

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

日本原子力研究開発機構

小嵐 淳

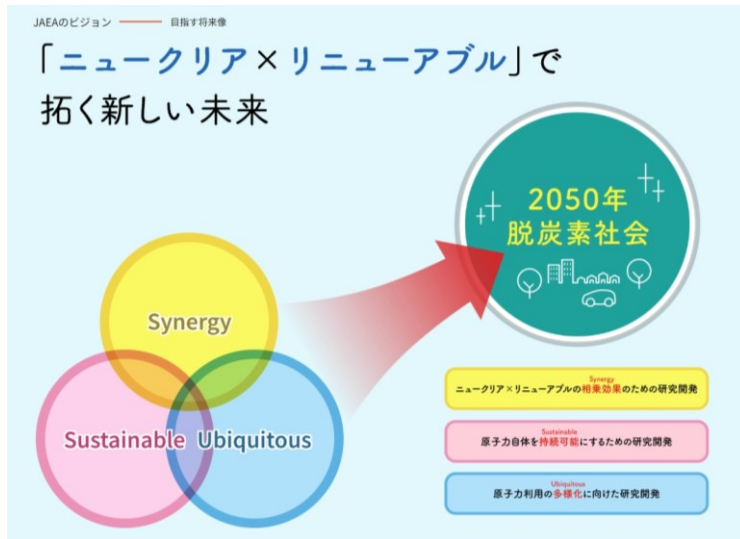
自己紹介



国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

原子力に関する総合的な研究開発機関

- 原子力と再生可能エネルギーの相乗効果を追求する研究開発 (Synergy)
- 原子力自体を継続可能なエネルギーとする研究開発 (Sustainable)
- **原子力をエネルギー分野のみならず幅広い分野で活用する研究開発 (Ubiquitous)**



茨城県東海村にある
原子力基礎工学研究センター

研究テーマ

放射性炭素分析を利用して、森林や土壌の炭素循環を明らかにする

○ 本研究は、多くの研究者の方々と協力しながら進めています。 (敬称略・順不同)

安藤麻里子 (原子力機構)

梁乃申 (国立環境研)

近藤俊明 (国際農研)

高木健太郎 (北海道大)

平野高司 (北海道大)

高木正博 (宮崎大)

石田祐宣 (弘前大)

寺本宗正 (鳥取大)

永野博彦 (新潟大)

市井和仁 (千葉大)

孫力飛 (国立環境研)

石塚成宏 (森林総研)

平舘俊太郎 (九州大)

彦坂幸毅 (東北大)

中山理智 (岡山大)

阿部有希子 (森林総研)

國分陽子 (原子力機構)

藤田奈津子 (原子力機構)

太田雅和 (原子力機構)

丹下健 (東京大学)

○ 本研究は、以下の助成を受けて実施しています。

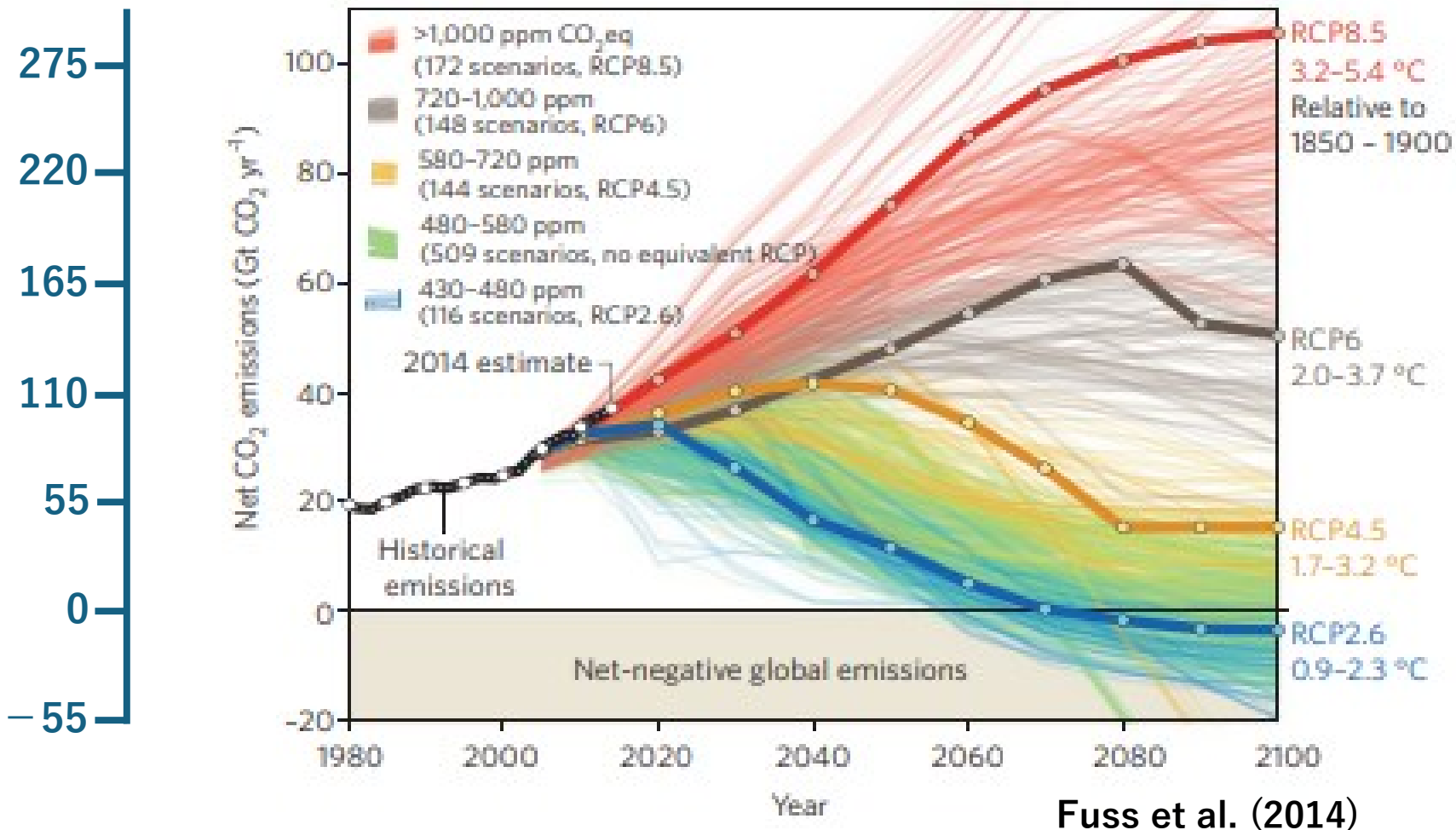
◆ 環境研究総合推進費 (2-1705、2-2006)

◆ 地球環境保全試験研究費 (環2451)

◆ 科学研究費補助金 (23380096、15H04523、19H05666、20K12143、21H02231、21H05313)

地球温暖化は、私たちと地球の未来を脅かす最大の脅威

正味の年間炭素排出量
(炭素換算、億炭素トン/年)



