

2025年9月17日 日本土壤肥料学会新潟大会
生研支援センター研究集会「農林水産分野のカーボンニュートラル
に向けたネガティブエミッション技術の研究開発」



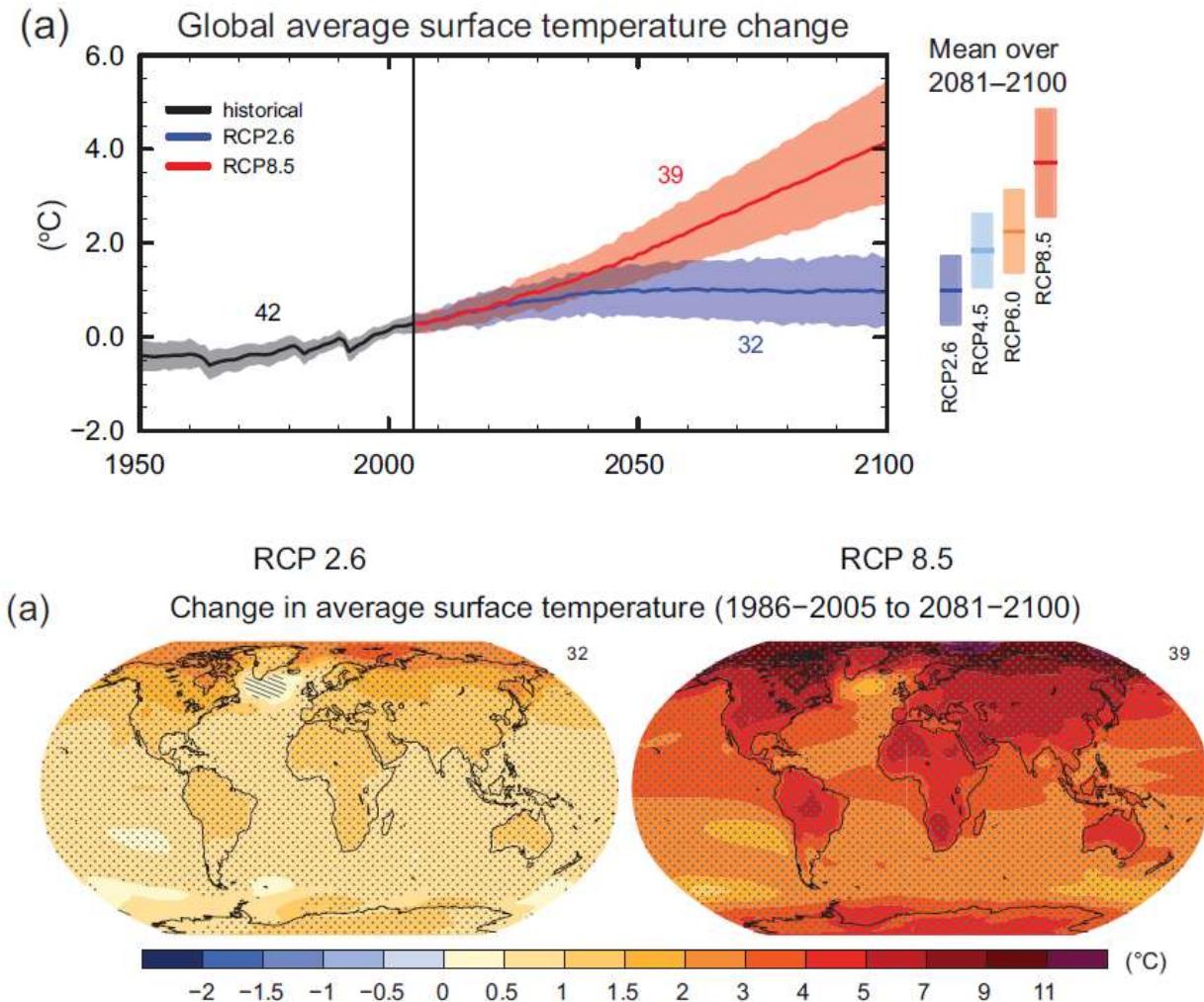
北海道大学

土壤炭素貯留の最新動向

波多野 隆介

北海道大学大学院農学研究院

COP21 のパリ協定の根拠となったIPCCの報告



- 現状の温室効果ガス(GHG)排出を続けると21世紀末には4°Cの上昇となり、海面の上昇、洪水、熱中症、食料不足、水不足、海洋生態系の損失、陸上生態系の損失など深刻な影響が出ると予測。
- この回避のため、2015年のCOP21で採択されたパリ協定では、1.5°Cの温度上昇に抑えることを目標に2050年までにGHGの正味の排出をゼロにすることとしています(カーボンニュートラル)。
- 日本は2030年までに排出量を2013年比46%削減することとしている。

