

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780012

研究課題名(和文)衛星からの合成開口レーダー観測を利用した東北タイ天水田における水稻生産量の推定

研究課題名(英文) Estimation of rice productivity based on synthetic aperture radar in Northeast Thailand

研究代表者

本間 香貴 (Homma, Koki)

京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・講師

研究者番号：60397560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：食糧安全保障などの面から、衛星リモートセンシングを利用した農業生産動向の把握技術の開発が急務とされている。本研究では生産変動が大きい東南アジアのタイ、ラオス、インドネシアにおいて、SARによる水稻の観測手法の有効性を検証した。その結果、葉面積指数や収量を直接推定するには課題が多いものの、SAR画像の経時的な変化に基づき、葉面積生長や収量を予測することは可能であるとの結論を得た。また移植日の推定はかなりの精度で可能であり、それに基づき水稻の生育収量モデルを走らせることにより、収量予測が可能であることも示した。

研究成果の概要(英文)：From the aspects of food security, development of evaluation method for crop production is recommended by utilizing satellite-based remote sensing. This study tried to use synthetic aperture radar (SAR) to evaluate rice production in Thailand, Lao PDR and Indonesia, where the production varies year-to-year. The results showed that the method based on SAR was unsatisfied to evaluate leaf area index (LAI) or yield directly. However, periodic SAR image provided key to assess rice production. Transplanting date is estimated by using SAR image in relatively accurate level, which makes it possible to estimate rice production by combining a simulation model for rice growth and yield.

研究分野：作物

キーワード：後方散乱係数 水稻 収量 葉面積 シミュレーションモデル タイ ラオス インドネシア

1. 研究開始当初の背景

近年、異常気象の頻発により世界の穀物流通価格の急騰や、穀物の取引停止などが生じるようになっており、食糧を輸入に頼っている我が国においては、穀物の生産量をいち早く把握することが非常に重要な課題となっている。グローバル化の進展により、各国における統計的な情報は比較的安易に手に入るようになってきてはいるものの、その精度については信頼性を欠く場合も多く、より客観的な把握が必要とされる。そうした把握技術の一つとして、衛星を利用したリモートセンシングに関する研究が進められている。

リモートセンシングを利用した農業生産の把握技術としては主に可視光から近赤外光の反射率を利用した研究が進んでいる (Nuarsa et al. 2011)。しかしながらこうした波長域は雲を透過できないため、衛星が上空を通過した時に雲が少ない条件でなければ観測できず、観測回数が非常に限られてしまう。従って雲を通過するマイクロ波を利用した合成開口レーダー (SAR) が、観測技術として有望視されている。

2. 研究の目的

本研究では既存のアーカイブデータ等を用いて、SAR の後方散乱係数 (σ^0) と水稻の葉面積指数 (LAI) や収量との関係を解析し、SAR の有効性を検討することを目的とした。さらに経時的な SAR 画像に基づき σ^0 の変化を定量化し、移植時期や葉面積生長速度が推定可能かどうかも検討した。移植時期の推定結果を基に水稻生育・収量予測シミュレーションモデルを動かし、収量予測精度に関する検討も行い、以上により農業生産性評価における SAR の有効性を検証する。

3. 研究の方法

本研究では研究の当初の対象地であったタイ東北部に加え、データの取得が可能となったため、インドネシア国チタルム川流域およびラオス国ビエンチャン州においても、調査・解析を行った。

(1) タイ東北部農家圃場における水稻生産性評価

本小課題は JAXA, RESTEC, 京都大学工学研究科, 東京大学農学生命科学研究科とタイ国の GISTDA, コンケン大学との協力により行った。タイ国コンケン県の農家水田 300 筆を対象に、水稻の草丈および水位の経時変化と出穂期の葉面積指数、成熟期の草丈、乾物重と収量、雑草乾物重を計測した。

当初 SAR データとして ALOS を使用予定であったが、運用停止のため GISTDA 提供の RADARSAT データを用いて解析を行った。

σ^0 と水稻の生育量との関係を解析し、それを干渉する要因として、水位や雑草の影響を検討した。

(2) インドネシア・チタルム川流域における水稻生産性評価

本小課題は京都大学工学研究科とインドネシア国ボゴール農科大学、西ジャワ州農業訓練センターとの協力により行った。チタルム川流域より農家水田を 30 筆選定し、水稻の移植日、葉面積指数の経時変化を調査し、SAR データとの関係を解析した。SAR データとして COSMO SkyMed のデータを用いた。またインタビュー調査に基づく収量を基に、生産性との関係も検討した。