地球の未来は変えられるものの、排出シナリオや気候モデル(特に森林や土壌)が不確実であり、予測には大きな幅がある

「土壌」は炭素の巨大な貯蔵庫



植物が光合成で吸収した炭素を貯える

炭素を有機物として長い間貯留することで、大気中二酸化炭素（CO₂）濃度を安定させ、温暖化の緩和に貢献

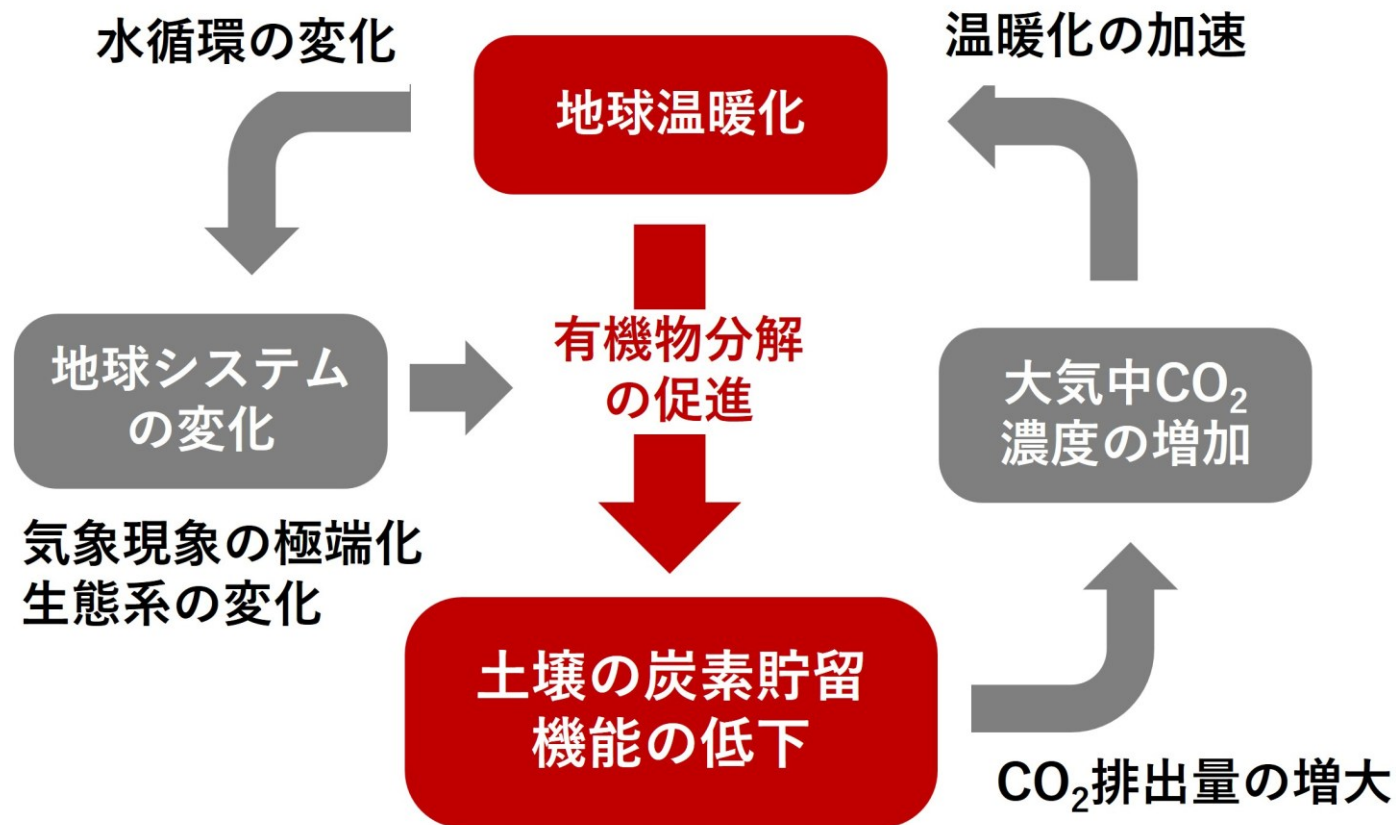
CO₂を絶えず大気中へ排出している

土壌中の有機物は微生物によって分解される

**森林の吸収源機能は、
土壌の力によって支えられている！**

「土壌が炭素を貯える力」を維持し、高めることは、温暖化対策として重要

温暖化は、土壌の炭素貯留能力を弱め、温暖化を加速させる!?



温暖化の進行により、森林がCO₂の吸収源から排出源へと転換してしまう可能性

温暖化が土壌の炭素貯留能力に与える影響を把握することは、持続可能な地球環境を実現するために不可欠

本日のお話の内容

- ① 温暖化は土壌の炭素貯留能力を弱める【温暖化の影響】
- ② 土壌が持つ炭素を貯える真の力【真の力】
- ③ 土壌の力を活かした温暖化対策の可能性【活用の可能性】

【温暖化の影響】温暖化を実際に作り出す!! 野外検証実験

■ 温暖化の影響を直接観察する方法を開発

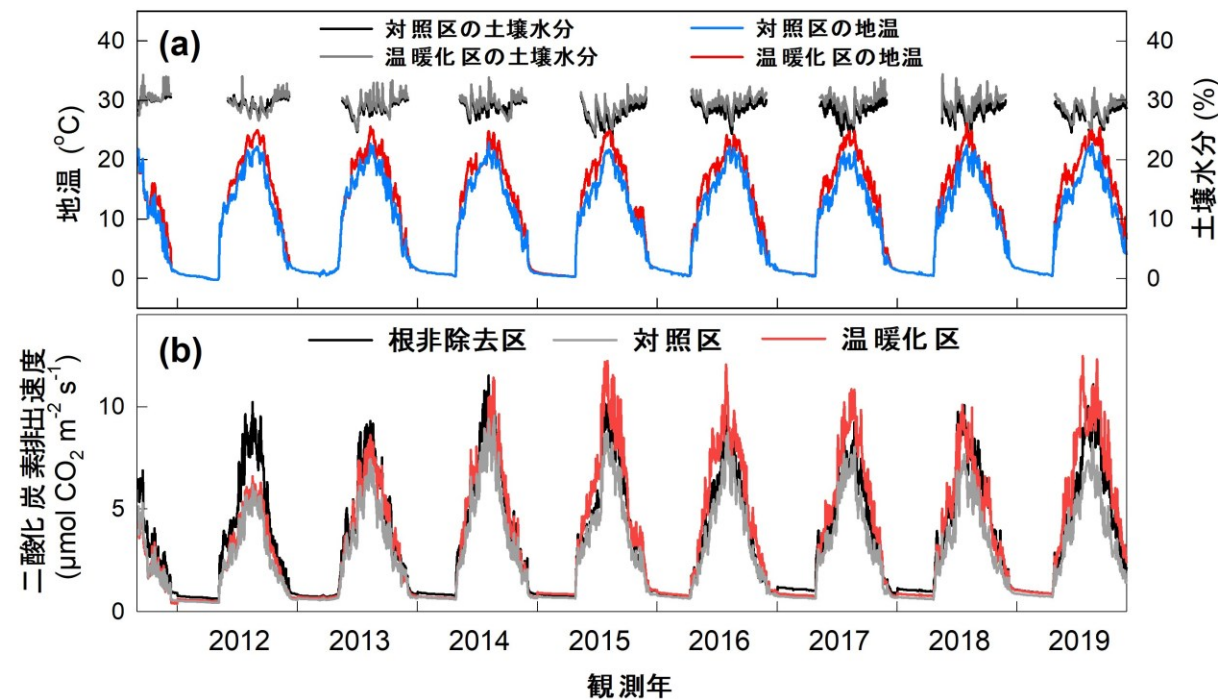
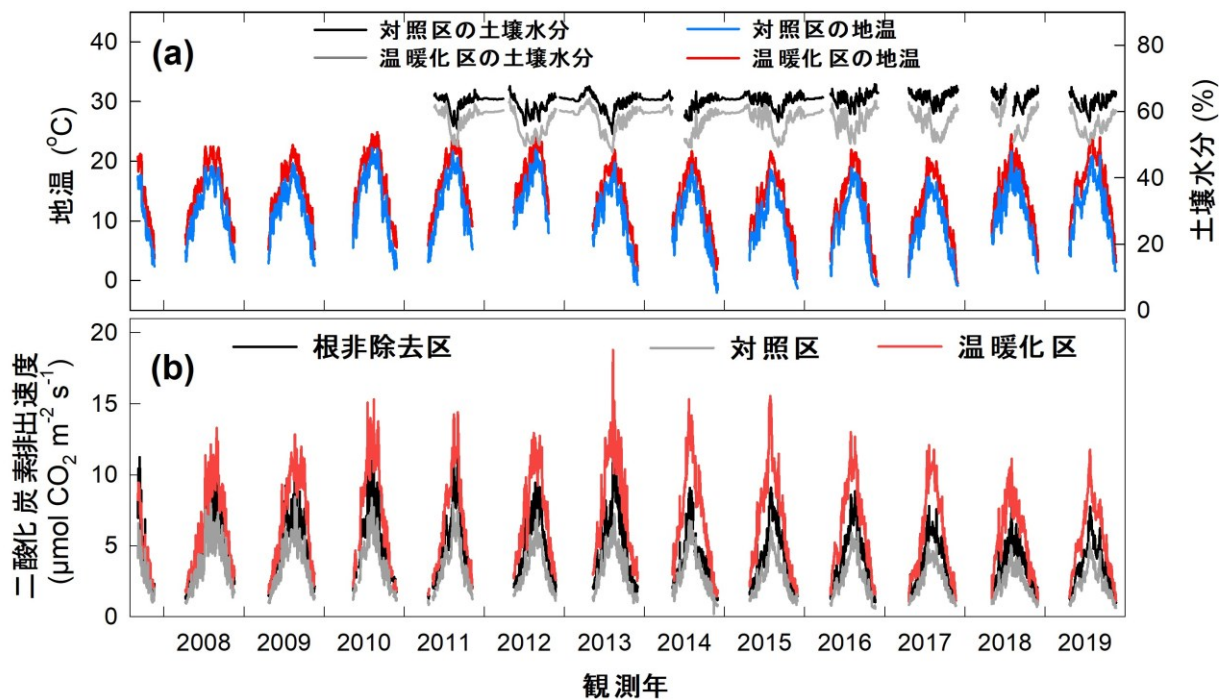


梁乃申 博士
(国立環境研究所)

