

# 第3回 自然を利用した炭素貯留がもたらす「土壌炭素クレジット」

## 日本企業に求められるプレーヤーとしての参画

佐野則子



## CONTENTS

- I 温暖化対策における炭素貯留の重要性と炭素クレジット・ビジネス
- II 炭素貯留の推進と土壌炭素クレジット購入に関する海外事例
- III 土壌炭素クレジットの創出・取引に関するデジタル活用の海外事例
- IV 日本企業に求められるプレーヤーとしての参画

## 要約

- 1 農地などの土壌で二酸化炭素を吸収固定させること（炭素貯留）は、比較的 low コストで実践され、多くの地域で短期間に温暖化対策を実行できる有効な手法とされている。自然を利用した土壌における炭素貯留によって創出された炭素クレジット（土壌炭素クレジット）の取引が、今後、活性化する可能性がある。
- 2 海外では、土壌における炭素貯留や土壌炭素クレジット取引が日本と比べて進んでいる。農家を支援して炭素貯留を推進する企業や、積極的に土壌炭素クレジットを購入する企業が出てきている。
- 3 土壌炭素クレジットの創出・取引の流れを活性化させるには、「精度の高い炭素貯留量測定」と「信頼性のある炭素クレジット取引」の仕組みが求められる。海外ではその実現のためにデジタルを活用している。
- 4 多くの企業がカーボンニュートラルを宣言し、今後、炭素クレジットに対する需要がさらに高まると予想される。日本企業はこれを機会とし、土壌炭素クレジットの創出・市場運営・利用のいずれかのプレーヤーとして、新規事業や新サービスを創出することが望まれる。多くの日本企業が土壌炭素クレジット創出・取引に参画することが社会全体で行うGX（グリーン・トランスフォーメーション）につながる。

## I 温暖化対策における炭素貯留の重要性と炭素クレジット・ビジネス

### 1 | 土壌における炭素貯留が注目される背景

#### (1) 温暖化対策に関するIPCCの警告

国連の専門家会議であるIPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、2022年4月に第6次報告書<sup>※1</sup>を公開した。その中で「温暖化対策を強化して25年までに温室効果ガス（GHG）の排出量をピークとしなければ、今世紀末までに産業革命前と比べて気温は3.2℃上昇する」と述べ、25年までにGHG排出量を減少に転じさせる必要があると警告している。「農業・林業・その他土地利用」分野における温暖化対策は、排出量が多い産業での対策遅延を完全に補うことはできないが、ほとんどの地域で「短期間に拡大できる」と指摘する。

農地などの土壌において炭素貯留することは有効な施策の一つとなる。「炭素貯留」とは、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を排出削減するとどまらず、地中・陸上・海洋などに吸収・固定させることである。IPCCによれば「農業・

林業・その他土地利用」分野で最も温暖化対策効果が高いのは熱帯の森林保護であり、その上で「持続可能な作物・家畜管理や農業における炭素貯留」を有効とする。50年までのその効果をCO<sub>2</sub>換算（GHGをCO<sub>2</sub>に換算）にして年間1.8～4.1Gトンと推定した。これは世界の年間CO<sub>2</sub>排出量（約40Gトン）<sup>※2</sup>の約4.5～10%に相当する。

具体的な方法として農地・草地における土壌炭素管理<sup>※3</sup>（本稿では、炭素貯留農業、と呼ぶ）、バイオ炭、アグロフォレストリー（森林の中で行う農畜産業）を挙げ、比較的 low コストで広く実践されていると指摘した。「炭素貯留農業」は土壌に炭素（土壌有機炭素）が蓄積しやすい農法を行うことである。農法は、たとえば有機物（堆肥・緑肥など）の投入、不耕起栽培（整地や土壌を掘り返す作業を省略する）、牧場なら輪換放牧（牧場を数区域に分け順番に放牧地とする）などがある。「バイオ炭」は森林・農地などにある資源でつくられた木炭・竹炭・もみ殻炭などを土壌に投入する。「アグロフォレストリー」は森林内の土壌で炭素貯留農業かバイオ炭の活用を行う。炭素貯留方法には技術べー

表1 炭素貯留方法（例）

|                  | 自然ベース（一部、技術を使用）  | 技術ベース  |
|------------------|--|--|
| 陸上（地中を含む）        | <ul style="list-style-type: none"> <li>炭素貯留農業（※1）</li> <li>バイオ炭（※2）</li> <li>アグロフォレストリー</li> <li>森林保護（植林・再生林）</li> <li>湿地保護</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>DACCS（直接空気回収・貯留）</li> <li>BECCS（炭素回収・貯留付きバイオエネルギー）</li> </ul> |
| 海洋（海底とその下の地中を含む） | <ul style="list-style-type: none"> <li>海洋肥沃・生育促進</li> <li>植物残渣海洋隔離</li> <li>海洋アルカリ化</li> </ul>   |  |
| その他              | <ul style="list-style-type: none"> <li>岩石風化促進</li> </ul>   |  |

※1：堆肥の投入など、土壌に炭素（土壌有機炭素）が蓄積しやすい農法を行う農業を指す。本稿では「炭素貯留農業」と呼ぶ  
 ※2：バイオ炭の製造に当たり技術を使用しているが、基本的に土壌という自然を利用した貯留方法であるため本稿では自然ベースに分類する  
 出所） 公知情報を基に作成

スと自然ベースのものがあるが、上記の方法は自然を利用した（自然ベース）土壌における炭素貯留である（表1）。

## (2) 自然ベースの炭素貯留と炭素クレジットの動向

「炭素クレジット」とは、GHGの削減・吸収量をクレジットという取引可能な形にした資産である。森林保護や植林、省エネ技術や再生可能エネルギーの導入、炭素貯留などによって削減・吸収されたGHGの量に応じて創出される。一部を除き、国へ報告するGHG排出量の相殺には使用できない。しかし、すべての炭素クレジットは企業が独自に設定する「自主的な目的」のために利用できる。自主的な目的は、生活者や投資家にアピールするために設定される。その目的を達成するため、やむを得ず排出されるGHG排出量を相殺する手段として炭素クレジットが必要とされ、民間団体が認証する炭素クレジットの利用が増えている。

近年、自然ベースの炭素貯留とそれから創出される炭素クレジット取引に関心が高まっている。その推進に向け、関係機関が動き出した。GHGプロトコル（GHG排出量の策定・報告に関する世界基準）では、土壌における炭素貯留の算定と創出された炭素クレジットの売買報告の基準が検討されている。新基準は2023年初頭に公開され、企業にはその基準に基づいた目標設定・実績追跡・進捗報告が期待される<sup>注4</sup>。GHGプロトコルを利用して、科学的根拠に基づいた温暖化対策の目標設定を企業に促すSBT（Science Based Targets）運営機関は関連する手引書を整備し、22年9月から利用可能とする予定である<sup>注5</sup>。こう

