

# 基礎研 レター

## 気候変動 AFOLU での取り組み 風力・太陽光発電に匹敵する緩和ポテンシャルをどう引き出すか？

保険研究部 主席研究員 篠原 拓也  
(03)3512-1823 tshino@nli-research.co.jp

### 1—はじめに

気候変動問題を巡る動きが活発化している。ハリケーン、台風、豪雨などによる自然災害の激甚化、海面水位の上昇、深刻な干ばつや大規模森林火災の発生などを背景に、各国で、温室効果ガスの排出削減に向けた取り組みが進められている。

温室効果ガスの排出は、エネルギーシステム部門(電力など)、建設部門、輸送部門、産業部門などに分けて実態の調査が行われ、削減に向けた取り組みが検討されている。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の評価報告書では、これらの部門の1つとして、AFOLUが挙げられている。これは、農業や林業といった土地利用に関する部門を指す用語だ。AFOLUは、温室効果ガスの排出削減を考えるうえで、緩和ポテンシャルが高いとされている。今回は、IPCC第3ワーキンググループの第6次評価報告書(以下、単に「報告書」と呼ぶ)をベースにAFOLUでの取り組みについて、見ていくこととしたい。

### 2—AFOLUとLULUCF

まず、AFOLUとは何かを見ていく。また、その内訳となるLULUCFについても簡単に触れる。

#### 1 | AFOLUは人為起源の温室効果ガス排出の21%

最初に、AFOLUから。これは、Agriculture, Forestry and Other Land Usesの略語<sup>1</sup>。日本語では、農業、林業、その他の土地利用、といった意味になる。その他の土地利用には、牧草地による畜産業や、湿地、森林などが含まれる。また、湿地の開発や、農地から都市開発への転換といった土地利用の変化も含まれる。

報告書によると、AFOLUは、2010~19年に、人為起源の温室効果ガス排出の21%を占めたとされている。温室効果ガスのうち、最もメジャーなCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)では14%、CH<sub>4</sub>(メタン)では41%、N<sub>2</sub>O(一酸化二窒素)では69%を占めている。

<sup>1</sup> “Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change –” (IPCC WG3, 2022)

<sup>2</sup> 英語での発音は、「ア」にアクセントを置いて、「アフォルー」となるようだ。

図表 1. 人為起源の温室効果ガスの排出量 (CO2 換算、2010～19 年の年平均)

(ギガトン)

	①AFOLU の人為起源純排出	②AFOLU 以外の人為起源排出	③人為起源純排出合計 (=①+②)	④AFOLU の排出割合 (=①÷③)
CO2	5.9±4.1	36.2±2.9	42.0±29.0	14%
CH4	4.2±1.3	5.9±1.8	10.2±3.0	41%
N2O	1.8±1.1	0.8±0.5	2.6±1.5	69%
温室効果ガス合計	11.9±4.4	44±3.4	55.9±6.1	21%

\* 温室効果ガス合計には、上記の3つの他にフロン類が含まれる。④の AFOLU の排出割合は、①と③の幅の中央値同士の割り算による。  
※報告書の Table 7.1 をもとに、筆者作成

## 2 | LULUCF での取り組みがポイント

AFOLU の内訳として、農業 (Agriculture) と LULUCF が挙げられる。LULUCF は、Land Use, Land-Use Change, and Forestry の略語<sup>3</sup>。日本語では、土地利用、土地利用の変化、林業、といった意味になる。農地や都市開発地などの土地利用だけではなく、森林から農地への転換などその変化に伴って温室効果ガスの排出がどのように影響を受けるかを把握するものと言えるだろう。<sup>4</sup>

LULUCF が注目されるのは、AFOLU では CO2 以外の温室効果ガス排出が大きいことが背景にある。AFOLU 内で排出を緩和する努力の効果は、どのガスを対象とするか、によって異なる可能性がある。これは、大気中でガスの寿命が異なる<sup>5</sup>ことや、大気中の特定のガスの蓄積に対する気温変化の反応が異なるためとされる。図表 1 を見てみると、AFOLU の排出割合は、CO2 の 14% に対して、CH4 は 41%、N2O は 69% となっており、確かに CO2 以外の温室効果ガス排出が大きい。

CH4 の主な発生源は、反芻(すう)動物の腸内発酵とされる。牧草地などでの牛、羊、ヤギなどの飼育が温暖化に大きな影響をもたらすとされている。

一方、N2O は、農業における堆肥施用や窒素堆積、窒素肥料使用の影響が大きいとされる。作物の生育を促進させるために、これらの肥料を使用する形の農業に土地利用を変化させることで、N2O の発生が進み温暖化に影響するとみられている。