【温暖化の影響】国内5つの場所を実験を実施



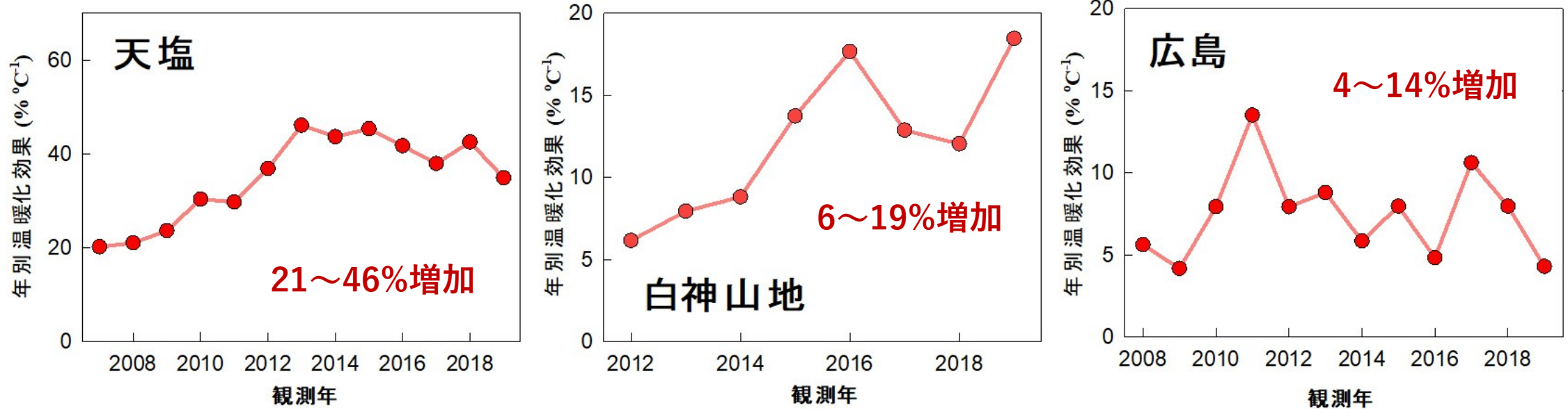
【温暖化の影響】温暖化によって土壌からのCO₂排出量は…



すべての調査地で、CO₂排出量が増加

【温暖化の影響】日本の森林土壌は温暖化に強い？弱い？

■ 温暖化効果：温度が1°C上がると、CO₂排出量がどれだけ増加するか？

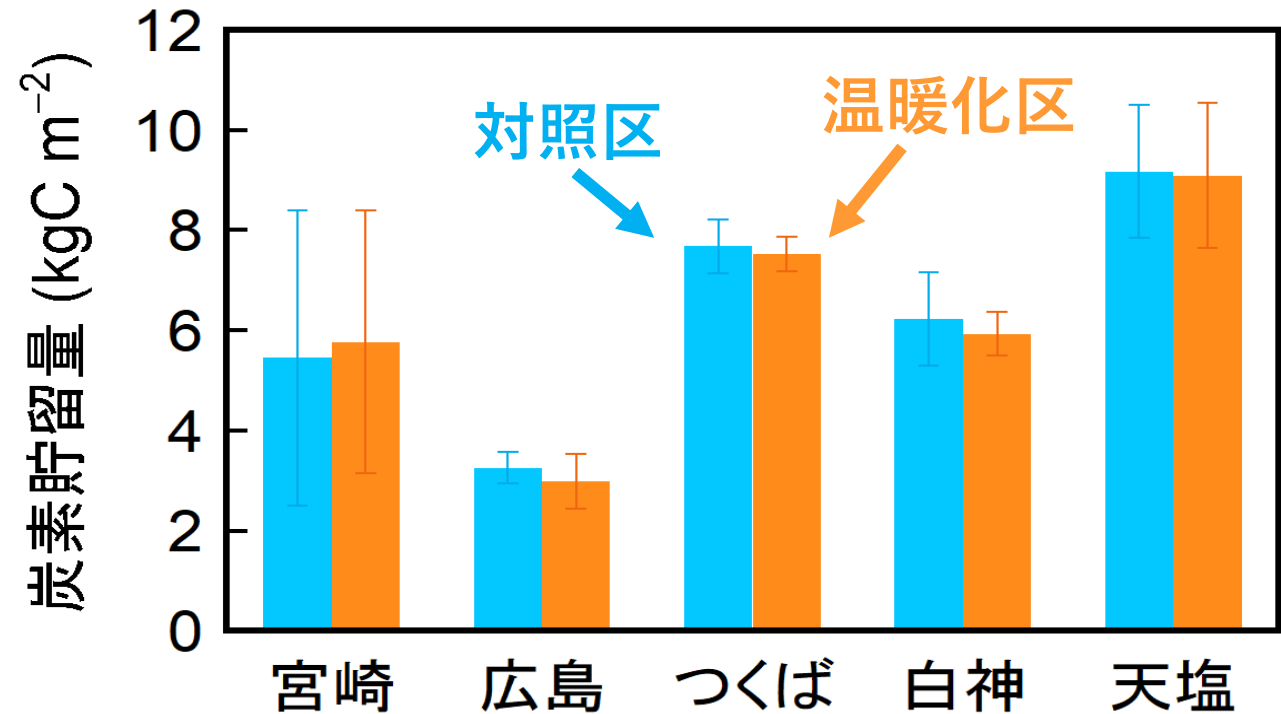


温度上昇1°Cあたり、CO₂排出量が4~46%増加し、この影響は10年以上も継続

日本の森林土壌は、欧米に比べて、温暖化の影響を大きく受けやすく、温暖化をさらに加速させるリスクが大きい

【温暖化の影響】なぜ、温暖化の影響を受けやすいのか？ (1)

■ 表層(深さ20 cmまで)の土壌の炭素貯留量を調べる



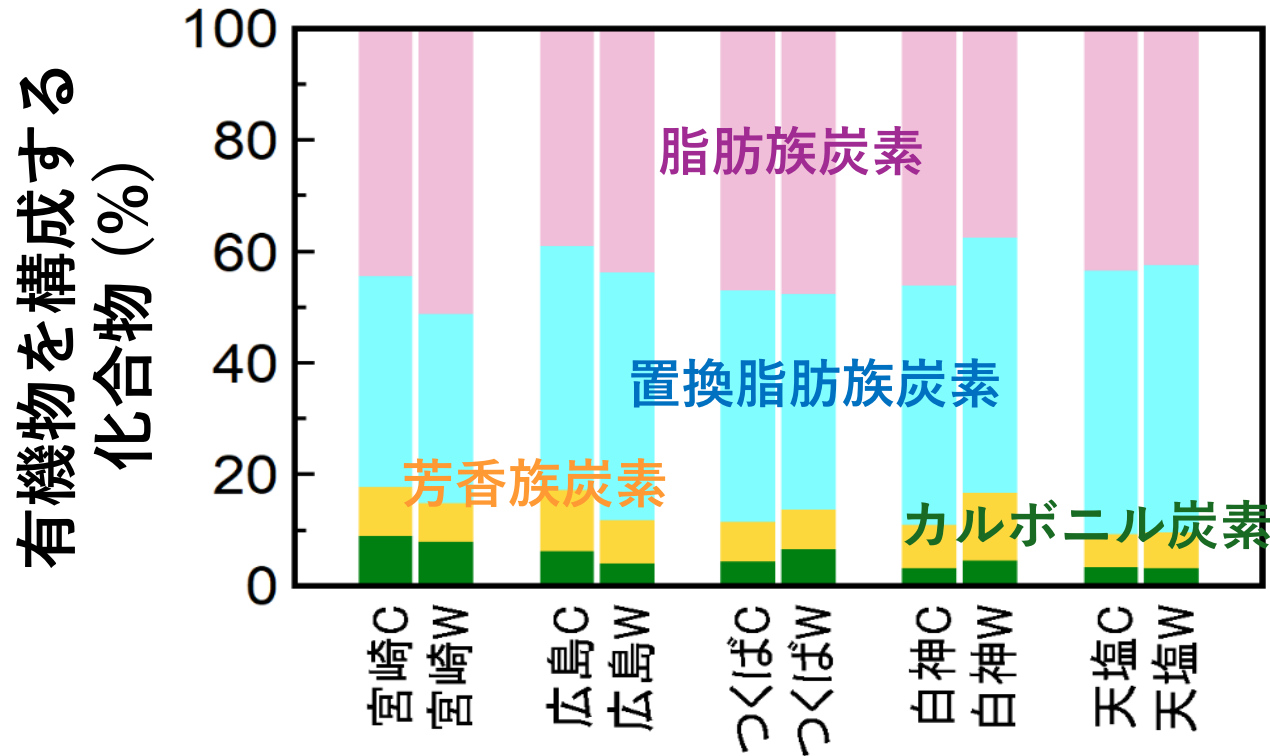
調査地	温暖化期間
天塩	10.2年
白神	5.9年
つくば	11.9年
広島	9.6年
宮崎	8.4年

長期温暖化後(約6~12年)も炭素貯留量は変わらない

微生物が分解できる有機物(CO₂の発生源)が依然として豊富に存在している

【温暖化の影響】なぜ、温暖化の影響を受けやすいのか？ (2)

■ 有機物を構成する化合物を調べる (固体¹³C核磁気共鳴法*)



平舘 俊太郎 教授
(九州大学)

長期温暖化後も化合物の構成は変わらない

分解しやすい有機物が依然としてたくさん残っている

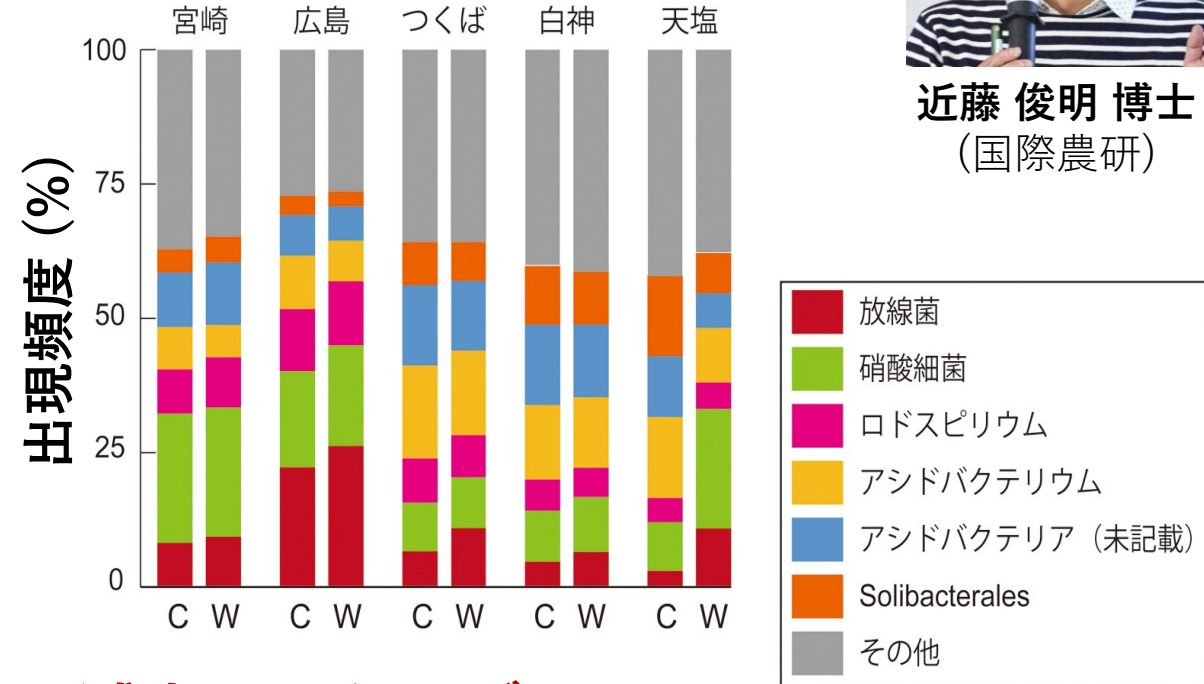
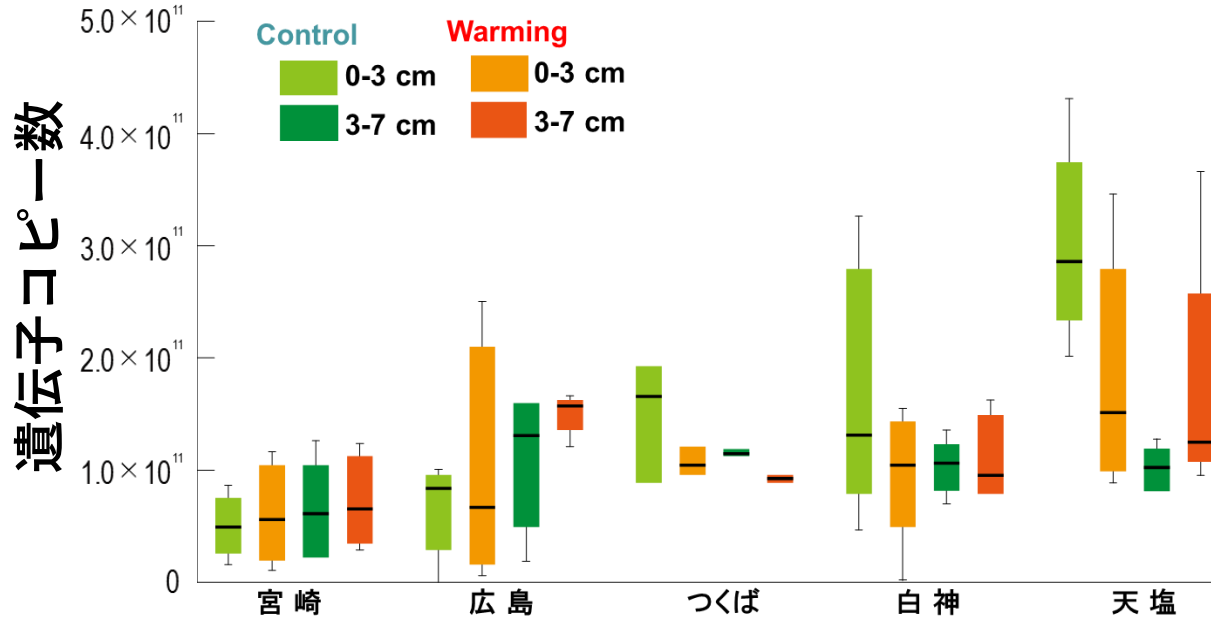
*化合物に電磁波を照射することで、電磁波に呼応した化合物中の原子核の共鳴信号を取得する分光法

【温暖化の影響】なぜ、温暖化の影響を受けやすいのか？ (3)

■ 土壌の微生物を調べる (定量PCR、次世代シーケンシング法)



近藤 俊明 博士
(国際農研)



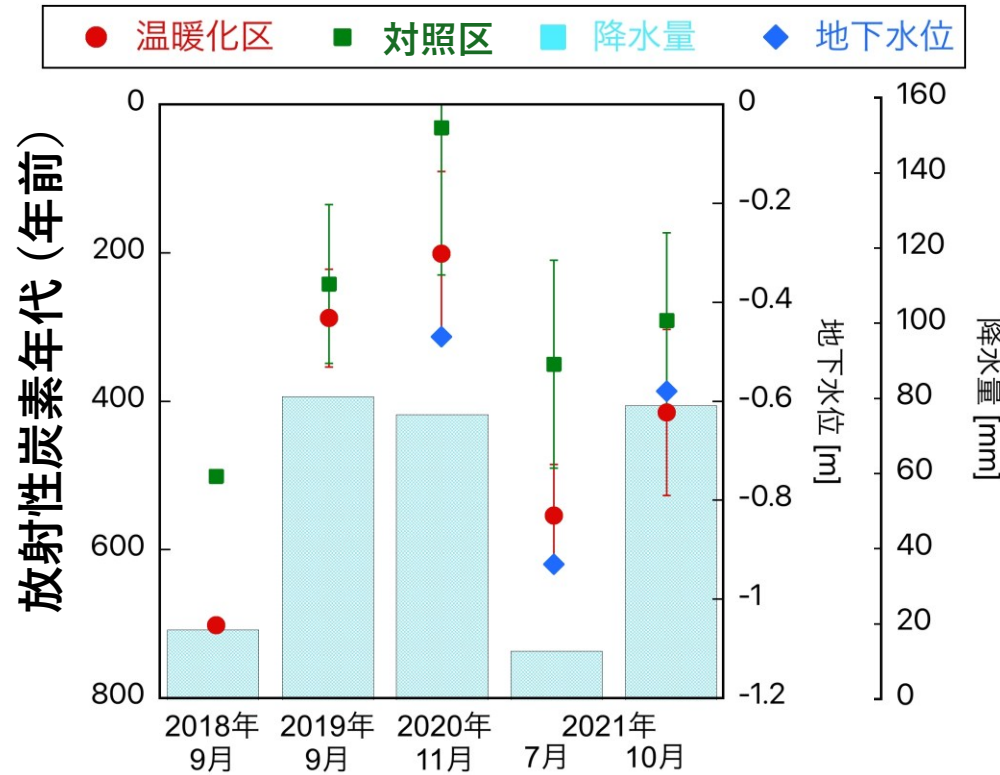
長期温暖化後も、微生物の量や種類の減少はみられず

日本のような寒暖差の大きい地域では、土壌微生物は温暖化に対する適応力が高く、分解活動が維持・促進される

【温暖化の影響】天塩(泥炭土)の巨大なCO₂排出の謎に迫る

■ 排出されるCO₂の年代を調べる (放射性炭素の測定)

CO₂ 30~700年前



安藤 麻里子 博士
(原子力機構)



高木 健太郎 教授
(北海道大学)



加速器質量分析技術で、炭素原子約1兆個に1個の希少な放射性炭素を正確に測定

温暖化や地下水位低下によって、古い炭素が排出されることが判明

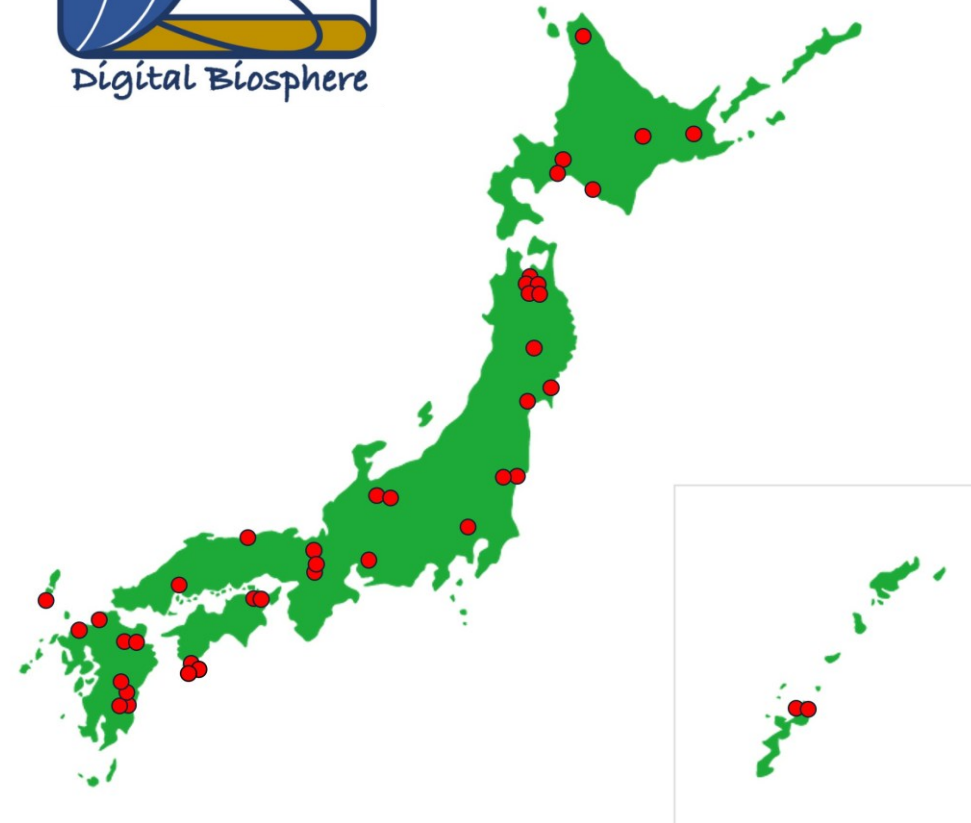
温暖化に伴う乾燥は、深い層の有機物分解を促進し、CO₂排出量の増大に拍車をかける

【温暖化の影響】 まとめ

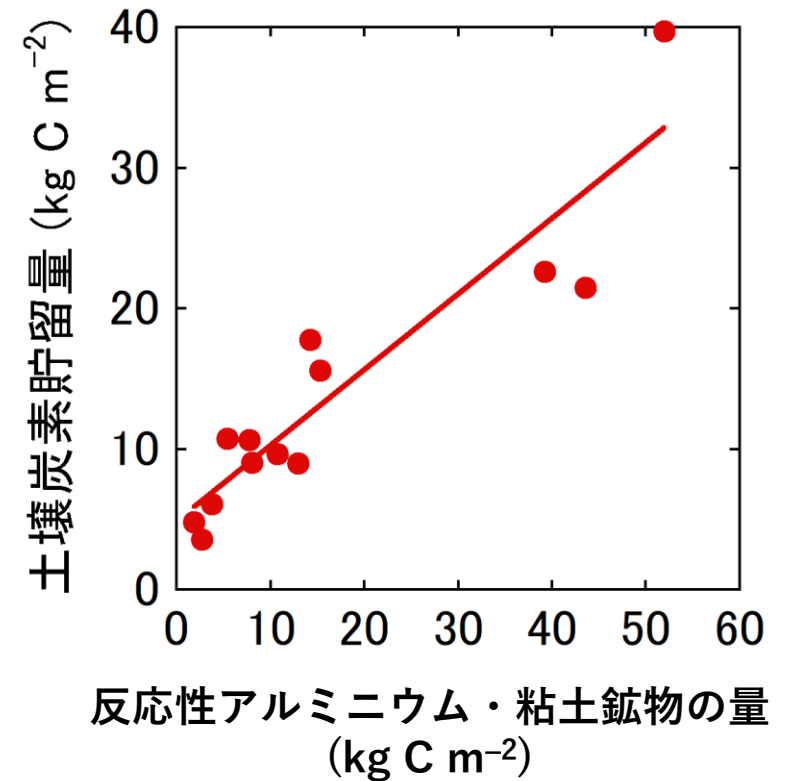
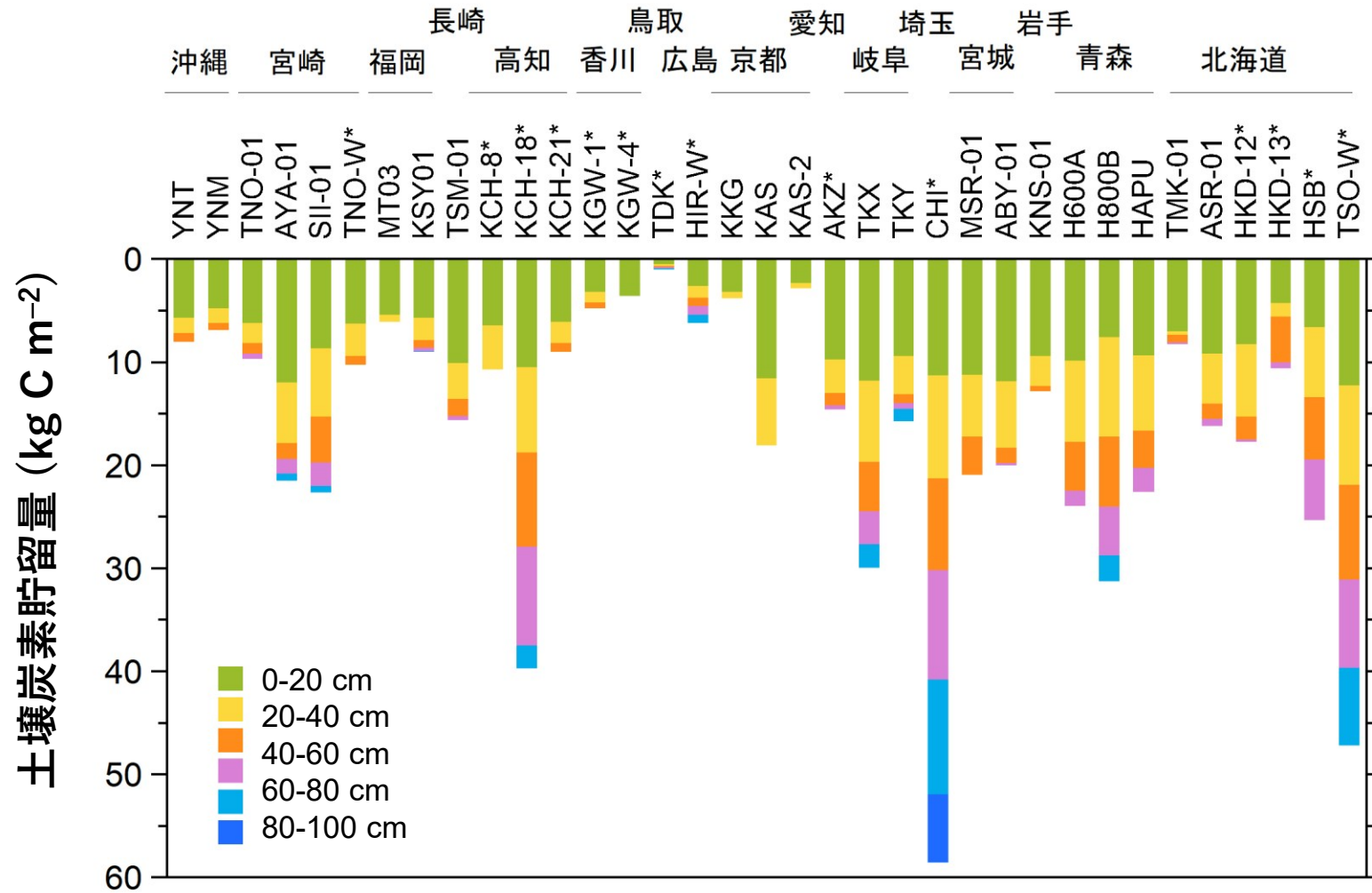
- 温暖化の進行は、土壌からのCO₂排出量を増大させ、土壌の炭素貯留能力を低下させる
- 日本の森林土壌は、温暖化の影響を大きく受けやすい
- 有機物の豊富な蓄積や微生物の温度変化への高い適応性がその主な要因
- 温暖化に伴う水環境の変化が、土壌の炭素貯留能力の低下をさらに加速させる

【真の力】 土壌が炭素を貯える力は弱いのか？ 真の力とは!?

■ 全国の森林で土壌を深くまで掘って、土壌全体としての炭素貯留能力を調べる



【真の力】 土壌はどのくらい「多く」炭素を貯えているのか？



深い層に膨大な量の炭素を貯蔵している土壌が存在する

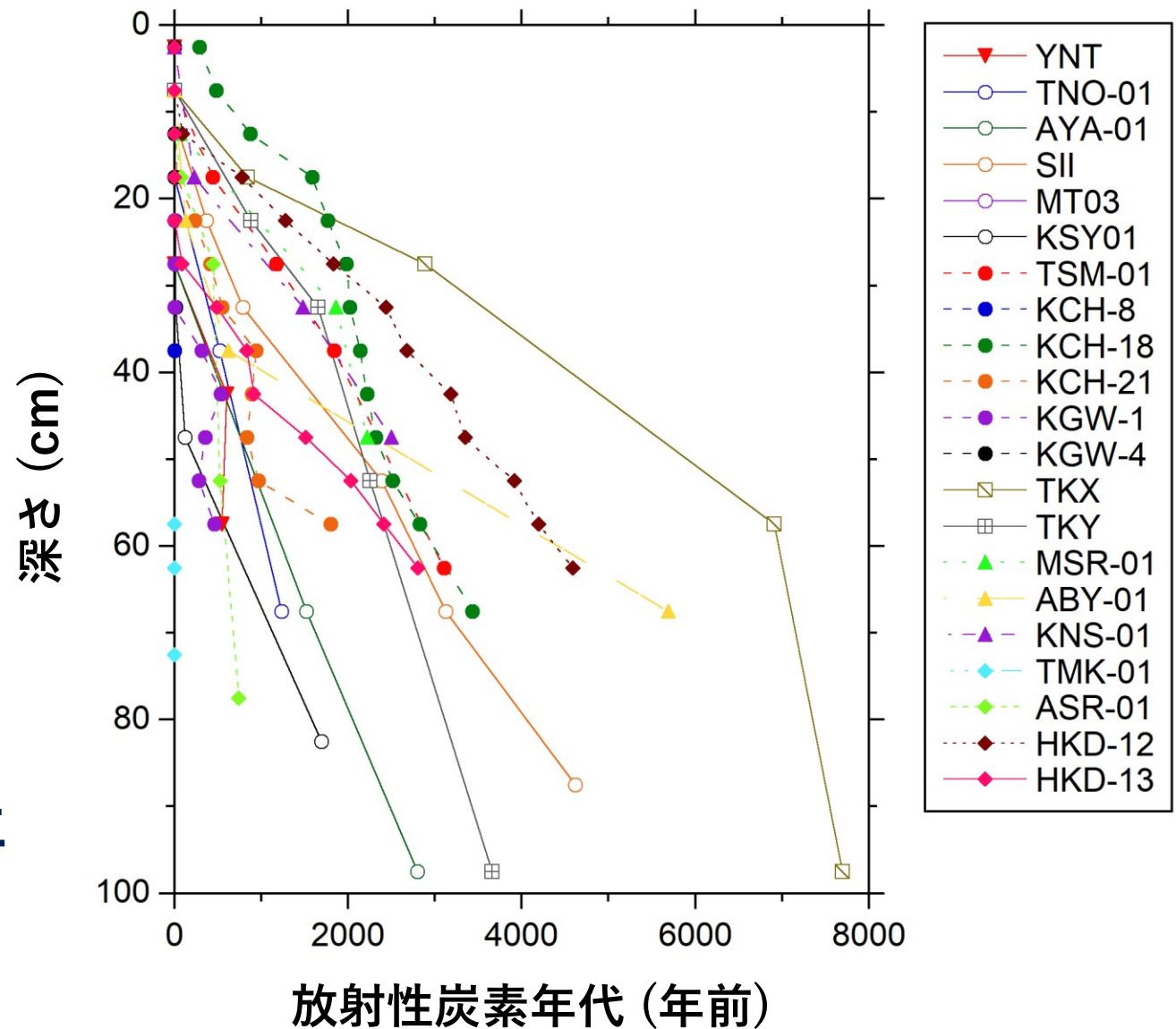
【真の力】 土壌はどのくらい「長く」炭素を貯えているのか？

■ 土壌中の有機物の年代を調べる (放射性炭素の測定)

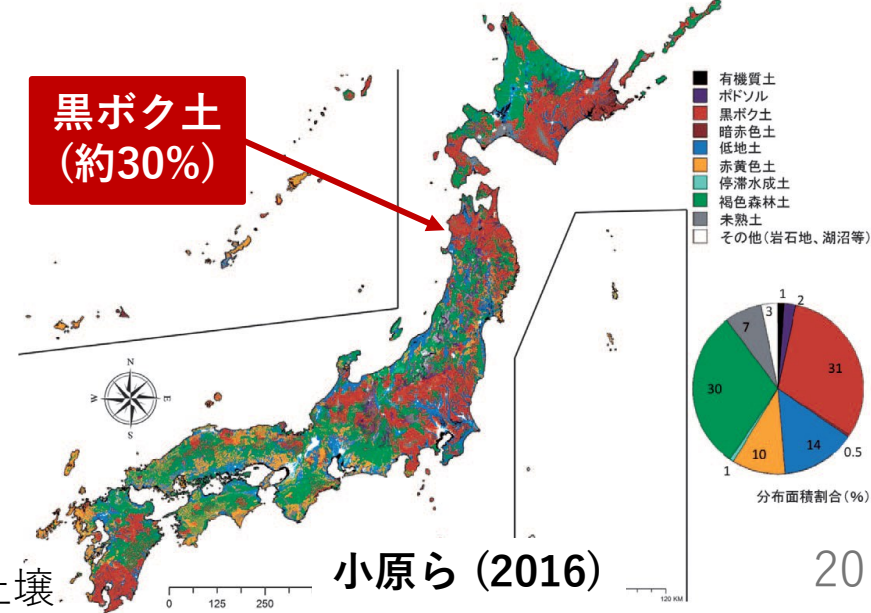
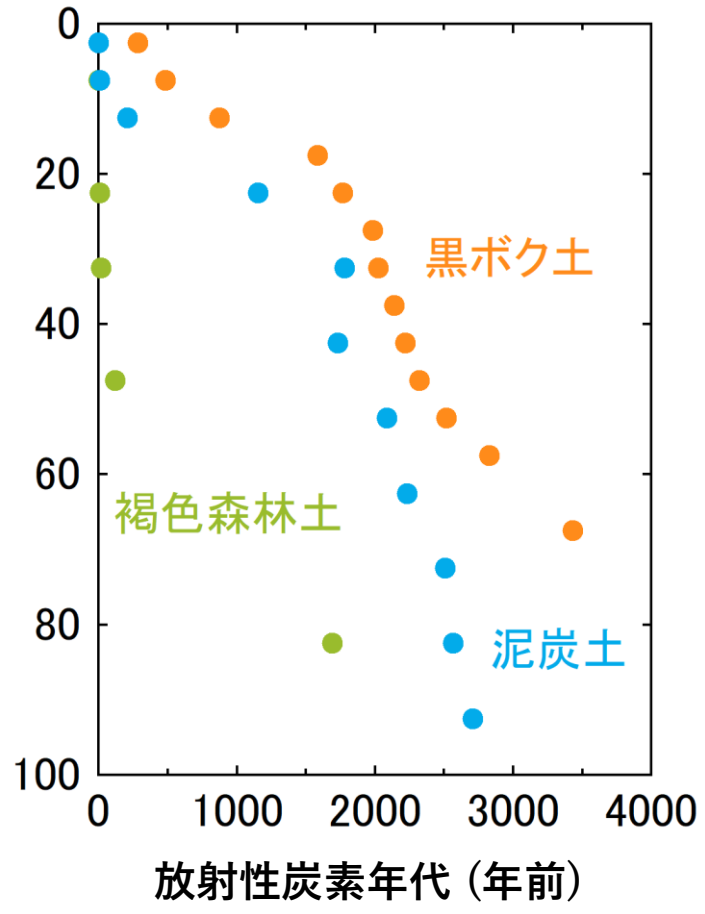
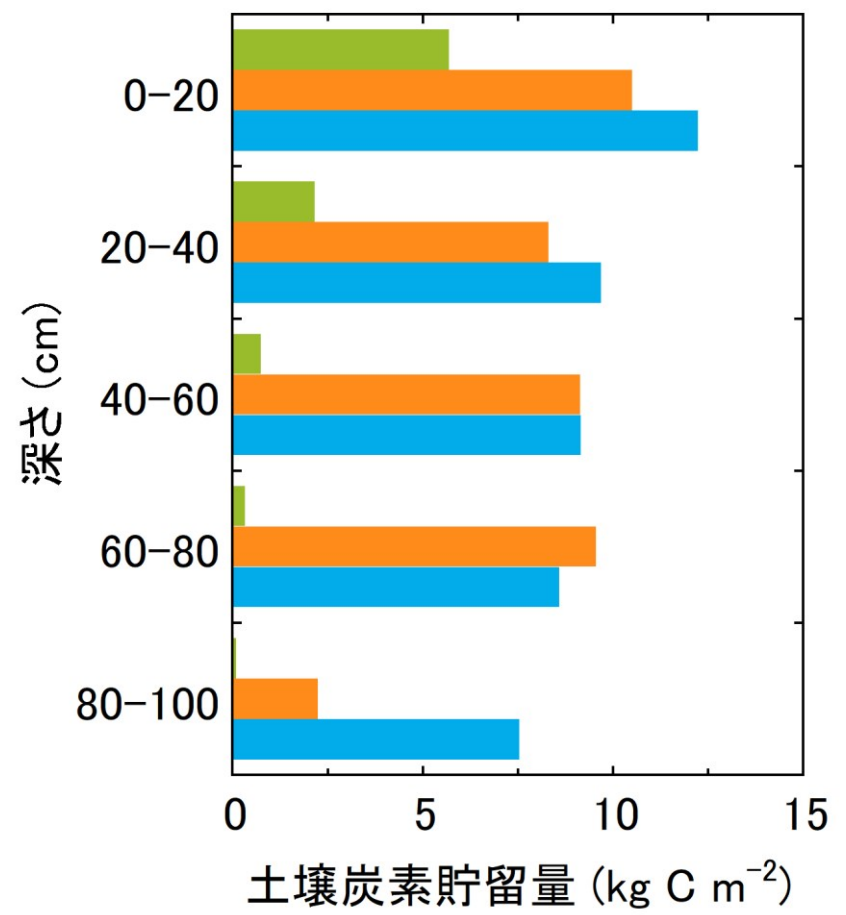


加速器質量分析技術の利用

土壌は、特に深い場所で、数千年以上にあたって炭素を貯え続ける力がある！



【真の力】どんな土壌が炭素を貯えるかに優れているのか？



泥炭土*や、日本に広く分布する黒ボク土は、炭素を貯える能力が高い**

*有機物が堆積した湿地土壌 **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

【真の力】まとめ

- 土壌は、特に深い場所で、数千年にもわたり大量の炭素を貯える能力を持っている
- 泥炭土や日本に広く分布する黒ボク土は、その能力が高い
- 反応性アルミニウムや粘土鉱物が、有機物と結合することで分解を抑制し、炭素の貯留に貢献
- このような能力は、温暖化に打ち勝つための大きな武器になる可能性

