

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292145

研究課題名(和文) 塩害農地のファイトレメディエーションに対する土壌物理学的展開に関する研究

研究課題名(英文) Soil physical analysis on the effect of phytoremediation for desalinization about beat and sunflower at the salinized field in the arid region of China

研究代表者

長 裕幸 (HIROYUKI, CHO)

佐賀大学・農学部・教授

研究者番号：90136599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、塩害農地の除塩として有効な手段であるファイトレメディエーションに対して、ヒマワリとビートについて、中国甘粛省の乾燥地塩害圃場において、栽培実験を実施し、気象観測および土壌内水分・塩分の自動モニタリングを行うことによって、まず、作土層に形成される根分布の実測より、根の吸水量を考慮した水分移動解析を行った。その際、各根分布に対し、異なる水分保持特性の土層をそれぞれ設定することにより、実測値をうまく再現することができた。また、灌漑水、肥料、地下水のイオン組成を分析し、土壌水分・ECの計測値から土壌溶液の当量濃度を推定することで、ファイトレメディエーションの効果について検討した。

研究成果の概要(英文)：The effect of phytoremediation for desalinization about beat and sunflower was investigated at the salinized field in the arid region of China. Monitoring system of weather, soil water content, soil electrical conductivity and ground water level was set at the field and the data was collected. Moreover, root distributions were observed by sampling plants.

As a result of analysis, it is clear that the accuracy of the numerical simulation with soil water movement in the field was increased by using soil water retention curve modified by considering root distribution and textural change. As a solute transportation, soil water equivalent concentration could be estimated by simulated values of water content and electrical conductivity using chemical components values of irrigation water, groundwater and fertilizer analyzed by sampling material.

研究分野：土壌物理学

キーワード：土壌物理 ファイトレメディエーション 水分移動 溶質移動 TDR TDT HYDRUS1D ビート

1. 研究開始当初の背景

塩害の基本的な解決法は淡水によるリーチングであるが、排水の基盤整備が必要とされ、政治的判断に依存する。それに対し、対蹠的ではあるが、学問的にも応用範囲の広い解決手法として、植物を用いたファイトレメディエーションの技術があり、従来、植物生理学、栽培学の分野で研究が進められてきた。しかし、この技術を塩害農地に対して広域に展開し、そのアセスメントを行うためには、地域の水分収支や気象因子を考慮した効果の予測が必要となってくる。これは、ファイトレメディエーションの技術に対する、土壤物理学的な展開の必要性を意味しており、「植物の生理的特性を考慮した土壤の水分・塩分同時移動解析」という、現在の世界における土壤科学の先端的な研究テーマと合致している。

2. 研究の目的

本研究では、塩害農地の除塩として有効な手段であるファイトレメディエーションに対して、ヒマワリとビートについて、中国甘粛省の乾燥地塩害圃場において、栽培実験を実施し、気象観測および土壌内水分・塩分の自動モニタリングを行うことによって、まず、作土層に形成される根分布の実測より、根の吸水量を考慮した水分移動解析を行う。その際、各根分布に対し、異なる水分保持特性の土層をそれぞれ設定し、実測値を再現する。また、灌漑水、肥料、地下水のイオン組成を分析し、土壌水分・EC の計測値から土壤溶液の当量濃度を推定することで、ファイトレメディエーションの効果について検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 土壌水分の移動

圃場における土中水分の移動では、作土層に形成される根分布により、根の吸水量を考慮した水分移動解析が行われる。しかし、根の伸長や吸水は土壤構造を変化させるために、根域における土壤の水分保持特性や透水性に影響を及ぼすと推察される。本研究では、鉛直方向に均質な土性をもつ中国乾燥地の畑地圃場において、ヒマワリとビートを栽培し、栽培区における土中水分移動観測を実施する。作物の根域には、根分布をもとに異なる水分保持特性の土層をそれぞれ設定し、水分移動解析を行うことにより、植物根が及ぼす土中水分移動への影響を検証する。

(2) 土壌溶液イオンの移動

圃場内にビート、ヒマワリの栽培区を設置し、2014年4月から栽培を開始した。管理は圃場の所有者に委任した。月に一度黄河から取水して灌漑が行われたが、灌漑方式は水盆灌漑であり、灌漑時に5~10 cmの湛水が確認された。灌漑水を圃場に隣接した水路で採取し、イオンクロマトグラフにかけて、イオン組成を明らかにした。灌漑と同時に施肥も

行われ、施肥は3種類の肥料を組み合わせ、1畝(約66670 m²)当たり10 kg 施工した。3種類の肥料をそれぞれ質量比1000倍の蒸留水に溶かし、イオン組成を分析した。地下水は年間を通して地表面から深さ1 m程度の位置に存在し、過去の調査ではECは年間を通して5~6 dSm⁻¹の値を取った。

また、土中溶液塩分濃度については、次の簡易モデルで推定した。

$$C = 10EC_w$$

ここで、 C は当量濃度、 EC_w は土壌溶液電気伝導度である。 EC_w はRhoadesらのモデルを適用し推定した。

4. 研究成果

(1) 土壌水分の移動

根域の決定

根域は地表面を上端とし、下端を別途実施した栽培試験の結果から決定した。ヒマワリは深さ15 cmまで、ビートは深さ50 cmまでの領域で根の相対乾物重の80%以上が分布した(Fig.1)。そこでこの深度を境界とし、黄土層のみの土層を根域層と黄土層の2つの層にわけた(Fig.2)。

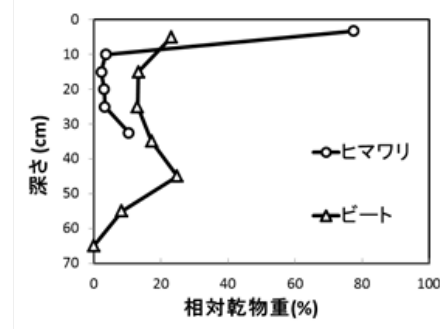


Fig.1 圃場における根分布

水分移動解析

水分移動解析は、HYDRUS-1D を利用した鉛直一次元で行った。水分特性モデルは Van Genuchten モデルを適用した。

地表面から深さ200 cmを解析の対象とし、地表面から根域層、黄土層、砂質層を分布させた。各土層の水分特性および透水係数を、黄土層は室内実験から、砂質層は土性と乾燥密度から推定し、根域層は逆解析によるパラメータフィッティングを行った。初期水分分布は、実測値をもとに与えた。境界条件として、上端境界に降雨、土壌面蒸発フラックスを、下端境界に地下水位を与えた。蒸散フラックスを土中の吸引項として与えた。蒸発・蒸散フラックスは、FAO Penman-Monteith 式と FAO Dual crop coefficient 法を適用し、気象観測データから計算して与えた。実測値を基にパラメータフィッティングを行い、その検証方法として解析値と実測値間の RMSE で評価を実施した。

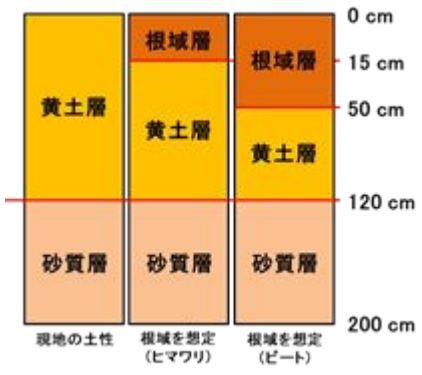


Fig. 2 根域層を考慮した計算領域

結果と考察

Fig. 3 にヒマワリの根域層を考慮しない場合の土中水分移動の解析結果と実測値を示す。その結果、深さ 5 cm における解析値は実測値に対し過大評価している。そこで、Fig. 4 に根域層を考慮して解析した結果を示す。その結果、深さ 5 cm における実測値と解析値はよく一致した。実測値と解析値の RMSE は、根域の考慮の有無により、 $0.068 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ と $0.036 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ となり、根域層を考慮した場合により良い一致が見られた。同様に、根域層を考慮してビートの解析を行った結果を Fig. 5 に示す。RMSE は $0.043 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ と良好な結果を示した。

