

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月23日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380160

研究課題名（和文）衛星データを用いたスケールアップアプローチによる
水稲収量予測に関する研究研究課題名（英文）The study on rice yield prediction through the scale-up approach
using satellite data

研究代表者

本郷 千春（HONGO CHI HARU）

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授

研究者番号：20272354

研究成果の概要（和文）：インドネシア共和国・西ジャワ州・チアンジュール県を実証試験地として、各種空間情報からの水稲収量予測モデルの作成、農業水利の実態把握を行った。推定生産量と用水系統図を比較した結果、下流に向かうに連れて生産量が低くなる傾向が見られ、乾期作では下流域の水田で水不足が生じていることが確認された。この結果は現地でのモニタリングと聞き取り調査と一致しており、本研究の結果をもとに灌漑水管理方法の見直しに有効であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The development of prediction model of rice yield and the investigation of agricultural water utilization, on basis of various spatial information, were executed in Cianjure of the west Jawa, Indonesia. From the analysis of relationship between the estimated rice production and the irrigation water system, it became clear that the rice production amount tends to get lower toward the downstream of irrigation system. The result suggests that the shortage of irrigation water appears around paddy fields of the downstream. This phenomenon corresponds to the result of our interview to farmers. This study result will be effective for the review of the irrigation water management method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2010年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2011年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：精密農業、地域環境保全

1. 研究開始当初の背景

これまで多くの環境対策が提案されてきたが、開発途上国民にとっては環境保全よりも生きることの方が大切に思うのが実情である。気候変動に伴い食糧生産が不安定化する中では、食糧増産のための多肥栽培に興味が増え、環境保全への配慮が欠けてしまう

のが現状である。このために、食糧増産と環境保全を同時に実現可能な、新たなシステムの構築および普及が現場で望まれている。

インドネシアのような低緯度地域では、作物生産に利用可能な水資源の不安定化と土壌劣化に伴い、食糧生産および下流域の水質環境は著しく脅かされている。これまでに、

気候変動による水資源への影響の一部については気候モデルによって明らかにされつつある。しかし、実際の社会システムへの影響は温度上昇に対して一元的に決められるものではなく、気候変動に対する洪水被害、渇水被害、土壌浸食等のリスクを地域ごとに類型化し、それぞれのレベルに応じた評価・対策が必要となる。

これまでに代表者は、リモートセンシングデータを利用して、作物の生育解析や収量推定に関する研究を行ってきた。さらに、分担者の吉田は、東南アジアをテストサイトとして、改良型 CROPWAT モデル、収量反応係数などから水稻生産に必要な灌漑水量を推定するモデルを構築している。そこで、これらの手法を統合・改良して、水稻の生産量を広域把握すること、利用可能用水量の評価を行うことを着想した。

2. 研究の目的

開発途上国における食糧の安定生産のために、各種空間情報からの水稻収量予測モデルの作成、農業水利の実態把握と水資源の定量的評価モデルを構築することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1)GIS 上に一元化された土壌や水資源などの各種データと過去から現在の収量実績データをベースにして対象流域の水稻生産ポテンシャルを評価する。群単位での生産量評価は低解像度の MODIS データを用いて行う。さらに、圃場単位での収量推定を行うために現地調査を実施する。この現地調査に同期して衛星データの撮影リクエストを投入し、収穫期のデータを取得する。また、超高解像度衛星データをベースとして圃場 1 筆単位でベクターデータ化した水田圃場 GIS データの作成を行う。

(2)インドネシアのチタルム川流域を対象として水循環モデルを構築および適用を行う。水循環モデルには、流域の地形・土地利用・土壌特性などの空間情報データが入力可能であり、流域内の水資源量の空間分布を評価可能な分布型の流出解析モデルを用いる。モデル構築に必要な気象データ、河川流量や雨量などの水文データ、水質データ等については 2011 年 7 月と 12 月、2012 年 3 月に現地調査を行い、データ収集を行った。

