

黒ボク土の牧草地における土壌凍結による水分・熱の同時輸送

Coupled heat and water transport in an Andisol grassfield by soil freezing.

徳本家康* 登尾浩助** 古賀潔***

Ieyasu Tokumoto* Kosuke Noborio** Kiyoshi Koga ***

1.はじめに

土壌凍結は、土中の温度勾配による物質移動および融解後の土壌流亡と密接に関わっており、農業面や環境面において重要である。凍結土壌では、 0 以下でも凍らない不凍水によって未凍土から凍結面への水分移動が生じ、その駆動力は 0 以下の温度差 T の関数である不凍水のマトリックポテンシャル $h_f(10^5\text{Pa})$ で表される(溝口, 1990)。

$$h_f = 12.3 T \quad (1)$$

これは、熱力学の理論に基づいた凍土中の水分移動の駆動力であり、室内の凍土実験では凍上圧として観察されている。しかし、野外における凍土の水分移動の報告例は少なく、同時に熱移動を観察した研究はほとんどない。本研究では、土壌凍結時期における牧草地の土中の水分量、間隙水圧、熱的性質(熱伝導率 λ 、体積熱容量 ρc)の経時変化を測定することで、凍土下の水分・熱の同時移動を考察した。

2.実験装置および方法

試験地は岩手県盛岡市近郊の牧草地で、表土の約 40cm は黒ボク土で覆われている。土壌凍結実験では、05/12/29 日から 06/1/3 日までの積雪時期において、積雪を防いだ地表面に鉄板を置くことで気温の低下に伴う地温低下を人工的に促す状態を作成した。そして凍土下における間隙水圧、水分量、熱的性質を測定した。間隙水圧は寒冷地用テンシオメータ(岩田・広田, 2004)を用いて、土中の水分量および熱的性質はサーモ TDR を用いて1時間間隔で同時測定した。水分量は波形解析ソフト WinTDR によって推定し、熱的性質はヒートパルス法により λ 、 ρc をもとめた。また、気温および地温(深さ 0, 0.5, 1.5, 2.5, 3.0, 6.75, 8.25, 14.25, 15.75, 29.25, 30.75 cm)の経時変化も測定した。

3.結果と考察

Fig.1 は、深さ 7.5, 15, 30 cm から採取した不攪乱試料の水分特性曲線である。試験地の黒ボク土は深さによって土性や乾燥密度が若干違うために水分特性曲線が異なる。間隙水圧 $h = -100$ cm で水分量を 63% 以上保持できる非常に保水性の高い土である。Fig.2 は凍結試験中の地温分布である。試験期間中の気温は常に氷点下だったので、地表面の温度は 0 以下であった。同時刻における間隙水圧 h と水分量 θ の分布をそれぞれ Fig.3 と Fig.4 に示す。 h は、地表面の温度低下に伴って低下する傾向にあり、とくに地表面に近いほど初期状態からの圧力低下が大きかった。水分量 θ は、黒ボク土の高い保水性のために深さ 7.5cm 以下の測定地点において $0.7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ でほぼ一定であった。しかし土壌凍結面近傍の深さ 2.5cm においては、水分量は初期状態からおよそ 10% 減少した。これは、(1)式で示されるような凍土の温度低下に伴う不凍水の圧力低下によって、深さ 2.5cm の未凍土から凍結面へ水分上昇移動が生じたためと思われる。Fig.5 は、Fig.4 と同時刻において測定した熱伝導率 λ と温度勾配の積により

*岩手大学大学院 農学研究科 The United Graduated School of Agricultural Sciences, Iwate Univ.

明治大学 Meiji Univ., *岩手大学 Iwate Univ., 土壌凍結, 水分・熱の同時移動, 黒ボク土

求めた熱フラックスのプロファイルである。地表面の上向きのフラックスを正とした場合、熱フラックスは凍結面にむかう正の値を示した。また水分飽和付近の黒ボク土の λ は水の $\lambda = 0.6(\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1})$ とほぼ等しかった。これは黒ボク土の乾燥密度が低く、団粒の間隙内に多くの水分を保持するので、主に水を媒体とした熱伝導が生じるためと推測される。今後は(1)式を用いて凍土中に圧力の境界条件を与えた場合の水分・熱移動のシミュレーションを検討したい。

[謝辞]本研究の一部は、日本学術振興会科研費(基盤研究(B)15380160)および岩手大学 21 世紀 COE プログラム「熱-生命システム相関学拠点創成」によって行われた。深謝いたします。

[文献]溝口勝:土の凍結に伴う水分・熱・溶質移動の移動現象に関する研究,東京大学博士論文:18-21(1990).

Iwata・Hirota:Development of tensiometer for monitoring soil-water dynamics in a freezing and snow covered environment.J.Agric.Meteorol.60(5):1065-1068(2005)

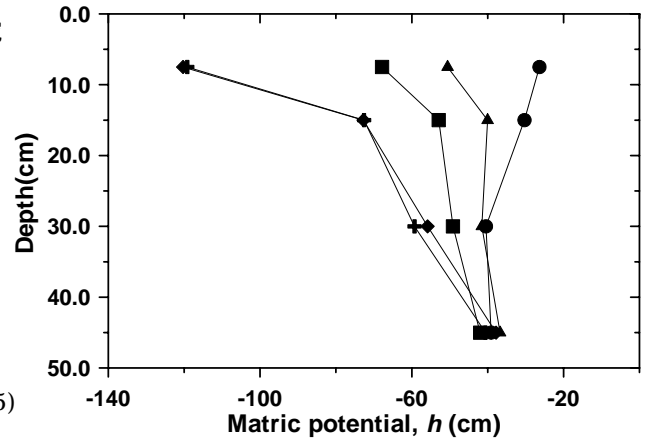


Fig.3 Profile of matric potential.

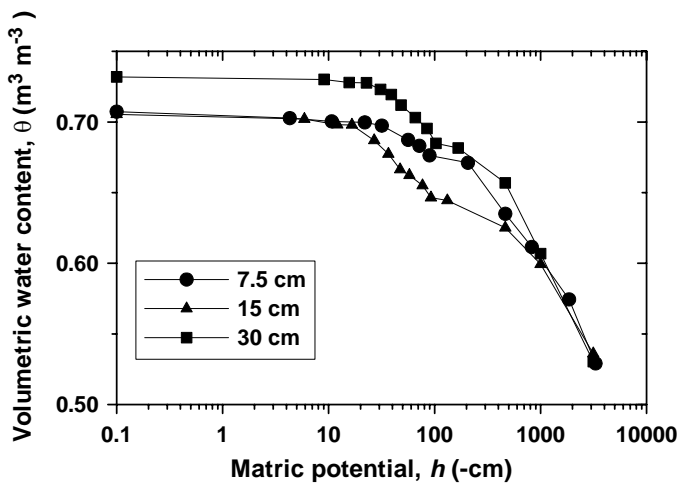


Fig.1 Water retention curves for Andisol at 7.5, 15 and 30 cm deep.

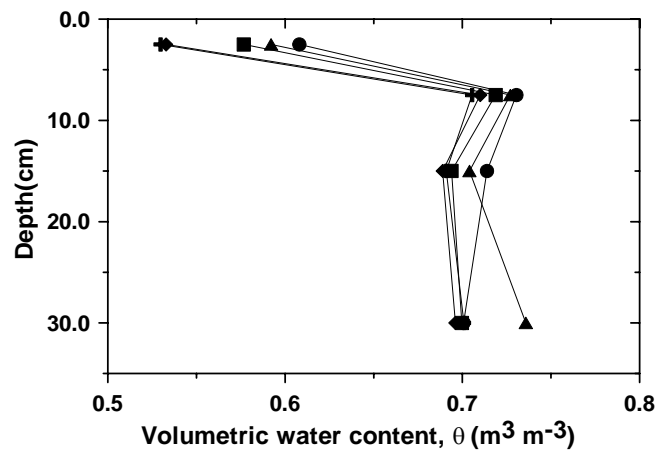


Fig.4 Profile of volumetric water content.

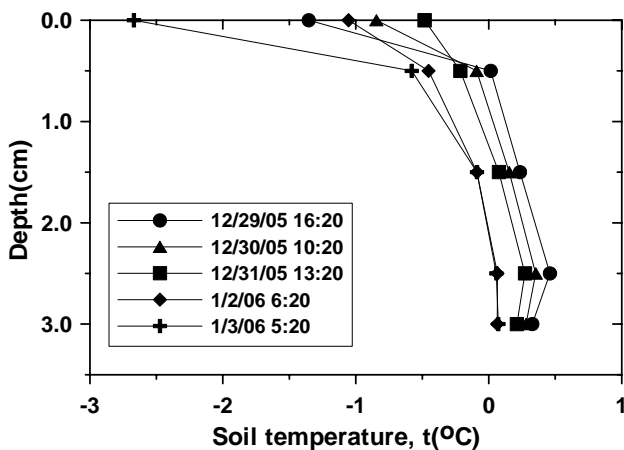


Fig.2 Soil temperature profile during soil freezing period.

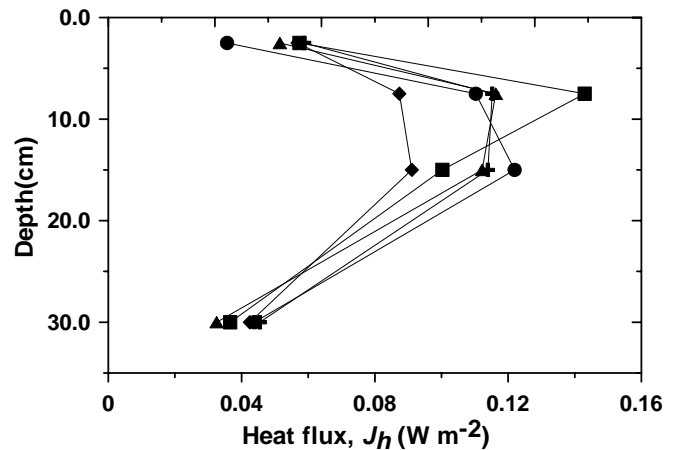


Fig.5 Profile of heat flux.