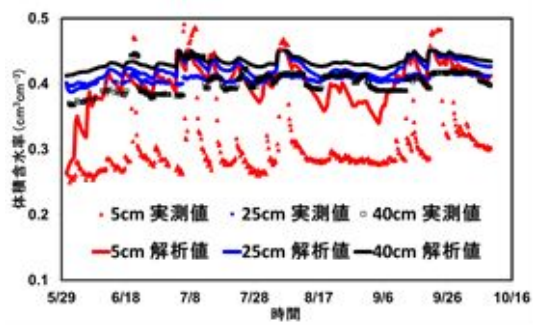


Fig. 3 解析結果 (根域層なし)

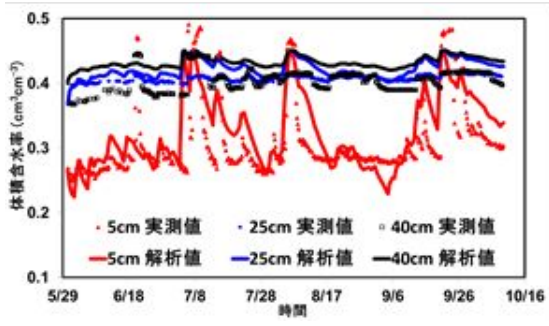


Fig. 4 解析結果 (根域層を導入)

(2) 土壌溶液イオンの移動

Fig. 5 にビート栽培区において TDT センサで計測された θ , EC_b 値と、それらの値から推定した EC_w , C 値を示す。深さ 5 cm, 15 cm において顕著にみられる EC_w 値, C 値の上昇は、降雨・灌漑の直後に生じていることから、すでに土壌表層に集積していた塩類が溶出し

ていることが明らかになった。

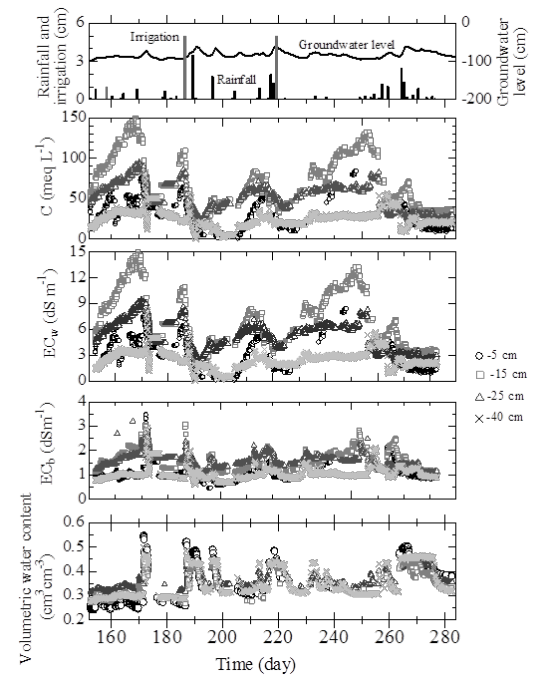


Fig. 5 ビート栽培区における θ , EC_b , EC_w , C 及び地下水位の経時変化と降雨・灌漑量

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 12 件)

Estimating properties of unconsolidated sand-clay from spectral-induced polarization, M.A.Mojid, H.Cho, H.Miyamoto, Journal of Agricultural Science and Practice. Volume 1: 23-39, 査読有 2016.

Evapotranspiration integrated model for analysis of soil salinization affected by root selective absorption, R.Nomiyama, D.Yasutake, H.Cho (9 名中 6 番目), Environ. Cont. Biol. 53(4),199-204, 査読有 2015, DOI:10.2525/ecb.53.199

Optimal choice of soil hydraulic parameters for simulating the unsaturated flow: a case study on the island of Miyakojima, Japan. K.Okamoto, K.Sakai, H.Cho, (6 名中 4 番目), Water, 査読有, 7, 5676-5688, 2015

Night-time leaf wetting process and its effect on the morning humidity gradient as a driving force of transpirational water loss in a semi-arid cornfield. D.Yasutake, M.Mori, H.Cho, (11 名中 8 番目), Biologia, 70/11, 1485-1489 査読有, 2015

Influences of a bulk density for hydraulic conductivity and water retention curve of Shimajiri maji soil, and examination of PTFs' applicability.

K.Okamoto, K.Sakai, H.Cho, (5名中3番目), I.Rainwater Catchment Syst., 査読有, 21, 1-6, 2015.

重粘土の含水比・間隙比の同時計測に対する時間領域透過法の適用, 上村将彰, 吉田莉恵, 宮本英揮, 佐賀大学農学部彙報, 101: 13 - 23, 2016.

I.Tokumoto, K.Chiba, M.Mizoguchi, H.Miyamoto, Investigation of rootzone salinity with field monitoring system at tsunami affected rice fields in Miyagi, Japan, SOIL Discussions. doi:10.5194/soil-2016-12, 2016. 3.

土壌水分・電気伝導度の同時計測への時間領域透過法の適用, 宮本英揮, 伊藤直樹, 間瀬 淳, 徳本家康, 筑紫二郎, 農業農村工学会論文集, 288: 513 - 519, 2013.(査読有り)

時間領域透過法(TDT)を利用した重粘土の含水比・間隙比のモニタリング, 宮本英揮, 上村将彰, 2013土壌水分ワークショップ論文集, 43 - 48, 2013.(査読無し)

Instantaneous Flooding and α -Tocopherol Content in Tuberos Roots of Sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), T.Eguchi, Y.Ito, Yoshida, S., Environmental Control in Biology 53(1) 13-16, 査読有, 2015

Impacts of regional warming on long-term hypolimnetic anoxia and dissolved oxygen concentration in a deep lake., Y.Ito, K.Momii, Hydrological Processes, 29(9), 2232-2242, 査読有, 2015

パッチ状の水路補修が開水路の通水性に関する水理機能に及ぼす影響評価
藤山宗, 樽屋啓之, 中田達, 嶺田拓也, 伊藤祐二, 初井和朗
農業農村工学会論文集 297 35-41 査読有 2015

[学会発表](計 42件)

農業用水路における漸縮係数に関する実験研究

藤山宗, 樽屋啓之, 中田達, 浪平篤, 伊藤祐二, 初井和朗, 酒井一人

平成27年度(第60回)水工学講演会@仙台

2016年3月14日

中国乾燥地畑地圃場におけるファイトレメディエーションの効果と課題., 田川堅太・長裕幸・徳本家康・中村亮・王維真., 2015年土壤物理学大会, 佐賀, 2015年10月24日

ヒマワリとビートの根域の影響を考慮した土中水分移動解析., 中村亮・長裕幸・田川堅太・徳本家康・王維真., 2015年土壤物理学大会, 佐賀, 2015年10月24日

Air irrigation effects of leaf wetting on crop water relations and photosynthesis I. A hypothesis of air irrigation effects, M. Kitano, D. Yasutake, M.Nonoshita, S. Yoshizawa, Y. Miyoshi, M. Mori, H.Cho, K. Tagawa, Y. Wu, W. Wang, International symposium of agricultural meteorology 2015., つくば市, 2015年3月16日

重粘土の土壌水分モニタリングに対する時間領域透過法の適用, 上村将彰, 吉田莉恵, 宮本英揮, 日本生物環境工学会, 宮崎市, 2015. 9. 9.

デジタル TDT センサーを用いた土中溶液の EC 計測, 松本 薫, 牧野弘樹, 平嶋雄太, 宮本英揮, 日本生物環境工学会, 宮崎市, 2015. 9. 9.

サーモモジュールを利用した地中熱フラックスの測定, 平嶋雄太, 松本 薫, 宮本英揮, 日本生物環境工学会, 宮崎市, 2015. 9. 9.

時間領域透過法を利用した豊浦砂の水分計測, 上村将彰, 登尾浩助, 宮本英揮, 土壤物理学, 佐賀市, 2015. 10. 24.

時間領域透過法を利用した豊浦砂の電気伝導度計測, 上村将彰, 登尾浩助, 宮本英揮, 土壤物理学, 佐賀市, 2015. 10. 24.

COSMOS を利用した粘質土の土壌水分観測, 平嶋雄太, 牧野弘樹, 宮本英揮, 土壤物理学, 佐賀市, 2015. 10. 24.

Arduino と XBee を用いた土壌水分センサーネットワークの検討, 國崎恒成, 近藤一輝, 大塩悠貴, 野口卓朗, 中島正寛, 萩島真澄, 堀田孝之, 徳本家康, 宮本英揮, 石川洋平, 土壤物理学, 佐賀市, 2015. 10. 24.

サーモモジュールを利用した実蒸発散量の推定, 松本 薫, 平嶋雄太, 伊藤祐二,

宮本英揮, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.

宮城県の津波被災農地の潮受け水路による除塩シミュレーション, 徳本家康, 宮本英揮, 千葉克己, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.

実践 TDT 活用法, 宮本英揮, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.

Thermal responses to regional changes in climate and water clarity in Lake Ikeda, Japan, Ito, Y., Ando, J., Momii, K., HydroEco2015, Vienna, Austria. 2015年4月13日

湖の熱環境に影響を及ぼす地域的環境要因, 村田龍星, 伊藤祐二, 初井和朗 平成 27 年度 農業農村工学会九州沖縄支部講演会@那覇 2015年10月28日

トウモロコシ生育条件化における土壤水分・塩分の鉛直分布特性, 田川堅太, 長裕幸, 柳澤晴彦, 北野雅治, 2014年農業農村工学会大会講演会, 岡山, 2014年9月2日

中国乾燥地圃場における根域の影響を考慮した土壤水分移動解析, 中村亮, 長裕幸, 田川堅太, 王維真, 2014年農業農村工学会大会講演会, 岡山, 2014年9月2日

Simulation of soil salinization affected by absorptive function of crop roots, Nomiyama R., Yasutake D., Mori M., Tagawa K., Cho H., Marui A., Wang W., Kitano M., 3rd Biohydrology Conference, Germany, 2014年6月

②①中国塩類化圃場における作物と作土層へのNa⁺集積, 田川堅太, 長裕幸, 北野雅治, 王維真 土壤物理学会大会, 宮城大, 2014年10月

②②TDT センサーによる高水分・高塩分測定の評価 -津波被災農地への適用と課題-, 永野一輝, 徳本家康, 千葉克己, 長裕幸, 土壤物理学会大会, 宮城大, 2014年10月25日

②③地下水中の分散係数の推定に関する実験的研究, 森一晃, 初井和朗, 伊藤祐二, 平成 26 年度 農業農村工学会九州支部講演会・佐賀 2014年10月29日

②④池田湖の温暖化と熱特性の変化, 伊藤祐二, 織田翔平, 初井和朗, 平成 26 年度 水文・水資源学会・宮崎 2014年9月

②⑤有明海奥部と諫早湾の水質および植物プランクトンの比較, 片野俊也, 吉野健児, 伊藤祐二, 濱田孝治, 速水祐一, 平成 26 年度 日本海洋学会(秋季大会)・長崎 2014年9月

②⑥Chattonella marina と Akashiwo sanguinea は競合していないのか?, 片野俊也, 吉野健児, 伊藤祐二, 速水祐一, 平成 26 年度 日本プランクトン学会・ベントス学会合同大会・広島 2014年9月

②⑦砂とクロボクの土壤水分計測に対する TDT・TDR・静電容量法の有効性の比較, 伊藤祐二, 石橋恭平, 初井和朗, 平成 26 年度 農業農村工学会・岡山 2014年9月2日

