

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780228

研究課題名(和文) 土中の水・窒素動態を考慮した作物生長モデルによる灌漑水・窒素投入量の逆推定

研究課題名(英文) Inverse estimation of irrigation and nitrogen input by using plant growth model considering soil water and nitrogen formation

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、営農レベルの異なるインドネシア国のチタルム川流域(高い灌漑率・多施肥)、ラオスのナムグム川流域(低い灌漑率・少施肥)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詳細な物質動態を観測するカラム実験を実施し、その過程で流域レベルにおいて水資源量と窒素負荷量を評価可能な水・物質循環モデルを構築した。根圏の水分状態および土中窒素形態の双方に影響を及ぼす地下水位の変化をモデル化することにより、水収支および収穫量の推定精度が向上した。

研究成果の概要(英文)：In this study, column experiment was conducted to evaluate nitrogen transformation in soil with different water treatment condition. Then, water and nitrogen load estimation model was also developed. Developed model was applied to two different type basin. One is Citarum river basin in Indonesia which have high input agriculture and high irrigated paddy ratio. Another is Namgum river basin in Laos which have low input agriculture and low irrigated paddy ratio. Accuracy of water balance and rice yield were both improved by combining ground water model to plant growth model. Because ground water level affect to soil moisture and nitrogen formation in root zone soil.

研究分野：農業土木学

キーワード：灌漑 作物生長 地下水

1. 研究開始当初の背景

近代農業の拡大は、世界的な人口増加を支える食糧の生産性を大幅に向上させた。しかし一方で、灌漑用水需要が高まり大量の水が河川や湖沼から取水されたため、地域の水収支バランスは崩れ、渇水頻度の高まりや砂漠化などの問題が顕在化した。また、化成肥料の大量投入により過剰な栄養塩が流出し、下流水環境の汚染および生物層に大きな被害を与えた。特に発展の著しい熱帯アジアモンスーン地域では、世界の化成肥料のうち23%が消費されており(FAOSTAT2002)、この地域での水質汚染問題は極めて重要な課題となっている。そのため、河川や湖沼の汚染状況に関するモニタリングが多く行われてきたが、圃場レベルでの水管理および施肥量の把握や適切な基準の提案といった具体的な施策の実現には至っていない。その大きな要因は、面源における水使用や施肥実績に関する詳細な情報の把握が極めて困難であるため、河川における言わば線的な水量・水質モニタリングと面的・空間的な水利用・肥料投入量を結びつける新たな評価・分析手法の確立が望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、営農レベルの異なるインドネシア国のチタルム川流域(高い灌漑率・多施肥) ラオスのナムグム川流域(低い灌漑率・少施肥)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詳細な物質動態を観測するカラム実験を実施し、その過程で流域レベルにおいて水資源量と窒素負荷量を評価可能な水・物質循環モデルを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) インドネシア国チタルム川流域内のチヘア灌漑地区(Fig.1)およびラオス国ナムグム川流域内のKM6灌漑地区(Fig.2)を対象として、気象観測機によるリアルタイムモニタリング、灌漑水路における流量観測を行い、灌漑効率の計測を行った。チヘア灌漑地区は受益面積5800haを有し水資源量に応じて年間2~3回の作付けが行われ、KM6灌漑地区は受益面積1200haを有し雨季と乾季の2回作付けが行われる。チヘア灌漑地区の平均施肥量は140kgN/haで平均収量5.5t/season、KM6灌漑地区では平均施肥量25kg/haで平均収量2.7t/seasonであり、ラオスの収穫量は約半分程度と少ない。収穫量の空間分布を実測により推定するためには多くの時間と労力を有するため衛星リモートセンシング技術を援用した。収穫期の現地調査により30~40の水田における刈り取り調査を行い(Fig.3) 収穫量と放射スペクトルとの関係を把握した(Fig.4)。水田の収穫量は地形による影響を受けるためラオスのKM6地区においては水田内水収支の把握のための地下水変動の把握を行い(Fig.5) 水田の立地条

