

機関番号：32658

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20780178

研究課題名（和文） 気候変動下の寒冷地農地において不凍水が土壤凍結・融解時の水移動に果たす役割の解明

研究課題名（英文） Clarification of a role of unfrozen water on water movement of freezing and thawing of soils in agricultural area of cold region under climate change.

研究代表者

鈴木 伸治 (SUZUKI Shinji)

東京農業大学・地域環境科学部・講師

研究者番号：00459710

研究成果の概要（和文）:

北海道網走地域の火山灰土壌を対象に、凍結に伴う凍土の水ポテンシャルの低下に対するマトリックポテンシャルと浸透ポテンシャルの寄与について検討した。その結果、 $EC_{1.5}$ の値が 0.17 dS m^{-1} 以下では浸透ポテンシャルの影響は無視できるほど小さかった。また、下層に水ポテンシャルセンサーを埋設して野外観測を行い、上記の結果を用いて凍土層と下層のマトリックポテンシャルの比較を行ったところ、凍土のマトリックポテンシャルに連動して下層のマトリックポテンシャルが変化する様子が観測された。凍土層の深さ 5 cm と下層の深さ 35 cm のマトリックポテンシャルは凍土層の方が最大約 2.54 MPa も小さい値を示した。

研究成果の概要（英文）:

Contribution of both the matric potential and osmotic potential on depression of the water potential of frozen volcanic ash soils associated with soil freezing was assessed in Abashiri region of Hokkaido Prefecture, Japan. The effect of the osmotic potential was negligibly small when $EC_{1.5}$ was less than 0.17 dS m^{-1} . Using those results, in-situ monitoring of matric potential was conducted, and changes in the matric potential of frozen soil layer were compared with that of unfrozen subsoil. It is revealed that the matric potential of unfrozen subsoil associated with changes in the matric potential of the frozen soil layer. The matric potential of frozen soil layer was considerably smaller than that of unfrozen subsoil.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：農学，土壤物理，農業気象

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学，農村計画学

キーワード：気候変動，寒冷地，凍土，不凍水，水移動

1. 研究開始当初の背景

寒冷気候帯である北海道の道東地域は、我

が国を代表する畑作地帯であると同時に、冬季には少雪で土壤凍結が発達する。かつては凍結深が 50 cm を超えることも稀ではなかったが、1980 年代後半から、東アジアモンスーン気候変動に伴った積雪の早期化によって土壤凍結深は著しい減少傾向にある (Hirota et al., 2006)。IPCC 第 3 次報告では、温暖化によって作付け品目の拡大や収量増加が期待され、寒冷気候帯の農業生産力が増加すると楽観的であるが (McCarthy et al., 2001)、一方で病虫害や雑草の発生がこの地域の農業に重大な被害をおよぼすことが懸念されている (奈良部・関口, 2005)。実際この地域の農業現場では、21 世紀に入って雑草の発生が深刻な問題となっている。また凍結に伴って下層から土壤水が表層に移動し、氷として蓄えられるが (Iwata and Hirota, 2005)、凍結が減衰した場合、土壤水の上昇が抑制され、逆に融雪水の浸透が卓越することによって肥料成分の溶脱が進行し、硝酸態窒素による地下水汚染が懸念される (Iwata et al., 2008)。このように土壤凍結は、寒冷地農地の水文環境や物質循環、農地生態系に非常に大きな役割を果たしている。しかし、凍結に伴う土壤水の上昇や、融解時における融雪水浸透について、現象は観察されているものの、そのメカニズムがまだ明らかになっていなかった。この問題を解く鍵となっているのは凍土の不凍水(0 以下でも凍らずに液状を保っている土壤水分)である。すなわち、凍結深や地温、凍結・融解の速度を決定する凍土の熱伝導率は、不凍水の熱伝導率が氷に比べて 4 倍も小さいことから、不凍水によって大きく制限される (鈴木ら, 2002)。凍結時の土壤水の上昇は、不凍水に形成されるポテンシャル勾配と、不凍水の関数である凍土の透水係数に支配され、一方融解時には、不凍水が急激に増加するために融雪水の浸透が促進され

る。融雪水の浸透は凍土層に潜熱を供給するので、融解を早める効果がある。さらに、凍結による土壤微生物の生存率は不凍水量と相関が高いことが指摘されている (Yanai et al., 2004)。このように不凍水は、土壤の凍結・融解の本質であるにもかかわらず、現場レベルにおける不凍水量の変化が注目されていなかった。

従来の研究では、不凍水量は温度と溶質濃度の関数として扱われ、凍結前の土壤水分量(初期水分量)には依存しないと考えられてきた (Spaans and Baker, 1996)。しかし、わが国の畑土壌を占める有機質土や粘質土での不凍水量は砂質土より 10 倍も多く、初期水分量に依存する (Suzuki, 2004a)。そのため近年、土壤凍結深が減少して農地を取り巻く環境が著しく変化しているにもかかわらず、これまで提唱されてきたモデルでは不凍水量を正確に推定することができず、その結果、農地の物質循環や農地生態系の変化を予測することができなかった。この問題を解決するためには、現場レベルでの不凍水の定量的観測が不可欠であると同時に、不凍水のメカニズムを解明した上で、不凍水量予測のための新しいモデルを構築し、土壤の凍結・融解に伴う水移動に不凍水が果たす役割を明らかにすることが必要であった。

2. 研究の目的

実際には、本研究では土壤凍結時の水移動の駆動力となる不凍水のマトリックポテンシャルを凍土の地温から熱力学的に定量化することを目的に、水ポテンシャルの低下に対するマトリックポテンシャルの寄与を調べた。また、北海道の網走を対象地として野外観測を行い、凍結によるマトリックポテンシャルの変化の特徴を現場レベルで明らかにすることを目的とした。そのため、野外観

測で用いる土壌水分センサの特性も明らかにした。

3. 研究の方法

(1)土壌凍結に伴う不凍水の水ポテンシャル低下に対するマトリックポテンシャルの寄与

野外観測項目の一つにマトリックポテンシャルを測定したが、寒冷な条件下（地温 0 以下）では正確な測定は困難である。そこで、式 1 を利用して地温から水ポテンシャルを求めた（Mizoguchi, 1993）。

$$\Psi_w = \Psi_m + \pi = 1.23 T \quad (\text{式 1})$$

Ψ_w は水ポテンシャル(MPa), Ψ_m はマトリックポテンシャル(MPa), π は浸透ポテンシャル(MPa), T は地温()を示す。このうち、凍土層の不凍水のマトリックポテンシャルを求めるために、凍結に伴う不凍水の水ポテンシャルの低下に対するマトリックポテンシャルの寄与を検討した。

野外観測対象地土壌をプラスチック容器に入れ、脱イオン水で飽和させた。蒸発過程において水分量は減少するが、土壌中の溶質量は変化しない。設定した含水比に対する水ポテンシャルを凝固点降下度法（Suzuki, 2004b）で求めた。100 cm³ サンプラー缶に充填した土壌試料（ $\rho_d = 0.97 \sim 1.05 \text{ g cm}^{-3}$ ）を冷凍庫に入れ、温度計およびデータロガー（TMC6-HD, HOBO U12-006, Onset）で凍らせた土壌試料の温度を記録した。得られた凝固点を式 1 に代入して水ポテンシャルを求めた。マトリックポテンシャルと含水比の水分特性曲線は遠心法および加圧板法で描き、両者の水分特性曲線を比較してマトリックポテンシャルの寄与を検討した。

(2)土壌凍結に伴う農地の水分環境変化

野外観測概要

東京農業大学網走寒冷地農場(N43°55'09”