した動きにより、土壌における炭素貯留とそれから創出される炭素クレジット取引が活性化する環境が整備される。

技術ベースの炭素貯留による炭素クレジットは供給に限りがあり、高価で、多くの企業にとって購入が難しい。それ故に、比較的安価に購入できる自然ベースの炭素貯留による炭素クレジットが必要とされる。そのため、本稿では、これから成長する可能性がある自然ベースの炭素貯留の中でも土壌における炭素貯留を取り上げ、それから創出された炭素クレジット（土壌炭素クレジット）を創出し、普及させる方策について考察する。

## 2 | 炭素クレジットのビジネス

### (1) 成長するボランタリー炭素市場（VCM）

炭素クレジットは企業が独自に設定する自主的な目的のために利用できると前述した。「自主的な目的」には、主に三種類ある。第一に、自社で掲げた排出削減目標に届かない場合の相殺手段とするため（生活者などへの訴求）、第二に、社会的役割を果たし、環境面でのリーダーシップを取るため（投資家などへの訴求）、第三に、オフセット商品・サービス（原材料調達から廃棄・リサイクルまでの過程で生じるGHG排出量を炭素クレジットで相殺した商品・サービス）をつくるためである。

この自主的（ボランタリー）な目的がきっかけとなって、近年急成長しているのがボランタリー炭素市場（VCM：Voluntary Carbon Market）である。日本では、炭素クレジット取引が主に相対取引やブローカー経由で行われてきたため、VCM市場の構築はこれからである。しかし、世界のVCMは成長

しており、Forest Trendsによれば2021年11月時点で取引高10億ドルを超え<sup>注6</sup>、19年の3.2億ドル<sup>注7</sup>と比べ3倍強となった。炭素貯留で創出されたクレジットの方が排出削減によるものより約5倍高く取引され<sup>注8</sup>、最も活発な購入企業はエネルギー、消費財、金融・保険関連である。VCMは長期的にも市場規模の拡大が期待されている。70カ国以上の500近い民間金融機関が参加するIIF（国際金融協会）では、50年までに市場規模は年間1000億ドルになると予測している<sup>注9</sup>。

## (2) 炭素クレジットのビジネスモデル

炭素クレジットの創出・市場運営・利用の

三つのフェーズにかかわるプレイヤーを図1に示す。農業を例にとると、炭素クレジットの創出は、炭素貯留を設計・推進する「プロジェクト実施者」が、クレジット認証機関が定めた方法に沿って農家の炭素貯留を支援し、仲介役を務める。そのために、農業技術支援や農場管理ツール、農地のリモートセンシング機能などを提供する「炭素貯留支援企業」や炭素貯留量の測定を支援する「MRVベンダー」、学術機関などのプレイヤーを巻き込む必要がある。

炭素クレジットとして認められるのは、炭素貯留を行う前の炭素貯留量（ベースライン）からの増加分だけである。そのため、ク

図1 炭素クレジットのビジネスモデル（イメージ）

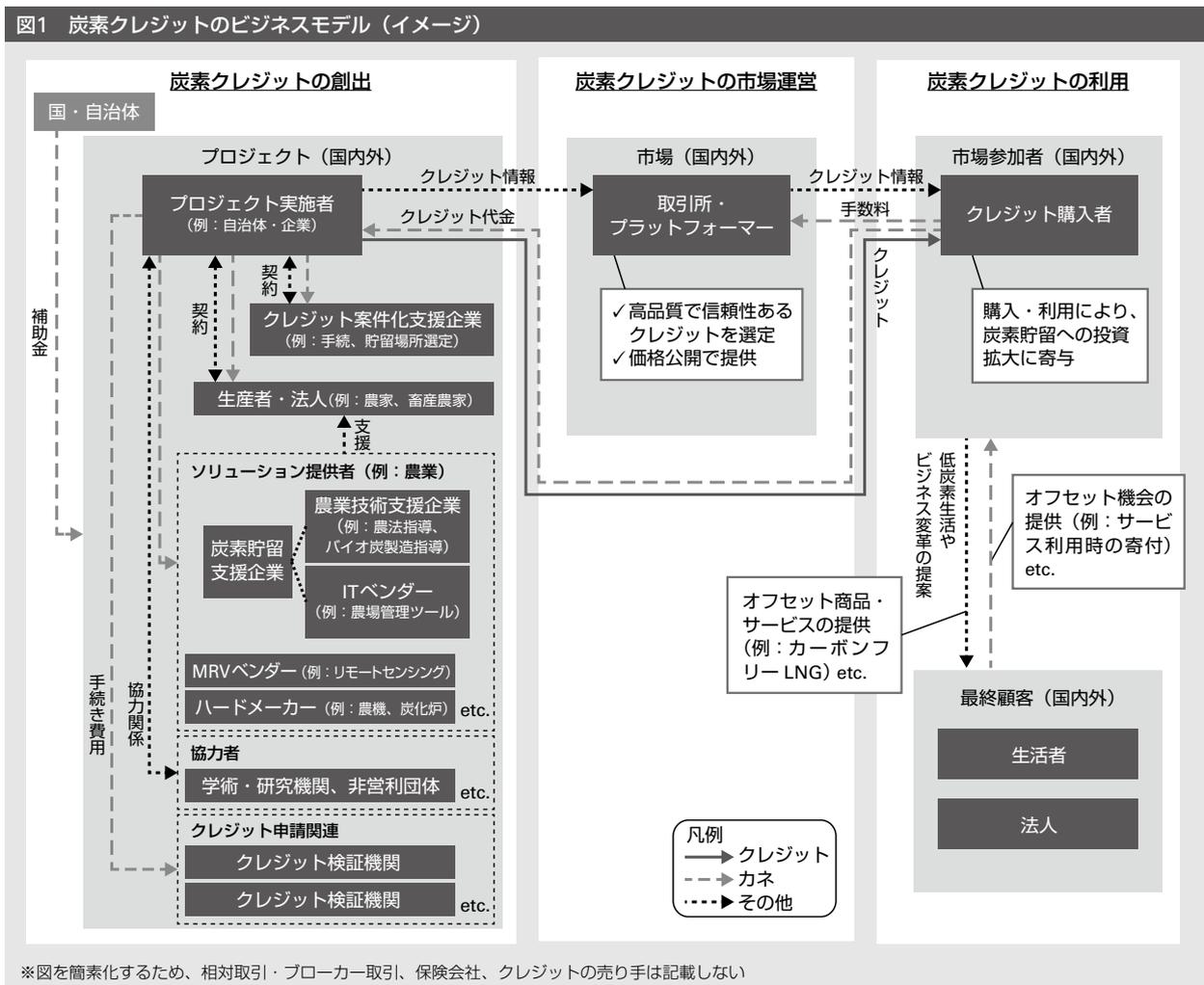
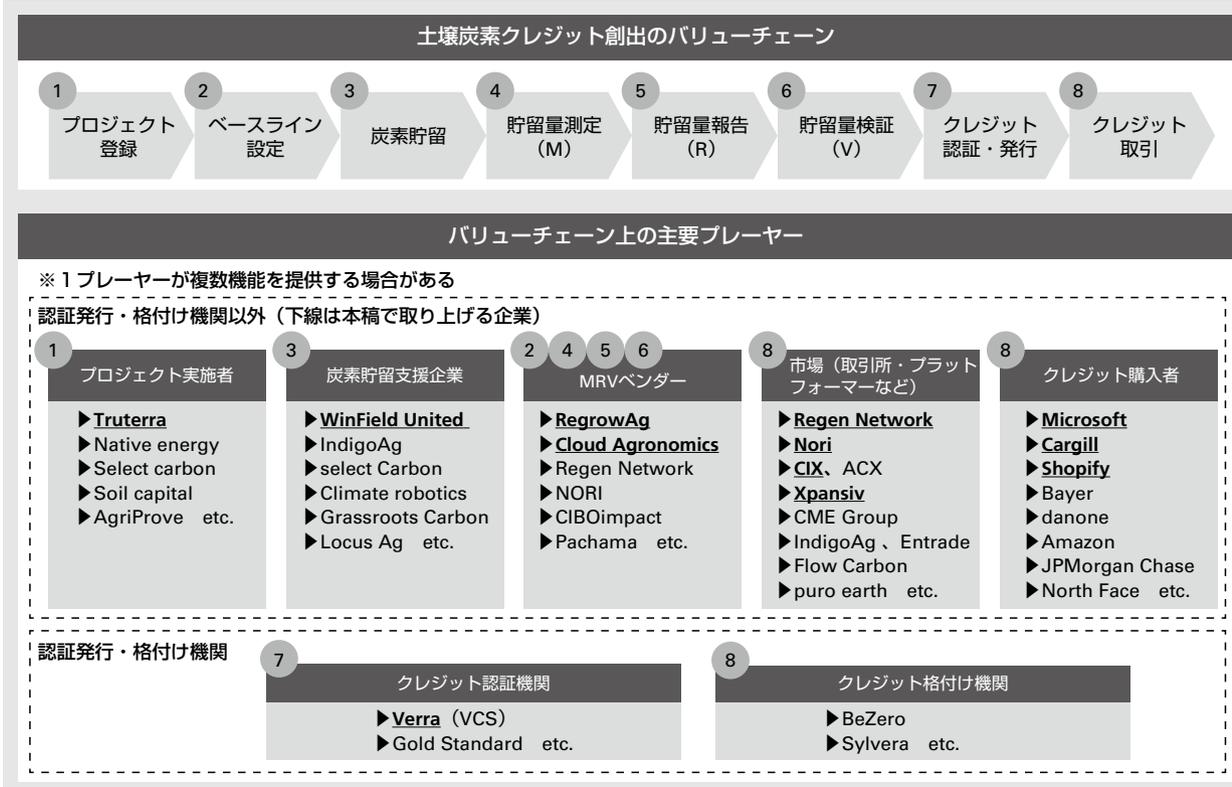


