

土壌環境の将来予測における土壌水理・熱特性推定法の検討

How should we determine soil hydraulic and thermal properties necessary for estimating future soil environment?

○浅野珠里¹, 小島悠揮², 加藤千尋³, 鈴木拓実¹, 神谷浩二²

Juri ASANO, Yuki KOJIMA, Chihiro KATO, Takumi SUZUKI, Kohji KAMIYA

1. はじめに

気候変動によって地温や土壌水分量に変化が生じ、作物の栽培適地変化や土中生物の生態系への影響が懸念されている。気候変動が土壌環境に与える影響を把握することは、持続可能な営農や農作物の長期的な品質の安定、収量の確保の点から重要視されている。

Asano et al. (2023)は、岐阜県平野部と山間部の2地点で気候変動が土壌に与える影響評価を行った。土壌環境の将来予測には土壌特性パラメータが必要であるが、Asano et al. (2023)では実際に採取した土壌を用いて土壌特性値の測定を行い、逆解析で最適化したパラメータを用いて予測計算を行った。しかし、より実用に近く、地域単位での作物栽培方法の改善や品種改良等を計画的に行うためには、気候変動の影響評価を面的に行う必要がある。その際、対象地域を網羅するように多くの地点で土壌特性パラメータが必要になるが、実際に土壌を集めることは困難である。そこで本研究では、Web上で入手可能な土壌情報から土壌特性を推定する手法の土壌水分量および地温の将来予測における有用性を検討することを目的とした。

2. 実験方法

2.1) 試験対象地

試験対象地に、岐阜大学実験圃場（以下岐阜）と岐阜大学流域圏科学研究センター高山試験地（以下高山）を選択した。Asano et al. (2023)ではこの2地点で土壌特性値を測定し、逆解析によって最適化したパラメータで将来予測を行った。

2.2) 土壌情報の入手

農研機構日本土壌インベントリー（以下JSI）から土性、土壌炭素含有量、 $pF=0, 1.5, 2.7$ における体積含水率 θ 、飽和透水係数 K_s の値を得た。土性は、粘質や砂質など大まかな性質とそれぞ

れの性質に該当する砂、シルト、粘土の質量比率（以下%SSC）範囲のみの公開しかされておらず、具体的な%SSC値が示されていない。そのため、各性質の重心の%SSCと保水性に大きく影響を与える粘土分を最小にした上での中心の%SSCの値の2通りの%SSCを抽出した。

2.3) 乾燥密度の推定

乾燥密度はJSIの土壌炭素含有量から推定した（Abdelbaki, 2018）。

2.4) 水理特性パラメータの推定

K_s はJSIで公開されている値と%SSCから水理特性推定ソフトウェアRosettaで算出した2種類を用意した。水分特性曲線（以下WRC）はvan Genuchten (1980)モデルを採用し、JSI上の pF 毎の θ から最適化により決定したパラメータと、%SSCからRosettaで推定したものの2種類を用意した。それぞれの K_s と水分特性曲線を組み合わせることで一次元地中熱・物質移動解析ソフトHYDRUS-1Dを用いて θ とマトリックスポテンシャル ψ を計算し、逆解析パラメータを用いたAsano et al. (2023)の計算結果を真値と仮定し、比較した。

2.5) 熱特性パラメータの推定

JSIから得た%SSCの値を用いて、Campbell (1985)モデルとLu et al. (2014)を用いて熱伝導率を推定した。この2つのモデルはどちらも%SSCからモデルのパラメータを推定する。HYDRUS-1Dの計算上の制約のために、Luモデルはモデル完成後Chung and Horton (1987)モデルにフィッティングしパラメータを抽出した。推定した熱特性パラメータを用いてHYDRUS-1Dで土壌の地温 T を計算し、逆解析パラメータを用いたAsano et al. (2023)の予測結果を真値とし、真値との比較によって最適推定手法を決定した。

2.6) 最適PTFでの将来予測

2.4)、2.5)で決定した最適推定手法で得られた土壌特性パラメータを用いて土壌環境

1. 岐阜大学大学院自然科学技術研究科 Graduate School of Natural Science and Technology, Gifu University

2. 岐阜大学工学部 Faculty of Engineering, Gifu University

3. 弘前大学農学生命科学部 Faculty of Agriculture and Life Sciences, Hirosaki University

キーワード：気候変動, PTF, 土壌水分量, 地温

の将来予測を行った。Asano et al. (2023)が計算した将来予測を真値と仮定し、計算結果を比較した。計算は HYDRUS-1D で行い、 θ 、 ψ 、 T を計算した。日ごとの GCM 気象データを境界条件とし、GCMにはMRI-CGCM3を、温暖化シナリオにはRPC8.6を選択した。計算期間は2012年から2021年を現在、2091年から2100年を将来として計算を行った。

3. 結果と考察

3.1) 水理特性パラメータ

本研究で推定した最適推定手法を表1に示す。水理特性パラメータを推定する最適手法は試験対象地ごとに異なった。岐阜では、 θ 、 ψ の両方の推定において、粘土最小の中心%SSCと乾燥密度を用いてRosettaで推定した K_s とWRCがもっとも真値と適合した。高山では θ と ψ のそれぞれの推定において最適手法が異なったため、本研究では θ が最も合う推定手法を優先することとした。 K_s はJSIで公開されている値、WRCはJSI保水性データから最適化した値が最適となった。