AFOLU の温室効果ガス排出削減には、LULUCF での取り組みがポイントになると言える。

## 3——AFOLU での排出の特徴と緩和措置

つぎに、AFOLU での排出の特徴、それを踏まえた緩和の取り組みについておさえておこう。

### 1 | AFOLU での緩和は気候変動への適応に貢献する潜在能力を有している

報告書には、よくある質問 (FAQ) として、温室効果ガス緩和を検討する際に AFOLU 部門が特殊なのはなぜか、という問いがなされている<sup>6</sup>。この問いについて、3つの点で特殊であると答えている。

#### (1) 温室効果ガスの排出だけではなく吸収が可能

AFOLU は、(a) 部門として排出量を削減し、(b) 大気から意味のある量の炭素を比較的安価に除去

<sup>3</sup> 英語での発音は、2つ目の「ル」にアクセントを置いて、「ルルーシーエフ」となるようだ。

<sup>4</sup> 「LULUCF」(国立研究開発法人国立環境研究所、用語集)などを参考に、筆者がまとめた。

<sup>5</sup> 大気中の寿命については、CO2 は 500 年、CH4 は 12.4 年、N2O は 109 年などとされている文献もある。(「現代気候変動入門 —地球温暖化のメカニズムから政策まで—」アンドリュウ・E・デスラー著、神沢博監訳、石本美智訳(名古屋大学出版会、2023 年)の表 5.1 より)

<sup>6</sup> FAQ 7.1

し、(c) エネルギーシステム、産業、建築などの他部門での緩和を可能にする原材料を提供する。このうち、(a)はどの部門でも検討しうる排出削減だ。これに対して、(b)は農業の作物の生育過程で、大気中のCO<sub>2</sub>を取り込んで固着させることなどを指す。そして、(c)は固着した炭素をバイオマス<sup>7</sup>として生産し、それを原料として得られるエネルギー(バイオマスエネルギー)を他部門に提供することで、他部門での排出緩和を可能とすることをいう。

温室効果ガスの排出と吸収の両方が可能、というAFOLUの特徴は、図表1で「①AFOLUの人為起源純排出」のように、“純”という語を用いていることにあらわれている。

温室効果ガスのうちCO<sub>2</sub>の吸収として、自然の応答(Natural response)がある。これは、森林や湿地などでのCO<sub>2</sub>の吸収を指す。報告書では、2010～19年の年平均で、この吸収により、 $-12.5 \pm 3.2$ ギガトンのCO<sub>2</sub>削減効果があったとされ。人為起源の純排出と合わせると、CO<sub>2</sub>については、 $-6.6 \pm 4.6$ ギガトンとなり、AFOLU分野ではCO<sub>2</sub>の吸収が排出を上回っている。

(2) 非CO<sub>2</sub>ガス(N<sub>2</sub>OとCH<sub>4</sub>)の割合が大きい

すでに述べたことだが、AFOLU部門は、非CO<sub>2</sub>ガス(N<sub>2</sub>OとCH<sub>4</sub>)の割合が大きい。このことが、AFOLU部門における温室効果ガス排出緩和に向けたさまざまな取り組みを可能としている。

(3) 緩和が適切に行われれば、気候変動の適応に貢献しうる潜在能力を有している

AFOLUは、生物多様性の損失、環境悪化など、人類が直面している深刻な課題と密接に関連している。AFOLUは農業や林業にとどまらず、土地管理全般に関するものである。地球の陸域の相当の部分は人類によって利用されているため、AFOLU部門は単に温室効果ガスの排出の問題だけではなく、土壌、水質、大気の質、生物・社会の多様性、自然生息地の提供、生態系の機能に大きな影響を与えうる。その結果、多くのSDGsに影響を与えるとされている。

(2)に述べたとおり、AFOLU部門では、さまざまな取り組みが可能であり、緩和が適切に行われれば、気候変動の適応に貢献する潜在能力を有していると考えられる。

## 2 | 森林やその他の生態系に関する対策の潜在能力が大きい

それでは、AFOLU部門で考えられるさまざまな緩和措置のうち、どういう措置の潜在能力が大きいだろうか。ここで、潜在能力を「緩和ポテンシャル」として評価することが考えられる。これは、緩和措置をとらない特定の排出ベースラインと比べて、緩和措置をとることによって達成できる温室効果ガスの純削減量(削減された排出量と増大した吸収量の合計)を指す<sup>8</sup>。

報告書によると、森林やその他の生態系の対策は、CO<sub>2</sub>換算ベースで、年7.3(推定幅3.9～13.1)ギガトンの緩和とされている。森林を増やすことで、炭素を固着させることがCO<sub>2</sub>削減の本丸ということだろう。

