

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月14日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22780218

研究課題名（和文） 不飽和水理特性三次元トモグラフィの作成

研究課題名（英文） 3-dimensional tomography of unsaturated hydraulic properties

研究代表者

齋藤 広隆 (SAITO HIROTAKA)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授

研究者番号：70447514

研究成果の概要（和文）：

本研究では、非破壊で計測した土中水分量の時間変化から、土中水分移動に関するパラメータの分布を求めることを目的としている。そこで、1) 地中レーダという資源探査で用いられる地盤の非破壊計測技術を使って、地表面から非破壊で土中水分量の変化の可視化し、2) 非破壊計測により得られた水分量変化データを最もよく再現する水分移動パラメータを求める技術を開発した。適用事例として、土槽を用いた室内実験と、東京農工大学栄町実験圃場にて地表面の水分量の変化を定期的に計測し、その変化を再現する透水係数分布を求める圃場実験を行った。

研究成果の概要（英文）：

The main objective of this study was to estimate the spatial distribution of soil hydraulic parameters from changes in soil moisture content collected from a non-destructive method. In this study, surface ground penetrating radar (GPR), a non-destructive geophysical method often used in natural resource exploration, was used 1) for visualizing unsaturated water flow, and 2) for estimating the spatial distribution of soil hydraulic properties that reproduce measured moisture content dynamics well. In this study, a lab experiment was conducted using a large lysimeter and a field study was conducted at Sakae-cho experimental field in Tokyo University of Agriculture and Technology to obtain the spatial distribution of hydraulic conductivity for the surface soil from observed moisture content data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

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：土壌物理

1. 研究開始当初の背景

畑地での最適な灌漑計画を提案し、降雨や

浸透流が原因の土砂災害や水利土壌構造物の崩壊を予測あるいは防止し、土壌汚染地を

適切に修復し管理するためには、対象とする現場での不飽和水分移動の正確な予測が不可欠である。この不飽和土中の水分移動を特徴付けるもっとも大事な土の物性は、不飽和透水係数と水分保持曲線であり、ここでは総称して『不飽和水理特性』とよぶ。これまで、多くの研究資源が、新しい計測技術を用いた様々な不飽和水理特性の測定、あるいはモデルシミュレーション技術の開発などに費やされ、結果として、実験室レベルの不飽和土中の水分移動では、実測値と理論計算値はかなりの精度で一致するようになっている。しかし一旦実験室から圃場など現場に出ると、不飽和水理特性の空間的な「ばらつき」により、例えば水が流れやすいところだけ流れる「選択流」が発生するなど、現象をシミュレーションによって再現することが難しくなる。この不飽和水理特性のばらつきに関する問題は、土壌物理に残された重要課題の一つであり、不飽和水理特性の三次元的空間分布を迅速にかつ精度良く求めるための手法の開発が求められている。

2. 研究の目的

不飽和土中の水・化学物質の移動は、移動に関するパラメータ（不飽和水理特性とよぶ）により特徴付けられるが、現場では、これらパラメータ値は空間的にばらつくことが知られている。現場での物質移動予測には、土中物質移動特性の三次元内部構造を知るために、三次元トモグラフィの作成が不可欠である。本研究の主な目的は、不飽和水理特性のトモグラフィを求めるための手法を確立することである。具体的には、1) 不飽和浸潤過程を物理探査技術および土壌物理手法を用いて直接観察・測定し、浸潤過程を可視化する、2) 現場での土中水分変化を求め、その変化を最もよく再現するパラメータの空間分布を求めることである。

3. 研究の方法

(1) 不飽和浸潤過程の物理探査技術を用いた可視化については、75 cm×120 cm×60 cm (Fig. 1) の土槽に川砂を充填して実験を行った。実験では表層下 23 cm に給水用の給水パイプを設置し、一定水圧の 5 cm で 60 分の給水を行い、浸潤過程および給水を止めた後の再配分過程を中心周波数 1000 MHz の地表型地中レーダのアンテナ間隔を 0.15 m で固定して土槽中心に設置した測線上で観察した。そしてアンテナオフセットを一定として得られたプロファイルデータのレーダ波形から、浸潤前線等までの電磁波伝播速度を求め、土中の比誘電率分布を求めた。比誘電率は、土の体積含水率と 1 対 1 の関係があり、経験式より比誘電率から体積含水率を求めた。

また、実験データの比較のために、土中水分・塩分移動シミュレーションプログラム HYDRUS による水分移動計算と、土中電磁波伝播シミュレーションプログラム GPRMax による電磁パルス波伝播計算の結果との比較を行った。

