

日本の主要な畑土壌「黒ボク土」の保水性の秘密を解明 ～農作物が利用できる水の量を正確に予測し、水管理の効率アップへ！～

発表のポイント

- ・日本を含む世界5か国から得られた土壌データを分析し、日本の農地の約半分を占める黒ボク土¹⁾の保水性は短距離秩序鉱物の含有量が大きく寄与していることを突き止めた。
- ・黒ボク土の保水性を正確に予測することは難しいとされていたが、土壌の物理化学特性を保水性予測モデルのパラメータに組み込んだことで、既存モデルに比べてより正確な予測が可能となった。
- ・開発したモデルによる黒ボク土の保水性予測は、効率的なかんがいや水資源の活用に役立つほか、干ばつ・豪雨に対応可能な農業技術の開発が期待できる。

【概要】

福島国際研究教育機構（理事長 山崎光悦、以下、「F-REI」）土壌ホメオスタシス研究ユニットの藤井一至ユニットリーダー、宇都宮大学農学部早川智恵准教授、愛知大学国際コミュニケーション学部小崎隆教授、チェコ生物研究所のJan Frouz教授、インドネシアMulawarman大学Sukartiningsih副学長らの研究チームは、土壌中に含まれるアロフェンなどの短距離秩序（非晶質）鉱物²⁾が、日本の主要な畑地土壌である黒ボク土の保水性を高める上で重要な役割を担っていることを明らかにしました。

農家は植物を育てるとき、資源を無駄にしないために水を効率的に使用したいと考えています。しかし、植物に与える水の量は、各農家の経験と勘に左右されることが多いです。土壌の保水性を制御する要因を理解することで、農家は植物にいつ、どのくらいの量の水をやるべきかについて、より適切な判断をすることができます。特に、日本の農地の約半分を占める黒ボク土については、これらの要因のほとんどが未だ不明な点が多く課題となっています。

土壌はスポンジのように水を保持したり放出したりすることができます。土壌に大きな孔隙（例：粒の粗い砂）がある場合、排水によって水が急速に失われます。一方、小さな孔隙（例：細粒粘土）を含む土壌は水を保持しやすい反面、その小さな孔隙が植物による水の吸収を困難にします。短距離秩序鉱物の含有量と微細孔の割合は関連しており、含有量が増えると微細孔の割合も高くなり、その結果、水を保持する能力が上がり、高い保水性をもたらすことが明らかになりました。しかしこの知見は、短距離秩序鉱物の含有量が上がると植物が利用できる水の量が低下することを示唆しています。つまり、黒ボク土は多くの水を保持していても、そのうち植物が利用しやすい水はわずかだということになります。

研究チームは、黒ボク土の保水量に大きな影響を与える土壌成分として、アロフェンなどの短距離秩序鉱物を同定しました。研究チームはこの発見を利用して、黒ボク土に含まれる水分量をより正確に推定できる新たなモデル式を開発しました。また、本成果は、有機肥料の施肥が、植物が吸収できる土壌水（植物が利用しやすい水）の量を増やすことに役立つ可能性があることも示唆しています。

藤井ユニットリーダーのコメント

これまで、土壌の水分保持力の推定は時間と労力がかかる作業であったが、本研究で土壌の構成成分から簡易に推定することに成功した。今回の成果は、荒廃地等の土壌を再構築する上で基盤になる研究成果だと考える。今後、ユニット名でもある土壌ホメオスタシス、つまり土壌の組成バランスを分析することから始め、福島の農業産業の再興を目指したい。

本研究は、土壌物理学に関する論文が数多く発表されているアメリカ土壌科学会の主宰する国際誌 Vadose Zone Journal に 2025 年 9 月 17 日（日本時間）にオンライン掲載されました。また、新産業創出等研究開発推進事業費補助金（農林水産省）並びに、科学技術振興機構 戦略的国際共同研究プログラム（JST SICORP）（JPMJSC19C3）、日本学術振興会 国際共同研究加速基金（20KK0149）、科学技術振興機構 創発的研究支援事業（JST FOREST）（20351100）による助成及び、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所の支援により実施されました。

【問い合わせ先】

福島国際研究教育機構 運営管理部門 総務部 総務課 広報チーム

TEL : 0240-41-9970 E-mail: F-REI_kouhou@f-rei.go.jp

補足説明資料

【研究の背景】

農作物の栽培において、土壌の水持ち（保水性）を把握することは、適切なかん水スケジュールの検討や、畑に施用した肥料成分の動態を知る上で重要です。従来、土壌の保水性の評価には、体積水分率⁵⁾とマトリックポテンシャル⁶⁾の関係を示す「水分特性曲線」が用いられてきました。水分特性曲線の予測には、土壌の粒径分布やその割合をパラメータとした既存のモデル式が広く使われていますが、土壌の種類や水分状態によっては、モデル式で予測した水分特性曲線と実測値との誤差が大きくなるケースがあります。特に、日本の農耕地面積の約半分を占める黒ボク土は、粒や孔隙の大きさが不均一であることから、土壌粒子の集まり方が複雑だといわれています。そのため、既存のモデル式の適用には限界があるとされてきました。本研究では、黒ボク土の保水性のメカニズムを明らかにし、簡易な分析値から保水性を精度よく推定する予測モデルの開発に挑みました。

【研究の内容】

まず、これまでに収集した5つの国から（日本、タイ、インドネシア、カナダ、チェコ）の土壌分析データを既存の3つのモデル（van Genuchten、Durner、Assouline）式に当てはめました（図1）。次に、土壌の種類ごとにモデルのパラメータを確認しました。日本の黒ボク土とそれ以外の土壌（非黒ボク土）のパラメータを比較したところ、黒ボク土は非黒ボク土に比べて保水性が高く、短距離秩序鉱物の含有量が多いことがわかりました。それだけでなく、短距離秩序鉱物の含有量と微細孔の割合は関連しており、含有量が増えると微細孔も増え、高い保水性をもたらすことがわかりました。次に、この結果を確認するために、保水性に対する様々な物理化学特性（粒度分布、有機物含有量、短距離秩序鉱物含有量など）の寄与を調べた重回帰分析⁷⁾を行いました。重回帰分析の結果からも、黒ボク土の保水力を高める上で短距離秩序鉱物が重要な役割を果たしていることが裏付けられました。

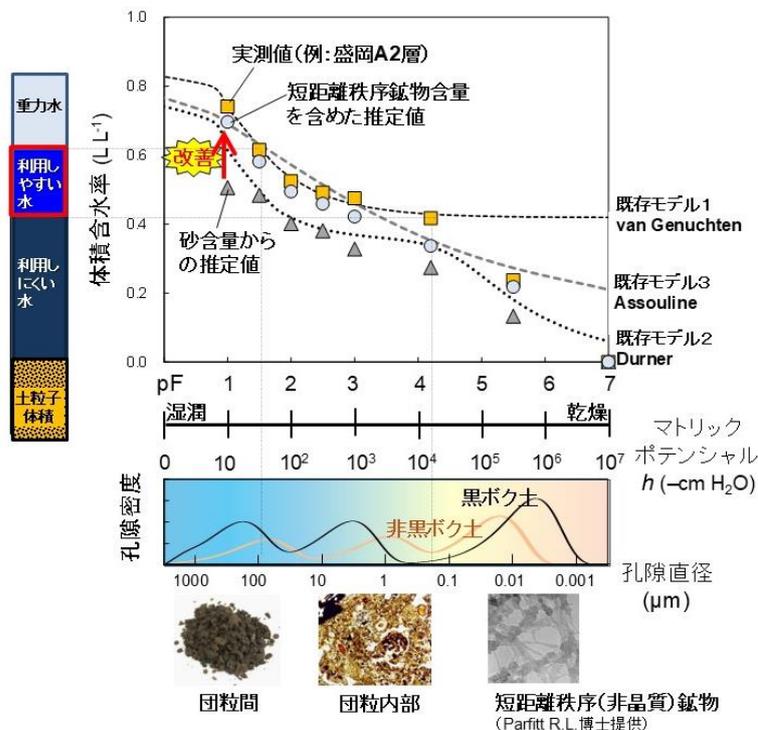
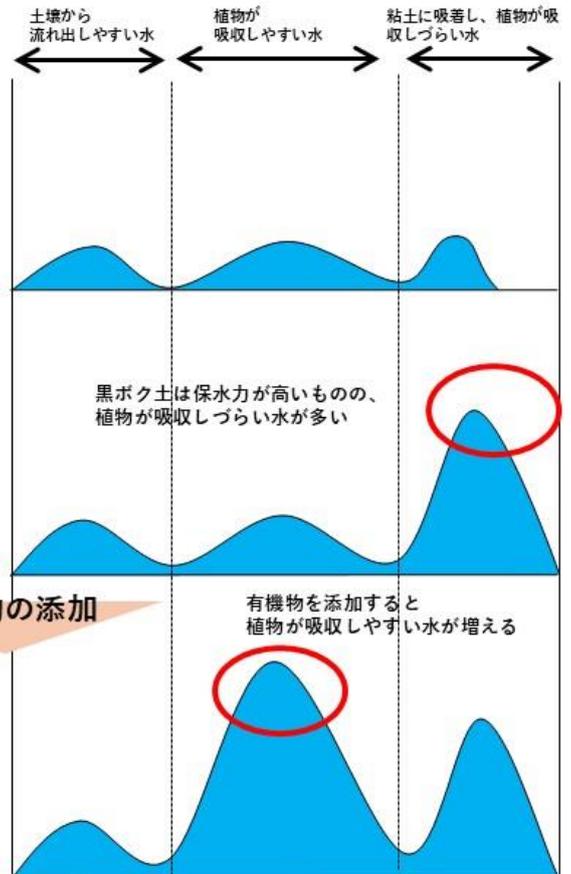


