

## 様式 C-19

### 科学研究費補助金研究成果報告書

平成22年5月19日現在

研究種目：若手研究 (B)  
研究期間：2007～2009  
課題番号：19780194  
研究課題名 (和文) 傾斜地畑における環境保全型施肥管理を行うためのシミュレーション最適化モデルの開発  
研究課題名 (英文) Development of simulation optimization model for environmentally-sound fertilizer application in inclined farm land  
研究代表者  
竹内 潤一郎 (TAKEUCHI JUNICHIRO)  
京都大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号：20362428

#### 研究成果の概要 (和文)：

湖沼やため池の富栄養化の原因の一つである農地からの硝酸の溶脱を抑制し、かつ農作物の生育を阻害しないような施肥計画の策定方法と施肥予定日近傍における意思決定支援システムを開発した。具体的には、農地における水や熱、窒素の動態や作物の生長を記述するシミュレーションモデルと過去の気象データから統計的に溶脱量が最少となる施肥の日時や量をシミュレーション最適化モデルを用いて決定する。施肥予定日の3日前から天気予報を利用して硝酸の溶脱量が最少になると予測される日を決定するというシステムを提案した。シミュレーションによってこのシステムによって効果的に硝酸溶脱が抑制されることが示された。

#### 研究成果の概要 (英文)：

A simulation-optimization model that decides the optimal date and amount of fertilizer application from past meteorological data and a plant-growth model was developed. And a decision support system that decides the application date executed actually based on both the schedule proposed by the simulation-optimization model and weather forecasts was also developed. It was shown that this system could control the nitrate leaching effectively through simulations.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	510,000	3,910,000

研究分野：農業

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：環境調和型農林水産、水循環、農業工学、施肥管理、シミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

昨今中山間地域で問題となっている地下水やため池などの水質悪化の原因として、農地からの窒素やリンなどの環境負荷物質の排出が挙げられている。それらの環境負荷物質の排出量を軽減するために、減肥や緩効性肥料の使用、施肥管理方法などの対策について、試験農場における試行的な栽培管理や畑地土壌における水・物質に関する動態モデルによるシミュレーションを用いて多くの研究がなされている。また、土壌内の窒素量や作物の葉色の変化を測るセンサーを用いて圃場内の肥沃度の多寡を判定し、適量の肥料を投入する可変施肥を行う精密農業の研究も行われている。平成 18 年には農水省により IT 活用型営農成果重視事業が創設され、環境保全を重視した精密農業の実践が促進されている。

この精密農業は圃場の面的なバラツキを補正しようとするものであり、時間変化する要素は明示的に考慮されていない。作物の生育はある期間を通して行われるものであり、その期間中の降雨や灌漑により土壌内の養分(硝酸)は流動し、微生物による化学反応によっても変化する。特に、日本においては国土の 75% が山地によって占められており、傾斜地に開墾された農地も多く存在することから、上部の農地から地表水、地下水を通じて流入してくる養分も存在する。これらの要素を考慮するためには多次元の環境モデルによる数値シミュレーションが不可欠である。

### 2. 研究の目的

環境保全に対する対策を策定するにあたって、その効果や影響を評価するために、あるいは最も効率的な対策を決定するために数値モデルによるシミュレーションを用いることは常套手段となっている。ここでは、傾斜地の農地において環境負荷物質排出の低減を目的とした施肥管理を実施するために、多数の候補計画を環境モデルのシミュレーションによって評価して最も効果的な計画を採用する。このような手法で最適解を求めるモデルをシミュレーション最適化モデルといい、本研究はこのモデルを開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

傾斜地の農地群における水・熱・物質の動態を明らかにするために、地表水と地下水を含むシミュレーションモデルを開発する。と同時に現場における土壌水分や地温などの観

測を行い、得られた観測データを用いてモデルパラメータの同定を行う。その上で、排出される環境負荷物質を軽減し、かつ作物にとって過不足のない適切な施肥管理計画の策定問題を最適化問題として定式化しその最適化問題を求解する最適化モデルを作成する。この最適化モデルでは、土壌環境や気象条件の不確実性を考慮に入れ、統計的に最適な施肥計画を作成する。さらに、その施肥計画を実施する年において施肥予定日以前の気象状況と気象予測を用いて実際に施肥を行う日を決定する意志決定問題を定式化する。

### 4. 研究成果

農地土壌モデル開発のための研究サイトとして愛知県みよし市の傾斜地にある農地を選択し、各種気象項目や地温、土壌水分量などの観測を行った。また、栽培条件を変えてサツマイモを試験栽培し、定期的に土壌水分を採取して硝酸性窒素とアンモニア性窒素の濃度を測定した。

また、傾斜地地域における地下水流動について、滋賀県の扇状地を対象として、シミュレーションと観測データの解析を通して研究を行った。その結果、一般に地下水位が低い扇状地においても、降雨後の地下水流動に関して水田灌漑の影響が強くみられることが示された。

得られた観測データを用いて土壌水分特性や不飽和透水係数といった土壌の水理特性の推定を行う同定手法を提案した。また、土壌内の水・熱・物質の動態を推定するシミュレーションモデルを作成し、窒素形態の変化に関する反応係数の推定も行った。

農地からの硝酸の溶脱を抑制し、かつ適正な農作物の生長を確保するという目的に対して、過去の気象データと作物の生長モデルを用いて統計的に合理的な施肥日と施肥量を、上記のシミュレーションモデルと最適化手法の一種である遺伝的アルゴリズムを用いて決定するという方法論を採用した。この方法論では、統計的には(長期間の平均をとると従来の施肥方法に比べて)有利な施肥計画を策定できるが、各年に対して最適な施肥計画であることは保証されないため、施肥予定日の前後の気象予報を用いて、硝酸の溶脱量が少なくなるような日を決定する意思決定支援システムを開発した。また、灌漑水量についても同様に気象予報を用いて決定することにより、さらに溶脱量を削減することができる。この手法により、さらに硝酸の抑制効果が高まったことがシミュレーション

によって示された。その結果を以下の表 1 から 3 に示す。

表 1 : 硝酸溶脱量

Year	Nitrate leaching (kgN/ha)	
	OPT-SOM	OPT-DSS
1997	87.4	84.5
1998	80.8	75.1
1999	87.4	85.6
2000	82.5	82.5
2001	92.7	91.2
2002	40.8	31.2
2003	90.2	89.8
2004	91.9	90.1
Average	81.7	78.8

表 2 : 栄養不足量

Year	Nutrient deficit (kgN/ha)	
	OPT-SOM	OPT-DSS
1997	3.6	2.7
1998	0.0	0.0
1999	0.1	0.0
2000	0.0	0.0
2001	4.5	3.9
2002	0.0	0.0
2003	9.6	10.6
2004	0.0	0.0
Average	22.6	21.5

表 3 : 灌漑水量

Year	Irrigated water (mm)	
	OPT-SOM	OPT-DSS
1997	180	128
1998	180	120
1999	150	120
2000	240	203
2001	270	210
2002	330	210
2003	150	105
2004	240	195
Average	218	161

・ OPT-SOM : Simulation-Optimization Model によって作成された最適施肥計画に基づいた施肥

・ OPT-DSS : OPT-SOM にさらに気象予報を用いた Decision Support System に基づいた施肥

#### 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) Takeuchi, J., T. Izumi, T. Kawachi, K. Unami, and S. Maeda (2008): Model-based optimal design of land use arrangement for environmentally sound watershed management, Journal of Rainwater Catchment Systems, 13, pp.29-33 (peer reviewed)
- (2) Izumi, T., J. Takeuchi, T. Kawachi, K. Unami, and S. Maeda (2008): An inverse method to estimate soil hydraulic properties in saturated-unsaturated groundwater flow model, Journal of Rainwater Catchment Systems, 13, pp.23-28 (peer reviewed)

[学会発表] (計 10 件)

- (1) 竹内潤一郎, 今川智絵, 河地利彦 (2009/11/5) 山地-扇状地流出系のスペクトル解析, 農業農村工学会京都支部第 66 回研究発表会講演要旨集, pp.1-21 - 1-22, 富山県民会館
- (2) 竹内潤一郎, 今川智絵, 武馬夏希, 河地利彦 (2009/10/31) 扇状地地下水の降水に対する期別変動特性, 日本雨水資源化システム学会第 17 回研究発表会講演要旨集, pp.39-40, アートシアターいしかわ
- (3) 竹内潤一郎, V. S. Fujiwara, 河地利彦 (2008/11/6) 短・中期天気予報を用いた最適な施肥管理のための意思決定支援モデル, 農業農村工学会京都支部第 65 回研究発表会講演要旨集, pp.36-37, 福井県民ホール
- (4) 竹内潤一郎, 河地利彦, 武馬夏希 (2008/11/1) 飽和-不飽和地下水流の陽的な数値解析における安定性と質量保存, 日本雨水資源化システム学会第 16 回研究発表会講演要旨集, pp.9-14, 鶴岡産業会館
- (5) 竹内潤一郎, 河地利彦, 泉智揮 (2008/8/26) Mixed-Form Richards 式のための要的スキームの開発, 平成 20 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.322-323, 秋田県立大学
- (6) Fujiwara, V. S., J. Takeuchi, and T. Kawachi (2008/8/26): Optimization of fertilizer application and irrigation to control nitrate leaching, 平成 20 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.316-317, 秋田県立大学
- (7) 泉智揮, 竹内潤一郎, 河地利彦 (2008/8/26) 非等温地下水浸透流における不飽和透水係数の同定手法, 平成 20 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.320-321, 秋田県立大学
- (8) 竹内潤一郎 (2008/3/13) : 硝酸態窒素溶

脱抑制のための最適施肥設計, 平成 19 年度農地・水資源研究部会「農業・農村地域の環境に配慮した流域水質管理」, pp.37-43, 農林水産技術会議事務局筑波事務所 (招待講演)

- (9) Fujiwara, V. S., J. Takeuchi, and T. Kawachi (2007/12/10): Modeling of water and nitrogen cycle in a non-isothermal crop field soil, 平成 19 年度農業農村工学会応用水理研究部会講演集, pp.17-23, 岐阜大学
- (10) 竹内潤一郎, 泉智揮, 河地利彦 (2007/11/1): 現場観測に基づいた不飽和透水係数に関する逆解析手法, 日本雨水資源化システム学会第 15 回研究発表会講演要旨集, pp.5-8, 宮崎土地改良会館

[その他]

- (1) 大石智史 (2009) 畑地土壌における水・熱・窒素連成モデルの開発とパラメータ同定, 京都大学卒業論文, p.55
- (2) Fujiwara, S.V. (2008) Decision-support model for optimal fertilizer application and irrigation using short- and medium-term weather forecasts, Kyoto University Master Thesis, p.55

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹内 潤一郎 (TAKEUCHI JUNICHIRO)  
京都大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号: 20362428

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし