

(公財)農学会・日本農学アカデミー共同主催

公開シンポジウム

講演要旨

森林と土壌の力で地球温暖化を どこまで止められるか

2026年3月28日(土) 13時00分~17時30分

後援：東京大学大学院農学生命科学研究科

講演要旨 目次

はじめに	3
(公財)農学会会長 丹下 健	
世界の森林の炭素吸収力—土壌を含む森林炭素のこれまでとこれから	4
森林総合研究所/ 東京大学大学院農学生命科学研究科 橋本 昌司	
地球温暖化の進行が森林と土壌の吸収源機能に与える影響	6
日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター 小嵐 淳	
熱帯林の吸収源としての役割と森林再生	8
国際農林水産業研究センター 田中 憲蔵	
森林資源の長期利用・循環利用による排出削減・吸収源強化	10
東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院 加用 千裕	
農地における土壌への炭素貯留と温室効果ガスの排出削減	12
農研機構 農業環境研究部門 白戸 康人	
講演者プロフィール	14

はじめに

大気中の温室効果ガス濃度の上昇による地球温暖化とそれに伴う気候変動は、人類社会の持続性において最も重要な喫緊の課題です。2015年12月の国連気候変動枠組条約第21回締約国会議で採択されたパリ協定では、世界の年平均気温の上昇を産業革命前に比べて2℃を十分に下回り、1.5℃に抑えることを努力目標としており、その達成に向けて2050年ネット・ゼロの実現が国際的な目標となっています。しかしながら2023年と2024年の世界の年平均気温の上昇は1.5℃を超えました。現在の経済活動が継続すると今世紀末には4℃上昇すると予測されています。ネット・ゼロは、人間活動に伴う温室効果ガスの排出量と森林や海洋等での吸収量が釣り合った状態です。その実現には、省エネ等による排出量の削減ととともに植林等による吸収量の増大が必要です。途上国の経済発展に伴い排出量の削減は進んでいません。ネット・ゼロの実現には、吸収源の強化が求められています。二酸化炭素を深い地層に送り込んで貯蔵する炭素隔離の技術開発が進められていますが、技術的やエネルギー的な課題が残っています。森林については、現在の技術で促進可能な主要な吸収源であり、1992年に環境と開発をテーマに、ブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された国連の地球サミットの主要課題として熱帯林の減少が取り上げられ、国際的に森林減少に取り組むとする森林原則声明が採択されました。しかし、それから30年が経過しても熱帯林の減少は止まっていません。森林の吸収源機能強化には、森林減少から森林増加に反転させることが求められますが、その方向に進んでいないのが現状です。

地球の陸域には、大気中の炭素の数倍の炭素が、植物体や土壌有機物として貯留されています。植物体と土壌有機物は、地中深くに埋蔵されている石炭のように安定した存在ではなく、植物体の炭素貯留量は、植物の成長量と枯死量の大小関係で増減し、土壌の炭素貯留量は、植物遺体などによる供給量と土壌微生物による分解量の大小関係で増減します。植物の成長速度や土壌微生物の分解速度は、気温や水分条件などの環境の影響を強く受けることから、森林と土壌は、地球温暖化とそれに伴う気候変動が進むと排出源にもなり得ることが指摘されています。

本シンポジウムでは、人間活動に伴う二酸化炭素の排出量に対して、森林と土壌の吸収源機能はどの程度の力を有しているのかの現状を共有するとともに、2050年ネット・ゼロの実現に向けて、今、取り得る手段としての森林と土壌の吸収源機能の強化について議論する機会といたしたいと思います。

最後になりますが、ご多忙のなか、ご講演をお引受け頂きました登壇者の皆様に深く感謝いたします。

公益財団法人 農学会
会長 丹下 健

世界の森林の炭素吸収力—土壌を含む森林炭素のこれまでとこれから

橋本昌司

(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所・東京大学大学院農学生命科学研究科

1. 世界の森林とその役割

現在、地球上には 4,140 万 km² の森林が存在しているとされる^[1]。これは陸域面積の約 3 分の 1 に相当し、日本の国土面積の 110 倍にあたる。世界の人口一人当たりで換算すると 5000 m² (すなわち縦 50 m × 横 100 m) の森林を有することになる。森林の面積は年々減少しており、1990 年から 2025 年で約 489 万 km² の森林が消失したと推定されている。一方で新規の植林も行われており、同期間で約 290 万 km² の森林が新たに拡大したと推定されている。森林の区分は様々あるが、気候帯で大きく分けると北方林 (亜寒帯林)、温帯林、亜熱帯林、熱帯林と分類され、それぞれ異なる特徴を有している。面積的には熱帯林が最も多い。

人類は森林から様々な恩恵を受けており、生態系サービスとも呼ばれる。例えば、森林は私たちに木材などの林産物を供給し、景観・文化・レクリエーション、生物多様性保全の場としてなくてはならない。また水の量と質の維持に重大な役割を果たしており、さらに土壌の保全にも役立っている。そして昨今、最も注目されている機能が気候調整 (炭素貯蔵・吸収) 機能である。

2. 森林の炭素循環

森林では、樹木、土壌、地表の落葉や枯死木などに炭素が貯蔵されている。これは樹木の光合成、呼吸、成長、土壌有機物の蓄積、分解などが複雑な生物地球化学的プロセスを通じて駆動されており、炭素循環と呼ばれる。さらには土壌では大気中のメタンも吸収している。一般的に森林の炭素貯蔵というと樹木を思い浮かべがちだが、土壌に貯蔵している炭素も忘れてはならない。土壌の深さの範囲や森林タイプにもよるが、森林の炭素の約半分が土壌に貯蔵されており、樹木のみならず土壌も森林の炭素吸収力に寄与している。

地球全体で見た場合、化石燃料起源の排出は年 98 億炭素トンで、陸域は年 24 億炭素トン程度を吸収していると推定されている^[2]。これは陸域生態系では吸収と呼吸による放出がそれぞれ年 1,300 億炭素トン程度あり、その差として吸収が勝るため、陸域は吸収源として機能している。

森林は、複雑な構造と異なる特性を持つ樹木と土壌で構成されており、その間で複雑なプロセスを通じて炭素が移動している。これらの貯蔵量とその変化 (吸収・放出) を地球規模など広域で推定すること、また時間変化を把握していくことは容易ではない。森林の炭素を測定・推定する方法は、大きく、地上観測、人工衛星、モデリングに分けられる。それぞれが独立ではなく、地上観測はどの方法にも不可欠な情報であり、また相互に補完的で、かつ相互に検証し合うことで不確実性を評価している。

3. 世界の森林の炭素吸収力、最新の研究から見てきたこと

地上観測に基づく全球的な新たな森林炭素の推定が 2024 年に学術誌 Nature に発表された^[3]。この論文では、日本を含む 10 カ国以上の研究者が世界中の国や地域の地上観測データを持ち寄り、過去 30 年間の森林の炭素吸収力の動向を評価した。

まずこの論文で明らかになったことは、森林の炭素吸収力が 1990 年代から 2010 年代にかけて平均年 35.6 億炭素トンと過去 30 年間持続していたことである。しかしながら、その内訳を見てみると地域ごとの吸収力は大きく変化していた。温帯林と再生された熱帯林では吸収力が増加していたが、北方林と熱帯原生林では減少していた。各地域で、温暖化、乾燥、火災、樹木の高齢化などのリスクがある。

さらに上記の数字は、森林が維持された場所の吸収力であるが、この間に熱帯林では森林破壊が進み、破壊された地域では年 22 億炭素トンが大気へ放出されていた。すなわち、森林域では吸収が維持されてはいるが、熱帯林の森林破壊により炭素が放出されており、それを差し引くと正味の森林の吸収量は年 13 億炭素トンにとどまっていたのである。世界の森林伐採のデータを見てみると、温帯林では林業活動として森林が伐採されているものの、北方林では火災、熱帯林では主に農地転換によって森林が大きく失われていることがわかる^[4]。

4. 森林で地球温暖化を止められるか？

地球上の炭素循環の中で、森林による吸収量の貢献が大きいことは明らかであるが、森林の吸収力だけで地球温暖化を止めることは可能であろうか。これまでの全球の炭素収支と温度上昇の解析から、今後の二酸化炭素の排出量とそれに伴う温度上昇が予想されている。例えば温度上昇を 1.5℃に抑えるためには 2030 年までに排出量をゼロにする必要がある^[2]。土壌を含む森林の炭素貯蔵量と炭素吸収力の維持・拡大は絶対に必要なものであるが、化石燃料起源の排出削減なくしては温暖化を止めることができない。

5. おわりに、森林炭素の重要性、将来

以上のように、土壌を含め森林は重要な炭素の貯蔵庫（ストック）であり吸収源（シンク）として機能しており、地球規模で大きな力を持っている。世界の森林の炭素吸収力は量的にはかろうじて維持されているが、その内訳は大きく変化しており、安泰ではない。各地域の森林は様々なリスクにさらされている。森林は貴重な資源でもあり、クライメートスマートな森林管理が必要である。現実的な新規植林の効果も限定的な可能性がある^[5]。現在ある森林の炭素貯蔵庫を保全、吸収力を維持することが必要である。そして何より、熱帯林破壊は森林吸収量の大きな損失であり、破壊を止め、再生を進めることが重要である。一方で、森林だけで温暖化を止めることはできないと見積もられており、化石燃料起源の排出量の削減は不可欠である。

[1] FAO (2025) Global forest resources assessment 2025. doi: 10.4060/cd6709en

[2] Friedlingstein et al. (2025) Global carbon budget 2024. Earth System Science Data. doi: 10.5194/essd-17-965-2025

[3] Pan et al. (2024) The enduring world forest carbon sink. Nature. doi: 10.1038/s41586-024-07602-x

[4] Curtis et al. (2018) Classifying drivers of global forest loss. Science. doi: 10.1126/science.aau3445

[5] Wang et al. (2025) Land availability and policy commitments limit global climate mitigation from forestation. Science. doi: 10.1126/science.adj6841

地球温暖化の進行が森林と土壌の吸収源機能に与える影響

小 嵐 淳

(国研) 日本原子力研究開発機構

1. はじめに

地球温暖化の影響が深刻化する中、その対策として、大気中の二酸化炭素(CO₂)を吸収してくれる森林や土壌の役割が改めて注目されています。特に土壌は、炭素を有機物として長期に貯め込む力があり、温暖化の緩和に貢献すると期待されています。

しかし、温暖化は土壌の炭素貯留能力を脅かす可能性があります。気温上昇や降水量変化により、貯留された有機物が分解され、CO₂として大気中に排出される恐れがあります。これにより、森林の吸収力だけでは相殺できず、温暖化をさらに加速させる悪循環につながる懸念があります。

本講演では、温暖化が土壌の炭素貯留能力にどのような影響を与えるのか、土壌が持つ炭素を貯め込む真の力とはどんなものなのか、そして、その力を活かした温暖化対策の可能性について考えていきます。

2. 温暖化は土壌の炭素貯留能力を弱める

温暖化が土壌の炭素貯留能力に与える影響を調べるため、国立環境研究所の梁乃申博士を中心に、国内5つの調査地(北海道～宮崎)で温暖化を人工的に起こすユニークな実験を実施しました。赤外線ヒーターを用いて土壌を常時2～3°C加温し、通常的环境下とのCO₂排出量を比較した結果、すべての調査地で温暖化によりCO₂排出量が増加することが確認されました。温度上昇1°Cあたりでは、CO₂排出量は4～46%増加し、この影響は10年以上継続することがわかりました。これは欧米での調査結果とは異なり、日本の土壌は温暖化の影響を受けやすいことを示しています。

日本の土壌が温暖化の影響を受けやすいのはなぜでしょうか？土壌の有機物や微生物を詳しく調べた結果、長期温暖化後(約6～12年)も表層の炭素貯留量や有機物の化学種組成、微生物の量や種類に大きな変化は見られませんでした。つまり、有機物の豊富な蓄積や、微生物の温度変化への高い適応性といった日本の環境条件下で培われてきた特性が、温暖化の影響を長く持続させる要因になっていると考えられます。

3. 土壌が持つ炭素を貯える真の力

土壌は温暖化の影響を受けることがわかってきましたが、炭素を貯える力は本当に弱いのでしょうか？ 実は、深い層に膨大な量の炭素を貯蔵している土壌が存在します。放射性炭素年代測定などの手法を用いて、日本の様々な森林で深層を含めた土壌全体の炭素貯留能力を調べた結果、土壌は深い場所で数千年以上にわたり炭素を貯え続ける力があることが明らかになりました。特に、泥炭土（有機物が堆積した湿地土壌）や日本に広く分布する黒ボク土（活性アルミニウムや結晶度の弱い粘土鉱物が豊富な土壌）は高い能力を示しました。これは、土壌が植物から受け取った有機物の分解を抑制し、特に深い層で炭素を長期的に貯留する能力を持っていることを意味します。この能力は、温暖化に打ち勝つための大きな武器になる可能性があります。

4. 土壌の力を活かした温暖化対策の可能性

土壌の炭素貯留能力を活かすことで、有機物の分解を遅らせ、土壌からのCO₂排出量を減らし、温暖化の影響を緩和できる可能性があります。

一つは、植物によって吸収されたCO₂（木質バイオマス）を土壌の深い層に埋設する方法が考えられます。木質バイオマスは森林の地表に放置されれば数十年間で分解され、CO₂として大気中に戻ってしまいます。しかし、土壌に埋設することで、1000年以上も炭素を閉じ込めることが期待できます。国内で発生する年間2000万トンCO₂にのぼる未利用間伐材や都市由来の木質バイオマスに適用することができれば、日本の2050年CO₂除去目標（年間1.2～2.4億トンCO₂）の10%程度に貢献できると試算されます。

もう一つは、有機物の分解を抑制する効果が期待できる鉱物などを土壌に添加する方法です。日本の森林土壌からの年間排出量（約2.6億トンCO₂）を1%削減できれば、2050年CO₂除去目標の1～2%に貢献できます。

5. おわりに

土壌は、まだ知られていない炭素吸収源としての大きな可能性を秘めています。温暖化による土壌からのCO₂排出量の増大は深刻な問題ですが、土壌の力を最大限に活用することで、吸収源機能を強化し、温暖化の進行を緩和するための長期的な対策オプションを提供できる可能性があります。課題は山積していますが、連携を深めながら、科学的知見を着実に（そしてできるだけ早急に）蓄積し、共に協力して新たな可能性を探求し続けることが重要です。

熱帯林の吸収源としての役割と森林再生

田中 憲 蔵

(国研) 国際農林水産業研究センター

1. はじめに

原生的な熱帯林は陸域生態系における最大級の炭素吸収源として年間 10.7 億トンもの炭素を吸収している (Pan et al. 2024)。これらの森林の炭素蓄積量も膨大で、約 4000 億トンもの炭素を持つと推計されている。その半分近くを広大な面積を持つアマゾン地域が占め、残りは中央アフリカと東南アジアである。一方、森林の面積当たりの炭素蓄積量は東南アジアの熱帯雨林が最大で、1ヘクタール当たり最大 300 トンもの炭素を地上部の樹木だけで貯蔵している (Slik et al. 2013)。これは、特異的に優占するフタバギ科樹木の樹高が最大 60-100m にも達し、他の熱帯雨林より高いためである (Ashton 2014)。

これまで、原生的な熱帯林の半分以上は人間活動による伐採や土地利用改変により劣化し、全球の炭素動態に大きな影響を与えてきた。東南アジアではアブラヤシ農園の拡大が顕著で、これらの影響のため過去 30 年で原生林の半分 (約 1 億 ha) が消滅した。一方、破壊された熱帯林の再生過程にある二次林や人工林の成長は早く、大気中の二酸化炭素を素早く吸収しバイオマスとして固定することで、気候変動の緩和に重要な役割を果たしている。全世界の熱帯再生林の炭素吸収量は年間 15 億トンに達し、すでに原生林の値を超えていると見積もられている (Pan et al. 2024)。一方、大気中の二酸化炭素の増加により、原生的な熱帯林でも樹木の成長量は増加すると予測されているが、気候変動の影響などで樹木の枯死率も増加し、その吸収能力の低下も報告されている (Hubau et al. 2020)。ただし、森林調査の困難さや長期データの不足から、数値の不確実性や空間的ばらつきも大きい。この講演では、東南アジア熱帯域における (1) 樹木の葉の光合成能力の林分レベルでの測定、(2) 熱帯二次林や人工林における森林のバイオマス推定技術の開発、(3) 吸収源としての熱帯林を再生させるための活動や研究事例について紹介する。

2. 吸収量推定のための基盤となる現場レベルでの研究

熱帯林の炭素吸収量の評価には、森林が巨大で複雑な構造を持つことなどから不確実性が伴う。そのため、現場観測に基づく科学的知見の積み重ねが不可欠である。まず、マレーシアの熱帯雨林とカンボジアの熱帯季節林を例に、林分レベルでの葉の光合成能力の測定と変動要因を把握する試みを紹介する。マレーシアの熱帯雨林は年中高温多湿な環境であるが、インドシナ中央部に位置するカンボジアは半年間ほとんど雨が降らない乾季が存在する熱帯季節林である。林分レベルの炭素収支のモデル化などには、森林を構成する林床から林冠までの様々な樹木の葉の光合成能力の把握が不可欠である。梯子や林冠観察用の巨大クレーンを用いて様々な高さの樹木に直接アクセスし、葉の光合成能力を実測したところ、熱帯雨林では樹高に伴って光合成速度が増加したのに対し、熱帯季節林では林冠部分で光合成が低下した。この違いは、樹木の水利用様式の違いなどが関係していると考えられる。また、得られた光合成の実測値を基に、大気中の二酸化炭素濃度の変化や葉の養分特性などを組み込み、全熱帯域の炭素固定量をモデル化すると、熱帯域で不足している養分 (リン) が光合成を制限し、従来の子測より炭素固定量が 3 割程度低下する可能性も示唆されている (Ellsworth et al. 2022)。

次に、森林全体の炭素蓄積量を知るためには、樹木の地上部と地下部のバイオマスの把握が必要であ

る。この推定精度を向上するために、樹木の地上部に加え、根まで丸ごと掘り出し、地下部の重量を実測し、直径や樹高との関係式を求める試みが行われている。特に根の掘り出しには労力がかかるため、データが不足している熱帯林や人工林でバイオマス推定式を構築し、様々なタイプの森林への適応性について検討してきた。その結果、材密度や地域間差などを考慮したバイオマス推定の重要性がわかってきた。また、熱帯二次林の成長量をモニタリングしたところ、成林後 20 年弱でヘクタール当たり 60 トンもの炭素蓄積量があり、二次林の吸収源能力の高さが証明された。しかし、二次林の成長量は 20 年生を超えると鈍化する場合が多く、炭素蓄積量そのものも原生的な熱帯林の 20%程度にとどまる。そのため、材密度が高く樹高の高い原生林樹種の植栽による吸収源強化が不可欠である。さらに、東南アジアに広く分布する砂質土壌のような貧栄養地では、森林破壊後の樹木の成長速度が極めて遅く、一度破壊されると吸収源としての働きが大きく損なわれることも報告されている。こうした森林では、植林による再生も困難な場合が多い。また、土壌の炭素蓄積量が高い泥炭湿地林やマングローブでも、森林破壊による炭素の放出や、森林再生による吸収源機能の回復などについては不明な点が多く、研究ニーズは高い。

3. 熱帯林再生による吸収源強化に向けた取り組み

東南アジア熱帯域では、アカシアなど早生樹を用いた産業造林、地域住民が関与するチークなどの社会林業、そしてフタバガキなど郷土樹種による森林再生など様々な植林活動が行われている。熱帯雨林の炭素蓄積機能を長期的に発揮するためには、郷土樹種を用いた森林再生が重要になるが、苗木確保や育林・保育技術など様々な技術的に解決すべき問題がある。例えば、フタバガキ科樹木などは数年から 10 年に一度の一斉開花結実によって繁殖するため、植林のタイミングと実生苗の確保のミスマッチが問題となる。また、種子には休眠能力も無いため貯蔵も難しい。劣化した森林への郷土樹種の植栽も行われてきたが、植栽樹種のストレス耐性などの特性を考慮することなく、やみくもに植えたために失敗する例も多い。郷土樹種を用いた森林再生で、日本が関係する長期的な取り組みとして、JICA が 1990 年代にマレーシア半島部で行った大規模な植栽試験がある。この試験地では、植栽後 30 年を経過した現在もモニタリングが行われ、樹種間や植栽タイプで成長や生残率に大きな差があること、一部の試験区では全滅するなど失敗例も報告されている。また、インドネシアでは排出削減目標のうち森林セクターは約 6 割を担うことが計画されているため、植林による吸収源強化に大きな関心が寄せられている。特に、カリマンタンの島のスサントラに首都を移転する計画では、東京都の面積に匹敵する約 20 万 ha を郷土樹種で植林し、吸収源とするプロジェクトが始まっている。ただし、これらの事業が実質的な吸収源強化につながるかどうかは、植栽木の活着率やその後の成長量に大きく左右される。また植林地では、森林バイオマスに加えて、土壌環境の変化に伴う二酸化炭素やメタン収支など土壌の吸収源機能の評価も重要で、関連分野の研究者との連携が求められる。

4. 気候変動下における熱帯林劣化リスクと適応策

気候変動による高温化や乾燥ストレスの増加が森林劣化を加速させる危険性がある。実際、ボルネオ島では異常乾燥による広域での高木の大量枯死や成長低下が報告されている。そのため熱帯林や樹木の気候変動に対する適応能力の把握は重要な課題である。森林再生や林業においては、植林樹種の選択や品種改良などを通じて、乾燥や高温耐性の強化と成長量の両立が可能かもしれない。吸収源としての熱帯林の将来を考える上では、劣化要因の抑制、科学的な植林・再生技術の確立、そして気候変動への適応策を同時に進めることが不可欠である。

森林資源の長期利用・循環利用による排出削減・吸収源強化

加用 千 裕

東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院

1. はじめに

2050年ネット・ゼロの実現に向けて、森林資源をどのように活用していくかが重要課題のひとつとなっている。森林資源を建築資材等に利用することは都市に炭素を貯蔵し続ける効果があり、吸収源強化に貢献する。また生産・加工過程における化石燃料消費量が大きい非木材製品を木材製品へ代替することによって化石資源由来の炭素排出を削減する効果も期待できる。これらの効果は木材製品を長期利用し使用済みの廃棄木材をリサイクル等によって循環利用することでさらに大きくなると考えられる。本講演では、世界全体や日本における気候変動と森林資源の利用に関わる最新研究の動向を概説しながら、排出削減・吸収源強化に貢献する森林資源利用の方向性を考える。

2. 気候緩和に向けた森林資源の利用拡大と利用抑制

近年の全世界を対象とした研究^{1),2)}では、森林資源の利用を拡大し木材都市を構築することによって2100年までに大幅な排出削減が見込まれることが示されている。これに対して、森林資源の伐採利用は伐採しなかった場合と比べると2050年までの炭素排出量が大きくなるため、利用を抑制し森林を保全することを重視する主張³⁾も展開されており、気候緩和のために森林資源の利用を拡大すべきか抑制すべきかが国際的な論争になっている。

3. 森林資源の長期利用と循環利用による炭素貯蔵・排出削減

しかし上述の研究^{1),2),3)}では、森林資源の利用構造を改善することは考慮されていない。イギリスの事例研究⁴⁾では、新規の木材需要を増やすよりもカスケード利用や循環利用を通して木材の長期利用を進めることで炭素貯蔵や排出削減の効果が大きくなることが示されている。また世界全体で木材の燃料利用を材料利用に振り替え、リサイクルを積極的に進めて循環利用を最大化すれば、現状の木材伐採量を増やさずに木材都市を実現可能であり、その経路の方が伐採量を増やすよりも炭素排出を削減できることも明らかになっている⁵⁾。

全世界の木材製品の炭素貯蔵量は2018年に74億t-Cと推定され、過去60年間で2.5倍に増加しており、将来の社会経済発展経路によって2050年に110億~136億t-Cに増加すると予測されている⁶⁾。国ごとにみると(図1)、アメリカ、中国、ロシア、日本、ドイツの順に炭素貯蔵量が大きく、日本は木材製品として4億t-Cの炭素を都市に貯蔵している。特に建築物の貯蔵量が大きく(図2)、建物の長寿命化も貯蔵量の増加に貢献している^{7),8)}。また解体廃木材の主なリサイクル用途である木質ボードに着目すると、日本全体の貯蔵量の4割は廃木材由来であるため⁹⁾、循環利用による炭素貯蔵の延長効果は大きいといえる。