件による水の需給関係と収量との関係把握を行った。

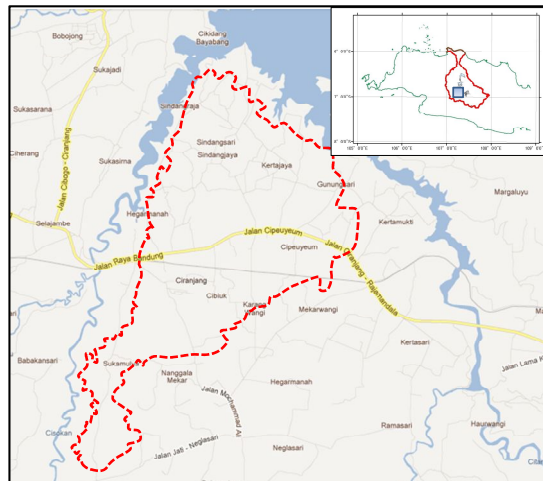


Fig.1 チヘア灌漑地区

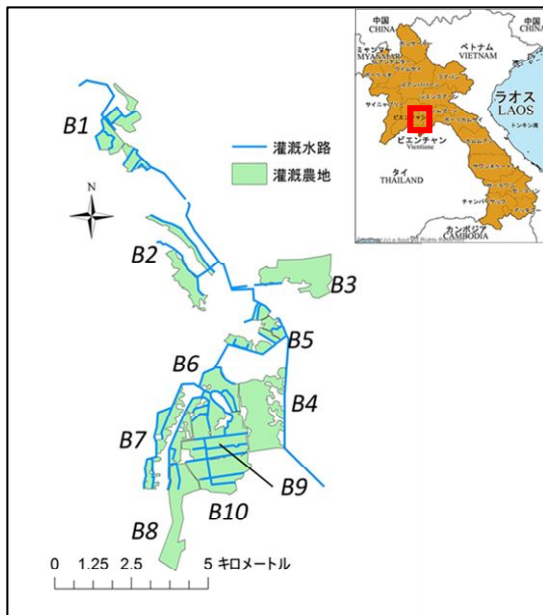


Fig.2 KM6灌漑地区

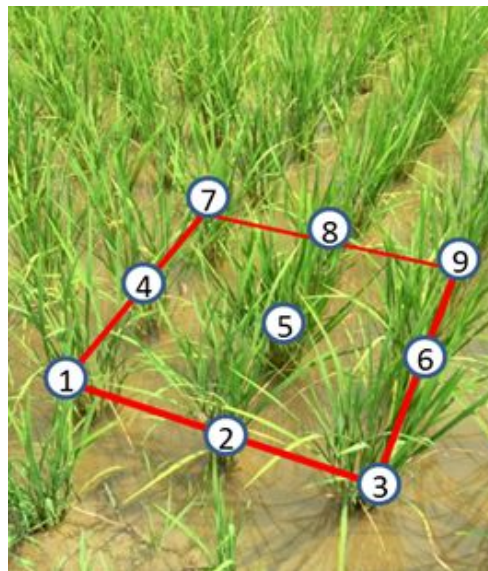


Fig.3 水田における刈り取り調査

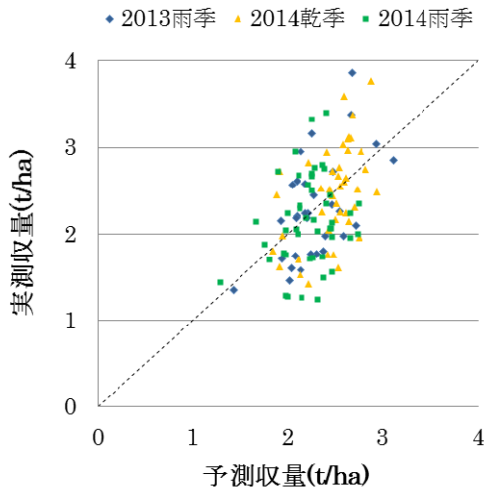


Fig.4 実測と衛星予測収量の比較



Fig.5 地下水位の観測位置

(2) カラム実験では、外的要因を均一化し、水分・温度条件と窒素動態の把握を行った。高さ 50cm の円筒カラム内に土壌を充填し (Fig.6) 常時湛水条件と間断灌漑条件を設定した。毎週表層から 1cm、5cm、20cm の深さ土壌水をポラスカップにより採水し、硝酸態窒素とアンモニア態窒素濃度の分析を行った。結果として、常時湛水カラムの土壌中窒素形態はアンモニア態が主であり、間断灌漑カラムでは硝酸態窒素が主であった (Fig.7)。作物生長モデルを適用し、それぞれの水管理条件におけるバイオマス変換係数を比較したところ、間断灌漑カラムにおいて大きな値を示した。バイオマス変換係数は土中の栄養状態と正の関係を有しており、この結果より間断灌漑カラムにおいて条件が良かったことが推察された。その理由としては、土中の硝酸態窒素濃度は、発根力の増加や地上部バイオマス量の増加に寄与するという先行研究があり、その結果を反映するものとなったと推察された。

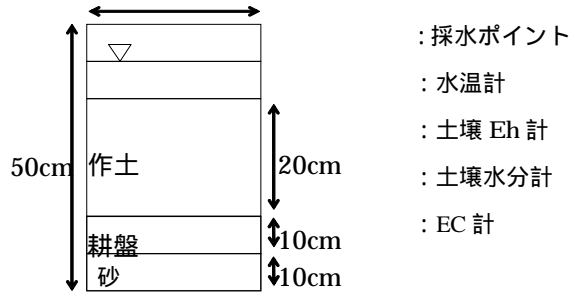
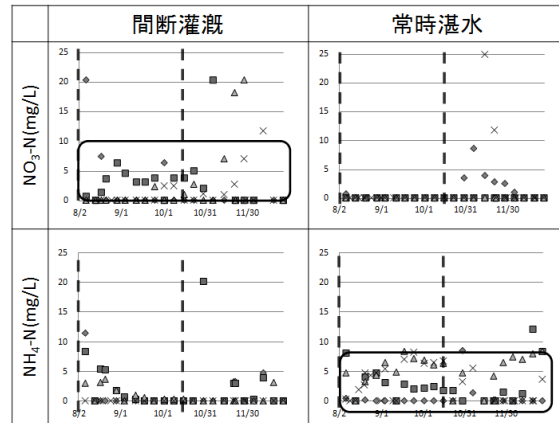


Fig.6 カラム実験概要



(--施肥 表層水 -5cm -20cm ×排水)

Fig.7 カラム土壌水中の硝酸態およびアンモニア態窒素の変化

(3) 地下水結合型作物生長モデルを構築し、ラオスの KM6 灌漑地区に適用した。これまでの作物生長モデルでは根圏における水収支のみを解くものが主であるが、現地観測結果より地下水位の変動が根圏の水収支に大きく影響すること、またカラム実験から土壌の水分条件が土中の窒素状態に影響することが明らかになり、地下水位を考慮可能な作物生長モデルの必要性が示唆された。構築したモデルは作物生長と作物根圏の水分状態、地下水流動を表す 3 つのモデルからなる。作物生長モデルには Montieth(1964)が提案した炭素同化モデルを用いた。作物生長モデルは作物の生育度合を積算温度の関数で、光合成プロセスを考慮した日々のバイオマス増加量を積算し、最終的な単位収穫量が計算される。日々の水・温度ストレス項はバイオマス潜在増加量に乘じられ、各種ストレスによる減収が表現される。水ストレスは FAO (1998)の根層水収支計算により、作物生長と土壌の水分状態に応じて計算される。さらに、地下水の水文過程を表現するため、根圏水収支モデルに、ダルシー則を支配方程式とした地下水層の水収支計算を結合した地下水流動モデルを構築した (Fig. 8)。根圏水収支モデルと地下水位変動モデルは下方浸透量を共通の項として結合されている。地下水位変動モデルは分割したサブ集水域ごとに適用し、2 段タンクの構造を持つ。