これに続いて、農業対策の潜在的可能性は年4.1(同1.7～6.7)ギガトンの緩和と推定されている。CH<sub>4</sub>ワクチンや阻害剤などの新興技術により、反芻動物からのCH<sub>4</sub>の排出を削減することなどが挙げ

<sup>7</sup> バイオマスには、食品廃棄物、廃棄紙、家畜排せつ物等の「廃棄物系バイオマス」、麦わら、もみ殻等の「未利用バイオマス」、糖質資源(サトウキビ等)、でんぷん資源(トウモロコシ等)、油脂資源(菜種等)などの「資源作物」があるとされる。本文でのバイオマスは、主に、後二者を指す。(「バイオマスとは」(九州農政局)を参考に、筆者がまとめた。)

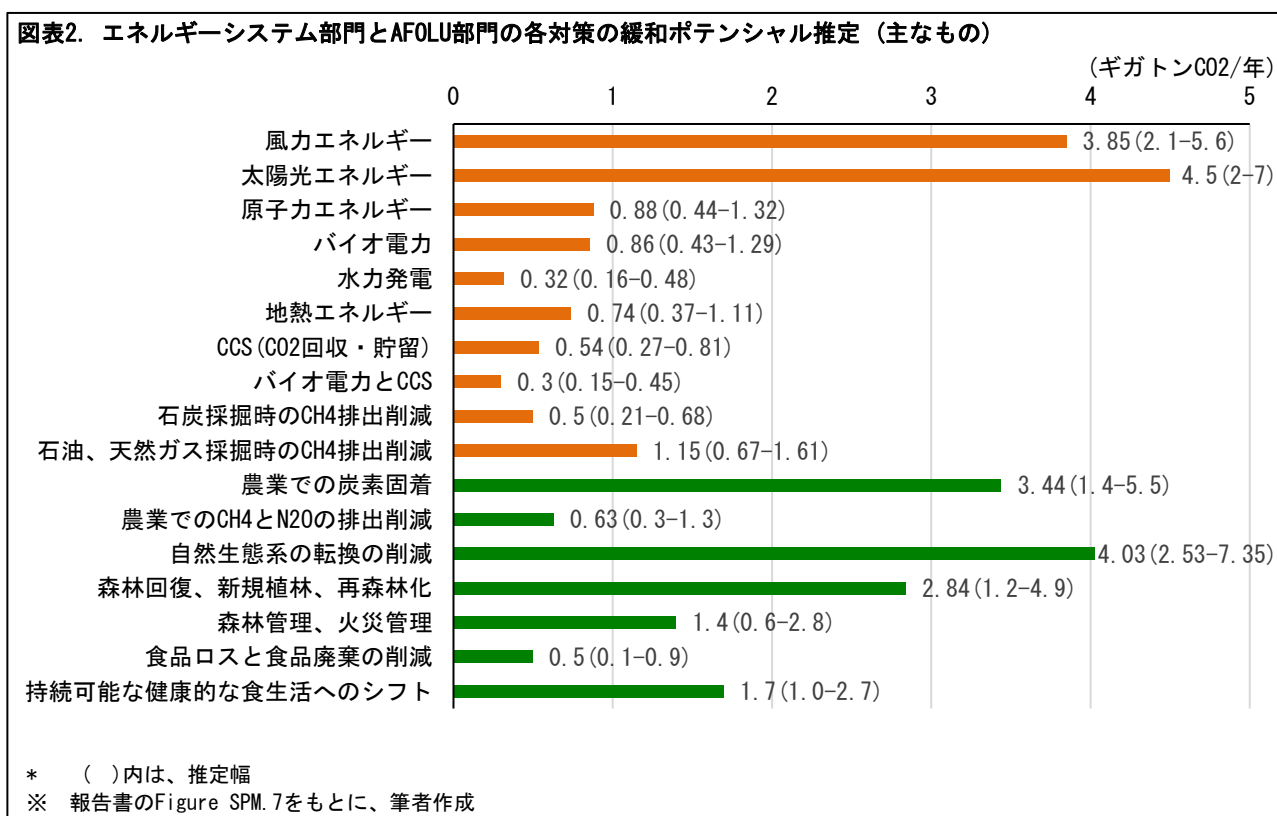
<sup>8</sup> 排出ベースラインは、第6次評価報告書のシナリオデータベースからの現時点(2019年頃)の政策参照シナリオで構成されている。費用については、年間1トンのCO<sub>2</sub>排出は100米ドルの炭素価格に相当する、などと換算の前提を置いている。

られる。

また、需要の変化が生産の転換を促す可能性もある。その緩和ポテンシャルは、年 2.2(同 1.1~3.6)ギガトンの緩和と見積もられている。食品ロスの削減、肉食から菜食への食生活のシフト、木材製品の利用の改善など、消費者の需要が変化することで、農牧業の変化が促される効果である。

### 3 | AFOLU の緩和措置の緩和ポテンシャルは風力発電や太陽光発電並み

それでは、AFOLU 部門で考えられるさまざまな緩和措置のうち、どのような措置の潜在能力が大きいだろうか。報告書では、様々な対策について、年間に CO2 を 1 トン排出することで 100~200 米ドルの炭素価格がかかることをコストの前提として、このコストで可能とみられる緩和を推定している。そのうち、エネルギーシステム部門と AFOLU 部門について、主なものをまとめたものが次の図だ。(エネルギーシステム部門はオレンジ色、AFOLU 部門は緑色の棒グラフで表示している。)



いま将来の再生エネルギーとして、風力や太陽光による発電が注目されている。AFOLU 部門の「農業での炭素固着」、「自然生態系の転換の削減」、「森林回復、新規植林、再森林化」といった緩和措置は、これらに引けを取らない緩和ポテンシャルを有していると推定されている。

### 4—AFOLU での緩和ポテンシャルの国・地域別比較

国・地域別に AFOLU の緩和ポテンシャルを見積もったペーパーもある。そのペーパーをもとに、各国・地域のランキングを見てみよう。<sup>9</sup>

<sup>9</sup> “Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country” Stephanie Roe, Charlotte Streck, Robert Beach, Jonah Busch, Melissa Chapman, Vassilis Daioglou, Andre Deppermann, Jonathan Doelman, Jeremy Emmet-Booth, Jens Engelmann, Oliver Fricko, Chad Frischmann, Jason Funk, Giacomo Grassi,

## 1 | AFOLU の緩和ポテンシャルは、ブラジル、中国、インドネシアが上位

2020～50 年における陸域の緩和ポテンシャルが高い(費用対効果が高い)上位 10 カ国は、下表の通りとなっている。これら 10 カ国で、世界全体の 55%を占めている。AFOLU での温室効果ガス排出量が多く、その緩和にあまりコストがかからない国が上位に入る。基本的には、一定規模以上の AFOLU を有する国や、CO<sub>2</sub> の吸収が可能な熱帯雨林、湿地を抱える国がランクインしている。日本は、250 の国・地域のうち、34 位(年 80 メガトン CO<sub>2</sub> 相当)となっている。

図表 3. AFOLU の緩和ポテンシャル

	国・地域	緩和ポテンシャル (メガトン CO <sub>2</sub> 相当/年)
1	ブラジル	1665
2	中国	1443
3	インドネシア	1146
4	アメリカ	957
5	インド	674
6	ロシア	467
7	カナダ	402
8	コンゴ民主共和国	382
9	コロンビア	237
10	メキシコ	222
	世界全体	13798

※ 注記 7 に記載の資料のデータをもとに、筆者作成 (図表 4 も同様)

## 2 | AFOLU の単位面積当たり緩和ポテンシャルは、湿地を有する熱帯の国・地域が上位に並ぶ

前節の緩和ポテンシャルを土地 1 ヘクタール当たりで見よう。単位面積当たり緩和ポテンシャルが高い上位 10 カ国・地域は、下表の通りとなっている。CO<sub>2</sub> の吸収が可能な熱帯雨林、湿地を抱える国が上位に入っている。日本は、(データの無い 13 の国・地域を除いた)237 の国・地域のうち、41 位(1 ヘクタール当たり年 2.2 メガトン CO<sub>2</sub> 相当)となっている。

図表 4. AFOLU の単位面積当たり緩和ポテンシャル

	国・地域	緩和ポテンシャル (1 ヘクタール当たりメガトン CO <sub>2</sub> 相当/年)
1	グアドループ(フランス)	65.4
2	モルディブ	8.8
3	ブルネイ	7.6
4	バミューダ(イギリス)	7.0
5	バングラデシュ	6.5
6	インドネシア	6.1
7	ベトナム	5.3
8	トリニダードトバゴ	5.0
9	マレーシア	4.9
10	マルタ	4.6
	世界全体	1.6

Bronson Griscom, Petr Havlik, Steef Hanssen, Florian Humpenöder, David Landholm, Guy Lomax, Johannes Lehmann1, Leah Mesnildrey, Gert-Jan Nabuurs, Alexander Popp, Charlotte Rivard, Jonathan Sanderman, Brent Sohngen, Pete Smith, Elke Stehfest, Dominic Woolf, Deborah Lawrence (Glob. Change Biol., 27(23), 6025-6058, doi:10.1111/gcb.15873.)

ランキングで見たとおり、日本は、AFOLU に関して、他国と比べて大きな緩和ポテンシャルを持っているわけではない。ただし、緩和ポテンシャルの一部であるバイオエネルギーに関しては 14 位、需要面で、食料廃棄や健康的な食生活といった項目では 19 位となるなど、温室効果ガスの緩和余地を秘めた取り組みもある。

## 5—AFOLU の障害

以上、AFOLU について見てきたが、実は、AFOLU での緩和策はあまり進んでいない。

報告書によると、過去の気候政策により、2010～19 年の間に年間平均約 0.65 ギガトン CO<sub>2</sub> の緩和が達成されたという。これは世界の総排出量の 1.4%に相当するもので、年間 8～14 ギガトン CO<sub>2</sub> 相当(図表 3 のベースでは、約 13.8 ギガトン CO<sub>2</sub> 相当)とされる緩和ポテンシャルからすると、これまでの貢献度は限定的なものにとどまっていると言える。

AFOLU の緩和ポテンシャルは大きいですが、その実現可能性は各国でさまざまな障害にさいなまれている。例えば、緩和策に関する制度的支援が欠如していること、取り組み開始後の資金の追加拠出が長期に渡ること、緩和策をつかさどる組織のガバナンスが脆弱であること、土地が断片的に所有されていて政策が打ち出しにくいこと、緩和政策の永続的効果が不確実であること、などである。

こうした障害を克服して、AFOLU 部門での温室効果ガス排出緩和を進めることが、地球温暖化を阻止するカギとなるといえるだろう。

## 6—おわりに (私見)

本稿では、気候変動問題に関して、AFOLU 部門の温室効果ガスの排出緩和について概観していった。AFOLU は、気候変動への適応に資する可能性が大きい。特に、森林やその他の生態系に関する対策の緩和ポテンシャルが大きい。対策の中には、風力エネルギーや太陽光エネルギーに引けを取らないものもある。

ただし、日本ではこれまでのところ、AFOLU は、あまり話題となっていない。これは、日本では AFOLU の対策の緩和ポテンシャルが他国に比べて高いわけではないことが背景にあるものと考えられる。

しかし、世界の森林破壊を伴う都市開発、沿岸の干拓や埋め立てなどによる湿地の喪失が進めば、温暖化の影響は、日本にも及ぶ。

気候変動問題への注目がますます高まる中で、風力、太陽光などの再生エネルギー開発の議論とともに、AFOLU での取り組みにも目を向けていくべきと考えられる。今後も、IPCC をはじめ、各国の AFOLU での緩和取り組みの動向について、引き続き、ウォッチしていくこととしたい。

(参考資料)

“Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change” (IPCC WG3, 2022)

「LULUCF」(国立研究開発法人 国立環境研究所 HP, 用語集)

<https://www.nies.go.jp/gio/glossary/index.html>

「現代気候変動入門 –地球温暖化のメカニズムから政策まで–」アンドリュー・E・デスラー著、神沢博監訳、石本美智訳(名古屋大学出版会, 2023年)

「バイオマスとは」(九州農政局 HP)

<https://www.maff.go.jp/kyusyu/kikaku/baiomasu/teigitou.html>

“Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country”  
Stephanie Roe, Charlotte Streck, Robert Beach, Jonah Busch, Melissa Chapman, Vassilis Daioglou, Andre Deppermann, Jonathan Doelman, Jeremy Emmet-Booth, Jens Engelmann, Oliver Fricko, Chad Frischmann, Jason Funk, Giacomo Grassi, Bronson Griscom, Petr Havlik, Steef Hanssen, Florian Humpenöder, David Landholm, Guy Lomax, Johannes Lehmannl, Leah Mesnildrey, Gert-Jan Nabuurs, Alexander Popp, Charlotte Rivard, Jonathan Sanderman, Brent Sohngen, Pete Smith, Elke Stehfest, Dominic Woolf, Deborah Lawrence (Glob. Change Biol., 27(23), 6025-6058, doi:10.1111/gcb.15873.)

“Policy strategies and challenges for climate change mitigation in the Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector” Ben Henderson, Stefan Frank, Petr Havlik, Hugo Valin (OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers No. 149, 2021)

“Adjusting Land Mitigation Pathways Improves the Assessment of Global Climate Progress”  
Giacomo Grassi, Joeri Rogelj, Elke Stehfest (European Commission, poster, 2021)