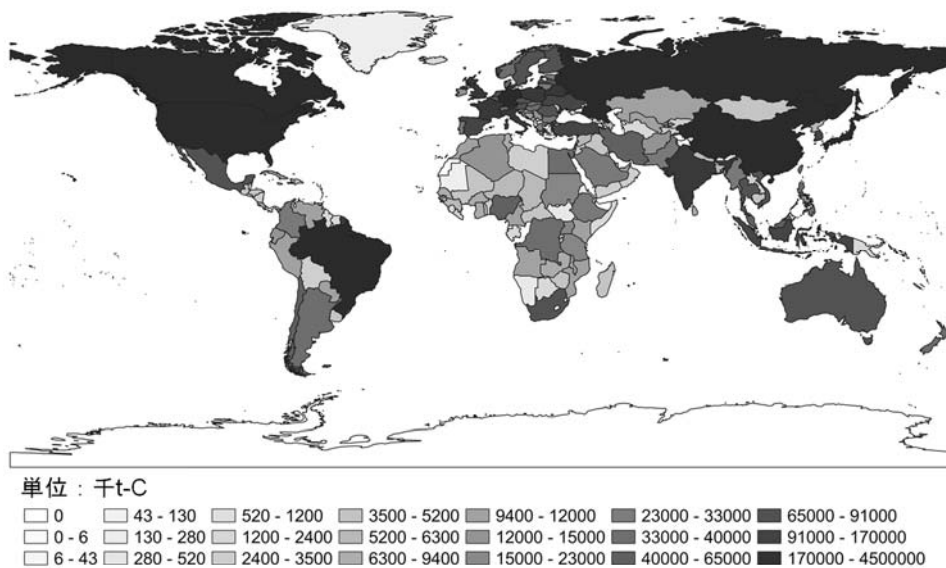


図1 2018年における木材製品の炭素貯蔵量の世界各国分布⁶⁾

4. おわりに

以上の最新の研究成果から得られる知見をまとめると、ネット・ゼロの実現には、単に森林資源の利用を拡大するのではなく、利用構造を改善することが重要だと考えられる。特に木質燃料の燃焼による炭素排出量は大きいため、木材の用途を燃料から材料へ振り替え、建築物・構造物等への長期利用を優先することが有効である。また木材の循環利用は伐採抑制による森林の炭素貯蔵の増加と木材製品の炭素貯蔵期間の延長を実現する方策として重要である。廃棄木材のリサイクルは新規の木材製品および代替される非木材製品の双方の生産・加工等における炭素排出の削減が見込める。これらは脱炭素社会と循環経済の両立に貢献できるため、世界全体で目指すべき方向性だといえる。

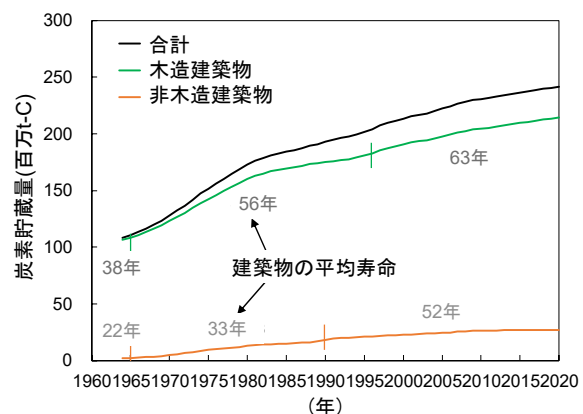


図2 日本全体の建築物の炭素貯蔵量⁷⁾

引用文献

- 1) Churkina et al. (2020) Nature Sustainability, 3, 269–276.
- 2) Mishra et al. (2022) Nature Communications, 13, 4889.
- 3) Peng et al. (2023) Nature, 620, 110–115.
- 4) Forster et al. (2023) Nature Communications, 14, 6766.
- 5) Yayla et al. (2025) Nature Sustainability, 8, 1013–1025.
- 6) Kayo et al. (2025) Biomass and Bioenergy, 201, 108156.
- 7) Kayo et al. (2022) Resources, Conservation and Recycling, 185, 106504.
- 8) Kayo et al. (2026) Energy and Buildings, 358, 117220.
- 9) Kayo et al. (2023) Scientific Reports, 13, 9846.