(3) ラオス・ビエンチャン州における水稻生産性評価

本小課題は京都大学工学研究科とラオス国ラオ大学との協力により行った。ラオス国ビエンチャン州の農家水田 30 筆を対象に、水稻の移植日、葉面積指数の経時変化、成熟期の乾物重と収量を調査し、SAR データとの関係を解析した。SAR データとして COSMO SkyMed のデータを用いた。また雑草の被服程度や湛水程度も調査し、それらの要因が及ぼす影響についても検討を行った。

4. 研究成果

(1) タイ東北部農家圃場における水稻生産性評価

SAR の後方散乱係数 (σ^0) と水稻の生産指標を評価したところ、草丈とは有意な相関が見られたものの、その他乾物重や収量などとは有意な相関が見られなかった。 σ^0 と草丈との相関係数は移植田より直播田で高い傾向にあった。直播田ではランダムに比較的高密度で栽培されており、一方移植田は低密度でかつ水田ごとに栽植密度が大きく異なっていたため、植物体の密度により相関係数の違いが生じたと考えられた。一方でそうした植物体の密度を反映する葉面積指数や乾物重、収量などとは σ^0 との相関が見られなかった。これは高さそのものが σ^0 に影響を及ぼしていると考えられることに加え、倒伏や雑草の影響によると考えられた。雑草量と σ^0 に直接の関係は見られなかったものの、 σ^0 と葉面積指数の関係で大きく外れる点は雑草が多い傾向にあった。

σ^0 の推移は草丈の推移と同期しており、経時的な SAR 観測により、水稻の生育を評価することが可能であると考えられた。しかしながら、各計測場所における σ^0 と草丈の推移の関係はばらつきが大きく、干渉要因について更なる検討が必要であると考えられた。

(2) インドネシア・チタルム川流域における水稻生産性評価

水田における σ^0 は、移植時に入水により値がほぼ水域の値まで低下し、その後の生育に伴い増加すると言う Miyaoka ら (2013) のアルゴリズムを応用し、移植日の推定を行った。そのために 8 日周期の SAR データが必要であったものの、SAR に基づく推定移植

日は実測の移植日とよく一致した。特に平地では 1 週間以内の精度で推定日が得られた。山地などでの推定においては推定圃場の選定など注意深い運用が必要であると考えられた。

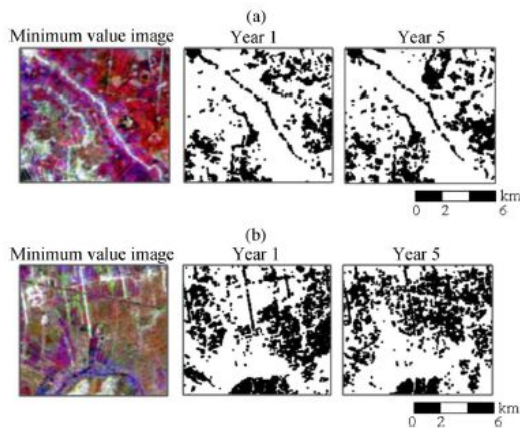
θ と葉面積指数の関係はばらつきが大きく、単独では推定誤差が大きかった。衛星からの入射角や周囲の圃場の状況などを検討することにより、相関係数を高めることは可能であったが、更なる研究が必要であると考えられた。

推定移植日を基に、作物生育モデルを用いて葉面積推定を行ったところ、葉面積生長を比較的良好に再現できた。これは現地での栽培が一般的に多肥栽培で品種 Ciherang が共通して用いられているためと考えられた。しかしながら作物生育モデルにより予測される収量は農家へのインタビューによって得られた収量とは一致せず、実測による検討が必要であると考えられた。

(3) ラオス・ピエンチャン州における水稲生産性評価

インドネシア国チタルム川流域で行ったのと同様に、SAR 画像の θ の変化により乾期作の栽培水田を抽出した(第 1 図)。抽出された水田は現地調査による水田と比較的良好に一致し(第 1 表)、水田形態が非常に多様性に富むラオス天水田においても SAR 画像を利用した水田面積の把握が可能であることを示した。

上記水田抽出アルゴリズムを改良し、移植日推定を行った。推定された移植日は実測による移植日との相関が見られたが、その精度はインドネシア国・チタルム川流域における精度より劣った。これはラオスの天水田地帯には切残した木がまばらに残り、水田区画も未整備で不揃いであり、田面の不均一さや雑草などの影響が大きいためと考えられた。

