

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25850165

研究課題名(和文)地下水硝酸汚染に対する気候変動影響評価のための土壌窒素循環モデルの開発

研究課題名(英文) Development of Nitrogen transport model for evaluating effects of climate change on nitrate contamination of ground water

研究代表者

坂井 勝 (Sakai, Masaru)

三重大学・生物資源学研究科・講師

研究者番号：70608934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、土壌中の窒素動態・水分・熱移動について、モデル構築とシミュレーション、および室内・現場観測に基づいて明らかにすることを目的としたものである。植生のある地表面における熱収支と窒素・炭素連結モデルを構築し、水分・熱・溶質移動の予測を可能にした。窒素成分移動実験を行い、水分移動にともなう無機態窒素の移動、特にアンモニア態窒素の土への吸着と亜硝酸態・硝酸態窒素への形態変化について明らかにした。畑地における水循環を解明するために、ダイズ栽培圃場試験とポット実験により、植物根の吸水特性と蒸発散について明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The main objective of this study is to estimate the fate of nitrogen and water and heat transports in soils using numerical simulation and experiments. Surface energy balance model at vegetated soil surface was implemented in a simulation software for water, heat, and solute transport. A nitrogen and carbon transport model was also developed. In nitrogen transport experiment, nitrogen transform from NH_4^+ to NO_2^- and NO_3^- , NH_4^+ adsorption to a soil and NO_3^- transport was investigated. Root water uptake was also investigated in a soybean field experiment and pot experiment.

研究分野：土壌物理学

キーワード：数値シミュレーション 水分移動 窒素移動 植物根の吸水

1. 研究開始当初の背景

畑地における過剰施肥の問題の一つとして、硝酸態窒素の下方浸透による地下水汚染が挙げられる。高濃度の硝酸態窒素を含む地下水の摂取は、乳幼児のメトヘモグロビン血症を引き起こす恐れがある。このため、国は1990年に環境基本法に基づく水質環境基準項目に硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の基準値10 mg/Lを設定している。我が国の農業の持続的発展のためには、地下水の水質管理技術や施肥管理技術の確立が重要である。土壌に施与された窒素肥料は、土壌微生物の働きにより様々な形態をとり、有機態窒素(Org-N)は従属栄養細菌の働きでアンモニア態窒素(NH₄-N)となり(無機化)、その後、硝化菌の働きで亜硝酸態窒素(NO₂-N)及び硝酸態窒素(NO₃-N)に形態変化する(硝化)。この形態変化の反応速度は、施用される有機物中の炭素と窒素の比(C/N比)に依存する。そのため、窒素移動と炭素移動は同時に考慮する必要がある。

一方で、硝酸態窒素による地下水汚染は、降雨や灌漑に伴う土中水の下方浸透によって生じる。特にアジアモンスーン地帯に位置する日本では、年間降水量が年間蒸発量よりもはるかに多いため、土壌から地下水へ多くの窒素成分の溶脱が起こり得る。また、土中水に溶脱した窒素成分が硝酸態窒素として地下水に到達するかどうかは、土中水の浸透速度と窒素の形態変化速度によって決まる。窒素の形態変化速度は微生物の活性に依存することから、土壌水分量と地温に大きく影響を受ける。そのため、畑地における窒素循環を解明するためには、炭素循環だけでなく、不飽和土壌中の水分移動、及び熱移動を正しく把握する必要がある。

2. 研究の目的

畑地における水分・窒素移動を予測するには、作物からの蒸散と植物根の吸水について正しく評価する必要がある。そこでまず、1)ダイズを対象とし、圃場試験とポット試験で蒸散と根の吸水、それともなう水分移動について明らかにすることを目的とした。また、2)蒸発過程における水分・窒素成分移動実験を行い、水分移動ともなう無機態窒素の移動、特にアンモニア態窒素の土への吸着と亜硝酸態・硝酸態窒素への形態変化について明らかにする。さらに3)窒素・炭素連結モデルを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

1)ダイズの蒸散・根の吸水を評価する実験は、三重大学附属農場内の圃場で行った。フクユタカ栽培畑において、TDR水分センサーとテンシオメータで各深さの体積含水率と土中水圧力を測定した。また、各気象データ(温湿度、風速、放射量、雨量)の測定を行った。地表面をマルチで覆うことで、地表