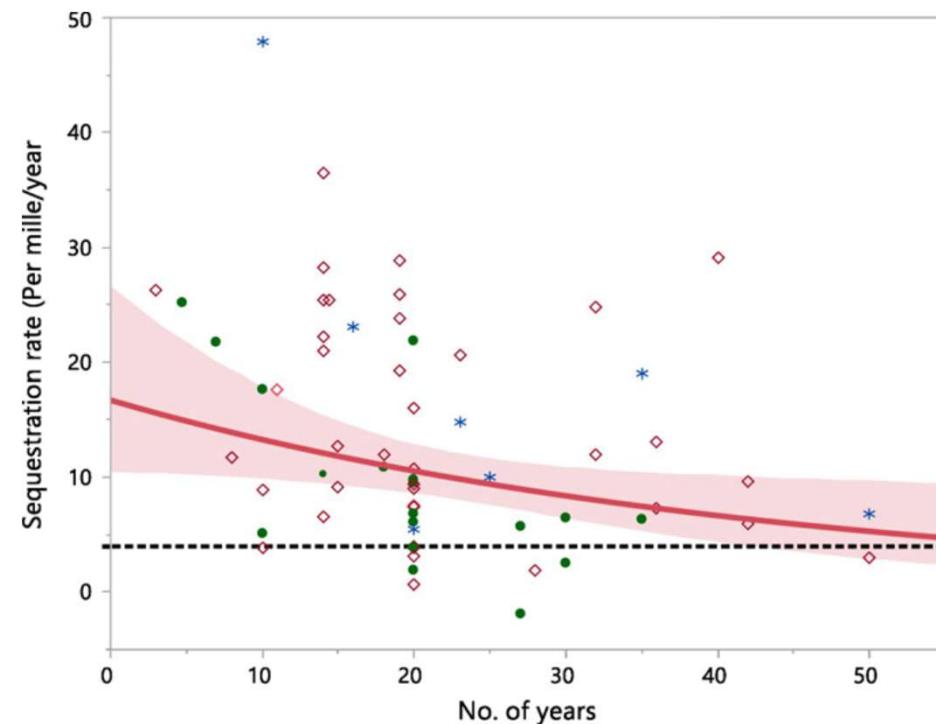
WG1

土壤炭素隔離4パーセント

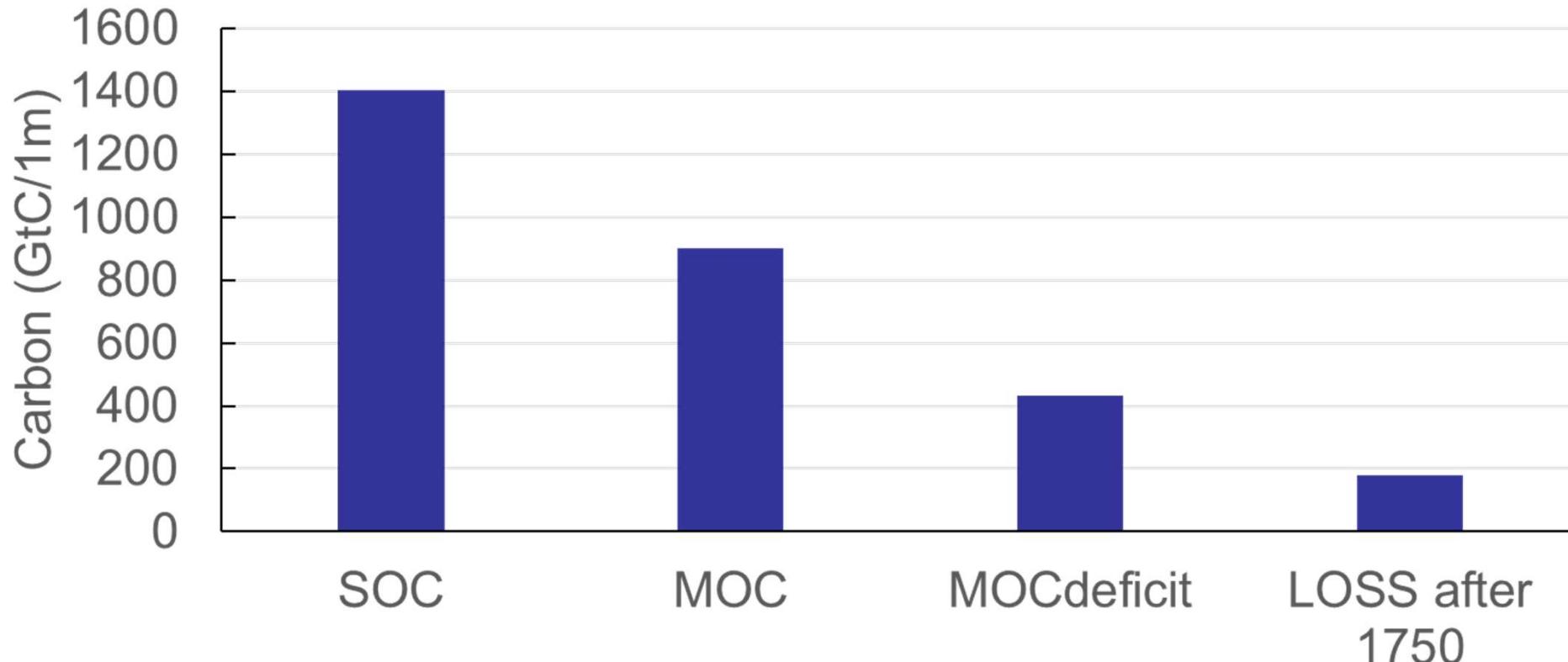
- 世界の土壤炭素を年間 4パーセント (=0.4%) 増加させることで、地球温暖化を防ぐことができる (COP21)。
- 世界の 0 ~ 30 cm の土壤には 1000 Gt 有機炭素が蓄えられており、0.4% の土壤炭素の増加により、4 Gt の炭素を吸収できる。これは、ちょうど大気中に増加する CO₂ に等しい。
- 最大 2 m の土壤には 2400 GtC が蓄えられており、0.4% の増加により、総 CO₂ 排出量の 8.9 Gt の炭素を吸収できることになる。



- 不耕起、有機物施与、残渣すき込み、被覆作物などの保全農法を適用すると、4パーセント以上炭素が土壤に隔離される。
- 保全農法を実施してから 50 年が経過しても4パーセントを超える炭素隔離が観測される。



世界の土壤炭素貯留量 (ツンドラは除く).



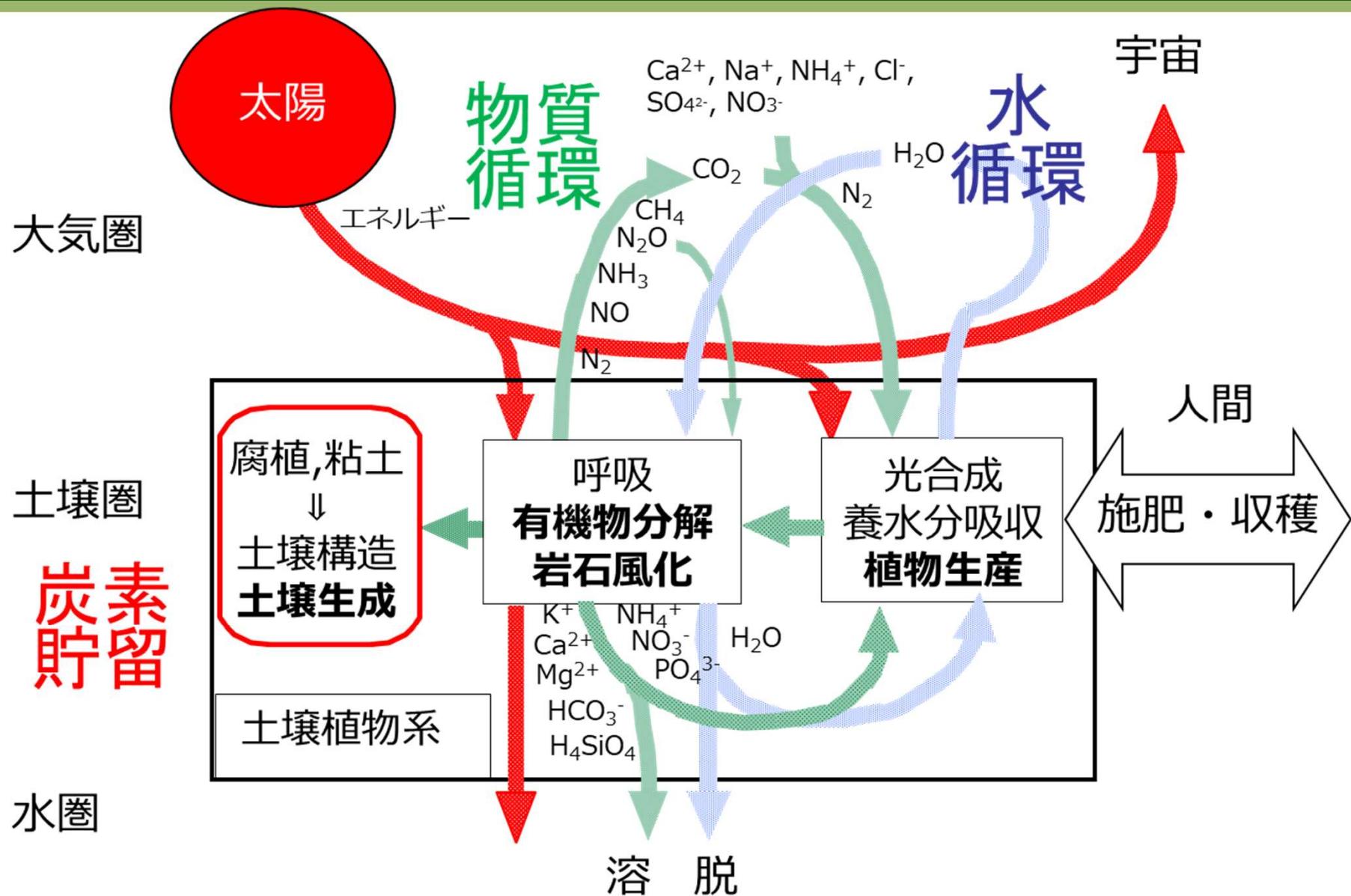
SOC: 土壤有機炭素

MOC: 有機無機複合体炭素

MOCdeficit: 自然において生成可能な有機無機複合体炭素からの不足量

LOSS after 1750: 1750年以降現在までに土壤が失った炭素量 (IPCC2013)