②⑧トウモロコシ生育条件下における土壤水分・塩分の鉛直分布特性, 田川堅太, 長裕幸, 柳澤晴彦, 北野雅治, 農業農村工学会大会講演会, 東京, 2013年9月4日

②⑨乾燥地塩類集積土壌における耐塩性作物の栽培と土壤水分・塩分モニタリング, 高橋翔平, 田川堅太, 長裕幸, 北野雅治, 王維真, 農業農村工学会大会講演会, 東京, 2013年9月4日

③⑩大型多線式 TDR プローブを用いた面的土壤水分計測, 永野一輝, 長裕幸, 児玉大輔, 田川堅太, 藤巻晴行, 農業農村工学会大会講演会, 東京, 2013年9月4日

③⑪乾燥地塩類集積土壌における耐塩性作物栽培による除塩, 高橋翔平, 木下佳美, 長裕幸, 御領原雄太, 北野雅治, 土壤物理学会大会, 福島, 2013年10月26日

③⑫ビート栽培カラムにおける土壤水分・塩分の鉛直分布特性, 田川堅太, 高橋翔平, 永野一輝, 長裕幸, 北野雅治, 土壤物理学会大会, 福島, 2013年10月26日

③⑬蒸発法によるヤシ殻資材の透水性および保水性の推定, 上田哲大, 吉田 敏, 宮本英揮, 日本生物環境工学会, 高松市, 2013. 9. 2 - 2013. 9. 5

③⑭時間領域透過法で計測した乾燥過程における珪の比誘電率特性, 安永円理子, 宮本英揮, 上田哲大, 日本生物環境工学会, 高松市, 2013. 9. 2 - 2013. 9. 5

③⑮時間領域透過法(TDT)による土壤電気伝導度計測の高精度化, 平嶋雄太, 上村将彰, 宮本英揮, 日本生物環境工学会, 高松市, 2013. 9. 2 - 2013. 9. 5

③⑯時間領域透過法(TDT)による土壤水分・電

気伝導度計測, 上村将彰, 宮本英揮, 日本生物環境工学会, 高松市, 2013. 9. 2 - 2013. 9. 5

③⑦有明海奥部干潟域における TDR 法を用いた干潟底泥の堆積量の推定, 石谷哲寛, 郡山益実, 宮本英揮, 農業農村工学会大会講演会, 東京, 2013. 9. 4

③⑧TDT による砂のバルク EC 計測, 平嶋雄太, 上村将彰, 宮本英揮, 土壤物理学学会, 福島市, 2013. 10. 26 - 2013. 10. 27

③⑨粘土スラリーの含水比・EC・間隙比の同時計測に対する TDT の適用, 上村将彰, Ty P. A. Ferré, Markus Tuller, 宮本英揮, 土壤物理学学会, 福島市, 2013. 10. 26 - 2013. 10. 27

④⑩TDT による重粘土水田の含水比・間隙比のモニタリング, 上村将彰, 宮本英揮, 土壤物理学学会, 福島市, 2013. 10. 26 - 2013. 10. 27

④⑪ Application of time domain transmissiometry (TDT) to coupled measurements of soil moisture and electrical conductivity, Hideki Miyamoto, Naoki Ito, Atsushi Mase, Ieyasu Tokumoto, Hiroyuki Cho, and Jiro Chikushi, ASA, CSA, &SSSA International Annual Meeting, Tampa, 2013. 11. 2 - 2013. 11. 5.

④⑫時間領域透過法(TDT)を利用した重粘土の含水比・間隙比のモニタリング, 宮本英揮, 上村将彰, 2013 土壤ワークショップ, 東京, 2013. 12. 21.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

長 裕幸(CHO Hiroyuki)
佐賀大学・農学部・教授
研究者番号：90136599

(2)研究分担者

宮本 英揮(MIYAMOTO Hideki)
佐賀大学・農学部・准教授
研究者番号：10423584

伊藤 祐二(ITO Yuji)
鹿児島大学・農学部・准教授
研究者番号：60526911