【活用の可能性】日本におけるCO₂の除去目標

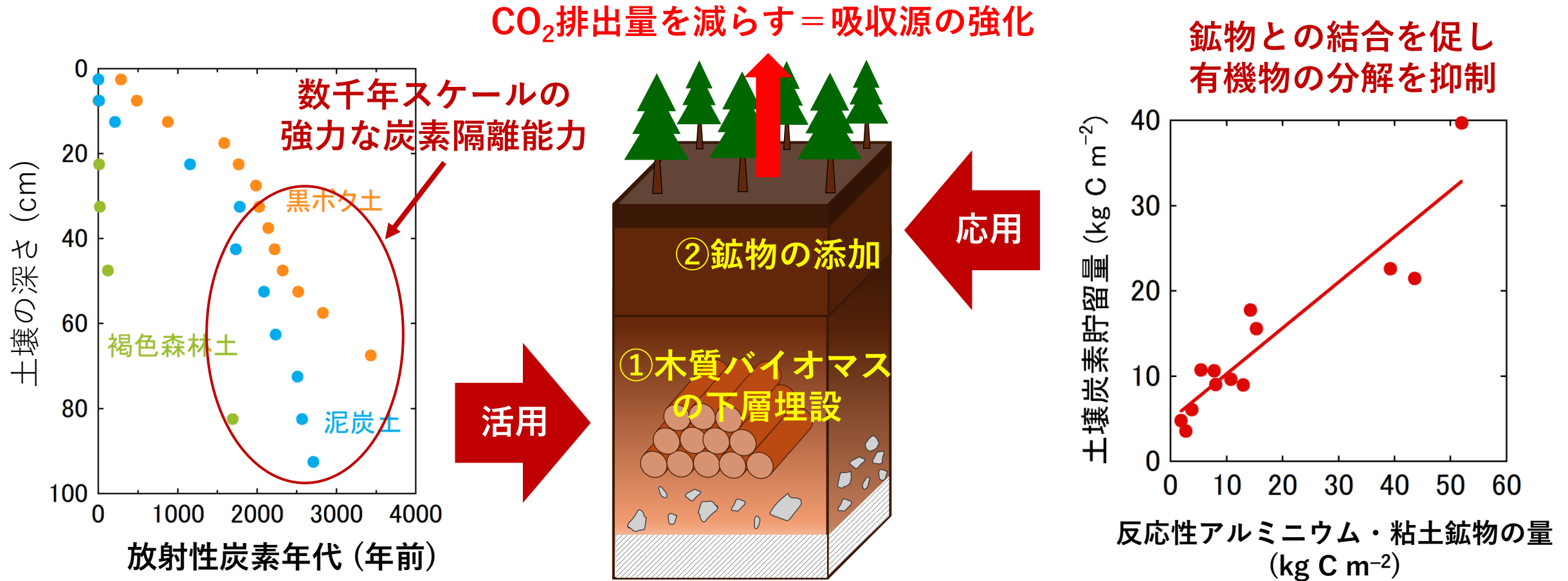
■ 2050年時点で、年間3300～6500万炭素トンの削減しきれないCO₂を除去する目標
(CSS長期ロードマップ検討会)



[環境省, IPCC第6次評価報告書の概要-第3作業部会(気候変動緩和), 2023年度]

土壌の力を活用してCO₂を除去し、温暖化を緩和できる可能性は？

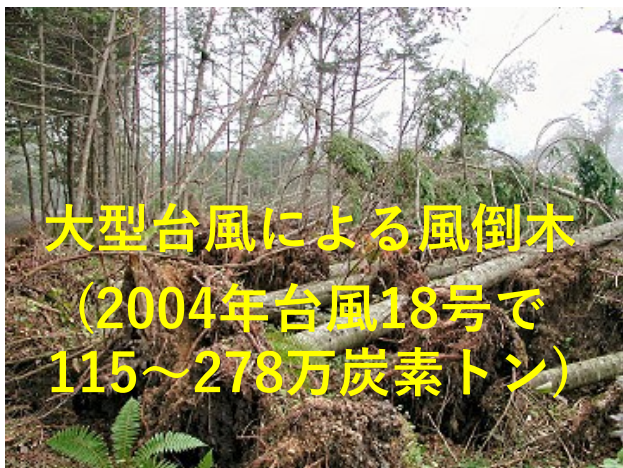
【活用の可能性】 土壌の力を活用してCO₂を除去するアイデア



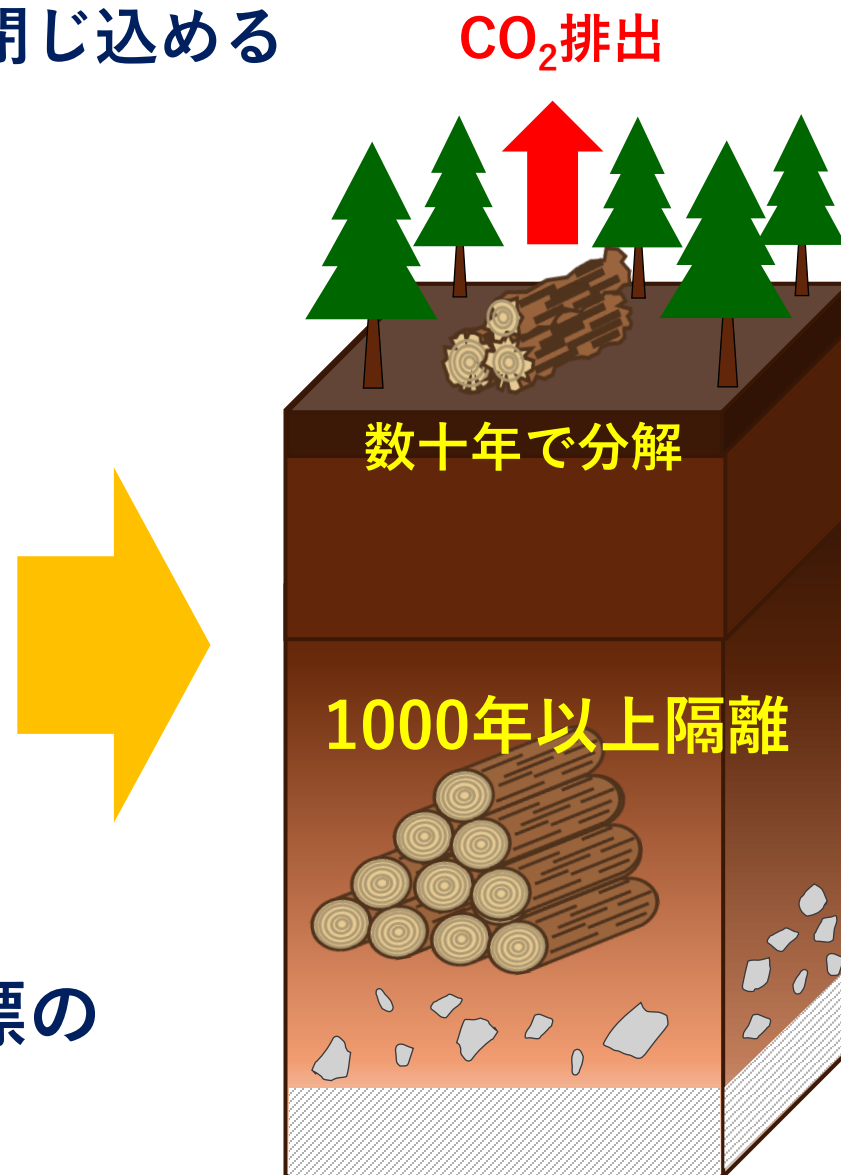
有機物の分解を遅らせ、土壌中に長期間留まるようにすることで、土壌からのCO₂排出を抑制し、土壌炭素貯留量を増やす (吸収源としての機能を強化する)

【活用の可能性】① 木質バイオマスの下層埋設による隔離

■ 植物が吸収したCO₂(木質バイオマス)を土壤中に閉じ込める



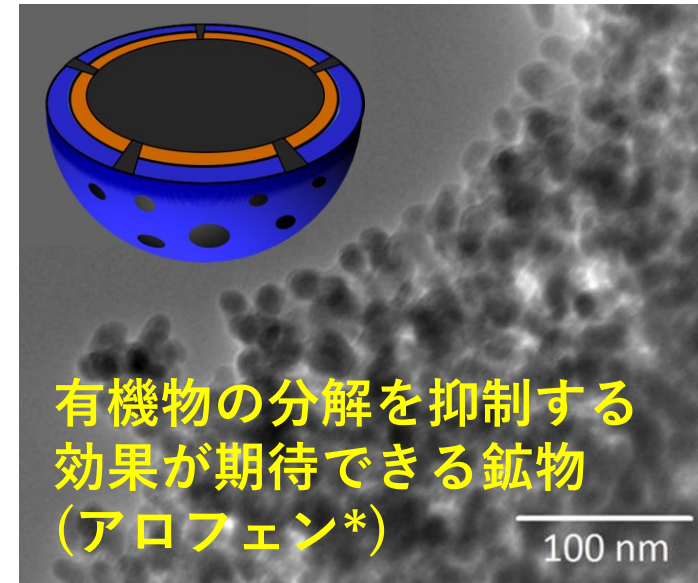
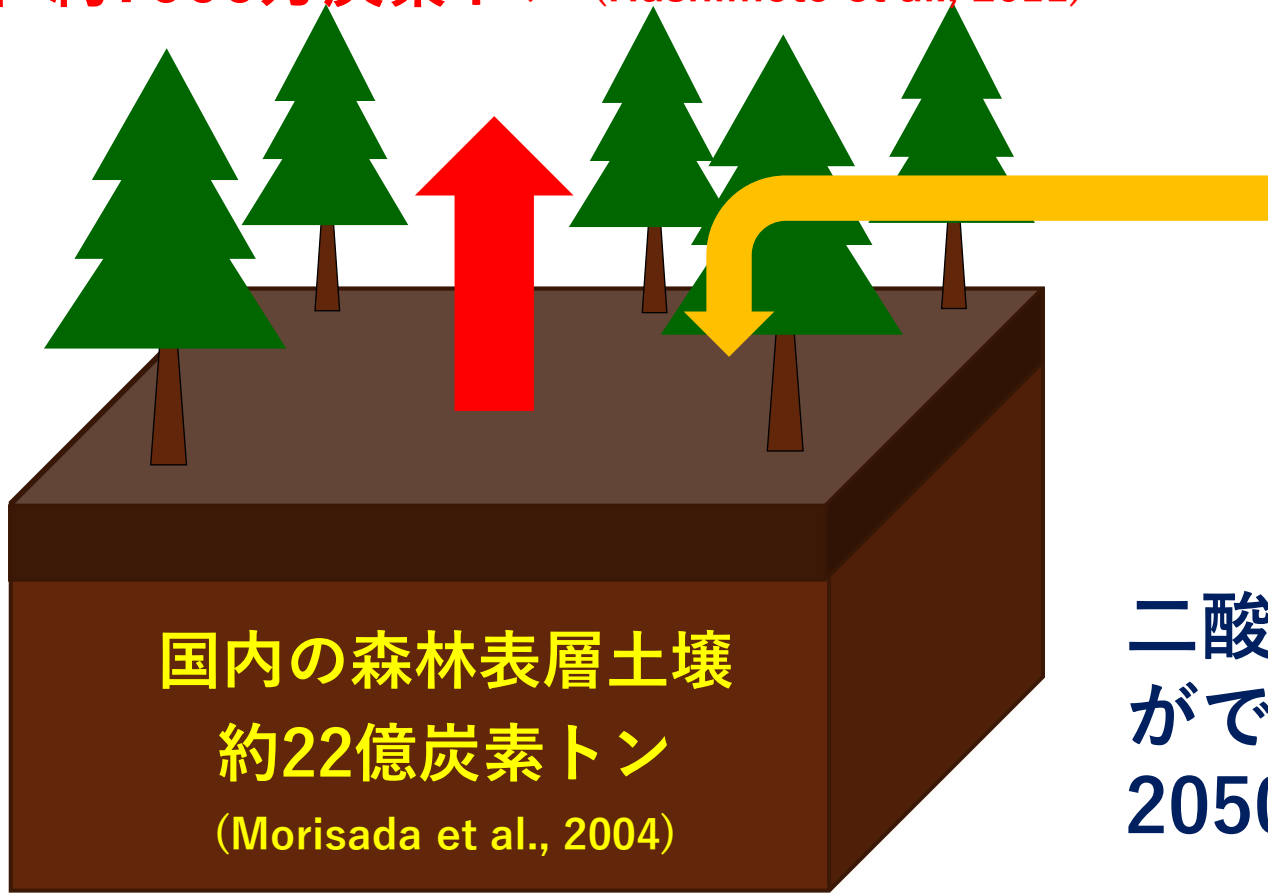
2050年CO₂除去目標の
最大19%に貢献



【活用の可能性】 ② 鋳物の添加による有機物の分解抑制

■ 土壌中の有機物に働きかけ、有機物分解による土壌からのCO₂排出量を減らす

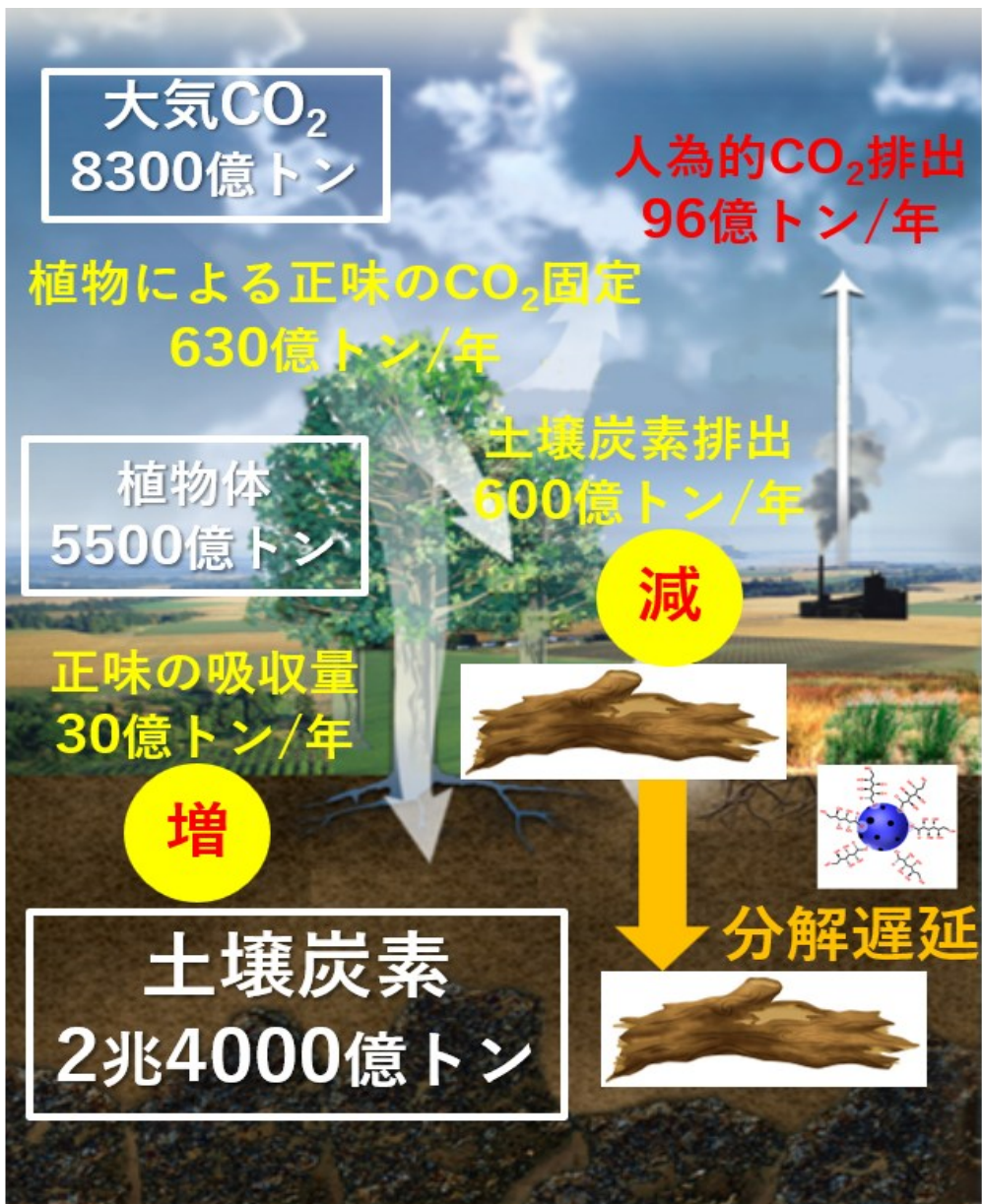
日本の森林土壌からのCO₂排出量
毎年 約7000万炭素トン (Hashimoto et al., 2011)



二酸化炭素排出量を1%減らすことができれば(約70万炭素トンの減)、2050年除去目標の1~2%に貢献

*火山灰堆積物の風化により生成する非晶質アルミニウムケイ酸塩で、直径が数十万分の1ミリの中空球状構造の多孔質物質

【活用の可能性】 効果と課題



陸域におけるCO₂除去

期待できる 貯留期間

植林・森林再生

50～300年

木材利用（建材・家具など）

20～100年

バイオ炭

100年以上

木質バイオマス下層埋設

1000年以上

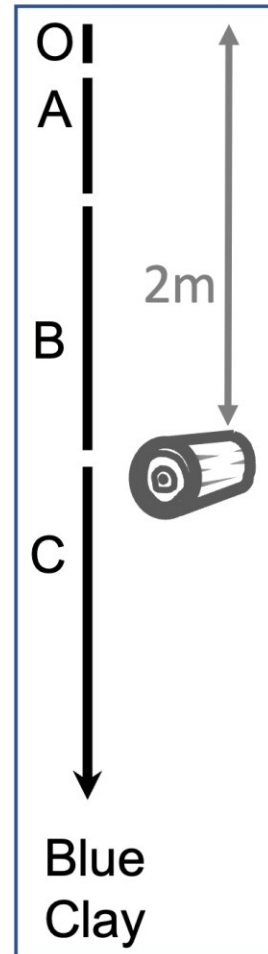
鉱物添加による分解抑制

数10～数千年？

有効性、生態系への影響、空間的な適用可能性、コスト、包括的なCO₂排出量、といった多角的な視点からの評価が必要

【活用の可能性】 土壌中から3775年前の丸太が良好な状態で発見

B



C



D



Zeng et al. (2024)

「木質バイオマスを埋設する方法」の有効性を支持

【活用の可能性】 まとめ

- 土壌が炭素を長期に貯える力(+ 樹木が炭素を吸収する力)を活用するCO₂除去方法の実現可能性は、まだ未知数
- 自然の力を最大限に利用した長期的な温暖化対策の重要な選択肢のひとつになり得る可能性
- 実現に向けては、多角的な視点からの評価が必要不可欠
- もし実現可能であれば、日本国内だけでなく、全世界での活用に期待

伝えたいメッセージ

- 土壌は、私たちが未だ知り得ない吸収源としての大きな可能性を秘めている
- 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あり、森林が吸収源から排出源へと転換してしまう可能性
- 土壌が炭素を長期にわたって貯える力を最大限に活用することで、温暖化の緩和に貢献できる可能性
- 地球環境を未来へとつなげていくために、皆で協力し、新たな可能性を探求し続けていくことが重要