土壤生成と水循環・物質循環・炭素貯留

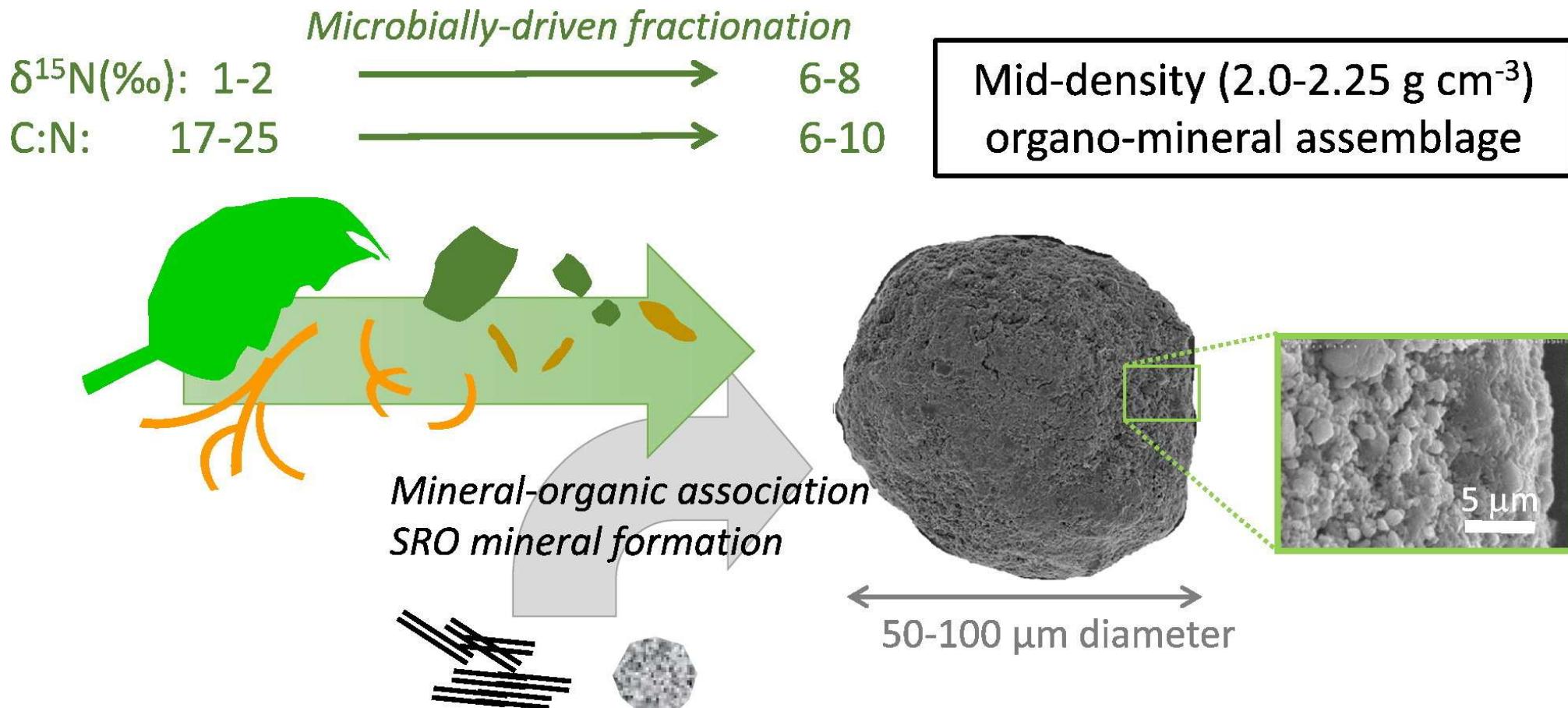


Hatano R, Shinjyo H, Takata Y: Chapter 1, Overview. Hatano R, Shinjyo H, Takata Y (eds) "The Soils of Japan.", pp1-9, Springer, Singapore (2021)



北海道大学

微生物ネクロマスが鉱物と化合して土壤有機物となる

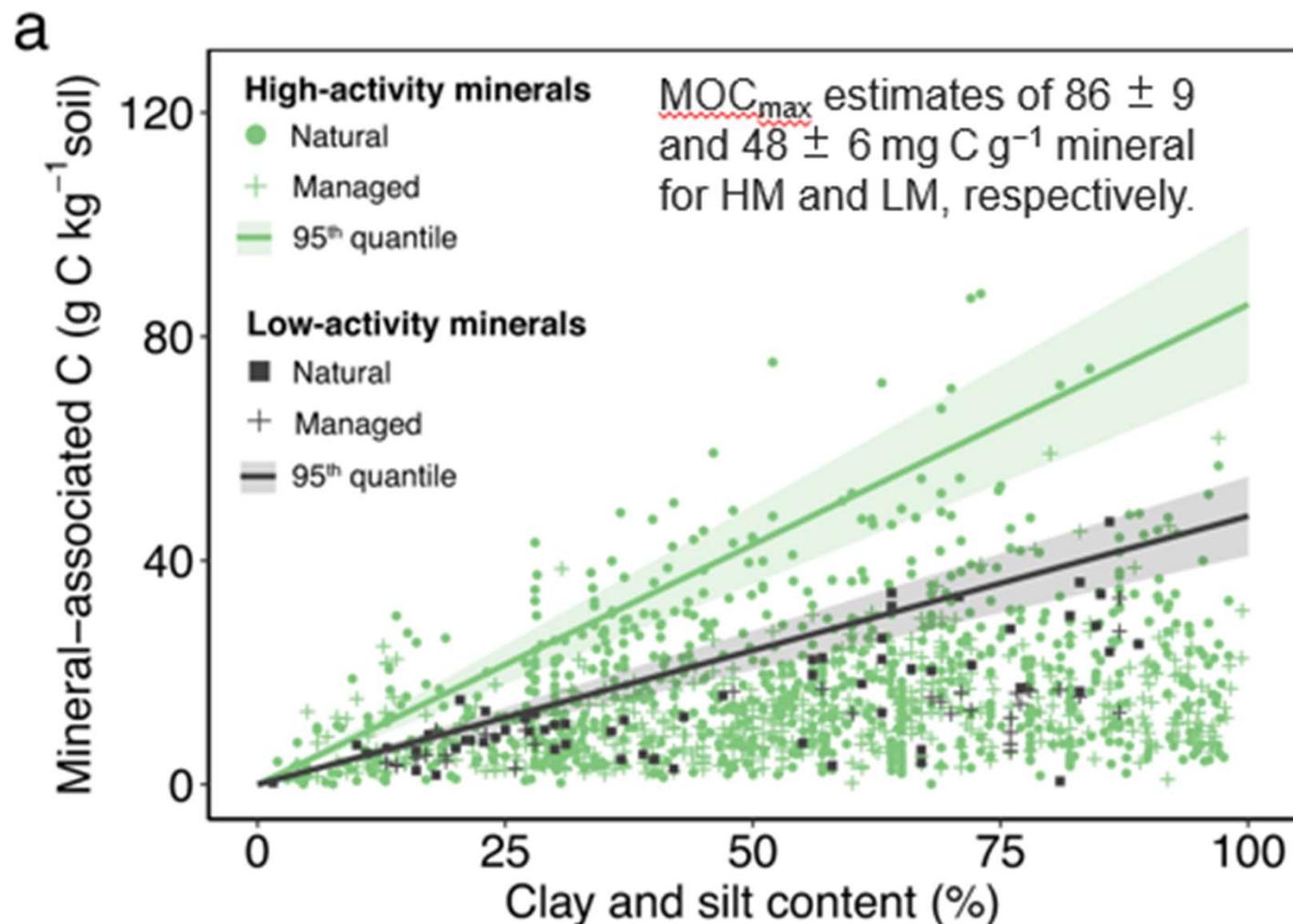


Wagai, R.; Kajiura, M.; Asano, M.; Hiradate, S. Nature of soil organo-mineral assemblage examined by sequential density fractionation with and without sonication: Is allophanic soil different? *Geoderma* 2015, 241-242, 295-305.