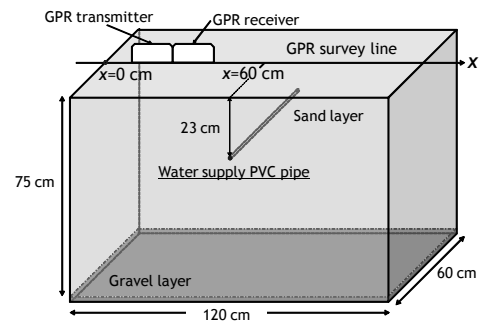


Fig. 1: 実験土槽模式図

(2) 現場での水分移動特性の空間分布を求めるためには、東京農工大学栄町実験圃場内に設置した4 m×10 mの裸地フィールドにて、土中水分の時間変化について地表型地中レーダを用いて測定した。測定は10本の0.4 m×10 mの測線上で、0.4 mごとに計250地点を行った。まずレーダ波形の測定データのうち、電磁波伝播距離がわかる直達波に着目し、表層土の比誘電率から地表面体積含水率を求めた。その後、各測定地点にて土中水分移動シミュレーションプログラムを用いて、降雨を境界条件として、表層体積含水率の時間変化を最もよく再現する不飽和水理特性を各測定地点で求めた。ここでは、中心周波数が250 MHzの地表型地中レーダのアンテナ間隔を0.4 mで固定して測定した。

4. 研究成果

(1) Fig. 2は土槽内給水パイプからの給水過程および再配分過程の地中レーダを用いて測定したプロファイルデータを示す。本実験では、地表面下20cmに設置した塩ビパイプに開けた給水孔より一定の水圧5cmをかけて一時間給水し、給水中ならびに実験開始後24時間経過するまで、任意の時間に塩ビパイプの給水孔の真上を横切る測線上で地中レーダのプロファイル測定を行った。水分供給前の地中レーダプロファイルデータと水分供給後のプロファイルデータとの比較より、塩ビパイプからの明瞭な反射波に加え、給水孔の周囲に形成された湿潤領域の下端と上端から明瞭な反射波が確認された。この上下端からの反射波が時間とともに移動する様子から、湿潤領域の広がりを得ることができた。また、横方向の広がりについても、土槽下端からの反射波に遅れが生じる領域として捉

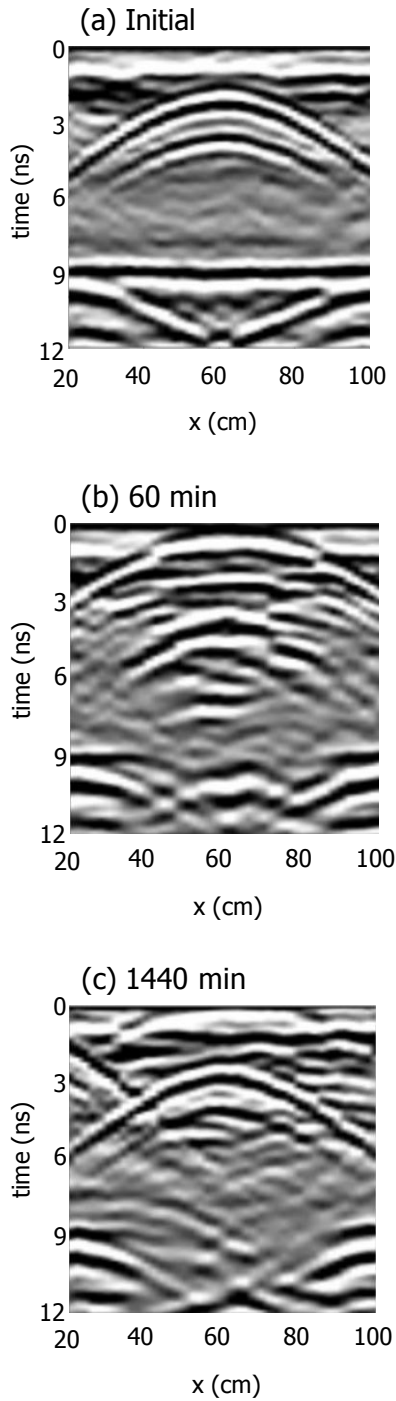


Fig. 2: 実験開始後 (a) 0 分, (b) 60 分, (c) 1440 分経過時の GPR プロファイルデータ

ることができた。

Fig. 3 に給水過程と再分布過程に計測した GPR プロファイルデータから求めた測線中心における鉛直方向体積含水率分布の時間変化を示す。初期分布と最終分布 (1440 分後) については、体積含水率を実測した。Fig. 3 に示すように、GPR を用いて非破壊で不飽和水分移動に伴う湿潤領域の変化、つまり土中体積含水率変化を可視化することができた。

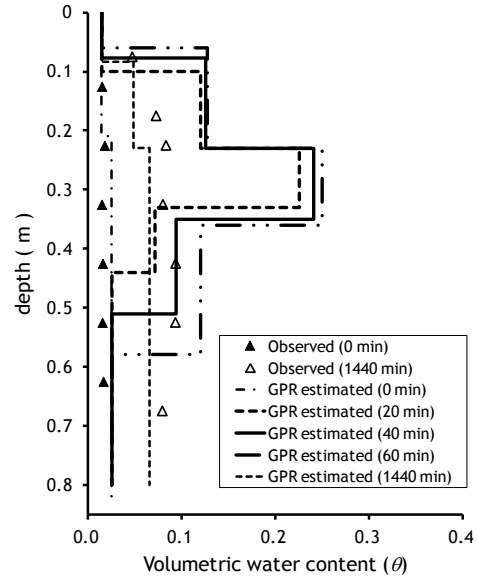


Fig. 3: GPR プロファイルデータから求められた体積含水率分布の時間変化

(2) 東京農工大学栄町圃場の地表面水分分布の時間変化データは、82 日間に計 22 回測定して得られたものである。測定は 10 m × 4 m の裸地に幅 0.4 m の測線を 10 本設置し、測線上をアンテナステップ距離 (サンプリング間隔) を 0.4 m として行った。各測定地点で、地表波の伝播時間から地表波速度を求め、光速との比より地表面比誘電率が得られた。比誘電率からは、実験サイトのローム質土に適した比誘電率と体積含水率の関係を示した経験式より、体積含水率を求めた。その結果、各測定時に、体積含水率の二次元面的な分布を求めることができ、結果として 22 回分の面的な分布を得ることができた。

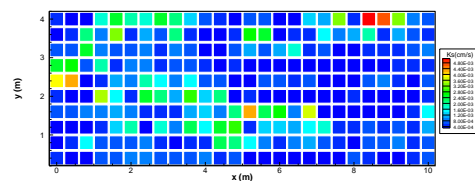


Fig. 4: GPR より求められた地表面体積含水率分布の時間変化から推定した、栄町圃場での透水係数の 2 次元分布。

そこで、各測定地点で鉛直一次元の水分移動を仮定し、汎用土中水分・溶質・熱移動シミュレーションプログラム HYDRUS を用いて逆解析を行った。その際に、降雨を上部境界条件、下部境界条件は自然排水境界条件として、GPR より求められた地表面体積含水率をもっともよく再現する不飽和水分移動パラメー

タ（透水係数など）を求めた。Fig. 4に示すようにすべての測定地点で逆解析を行うことで、不飽和水分移動の空間分布が得られた。このような不飽和水分移動パラメータの空間分布（トモグラフィ）を得ることは、土壌試料のサンプリングを基本とする方法では難しく、本研究のように比較的短時間で面的、立体的なデータ取得を行うことで可能となる。

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2件）

- ① Saito, H., Kitahara, M., Analysis of Changes in Soil Water Content under Subsurface Drip Irrigation Using Ground Penetrating Radar, 沙漠研究, 査読有, 印刷中
- ② Pallavi, B., Saito, H., Kato, M., On Mapping Surface Moisture Content of Japanese Andisol Using GPR, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, 査読有, 4, 2011, 804-808, DOI: 10.1109/JSTARS.2011.2165939

〔学会発表〕（計3件）

- ① 北原雅俊, 齋藤広隆, 地中レーダを用いた地下灌漑における土中水分動態解析, 2010年度土壌物理学会大会, 平成23年10月23日, 鳥取大学農学部
- ② Kitahara, M., Saito, H., Analysis of changes in soil water content under subsurface irrigation using ground penetrating radar, 1st International Conference on Arid Land, H23.5.24, ホテル東横イン成田空港
- ③ Kitahara, M., Saito, H., Non-destructive measurement of soil water content under sub-surface irrigation using ground penetrating radar, Japan Geoscience Union Meeting 2011, H23.5.7, 幕張メッセ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 広隆 (SAITO HIROTAKA)
東京農工大学・大学院農学研院・准教授
研究者番号：70447514

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし