

農業セクターの脱炭素化と 金融に関する論点整理

—文献レビューによるアプローチ—

主事研究員 高山航希

〔要 旨〕

温暖化対策として、地球規模で温室効果ガス（GHG）削減が進められている。農業セクターのGHG排出量は世界のかなりの割合を占めている一方、GHG排出量削減のポテンシャルも高いと考えられており、農業セクターにおけるネット・ゼロやネット・ネガティブの可能性も示唆されている。しかし、削減に向けた取組みはあまり進んでいない。その理由の一つに、削減を進めるために必要な予算や資金の制約がある。それを乗り越えるためには、政府の予算、国際的な基金、民間の資金など、多種多様な資金を組み合わせ、動員できる資金を大きくすることが必要である。そのためには農業セクターにおけるGHG排出量削減のための技術を検証して広く情報公開することや、様々な資金を呼び込むための政策的な仕組み作りが求められる。

目 次

はじめに

1 農業セクターのGHG排出量と削減の
ポテンシャル

- (1) 農業セクターのGHG排出量
- (2) 技術的緩和ポテンシャル

2 農業セクターの緩和に関する政策とその限界

3 資金制約に対するソリューション

- (1) 開発途上国におけるプロジェクト
- (2) 米国における気候変動対応農業
- (3) まとめ

おわりに

はじめに

地球の温暖化が進んでいる。温暖化対策には、温暖化の進行を緩やかにし、食い止め、さらには逆転を目指す「緩和策」(mitigation)と、温暖化が進むことを前提に対応を考える「適応策」(adaptation)があるが、本稿が対象とするのは緩和策の方である。

地球温暖化に対し、世界の様々なセクター、様々なレベルで温室効果ガス(Greenhouse Gas、GHG)排出量削減の取組み、すなわち緩和策が進められている。しかし農業セクター(林業と水産業は含まない)においては、他のセクターと比較して、取組みが進んでいない。本稿では、農業セクターのGHG排出量の緩和策について、ポテンシャルは大きいこと、しかしその発揮において資金制約が課題の一つであることを示したうえで、それを乗り越えるための方策を考えたい。

1 農業セクターのGHG排出量と削減のポテンシャル

(1) 農業セクターのGHG排出量

農業セクターのGHG排出を大きくカテゴリー分けすると、農業生産活動からの排出と、土地利用変化による排出に分けられる。後者の土地利用変化による排出とは、農地にするために森林を伐採したり、有機質土壌を排水したりすることによって引き起こ

されるGHGの排出である。植物は光合成により大気中の二酸化炭素から炭素を取り出して有機物として体内に固定し、固定された炭素は最終的に落ち葉や枯死により土壌に移動する。これを炭素の吸収や固定、隔離等と呼ぶ。一方で土壌中の有機物は微生物により分解されて二酸化炭素として大気中に排出される。固定量と排出量のバランスにより土壌は二酸化炭素の吸収源にも排出源にもなりうるが、森林が伐採されて農地や街となると排出源となる。有機質土壌の排水によるGHG排出とは、水を含んだ泥炭地や沼地などの有機質土壌を、農地に変えるために排水すると有機質の酸化や分解が進み、二酸化炭素や一酸化二窒素が排出されることである。

気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)による『Special Report on Climate Change and Land』(「気候変動と土地に関する特別報告書」)の「Summary for Policymakers」(「政策立案者向けの要約」、参考文献リストのIPCC 2019)によれば、世界全体でみると、農業セクターのGHG排出量のうち農業生産活動からの排出量は 62 ± 14 億 $tCO_2\text{-eq/年}$ (注1)であり、他のセクターを含めた総排出量の12%を占めている。これに加えて、土地を農用地として利用することで発生する、人為的な土地利用変化による排出量は 49 ± 25 億 $t/年$ で、総排出量の9%を占めている。合わせると、世界の総排出量の5分の1から4分の1を農業セクターが占めている計算になる。

上記より新しい、IPCC第6次評価における第3作業部会報告書『Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change』（「気候変動2022：気候変動の緩和」）の第7章「Agriculture, Forestry and Other Land Use」（「農業、林業とその他の土地利用」、参考文献リストのNabuurs et al. 2022）は、これらのセクターをはっきりと分けることは難しいとして、ひとつのAFOLUセクター（Agriculture, Forestry and Other Land Useの頭文字）として扱っている。AFOLUセクターの人為的な排出量は、2010年から2019年の平均で119±44億tCO₂-eq/年とされており、そのうちの約半分が農業セクターの生産活動に由来するとされている。IPCC（2019）と数値は大きく変わっていない。

なお、農業セクターの排出量の1990年以降のトレンドとして増加傾向にあるのか、それとも減少傾向にあるのかについてIPCC（2019）やNabuurs et al.（2022）は、明確なトレンドが見られないとしている。土地利用変化によるGHG排出量は推計値の不確かさが大きく、トレンドを判断しづらいというのがその要因である。

Nabuurs et al.（2022）によると、土地利用変化を除く農業セクターの排出量をより細かく分類すると、最も大きなシェアを占めるのは反芻動物が排出するメタンである。肉や乳を取ることを目的に使用される牛や羊といった反芻動物は、植物のセルロース等を胃で消化する際に微生物による嫌気性発酵を利用するが、そのとき発生するメタンは重量当たりで二酸化炭素を上回る温室