3.2) 熱特性パラメータ

熱特性パラメータを推定するための最適推定手法は両試験地でLuモデルとなった。しかし、Luモデルで使用する%SSCは、岐阜では土壌性質の重心%SSC、高山では粘土分を最小にした場合の%SSCの使用で最適となった。

表1 推定した最適推定手法

パラメータ		最適推定手法
岐阜	K_s	粘土最小%SSCと乾燥密度からRosettaで推定
	WRC	粘土最小%SSCと乾燥密度からRosettaで推定
	熱特性	土性の重心の%SSCからLuモデルで推定
高山	K_s	土壌インベントリーで公開されている K_s 値
	WRC	保水性からフィッティング
	熱特性	粘土最小%SSCからLuモデルで推定

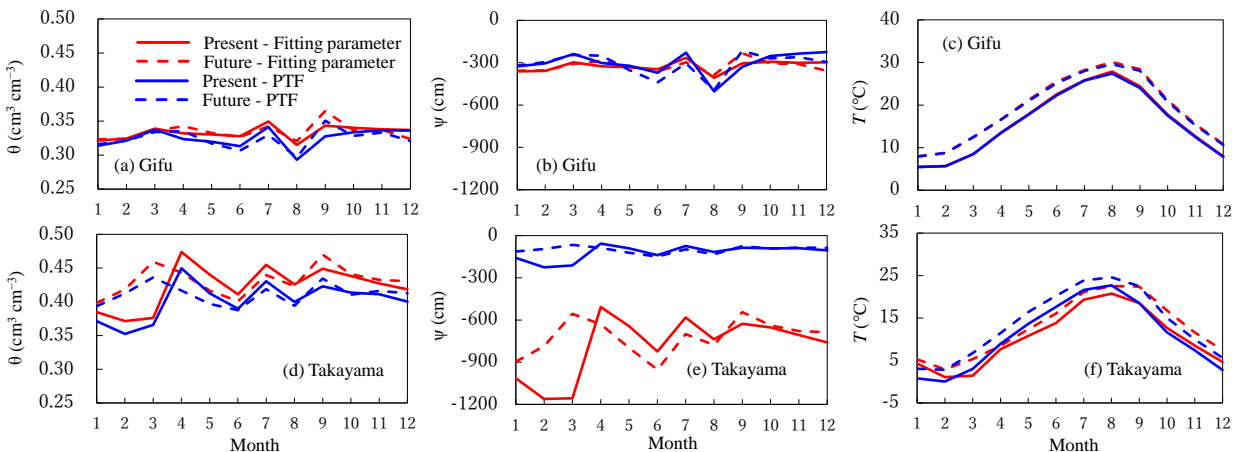


図1 逆解析パラメータと最適PTFパラメータで計算した土壌環境の将来予測。(a) 岐阜の θ 、(b) 岐阜の ψ 、(c) 岐阜の T 、(d) 高山の θ 、(e) 高山の ψ 、(f) 高山の T 。

3.3) 将来予測

3.1)、3.2)で決定した最適推定手法を用いて、 θ 、 ψ 、 T をHYDRUS-1Dで得た。月ごとに平均値を求め、真値と比較した(図1)。

Asano et al. (2023)が推定した将来 θ に対して、今回推定した θ は概ね近い値を示した。両者の差は岐阜で最大 $0.02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 、高山で最大 $0.03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ だった。一方で ψ は岐阜で最大109 cm、高山で最大804 cmの差が生じ、真値との整合性が低かった。 T は岐阜で最大 0.4°C 、高山で最大 4.1°C の差が生じ、岐阜では整合性が高かったが、高山では低くなった。

将来予測値では真値と差が出た一方で、現在から将来の変化量 $\Delta\theta$ 、 $\Delta\psi$ 、 ΔT に着目すると、 $\Delta\theta$ と ΔT はAsano et al. (2023)の計算結果と殆ど差がなかった。 $\Delta\psi$ は、岐阜では同程度だったが、高山の $\Delta\psi$ は最大で452 cmの差が出た。これは、 ψ の計算が水分特性曲線の僅かな差に敏感であることが原因と考えられる。 θ と T に関しては、将来変化量を見ることに限定すれば、JSIから推定した土壌特性を用いても問題ないことがわかった。

4. おわりに

本研究ではWeb上で入手できる土壌情報を使って、土壌環境の計算に必要な土壌特性パラメータの推定を行った。その結果、現在から将来への変化量のみを検討する場合には、土壌特性パラメータは推定した値を使用しても問題ないことがわかった。

【謝辞】：JSPS 科研費若手研究 21K14940 の支援を受けた。

【引用文献】：Aasano et al. (2023), IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. (in press)

Abdelbaki (2018), Ain Shams Eng. J., 9(4), 1611-1619.

van Genuchten (1980), Soil Sci. Soc. Am. J., 44(5), 892-898.

Campbell (1985), 3rd ed Elsevier, New York.

Lu et al. (2014), Soil Sci. Soc. Am. J., 78(6), 1859-1868.

Chung and Horton (1987), Water Resour. Res., 23(12), 2175-2186.