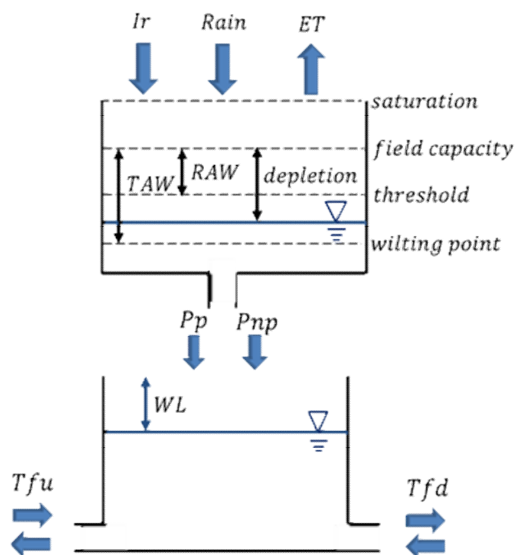


Fig.8 地下水 - 根圏結合モデルの概要

4. 研究成果

(1) 現地調査は収穫期に集中的に行ったが、約1週間の調査期間中に刈り取りできる水田は30から60筆程度であり、それらの値が地域や灌漑ブロックの生産性を代表しているとは限らない。そこで、刈り取りによる収量データと、放射スペクトルから得られる反射率やその演算指標との相関をとり、衛星画像スペクトルに適用することにより広域での収量分布推定を行った。現地での収量調査結果を元に、Landsat8の各波長帯バンドおよびそれらの演算指標を用いた重回帰式を用いることにより高い精度で推定が行えた。重回帰式を用いた米の収穫量推定手法は吉田ら(2012)により有効性が認められており、リモートセンシング手法を援用することにより対象地域における平均的な収量の把握が可能となった。

(2) カラム実験では酸化還元を繰り返す土壌における窒素動態の特徴から節水稲作の多収量要因を明らかにするため2つの実験と作物生長モデルの適用を行った。その結果、間断灌漑を適用した場合の多収量と関係があると考えられる結果を2点得ることができた。まず1点目は作土層内の硝酸態窒素濃度が常時湛水よりも高くなるということである。これは間断灌漑の乾燥期間に作土層内へ酸素が供給されることで硝化プロセスが促進したこと、および灌漑水の浸透による希釈が小さかったことが要因として挙げられる。2点目は実験終了後の作土層内の可給態窒素が相対的に多く残存したということである。これは浸透に伴う溶脱や脱窒が抑制されたことで窒素ロスが減少したためと考えられる。また、カラム実験の作土層内の窒素条件を数値計算により評価することを目的として、作物生長モデルの適用を試みた。モデルパラメータは間断灌漑と常時湛水では全て

同じ値を用い、唯一、土層内の窒素条件の評価のためにバイオマス変換係数のみを変化させた。この係数は供給される窒素濃度と正の相関がある。その結果、常時湛水と比べて間断灌漑におけるバイオマス変換係数は高い値を示した。よって、今回のモデル適用の結果から間断灌漑では作土層の窒素条件が相対的に優れていたことが分かった。この理由としては、実験で観測されたように間断期間において土中の硝酸態窒素濃度が上昇し、作物が給水とともにより多くの窒素成分を吸収できたのではないかと考えられる。

(3) 地下水結合型作物生長モデルを適用した結果、地下水層タンクへの流入量は根圏タンクからの浸透量よりも上流の地下水位タンクから流入する側方浸透量の方が多いことが明らかとなった(Table1)。このことから側方浸透量は地下水位に大きな影響を与える要因であることが示された。また、モデルの水ストレス構造を水田に適したものに修正した結果、下方浸透量が増加し、地下水位の計算値は実測値とよく一致した。FAOの根圏水収支モデルにおいては、蒸発散に必要な水分が灌漑により供給されれば水ストレスが作用しない構造となっており、その場合、土壌水分が圃場容水量を超えることが無く下方浸透量が生じない構造となっている。しかし、稲作農家が畑作のように土壌水分を圃場容水量でコントロールすることは無く、実際には水ストレスに敏感な稲においては大幅な減収が生じるものと考えられる。本研究においては、水ストレスが作用し始める水分量を飽和水分量と圃場容水量の間に設定し、モデルの改良を行った結果、水収支と収穫量の両者において精度が改善された。

Table1 サブ流域1における根圏(上)および地下水層(下)における水収支

	根圏水収支 (mm)					(%)	
	降雨量	蒸発散	浸透量	灌漑量	土壌水分変化	誤差	
2014年乾季 (1月~4月)	94	338	1053	1413	-1	8.3	
2014年雨季 (6月~10月)	1282	351	869	0	-24	3.3	