農地における土壌への炭素貯留と温室効果ガスの排出削減

白戸 康人

農研機構農業環境研究部門

1. 土壌炭素と気候変動緩和

気候変動が進行しつつある中、世界中で、脱炭素社会の実現に向けた動きが急激に進んでおり、多くの国が野心的な削減目標を公表している。日本政府も、2050年にカーボンニュートラル(CO₂排出の実質ゼロ)を目指すことを宣言した。「実質ゼロ」とするには、CO₂を吸収する「吸収源」が必ず必要になる。吸収源と言えば京都議定書において日本の削減目標の多くを担った森林を思い浮かべる人が多いと思うが、農地土壌への炭素貯留にも大きな期待が寄せられている。今後、土壌への炭素貯留への期待はどんどん高まるだろう。

農地を含む陸域の生態系では、植物が光合成をしてCO₂を吸収し、その植物体が土壌に還り、土壌中の微生物により分解されてCO₂が大気に出る、というように、大気、植物、土壌の間で炭素(C)が循環している。このうち「陸上植生」については、例えば森林では長期的に量が増加していつ「吸収源」となることがあるが、イネやムギなど農地の作物の多くは単年性のため、作物体に存在するCの量は長期的に変わらないとみなせる(短期的な、例えば季節変化はするが)。従って、土壌炭素が減少するなら大気CO₂が増え、土壌炭素が増加なら大気CO₂が減る勘定になる。このことから、農地土壌の管理を工夫し、土壌炭素を増やすことが気候変動緩和につながるといえる。

しかも、地球全体でみると、土壌中のCの量は、大気CO₂の2倍、陸上植生の3倍以上あると推定されており、多量なので、その量の変化が及ぼす影響は大きい。実際、過去に人為により失われた土地由来の炭素量はこれまでの化石燃料消費を大きく上回るとの見積もりもある。これまで放出した量が多いということは、過去のレベルまで戻すことによる吸収源としてのポテンシャルも大きいことを意味し、世界中のあちこちの農地で土壌炭素を少しずつ増やせば非常に大きな吸収源となる可能性を秘めている。2015年にパリ協定と同時に立ち上がったフォーパーミル(4/1000)イニシアチブは、「全世界の土壌炭素量を毎年0.4%(つまり4‰:4パーミル)ずつ増加させることができれば、大気CO₂の増加を防ぐことができる」という試算(Soussanaら、2019)に基づき、世界中で土壌への炭素貯留を推進しようという国際的な取り組みである。

また、土壌への炭素貯留は、他の(工業的な)ネガティブエミッション技術と比べてコストが安いのも特徴である。

2. 土壌炭素を維持増進する土壌管理～食料生産との一石二鳥

農地の土壌炭素量を増加させるためには、土壌にすき込む堆肥や緑肥など有機物の投入量を増やすか、あるいは、不耕起・省耕起栽培に切り替えるなど土壌有機物の分解を遅くする管理が有効である。堆肥を施用した畑では土壌C量が増加し続けることがさまざまなデータで示されているが、堆肥は製造にも散布にも労力がかかるので、園芸など、小面積で高収益が見込める労働集約的な品目に向いている。また、堆肥の総量が同じであれば、投入を増やした畑があれば投入量が減った畑もあるはずで、前者だけを評価して炭素貯留を主張するのは認められない(つまり、堆肥が移動しただけで、新たな大気CO₂の吸収は起きていない)ので注意が必要である。一方、緑肥なら堆肥ほどの労力がかからないので、イネ、ムギ、ダイズなど土地利用型の品目にも向いているし、緑肥作物は確かにその場所で光合成してCO₂を吸収するので上記の「堆肥の移動に過ぎない」問題は生じない。これら、堆肥や緑肥は、作物の生産性を高めるために、古くから農家がやってきた土壌の有機物

管理である。土壌の C 量は、通常は、窒素(N)をはじめとする作物にとっての養分の量と相関があるし、保水性や排水性などの土壌物理性の良さとも相関がある。つまり、土壌 C 量を増やすような土壌管理は、食料生産と気候変動緩和の両方に貢献する一石二鳥の土壌管理ということになる。

最近、バイオ炭が注目されている。堆肥や緑肥のように土壌中で土壌に固有のプロセスで腐植がつくられるのと違い、低酸素状態で加熱されて炭化することで炭素が安定化するものであり、メカニズムは全く異なるが、多量の炭素を貯留できる可能性があり、注目を集めている。一方、分解を減らすためには不耕起・省耕起が有効と言われているが、日本のような高温多湿の気候では雑草対策など不利な条件もあり、あまり大きな広がりを見せていない。

3. トレードオフと総合評価

土壌への炭素貯留を目指して農地への有機物の投入量を増やした場合、土壌炭素貯留という面ではプラスだが、他の温室効果ガス(メタン(CH₄)や一酸化二窒素(N₂O))の排出増加や、化石燃料消費による CO₂ 排出の増加を伴うこともある。よって、このトレードオフを考慮し、総合的に評価する必要がある。CH₄とN₂Oは、気候変動への寄与としてはCO₂に次ぐ2番目、3番目のガスであるが、排出量に占める農業の寄与が大きいため、農業分野においては排出削減の意義が大きい。温室効果ガスに関するトレードオフの場合には、異なる種類のガスもすべて地球温暖化係数(GWP: Global Warming Potential)を使ってCO₂に換算することでプラスの効果とマイナスの効果を同じ尺度で総合評価することができる。ただし、環境問題には、地球温暖化だけでなく、水質の富栄養化、生物多様性、重金属などの有害化学物質など、種類の違う様々な環境へのインパクトがあり、これらを総合評価するには、LCA(Life Cycle Assessment)などの考え方をういた総合評価の手法が必要となる。地球温暖化は、これらの問題の一部に過ぎない。