図2 炭素クレジット創出のバリューチェーン（イメージ）



クレジット認証機関でプロジェクトを登録後、その増加分を「測定」し、結果を第三者検証機関に「報告」して「検証」を受けねばならない。この測定・報告・検証をMRV<sup>注10</sup>という。MRVの結果、1トンの炭素貯留が認められると炭素クレジットが一つ創出され、取引できるようになる（図2）。

一方、炭素クレジットを利用するには、相対取引や取引市場などから炭素クレジットを購入する必要がある。

自然ベースの炭素クレジットにおけるビジネス上の課題は主に二つある。第一に、炭素貯留量の測定・検証の精度が低いことである。実際の炭素貯留量より過度に見積もったクレジットが取引されるリスクがある。第二に、相対取引やブローカー経由の取引が多い

ため、価格の妥当性も含めてクレジット選定が難しいことである。これらが解決しないと、炭素クレジットの取引量は増加しない。炭素クレジットのビジネスを拡大するためには、「精度の高い炭素貯留量測定」と「信頼性のある炭素クレジット取引」の仕組みが求められる。

## II 炭素貯留の推進と土壌炭素クレジット購入に関する海外事例

本章では、炭素クレジットの中でも土壌炭素クレジットの創出・取引について具体的なイメージを持ってもらうため、土壌炭素クレジットの創出プレーヤーであるランドオレックスとカーギル、利用プレーヤーであるマイ

クrosoftの事例を紹介する。

## 1 | ランドオレークス（米国）の 土壌炭素クレジット創出

米国最大の農業協同組合ランドオレークス（Land O'Lakes）は、子会社とともに土壌炭素クレジットの創出を推進している。サステナビリティ事業部門の子会社トゥルーテラー（Truterra）が「プロジェクト実施者」「ITベンダー」の役割を、農業サービス事業部門のウィンフィールド・ユナイテッド（Winfield United）が「農業技術支援企業」の役割を担う。炭素貯留を推進するため、農家に農場管理ツールの提供や農業技術支援を行い、貯留活動に対して前払いと成果報酬を組み合わせた報酬（ハイブリッド報酬）でインセンティブを強化している。

農家は炭素貯留プログラム「TruCarbon」に参加すると土壌に炭素貯留する農法を行い、過去最大5年間の炭素貯留に対して炭素1トン当たり20ドルを受け取ることができる。農家はトゥルーテラーと20年間の契約を締結し、契約中は同社の農場管理ツールを利用しなければならない。炭素貯留量は農家が登録した営農データ、衛星によるリモートセンシングデータ、センサーデータ、AI、定期的な土壌サンプリング（同社の費用負担）などによって判定される。2021年の土壌炭素クレジットの売却総額は400万ドル以上（農家1軒当たり平均2万ドルの支払い）に上った。

22年からプログラムを全米に拡大するため、農家が参入しやすいように農業技術支援とハイブリッド報酬を導入している。これにより、農家は炭素貯留農業を開始するための費用負担を軽減でき、炭素貯留を継続するこ

とができる。

## 2 | カーギル（米国）の サプライチェーン内における 土壌炭素クレジット創出

穀物商社のカーギル（Cargill）は、「プロジェクト実施者」の役割に相当する。しかし、創出した土壌炭素クレジットを市場に出していない。自社のCO<sub>2</sub>排出量を相殺する手段として、自社サプライチェーンの中で土壌炭素クレジットの創出推進と買い取りを行っている。

同社は2021年から農家による炭素貯留1トン当たりの支払いを行うプログラム「カーギル・リージェンコネクト」（RegenConnect）を開始した。農家はプログラムに参加する上で農法を登録し、後述するMRVベンダーのリグロー（RegrowAg）が炭素貯留量を測定・検証する。対象となる農法は被覆作物の栽培、減農薬、不耕起栽培などである。カーギルもランドオレークスの事例と同様、農業技術支援の提供とハイブリッド報酬方式を採用している。

同社は、米国の農家や畜産農家のために全国規模の炭素市場をつくらうとしているコンソーシアム（ESMC）の創設メンバーである。そのため、このような取り組みは将来、土壌炭素クレジットのビジネスを展開する施策となり得る。

## 3 | マイクロソフト（米国）の 土壌炭素クレジット購入と 内部控除

マイクロソフト（Microsoft）はCO<sub>2</sub>排出削減を第一に考え、やむを得ず排出される

CO<sub>2</sub>を相殺するため炭素クレジットを購入し、購買レポートを公開している。地球上の炭素の大部分は海洋に貯蔵されるが、土壌は陸上における炭素貯留の約75%を占めるとする米国生態学会の見解を受け、土壌における炭素貯留を推進するために、農地や放牧地の炭素貯留で創出された土壌炭素クレジットを積極的に購入する方針である<sup>注11</sup>。

同社は、炭素貯留が持続する期間によって炭素クレジットを独自に「高耐久性」「低耐久性」「中耐久性」に分類する（図3）。「高耐久性」は高価で供給が限定され、多くの企業はまだ大規模に購入できない。しかし、「低耐久性」は低コストで最も容易に入手でき、短期的な温暖化対策が可能だと評価する。たとえ炭素再放出のリスクがあり、炭素貯留量の測定・報告・検証（MRV）の標準がない欠点があっても、購入を控えない方針を採る。そのため独自に「内部控除」と呼ぶ安全策を導入している。その内容は、たとえば炭素貯留を行う前の炭素貯留量のベースライン測定に疑問があるプロジェクトの場合、購入クレジットの10%を利用せず、90%のみ

を社内の排出量相殺のために利用する。トン当たりの実質価格は高くなるが、将来、炭素貯留量の測定標準が浸透することで内部控除は減ると見ている。「低耐久性」クレジットの欠点を補いつつ利用を進めることで、短期的な温暖化対策を加速するものとして評価できる。

2022年度は、半年経過時点で21件のプロジェクトから150万トン以上の炭素貯留で創出された炭素クレジットを契約し、「低耐久性」が99%以上を占めている。

### III 土壌炭素クレジットの創出・取引に関するデジタル活用の海外事例

自然ベースの炭素クレジットのビジネスを拡大するためには、「精度の高い炭素貯留量測定」と「信頼性のある炭素クレジット取引」の仕組みが必要と前述した。本章では、炭素クレジットの中でも土壌炭素クレジットの創出・取引について、どのようにデジタルを活用してそれらを実現するべきか考察する。

図3 マイクロソフトの炭素クレジット分類

| ■炭素クレジット分類： |        |   | ■低／高耐久性クレジットの比較：   |  |
|-------------|--------|---|--|--|
|             | 貯留期間   | 貯留方法  | メリット   | デメリット  |
| 低耐久性        | 100年未満 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓土壌炭素貯留</li> <li>✓林業（森林維持）</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 低コストで、短期的な温暖化対策が可能</li> <li>• 付加価値がある（例：生物多様性）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• MRV標準がない</li> <li>• 炭素再放出リスクがある（例：山火事）</li> </ul> |
| 中耐久性        | 数百年～千年 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓バイオ炭</li> </ul>   | 低耐久性<br>↓<br>高耐久性  |  |
| 高耐久性        | 数千年    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓地中貯留によるバイオマスアプローチ（バイオオイル含む）</li> <li>✓直接空気回収（DAC）</li> <li>✓炭素鉱物化 etc.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 炭素再放出リスクが少ない</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 供給に限りがある</li> <li>• 高価（数百～数千ドル／トン）</li> </ul>     |

出所）「Microsoft carbon removal」より作成

## 1 | 精度の高い炭素貯留量測定の仕組み

### (1) 土壌炭素クレジット創出の課題と

#### 求められる仕組み

土壌における炭素貯留方法には、主に「バイオ炭の活用」と「炭素貯留農業」がある。炭素貯留量を測定するに当たっては、前者は炭の中に比較的安定的に炭素貯留するため炭素貯留量の変動せず、所定の計算式で算定すればよい。しかし、後者は土壌中の炭素貯留量の変動するため、定期的の実測する必要がある。その際、炭素貯留量の測定精度が低いことが問題となっている。したがって、炭素貯留農業による土壌炭素クレジットの創出過程においては、精度の高い炭素貯留量の測定の仕組みが必要となる。

土壌を物理的にサンプリングするだけでは、費用対効果と精度に問題が出る。広大な

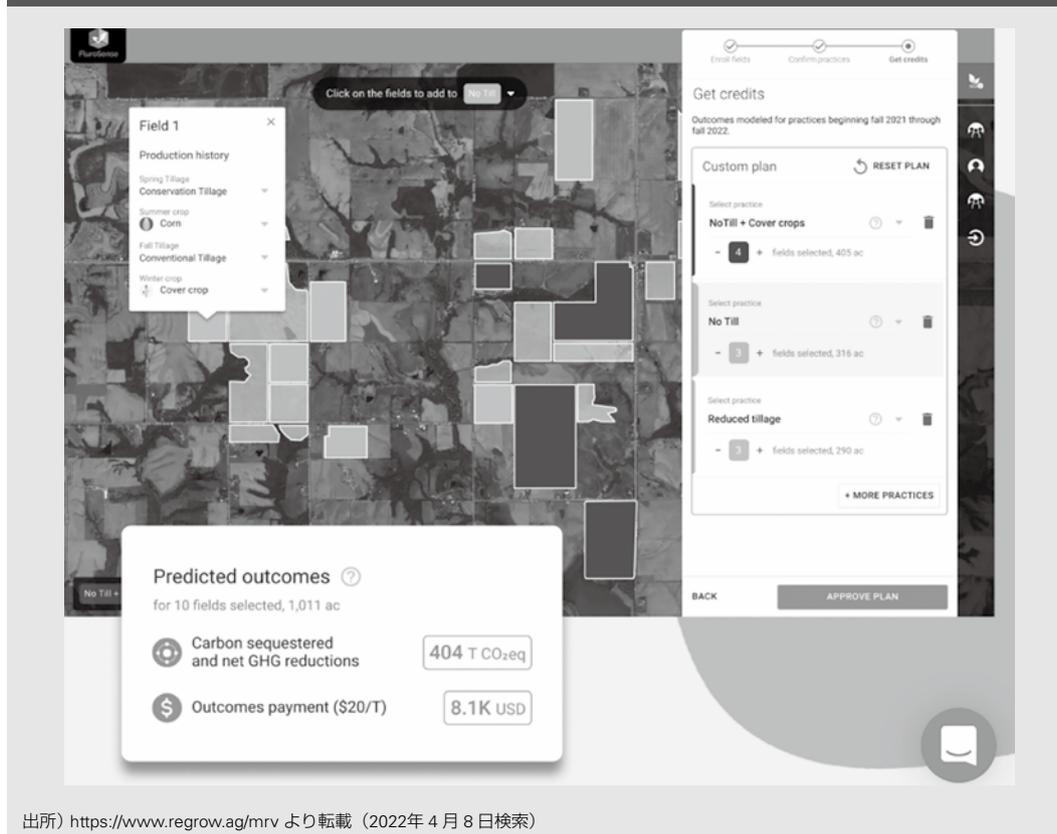
農地に対してサンプリング面積や回数を増やすと費用が高額になる。一方、サンプリングを限定すると見なし推量の部分が大きくなり精度が落ちてしまう。有効な解決策は、リモートセンシングやAIなどのデジタルを活用して炭素貯留量を測定する仕組みをつくることである。精度を維持しながら効率よく安価に実施することが可能となる。以下に、デジタルを活用して炭素貯留量を測定している二つの事例を紹介する。

### (2) リグロー（米国）の衛星リモート

#### センシングと土壌炭素クレジット見積

リグロー（RegrowAg）は炭素貯留量の判定を支援するMRVベンダーで、炭素貯留量の測定・検証・報告を支援するツール「フルーロセンス（FluroSense）」を提供している。

図4 リグローのMRVプラットフォーム



出所) <https://www.regrow.ag/mrv> より転載 (2022年4月8日検索)

同ツールは炭素貯留量を土壤炭素クレジットにした場合の見積額を提示する機能、クレジット認証機関や第三者検証機関への報告書作成支援機能もあり、多くの農場管理システムと連携できる（図4）。

同社は、農家が登録した農地情報と営農データ、衛星によるリモートセンシングデータ、AIと統計、DNDC<sup>注12</sup>モデルを活用して炭素貯留量を測定し、炭素貯留の継続性を確認する。DNDCモデルとは土壤中の炭素循環を推定するモデルで、欧米や中国などで活用され、推定精度が高いことから選定されている。これらによって炭素貯留量の予測モデルを構築すると、その後は最小限の土壤サンプリングを行えば、効率的に炭素貯留量の予測モデルの精度を向上させられる。このようなモデルに基づいて構築されたFluroSenseの炭素貯留量測定精度は90%である。

炭素貯留の継続性確認は、衛星による農地の追跡機能で実現する。その内容は、複数の衛星による観測データに基づき、炭素貯留を行う農法の継続性を確認する。農法は緑葉や茎で土壤表面を覆う被覆作物の発達状況や、不耕起の継続などである。この追跡機能は米国農務省、NASA（アメリカ航空宇宙局）、バイエル、ジョン・ディアなどから資金提供と支援を受け、開発・試験・応用が行われている。同社はデジタルを活用した炭素貯留量の予測モデルと農地の追跡機能により、炭素貯留量の測定精度が低い課題を解決している。

同社のセンシング範囲は大規模地域を想定して設計され、河川流域や米国農務省の作物報告地区の単位で集約結果を報告できる。そのため、国・州・郡で土壤保全プログラムが

ある場合、その進捗を評価・比較して支援すべき地域を特定できる。このような仕組みは、複数の地域にまたがって炭素貯留を行う上で有用となる。

同社は2022年2月時点で45カ国以上、約8万900ヘクタール（約2億エーカー）の土壤を監視し、7万7000トン以上の炭素貯留を支援している。FluroSenseとそのサポート製品の有料会員企業には、カーギル、農業大手のバイエル、食品大手のジェネラル・ミルズなどがある。

### **(3) クラウド・アグロノミクス（米国）の 高精細な画像によるリモートセンシング**

クラウド・アグロノミクス（Cloud Agronomics）は、リモートセンシングで取得した高精細なハイパースペクトル画像とAIを活用した炭素貯留量測定を行うMRVベンダーである。同社の炭素貯留量測定精度は高く、保険会社などに向けてビジネスを展開している。

炭素貯留量の測定は、土壤サンプルとハイパースペクトル画像を基に予測モデルを構築して行う。土壤サンプルは農家が一度だけ採取し、後は年二回、作付け前と収穫後にハイパースペクトルカメラを搭載した飛行機で農地上空から撮影し、データをクラウドに収集する。予測モデルの精度検証のため、同社は気候・土壌・作物の種類が異なる米国11州で、土壤サンプルとハイパースペクトル画像による測定結果を比較している。それによると、両者の乖離は10%未満であった。

同社のターゲット地域は、炭素クレジット取引が活発なオーストラリアなどである。貯留量測定に衛星データやIoTデータも用いて

精度を向上させるとともに、データの収集・統合・整備から分析までの一連の流れを標準化して効率化を図っている。

## 2 | 信頼性のある炭素クレジット取引の仕組み

### (1) 炭素クレジット取引の課題と求められる仕組み

炭素クレジット取引における主な課題は三つある。第一に、二重計上リスクがあること、第二に、取引参加が難しいこと、第三に、炭素再放リスクがあること、が挙げられる（表2）。このうち、第一と第二は炭素クレジット共通の課題で、第三のみ土壌炭素クレジット特有の課題である。土壌炭素クレジットの取引を活性化させるためには、これらの課題を解決した「信頼性のある炭素クレジット取引」の仕組みが求められる。それによって、土壌炭素クレジットを安心して購入できるようになる。

第一の課題である「二重計上リスク」とは、同一のGHG排出削減・貯留から複数の炭素クレジットが発行されてしまったり、同一クレジットが複数回利用されてしまったりするリスクである。二重計上が発生すると、

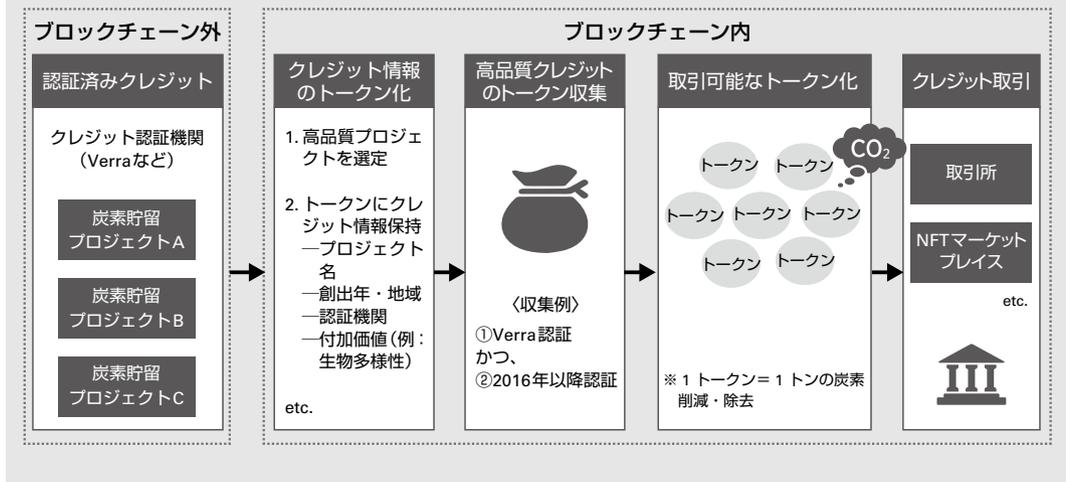
クレジットが保証する炭素貯留量より実際の炭素貯留量が少なくなり、クレジットの信頼性が損なわれる。この課題を解決するには、取引をブロックチェーン上で行うことが有用である。ブロックチェーンはデータの改ざんが困難なため取引履歴を追跡できたり、事前に決めた条件で処理を自動化できるので売却クレジットを直ちに使用済にできたりする。その結果、炭素クレジットの重複発行・利用を防ぐことができる。

第二の課題である「取引参加が難しい」とは、相対取引やブローカー取引が多く価格が公開されていない、クレジットの比較・選定が難しい、資金力が低いなどの原因で取引が難しいことである。この課題を解決するには、価格公開の取引市場を開設し、クレジット情報の公開や高品質クレジットの代行選定<sup>注13</sup>を行うなどの方法がある。高品質クレジットとは、炭素貯留の信頼性が高いクレジットのことである。資金力に関する課題の解決策の一つにはトークン化がある。炭素クレジットのような資産を細かく分割したデジタル証券にすること（トークン化）で、大きな資金がなくても取引に参加しやすくなり、トークンにクレジット情報を付与すればクレジットを

表2 土壌炭素クレジット取引が活性化するための課題

| 課題         | 原因（例）  | 解決策（例）   |
|------------|--|--|
| 二重計上リスクがある | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 同一のGHG排出削減・貯留による炭素クレジットの重複発行</li> <li>• 同一炭素クレジットの重複利用</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 取引履歴を追跡できるようにする（例：ブロックチェーン活用）</li> <li>• 売却クレジットを即時に使用済にする（例：ブロックチェーン活用）</li> </ul>   |
| 取引参加が難しい   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 価格が不透明</li> <li>• クレジットの比較・選定が困難</li> <li>• 資金力が低い</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 価格公開の取引市場開設</li> <li>• クレジット選定に役立つクレジット情報の公開</li> <li>• クレジットの代行選定</li> <li>• 高品質クレジットの保証（炭素貯留を行うプロジェクト現場の状況把握）（例：衛星活用）</li> <li>• クレジットのトークン化</li> </ul> |
| 炭素再放リスクがある | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 炭素貯留のための農法の中止</li> <li>• 農地転用</li> <li>• 災害発生</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 補填用の炭素クレジット保管</li> </ul>  |

図5 ブロックチェーンを活用した土壌炭素クレジットのトークン化（イメージ）



選びやすくなる（図5）。トークンが売買や担保資産として利用されるなど多様な用途で使われることで、取引が活性化する効果も期待できる<sup>注14</sup>。

第三の課題である「炭素再放出リスク」とは、土壌に貯留されていた炭素が炭素貯留のための農法の中止・農地転用・災害などによって放出されてしまうリスクのことである。炭素の再放出が起ると、クレジットが保証する炭素貯留量より、実際の炭素貯留量が少なくなる。この課題に対しては自己保険が解決策の一つになる。具体的には、炭素クレジットの市場運営プレイヤーが炭素再放出リスクに備えて、一定量の土壌炭素クレジットを備蓄しておく。備蓄分の土壌炭素クレジットの中から、放出された炭素量に相当するクレジットを使用済みにして補填する。この仕組みによって、クレジット購入者に損害を及ぼさずにクレジットと実際の炭素貯留量に乖離が出ないようにする。以下に、デジタルを活用して三つの課題を解決する事例を紹介する。

## (2) CIX（シンガポール）の高品質クレジット選定が容易なマーケットプレイス

DBS銀行などの金融機関が創設した合弁会社Climate Impact X（CIX）は、自然ベースの炭素クレジットを扱うマーケットプレイスを2022年3月に開設した。まずは、森林・湿地保護による炭素クレジット取引に重点を置く。

同社は、参加者限定のブロックチェーンを活用することで二重計上防止を実現している。取引には必要な事前チェックを通過した企業のみが参加でき、中小企業から大企業まで参加している。事前チェックを行うことで取引上のリスクを軽減することができる。

さらに、クレジット選定が難しい課題に対し、提供する炭素クレジットが高品質であることを保証する仕組みをつくり、クレジット選定を容易にした。その仕組みは、衛星のリモートセンシングで炭素貯留を行う現場の状況を把握し、炭素貯留の信頼性が高い優良プロジェクトであることを確認した上で、独立

評価機関が検証する。高品質クレジットを厳選して提供し、クレジットの発見・比較・選定を容易にすることで、購入までの手続き時間を短縮させた。簡易操作でクレジット譲渡もできるため、中小企業でも参加しやすい仕組みとなっている。このように、炭素貯留の信頼性を高める仕組みは農地における炭素貯留の場合でも有用である。前述の炭素貯留の継続性を確認するリグロアの追跡機能と類似であり、それを市場運営プレーヤーが行う事例となる。

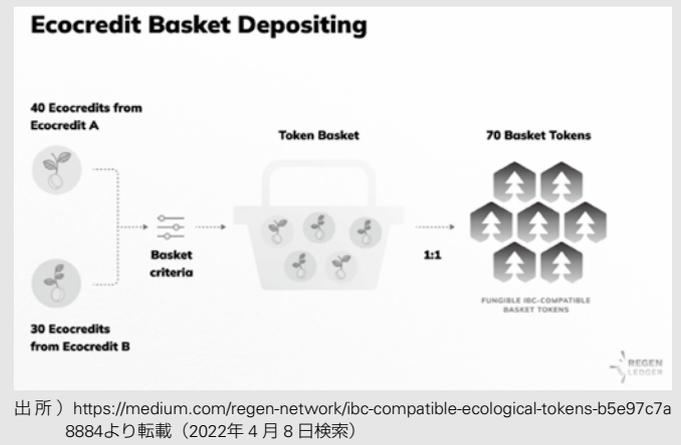
同社は世界有数の金融機関（NAB、CIBC、NatWestなど、日本からは三井住友銀行も参加）が創設した決済プラットフォームCarbonplaceと協業する。Carbonplaceはブロックチェーン上で決済を行う。クレジット売買後の決済業務でもブロックチェーンが活用されることで、取引の信頼性・透明性が確保される範囲が広がる。

### (3) リージェン・ネットワーク（米国）のトークン取引が可能なプラットフォーム

リージェン・ネットワーク（Regen Network）はCIXと同様に衛星による炭素貯留現場の状況を把握する機能を持ち、公開ブロックチェーン上でトークン取引ができるプラットフォームを提供する。

ユーザーがプラットフォームに炭素貯留プロジェクトを登録すると、高品質クレジットであることを保証するため、衛星のリモートセンシングによる農地の現場確認が行われる。現場確認を経てクレジット認証を得ると土壌炭素クレジットが創出され、取引可能となる。ブロックチェーン上では土壌炭素クレジットの一連のステータス（検証・認証・ク

図6 Regen Networkのトークン



レジット移転など）が記録され、取引履歴の追跡や二重計上防止が可能となる。

ユーザーがプラットフォーム上に作成したバスケットに土壌炭素クレジットを預け入れると、引き換えにバスケット・トークン（デジタル証書）を受け取る（図6）。バスケット・トークンは取引所で売却したり、担保資産として利用したり、ほかのブロックチェーンへ転送したりできる。それによって、多様なユーザーを呼び込み、利用者の拡大や取引の活性化に寄与する仕掛けをつくっている。もし、自社のオフセット用途などで土壌炭素クレジットが必要な場合は、トークンを再び土壌炭素クレジットに交換することもできる。

### (4) ノリ（米国）の炭素再放出リスクに備えた自己保険があるマーケットプレイス

ノリ（Nori）は、ブロックチェーン上で農地での炭素貯留で創出された土壌炭素クレジットを取引するマーケットプレイスを運営している。クレジット購入者にはShopifyがいる。

同社は、クレジット購入者に10年間の炭素

貯留を保証している。そのため、クレジット売却後に農家が意図的に農法を変更するなど、炭素再放出が発生した場合、放出分に相当する土壤炭素クレジットを別途購入して使用済みにすることで、クレジットが保証する炭素貯留量と実際の炭素貯留量に差が出ないようにしている。同社は、現在は土壤炭素クレジットを法定通貨で取引している。そのため、放出分のクレジットを購入する資金はクレジット提供者（炭素再放出者）から現金を回収する。

上記は損害賠償と類似した仕組みであるが、将来的には自己保険の仕組みを導入する予定である。土壤炭素クレジットをトークン化してトークン取引のために暗号通貨を発行する。その暗号通貨のうち2割を炭素再放出リスク用として同社が保管することで自己保険の仕組みをつくる。炭素再放出時は、保管している暗号通貨で放出分に相当するクレジットを購入して使用済みにする。マーケットプレースの利用者は、この自己保険の仕組みによって炭素再放出リスクを気にすることなく、安心して土壤炭素クレジットを購入することができる。

#### IV 日本企業に求められるプレーヤーとしての参画

### 1 | 日本で土壌における炭素貯留が普及していない背景と土壤炭素クレジットの可能性

土壌で炭素貯留する主な方法は「バイオ炭の活用」と「炭素貯留農業」の二つがあった。既に土壤炭素クレジット創出・取引の取り組みが始まっている欧米に比べ、日本ではどちらも普及が遅れている。

日本では、前者はバイオ炭の製造・活用方法について方法論は確立しているが、国が認証するJ-クレジット制度対象となったのが2020年と最近であり、バイオ炭の価格が高く費用対効果が見込めないため活用が進んでいない。後者はさらに遅れている。有機物の投入など農法によって炭素貯留ができるという理解が進んでいないことや、デジタルを活用して効率的に高い精度で炭素貯留量を測定する仕組みがないことが原因と思われる。

多くの企業がカーボンニュートラルを宣言し、今後、炭素クレジットに対する需要はさらに高まると予想される。前述のGHGプロトコルによる土壤炭素クレジット売買報告に関する基準が整備され、「精度の高い炭素貯留量測定」や「信頼性のある炭素クレジット取引」の課題が解決されれば、土壤炭素クレジットの創出・取引が活性化する基盤がそろえる。その結果、土壤炭素クレジットのビジネスモデル全体にわたって投資が活性化することが予想され、新しいビジネスが生まれる可能性が出てくる。日本企業はこれを機会とし、土壤炭素クレジットの創出・市場運営・利用のいずれかのプレーヤーとしてルール策定にも参画すると同時に、新規事業や新サービスを創出することが望まれる。

### 2 | どのプレーヤーで、どう実践するのか (1) 土壤炭素クレジット創出プレーヤー

土壤炭素クレジット創出は、国内・国外問わず実践することができる。プロジェクト実施者になるためには、農家を取りまとめ、炭素貯留支援企業やMRVベンダーなどを巻き込む（もしくはその機能を構築する）ことが条件となる。最も親和性の高い企業は自社事

業やサプライチェーン上に農牧地、森林などが関係する企業（グローバル企業含む）が考えられる。たとえば、商社・農業協同組合・食品会社、農学分野の人材を抱え込むことに親和性が高いと思われる農機・肥料・農薬メーカーなどである。また低軌道衛星などを活用したりリモートセンシングに参入できる通信会社のように、企業のコア技術がクレジット創出に利用できる企業や、電力会社など地域の企業連携力を武器に異業種から参入することも可能である。

バイオ炭で炭素貯留を行う場合、費用対効果を出すための低コストのバイオ炭調達が求められる。プロジェクト実施者である「日本クルベジ協会」のプログラムでは、たとえば山梨県南部町にあるバイオマスガス化発電所（南部町バイオマスエナジー）の副産物であるバイオ炭を使用する農家がいる<sup>注15</sup>。また、福井県では鯖江市などと協議会を立ち上げ、農家によるバイオ炭製造を可能にするための実演会などを実施している。実演会では処分が必要な果樹の剪定枝などを原料に、短時間で手軽にバイオ炭を製造できる開放型炭化炉を用いている<sup>注16</sup>。

一方、炭素貯留農業で炭素貯留を行う場

合、化学肥料を使用する農業より有機農業がそれに近い農業の方が炭素貯留効果が期待できる。そのため、そのような農業を行いやすい場所を選定することが望ましい。有機農業に近い農業は、国内であれば、化学肥料・農薬の使用を5割以上減らす「環境保全型農業」などが該当する。貯留プロジェクトの典型的なステップは、炭素貯留農業をグリーンビジネスの一つとするEUの「技術指導要綱」（2021年春公開）<sup>注17</sup>も参考となる（表3）。

日本でも炭素貯留農業による炭素貯留が動き始めた。住友商事は21年に日本とアジアを中心に農地での炭素貯留事業を開始し、オフセット商品（カーボンフリー液化天然ガスなど）の販売を行うと発表している<sup>注18</sup>。山梨県では20年から県内に多く存在する果樹の剪定枝をチップや炭にして土壌に投入するなどして、炭素貯留を実践している。炭素貯留でつくられた農産物の認証制度をつくり、その中でツールによる炭素貯留量の算定を行うことで農家の炭素貯留への理解を促進している。さらに21年に協議会を発足させ、情報共有などを行っている<sup>注19</sup>。このような取り組みは、土壌炭素クレジット創出活動を本格的に始める前段階の施策として有用と考えられる。

表3 EUの技術指導要領が示す典型的な貯留プロジェクトのステップ

| ステップ  | 概要   |
|-------|--|
| ステップ1 | ・ベースラインを設定する（サンプリングや十分に堅牢な計算による）   |
| ステップ2 | ・農場コンサルタントが炭素貯留のための農地管理方法を特定し、農家を支援する  |
| ステップ3 | ・農家が農地管理し、データを記録に残す  |
| ステップ4 | ・定期的に農場コンサルタントが土壌サンプリングを行い、必要に応じて農家と農地管理の議論を行う<br>・農家に炭素貯留に応じて支払うか、2回目の保証金を支払う   |
| ステップ5 | ・プロジェクト期間終了時に、貯留量を最終測定する   |
| ステップ6 | ・農家に最後の支払いを行い、農家は最低5年間は炭素貯留レベルの維持を誓約する<br>・安全策として、①使用する炭素貯留量を割り引く②バッファ（自己保険）を用意する<br>・誓約期間を少なくとも10～15年に延長し、バッファを増やすよう努める |

出所）「Technical Guidance Handbook」より作成

## (2) 土壌炭素クレジット市場運営 プレーヤー

土壌炭素クレジットを扱う市場運営プレーヤーになるためには、先の事例で示したように価格公開の取引市場を開設し、二重計上を防止するとともに、土壌炭素クレジット特有の課題である炭素再放出リスクに備えた保険機能もある安全な取引の仕組みを構築できることが条件となる。その上で、高品質なクレジットを簡単な操作で選んで取引時間を短縮する方法を検討し、トークン化事例も参考にしながら取引を活性化させる仕掛けをつくっていく必要がある。炭素クレジットは金融資産の一つであることから、このプレーヤーとして最も相性がよいのは金融機関である。

## (3) 土壌炭素クレジット利用プレーヤー

企業は業種・規模を問わず、すべて利用プレーヤーとなることができる。土壌炭素クレジットを利用する目的は、企業の自主的な目的のためと前述した。排出削減をしてもやむを得ず排出されるCO<sub>2</sub>を相殺する必要に迫られている企業が存在する。そのような最終顧客である企業に向けてオフセット商品・サービスなどを提供することで、新事業や新サービスを創出できる。また、生活者に向けてもオフセット商品やオフセット機会（寄付）などの提供を契機にして新サービスに誘導することができる。その中には、たとえば、コロナ禍を契機に利用が増え、注目されている仮想空間（メタバース）上のサービスも含まれる。たとえば、オフセットに同意すると仮想空間へ誘導されてトークンなどの特典がもらえ、買い物やコミュニケーション、エンターテインメントを楽しむ、というものである。

さらにトークンにリアルな場所へ誘導する特典も盛り込めば、仮想空間とリアルな場の交流を活性化させることもできる。

## 3 | 今後に向けて

2022年2月、経済産業省から温暖化対策を成長の機会として捉え、積極的に取り組む企業群でGX（グリーン・トランスフォーメーション）リーグを組成する基本構想が発表された<sup>注20</sup>。4月1日時点でその賛同企業は440社に上り、23年4月以降に本格稼働を予定している。GXリーグ参画企業に求められる取り組みは、自社のGHG排出量削減にとどまらず、サプライチェーン内の排出量削減に向けた能動的な働きかけ（例：上流企業への支援）や、オフセット商品の提供などによるグリーン市場の拡大などが必須となっている。その結果、今まで以上に炭素クレジットの創出・取引が増え、最終顧客に向けてのアクションの有無がビジネスに影響を与える可能性がある。

これまで述べてきたように、農地などの土壌における炭素貯留を拡大し、それを市場メカニズムに乗せなければ、温暖化対策は加速しない。多くの日本企業が土壌炭素クレジット創出・取引に参画することが、社会全体で行うGX（グリーン・トランスフォーメーション）につながる。

### 注

- 1 “Summary for Policymakers” (April 2022), IPCC AR6 WG3, C.9, C.9.1, C.11.1
- 2 “Emissions Gap Report 2021 – The Heat Is On” (26 October 2021) p.19, UNEP
- 3 soil carbon management in croplands and

- grasslands
- 4 “Greenhouse Gas Protocol Land Sector and Removals Initiative” (4 March 2022), GHG Protocol Initiative  
<https://ghgprotocol.org/land-sector-and-removals-guidance>
  - 5 “FOREST, LAND, AND AGRICULTURE SCIENCE BASED TARGET SETTING GUIDANCE DRAFT FOR PUBLIC CONSULTATION” (January 2022), SBTi
  - 6 “Voluntary Carbon Markets Top \$1 Billion in 2021 with Newly Reported Trades,a Special Ecosystem Marketplace COP26 Bulletin” (10 November 2021), The Ecosystem Marketplace,  
<https://www.ecosystemmarketplace.com/articles/voluntary-carbon-markets-top-1-billion-in-2021-with-newly-reported-trades-special-ecosystem-marketplace-cop26-bulletin/>
  - 7 「市場メカニズム交渉等に係る国際動向調査報告書」(2021年3月)一般財団法人日本エネルギー経済研究所
  - 8 “State of the Voluntary Carbon Markets 2021” (Sep 2021), Forest Trends
  - 9 <https://www.cnn.com/2021/07/08/carbon-credits-institute-of-international-finance-sees-huge-potential.html> (2022年5月23日検索)
  - 10 MRV (Measurement Reporting Verification)
  - 11 “Microsoft carbon removal Lessons from an early corporate purchase” (2021), “Microsoft carbon removal” (March 2022), Microsoft
  - 12 DNDC (DeNitrification/DeComposition)
  - 13 一定基準の炭素クレジットを集めて商品にすることで代行選定を果たすことができる。米国 XpansivのCBLマーケットで炭素クレジット「N-GEO」を購入すると、VerraのCCB認証基準(地域社会、小規模生産者への利益、生物多様性の保全など)を満たすクレジットを購入したことになる
  - 14 クレジット認証機関最大手のVerraがトークン化の検討を開始。安全にトークン取引を行うためのルール整備や、ブロックチェーンで発生するハッキングやバグによる資産損失に対応する損害保険サービスも期待される  
“Verra Addresses Crypto Instruments and Tokens” (25 May 2022), Verra, Press Releases
  - 15 一般社団法人日本クルベジ協会 (J-クレジット制度に登録されているプロジェクト実施者)、株式会社南部町バイオマスエナジーへのヒアリング (2022年6月28日)
  - 16 福井県農林水産部森づくり課へのヒアリング (2022年6月28日)
  - 17 “Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU : technical guidance handbook” (2021), European Commission, Directorate-General for Climate Action, Radley, G., Keenleyside, C., Frelih-Larsen, A., et al.,  
<https://data.europa.eu/doi/10.2834/056153>
  - 18 <https://www.sumitomocorp.com/ja/jp/news/release/2021/group/14650> (2022年5月23日検索)
  - 19 全国協議会は「4パーミル・イニシアチブ推進全国協議会」、炭素貯留量の算定ツールは「土壌のCO<sub>2</sub>吸収量『見える化』サイト」(農研機構)を活用。農地位置、栽培作物、栽培管理方法などを画面入力・選択する。バイオ炭活用でJ-クレジット化するためには条件に合致するバイオ炭である品質保証が必要となる、山梨県農業技術課へのヒアリング (2022年6月28日)
  - 20 経済産業省「GXリーグ基本構想」(2022年2月1日)

---

#### 著者

佐野則子 (さののりこ)

野村総合研究所 (NRI) ITマネジメントコンサルティング部エキスパート

専門はデジタルを活用した新事業創出支援・新サービス開発支援、DX推進支援