	地下水収支 (mm)				(%)	
	側方流入量	側方流出量	水田下方浸透量	その他浸透量	誤差	
2014年乾季 (1月~4月)	17200	18700	1400	100	0.2	
2014年雨季 (6月~10月)	17900	19900	1100	900	1.1	

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 8 件)

田中健二・吉田貢士・前田滋哉・黒田久雄：メコン川流域における栄養塩排出原単位および河川水中の栄養塩濃度の推定、土木学会論文集 G(環境), 70/ 5,

I_293-298, 2014, 査読有
Koshi Yoshida et. al.: Contribution of ICT monitoring system in Agricultural Water Management and Environmental Conservation, Proceedings of The 2nd International Conference on Service-ology, 2, 198-202, 2014, 査読無
 田中健二・吉田貢士・針谷龍之介・安瀬地一作・乃田啓吾:メコン川流域における天水田の収量安定化戦略を考慮した水循環-作物生産モデルの構築,土木学会論文集B1(水工学) 70(4) 277-282 2014, 査読有
Koshi Yoshida et. al.: Evaluation of Automatic Irrigation System in Paddy for Water and Energy Saving and Environmental Conservation, Proceedings of ICHE2014, 11, 347-353, 2014, 査読無
Koshi Yoshida et. Al.: Future Water Use in Asia Monsoon Region: A Case Study in Indonesia, Journal of Developments in Sustainable Agriculture, 8, 25-31, (2013), 査読有
 田中健二, 吉田貢士, 乃田啓吾, 安瀬地一作, 黒田久雄:メコン川における窒素・リン排出原単位の推定, 農業農村工学会論文集, 284, 79-85, 2013, 査読有
Koshi Yoshida, Issaku Azechi and Hisao Kuroda: Application of two layer heat balance model for calculation of paddy thermal condition, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), 69(4), 139-144, 2013, 査読有
 安瀬地一作, 黒田久雄, 吉田貢士:一次元解析および平面二次元解析による水田の窒素浄化機能に関する研究,土木学会論文集B1(水工学) 69(4) 811-816 2013, 査読有

[学会発表](計 7 件)

Koshi Yoshida et.al.: Evaluation of Water Productivity and Nitrogen Uptake Efficiency on SRI paddy fields in Laos by using Plant Growth Model ,PAWEES2014 International Conference, 2014 年 10 月 30 日, Kaohsiung City (台湾)
 針谷龍之介・吉田貢士・安瀬地一作・前田滋哉・黒田久雄:インドネシア国チタルム川流域における営農管理を考慮した水・窒素循環モデルの構築,平成 25 年度農業農村工学会大会講演会,2013 年 9 月 2 日,東京農業大学(世田谷区、東京)

田中健二・吉田貢士・安瀬地一作・前田滋哉・黒田久雄:メコン川流域における水循環-作物生産モデルの構築,平成 25 年度農業農村工学会大会講演会,2013 年 9 月 2 日,東京農業大学(世田谷区、東京)
 酒井博子・田邊祐加・吉田貢士・安瀬地一作・黒田久雄:土壌の乾湿における CO₂,CH₄ ガスの動態に関する研究,平成 25 年度農業農村工学会大会講演会,2013 年 9 月 2 日,東京農業大学(世田谷区、東京)
 吉田貢士・安瀬地一作:気候変動がアジアモンスーン地域の洪水・渇水リスクに及ぼす影響,平成 24 年農業農村工学会大会講演会,2012 年 09 月 18 日,北海道大学(札幌市、北海道)
 田中健二・吉田貢士・安瀬地一作・黒田久雄:ラオス国 KM6 灌漑地区における水生産性の評価,平成 24 年農業農村工学会大会講演会,2012 年 09 月 18 日,北海道大学(札幌市、北海道)
 針谷龍之介・吉田貢士・安瀬地一作・黒田久雄・本郷千春:インドネシア国チタルム川流域における水資源量と窒素濃度の時空間分布,平成 24 年農業農村工学会大会講演会,2012 年 09 月 18 日,北海道大学(札幌市、北海道)

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

(2)研究分担者

無し

(3)連携研究者

無し