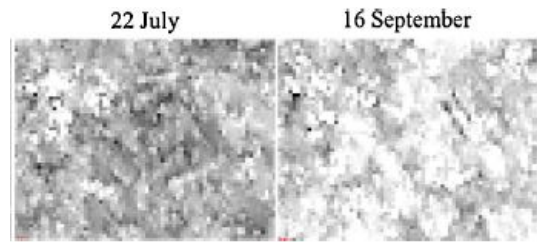


第 1 図. 水田栽培マップ抽出例. 栽培個所の変遷が評価可能であった (Miyaoaka et al., 2013).

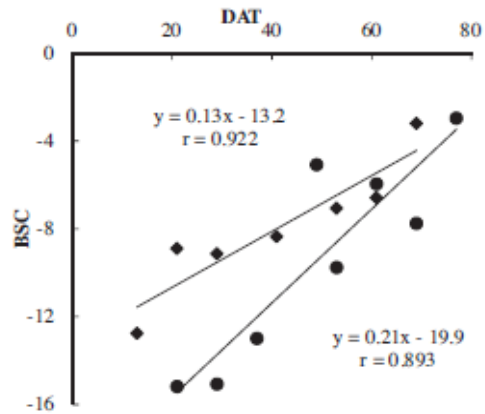
第 1 表. 水田抽出の精度解析 (Miyaoaka et al., 2013).

	(I)			Producer's accuracy (%)	
	Result		Total		
	Planted	Not planted			
Reference	Planted	12	11	23	52.17
	Not planted	1	27	28	92.86
	Total	13	37	51	
User's accuracy (%)		85.71	70.27	76.47	

	(II)					
	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Average
Total accuracy (%)	76.47	90.20	64.71	84.31	86.27	80.39



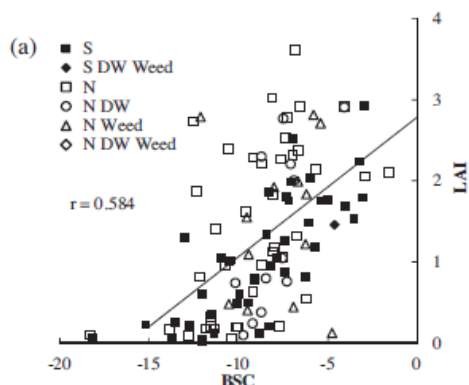
第 2 図. SAR 画像の推移. 移植直後は植物体に比べ水の割合が高く θ は小さくなり、黒っぽく表示される (7 月 22 日)。一方出穂直前である 9 月 16 日には植物体が大きくなり、それとともに θ も増加するため、白っぽく表示される (Hirooka et al., 2015)。



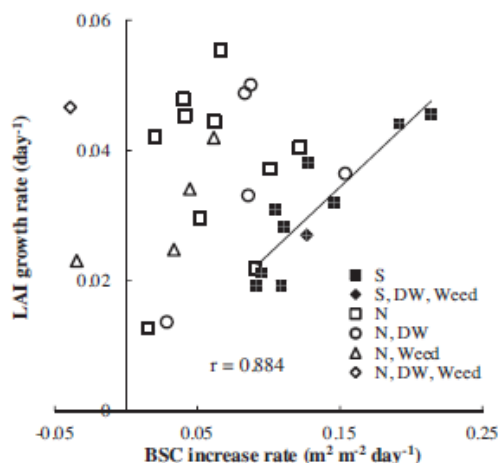
第 3 図. 連続した SAR 画像を用いた解析. θ (図中では BSC と表記) を日数に対してプロットし、相関を調べた。図には有意な関係を示した 2 地点を例として示した。傾きを θ の増加速度と定義し、第 5 図の解析に用いた (Hirooka et al., 2015)。

SAR のさらなる利用法を検討するため、葉面積指数および葉面積生長速度との関係を解析した。通常 θ は水稲の生育とともに増加するため(第 2 図)、連続した SAR 画像を用いて、日数に対して θ の増加が有意な地点と有意でない地点に分類した(第 3 図)。そのうえで θ と葉面積指数の関係を解析すると、第 3 図の解析において有意な関係が得られた地点に置いては、 θ と葉面積指数の

