

機関番号：12101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21780222

研究課題名(和文) 地下水変動・作物生長結合モデルを用いた灌漑取水量時・空間分布の逆推定に関する研究

研究課題名(英文) Study on inverse estimation of irrigation water supply by using plant growth and ground water combined model

研究代表者

吉田 貢士 ( YOSHIDA KOSHI )

茨城大学・農学部・准教授

研究者番号：20420226

研究成果の概要(和文)：本研究では、稲の収穫量データから灌漑水量の空間分布を逆推定する手法を開発した。収穫量についてはNDVIと放射スペクトルの相関関係から空間分布を推定した。気象データから作物生長モデルを用いて稲の水ストレス状態を予測し、地下水の影響を考慮した土壌水収支モデルにより、灌漑された水量の推定を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, inverse estimation method of irrigation water supply was developed from rice yield data. The distributions of rice yield were evaluated by using the radiation spectral – rice yield relation curves. Water stress of paddy rice was calculated by using plant growth model from meteorological data, and irrigated water was estimated by using soil water balance model considering the effect of ground water.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：灌漑用水、稲の生産性、作物モデル、地下水変動

## 1. 研究開始当初の背景

農業用水は世界の水使用量の60%以上を占めている。近年の世界的な人口増加や経済活動の発展に伴い、生活用水・工業用水の需要が高まる中で、農業用水は節水を迫られつつも生産性を向上し、増加する人口を養わねばならない。つまり、少ない水で多くの生産を得るという水生産性(ここでは穀物1トンを生産するのに必要な水量 $m^3$ と定義するが、この逆数を用いることもある)の向上が課題とされている。しかし一方で、水道メータを有し計測が容易である生活用水や工業用水

とは異なり、農業用水は使用量が最も多いにも関わらず、その取水量実態に関する情報は極めて少ない。ゆえに、その利用状況の時間的・空間的な変動が十分に把握されているとは言えない状態にある。特に、アジアにおける主要穀物であるコメの水生産性は、 $2000m^3/t$ から $5000m^3/t$ 程度と大きな幅をもっている。これは、蒸発散量を主体とする灌漑要求水量に灌漑効率を乗じて取水量が決定される畑作物とは大きく異なる。蒸発散量は通常3mmから6mm程度で変化するのに対して、湛水状態で栽培を行う水田では浸透

量が場所において大きく異なる(数mm~30mm程度)ためである。これまで、筆者らはラオスの灌漑地区を対象として、灌漑効率や用水使用量、水生産性に関する調査を進めてきたが、水田が立地する地形効果が評価されない、水ストレスと施肥の影響を区別して評価する必要があるなどの問題点が、フィールドにおける現地観測から指摘された。地下水面からの標高差に応じて、水田内における水利用に優位・不利があることは Suzuki(2003)が東北タイの天水田において指摘しており、広域における灌漑取水量の逆推定精度を向上させるには気象条件だけではなく、地下水位変動が根圏水収支に及ぼす影響を正確に表現し、地形・営農条件を反映させた逆推定手法の開発が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究では、国・地域レベルにおいて比較的整備状況がよい米生産量データに着目し、地下水経由での水の反復利用を考慮した作物生長モデルを援用することにより、実際に使用された灌漑用水量を広域において逆推定する方法を提案することを目的とした。

その実現のため、データ未整備地域であるメコン川流域を対象として、気象-作物生長-水田構造関係を把握するための現地観測および圃場実験を実施し、その過程で以下に示す項目について研究を進めた。(1) 現地観測ではラオスの灌漑地区、天水田地区を対象として、灌漑効率の計測、水田内水収支の把握、流域の地下水変動の把握を行い、水田の立地条件による水の需給関係および収量との関係把握を行った。(2) 圃場実験においては、近年問題となっている稲の高温障害について観測を行った。また、稲の生育ステージ毎、被覆率や土壌水分等と放射スペクトルの関係を分析し、衛星リモートセンシングデータによる広域の生育状況推定における精度向上を図った。(3) 以上の知見をもとに、水循環-作物生長モデルを構築し、1990年から2000年までの10年間に於いて、メコン流域における灌漑水量を逆推定し、生産性評価や渇水への脆弱性評価を行った。