E144°23'06”, 標高 27 m)で野外観測を行った。2009年7月18日から気温(TR72-Ui, T&D), 降雨量(TR525MM-5, Field Pro), 地温(熱電対), 液状水量(CS616, Campbell), マトリックポテンシャル(MPS-1, DECAGON DEVICE) を観測した。地表面は水平になるように整地し、表面流出および周囲からの流入を防ぐため、測定地点を囲む 1 m×1 m の区画の周囲を盛土した。熱電対は 5, 15, 25, 35, 45 cm, CS616 は 5, 15, 25, 45 cm, MPS-1 は 35, 45 cm の深さに埋設した。2010年7月10日からは MPS-1 を深さ 5, 15 cm に埋設した。気温は付属のデータロガーで記録, 降雨量, 地温, 液状水量, マトリックポテンシャル(35, 45 cm) はデータロガー(CR10X, Campbell) で記録, 5, 15 cm のマトリックポテンシャルはデータロガー(Em50, DECAGON DEVICE) で記録した。土壌の理化学性は表 1 に示す。

深さ(cm)	土性	乾燥密度(g cm ⁻³)	飽和透水係数(cm s ⁻¹)	EC _{1:5} (dS m ⁻¹)
0 10	SL	0.97	2.11 × 10 ⁻⁴	0.14
10 20	SL	1.05	4.78 × 10 ⁻⁴	0.16
20 30	SL	1.03	2.30 × 10 ⁻³	0.15
30 40	SL	1.15	5.84 × 10 ⁻⁴	0.10
40 50	SL	1.20	1.93 × 10 ⁻⁴	0.17

MPS-1

MPS-1 はセンサーが埋められた土壌中のマトリックポテンシャルに関係した電圧がデータロガーに記録される。室内実験で MPS-1 の出力電圧に対するマトリックポテンシャルをテンシオメータで測定して、キャリブレーションを行った。キャリブレーション結果は野外観測の MPS-1 の出力電圧に利用し、マトリックポテンシャルを算出した。

4. 研究成果

(1)土壌凍結に伴う不凍水の水ポテンシャル低下に対するマトリックポテンシャルの寄与

凝固点降下度法と、遠心法および加圧板法で求めた水分特性曲線は両者ともほぼ同じ

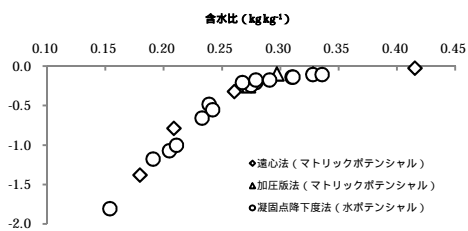


図1 水分特性曲線

曲線を描いた(図1)。野外観測対象地土壌(EC=0.17 dS m⁻¹以下)は浸透ポテンシャルの影響を無視できるほど小さく、主にマトリックポテンシャルに依存していた。

(2) 土壌凍結に伴う農地の水分環境変化

気温、地温、液状水量、マトリックポテンシャルは日平均、降雨量は日合計で表示した(図2)。地温は深さ5 cmで2009年12月16日から0 未満を記録し、土壌凍結が開始した。土壌凍結開始後、液状水量は急激に減少し、深さ5 cmで約15 %減少した。土壌凍結に伴い、凍土層の不凍水のマトリックポテンシャルが低下し、続いて凍土層下層が低下し

