

機関番号：17102

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20780176

研究課題名 (和文) 作物根の自己土壌改良効果を考慮した畑地の消費水量の定量化

研究課題名 (英文)

Quantification of water consumption considering the crop root effect on soil physical improvement

研究代表者

弓削 こずえ (YUGE KOZUE)

九州大学・大学院農学研究院・助教

研究者番号：70341287

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、作物根が土壌の透水性および保水性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的としている。このような作物根の自己土壌改良効果を考慮に入れて、作物圃場の消費水量を精度よく定量化することを最終目的とするものである。まず、様々な種類の作物を用いて、作物根の形状と土壌の透水性および保水性の関係を明らかにした。これらを考慮に入れて、土壌中の水分動態を解明し、さらに作物の蒸散量を推定することによって、作物圃場の消費水量を推定するシミュレーションモデルを構築し、その妥当性を圃場実験で確認した。

研究成果の概要 (英文)：

The objectives of this study are to evaluate the effect of the crop root on the soil water conductivity and retentivity and to quantify the water consumption in the crop field considering the root effect on the soil physical properties. The relationship between root structure and the soil physical properties were clarified. A simulation model was introduced to quantify the water consumption considering the crop root effect on the soil physical properties. The model accuracy was verified by the field observation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
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：作物根，透水性，保水性，土壌水分，消費水量

1. 研究開始当初の背景

世界的に農業用水の水事情が逼迫する中、節水灌漑のニーズが高まっている。畑地灌漑の分野ではいかに消費水量を精度良く評価し、効率的な灌漑計画を策定するかが急務の課題である。

一般的に、作物圃場において消費水量を求める際には、圃場全体の消費水量を空間平均的に求める手法が採られることが多い。しかし、作物による土壌面の被覆状態が一様でない場合は、土壌中の水分動態を推定し、作物

圃場表面の蒸発散量を場所ごとに求めてこれを積算し、圃場全体の消費水量を求める必要がある。

作物圃場における土壌中の水分動態に最も大きく影響する要素の中に、土壌の透水性および保水性がある。土壌の透水性および保水性は土壌構造および土壌水分状態によって変化するため、作物圃場においてはこれらのパラメータは空間的に異なっている。さらに、作物圃場では土壌中に作物根が存在している。作物の生育に伴って作物根が土壌中で伸張する際には、土壌を耕耘するような現象が生じる。さらに、作物根は土壌中の水分を吸水する際に、膨張する現象が生じる。その後、土壌の乾燥に伴って作物根は収縮する。このような作物根の膨張および収縮の繰り返しによって根の周辺土壌には間隙が生じたり、土壌構造が変化する現象が見られる。このような作物の生理現象によって、土壌の透水性および保水性は影響を受けると考えられる。

研究代表者は、作物圃場における土壌水分動態を解明して圃場の消費水量を精度よく定量化するための研究を長年行っている。この中で、作物根群付近の透水性および保水性を実験によって明らかにし、作物根の生理現象が土壌構造を変化させることを確認した。例えば、図1は作物根周辺の土壌構造を示した写真であるが、作物根の膨張および収縮によって土壌に間隙が生じ、これによって土壌の透水性が向上していることを実験によって確認した。このような基礎的研究を経て、「作物の根は、自ら土壌を改良し、土壌の透水性および保水性を改善する機能を有するのではないか？」との着想に至った。

古くから、土壌構造や土壌水分状態などの要素と土壌の透水性および保水性の関係については土壌物理学の分野で研究されてお



図1 作物根による土壌構造の変化

り、学術的および実用的に非常に注目されている。既往の研究では、無機的現象に伴う土壌の物理性の変化を取り扱ったものがほとんどである。しかし、作物圃場では、上述のように作物根の生理活動によって土壌構造が変化し、これによって土壌の透水性および保水性に影響が生じる。したがって、作物が栽培されている圃場で土壌の透水性および保水性について取り扱う際には、土壌構造や土壌水分状態などの無機的要素を考慮するだけでは十分であるとはいえない。この問題を扱う場合には、作物の蒸発散特性、作物根の吸水強度、根の形状および根群分布など、作物根の挙動に係わる作物の生理特性を考慮する必要がある。しかしながら、このような研究事例は今のところ見当たらないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、まず、作物根が土壌の透水性および保水性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的としている。このような作物根の自己土壌改良効果を考慮に入れて、作物圃場の消費水量を精度よく定量化することを最終目的としている。研究代表者は、実際の作物圃場における根群付近の諸土壌物理性を試験的に評価してきた。一連の実験により、作物の根群分布および根の構造は作物の種類や生育ステージによって異なっている