## 3. 研究の方法

データ未整備地域であるメコン川流域を対象として、気象-作物生長-水田構造関係を把握するための現地観測および圃場実験を実施し、その過程で以下に示すアプローチで研究を進めた。

(1) 現地調査は、これまでの実績を有するラオス首都ビエンチャン近郊の灌漑地区にて行った。対象地区は、雨期は降雨のみで栽培を行う天水田となり、乾期は灌漑水田という特徴を持つ。対象地区を10のエリアに分

割し、収穫期である11月(雨期米)に刈り取り調査および放射スペクトルメータ(EKO社)を用いたNDVI(正規植生活性指標)計測を行い、地域内での収穫量分布と水利条件との相関を分析した。また、灌漑が最盛期を迎える2月に、用水路内の流量観測を行い、エリア毎の用水分配量を実測すると共に灌漑区全体の灌漑効率を把握した。栽培期間中の水文・気象条件については連続観測が必要であるため、水田直上に既に設置してある気象タワーにより水田の実蒸発散量を観測するとともに、圃場内水位および土壌水分を同時に測定した。灌漑地域内には地下水位を計測するための観測井が6箇所設置済みであり、そこでの地下水位観測を継続して行うが、各水位勾配を求めるためにDGPS(他研究室より借用)による地形測量を行った。

(2) 圃場実験では、気温と灌漑水温が稲の生育に及ぼす影響を評価した。また、植生被覆および土壌水分が放射スペクトルから計算されるNDVIにおよぼす影響を評価した。実験圃場内に移植密度の異なる水稲区を設け、スペクトルメータを用いて、各生育ステージ毎のスペクトル特性を実測しNDVI(正規植生活性指標)との関係をみる。また、水管理をコントロールすることにより、土壌水分状態と放射スペクトルの関係を把握し、特に被覆率が低く土壌面の影響を強く受ける成長期初期における補正方法について検討を行った。

(3) 数値解析においては、光合成プロセスモデルを組み込むことにより従来のモデルを改良し、気候変動や施肥条件の効果を表現可能なより汎用性の高いモデルを構築した。また、地下水位変動を解析する水循環モデルと結合することにより、地下水から根圏への水供給を表現し、水田の立地条件(具体的には標高)による作物収穫量への影響をモデル化した。

## 4. 研究成果

### (1) 現地調査

雨期では灌漑用水と降水量を区別することが困難であるため、乾期灌漑調査を行った。図1に示す26箇所のポイントで流量観測を行い、各受益地の耕盤深さ・畝高さを計測した。また、プロジェクト事務所に雨量計及び気温気圧計を設置し連続計測を行っている(ただし、調査期間中は無降雨であった)。圃場の水需要量は、作物の生長に伴う蒸散量の変化、土壌水分に対応した蒸発量の変化、畝高さや耕盤深さなどの水田構造を組み込んだ改良モデルにより推定した。また浸透量は東大式迅速漏水量計測器により多点計測を行い、それらの平均値を用いた。図2にエリア全体での水収支を示す。ポンプアップされた水の内訳は、水路管理ロス圃場蒸発散量、

圃場浸透量の順に多い。水収支の結果より得られた灌漑効率は40.2%であった(表1)。これは JICA プロジェクトの計画値 61%と比較して低い。特に送水・配水に関連したシステム効率が低かった。図3は、受益地を上流から下流に10のブロックに分け、各ブロックでの水需要量と供給量、相対供給率RWS(供給水量/需要水量)を示したものである。上流ブロックでは過剰な取水が行われ、そのため下流域では水が不足している。一般にポンプ灌