4. 意思決定支援ツール「土壌のCO₂吸収「見える化」サイト」

土壌管理の工夫による土壌への炭素貯留の効果は、同じ管理を行ったとしても気候条件や土壌タイプなどの環境条件により異なる。また、前述したように他の環境負荷とのトレードオフも考慮しなければならない。これらのことを知り、農法と環境負荷の関係を理解する方法の一つとして、土壌中のCやNの動態のモデル化の研究成果などをもとに、それらを簡単に計算できる「土壌のCO₂吸収「見える化」サイト」(白戸、2023)を開発・公開している(<https://soilco2.rad.naro.go.jp/>)。このWebサイトでは、地図上で計算したい場所をクリックし、作物や管理の方法を簡単な操作で選択するだけで、土壌へのC貯留量や、CH₄やN₂Oの排出量を、標準的な管理とユーザーが選んだ「あなたの管理」の場合で比較できる。このようなサイトを、意思決定を支援するツールとして、生産者や行政に活用されることを望む。

引用文献

- 1) Soussana, J. F., Lutfalla, S., Ehrhardt, F., Rosenstock, T., Lamanna, C., Havlík, P., Richards, M., Wollenberg, E., Chotte, J. L., Torquebiau, E., Ciais, P., Smith, P., Lal, R. (2019) Matching policy and science: Rationale for the ‘4 per 1000 – soils for food security and climate’ initiative, *Soil and Tillage research*, 188, 3–15.
- 2) 白戸康人(2023)「土壌のCO₂吸収「見える化」サイト」の機能と活用法、グリーンレポート、643、2– 3

講演者プロフィール

敬称略・講演順

【橋本 昌司 (はしもと しょうじ)】

2004年東京大学大学院農学生命科学研究科修了、農学博士。2005年から森林総合研究所。現在立地環境研究領域および生物多様性・気候変動研究拠点所属、チーム長。2017年から東京大学大学院農学生命科学研究科准教授併任。地球規模の森林の炭素循環、温室効果ガス、気候変動影響評価・適応策の研究に従事。福島森林放射能問題にも取り組む。日本森林学会奨励賞、若手農林水産研究者表彰、森林研究・整備機構理事長賞など受賞。主な著書に「森林の放射線生態学：福島の森を考える（共著、丸善出版）、Forest Radioecology in Fukushima: Radiocesium dynamics, impact, and future（共著、Springer）、Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in Japan（分担、Springer）」

【小嵐 淳 (こあらし じゅん)】

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター 研究主席。2002年名古屋大学大学院工学研究科博士(工学)。核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究開発機構にて研究に従事後、2022年より現職。2009年、米国カリフォルニア大学アーバイン校に客員研究員として滞在。放射性炭素分析を駆使し、陸域生態系における炭素循環メカニズムの解明に取り組む。平成31年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(科学技術賞・研究部門)受賞。アジア原子力協力フォーラム(FNCA)において気候変動プロジェクトを主導し、2020年に Best Research Term of the Year Award、2025年に Excellent Research Team of the Year Award を受賞。

【田中 憲蔵 (たなか けんぞう)】

2004年に愛媛大学大学院連合農学研究科でボルネオ島の熱帯雨林の樹木の生理生態的特性について博士号を取得。2005年より森林総合研究所で熱帯林の炭素蓄積量推定や荒廃地再生の研究などを行う。2021年より国際農林水産業研究センターで、東南アジア諸国を対象に持続可能な熱帯林業の実現に向けて研究を展開している。

【加用 千裕 (かよう ちひろ)】

2009年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士(工学)。同年国立環境研究所特別研究員、2012年東京農工大学大学院農学研究院助教、准教授を経て、2023年東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院教授。専門分野は環境システム学。主に木材利用による炭素フロー・ストック分析、ライフサイクルアセスメント、計量経済分析の研究に取り組む。2025年度日本木材学会賞受賞。

【白戸 康人（しらと やすひと）】

北海道出身。1991年東北大学大学院農学研究科博士課程前期課程修了。青年海外協力隊員(パラグアイ、土壤肥料)、鯉淵学園技師、農林水産省草地試験場、農業環境技術研究所、農林水産技術会議事務局研究調査官などを経て 2021 年より農研機構農業環境研究部門気候変動緩和策研究領域長。専門分野は土壌学。所属学会は日本土壤肥料学会、日本ペドロロジー学会。主な編著書:土のひみつ(朝倉書店)など。

講演内容や要旨に関して、記事等で公表する場合は、必ず事前に
(公財)農学会事務局にご相談の上、許可を得てください。

☎ 03-5842-2210 ✉ zaidan@nougakkai.or.jp