効果を持つ（注2）。次に多いのは人為的に管理されている農地や林地の土壌から発生する二酸化炭素と一酸化二窒素で、窒素を含む肥料の施用や放牧地の家畜が排泄する糞尿等により土壌の窒素が増えると、微生物によってより多くのGHGが生成されるようになる。さらに、水田作からのGHG排出が3番目に多いカテゴリーとなっている。水田は日本を含むアジアで広く利用されているが、土壌が水で覆われ空気と遮断されるため、稲の呼吸によって土壌の酸素の量が減ると、嫌気性発酵によりメタンが発生する（注3）。このほか、家畜の糞尿管理や化学肥料の施用、作物残渣等の燃焼が農業セクターの主なGHG排出源である。

（注1） [tCO₂-eq] はGHG排出量の単位であり、重量を表す [t] (=1,000kg) に、二酸化炭素換算量であることを表す [CO₂-eq] が付属している（eqは、等価や同等といった意味の英単語 equivalentの略）。GHGには二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）、亜酸化窒素とも）等がある。同じ重量あたりで比較すると、メタンの温室化効果の強さは二酸化炭素の25倍程度、一酸化二窒素は二酸化炭素の300倍弱と言われている。数値は研究によって若干異なり、例えばIPCC AR4ではメタンと一酸化二窒素にそれぞれ25倍と298倍、AR5では28倍と265倍、AR6では27倍と273倍が採用されている。こうした値を使い、二酸化炭素を標準として諸々のGHG排出量を換算したものがtCO₂-eqである。以下では [CO₂-eq] を省略して単に [t] と書く場合がある。

（注2） 平田・河原林（2022）を参照。

（注3） 科学技術振興機構ウェブサイト「サイエンスポータル」の記事「農業で地球温暖化に立ち向かう～水田からのメタン抑制と高温耐性のイネ育種～」を参照。

https://scienceportal.jst.go.jp/gateway/sciencewindow/20200430_w01/

（2）技術的緩和ポテンシャル

GHG排出量に対して、利用可能な削減技

術を最大限に用いた時にどれだけ排出量が削減できるかを表すのが技術的緩和ポテンシャルである。

農業セクターにおける緩和の戦略には①GHG排出量の削減、②炭素吸収量の拡大がある。①は、新しい農法や新しい品種の導入により、農業生産過程で排出されるGHGを減らす戦略である。②は、植物によって大気から吸収され農地などの土壌に固定される炭素量を増やす戦略である。

論文「Greenhouse gas mitigation in agriculture」（「農業における温室効果ガスの緩和」、参考文献リストのSmith et al. 2008）の推計によれば、農業セクターの技術的緩和ポテンシャルは、①と②の合計で55～60億tCO₂-eq/年である。またNabuurs et al. (2022) は、林業を含まない農業セクターの①と②を合計した技術的緩和ポテンシャルとして2020～2050年において平均112億t/年という推定値を掲載している。つまり技術的には農業セクターが「ネット・ゼロ」に近づくことは相当程度可能であり、それどころか「ネット・ネガティブ」の可能性すら示唆されているのである。

2 農業セクターの緩和に関する政策とその限界

OECDの『Enhancing Climate Mitigation through Agriculture』（「農業で気候変動緩和を強化する」、参考文献リストのOECD 2019）によれば、前節で説明した内容にも関わらず、農業セクターのGHG削減を目標

としている国は少ない。例として、日本の「地球温暖化対策計画」と「みどりの食料システム戦略」を見てみる。「地球温暖化対策計画」は、パリ協定の「国が決定する貢献」（nationally determined contribution、NDC）として日本政府が表明したものの基礎になっている。NDCとは、パリ協定加盟各国が自発的に設定しその達成に向けて取り組むことが求められるGHG排出量の削減目標であり、NDCの設定は参加国の義務となっている（注4）。「みどりの食料システム戦略」も「地球温暖化対策計画」をもとにしており、同計画の農業セクターに関する部分がまとめられている。

国立環境研究所による推計を農林水産省（2022）がまとめたところによれば、日本の農林水産分野のGHG排出量は2020年度に5,084万tCO₂-eqと推計されている。これに対し「地球温暖化対策計画」における農林水産分野の各種対策による排出削減の目標値は2013年度対比で2030年度に合計△4,950万tである（農林水産省 2022）が、うち△3,800万tは森林による吸収量の増加によるものであり、農業セクターによる貢献は一部である。「みどりの食料システム戦略」もこの目標に基づいており、農業セクターによる緩和ポテンシャルの発揮を見込んだものにはなっていない。

このように農業セクターにおけるGHG削減があまり計画されていないことについてOECD（2019）は、考えられる理由をまとめ、農業セクターのGHG削減に向けた政策にいくつかの障壁があると指摘している。

その第一のものとして挙げているのが、経済的障壁である。

農業生産におけるGHGの排出は外部不経済の一例であり、GHG削減技術の導入には追加的な費用がかかるため、政府による規制や支援が無ければ生産者は削減技術を導入しない。GHG削減のためには政府の介入が必要である。政策手段にはいくつかの種類があり、①カーボンプライシング、②生産者による削減技術の導入を奨励し支援する補助政策、③農業生産性向上政策、等がある。このうちGHG削減に最も効果的と考えられているのは①カーボンプライシングである。より具体的には、生産者が事業を通じて排出するGHGの量に課税する「炭素税」や、生産者にあらかじめ排出枠を設定して排出枠取引市場を整備し、排出枠が余った生産者と不足している生産者の間で売買させる「キャップ・アンド・トレード」等がある。いずれの場合においても、GHG排出量に単一の価格（炭素税率も価格の一種と考える）が存在したうえで、どのような戦略や手段で排出量を削減するかの判断は各生産者に委ねられているのが、効果の高さのポイントである。生産者は自身の環境や条件を踏まえたうえで、最適な戦略や手法を採ることが期待される。