図1 黒ボク土の新たな保水性予測モデル

根周辺の土壌の模式図



土壌中の水の状態



- 1) イモゴライト：火山灰土壌に富む結晶化度の低い水和アルミニウムケイ酸塩鉱物。直径約2ナノメートルのチューブ状の構造を持つ。
- 2) アロフェン：火山灰土壌に富む結晶化度の低い水和アルミニウムケイ酸塩鉱物。直径約5ナノメートルの中空状の構造を持つ。
- 3) 層状ケイ酸塩鉱物：雲母、パーミキュライト、カオリナイトなどケイ素と酸素からなるシート（ケイ素四面体シート）二枚を骨格に持つ結晶性の高い粘土鉱物。

図2 黒ボク土における土壌の微細構造と水の関係

非黒ボク土の孔径は平均 $0.020 \mu\text{m}$ であったのに対し、黒ボク土の孔径は平均 $0.012 \mu\text{m}$ と小さいこともわかり、黒ボク土の高い保水性は短距離秩序鉱物の微細孔隙により実現していることが証明された

研究チームは、保水性への寄与が大きかった土壌の物理化学特性（主に短距離秩序鉱物含有量、砂含量）をパラメータとして、より優れた黒ボク土の保水力の推定式を新たに開発しました。この式から予測した黒ボク土の保水性は、既存の3つのモデル式で予測したものよりも実測値との誤差が小さく、予測精度を向上させることに成功しています。黒ボク土の特徴である短距離秩序鉱物の含有量をモデルに組み込んだことで、保水性がより正確に予測できるようになりました。

一方、本研究は、土壌の保水性の高さが、必ずしも植物が利用できる水の量に直結するものではないことも示しています。黒ボク土では、その細孔に土壌中の水分が吸着されてしまい、植物が利用できない水の割合が非黒ボク土に比べて高くなるためです。土壌中で植物が利用可能な水の量を増やすためには、より大きな孔隙を増やすことが重要で、これには有機物の施用が有効であることも示唆されました。

【研究の成果と今後の展開】

本成果は、日本の主要な農耕地土壌である黒ボク土での作物栽培において、効率的なかんがい計画の策定や水資源の活用、干ばつ・豪雨等の気候変動に対応した農業技術の開発等への応用が期待されます。また、土壌中の肥料や農薬の成分は土壌中の水分に溶けて移動するため、農業資材の効率的な利用や地下水汚染への影響を評価する上でも重要な知見となると考えます。本成果の活用により、持続可能な農業実現の一助となることも期待されます。

【論文情報】

雑誌名：Vadose Zone Journal

論文タイトル：Critical roles of short-range-order minerals in shaping soil water retention curves in volcanic regions

著者：Kazumichi FUJII, Chie HAYAKAWA, Takashi KOSAKI, Jan FROUZ, Sukartiningsih

DOI: <https://doi.org/10.1002/vzj2.70036>

【用語解説】

- 1) 黒ボク土（正式名：Andisols）：日本では主に北海道南部、東北北部、関東、九州に分布している火山噴出物に由来する土壌。世界的には全陸域の1%未満に過ぎない希少な土壌。農耕地面積に占める割合は2番目に多い29%で、畑の中が最も多く49%を占める。有機物の集積により黒い色をしていることが多く、密度が低くてホクホクしていることが名称の由来。
出典：農研機構、日本土壌インベントリー
- 2) 短距離秩序鉱物：構造が未発達で結晶性が弱い鉱物。火山灰土壌に多く含まれる短距離秩序鉱物には、アルミノケイ酸塩であるアロフェンやイモゴライト、鉄酸化物であるフェリハイドライトなどがある。
- 3) 物理化学特性：土壌の透水性、保水性、通気性などの物理的な性質（物理性）と、土壌酸度（pH）や養分の保持力・供給力などの化学的な性質（化学性）を指す。
- 4) 団粒構造：土壌を構成する個々の粒子が集まって小さなグループを作り、更にそのグループがより大きなグループを作って並んでいる階層的な構造。大小様々な空気の隙間（孔隙）があり、保水性と排水性に優れる。
- 5) 体積水分率：土壌全体の体積に対する水の体積の割合。
- 6) マトリックポテンシャル：土壌中の水分が毛管作用や土壌粒子表面への吸着によって土壌中に保持されるエネルギーの大きさを示す指標。
- 7) 重回帰分析：複数の説明変数が目的変数にどのくらい影響を与えているかを分析する統計手法。