4. 研究成果

(1)実証試験地研究組織の確立および各種空間情報の一元化作業

①インドネシア共和国・西ジャワ州・チアンジュール県を実証試験地として現地における研究組織の確立および試験地の選定を行った。そして、パジャジャラン大学、西ジャ

ワ州農業省の協力の下、対象地域内の農家水田に約 40 箇所の調査地点を設定した。さらに、日射量、光量子、土壌水分、気温、風向・風速、湿度等のデータを取得するために、気象観測機器のインストールを行った。

②各種空間情報として、水稻の品種、土壌特性、灌漑システム情報、過去の生産実績などの情報収集を行い、GIS 上に一元化しデータセットを作成した。

さらに、超高解像度衛星データをベースとして圃場 1 筆単位でベクターデータ化した水田圃場 GIS データの作成を行った。

③実測収量データを取得するために、H21 年 7 月、H22 年 3 月、7 月、H23 年 3 月、7 月、H24 年 3 月の合計 6 回現地において生育・収量調査を実施した。調査項目は稲の栽培および生育実態の調査に加え、草丈、SPAD 値、実測収量、分光放射データの取得、土壌断面調査、土壌サンプルの採取である。さらに、玄米中の窒素および炭素含有率分析も行った。

(2)郡単位の水稲生産量ポテンシャルの評価

2002 年 10 月～2008 年 9 月の MODIS/Terra+Aqua Leaf Area Index 8-day L4 Global 1km SIN Grid V005 (全 276 データ)、SPOT5 データ (2011 年 2 月 20 日、2011 年 7 月 10 日)、ASTER データ (2007 年 5 月 29 日)、GIS データ (行政区区分図)、1996 年～2008 年の農業統計情報 (チアンジュール中央統計局発行) のデータを用いて、郡毎の LAI の季節変動や LAI と水稻の年間生産量の関係を解析した。

①LAI の季節変動

図 1 に対象地域全体における平均 LAI (5 連続平均値) の季節変動を示す。平均 LAI の季節変動をみると、3 月、7 月、12 月の 3 時期に極小値が確認できた。これらの時期は、現地での聞き取り調査によって明らかとなった水稻の収穫時期とほぼ一致していた。

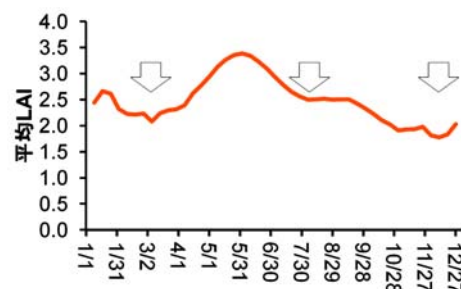


図 1 対象地域全体における平均 LAI の季節変動

②LAI 月間積算値と水稻の年間生産量の関係
表 1 に全ての郡 (A11) および郡毎の 2003～2008 年における LAI の月間積算値と水稻の年間生産量の関係を示す。全ての郡 (n=30) では、2 月と 12 月を除く全ての月に有意な正

の相関 ($p < 0.01$ または $p < 0.05$) が見られた。特に、収穫時期である3月、7月、12月の2~3か月前にあたる1月、5月、9月は郡毎においても比較的相関係数が高くなる傾向を確認した。

表1 月毎のLAIの月間積算値と
水稲の年間生産量の関係

	1月	2月	3月	4月	5月	6月
All	0.558 **	0.353	0.372 *	0.459 *	0.603 **	0.657 **
Bojongpicung	-0.578	0.106	-0.831 *	-0.074	0.380	0.516
Ciranjang	0.120	0.115	-0.648	-0.616	0.542	0.396
Karangtengah	0.396	0.023	-0.916 *	-0.141	0.755	-0.031
Sukaluyu	0.133	-0.196	-0.887 *	-0.114	0.533	-0.135
Mande	-0.178	0.169	-0.660	-0.015	0.580	-0.412

	7月	8月	9月	10月	11月	12月
All	0.529 **	0.671 **	0.668 **	0.604 **	0.569 **	0.217
Bojongpicung	-0.266	0.040	0.192	-0.683	0.201	-0.570
Ciranjang	-0.398	-0.164	0.488	-0.232	-0.625	-0.740
Karangtengah	-0.444	0.261	0.587	0.648	-0.485	-0.878 *
Sukaluyu	-0.378	-0.141	0.268	0.237	-0.758	-0.737
Mande	-0.027	0.578	0.778	0.294	0.048	-0.805

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

③ 特定期間のLAI積算値と年間生産量の関係

図2に1月、5月、9月のLAIの月間積算値の和と水稲の年間生産量の関係を示す。全ての郡には有意な正の相関 ($r = 0.664$, $p < 0.01$) があつた。さらに、灌漑率が80%を超えている3つの郡(Bojongpicung, Ciranjang, Karangtengah)に限定すると、相関係数はさらに高くなつた ($n = 18$, $r = 0.866$, $p < 0.01$)。このことは、LAIを用いて水稲の年間生産量を推定する際、水田灌漑や天水田など生産手法毎に推定式を作成することが水稲生産量の推定モデルの精度向上につながる可能性があることを示している。

④ 結果③を用いて、2008年の郡単位の水稲年間生産量を予測し、生産量可視化マップを作成した。

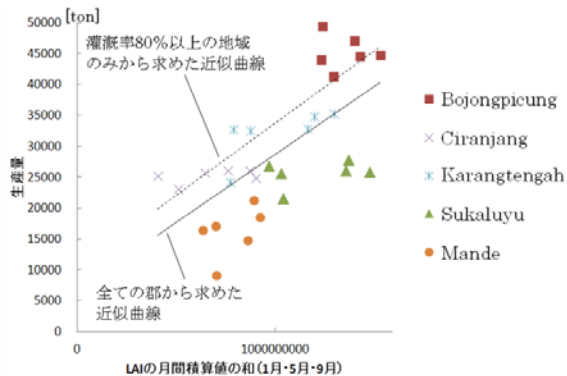


図2 1月、5月、9月のLAIの月間積算値の和と水稲の年間生産量の関係

(3) 圃場単位の水稲生産量の評価

Bojongpicung 郡の収穫期水田を対象とし

て、SPOT 5 データ、現地実測収量を用いて圃場1筆単位の水稲生産量を評価した。

① SPOT 衛星データの短波長赤外データと植生指数 NDVI から収穫期の水稲生産量を推定する式を求めた。10郡クロスバリデーションの結果は、0.7t/haであつた(図3)。

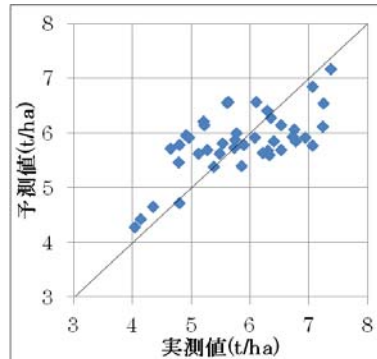


図3 推定生産量と実測生産量の関係

② 結果①で得られた式を画像の各ピクセルに代入して生産量の可視化を行うと共に、圃場GISデータを重ね合わせて収量を詳細に把握した結果、圃場単位および地域によって収量にバラつきがあることを確認した(図4)。

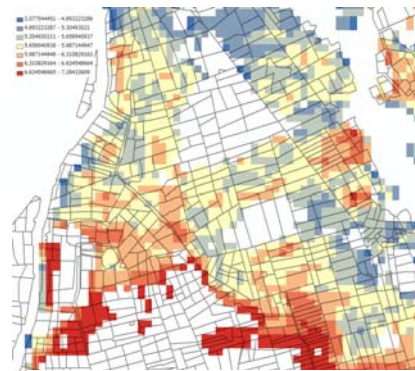


図4 推定生産量の可視化事例

③ 土壌調査の結果から、対象地域内の水田土壌は Entisol、Inceptisol、Ultisol の3種類に分類することが可能であつた(図5)。土壌タイプ別の深さ60cmまでの貫入抵抗値を図6に示す。Entisol、Inceptisol、Ultisolの順に貫入抵抗値は大きく、どの土壌タイプにおいても深さが増すにつれて貫入抵抗値も大きくなつていた。各土壌タイプで深さ20cmを越えてから貫入抵抗値の上昇率が大きくなつたため、この深さまでは鋤床であると考えられた。また、Entisolは他の土壌タイプと比べ、深さが増しても貫入抵抗値は小さく、深部まで軟らかかつた。Inceptisolでは土壌が非常に硬く貫入不可能な深さがあつたことから、Inceptisolには貫入限界の深さにばらつきがあることが分かつた。さらに、水稲生産量には土壌タイプの違いが関係していることが推察された(図7)。