カーボンプライシングにおける炭素の価格は、1 tCO₂-eqあたり100米ドル（USD）程度までが想定されている。例として炭素税が導入された場合を想定すると、生産者は、排出量を1 t削減するのにかかる追加的費用が炭素税率を下回る技術のなかから最

適なものを選択し、導入する。加えて、GHG排出量の程度によって品目間の生産費用の差異が変化するため、炭素をより多く排出する品目の生産を縮小あるいは中止し、排出量の少ない品目を拡大あるいは新規導入すると考えられる。さらには、炭素排出量が多く炭素税負担に対応できない生産者の撤退や条件の悪い農地の放棄が促され、炭素排出量の少ない効率的な生産者や農地への集約が進む。

一方で排出量削減に要する費用が炭素価格を超える技術は導入されない（注5）。これが経済的障壁である。Smith et al. (2008) は、これも踏まえた2030年における経済的緩和ポテンシャルを、炭素価格100USD/tCO₂-eq以下において40～43億tCO₂-eq/年と推計している。Nabuurs et al. (2022) は100USD/t以下において41億t/年という値を載せている。

効果的であることに加え、政府の財務負担が軽いのもカーボンプライシングの利点として挙げられる（OECD 2019）。むしろ炭素税収入が期待できる。

欠点として、課税のためには、各生産者における実際のGHG排出量を測定あるいは推定する必要があり、そのための手間や費用がかかるうえ、その技術も発展途上であることが挙げられる（OECD 2019）。また、全世界で一律に導入しないと効果が落ちる点も指摘される。炭素税を課さない国があると、その国に生産拠点が移転してしまうおそれがある。

筆者には、農業生産構造に大きな影響を

与えることも欠点と思われる。カーボンプライシングは、生産者に対して生産品目の転換や、対応できない場合には生産からの撤退をも迫る。特に小規模生産者ほど対応が難しくなり、対応できる余力のある大規模生産者や効率的な生産者への集約が進むと考えられる。こうした生産構造の変化はGHG削減の観点からは好ましいといえるが、環境以外の面に目を向けると、良い点ばかりとは限らないと思われる。

現実にカーボンプライシングを進める困難さも指摘されている（OECD 2019）。上記のような面を持つことから生産者からの反対が大きいと思われる。加えて炭素価格は消費者価格に転嫁される可能性があり、GHG排出量の多い食品がより値上がりする結果、消費行動の変化を迫られるため、消費者からの反対が大きいことも予想される。

政策立案者としても、炭素税は農業のもう一つの課題である食料安全保障（フードセキュリティ）の悪化に繋がるおそれがある（注6）。そのため農業セクターの緩和に向けた現在の政策は、カーボンプライシングよりも、補助政策に依っている（OECD 2019）。補助政策は、特定の削減技術を生産者が導入することに対して補助金を出す形態が多いと考えられる。カーボンプライシングが生産構造に大きな影響を及ぼしうる以上、遂行が比較的容易な補助政策をまず進める方針は、現時点で妥当と思われる。政府が適切な技術に補助を付ける限り、個別経営のレベルではカーボンプライシングと同程度に削減効果をもたらすケースがあ

るだろう。

ただし留意点として、補助の対象となる技術が全ての生産者や全ての地域にとって必ずしも最適な選択とはならない。また、排出量のより少ない品目への転換や、効率的な生産者への集約、消費行動の変化を促す効果は持たないことから、補助政策のみによるGHG削減量は経済的緩和ポテンシャルより低くなると考えられる。

補助政策を進めるうえで制約となりうるのが資金面の課題である。Buchner et al. (2021)によれば、世界の気候変動対応資金（climate finance、政府・民間の投融资のほか、政府からの補助金等も含む）のうち農業セクター向けは数%程度であり、十分とは言いがたいことが指摘されている。補助政策によるGHG削減量は、政策が用意できる予算の大きさに左右されると考えられるため、現状では農業セクターの緩和策を進めるには限界があると言えよう。次節では、その制約を乗り越えるためにどのような方策が考えられるか、文献をもとに考察したい。

なお、別の角度からのGHG削減政策として、農畜産物の需要者側への政策的介入も効果が大きいといわれている（Nabuurs et al. 2022, IPCC 2019）。具体的には、動物性食品、特に反芻動物由来の品目の消費を減らして植物性食品の消費を増やすことや、フードロスの削減策などである。Nabuurs et al. (2022)によれば、これらに林業セクターの木製品の利用効率向上を合わせると、炭素価格100USD/t以下で22億t/年の追加的

な経済的緩和ポテンシャルがあると推定されている。Nabuurs et al. (2022) は既存の研究をまとめ、食習慣は地域や所属コミュニティによって異なり、またそれは地域的な農業生産構造やバリューチェーンと関わっているため、食習慣の移行を進めるには地域ごとに様々な政策を組み合わせる必要があるになると指摘している。

さらに別のアプローチとして、大手スーパー等のGHG排出量を規制することが、スコープ3排出量を通じて取引先たる農業生産者に効果を及ぼすという考え方もある。しかしその場合でも、緩和策導入のための資金調達の問題になるだろう。

