

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 29 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450355

研究課題名(和文)高温物理消毒が地表面土壌の構造および物質移動特性に与える影響

研究課題名(英文)Effect of High Temperature Soil Sterilization on Surface Soil Structure and Transport Properties

研究代表者

齋藤 広隆(Saito, Hiroataka)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70447514

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は団粒構造の発達した火山灰由来の黒ぼく畑地土壌において、団粒径が大きくなるにつれて温度の上昇とともに団粒構造の安定性が低下すること、小さな団粒では安定性は高いまま維持されるにも関わらず結合物質の一つである多糖類の溶出が温度とともに増加することを示した。また、土壌の物理性に基いてレーダーチャートを用いる土壌評価手法を提案し、温度の影響を統合的に評価することを可能にした。さらに、熱水消毒のように地表面からの水を供給する際に不可欠な、浸潤過程の可視化についてアレイ地中レーダを用いる方法の検証を行い、その有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigate the effect of temperature on aggregate stability of upland strongly aggregated volcanic ash soils. Results showed that aggregate stability decreases with temperature for larger aggregates, while elution of binding agents, polysaccharides, increases with temperature for stable smaller aggregates. We also developed an integrative soil evaluation approach based upon soil physical properties using radar charts to evaluate the effect of temperature. A non-destructive method to visualize infiltration processes of hot water in field soils using array ground penetrating radar was tested and their effectiveness was confirmed.

研究分野：地水環境工学

キーワード：土壌物理性 温度依存性 団粒構造 土壌診断 地中レーダー

## 1. 研究開始当初の背景

毎年同じ作物を同じ場所で栽培すると、次第に生育不良となる連作障害が起こる。この連作障害を防ぐ方法の一つとして、土中の病原菌や害虫を防除するために臭化メチル剤を用いた土壌消毒が広く行われてきた。臭化メチル剤は安定的に効果を発揮する優れた薬剤であるが、オゾン層破壊物質に指定され、規制が強化され、先進国では検疫用途や不可欠用途を除き 2005 年までに全廃された。一方、不可欠用途として臭化メチル剤の利用が認められているが、この不可欠用途についてもその多くが代替技術の移行期間や普及期間を考慮して 2013 年までに全廃という国家戦略が設定された。

臭化メチル剤全廃に伴い代替消毒剤の利用が挙げられるが、作業性や効果の面で臭化メチル剤に及ばない。そのような中、熱エネルギーを利用した物理的防除が注目を浴びている。物理的防除には、太陽熱消毒、蒸気消毒、熱水消毒などがあるが、いずれも熱エネルギーを利用して病害虫を死滅させる高温消毒技術である。臭化メチル剤の代替技術として最も注目を浴びている物理的防除の一つは、日本独自に開発された熱水消毒である。熱水消毒は文字通り、熱水のもつ熱エネルギーによって病原菌を死滅させる技術である。熱水消毒は消毒効果が高いだけでなく、土中の残存肥料成分等も除去され、経験的に土壌の透水性が高まることを実感でき、化学処理では認められない土壌の物理性・化学性再生効果があるといわれている。

臭化メチル剤代替技術として熱水消毒は注目を浴びているが、消毒効果の最適化には構造化した土、特に団粒の発達した土の団粒構造に与える影響、およびそれに伴う透水性や保水性などの物理性の変化を明らかにすることが不可欠であり研究成果が望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究は、使用が全面禁止となった臭化メチルに代わる新たな土壌消毒技術の一つとして注目されている熱水土壌消毒を対象として、熱水の土壌への施用が団粒に代表される土壌構造に与える影響や、関連する透水性などの物質移動特性の変化を明らかにすることを目的としている。既往研究で熱水消毒には土壌からの栄養分を含む化学物質の過剰な溶脱や透水性を変化させるとの報告されているものの、土壌の団粒構造と関連付けた研究はこれまで皆無である。土壌団粒とは、

粘土やシルトといった粒径の小さな土粒子が、土中の有機物や微生物の分泌物(多糖類)などを結合物質として結合してできた土塊をさす。団粒構造が発達した土は、団粒間・団粒内の二重間隙構造をもつことで、相反する性質である高い透水性・保水性を兼ね合わせており作物栽培に適している。一方で、団粒構造は山火事や火を入れる焼き畑では高熱によりその構造が破壊されてしまうなど、熱に対して脆弱であることも報告されている。本研究では、熱水の投入が土の団粒構造の安定性に与える影響を明らかにすることを目的の一つとした。

団粒構造に代表される土壌の物理特性が熱水の施用により影響を受けるが、物理性一つ一つの指標だけでは、熱水施用が土壌の物理性に与える影響を総合的に評価することは難しい。団粒構造の評価の一つに、団粒の安定性があるが、そのほかにも透水性や排水性も取り入れた、総合的な評価指標が不可欠であり、簡便な評価指標の開発も目的の一つとした。

また、持続的な熱水消毒の利用や最適な熱水施用量を決定するためには、現場における土中への浸潤過程の可視化手法の開発および浸潤過程の正確な定量化が不可欠である。本研究では物理探査技術を用いた浸潤過程の可視化について、三次元データの取得に適したアレイ地中レーダ(GPR)による浸潤過程の可視化の適用可能性を検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 熱負荷による団粒構造破壊メカニズムの解明

土壌団粒は腐植などの有機物が土粒子を結合させて、土粒子単体よりも大きな集合体となっているものをさす。熱水の施用により有機物や団粒内土壌コロイド粒子が溶脱され団粒構造の破壊や変化が誘発される。一般に団粒の安定性評価には湿式ふるいが用いられる。そこで、20℃で湿式ふるいを実施後、温度を変化させ、各団粒径ごとにあらためて湿式ふるい分けを実施する二段階湿式ふるい分け法により、団粒安定性の温度依存性を明らかにした。そして団粒安定性の温度依存のメカニズムを明らかにするために、湿式ふるい分け時に水中へ溶出した土壌糖量を、アンスロン-硫酸法により求めた。

団粒構造が破壊され土壌コロイドが流出することで、土の粒径分布が変化し、土の保水性や透水性に代表される物理性に影響を

与える．そこで，高温熱水の移動特性から，構造の破壊や物理性の変化特性を明らかにした．

### (2) 物理性を指標とした土壌評価手法

火山灰由来のロームからなる圃場（長野県富士見町）から土壌試料を採取し，物理性を指標とした土壌評価手法の開発を行った．土壌評価に当たり，まず，土壌の物理的肥沃度に関係の強い物性値を中心に調査を実施した．その後，作付け地に適しているか否かを基準にしたスコアを算出するためのスコアグラフを作成し，測定結果をスコアグラフに当てはめることで，各調査農地の物性値のスコアを決定した．最後に，調査農地ごとに全ての項目のスコアから土壌の物理性の総合的な評価を実施するため，レーダーチャートを用いることを提案した．レーダーチャートを用いることで，隣接する項目間の関係性を考慮した複合的な総合評価が可能となる．

### (3) 浸潤過程可視化の検討

アレイ型 GPR は送受信アンテナを電氣的に切り替えることで，短時間に複数のアンテナの組み合わせで測定することができる．その結果，一度のスキャンで電磁波速度解析に必要な Common Mid Point (CMP) データなどの Multi Offset Gather (MOG) データと地中の構造を可視化する COG (Common-Offset Gather) データを得ることができる．アレイ型 GPR は高時間分解能での計測が可能であり，土中水の浸潤過程のような動的過程のモニタリングに適している．一方，送受信機間隔（オフセット）が限られる．鳥取大学の乾燥地研究センターにて，浸潤試験を実施し，アレイ型 GPR による浸潤過程可視化について検討した．

## 4. 研究成果

### (1) 熱負荷による団粒構造破壊メカニズムの解明

温度を 20 より  $T_w$  に上げたときの，ふるい内の残留率を  $K_{st}(20\ T_w)$  として，さらに機械的崩壊の影響を排除するために  $K_{st}(20\ 20)$  で除して，団粒安定性の温度依存性を評価した．Fig.1 に団粒安定性の温度依存性について示す．団粒の安定性は，団粒径が大きくなるほど，水温が高くなるほど減少した．とくに，2 mm 以上の団粒径については顕著であり， $K_{st}$  の値は 40 では 1 割程度，60 では 4 割程度減少した．一方で，団粒径 0.5 mm 以

下の団粒では，温度の変化に対しても安定であった．

Fig.2 にアンスロン-硫酸法により求めた溶出土壌糖量を示す．団粒径 0.5 mm までの団粒では，土壌糖の溶出量は 20 60 が一番多く，ついで 20 40 が多かった．しかし，その溶出量は各団粒径についても， $K_{st}$  値と同じような傾向は見られず，20 60 では団粒径が小さくなるとともに溶出量は低下し，20 40 では 2 mm 以上画分から 0.5 mm 画分へと減少する傾向を示したが，0.25 mm 画分で最少となった．20 40 および 20 60 では，団粒安定性も溶出した土壌糖量も 2 mm 以上画分から 0.5 mm 画分まで減少傾向を示した一方で，安定であった 0.5 mm 以下の画分では団粒は安定であったにもかかわらず，土壌糖量の溶出量に大きな違いが生じた．これは，0.25 mm 以下の団粒はマイクロ団粒であり，0.25 mm 以上のマクロ団粒と性質が異なることに起因していると考えられる．

さらに熱水処理前後の土壌の物理性，特に団粒の安定性を比較するためのカラム実験を実施した．団粒構造は 95 の熱水散布時において散布量が増加するとともにその安

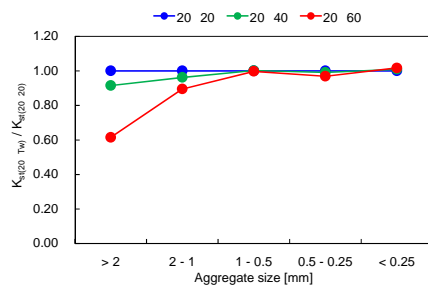


Fig. 1 湿式ふるい分け時の水温を変化させたときの団粒径ごとの団粒安定性の変化

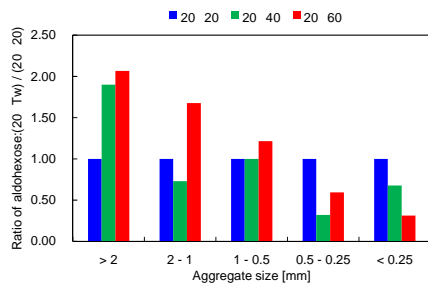


Fig. 2 湿式ふるい分け時の水温を変化させたときの団粒径ごとに溶出した土壌糖量の違い

定性は減少し、それに伴い透水性が減少することが分かった。

## (2) 物理性を指標とした土壌評価手法

Fig.3 に作成したスコアグラフおよび測定結果の例を示す。スコアグラフは物性値によって、値が大きいほどスコアが高いもの、値が小さいほどスコアが高いもの、最適な値をもつものに区分される。ここでは一例として農林水産省が定義した土層改良および地力増進の目標値を基準にスコアグラフを作成した。土壌の総合評価には、このスコアグラフの合計点と次に示すレーダーチャート内の面積を用いることとした。レーダーチャートの作成には、スコアグラフのスコアを用い、評価項目において関係性の強い項目同士が隣接するようにした。

Fig.4 に、レーダーチャートに形成された多角形の面積による総合評価の結果の一例を示す。ここでは土地利用・維持形態の異なる農地を対象とした。ほとんど全ての農地が高評価となり、維持管理形態の違いによる土壌の物理的肥沃度の違いはあまり見られなかった。これは、今回用いた基準値8つのうち、5つが作付け地として利用出来るか否かを示す土層改良時の目標値だったため、比較的達成しやすい値だったことが要因と考えられる。このことから、草刈りのみの管理、あるいは全く人為が加えられていない農地においても最低ラインの物理的肥沃度は保たれることが示唆された。レーダーチャート

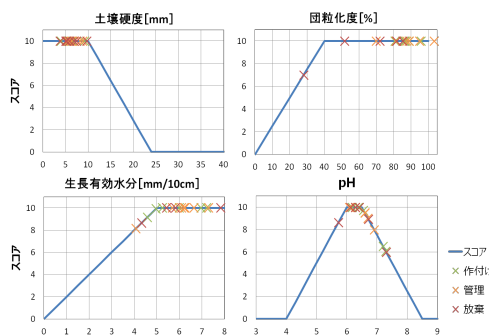


Fig.3 : スコアシート例



Fig.4 : レーダーチャート結果例

を用いることで、隣接する項目間の関係性を考慮した複合的な総合評価が可能となる。このように開発した評価方法を用いることで、熱水処理が土壌の物理性に与える影響を一つの評価指標だけでなく、総合的に評価することが可能となる。

## (3) 浸潤過程の可視化

アレイ型 GPR を用いた浸潤試験の結果、経過時間とともに連続的に降下する浸潤前線における反射面が COG および MOG いずれにおいても明瞭に認められた。任意の時間における COG および MOG に認められた反射面について、GPR とは別に測定した電磁波伝播速度を用いた電磁波伝播時間の予測結果とも一致した。アレイ型 GPR による現場土壌での浸潤過程の定量化に関して、砂質土壌においてその有用性を確認することができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

Iwasaki, T., S. Kuroda, H. Saito, Y. Tobe, K. Suzuki, H. Fujimaki, M. Inoue, 2016, Monitoring Infiltration Process Seamlessly Using Array Ground Penetrating Radar, Agricultural & Environmental Letters, 1(1).査読有  
斎藤広隆, 斎藤健志, 向後雄二, 濱本昌一郎, Moldrup, P., 小松登志子, 2014, 熱応答試験実施時間の短縮がみかけ熱伝導率推定に与える影響: 数値的研究, 土壌の物理性, 128: 11-20.査読有

[学会発表](計 6件)

Iwasaki, T. Saito, H., and Kuroda, S., Monitoring water infiltration in aggregated volcanic ash soil using multi-offset GPR, 2015 AGU Fall Meeting, Dec. 14-18, 2015, San Francisco, USA

Sekiguchi, R., Kohgo, Y., and Saito, H., Temperature Effect on Aggregates Stability of Volcanic Ash Soils, 2015 ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting, Nov. 15-18, 2015, Minneapolis, USA

百瀬みずき・笹倉萌子・中島正裕・斎藤広隆, 物理性を指標とした中山間条件不利農地の土壌評価, 平成 27 年度農業農村工学会全国大会 2015 年 9 月 1 日 ~ 4 日, 岡山大学 (岡山県・岡山市)

Sekiguchi, R., Kohgo, Y., and Saito, H., Effect of hot water soil sterilization

on soil physical properties of aggregated volcanic ash soils, 1<sup>st</sup> International Conference on Asian Highland Natural Resources Management, Jan., 7-9, 2015, Chiang Mai, Thailand  
Thiam, M., Y. Kohgo, and H. Saito, Determination of the Tangential Model Soil Water Retention Curves for Various Soil Types, 2014 ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting, Nov. 2-5, 2014, Long Beach, USA

Momose, M. M. Nakajima, and H. Saito, Effect of land use change on soil physical properties of disadvantageous cultivated areas, 20<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, June 8-13, 2014, Jeju, Korea

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

齋藤 広隆 (SAITO, Hirotaka)  
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授  
研究者番号：7 0 4 4 7 5 1 4

### (2)研究分担者

向後 雄二 (KOHGO, Yuji)  
東京農工大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号：3 0 4 1 4 4 5 2

### (3)連携研究者

なし