北海道大学

鉱物と化合した有機炭素が土壤中で安定しているがその飽和度は低い。



(データ: 1960年以降に発表された78論文における1,144件の土壤プロファイルから)

Georgiou, K., Jackson, R.B., Vindušková, O. et al. Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. *Nat Commun* 13, 3797 (2022)

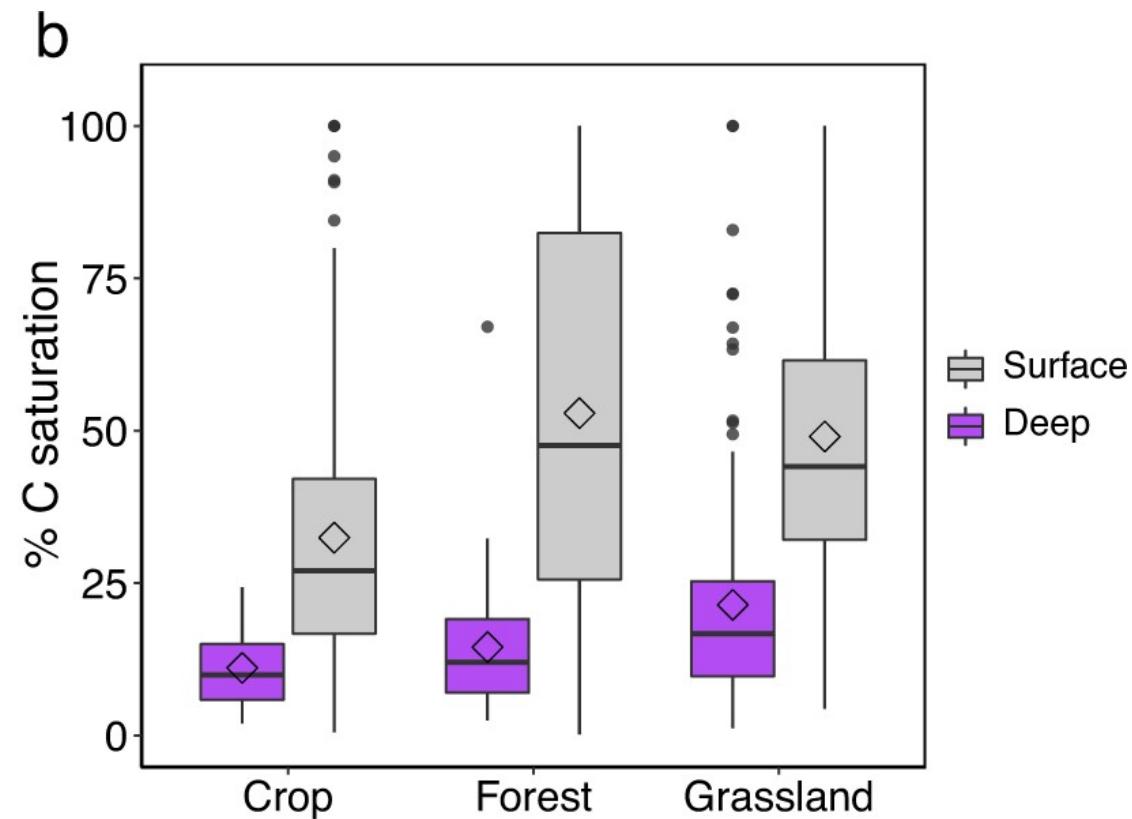
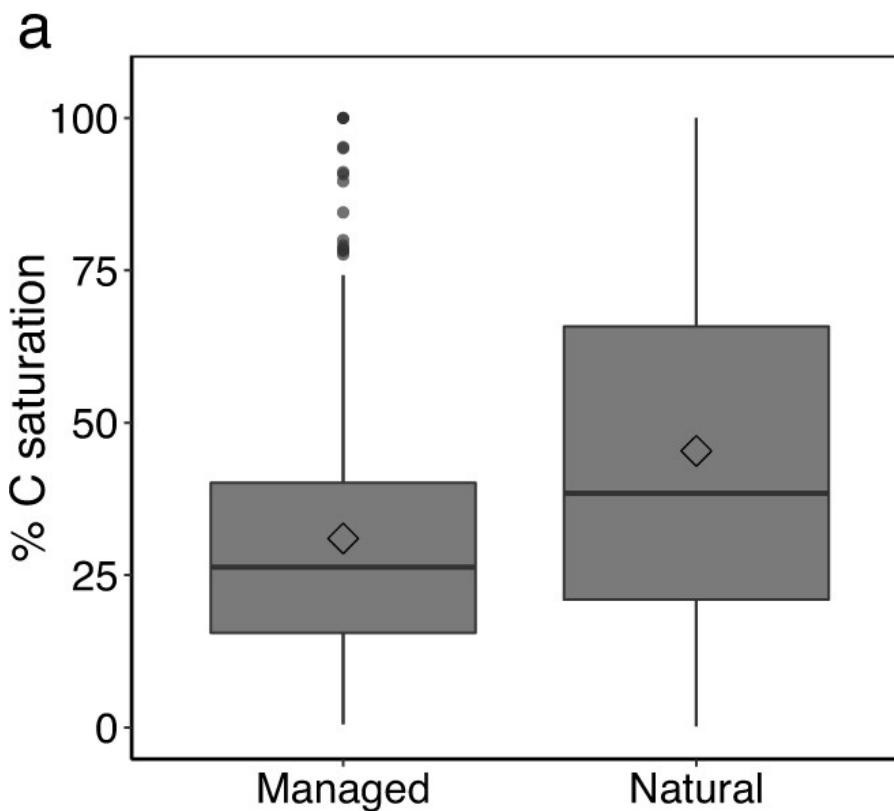


北海道大学

世界の農地は土壤有機炭素を減らしている。

鉱物への有機炭素の化合の飽和度は: 農地で $31 \pm 2\%$; 自然で $46 \pm 3\%$ 。

鉱物への有機炭素の化合の飽和度は農地で低く、森林、草地で高い。草地は根系が深いため下層における飽和度が高い。.



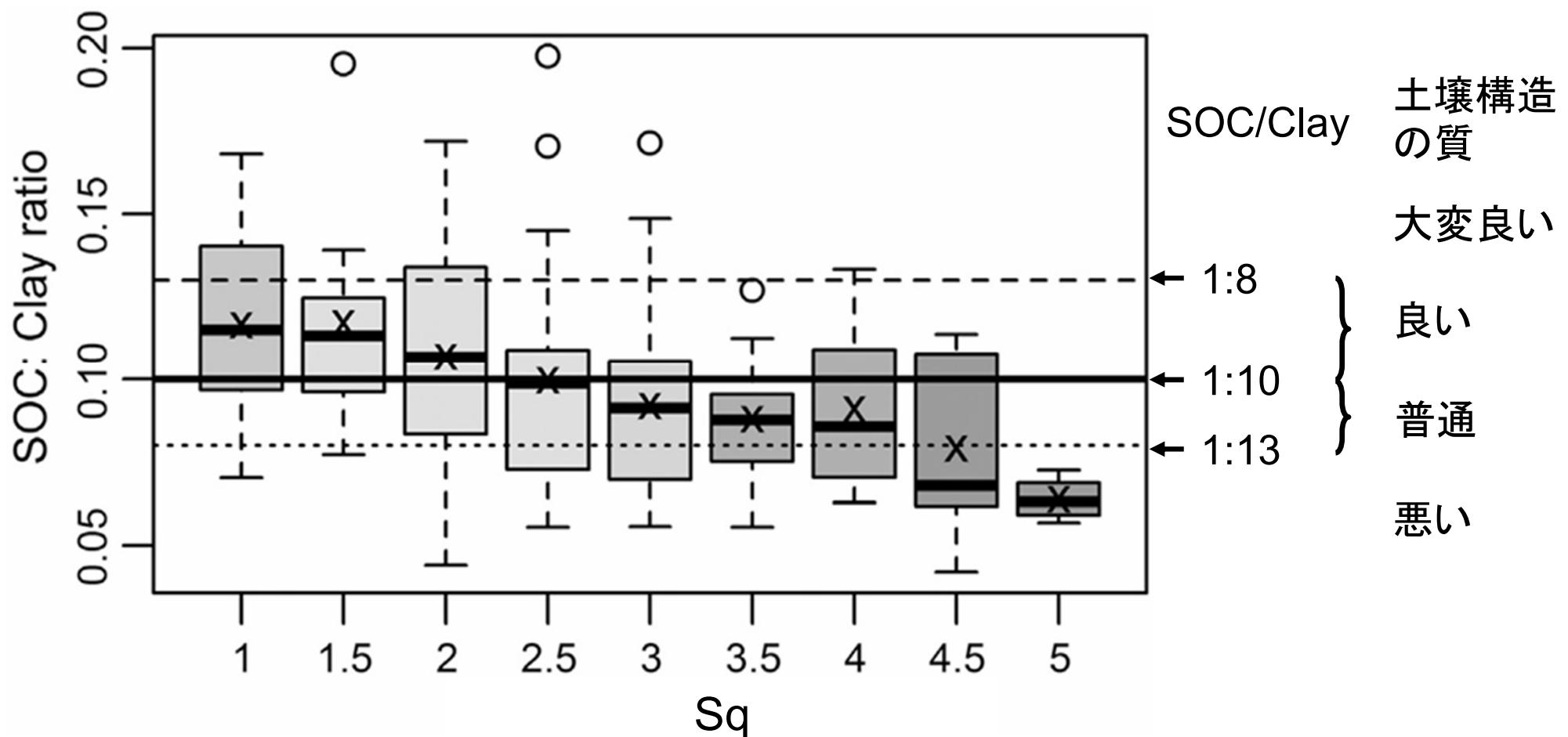
(データ: 1960年以降に発表された78論文における1,144件の土壤プロファイルから)

Georgiou, K., Jackson, R.B., Vindušková, O. et al. Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. Nat Commun 13, 3797 (2022)

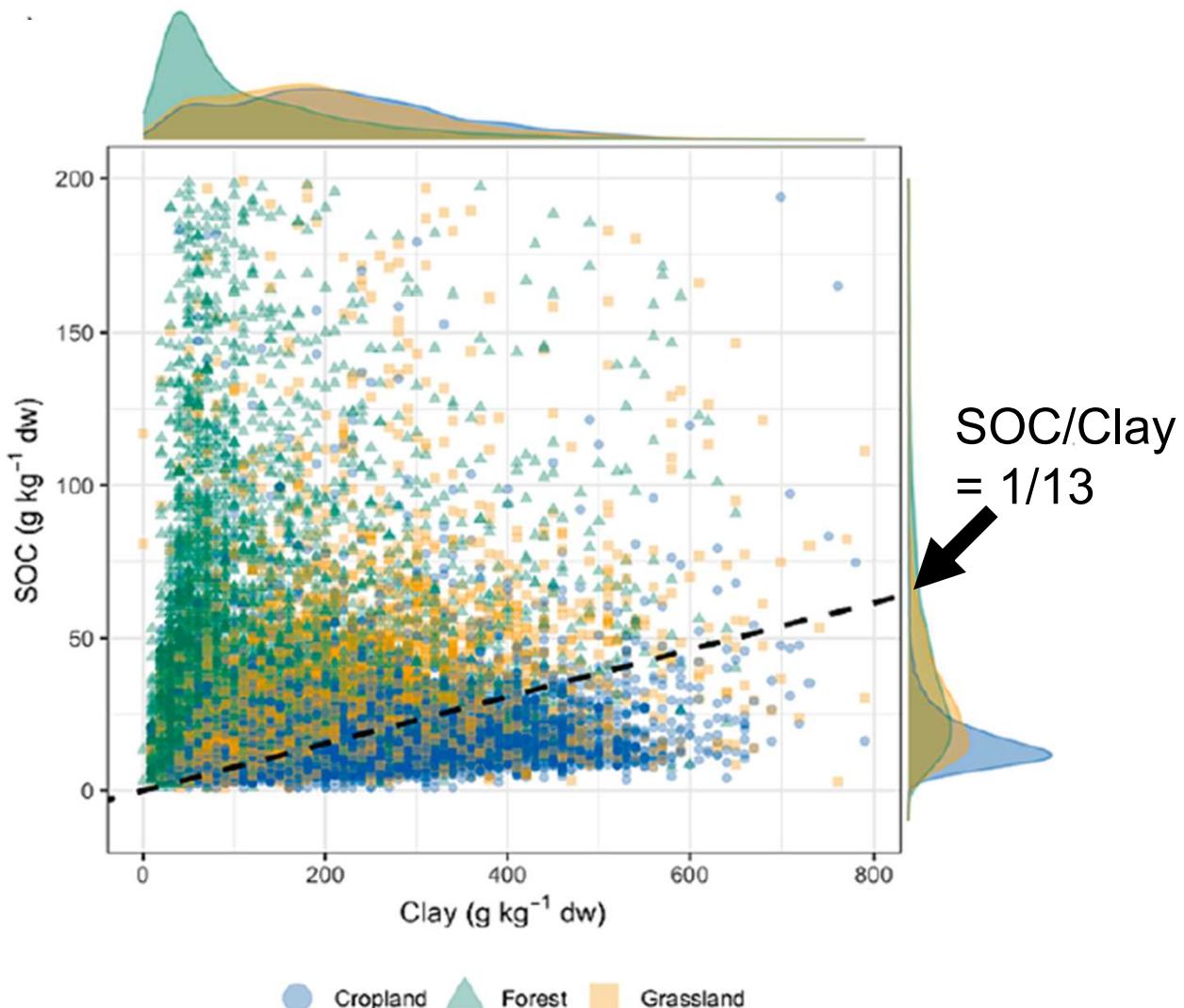


北海道大学

土壤有機炭素/粘土比(SOC/Clay)を指標にした土壤構造品質スコア(Sq: 良好(1)から不良(5))関係



EU の農地の51%は劣化

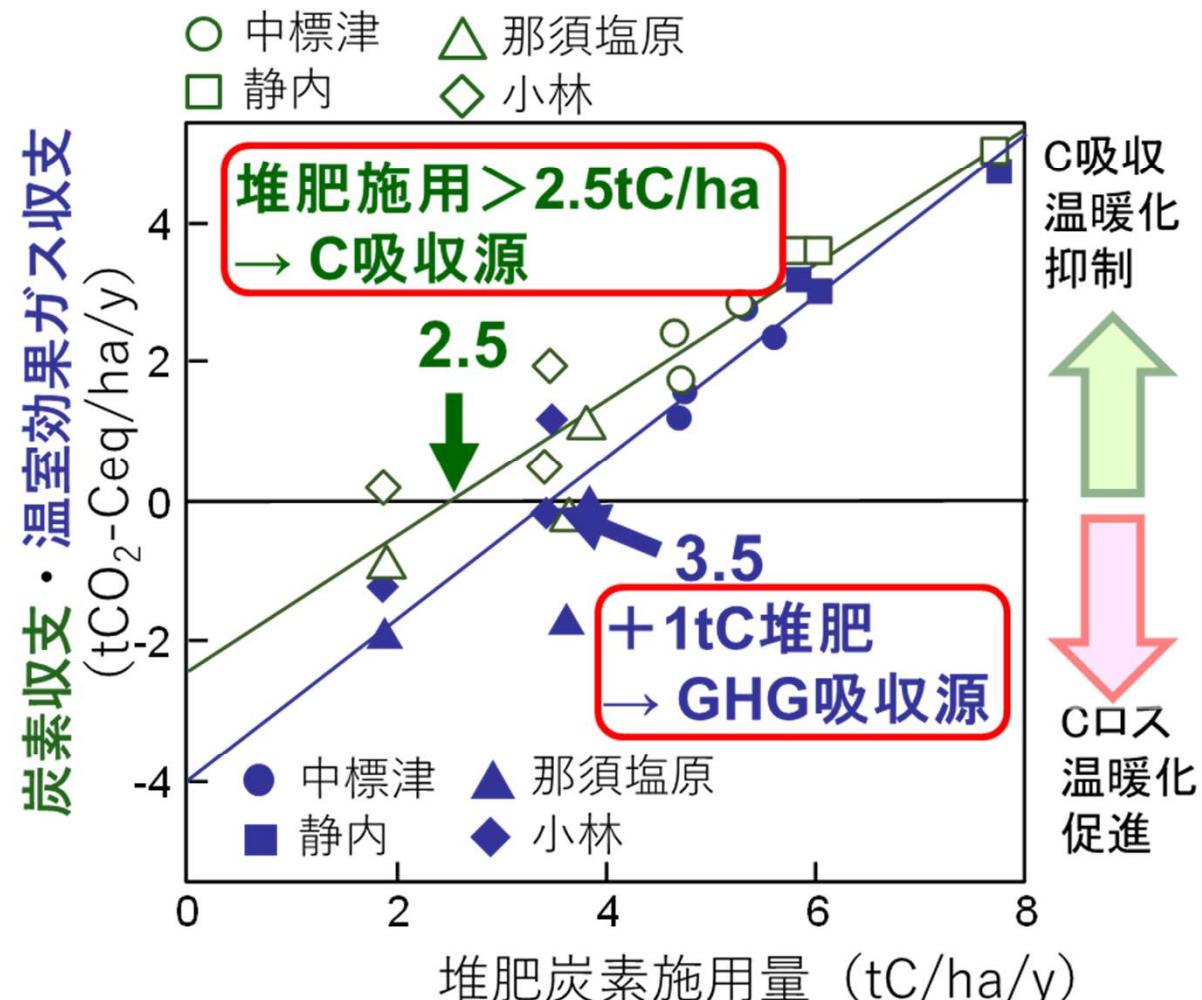


- SOCと粘土含量の間には相関関係はなかった。
- 農地、草地、森林のSOCの中央値はそれぞれ14.2、15.8、18.2 g/kgで、粘土含量の中央値はそれぞれ210、150、70 g/kg。
- すなわち草地と森林には農地よりも粘土が少なく、SOCが多いことを意味する。
- 農地、草地、森林のそれぞれ51.0%、15.7%、4.2%がSOC/粘土= 1/13以下であり、農地の多くは土壤構造が劣化している。

堆肥施与による炭素収支・温室効果ガス収支の改善

北海道～九州の4地点連絡試験

慣行(化学肥料)と堆肥施用によるC・ N_2O 動態解析



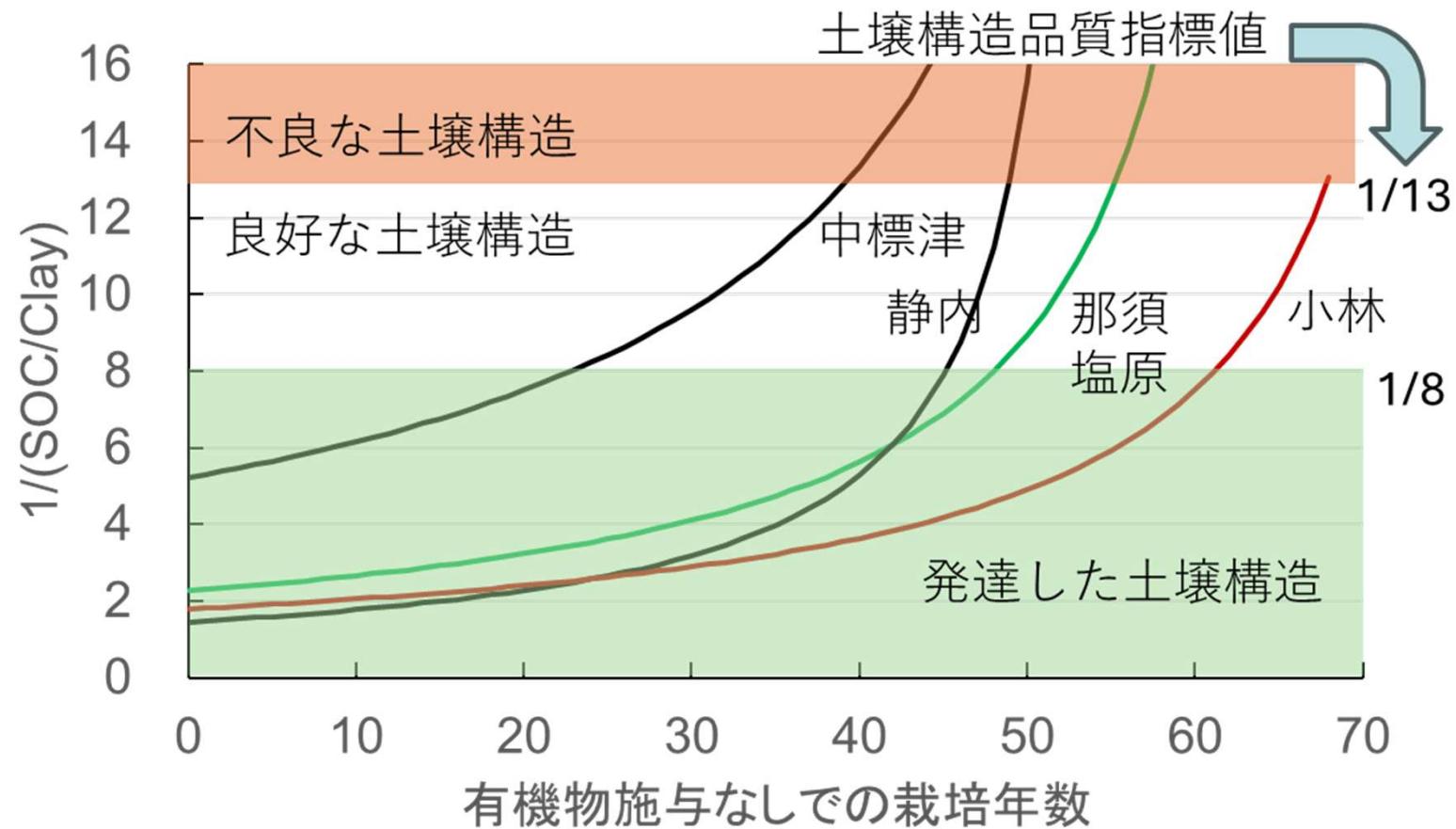
Hirata R, Miyata A, Mano M, Shimizu M, Arita T, Kouda Y, Matsuura S, Niimi M, Saigusa T, Mori A, Hojito M, Kawamura O, Hatano R: Carbon dioxide exchange at four intensively managed grassland sites across different climate zones of Japan and the influence of manure application on ecosystem carbon and greenhouse gas budgets. *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 57–68 (2013).