(注4) NDCについては外務省ウェブサイト参照。
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html

(注5) ある生産者が炭素税以上に費用のかかる削減技術しか利用できないのであれば、削減技術の導入をせず、炭素税を払ってしまった方が負担は軽い。

(注6) OECD (2019) のシミュレーションによれば、全世界で一律に炭素税を導入した場合、生産コスト増への反応として農業生産量が減少、農産物価格は上昇し、フードセキュリティが悪化する。その後、生産量が回復することで価格はやや低下し、フードセキュリティも改善する。

3 資金制約に対するソリューション

ここまでの議論から、農業セクターにおける緩和策導入には、資金が制約のひとつになっている状況が指摘できる。本節では、2つの文献を通じて、その制約を乗り越えるためのポイントを考える。

(1) 開発途上国におけるプロジェクト

論文「Financing climate change mitigation in agriculture: assessment of investment cases」(「農業の気候変動緩和に資金を出す: 投資事例の評価」、参考文献リストのKhatri-Chhetri et al. 2021) は、気候変動の緩和に関する農業セクターの取り組みが遅れている理由として、政府あるいは民間の資金を農業セクターの緩和プロジェクトに向かわせるだけのビジネスケースがないことを仮説として挙げ、途上国における実際のプロジェクトの計画を文献から分析し、資金を呼び込むための立案について考察している。なお、ビジネスケースとは投資や事業実施の根拠となる、事業計画書のことを指す。

a 対象となったプロジェクトの対象

同論文の題材となったのは、タイの水稲作、ベトナムの水稲作、インドの畑作、ケニアの酪農、コロンビアの酪農において、GHG排出の緩和策に関連するプロジェクトである。いずれも各国の政府が進めているものであり、なかでもベトナムとインドのプロジェクトはパリ協定におけるNDCに結びついている。特にベトナムは2030年におけるメタン排出量を2020年比で30%削減することをCOP26で表明しているが、NDCにおいては水稲作における取り組みもメタン削減の手段として挙げられている(注7)。また、タイ、ケニア、コロンビアのプロジェクトはNAMA (nationally appropriate mitigate actions、開発途上国による適切な

緩和行動)に結びついている。NAMAは気候変動枠組条約締約国会議で定められている、非附属書I国(開発途上国)が行う自主的な緩和行動のことである(注8)。

b 実装が進められる新技術と期待される効果

これらのプロジェクトは、各セクターに適した技術の実装を手段としている。タイとベトナムの水稲作に関するプロジェクトにおいては、AWD(注9)や稲わらの適切な管理、中干し、レーザーレベラーによる均平化が含まれている。AWDと中干しはいずれも水田の常時湛水を避ける農法で、高価な設備や機材を必要とせず、メタンの発生を抑制する効果がある点で共通している。AWDは節水にも貢献する。稲わら管理とは、作物残渣である稲わらを適切に処理することで、焼却による二酸化炭素等の発生や圃場で腐敗することによるメタンの発生を防ぐ取組みである。GHG削減の観点からは収穫後の早いうちに乾燥状態の土壤に鋤き込むことが望ましいとされている。レーザーレベラーによる均平化は、施肥量の適正化や水田における水使用量の適正化に繋がる。

インドの畑作においては、土壤検査と施肥量の最適化が目的となっている。インドでは過剰施肥が問題となっており、土壤検査の結果にしたがって、土壤の特徴に適した栽培品目を選んだり、施肥量を調節したりできれば、費用削減や生産性の向上につながる。窒素量や化学肥料に関連するGHG

抑制の効果も期待できる。

ケニアとコロンビアの畜産においては、飼料の改良、畜舎の改良や糞尿の適切な管理、管理放牧や林間放牧が含まれる。飼料の改良はそれを食べる家畜からのメタン排出量を削減する効果がある。管理放牧は牧草地の特定の区域をどのくらいの期間放牧に供し次の放牧までどのくらいの期間休ませるか管理すること、林間放牧はシルボパスチャー(silvopasture)とも言い管理された林地で放牧することで、いずれも土壤の炭素量を増やす炭素隔離の効果と、動物からのGHG排出量を削減する効果がある。

同論文では各プロジェクトの内容が検証されている。そのポイントとして、いずれも科学的根拠に立脚した取組みになっているため、GHG排出量の削減効果が期待できるとまとめられている。例えば、タイの水稲作の事例では政府が国際稲研究所(注10)やドイツ国際協力公社と連携し、AWDや中干し、レーザーレベラーによる均平化等の技術を評価して、普及の対象に採用した。プロジェクトに採用されている技術と計画されているプロジェクトの規模から、808万tCO₂-eq/年のGHG削減効果があると同論文では推計されている。

インドの畑作では施肥量適正化のため「土壤健康カード(soil health card、SHC)」という仕組みを採用している。SHCについて、インド政府のウェブサイト(注11)を参照して、より詳しい説明を試みる。SHCのプログラムでは、農家が保有する農地の土壤のサンプルを採取して検査場に持ち込

むと、窒素、リン酸、カリウムや水素イオン濃度（pH）等、土壌の状態を表すパラメータを記したカードを得られる。カードはその農地での栽培に適した品目が分かるようになっており、最適な生産量を得るための施肥量の推奨値や土壌改善に向けたアドバイスも載っている。さらにはそれを実行するためのサポートも受けられるようになっている。SHCはインド全土で全ての農家が利用でき、インド政府の発表によれば2022年2月までに農家に配布されたカードは合計2億3,000万枚に上っている。Khatri-Chhetri et al. (2021) はSHCにより1,750万t/年のGHG削減効果があると見込んでいる。

c 各プロジェクトの予算規模や資金調達

他方、各プロジェクトの予算をみると、規模は5年間で6,800万USDのものから10年以上で11億USDのものまでの幅がある。こうした資金の主な出し手は各国の政府であるが、国際的な基金や民間からの資金も多く投入されている。プロジェクトのなかには、政府以外の資金が十分に確保できた場合にのみ実施される、という条件付きであったものもある。

タイの水稲作に関するプロジェクトは、NAMAを支援する国際的枠組み「NAMAファシリティ」からの資金を調達している。同プロジェクトでは、レーザーレベラーなど必要な機器は各地の農業サービス事業者が導入し、農家はそのサービスを利用して新しい技術を利用する形態となっている。プロジェクトの資金は、サービス利用料支

払いへの補助として農家に支給されるほか、農業サービス事業者の開業や設備の導入に対する補助としても支給される。そのため、こうした農業サービス事業者は政府と民間の共同出資となっている。他国における気候変動対応水稲作を対象とした試算によれば、必要となる設備の導入費用と比較して毎年の農家の利益増加額が十分に大きいことが示唆される。これにより、タイのプロジェクトにおける農業サービス事業者の開業は、投資として有望な機会と同論文の著者らは見込んでいる。

ケニアの酪農に関するプロジェクトでは、政府資金は触媒的投資として比較的少額で、全体の資金の半分は商業金融機関やマイクロクレジットが投資している。ほかに民間酪農セクターやUNFCCCの「緑の気候基金」の資金も多い。プログラムは、商業金融機関やマイクロクレジットが乳業工場の改良のための資金を農家や酪農協に貸し付けることを支援しており、そのなかには財務管理の能力強化のような内容も含まれている。飼料生産者は商業的飼料生産やマーケティングの資金をプログラムから無利子で借り入れられるほか、酪農協や乳業工場も民間資金とは別に無利子融資を利用でき、クリーンエネルギー技術の導入に使える。農家も家庭用バイオガス発生装置の導入に民間からの借入と補助金を利用できる。民間の乳製品加工業者による、気候変動に対するレジリエンスを高めGHG排出量の少ない牛乳管理を普及する事業活動に対しても、補助金が出される。同論文は、ケニアにお

ける他の事業計画の分析により、このプロジェクトにおいても民間による飼料の製造販売事業や乳業工場改良への投資は実行可能と見込んでいる。

インドのSHCは中央政府と地方政府が資金を出しているが、村落レベルの土壤検査所などには政府資金を利用した民間が開業しているものもある。この共同出資の仕組みによって土壤検査所が様々な地域に広がり、さらに検査は無料であるため、零細な農家も検査を利用しやすくなっている。検査所が負担する、設備や試薬の購入資金や検査1サンプル当たりの費用等は政府からの補助によってカバーされる。こうした仕組みによって、同論文は、民間検査所の開業やそこへの貸付は投資として実行可能とみている。

タイとケニアの事例に共通するのは、仕組みを工夫することで、政府の資金に加えて、外国からの資金や国内の民間の資金を呼び込んでいることである。これにより、政府の予算だけでは不可能だった規模でGHG排出量の削減を進めることが可能になっている。

仕組みの具体的な内容として、補助金や政府と民間の共同出資形態を利用して、民間が負担するリスクが抑えられるようにしていることが目立つ。タイやインドでは、農家の負担を抑えつつ新しい技術を各地に普及させる方策として、共同出資の事業体によってサービスとして提供されている。民間事業者のリスクがさらに抑えられるよう、農家のサービス利用にも補助金が支給

されている。そのうえ、各地の専門家が農家に新しい技術の導入についてのサポートもプロジェクトに含まれており、こうした活動もサービスの利用を促すと考えられる。

d 小括

Khatri-Chhetri et al. (2021) は結論として、大きな規模での緩和プロジェクトは実行可能であると述べている。科学的な検証を踏まえて気候変動の緩和について効果があると考えられ、投資に対する経済的リターンも見込めるためである。それを実現するためには、政府の予算に加えて、国際的な開発投資に関する資金や、気候変動対応資金、あるいは国内や地域の民間の資金を組み合わせることで制約を乗り越えることが必要である。農業セクターへの緩和策導入は広く知られていない部分が多い分野であるため、そのプロジェクトにはリスクを低減するような仕組みが求められる。

ここまで触れなかったが、同論文では、政府による債務保証や金融機関への無利子融資、金融機関からの貸出への利子補給などによっても、民間による投資のリスクを下げ、リターンを計算しやすくする効果があると述べられている。こうした取組みには、民間資金のより多くの部分を気候変動対応に沿う形で働かせるという意味もある。

同論文が取り上げた事例を通して、世界的には、農業セクターの緩和に向け、各種資金を組み合わせる大規模なプロジェクトが広がっていることが理解できる。農業セクターが持つ緩和ポテンシャルの発揮に向

け、今後も一層広がっていくと思われる。

(注7) 国連気候変動枠組条約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ウェブサイトに掲載されているベトナムの最新のNDC (2022年11月) による。
<https://unfccc.int/documents/622541>

(注8) NAMAについては環境省ウェブサイト「炭素市場エクスプレス」を参照。
<http://carbon-markets.env.go.jp/mkt-mech/climate/nama.html>