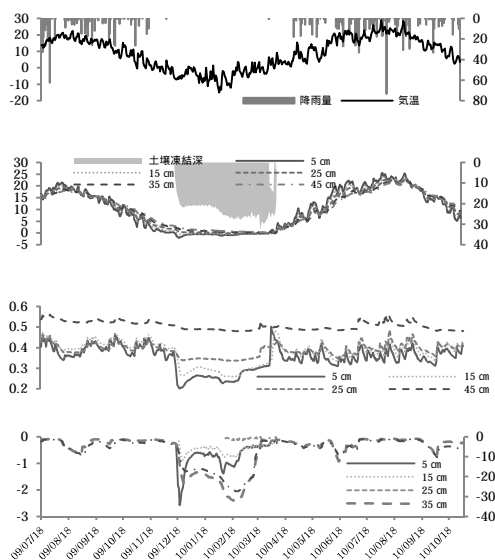


図2 野外観測結果

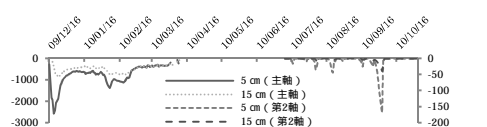


図3 深さ5、15 cmの冬季と夏季のマトリックポテンシャルの比較

た。凍結期の凍土層下層のマトリックポテンシャルは未凍結期に比べて値は小さくなり、乾燥していた。凍結期の不凍水のマトリックポテンシャルは同時期の凍土層下層より小さい値を示し、凍結期では主に上向きに水分移動をしていた。また、深さ5、15 cmにおける冬季のマトリックポテンシャルは夏季と比べ、はるかに小さい値を示した(図3)。

引用文献:

Hirota et al, (2006): JMSA, 84, 821-833, Iwata and Hirota (2005): Hydrol. Process, 19, 3013-3019., Iwata et al. (2008): Vadose Zone J., 7, 79-86., McCarthy et al. (2001): The Third Assessment Report of the IPCC. 1032 pp., Mizoguchi, M. (1993): Bull. Fac. Bioresources., Mie Univ., 10, 175-182., 奈良部・関口 (2005): 北日本病虫研報, 56, 178-181., Spaans and Baker (1996): Soil Sci. Soc. Am. J., 60, 13-19., Suzuki (2004a): Soil Sci., Plant Nutr., 50, 603-606., Suzuki, (2004b): Soil Sci., Plant Nutr., 50, 1277-1280., 鈴木ら(2002): 農土論集, 218, 97-105., Yanai et al. (2004), Soil Sci. Plant Nutr, 50, 821-829.

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25件)

1. Suzuki, S., Hirota, T., and Iwata, Y. (2011): Experimental study on sample size for laboratory calibration tests of commercial dielectric soil water sensors. Japan Agricultural Research Quarterly, 印刷中(査読付, 2011年5月11日受理).

2. 鈴木伸治・田島淳・真田篤史・渡邊文雄・高橋悟・関山 哲雄 (2011): 熱電対用小型データロガーを用いた地中熱流量および純放射量の測定とエチオピア国中央部での利用, 沙漠研究, 20(4), 201-206. (査読付)

3. Iwata, Y., Hayashi, M., Suzuki, S., Hirota, T., and Hasegawa, S. (2010): Effects of snow cover on soil freezing, water movement, and snowmelt infiltration: A paired plot experiment. Water Resources Research, 46, W09504, DOI:10.1029/2009WR008070. (査読付)

4. Iwata, Y., Hirota, T., Hayashi, M., Suzuki,

S., and Hasegawa, S. (2010): Effects of frozen soil and snow cover on cold-season soil water dynamics in Tokachi, Japan. *Hydrological Processes*, 24, 1755–1765. DOI: 10.1002/hyp.7621. (査読付)

〔学会発表〕(計 10 件)

1. 葛城拓也・鈴木伸治・伊藤博武・高橋悟: 寒冷地農地における凍土層および下層土のマトリックポテンシャルの定量化, 2010 年度土壤物理学大会, 2010 年 10 月 23 日, 鳥取大学.

〔図書〕(計 1 件)

1. 鈴木伸治 (2010): エチオピア中央部の気象および土壌の特性と問題点, 中村好男・豊田裕道編, 食と農と資源, 共立出版, p. 118-129.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 伸治 (SUZUKI Shinji)
東京農業大学・地域環境科学部・講師
研究者番号 : 00459710

(2)研究分担者

無

(3)連携研究者

無