

火山灰土畑における積雪・土壤凍結期間の土壤水分移動

学位論文内容の要旨

1. はじめに

冬期に広範囲に土壤が凍結する十勝地域には、日本の代表的な畑の土壤タイプの一つである火山灰土壤が広く分布する。この土壤は、団粒が発達し、高い間隙率と透水性を有し、保水性が良好な特徴をもつが、土壤が凍結したときの土壤水分移動に関しては、野外における観測事例がほとんどない。硝酸態窒素の地下水汚染の危険性や土壤侵食量の評価、施肥量を決定するための表層土壤に残存する窒素量の推定等を行うためにも、積雪・土壤凍結地帯の農地における冬期の土壤水分移動の推定が必要である。そこで、火山灰土畑における土壤水分移動の実態を解明し、積雪・土壤凍結期間の土壤水分移動の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 冬期の土壤水分移動観測システムの開発と試験区の設定

北海道の十勝地域の中部に位置する北海道農業研究センター芽室研究拠点に観測サイトを設置した。2001～2008 年に自然積雪条件で土壌水分量、下層の土壤水のエネルギー（マトリックポテンシャル）、地温等の通年観測をおこなった。この地域は 10～20 年ほど前には 50 cm 以上の深さまで土壤が凍結したこともあったが、気候変動により近年では最大でも 20 cm 程度までしか土壤が凍結しなくなった。そこで、上記の期間のうち、2005～2008 年は断熱材の役割をする雪を取り除き、土壤凍結深を発達させることで過去の土壤凍結深を再現した試験区を設置し、同様の観測をおこなった。得られたデータを解析し、土壤水分や熱の移動量を評価した。

3. 融雪期以前の土壤水分移動

深さ 50, 60, 70 cm に埋設されたテンシオメータの値から、冬の初めに 40 cm 以上の積雪が生じ、凍結層が存在しないときには、常に鉛直下向きに土壤水分が移動していることが明らかになった。一方、凍結層が存在するときには鉛直上向きに土壤水分が移動し、下層土は乾燥した。

凍結層が存在しても、積雪深が 70 cm を超えると凍結層は融解し始め、融解した水が下層に移動することで地表面からの水分供給がなくても下層土の水分量はゆっくりと増加した。この期間の土壤中の熱の移動を解析した結果、暖候期には表層付近の熱収支を解析する上ではほとんど無視しても問題のない深さ 1 m 以深からの熱の移動が、凍土の融解にとって重要な役割を演じていることが明らかになった。

深さ 40 cm まで土壤が凍結したときには凍結深が 10 cm のときに比べて下層で発生する鉛直上向きの土壤水分の移動量が大きくなることが明らかになった。最大凍結深以深の鉛直上向きの土壤水分の移動量は最大凍結深付近で最も大きく、約 40 mm の水が下層から凍結層へと移動したが、深層ほど水の移動量は小さくなり、深さ 1 m 付近では鉛直上向きの動水勾配が非常に大きいにもかかわらず、乾燥に伴う透水係数の減少により土壤水の鉛直上向きの移動はほとんどなかった。

4. 融雪期の土壤水分移動

融雪水の下層への浸透量は、融雪期直前の土壤凍結深の増加に伴って減少することが明らかになった。融雪前の土壤凍結深が 17 cm 以下の場合には、融雪期のはじめから終わりまで融雪水量とほぼ

同量の水が土壤中に浸透した。土壤凍結深が 40 cm を超えると、特に融雪期のはじめには土壤凍結層の存在により融雪水の浸透量が融雪水量よりも減少した。一方、融雪前の土壤凍結深が 22, 24 cm でも融雪水の下層への浸透量は減少したため、土壤凍結深が 20 cm 前後の場合には、±5 cm 程度のわずかな凍結深の違いにより融雪水の下層浸透量が大きく異なることが明らかになった。

今まで土壤凍結と融雪水の浸透に関する研究がおこなわれた多くの地域では土壤凍結深が 1 m 以上になるため、浸潤前線が凍結層下端に到達する前に消雪日を迎える場合が多い。浸潤前線が凍結層内にある場合には、土壤凍結による液状水量の減少に伴う透水係数の低下が融雪水の浸透を抑制する要因であるといわれている。しかし、試験圃場において 40 cm 程度まで土壤が凍結したときには、浸潤前線が融雪期の早い時期にすでに凍結層下端に到達していた。試験圃場では、凍結層が発達するときに下層から凍結前線に供給された水によって成長したアイスレンズや、融雪期以前に降雨により地表面から供給された水が凍結層で再凍結してできた氷など、凍結層の中の粗大な間隙に存在する氷が間隙の連続性を切断し、土壤水の下層浸透を阻害することで融雪水の浸透量が低下したと考えられる。

5. 冬期の土壤水分移動が農地環境に与える影響

土壤凍結深が浅い場合には、融雪水の浸透により多量の土壤水が深さ 1 m よりも下層に浸透した。観測期間における自然積雪条件の融雪水量は 200 mm 以上であり、年間の同深さにおける下方浸透量 (< 500 mm) の 1/3 以上に相当することから、融雪期に供給される水分量が地下水涵養に与える影響は大きい。

凍結層が発達するときには鉛直上向きの水フラックスが発生し、凍結層が形成されないときには積雪層底面からの融雪水の供給により鉛直下向きの水フラックスが発生するため、最大凍結深が 20 cm のときと凍結層が存在しないときとでは、深さ 20 cm において融雪期以前に約 50 mm の土壤水分移動量の差が生じると考えられた。これは、融雪水量の約 30%に相当するため、凍結層の有無が土壤水分や肥料成分の移動に与える影響は大きいと考えられた。一方、深さ 40 cm まで土壤が凍結しても深さ 1 m 付近では土壤水分の顕著な移動が観測されなかったことから、この深さの肥料成分が土壤凍結の発達によって表層まで移動することは無く、ある程度深くまで溶脱された肥料成分は地下水へと移動すると考えられた。

過去の十勝平野のように土壤凍結深が 40 cm まで発達した場合は、土壤凍結層が融雪水の浸透を抑制し、多量の融雪水が湛水、もしくは表面流出することが明らかになった。試験圃場では傾斜がほとんど無いため、凍結層が発達した場合には融雪水のほとんどが地表面に湛水し、凍結層の融解に伴って下層に浸透したが、傾斜のある農地では多量の融雪水が表面流出したと考えられる。一方、土壤凍結深が浅い現在では、凍結層が存在してもほとんどの年で融雪水の浸透が抑制されることは無かった。土壤凍結層が発達した過去には、平地では一時的に湛水することで農作業の開始時期の遅れが発生し、傾斜地では表面流出が卓越することで土壤侵食や農地から河川への多量の融雪水の流出があったと考えられる。一方、土壤凍結層の形成が弱くなった現在では、融雪水のほとんどが土壤に浸透し、土壤侵食が軽減されるかわりに、肥料成分の深層への溶脱が助長されていることが指摘される。このように、この地域の農地の物質循環が気候変動によって大きく変化したと考えられる。

6. 結論

火山灰土畑において、土壤が凍結したときの土壤水分移動を定量的に評価し、冬期の土壤水分移動が積雪層の厚さに大きく影響されること、年間の物質収支を考える上で冬期の土壤水分移動を無視することができないことを明らかにした。また、十勝のように土壤凍結深が 0~50 cm まで発達する地域では、土壤凍結がより深くまで発達する地域とは融雪水の浸透様式が異なることを示した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	長谷川 周一
副査	教授	長澤 徹明
副査	教授	浦野 愼一
副査	准教授	廣田 知良

学位論文題名

火山灰土畑における積雪・土壌凍結期間の土壌水分移動

本論文は8章からなり、図58、表8、引用文献129を含む131ページの和文論文である。他に参考論文8編が添えられている。

冬期に広範囲に土壌が凍結する十勝地域には、日本の代表的な畑土壌の1つである火山灰土が広く分布する。この土壌は、高い透水性を有し、保水性が良好な特徴をもつが、土壌が凍結したときの土壌水分移動に関しては、野外における観測事例がほとんどない。硝酸態窒素による地下水汚染の危険性や土壌侵食量の評価、施肥量を決定するための表層土壌に残存する窒素量の推定を行うためにも、積雪・土壌凍結地帯の農地における冬期の土壌水分移動の理解が不可欠である。そこで、火山灰土畑における積雪・土壌凍結期間の土壌水分移動の実態を解明し、定量化することを本研究の目的とした。

北海道の十勝地域の中部に位置する北海道農業研究センターの試験圃場に観測サイトを設置した。2001～2008年に自然積雪条件で土壌水分量、下層の土壌水の水ポテンシャル、地温等の通年観測をおこなった。この地域は10～20年ほど前には50 cm以上の深さまで土壌が凍結したこともあったが、気候変動により近年では最大でも20 cm程度までしか土壌が凍結しなくなった。そこで、上記の期間のうち、2005～2008年は断熱材の役割をする雪を取り除き、土壌凍結深を発達させることで過去の土壌凍結深を再現した試験区を設置し、同様の観測をおこなった。得られたデータを解析し、土壌水分や熱の移動量を評価した。

観測の結果、冬の初めに40 cm以上の積雪が生じ、凍結層が存在しないときには、常に鉛直下向きに土壌水分が移動していることが明らかになった。一方、凍結層が発達するときには、土面蒸発が盛んな夏に匹敵する速度で鉛直上向きに土壌水分が移動し、下層土は乾燥した。

凍結層が存在しても、積雪深が70 cmを超えると凍結層は融解し始め、融解

した水が下層に移動することで地表面からの水分供給がなくても下層土の水分量はゆっくりと増加した。この期間の土壌中の熱の移動を解析した結果、暖候期には表層付近の熱収支を解析する上ではほとんど無視しても問題のない深さ1 m 以深からの熱の移動が、凍土の融解にとって重要な役割を演じていることが明らかになった。

融雪開始から積雪がゼロになるまでの期間を示す融雪期の浸透水量は、融雪期直前の土壌凍結深の増加に伴って減少することが明らかになった。融雪前の土壌凍結深が17 cm 以下の場合、融雪水量とほぼ同量の水が土壌中に浸透した。多量の融雪水の浸透により、ほとんどの年で融雪期を含む1ヶ月間の浸透水量は暖候期の200 mm 以上の降雨イベントを含む1ヶ月間の浸透量を上回った。土壌凍結深が40 cm を超えると、特に融雪期のはじめには凍結層の存在により下層への浸透水量が融雪水量よりも減少した。一方、融雪前の土壌凍結深が22、24 cm でも融雪水の下層への浸透水量は減少したため、土壌凍結深が20 cm 前後の場合には、 ± 5 cm 程度のわずかな凍結深の違いにより融雪期の下方浸透が大きく影響を受けることが明らかになった。

過去の十勝平野のように土壌凍結深が40 cm まで発達した場合は、土壌凍結層が融雪水の浸透を抑制し、多量の融雪水が湛水、もしくは表面流出することが明らかになった。試験圃場では傾斜がほとんど無いため、凍結層が発達した場合には融雪水の多くが地表面に湛水し、凍結層の融解に伴って下層に浸透したが、傾斜のある農地では多量の融雪水が表面流出したと考えられる。したがって、土壌凍結層が発達した過去には、平地では一時的に湛水することで農作業の開始時期が遅れ、傾斜地では表面流出が卓越することで土壌侵食が発生し、農地から河川への多量の融雪水が流出したと考えられる。一方、土壌凍結深が浅くなった現在では、融雪水のほぼ全量が土壌に浸透し、土壌侵食等が軽減されるかわりに、肥料成分の下層への溶脱が助長されるようになっている。このように、この地域の農地の物質循環が気候変動によって大きく変化したと考えられる。

以上のように本論文は、積雪・土壌凍結条件下の火山灰土畑における土壌水分移動を定量的に評価し、土壌凍結層の形成により冬期の土壌水分移動が温暖な期間以上に活発であることを明らかにしている。また、融雪水の浸透について、薄い凍結層が存在しても多量の融雪水が浸透すること、土壌凍結深の増加に伴って指数関数的に融雪期の下層への浸透量が減少することを明らかにしており、関連学会においても高く評価されている。よって審査員一同は、岩田幸良が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。