気候変動枠組条約において、附属書I国(先進国等)に温室効果ガス削減目標の言及があるのに対し、非附属書I国には言及がないため、自主的という。

(注9) alternate wetting and dryingの略。水田の水面が土壌表面を一定程度下回ってから水を引き入れることを繰り返すもの。詳しくは国際稲研究所(次の注を参照)による説明を参照。AWDには「間断灌漑」等の訳語があるが、AWDが最も使われていると思われる。

<http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/water-management/saving-water-alternate-wetting-drying-awd>

(注10) 国際稲研究所 (International Rice Research Institute, IRRI, イリ) は、フィリピンにある稲作の研究機関である。IRRIの開発したイネの品種「IR8」は「緑の革命」実現の一要素となった。

(注11) インド政府ポータルサイトを参照。
<https://www.india.gov.in/spotlight/soil-health-card>

(2) 米国における気候変動対応農業

a 気候変動対応農業の内容と評価

世界的な人口増加に対応するための農業生産量の増大、つまりフードセキュリティの維持・向上と、農業セクターからのGHG排出量の削減を両立させる考え方として、気候変動対応農業 (climate smart agriculture、CSAとも)がある(注12)。米国の農業者・牧場主・研究者による報告書「Transformative Investment in Climate-Smart Agriculture: Unlocking the potential of our soils to help the U.S. achieve a net-zero economy」(「気

候変動対応農業への移行的な投資：米国のネット・ゼロ経済の実現に貢献するために私たちの土壌のポテンシャルを解放する」、参考文献リストのUSFRA 2021)は、気候変動対応農業のなかでも特に土壌健全化 (soil health practices) に重点をおきつつ、導入の効果と課題を検討した報告書である。土壌健全化とは、同報告書の説明に加えて米国農務省自然資源保全局 (Natural Resource Conservation Service, NRCS) ウェブサイトの記述も参考にすると、耕種と畜産を含む農業生産において①土壌の保護、②土壌の攪乱の最小化、③植物の多様性の最大化、④生きた植物とその根が継続的に土壌に存在すること、⑤家畜の導入、を原則とする取組みである。具体的な技術としては、耕起を全く行わない不耕起栽培や極力減らす省耕起栽培、緑肥の利用、輪作、堆肥の利用、管理放牧、耕種と畜産の統合(注13)といったものが含まれる。

同報告書は、こうした取組みの個別の便益を列挙している。例えば、土壌の浸食の緩和や、有機物含有量と土壌の質の維持と向上、エネルギー消費量の削減、水質の維持と向上、野生動物への食物と住処の提供といったものが含まれる。特にGHG削減のポテンシャルに関しては、既存研究から数値を引用して、土壌健全化以外の気候変動対応農業の取組みも合わせて推計している。それによれば、ベースラインにおける米国全体のGHG排出量は65億tCO₂-eq/年であり、うち農業セクターが9.9% (6億t) を占めている。土壌健全化を含む気候変動対応

農業の実用可能（practically achievable）な技術が広く普及したと仮定すると、農業セクターの排出量は1～5年で46%削減でき、他のセクターの排出量が変わらなければ米国全体の排出量に占める割合は3.8%に低下する。さらに、気候変動対応農業の最先端技術（frontier technologies）も利用できたと仮定すると、5～15年で農業セクターの割合は△4%となることも示している。つまり、農地や牧草地の土壌への炭素隔離量が農畜産物の生産過程における炭素排出量を上回り、農業セクターが炭素吸収源（carbon sink）になることを意味している。

気候変動対応農業は収益性も高いと、同報告書は複数の研究を参照しつつ指摘している。筆者が見たところによれば、その内容は研究によって様々であり、必ずしも良い効果ばかりとは限らないが、総体として収益性改善が期待できるということである。具体的には、不耕起栽培などの場合はコストの低下、耕種と畜産の統合に関しては畜産物も商品になるため売上が増加すること、等の効果がある。加えて、気候変動対応農業による生産物というだけでは価格は上がらないが、有機栽培や減農薬栽培、減化学肥料栽培等として認められる場合にはプレミアムが乗る。メインとなる作目の単収は、慣行農法と比較して上がる場合と下がる場合があるが、極端な気候や天候に対して強く（レジリエンスが高く）なる可能性が指摘されている。筆者なりにまとめると、気候変動対応農業は、スマート農業あるいは精密農業の一環としても解釈可能

であり、施肥量などの要素投入量が最適化される結果、環境負荷の改善と生産性向上が実現できるということと思われる。

このように気候変動対応農業の持つGHG削減のポテンシャルは高く、収益性に関しては少なくとも慣行農法と比較して悪化するとは言えない。しかし、導入には障壁が存在する。同報告書はそれを①経済要因、②動機付け、③情報と実装、④外部要因に分類している。①経済要因はさらに、気候変動対応農業の経済モデルがないこと、資金調達が可能なことの認知と資金へのアクセスに課題があること、ビジネスパートナーとの既存の契約が、特にローンやリース契約において、複雑だったり硬直的だったりすることで新しい取組みを阻害しうること、気候変動対応農業の生産物というだけでは価格にプレミアムが乗らないこと、に分けられる。②動機付けとしては、生産者の新しい取組みへの適応力、リスク耐性、試行錯誤や忍耐の能力、が挙げられている。③情報と実装では、土地特有の情報の欠如、適切なサポートの有無、ブロードバンド回線など技術基盤や設備の利用と導入の可否、気候変動対応農業の各取組みに固有の要素がある。④外部要因としては、借地の場合その期間、気候変動対応以外の政策との調整が挙げられている。こうしたことから、金融と技術は、それだけで全ての障壁が乗り越えられるわけではないが、気候変動対応農業の普及の鍵になるものとして重要とされている。

b 気候変動対応農業の普及に向けた金融

そのうえで同報告書は、米国に気候変動対応農業を普及させるための金融について考察している（注14）。まず現状の農業金融フローを分析し、農業セクター（食料と農業のバリューチェーン企業を含む）の外から内への資金フローを年間1兆USD弱と見積もっている。その内容は多様で、農業生産者への資金を仲介する機関はファンドが最も金額が多く、次いで農業信用制度（farm credit system）、商業銀行等である。これら金融仲介者が資金を調達する手段としては、ファンドが利用する上場株式が最も多い。次いで多いのは債券や預金を含むフィクスト・インカム（注15）であり、農業信用制度や商業銀行が利用している。そのような手段を利用して投資する主体には機関投資家が最も多く、個人がそれに次ぐ。

同報告書は、気候変動対応農業の普及には、既存の農業金融のより多くの割合を気候変動対応に振り向けることが必要であるとする。それに加えてフードセキュリティの維持・向上のためには農業生産の拡大が求められるため、既存の農業金融フローだけでなく新たな資金源も必要になる。同報告書は、新たな資金源として気候変動対策金融に注目し、そのより多くの部分を農業に引き付けることを主張している。気候変動対策金融は、サステナビリティ・リンク・ローン（sustainability linked loan、SLL）やグリーン・ボンド、あるいは投資先の気候変動対策をテーマにしたファンド等を含み、金融セクターにおいて近年注目が高まって

いる分野である。金融機関を中心にESG投資へのニーズは高いため、こうした資金を呼び込めれば気候変動対応農業のポテンシャルをより大きく発揮させることが可能になる。

これについて、同報告書は様々な金融ツールを組み合わせることの意義を強調している。生産者にとっては気候変動対応農業の導入には様々な資金が必要になるが、それは資金の出し手にとってみると様々なりリスク・リターン特性を持った金融商品になるためである。例えば、生産者が必要になる運転資金は比較的に低リスクと考えられるため、金融商品としては譲渡性預金やMMF、銀行預金・貸出金が適合する。具体例として、米国では地域金融機関が地元の農業者の気候変動対応に融資することを目的にした預金商品がある。

生産者が土壌健全化の取組みに向けて新たな資金が必要になった場合には、差し出す担保がなく、リターンも説明しづらいため、OBF（on-bill financing）が手段の一つとして使えるのではないかと同報告書は述べている。近年利用が広がっているOBFは、主に省エネルギー化や再エネ設備を導入したいがその資金がない個人や事業者が利用する金融商品で、電力会社やガス会社といった公益企業に支払う光熱費に借入の返済金を上乗せして支払うものである。電力やガスなどのサービス利用履歴や料金支払い履歴から信用力を判断でき、また支払いが滞った場合にサービス供給を止められる（注16）。

ファンドの中には、投資家から調達した比較的高いリスクに耐えられる資金と、ファンドが運用する資金とは別枠として銀行等から調達したリスク許容度の低い資金を組み合わせ、農業者の気候変動対応に融資しつつ、生産者に対する技術サポートもファンドの予算で行うものが存在する（注17）。銀行のリスク許容度の低い資金に対しては、ファンドから債務保証を提供することで、リスクを下げている。

気候変動対応農業をこうした様々な資金に対応させるために必要な取組みとして、同報告書は6点あげている。①資金を運用している人に実証済みの技術について情報提供すること、②農業金融関係者に近年の金融の革新を認知してもらうこと、③農業者はビジネスパートナーの協力を得ること、④モニタリング、推計、報告、認証のためにITを活用すること、⑤気候変動対応農業の障壁を除くために様々な資金を使うこと、⑥SLLなど新しい金融ツールを試してみる。気候変動対応農業のポテンシャルを最大限に発揮するには、こうした取組みが重要である。

(注12) 前項で紹介した内容にもGHGの削減と生産性の向上がいずれも見込める取組みがあり、それらは気候変動対応農業とみなせる。日本語ではクライメート・スマート農業等の表記も見られる。

(注13) NRCSウェブサイトによれば、耕種を栽培する農地で家畜を放牧すること等を通じて、土壌の健全性を高める取組みを指す。具体的には収穫が終わった後の秋冬に放牧して緑肥や作物残渣を食べさせる等の方法がある。

<https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/conservation-by-state/north-dakota/soil-health-principle-5-of-5-livestock>

(注14) ここでは割愛するが、USFRA（2021）は技術的な課題、特にITの活用についても詳しく分析している。

(注15) fixed income。預金や債券や貸付金のように、原則として元本が不変で定期的に利子が支払われる金融商品のことを指す。固定金利だけでなく変動金利のものも含む。

(注16) ここでは簡潔に書いたが、OBFは仕組みが複雑であるため、詳細は米国エネルギー省による説明等を参照。

<https://www.energy.gov/eere/slsc/bill-financing-and-repayment-programs>

(注17) 同報告書で事例として挙げられている、IDHの「AGRI3 Fund Technical Assistance Facility」である。

<https://www.idhsustainabletrade.com/landscapes/agri3-fund/>

(3) まとめ

上記2つの文献からわかることとして、農業セクターの緩和策推進のための資金調達で求められることを2点、指摘しておきたい。

1点目は、緩和に関する技術について、環境や社会、経営に対する効果を科学的に調査・分析し、その影響を発信することである。様々な文献がその効果をポジティブに評価しているためポテンシャルは十分にあると言って良いが、農業技術の難しさは、圃場の立地など条件が変われば効果も大きく変わりうることである。調査・分析・発信は、それによる不透明性をやわらげ、政府や国際的な基金、民間の投資家といった主体が農業セクターの緩和策に資金を出しやすくする意味がある。また単純に、政府資金やSLL等の気候変動対応資金の場合、投資に対する効果の検証が求められる。そしてさらに重要なこととして、より多くの生産者、より多くの地域が緩和技術を導入

する後押しともなるだろう。

2点目は、様々な資金を組み合わせる、という発想の重要性である。緩和策を進めるための原資となりうる資金としては、各国政府の予算、国際的な基金、民間投資が挙げられる。補助金として支出されれば終わりの資金ではなく、リターンを期待される投資資金の場合、そのリスク・リターン特性はさまざまである。さらに投資対象で分けてみても、農業セクターを対象とするもの、気候変動対応を対象とするもの、開発投資を対象とするものなどが、農業セクターの緩和策導入に対する資金の出し手となりうる。より多くの資金をこの分野に引き付けるためには、補助金や融資、出資、債務保証などのツールを組み合わせ、様々な性格の資金が役割を果たせるような仕組み作りが求められる。

おわりに

農業セクターの脱炭素化のポテンシャルは大きく、ネット・ゼロやネット・ネガティブの達成も示唆されている。しかし、ポテンシャルの発揮にいくつかの障壁があり、その一つに、資金不足がある。農業セクターの脱炭素化を進めるためには、より多くの資金を呼び込み、動員できる資金の規模を大きくすることが必要である。それには緩和技術を科学的・経済的に検証して情報を公開することや、様々な資金を呼び込むための政策的な仕組み作りが求められる。

最後に、第2節で詳述したカーボンプラ

イシングに関し、その導入の可能性について触れておきたい。同制度は緩和を進めるための強力な政策であるが、導入されると生産構造に大きな影響があることが予想される。緩和策を導入するための資金や信用力がない中小の生産者などは負担に耐えられず、農業生産からの撤退を迫られるおそれがある。小規模零細な経営体が多いと言われる日本においては、その影響が大きいと思われる。しかし、気候変動対応がなかなか進まない状況が明らかとなった場合には、カーボンプライシングが農業に導入される可能性がないとは言えない。

現に、農業以外のセクターにおいては、カーボンプライシングの導入が徐々に広がっている。日本政府においても環境省を中心にカーボンプライシングが議論されており、岸田政権は2023年度から日本版カーボンプライシング制度を段階的に導入することを決定している。排出量取引（GX-ETS）も2023年度に始まる予定である。

農業セクターにカーボンプライシングを導入する動きも始まっている。ニュージーランドは、同国のGHG排出量の過半を占める農業セクターに対し、2025年にカーボンプライシングを導入することを計画している（注18）。もし実現されれば、農業セクターにカーボンプライシングを適用する最初の事例となる。

したがって日本では、農業生産構造の特徴を踏まえた気候変動対応をいち早く進めることが必要と思われる。仮に投資余力のない生産者が多くとしても、インドの土壌

検査所やタイのサービス事業者のように、緩和策を生産者にサービスとして提供する方法がある。ほかの事例として、オランダのラボバンクは、気候変動対応に必要な設備を中小の事業者にリースするプログラムを持っている。こうした事例を参考に、様々な主体が参加してその役割を果たせる、統合的な仕組みづくりが重要になるだろう。

(注18) 詳細はOECDウェブサイトなどにまとめられている。

<https://www.oecd.org/climate-action/ipac/practices/new-zealand-s-plans-for-agricultural-emissions-pricing-d4f4245c/>

<参考文献>

- 農林水産省 (2022) 「みどりの食料システム戦略——食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現——」
- 平田郁人・河原林孝由基 (2022) 「酪農・肉用牛生産と温室効果ガス——メタン排出削減を中心に——」『農林金融』6月号、32-47頁
- Buchner, B. et al. (2021), “Global Landscape of Climate Finance 2021,” (2023年1月19日最終アクセス)
<https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2021/>
- IPCC (2019), “Summary for Policymakers Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems,” Shukla,P.R. et al (eds.)

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf

- Khatri-Chhetri, A. et al. (2021), “Financing climate change mitigation in agriculture: assessment of investment cases,” *Environmental Research Letters*, 16 12404.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3605>
- Nabuurs, G-J. et al. (2022), “Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU),” in IPCC (2022), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Shukla,P.R. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.009
- OECD (2019), “Enhancing Climate Change Mitigation through Agriculture, OECD Publishing, Paris,”
<https://doi.org/10.1787/e9a79226-en>
- Smith, P. et al. (2008), “Greenhouse gas mitigation in agriculture,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, pp. 789-813. doi:10.1098/rstb.2007.2184
- U.S. Farmers and Ranchers in Action (2021), “Transformative Investment in Climate-Smart Agriculture —Unlocking the potential of our soils to help the U.S. achieve a net-zero economy”
<https://usfarmersandranchers.org/wp-content/uploads/2021/02/USFRA-Transformative-Investment-Report.pdf>

(たかやま こうき)