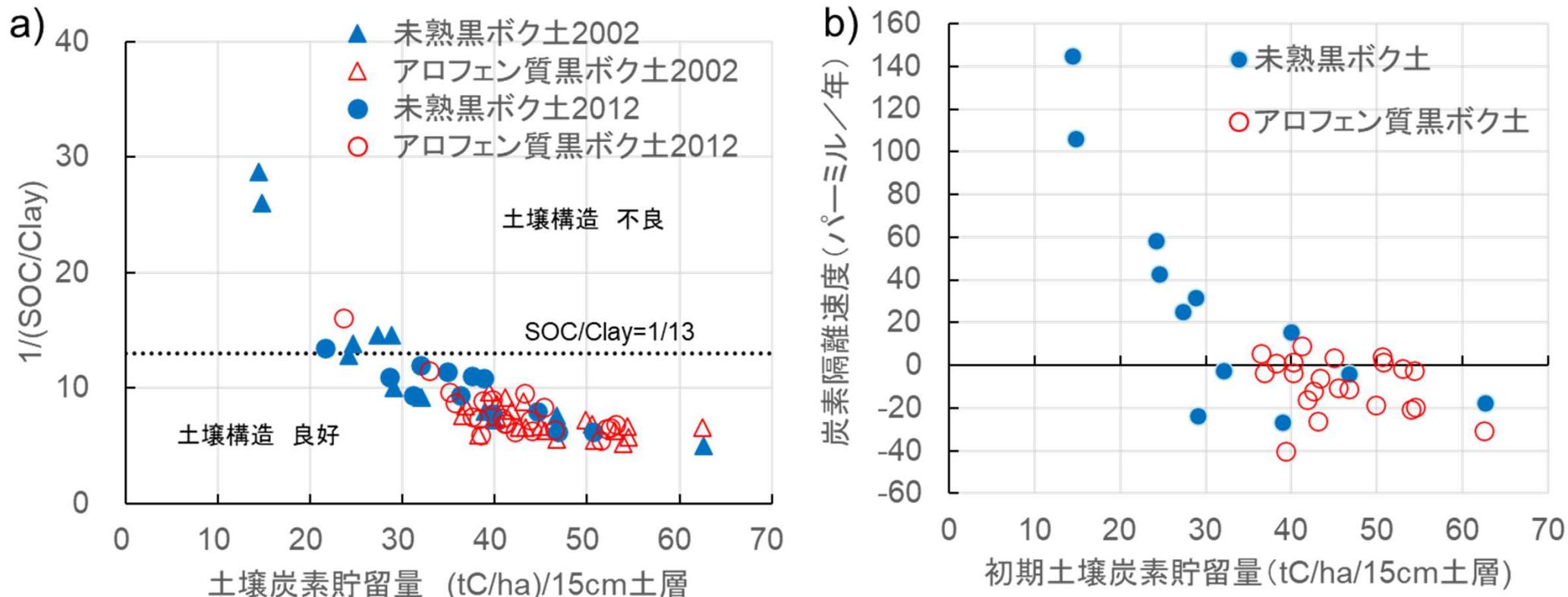
北海道大学

日本の4つの草地における有機物施用なしの連続耕作による土壤構造の劣化の傾向予測

- 肥料を与えずに耕作すると、35～65年でSOC/Clay比が1/13以下に低下し、土壤構造の品質が低下する可能性がある。

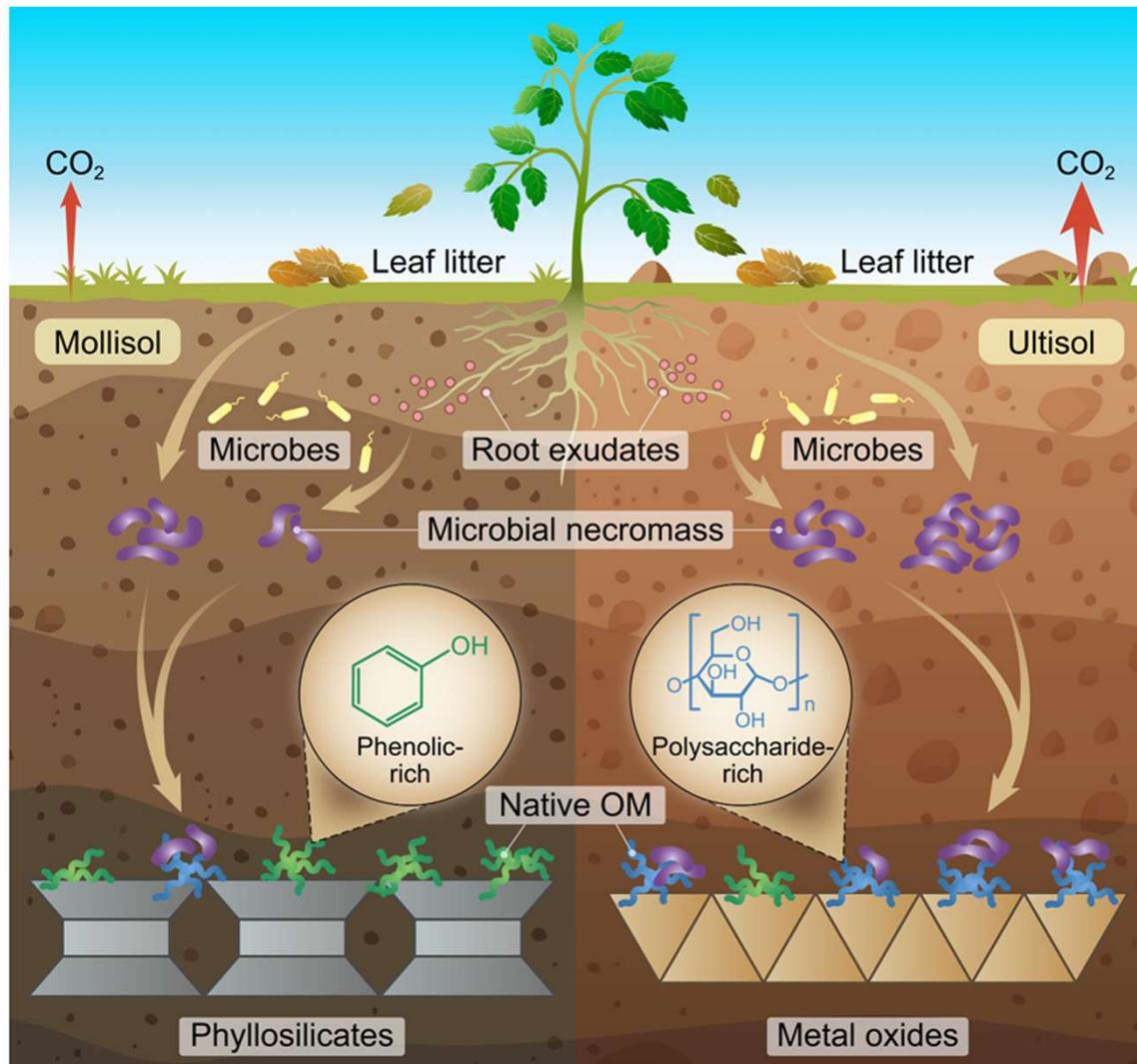


有機物施与が土壤構造の品質と炭素隔離速度に及ぼす影響



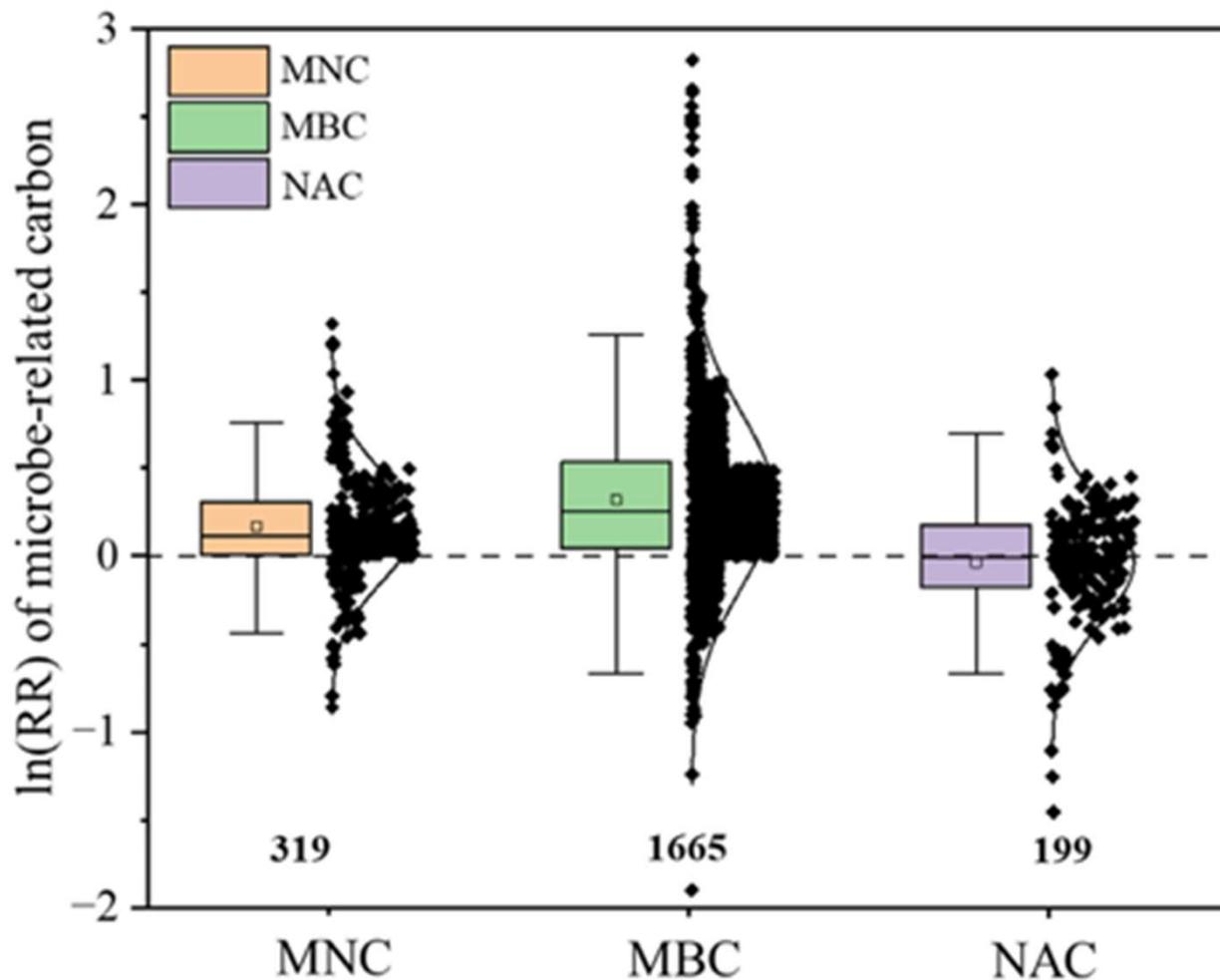
- 洞爺湖村での10年間のYes! Clean * 農産物の栽培により、土壤構造の品質は未熟黒ボク土で著しく改善した。アロフェン質黒ボク土ではもともと良好であり変化しなかった。
- 土壤炭素貯留量が少ない未熟黒ボク土(30tC/ha/15cm以下)では、2tC/ha/年の堆肥施与で大きな炭素隔離が達成された。アロフェン質黒ボク土では増加しなかった。
- * Yes! Cleanは堆肥を10t/ha(無機態窒素10kgN/haに換算)以上施与。

鉄・アルミニウム酸化物と化合した腐植は微生物死骸マス炭素を捕捉する。



- 層状ケイ酸塩(粘土-OH)はフェノール類と親和性が強い。
- 一方、Fe (Fe-O) および Al (Al-O) 酸化物は多糖類と親和性がある。
- これら多糖類はフェノール類より有機物添加により増加した微生物死骸マス炭素を捕捉する。
- 非晶質粘土の生成により腐植が急速に蓄積する。

微生物ネクロマスは施肥と有機物供給により増加する



- 施肥は無施肥に比べ微生物バイオマス炭素(MBC)を31.9%増加させ、ネクロマス炭素(MNC)を16.6%増加させた。
- MNCは化学肥料と残渣施与で増加。
- MBCは化学肥料と堆肥施与で増加した。

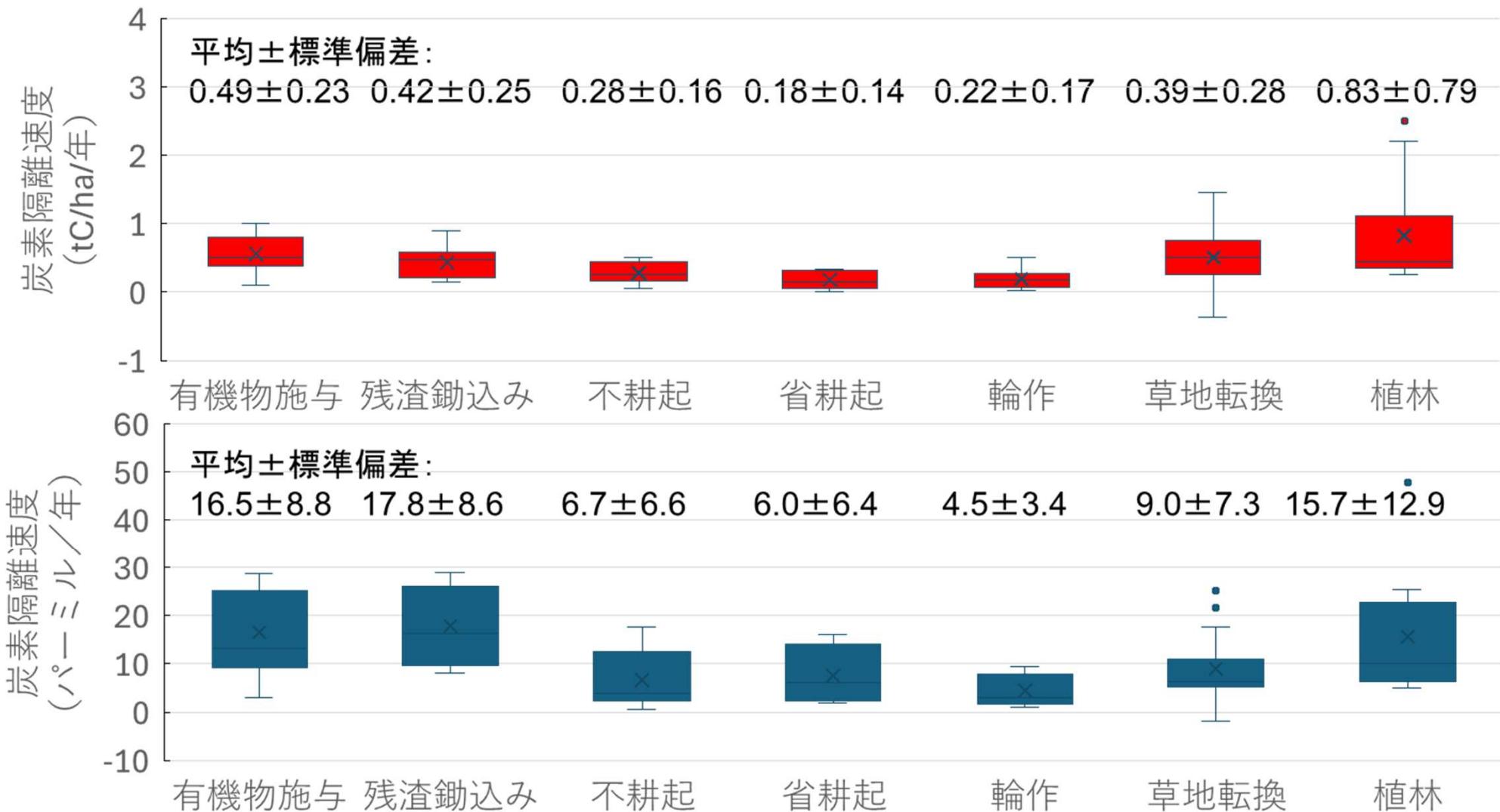
縦軸 $\ln(RR)$ は $\ln(\text{施肥在り})/\ln(\text{施肥無し})$

MNC, microbial necromass C; MBC, microbial biomass C; NA, MNC/MBC

Fu, H., Chen, H., Ma, Z., Liang, G., Tian, J., Wanek, W., Chadwick, D.R., Jones, D.L., Wu, L., Ma, Q., 2025. Global Synthesis of Fertilisation-Induced Changes in the Microbial Entombing Effect. *Global Change Biology* 31(6), e70276. <https://doi-org.ezoris-hokudai.idm.oclc.org/10.1111/gcb.70276>



保全農法の土壤への炭素貯留効果



自然に基づく解決策によるアプローチの重点課題

* クリーン農業は北海道の農業システム

農業システム	生物多様性保全	生物多様性向上	土壤の健康	気候変動対策	環境負荷対策	化学肥料使用	合成農薬使用
アグロエコロジー	○	○					
自然共生型農業	○	○					
パーマカルチャー	○						
バイオダイナミック農業	○	○	○		○		
有機農業	○	○	○		○		
保全型農業			○	○	○	○	○
再生型農業	○	○	○	○	○	○	○
カーボンファーミング			○	○		○	○
気候変動対応型農業				○		○	○
高自然価値農業	○						
低外部投入型農業			○		○	○	○
循環型農業	○		○	○	○	○	○
生態学的集約化	○		○	○	○	○	○
持続可能な集約化					○	○	○
クリーン農業 *	○		○	○	○	○	○

自然に基づく解決策の8つの規範

- ①社会的課題に効果的に対処すること、
- ②規模が明確になっていること、
- ③生物多様性と生態系の健全性に純利益をもたらすこと、
- ④経済的に実行可能であること、
- ⑤包括的で透明性と権限のあるガバナンスプロセスに基づいていること、
- ⑥主要目標の達成と複数の利益の継続的な提供の間のトレードオフが公平にバランスできること、
- ⑦モニタリングに基づいて適応的に管理されること、
- ⑧管轄区域内で持続可能で主流となっていること。

ご清聴ありがとうございました。



北海道大学