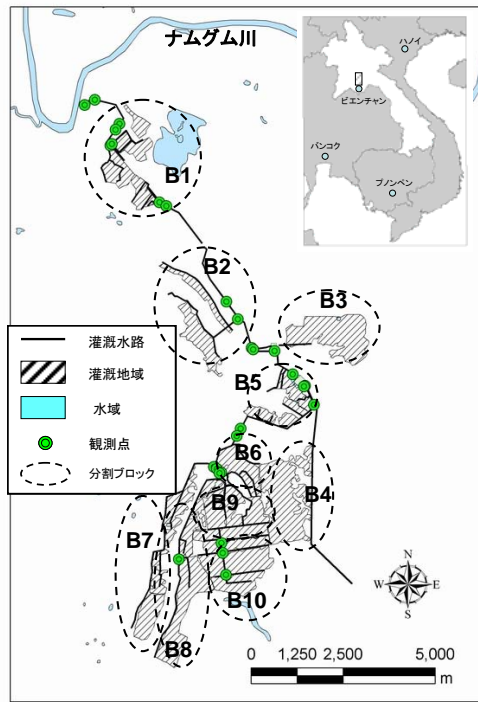


図1 調査対象地

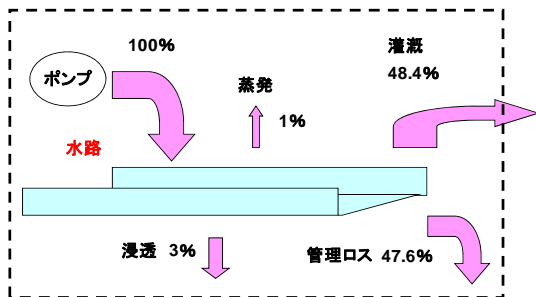


図2 地域内水収支

表1 灌漑効率の観測結果

	Plan(%)	Present(%)
Irrigation System Efficiency (Conveyance and distribution)	72	48.5
Field Application Efficiency	85	82.9
Project Efficiency	61	40.2

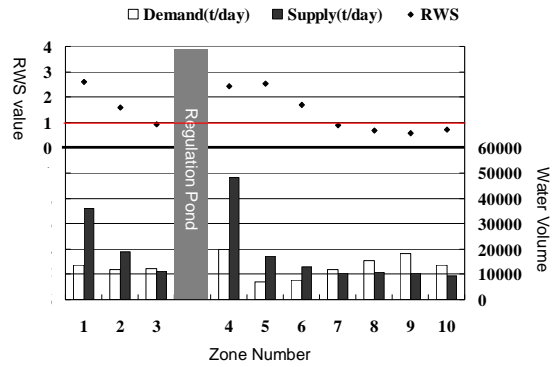


図3 各ブロックの水需給関係

漑においては、非効率的な水利用がポンプ費用つまり水利費の増加に直接的につながる。図3のような水分配の情報を提供し、水利費は結局全ての受益者で負担せねばならないことを説明することにより、水分配の一様性を向上させることが可能であると思われる。

### (2) 圃場実験

2010年は130年に1度の猛暑年であったため、稲の気温・水温に対する応答に関して、圃場実験により調査を行った。水田内にて水深、水温の分布および気象データを計測し、稲の生長量に関しては、携帯型分光放射計によるスペクトル調査を行い、NDVIの値と刈り取りによる実測値の相関について検討を行った。これらの情報から、気温・水温が稲の生長に与える影響について、水田内の分布状況を評価することが可能となった。

### (3) 数値解析

ラオスのKM6灌漑地区における現地観測の結果、灌漑による水の供給量との相関は上流域では高く、下流域では低い結果を得た(図4)。地下水水位観測の結果を鑑みても、下流域では地下水経由での水の供給が作物生長に利用されているためと考えられる。

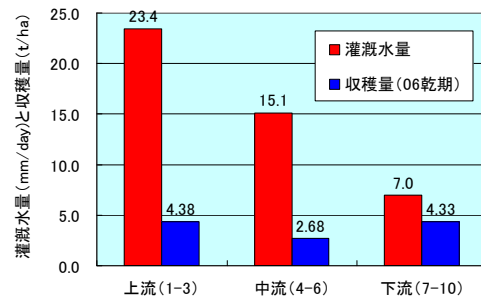


図4 灌漑水量と収穫量(上・中・下流)

そこで、モデル開発については、気象条件および灌漑条件から稲の季節ごとの生育状況を計算できるモデルを構築し、期別の作物

生長量の解析を行った。天水田の状態では栽培を行う雨期については、比較的良好な結果を得たが、灌漑期の水田においては、誤差が大きな結果となった。また、水田の地形的な立地条件の違いを表現するため、地下水位との連動を表現するモデルに改良を行った結果、圃場での消費水量に大きな違いがみられた(表2)。

表2 地形による灌漑水量の違い

灌漑水量(mm)	サバナケット		コンケン	
	浸透モデルなし	浸透モデルあり	浸透モデルなし	浸透モデルあり
1987	1526.0	1142.4	1693.8	1762.0
1988	1489.4	1323.2	1658.0	1731.2
1989	1350.6	1171.5	1697.9	1657.8
1990	1464.4	1288.8	1588.4	1479.5
1991	1740.6	1443.1	1783.7	1656.1
1992	1571.5	1323.0	1706.0	1650.2
1993	1615.2	1452.3	1608.4	1584.2
1994	1410.7	1251.9	1541.8	1535.2
1995	1557.6	1388.1	1670.8	1564.7
平均	1525.1	1309.4	1661.0	1624.5

構築した作物生長モデルから推定された灌漑必要水量とその地域で利用可能な供給可能水量から、メコン川下流域における水資源の脆弱性評価を行った。その結果、降雨量が少ない東北タイや、作付回数および面積大きいベトナムにおいては、既に利用可能な水資源を100%使用してしまっている地域も多数見られた。

本研究は、データ未整備地域における水田の水使用量分布を、比較的整備状況が良好な収穫量データと気象データを用いて逆推定を行うところに大きな特色がある。作物モデルにおいては、通常根圏の水収支のみで作物収量に及ぼす水ストレスが評価される。この方法は、蒸発散量に灌漑効率を乗じて灌漑取水量が決定されるような畑作物においてよく当てはまるが、水稲においてはこの構造は不十分である。湛水条件で栽培する水田に特徴的な浸透流出水の再利用や地下水経路での水供給など、地域における水文循環を考慮することにより、現地調査結果との整合性ある推定結果が期待される。また今後は、本推定手法と衛星リモートセンシングデータの援用により、広域かつ空間解像度の高い灌漑用水取水量の推定が可能となり、農業用水利用の実態評価と適切な管理方法について学術的な基礎を与えることが可能となる。対象とするメコン地域において、具体的に水使用量の分布を過去に遡って推定が可能となる。また、その水利用実績に基づき、将来的な気候変動に伴う渇水・降水に対する脆弱性の検討も可能であると考えられる。さらに、従来の降雨流出・水循環モデルでは、データの未整備のためにやむを得ず考慮されてこなかった灌漑取水量に関する時空間分布情報を提供することにより、洪水流出や蒸発散などの陸

面過程解析の精度向上に資すると期待される。

## 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吉田貢士・加藤亮ら、播種日、施肥量の違いが燃料作物スイートソルガムの窒素吸収に及ぼす影響、応用水文、査読有、Vol.23、2011、pp.11-20

②松林周磨・吉田貢士・塩沢昌、水稲の高温障害軽減のための水田水温予測モデルを用いた水管理法の検討、応用水文、査読無、Vol.22、2010、pp.65-74

〔学会発表〕(計2件)

①吉田貢士・塩沢昌・松林周磨、水稲の高温障害抑制のための水田水温予測一次元モデル作成、農業農村工学会、2010年9月1日、神戸大学

②松林周磨・塩沢昌・吉田貢士、水温予測モデルを用いた水稲の高温障害抑制のための水管理法に関する研究、農業農村工学会、2009年8月5日、筑波大学

〔図書〕(計1件)

荒木徹也・井上真編、昭和堂出版、フィールドワークからの国際協力、2009、42-59

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉田貢士 (YOSHIDA KOSHI)

茨城大学・農学部・准教授

研究者番号：20420226