

異なる速度で凍結融解する土中の不凍水圧連続測定

Continuous Measurement of Water Potential in Soil during Freezing and Thawing

○伴俊和<sup>1</sup>, 渡辺晋生<sup>1</sup>

Toshikazu Ban and Kunio Watanabe

1. はじめに

寒冷地の水循環や農地の水・施肥管理を考える上で不凍水の動きを把握することが重要である。それゆえ、凍土中の水移動の駆動力である不凍水圧の経時変化を知る必要がある。しかし、不凍水圧は極めて低圧であり、テンシオメータのような圧力計での測定は難しい。ところで近年、土中に埋設可能な露点計が開発されている。凍土中の露点の連続測定ができれば不凍水圧の経時変化を推定できる。そこで本研究では異なる速度で凍結・融解する土中の不凍水圧を露点計で連続測定し、温度-不凍水圧関係を調べることを目的とした。また実測値をクラウジウス・クラペイロン式 (CCE) と地温で推定した不凍水圧と比較した。

2. 試料と方法

試料には岩手大学附属農場休耕畑の表層土の 2 mm 篩通過分を用いた。露点計には Azbil 社の Finedew を用いた。Finedew は先端に直径 1.4 cm、長さ 1.5 cm のセンサー部を持つ。センサー部外周は液状水を透過しないが水蒸気を透過するテフロンフィルターで覆われている。センサー部内には鏡面があり、鏡面の温度を上下することで平衡する外気の露点を計測する。

体積含水率を 0.18 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> に調整した試料を、直径 4.7 cm の真鍮管に 9.0 cm 深まで充填した。試料の 4.5 cm 深にセンサー部先端がくるように露点計を垂直に設置した。センサー部に対し先端、中央、下端と 0.75 cm 間隔で 3 本、5.5 cm 深に 1 本熱電対を設置した。真鍮管を恒温水槽に沈め、水槽の温度を調節することで試料を凍結・融解させた。試料の温度を、1.2~ -7.0℃まで 24 h あるいは 12 h かけて一定速度 (±0.68℃/h あるいは ±0.34℃/h) で変化させながら露点を連続的に測定する Dynamic freezing/thawing と、一定温度に 2 時間以上静置した後、露点を測定してから次の温度へ (-1.5, -2.6, -3.5, -5.1, -6.8℃) 段階的に変化させる Step freezing/thawing を行った。そして露点とセンサー部中央 (3.75 cm 深) の地温に Kelvin 方程式を適用し、不凍水圧を求めた。なお、Finedew の測定信頼領域は -10000 cm 以下である。また、センサー部からの排熱を促すため、測定を幾度か中断した。

3. 結果と考察

Dynamic で測定した土中の不凍水圧の経時変化を図 1 に示す。24 h 凍結融解の不凍水圧は、凍結開始後 15 h (-3.7℃) で -1000 cm、16.6 h (-4.2℃) で -10000 cm と急激に低下し、24 h (-7.0℃) で、-90000 cm に達した。12 h 凍結融解でも同様の不凍水圧の経時変化を測定できた。なお、測定中断直後の不凍水圧の急激な負圧はセンサーの特性上の値である。図 1 には CCE による推定値も点線で併記した。凍結過程では、凍結速度に関わらず推定値は測定値より低くなった。また、不凍水圧が低下するにつれ、両者の値は近づいた。融解過程では、初期は実測値と推定値は一致したが、その後推定値は測定値より低くなった。

温度に対する不凍水圧変化を図 2 に示す。凍結過程と融解過程では温度-不凍水圧曲線が異なった。凍結融解速度が異なっ

ても 24 h と 12 h に大きな違いは見られなかった。凍結過程では不凍水圧は -4.2℃ 以下で測定信頼領域となり、その後温度低下に伴い徐々に低下し、-7.0℃ で -90000 cm に達した。-7.0℃ からの融解過程では不凍水圧は温度の上昇に伴い高くなったが、凍結曲線より低圧を示し、その差は次第に広がった。融解過程の不凍水圧は -3.0℃ まで測定信頼領域にあった。

Step では -2.6℃ 以下で 5 点測定した。測定温度が等しくても、不凍水圧は凍結過程より融解過程で低かった。また、その差は低温ほど小さくなり、-6.8℃ で一致した。-6.8℃ では Step の不凍水圧は Dynamic と一致した。しかし、それより高温では凍結過程の Step の不凍水圧は Dynamic より低圧を、融解過程においては Dynamic より高圧をそれぞれ示した。図 2 には CCE による推定値も点線で併記した。推定値は Dynamic の融解曲線と -7.0~ -4.8℃ でほぼ一致したが、その他の測定値より低くなった。

凍土中では土中氷の生成および融解がみかけの温度変化においつかないことがあると考えられる。温度が等しくても Dynamic と Step で不凍水圧が異なったことや、Dynamic の温度-不凍水圧関係にヒステリシス様の凍結融解曲線が生じたのはこのためであろう。また、CCE は -5℃ 以下の不凍水圧をよく推定した。今後は異なる速度で凍結融解する土中の不凍水圧変化を不凍水量や水量の変化と共に評価する必要がある。

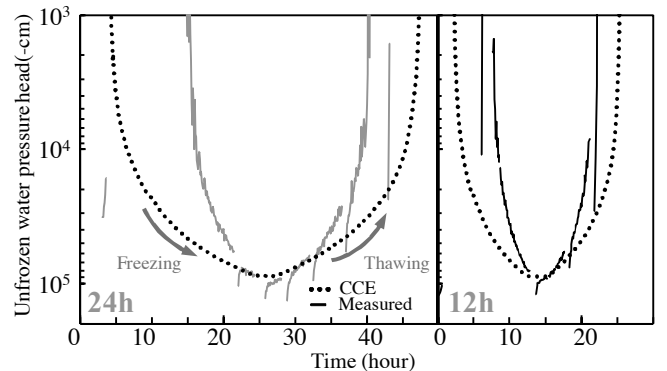


図1 不凍水圧の経時変化

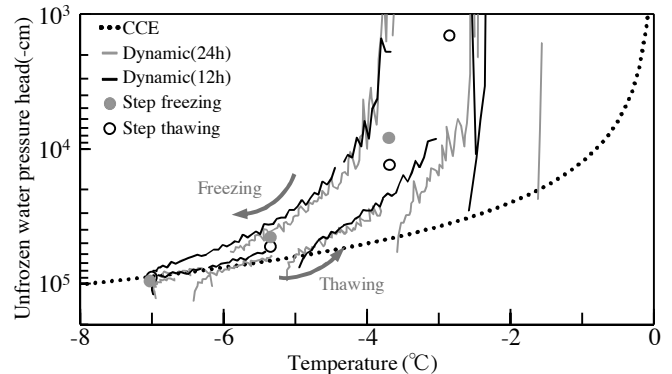


図2 温度-不凍水量関係

1 三重大学大学院生物資源学研究所

Graduate School of Bioresources, Mie University