ことを確認した。そこで、まず、様々な種類の作物を用いて、作物根の形状と土壌の透水性および保水性の関係を明らかにする。また、作物根の生理活動による根の膨張・収縮に伴う土壌構造の変化を解明するため、根の伸張、吸水および蒸散など作物の生理的現象が生じた際の土壌構造変化のメカニズムを明らかにする。この現象によって、土壌の透水性および保水性が受ける影響を評価する。これらを考慮に入れて、土壌中の水分動態を解明し、さらに作物の蒸散量を推定することによって、作物圃場の消費水量を推定するシミュレーションモデルを構築し、精度の高い作物圃場の消費水量推定モデルを構築することを最終的な目的としたい。

3. 研究の方法

本研究では、根の形状が異なるブロッコリーとワケギを用いて実験を行った。ブロッコリーの根は主根・側根からなり、ワケギの根はひげ根である。これらの作物の苗を数個ずつ1/2000aのワグネルポットで栽培した。栽培した場所は九州大学貝塚圃場のガラス室内で、土はマサ土を用いた。これらのポットから成長段階ごとにブロッコリーとワケギから2回ずつ、それぞれ採土円筒を用いて採土した。1つのポットからは、作物が生えていた直下から外に向かって3箇所、それぞれ深さ方向に3箇所の計9箇所採土した。図2はワグネルポットを側方から見た図で、サンプリング地点を示している。サンプリングした土壌の保水性を、吸引法および遠心法によって水分特性曲線を描いて評価した。さらに、One-step法によって、透水性を明らかにした。また、各サンプルに含まれる根の含有率を測定し、各作物の根の形状および含有率と透水性・保水性との関係を明らかにした。

こうした根による土壌物理性の変化を考慮

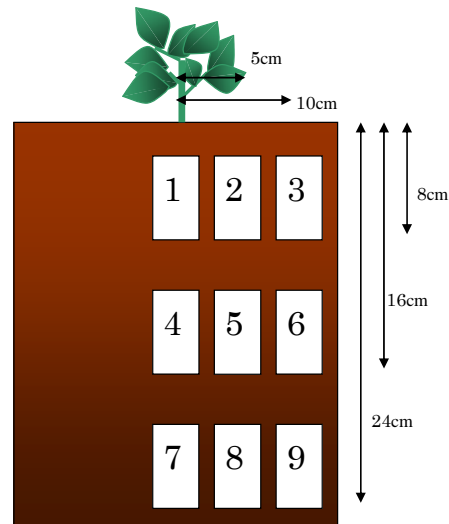


図2 採土地点および地点番号

して、作物圃場の消費水量を解明するシミュレーションモデルを構築した。シミュレーションでは土壌面の水平および鉛直方向の二次元場における水分および熱の動きを解析した。土壌中の水分移動は、液体水としてだけでなく水蒸気としても起こっているため、基礎式には次式の水分および熱輸送の方程式を用いた。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_w \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial x} + S$$

$$C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + L \rho_l \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \right\}$$

ここで、 D_w :水分勾配に関わる水(水蒸気と液状水)の拡散係数(cm^2/s), D_T :温度勾配に関わる水(水蒸気と液状水)の拡散係数($\text{cm}^2/\text{s}^\circ\text{C}$), D_{wv} :水分勾配に関わる水蒸気の拡散係数(cm^2/s), λ :土壌全体の熱伝導率($\text{W}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$), θ :体積含水率(cm^3/cm^3), T :地温($^\circ\text{C}$), K :不飽和透水係数(cm/s), S :吸水項($\text{cm}^3/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$), C_v :体積熱容量($\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$), L :水の蒸発潜熱(J/g), ρ_l :水の密度(g/cm^3)である。

上式を有限差分法によって用いて解き、消

費水量の推定モデルを構築した。モデルの概要図を図3に示す。このモデルの妥当性を検証するために、アクリルのスリットにマサ土をつめ、ブロッコリーの苗を移植して実験を行った。

この実験での測定項目は、体積が水率，地温および日射量である。体積含水率は深さ5cm, 10cm, 20cm および 40cm で測定した。地温は深さ 0cm, 2cm, 5cm, 10cm, 20cm, 30cm および 40cm で測定した。日射量は土壌面上で4箇所測定した。測定器具の設置箇所および地点番号を図4に示す。

4. 研究成果

図5は、根の含有率が異なる土壌サンプルで測定した水分特性曲線を示したものである。図5より、根の含有率によって、作物根を含まない土壌や根含有率の小さい土壌に比べ、作物根を多く含む土壌は高水分領域で体積含水率が大きくなる傾向が見られた。しかし、水分量が小さくなるとそのような関係は見られなくなった。

この結果を用いて、図3に示したシミュレーションモデルによって土壌中の水分と温度を推定した。地温の実測値と計算値を比較したものを図6に示す。計算結果は、実測値をよく再現しており、本研究で構築したモデルの妥当性を確認することができた。

図10はシミュレーションモデルを用いて計算した土壌中の水分分布である。この図より、時間の経過とともに蒸散に伴う吸水により根の密度の大きい部分で体積含水率が小さくなっていることがわかる。また、時間が経つにつれて拡散により場所ごとの体積含水率の差が小さくなっている。作物根による影響を考慮するケースと比較すると、考慮しないケースでは土壌面付近の体積含水率は低くなるということが明らかとなった。

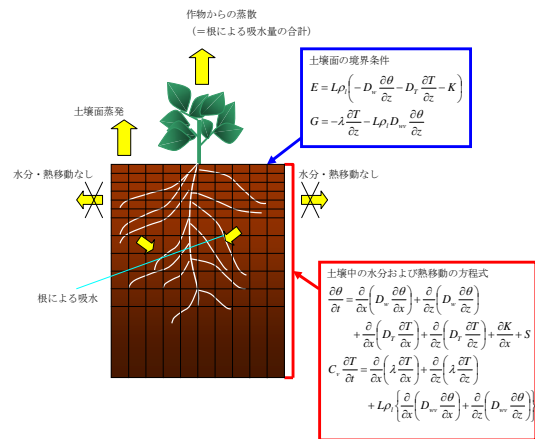


図3 モデルの概要

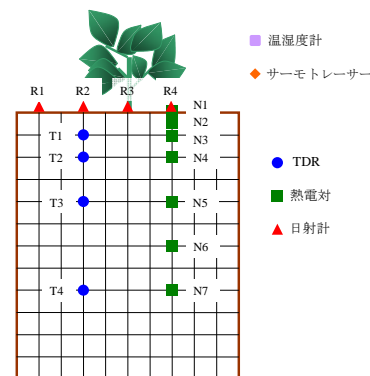


図4 測定器具の設置箇所

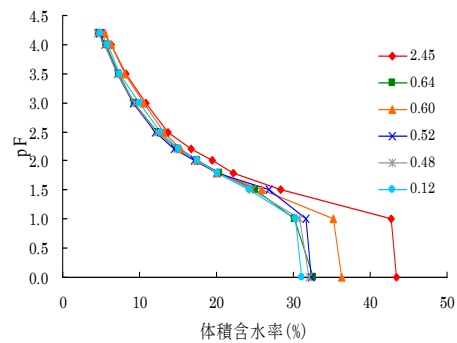


図5 根の含有率と水分特性曲線

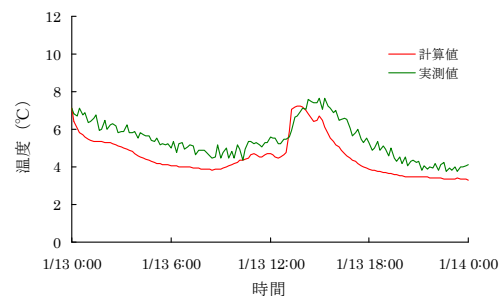
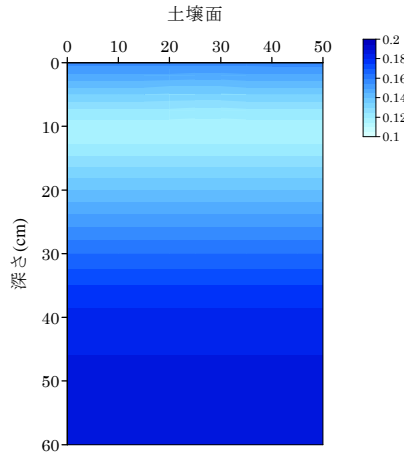
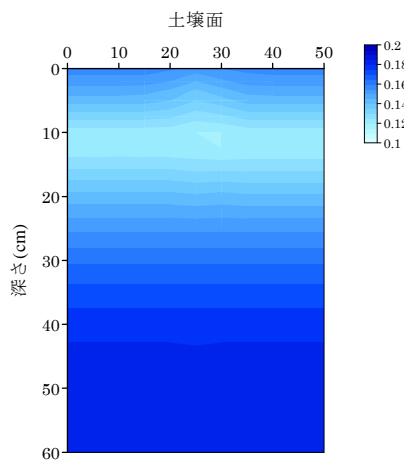


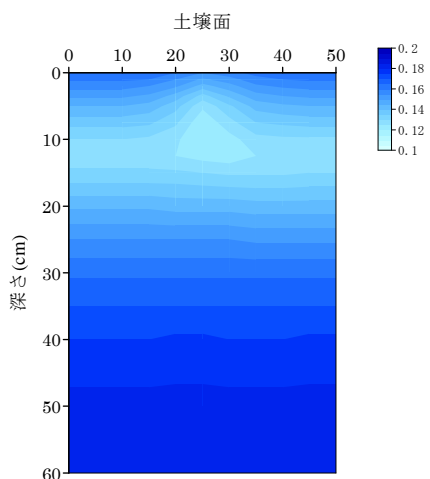
図9 モデルの妥当性の検証



(a) 1/13 6:00

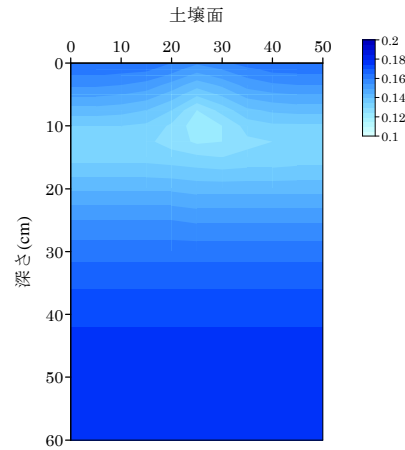


(b) 1/13 12:00



(c) 1/13 18:00

図 10 土壌中の水分分布 (続く)



(e) 1/13 24:00

図 10 土壌中の水分分布 (続き)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7件)

1. Yuge, K. and M. Anan: Quantification of the crop stem flow in the sprinkler irrigated field, *Paddy and Water Environment*, 査読有, 9(2), 229 - 236 (2011)
2. 弓削こずえ, 中野芳輔, 阿南光政: フェームポンドの調整機能および貯留機能診断手法の確立. 水利科学, 査読有, 315, 13-22(2010)
3. 弓削こずえ, 中野芳輔, 阿南光政: 畑作地帯における調整池の水利用実態の解明と施設規模の診断. 畑地農業, 査読有, 614, 11-16(2010)
4. 弓削こずえ, 中野芳輔, 阿南光政: 水田と畑地が混在するフェームポンド灌漑地帯の水利用実態の解明. 水利科学, 査読有, 312, 80-89(2010)
5. 弓削こずえ, 福田理尊, 阿南光政, 中野芳輔: 散水灌漑条件下における作物体の集水効果と生育ステージの関係. 畑地農業, 査読有, 603, 18-22 (2009)
6. Saptomo S. K., I. S. Budi and K. Yuge: Climate change effects on paddy field thermal environment and

evapotranspiration, *Paddy and Water Environment*, 査読有, 7(4), 341-347 (2009)

7. 弓削こずえ, 中野芳輔: 畑作地帯における蒸発散量と栽培管理用水の定量化. 畑地農業, 査読有, 600, 17-25 (2008)

[学会発表] (計 8件)

1. 弓削こずえ, 濱上邦彦, 凌 祥之: 植物の生体電位反応と水消費環境の関係. 第91回農業農村工学会九州支部講演会, 2010.10, 熊本市
2. 凌 祥之, 弓削こずえ, 福田哲郎, 今林靖男, 井元幸司: 畑地灌漑の多目的実態(鹿児島県南薩地区の事例解析). 第91回農業農村工学会九州支部講演会, 2010.10, 熊本市
3. 重松慶樹, 弓削こずえ, 凌 祥之: 作物根による土壌物理性の変化が土壌中の水分および熱輸送に及ぼす影響. 第91回農業農村工学会九州支部講演会, 2010.10, 熊本市
4. Yuge K., and M. Anan: Effect of the crop root on the soil physic properties and soil water transport environment. XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), 2010.06, Quebec, Canada
5. Yuge K., M. Anan and Y. Shinogi: Effect of micro-advection on the soil water transfer in the micro-irrigated fields. 2010 INWEPF - PAWEES Joint Symposium & Steering Meeting, 2010.10, Seogwipo, Republic of Korea
6. Yuge K., N. Suzuki, and Y. Nakano: Evaluation of the effect of preventing water loss of the soil surface

evaporation by planting. International Conference of Agricultural Engineering and the XXXVII Brazilian Congress on Agricultural Engineering, Rio de Janeiro, Brazil

7. 福岡裕子, 弓削こずえ: マイクロ灌漑圃場における小規模移流が土壌中および接地気層内の水分動態に及ぼす影響評価. 平成21年度農業農村工学会大会講演会, 2009.08, つくば市
8. 弓削こずえ, 中野芳輔, 阿南光政: 水田と畑地が混在するファームポンド灌漑地帯の水利用実態の解明と施設規模の診断. 第90回農業農村工学会九州支部講演会, 2009.10, 鹿児島市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

弓削 こずえ (YUGE KOZUE)
九州大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号: 70341287

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし