

様々な土の不凍水量のハイパースペクトルカメラを用いた可視化 Visualization of unfrozen water content in various soils using a HSC

鈴木健大¹・渡辺晋生¹

¹三重大学生物資源学研究科

要旨(Abstract) :

土中の不凍水分の推定を目指し、ハイパースペクトルカメラを用いて様々な土試料の凍結の様子を観察した。その結果、粘性土の試料では温度が 0°C 以下となってから反射率の上昇が見られた。これは温度低下に伴い不凍水量が減少し、光の吸収が抑制されたことが原因と考えられる。一方で砂質土のような不凍水をほとんど持たない試料では系統的な変化は見られなかった。

キーワード：凍土、アイスレンズ、不凍水、近赤外線分光

Key words: frozen soil, ice lens, unfrozen water, near infrared spectroscopy

1. はじめに 土壌が寒気に晒されると土中水が凍結し、凍土が形成される。その際、全ての土中水が凍結するのではなく、一部は 0°C 以下でも凍結しない不凍水として土粒子表面に存在する。その量は温度や粒径、溶質濃度などによって変化し、凍土の強度や透水性、アイスレンズ生成に影響を与える。しかし、凍土中の不凍水量の測定は容易ではなく、非破壊、非接触で空間分布を可視化できる測定法は存在しない。ところで、物質の量や状態の空間分布を非破壊、非接触で測定可能な装置にハイパースペクトルカメラ (HSC) がある。そこで、本研究は HSC を土の不凍水量分布の測定に応用することを目的とした。そして、様々な土壌試料の凍結実験を行った。

2. 試料と方法 実験には藤森青粘土、稲荷山黄土、岩手黒ボク土、豊浦砂を使用し、2 mm 篩通過分を試料とした。試料を水分飽和し、体積 W20×D60×H2.4 mm のガラスセルに、任意の乾燥密度で充填した。セルは側面と低温側端面を防水した。高温側端面は開放系とし、0.6 g 程度の蒸留水を追加した。セルを銅製の容器に挟み、上下にペルチェ素子と、恒温水槽と接続した水冷式ブロックを設置し、両端の温度を制御した (Fig.1)。装置の周囲はスタイロフォームで断熱した。ここで高温側 2.5 °C、低温側

-5 °C を与え、任意の時間凍結した。試料の凍結期間中、温度変化をセルに設置した 4 点の熱電対を用いて 1 分間隔で測定した。試料表面の様子は HSC を用いて任意の時間測定した。HSC の有効波長は 400~1000 nm、波長分解能は 5 nm である。解像度は 480×640 pixel で縮尺は 1 pixel が 0.05 mm 四方に相当する。撮影に要する時間は 48 秒である。撮影は暗室で行い、凍結への温度の影響を最小限に抑えるために光ファイバーを介してハロゲン光を照射した。

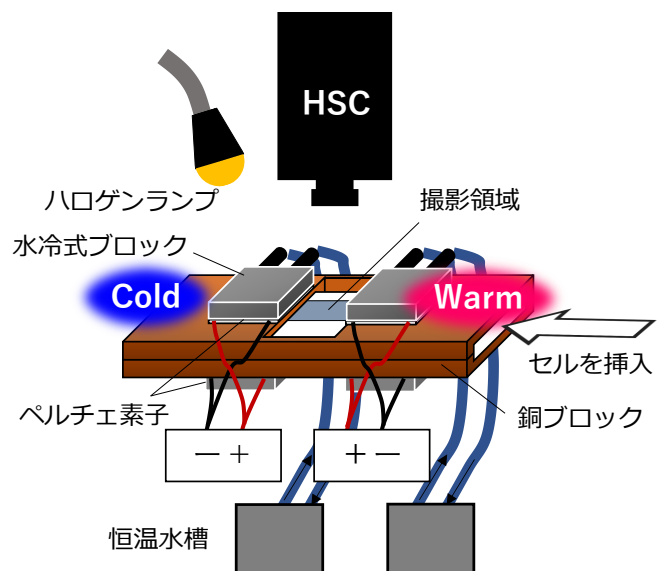


Fig.1 実験装置の概略図

Schematic of experimental apparatus

3. 結果 端面の温度を低下すると、低温側より凍土が形成した。青粘土，黄土，黒ボク土では凍土の色が暗く，凍結面の位置が視覚的に確認できた。凍結面は 120 分までに急激に，その後はゆっくりと進行した。一方，砂では凍結面は視覚的に確認できなかつた。青粘土と黄土，黒ボク土では実験開始後 120 分にアイスレンズと呼ばれる氷単一の層が凍結面に析出し，成長しながら飛び飛びの層を形成した。ここで凍土の 3 か所と未凍土 1 か所から反射率の領域内平均値を取得した。領域の大きさは横 1 mm，縦が 4 mm である。砂以外の試料は温度が 0°C を下回ると急激に反射率が低下し，その後少しずつ上昇した。また，反射率は低温側の凍土ほど高い傾向となった。不凍水量が減少し，光の吸収が抑制されたことが原因と考えられる。一方で未凍土部分と豊浦砂では系統的な変化は見られなかつた。ここでクラジウス-クラペイロン式から試料の水分保持曲線を不凍水量曲線に変換した。そして，反射率を測定した領域の温度から各時間における各領域の不凍水量を計算し，水の吸収帯に近い 750~900nm の平均反射率との関係を調べた (Fig.2-a, b, c の右下)。反射率と不凍水量の相関を取ると，相関係数は青粘土で-0.67，稲荷山黄土で-0.90，黒ボク土は-0.33 となり負の相関が見られた。豊浦砂では相関は見られなかつた。青粘土などは粒形が小さく保持できる不凍水量が多いため，温度低下に伴い減少する不凍水量の変化を捉えることができたと考えられる。一方，砂では不凍水量がほとんどないため，系統的な変化が見られなかつたといえる。ここで，Fig.2 に反射率を色付けしたものを示す。反射率の変化が不凍水量の減少によるものと考えれば，凍土中の青い部分は不凍水量が多く，赤に近いほど少ないといえる。30 分経過時では低温側が青いのに対し，360 分では凍結が進み不凍水量が減少したことで反射率が高くなっていることが視覚的にわかる。

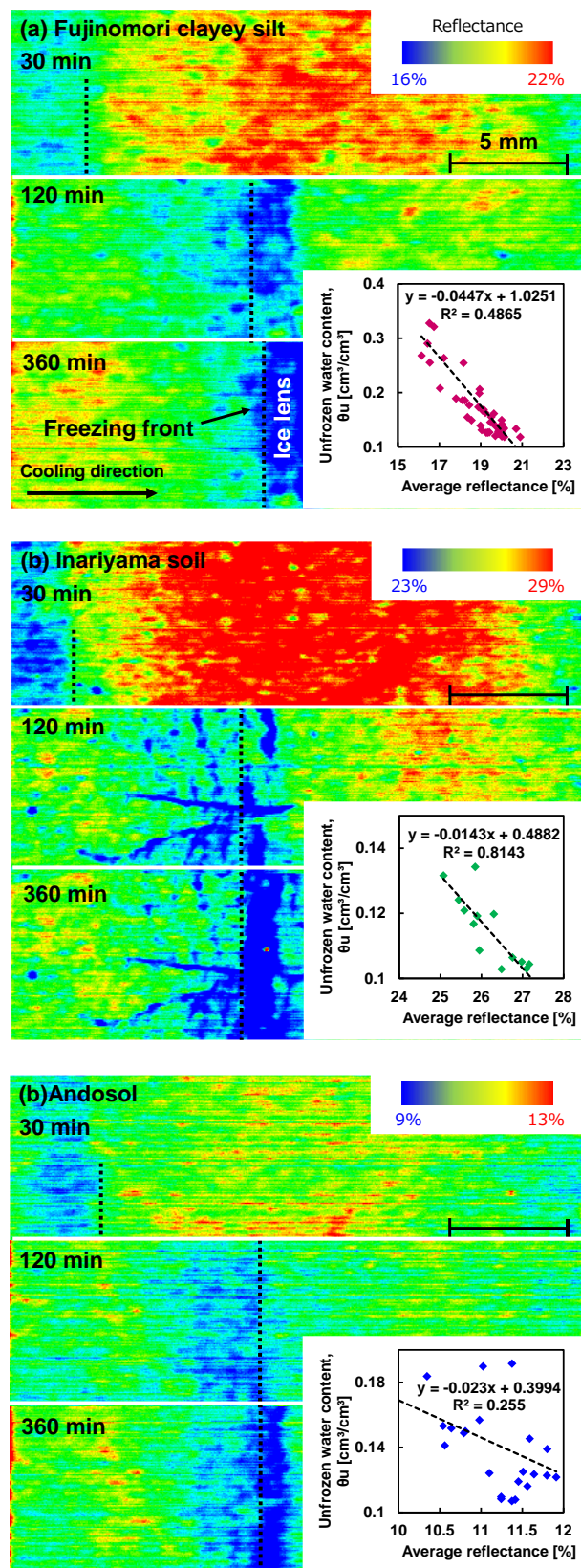


Fig.2 試料の反射率分布および反射率と不凍水量の関係 (a:藤森青粘土, b:稲荷山黄土, c:岩手黒ボク土)
Colored sample image, relationship between reflectance and unfrozen water content