面からの蒸発を防ぎ、土中水分量の変化から植物根の総吸水量、つまり蒸散量を求めた。また、前述圃場の土壌を使ったポット栽培を行った。1/2000 aのワグネルポット畑地土壌を充填し、テンシオメータとTDT水分センサーを各深さに設置し、電子天秤で重量変化を測定した。また、定期的に植物根を採取し、根密度分布の測定を行った。測定した水分量変化に対し数値シミュレーションを適用することで、植物根がどの深さでどの速さで吸水するのかを示す吸水強度分布について明らかにした。

2)蒸発過程における水分・窒素成分移動実験では、高さ5cm、内径5cmのリングに畑土を充填し、下層からアンモニア態窒素を含む水で飽和し、その後上端からの蒸発を行った。蒸発過程において各深さのアンモニア態・亜硝酸態・硝酸態窒素の濃度測定を、吸光度計DR6000を用いた。

3)植生のある地表面における熱収支式を、土中水分・熱・溶質移動予測プログラムであるHYDRUS-1Dに組み込んだ。また、生物地球化学反応プログラムPHREEQCを用いて窒素・炭素連結モデルを構築し、HYDRUS-1Dによる水分・熱・溶質移動の予測と結合した(HP1プログラム)。

4. 研究成果

1)ダイズ圃場で測定した気象条件に基づく可能蒸散速度と、測定した土中水分量に基づく実蒸散速度の比較を図1に示す。また、マルチで地表面を被覆した期間について、可能蒸散速度と実蒸散速度の比を図2に示す。実蒸散速度はダイズの生育にともない増加し、可能蒸散に対するその割合は、播種後の0から成熟期には0.6程度まで増加した。畑地における地表面から水分蒸発と根の吸水にともなう植物からの蒸散は、土中の水分動態に大きく影響を与える。そのため、本研究で明らかにした植物体の生長と蒸発・蒸散

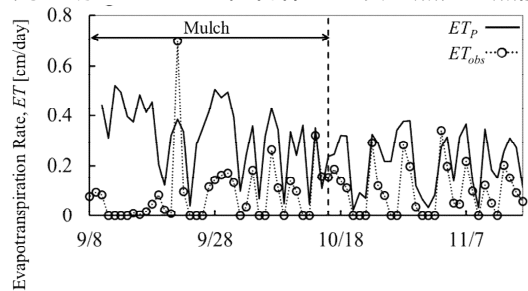


図1 可能蒸散速度と実蒸散速度の比較

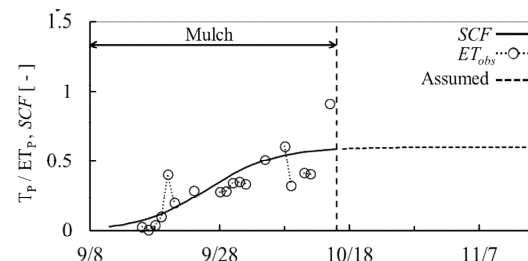


図2 ダイズの生長にともなう表面被覆比の変化

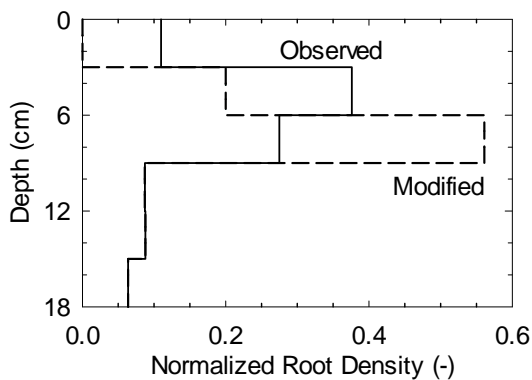


図 3 実測の根密度分布と推定した吸水強度分布の比較

の割合の変化との関係は、水分・窒素循環のシミュレーションを行う際にたいへん重要な知見であると言える。

ポット栽培で得られた実測のダイズ根密度分布と、水分量変化と数値シミュレーションの比較から求めた吸水強度分布の結果を図 3 に示す。これは、根の吸水速度と根の量の分布が異なることを意味し、下層に位置する比較的新しい根が活発に吸水する性質を示している。植物は根の吸水とともに窒素成分を吸収するため、根の吸水速度と深さの関係が明らかにできたことは、畑土中の窒素循環を予測する上で重要な知見である。

2) 窒素成分移動実験において、試料下端からアンモニア態窒素溶液で飽和すると、土壌への吸着により下層にアンモニア態窒素がとどまることが明らかになった。また、その後の蒸発過程においては、可溶態で吸着が小さい硝酸態窒素が水分移動とともに上方へ移動し、地表面付近の濃度が高くなった。亜硝酸態窒素濃度は実験を通して小さいことから、亜硝酸態から硝酸態への変化速度が非常に速いことが明らかになった。土壌中の窒素の形態変化を予測するためには、アンモニア態の吸着定数や各態の分解定数を決定する必要がある。本研究の実験から、これらのパラメータを決定するに資する結果が得られた。

3) 生物地球化学反応プログラム PHREEQC を用いて窒素・炭素連結モデルを構築し、HYDRUS-1D による水分・熱・溶質移動の予測と結合した (HP1 プログラム)。このプログラムでは、有機態窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素の窒素形態変化に加え、植物根の吸水と養分吸収についても表現することができる。また、気象条件に基づいた地表面熱収支を考慮した地表面境界条件を、HYDRUS-1D に実装した。

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 3 件)

Rudiyanto, Toride, N., Sakai, M., van Genuchten, M. Th., Estimating the

unsaturated hydraulic conductivity of Andisols using the evaporation method, 土壌の物理性, No.125, 2013, 3-15.

Rudiyanto, Toride, N., Sakai, M., Simunek, J., A Hysteretic Model of Hydraulic Properties for Dual-Porosity Soils, SSSAJ, Vol.77, 2013, 1182-1188, doi:

10.2136/sssaj2012.0339n

Yang, C., Sakai, M., Jones, S.B., Inverse method for simultaneous determination of soil water flux density and thermal properties with a penta-needle heat pulse probe, Water Resour. Res., Vol.49, 2013, 5851-5864, DOI: 10.1002/wrcr.20459

[学会発表](計 9 件)

Sakai, M., Naruke, C., Toride, N., Determination of root water uptake distribution of soybean based on soil water content changes, ASA, CSSA & SSSA International annual meeting, 平成 26 年 11 月 2 日~5 日, ロングビーチ (アメリカ合衆国)

成毛千尋, 坂井 勝, 取出伸夫, ダイズ根の生長にともなう蒸発散量と水分分布の変化について, 土壌物理学学会, 平成 26 年 10 月 25 日~26 日, 宮城大学 (宮城県仙台市)

岡橋卓朗, 坂井 勝, 取出伸夫, ダイズ畑の土中水分変化から推定した根の吸水特性, 土壌物理学学会, 平成 26 年 10 月 25 日~26 日, 宮城大学 (宮城県仙台市)

坂井 勝, 成毛千尋, 取出伸夫, 土中水分変化から推定したダイズ根の吸水速度分布について, 農業農村工学会大会講演会 平成 26 年 8 月 26 日~28 日, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市)

Sakai, M., Jones, S.B., Application of Penta-needle heat pulse probe for variably saturated water flux estimation, 20th World congress of soil science, 平成 26 年 6 月 8 日~13 日, 済州島 (韓国)

Sakai, M., Kondo, N., Jones, S.B., Estimation of water flux in Andisol with a Penta-needle heat pulse probe, Japan Geoscience Union Meeting 2014, 平成 26 年 4 月 28 日~5 月 2 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

Rudiyanto, Toride, N., Sakai, M., van Genuchten, M. Th., Estimating the unsaturated hydraulic conductivity of aggregated andisols using the evaporation method, 土壌水分ワークショップ 平成 25 年 12 月 21 日 東京工業大学 (東京都田町)

坂井 勝, 古田侑資, 近藤菜穂, 熱パルスセンサーを用いた飽和・不飽和水分フ

ラックスの推定，土壤物理学大会 平成 25 年 10 月 26 日 福島大学（福島県福島市）
三木真隆，坂井 勝，取出伸夫，数値計算によるスーダングラス畑の土中水分移動と蒸発散の評価，土壤肥料学会 2013 年度大会 平成 25 年 9 月 11 日～13 日 名古屋大学（愛知県名古屋市）

6．研究組織

(1)研究代表者

坂井 勝（SAKAI, Masaru）
三重大学・大学院生物資源学研究科・講師
研究者番号：70608934

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし