出量が残ると考えられている。この残余排出量をオフセットすることにより、ネットゼロが実現する。McKinsey & Company (2021)は、2050年の残余排出量を100億トンCO₂e程度と予想しており、同量のオフセットがクレジットによって提供されるとして、自主カーボン・クレジット市場は100億トンCO₂e規模へ拡大する可能性があるとしている。

³ Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル)

図表 4 2050 年ネットゼロ達成に向けた温室効果ガス排出削減経路のイメージ図



(出所) 日興リサーチセンター作成

ネットゼロ目標を掲げる企業においても、同様の 1.5℃目標と統合的な排出削減目標を立てている。オフセット・クレジットを積極的に購入することで知られるマイクロソフト社は、2030 年までに排出ネットゼロの達成を目標として掲げている。現在の同社の温室効果ガス排出量は年 1,200 万トン CO₂e であるが、2030 年にはこれを 500 万トン CO₂e 程度まで削減するとしている。同時にオフセットを増大させ、2030 年には 500 万トン CO₂e 以上のオフセットを実現し、カーボン・ネガティブへ突入するとしている。同社は、2022 年度は 150 万トン CO₂e のクレジット購入について 21 のオフセット・プロジェクトと契約した (Microsoft, 2022)。

オクスフォード・オフセット原則

自主カーボン・クレジット市場において取引されているクレジットのほとんどが、再生可能エネルギーや森林、土地利用といったプロジェクトが発行したものである。これらは排出削減を実現するプロジェクトである。オクスフォード大学は、排出削減のオフセットではネットゼロは達成できないと指摘している。最終的に削減しきれない残余排出量は、カーボンを大気中から除去するプロジェクトに由来するクレジットでオフセットする必要があるからだ。オクスフォード大学は、ネットゼロが達成できるよう自主カーボン・クレジット市場の参加者に向けてオクスフォード・オフセット原則を提案している (Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford, 2020)。

オクスフォード・オフセット原則では、企業はまずは自らの温室効果ガス排出の削減に取り組むべきであり、先に削減のオフセットありきではないとする。排出削減のオフセットは、大幅な削減が求められ

るトランジションにおいて一時的に利用されるだろうが、最終的に削減しきれない残余排出量の部分は、カーボン除去・クレジットによってオフセットされる。したがって、二酸化炭素を大気中から除去するカーボン除去クレジットへのシフトを提案している。

前出のマイクロソフト社が購入した 150 万トンのクレジットのうち 149 万トンは森林、土地利用のプロジェクトであり、削減・クレジットである。しかし、2030 年のカーボン・ネガティブ時には、500 万トン以上のオフセットが予定されているが、全量カーボン除去・クレジットを利用する計画である。

5. カーボン除去・クレジットとは

カーボン除去 (Carbon Dioxide Removal, CDR) とは、大気中から二酸化炭素を回収し、土壌や海洋、製造物に半永久的に閉じ込めることを指し、マイナスの CO₂ 排出 (Negative CO₂ Emission) とも呼ばれる。

Puro.earth は、カーボン除去のオフセット・プロジェクト専門の認証機関であり、カーボン除去・クレジット (CO₂ Removal Certificate, CORCs) を発行している。CORCs 対象となるオフセット・プロジェクトは、二酸化炭素を大気中から回収し、50 年以上閉じ込めるなどの条件を満たしたもので、1) バイオ炭、2) 炭酸含有コンクリート、3) 木造建造物、4) 地質的炭素貯留の 4 種類である。

図表 5 CORCs 対象カーボン除去・プロジェクト

バイオ炭 (Biochar)	生物資源を材料とした、生物の活性化および環境の改善に効果のある炭化物。土壌改良用の木炭などは、植物が吸収した CO ₂ を長期間に亘って土中に固定する。
炭酸含有コンクリート (Carbonated Building Elements)	製鉄の鉱滓などから製造されるコンクリートで、製造過程で排出する以上の CO ₂ を含有する。
木造建造物 (Wooden Building Elements)	欧州では木造建築の耐久年数は 50 年と定められている。木造建築は森林が吸収した CO ₂ を長期間に亘って固定する。
地質的炭素貯留 (Geologically Stored Carbon)	DAC や BECCS に地中貯留を組み合わせたもの。 *Direct Air Capture (空気から CO ₂ 分離回収) *BECCS

(出所) Horta, E. (2020)より日興リサーチセンター作成

しかし、多くのカーボン除去のプロジェクトは、スタートアップあるいは研究開発の段階であるものが多く、CORCs のような認証を取得したクレジットを発行できていない。そのため、自主カーボン・クレジット市場においてカーボン除去・クレジットはほとんど流通していない。

6. オフセット・クレジットの価格

Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2021)によると、2021年度の流通クレジットは、約2.4億トンCO₂eであり、平均単価は3.13ドル/トンCO₂e、市場規模は7.48億ドルとみられる。2020年の平均単価は、2.51ドルと新型コロナウイルスの感染拡大による経済的な落ち込みの影響を受けて、2019年の3.07ドルより低下したが、2021年は3.13ドルと2019年のレベルに戻している。自主カーボン・クレジット市場におけるクレジットの価格は、3年間を見る限り上昇傾向はない。

2021年のクレジットの種類別にみると、大半を占める森林、土地利用が4.73ドルと最も高い価格で取引されている。一方、再生可能エネルギーやエネルギー効率性、エネルギー転換などは1ドル台であり、ほとんど最低価格の様相である。

図表6 クレジット流通量、単価、出来高（3年間）

	取引量 (百万トン)	単価 (米ドル)	出来高 (百万米ドル)
2019年全体	104	3.07	320
2020年全体	188	2.51	473
2021年全体	239	3.13	748
(2021年内訳)			
森林、土地利用	115	4.73	544
再生可能エネルギー	80	1.11	88
産業ガス（代替フロン）、製造工程	1	2.93	4
エネルギー効率性、エネルギー転換	16	1.50	24
ごみ処理（メタン回収）	3	3.93	11
輸送	2	1.00	2
農業、畜産	3	1.35	5
その他	19	3.75	71

(出所) Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2021)より日興リサーチセンター作成

カーボン除去・クレジットの価格

現状、カーボン除去・クレジットは市場にはなく、多くのカーボン除去・プロジェクトはスタートアップあるいは研究開発の段階である。Stripe社⁴は、2020年よりStripe Climateプログラムを立ち上げ、カーボン除去・プロジェクトに投資している。2020年は100万ドルのカーボン除去・クレジットを購入する契約を4つのカーボン除去・プロジェクトと交わし、2021年は6プロジェクトと合計275万ドルの契約を結んだ。

⁴ 米国の金融サービスとSaaS企業。ネットショップの決済処理ソフトウェアなどを提供している。

図表7 Stripe Climate 投資のカーボン除去・プロジェクト (2021年)

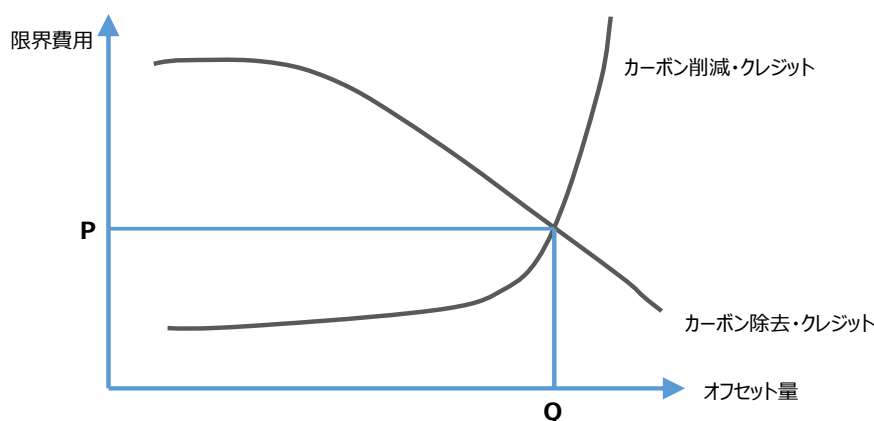
プロジェクト名	カーボン除去の内容	除去クレジット単価 (ドル/トン CO ₂ e)
Carbon Built	希釈した CO ₂ で大理石を形成	260
Heirloom	DAC から鉱化し貯蔵	2,054
Running Tide	昆布を養殖し海洋に沈める	250
Seachange	電気化学的実験海水に CO ₂ を溶かし込む	1,370
Mission Zero	DAC+貯留	319
The Future Forest Company	Mineral Weathring 実験 (カーボン除去ではない) 玄武岩を破壊して森林に撒き、CO ₂ 吸収を計測	200

(出所) Stripe.(2021)より日興リサーチセンター作成

ネットゼロを達成するカーボン・プライシング

自主カーボン・クレジット市場で取引されている削減・クレジットは、排出削減の限界費用とみることができると考えられる。ある企業では、温室効果ガス排出の削減余地が十分ある場合、まずは費用ゼロの削減をすすめると考えられる。次に、費用ゼロの削減策が尽きると、費用が発生する削減にも取り組むが、費用の安いものから順次取り組むと考えられる。追加的な削減の費用と自主カーボン・クレジット市場のクレジット価格を比較し、クレジット価格の方が安くなった時点で、クレジットを購入しオフセットする。したがって、クレジット価格は、企業の排出削減の限界費用と一致する。2021年のクレジット価格は3.13ドルであったことから、この時点の企業の排出削減の限界費用は3.13ドルと考えることができる。今後、1.5℃目標に整合的な排出削減経路に沿って削減を進めると、排出削減の限界費用は高次関数的に増加していくだろう。

図表8 ネットゼロ時のカーボン価格 (モデル図)



(出所) 日興リサーチセンター作成

一方、除去・クレジット市場はまだ成立しているとは言い難いかもしれないが、Stripe Climate プログラム採用のカーボン除去・プロジェクトのクレジット単価は 250 ドル～2,054 ドルである。今後、技術が進展し、量産化されていくにつれ追加的なカーボン除去の費用は低下していくと考えられる。最終的に、排出削減の限界費用とカーボン除去の限界費用が一致するところで、残存排出量(Q)とカーボン除去によるオフセット量(Q)が一致し、ネットゼロが達成される。このときのカーボン価格(P)は、3.13 ドルと 2,054 ドルの間にある。どのようなオフセット量 (Q) とカーボン価格 (P) の組み合わせが実現するかは、削減技術と除去技術の進展度合いによると考えられる。除去技術が相応にすすめば、比較的大きな残存排出量を残してネットゼロが達成されるが、除去技術がすすまなければ、残存排出量は限りなくゼロに近づき、カーボン価格 (P) は上昇するだろう。

7. まとめ

自主カーボン・クレジット市場は企業のオフセットニーズから拡大しているが、ほとんどが排出削減をオフセットするクレジットである。ネットゼロまでのトランジションにおいて、排出削減クレジットによって、企業の排出削減をオフセットすることは可能であるが、ネットゼロ時点に残る削減しきれない温室効果ガス排出は、カーボン除去・クレジットによってのみオフセットできると考えられる。現在、削減クレジットは平均 3 ドル程度で取引されているが、企業にコストのかからない削減余地がまだ十分あることを示していると考えられる。削減が進展すると削減クレジットの価格は上昇し、ネットゼロ達成時には、カーボン除去・クレジットの価格と一致すると考えられる。

参考文献

Black, R., Cullen, K., Fay, B., Hale, T., Lang, J., Mahmood, S., Smith, S.M. (2021). Taking Stock: A global assessment of net zero targets, Energy & Climate Intelligence Unit and Oxford Net Zero.

Forest Trends' Ecosystem Marketplace. (2021) 'Market in Motion'. State of Voluntary Carbon Markets 2021. Installment 1. Washington DC: Forest Trends Association

World Bank. (2020, May) State and Trends of Carbon Pricing 2020. World Bank. Washington DC. Doi: 10.1596/978-1-4648-1586-7.

World Resources Institute. (2010) The Bottom Line on Offsets.

Retrieved from <https://www.wri.org/research/bottom-line-offsets>

McKinsey & Company. (2021) A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge. Retrieved from

<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge>.

- 環境省. (2022) IPCC AR6/WG3 報告書の政策決定者向け要約の概要 . Retrieved from https://www.env.go.jp/press/files/AR6WG3_SPM.pdf
- 環境省.(2018) 1.5℃特別報告書 政策決定者向け要約 (SPM) の概要 . Retrieved from <https://www.env.go.jp/press/files/jp/110087.pdf>
- Microsoft. (n.d.). Microsoft will be carbon negative by 2030 - The Official Microsoft Blog. Retrieved from <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>
- Microsoft. (2022). Microsoft Carbon Removal: An Update with Lessons Learned in Our Second Year. Retrieved from <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RE4Q00D>
- Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford. (2020) The Oxford Principles for Net Zero Aligned Carbon Offsetting. Retrieved from <https://www.smithschool.ox.ac.uk/publications/reports/Oxford-Offsetting-Principles-2020.pdf>
- Horta, E. (2020) How can carbon removal help companies become carbon neutral?. ForTheDoers Blog. Retrieved from <https://www.fortum.com/about-us/blog-podcast/forthedoers-blog/how-can-carbon-removal-help-companies-become-carbon-neutral#:~:text=CO2%20Removal%20Certificates%20are%20digital,from%20cradle%20to%20gate.>
- Stripe. (2021) Stripe commits \$8M to six new carbon removal companies. ニュースルーム. Retrieved from <https://stripe.com/newsroom/news/spring-21-carbon-removal-purchases>

(END)