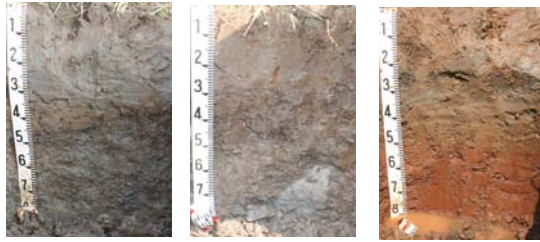


図5 対象地域の土壌
(左:Entisol,中央:Inceptisol,右:Ultisol)

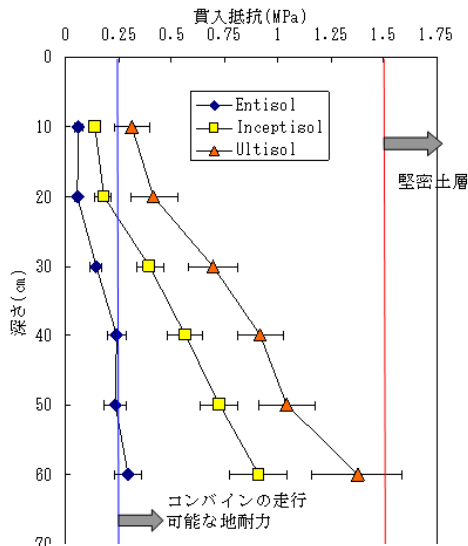


図6 各土壌の貫入抵抗特性

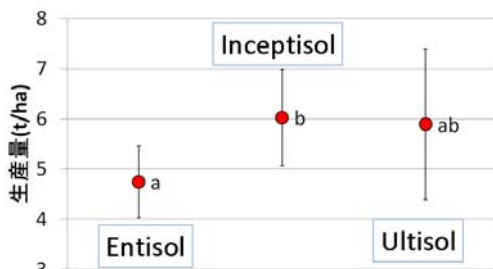


図7 土壌タイプと実測生産量との関係

④生産量のバラツキの要因を調べるために、結果②の可視化画像と灌漑水系図を重ね合わせた結果、灌漑の上流域で生産量が多く、下流に行くに従って生産量が低くなる傾向が読み取れた(図8)。聞き取り調査でも、需要灌漑水量に対して供給量が大幅に少ないことが明らかになっていることから、乾期作では下流域で水不足によって生産量が低下している可能性が示唆された。

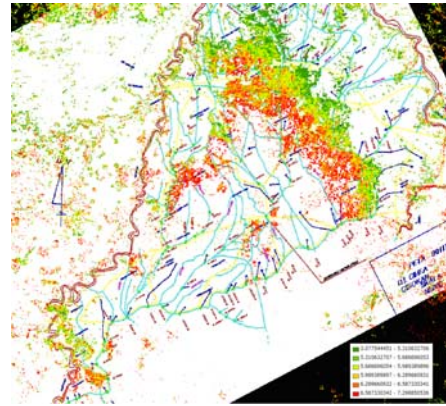


図8 生産量と灌漑水系との関係

(4) 利用可能水量の時空間分布の把握

実証試験地域内を流れるチタルム川流域を対象として水循環モデルの構築を行った。水循環モデルには、流域内の水資源量の空間分布を評価可能な分布型の流出解析モデルを用いた(図9)。

解析結果を図10に示す。分布の把握には完全分布型 TOPMODEL とダム放流モデルを用いて解析を行った。ハイドログラフの形状から低水部は再現でき、乾季・雨季の季節変動の傾向も見られた。しかし小さい降雨に対する流出の再現性は低かった。これは降雨データが1点のみ、土地利用データの市街地の割合が現状と異なる、ダムモデルにより小さい出水が平滑化されたことが原因であると考えられた。

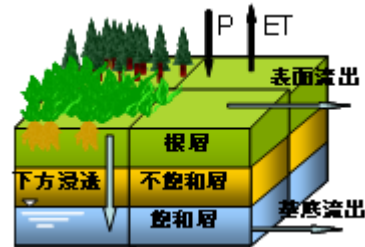


図9 分布型 TOPMODEL

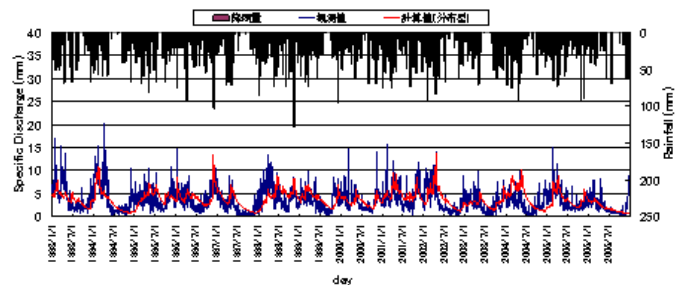


図10 観測値と計算値の比較

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 1 件)

Nuarsa I Wayan, Fumihiko Nishio and Chiharu Hongo, Journal of Agriculture Science, Canada, Vol.4(3), 査読有, 2012, 36-45

[学会発表] (計 13 件)

①Chiharu hongo, Gunardi Sigit, Koki Honma, Koshi Yoshida, Masayasu Maki, Handarto: International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics, 2011.10.18, Indonesia

②Masashi Kasuya, Chiharu Hongo, Gunardi Sigit, Koshi Yoshida, Masayasu Maki, Koki Honma, 他 3 名: International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics, 2011.10.18, Indonesia

③Nuarsa I Wayan, Fumihiko Nishio, Chiharu Hongo: 2nd CReSOS International symposium on south east Asia environmental problems and satellite remote sensing, 2011.2.21, Indonesia

④古川隆朗・本郷千春・吉田貢士・牧雅康・本間香貴・他 4 名: 西ジャワにおけるLAIと水稲生産量の関係, 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会, 2011.11.10, 弘前

⑤四方涼平・本郷千春・丹羽勝久・牧雅康・吉田貢士・他 4 名, 土壌タイプ別の水稲生産量とSPOTデータの関係, 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会, 2011.11.10, 弘前

⑥粕谷真史・本郷千春: 西ジャワ地域におけるASTER GDEMと現地計測データとの比較, 日本リモートセンシング学会第 50 回学術講演会, 2011.5.26, 東京

⑦針谷龍之介・吉田貢士・加藤亮・黒田久雄・乃田啓吾, インドネシア国チタルム川流域における利用可能水資源量の時空間分布, 平成 23 年度農業農村工学会 2011.9.6, 福岡

⑧本郷千春, リモートセンシング・GISを用いた環境にやさしい食糧生産支援手法, 環境科学会, 2011.9.9, 兵庫

⑨吉田貢士, 流域開発および気候変動が水環境に及ぼす影響, 環境科学会, 2011.9.9, 兵庫

⑩粕谷真史・本郷千春, インドネシアにおける水稲生産性と生産要因に関する解析, 日本リモートセンシング学会第 49 回学術講演会, 2010.11.9, 鹿児島

⑪ Hariya Ryunosuke, Koshi Yoshida, Tasuku Kato, Hisao Kuroda, Chiharu Hongo, Evaluation of Water Resources in Citarum River Basin, Indonesia, The 6th International Student Conference at Ibaraki University, 2010

⑫粕谷真史・本郷千春, インドネシア・チアンジュールにおける水稲生産量と灌漑技術に関する解析, 日本リモートセンシング学会第 47 回学術講演会, 2009.11.26, 名古屋

⑬Masashi Kasuya, Chiharu Hongo, Analysis of rice production and irrigation system in Cianjur, Indonesia, Proceedings of the 15rd CReS International Symposium on Remote Sensing, 2009.12.15, Chiba

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本郷 千春 (HONGO CHIHARU)

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授

研究者番号: 20272354

(2) 研究分担者

吉田 貢士 (YOSHIDA KOSHI)

茨城大学・農学部・准教授

研究者番号: 20420226

ヨサファット テトオコ スリ スマンティヨ (JOSAPHAT TETUKO SRI SUMANTYO)

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授

研究者番号: 40396693

沖 一雄 (OKI KAZUO)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号: 50292628