関係においても密接な相関関係が得られた(第4図)。また、第3図の解析により得られた0の増加速度は、葉面積生長速度に関係していることが示された(第5図)。この結果は SAR を用いて水稲生育を評価できるのは地点特異的であり、日数に対する0の増加をチェックすることにより、水稲生育の評価可能地点を選択することができることを示唆している。



第4図. 0 (BSC) と葉面積指数 (LAI) の関係。第3図の解析により0が日数に対して有意に増加した地点を抽出することにより(黒塗印),相関係数が増加した(Hirooka et al., 2015)。



第5図. 0 増加速度 (x 軸) と葉面積生長速度 (y 軸) の関係。凡例は第4図に同じ。

対象地において葉面積生長速度は乾物生産量および収量と関係していることが示されており、これらの結果は SAR による収量推定が可能であることを示していると考えられた。

(4) まとめ

本研究では東南アジアのタイ国東北部、インドネシア国チタルム川流域、ラオス国ビエンチャン州において、SAR による水稲生産性評価の可能性を検討した。品種や雑草、湛水状態だけでなく、圃場の形状や地形など様々な要因を検討する必要があるものの、経時的な SAR 画像の取得により、水稲生産性評価が

可能であるとの結論に至った。SAR による葉面積指数や葉面積生長速度だけでなく、水田域を把握し、移植日推定を行い、作物の生育・収量シミュレーションモデルを組み合わせることにより、精度を高めることも可能であることも示された。

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 4件)

1. Kambayashi, M., Homma, K., Maki, M., Hirooka, Y., Shiraiwa, T. (2012) Research on detection of rice ecotypes by canopy spectral reflectance. The 33rd Asian Conference on Remote Sensing, PS1-24, 1-8.
2. Miyaoaka, K., Maki, M., Susaki, J., Homma, K., Noda, K., Oki, K. (2013) Rice-planted area mapping using small sets of multi-temporal SAR data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 10, 1507-1511.
3. Hirooka, Y., Homma, K., Maki, M., Sekiguchi, K. (2015) Applicability of synthetic aperture radar (SAR) to evaluate leaf area index (LAI) and its growth rate of rice in farmers' fields in Lao PDR. Field Crops Res. 176, 119-122.
4. Maki, M., Homma, K., Hirooka, Y., Oki, K. (2015) Estimation of rice yield by assimilating remote sensing data into crop growth model (SIMRIW-RS). J. Agric. Meteorol. (in press)

(学会発表)(計 7件)

1. Homma, K., Maki, M. Development of SIMRIW-RS (Simulation model for rice weather relations with remote sensing). ACES and Ecosystem Markets 2012, December 10-14, 2012, Fort Lauderdale (USA)
2. Maki, M., Homma, K. Development of simulation model to evaluate geographical distribution of rice growth and yield. International Symposium on Remote Sensing 2013 (ISRS2013), 15-17 May, 2013, Makuahari (Japan)
3. 関口晃介, 牧雅康, 本間香貴, 吉田貢士, 沖一雄. リモートセンシングデータと作物モデルの結合による水稲の広域生育予測 - ラオス・ビエンチャン市郊外の水田地帯を対象として. 第55回日本リモートセンシング学会学術講演会 2013年11月21-22日 日本大学工学部(福島県郡山市)
4. Maki, M., Homma, K., Hirooka, Y., Oki, K. Estimation of rice yield by assimilating remote sensing data into

crop growth model (SIMRIW-RS).
International Symposium on
Agricultural Meteorology 2014, 17-20
March, Sapporo (Japan)

- 5 . **Homma, K.** Rice production in Citarum
river basin. The 7th GEOSS
Asia-Pacific Symposium, 26-28 May,
2014, Tokyo (Japan)
- 6 . Hirooka, Y., **Homma, K.**, Maki, M.,
Sekiguchi, K. Evaluation of rice growth
environment in farmers' field in Lao
PDR by remote sensing. 8th Asian Crop
Science Association Conference (ACSA)
23-25 September, 2014, Hanoi
(Vietnam)
- 7 . 関口晃介, 牧雅康, 廣岡義博, **本間香貴**.
COSMO-SkyMed データを用いた広域で
の水稲 LAI 推定制度の改善. 日本リモ
ートセンシング学会第 57 回学術講演会.
2014 年 11 月 6・7 日, 京都大学宇治おう
ばくプラザ (京都府京都市)

〔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〕

ホームページ:

[http://www.cropscience.kais.kyoto-u.ac.
jp/](http://www.cropscience.kais.kyoto-u.ac.jp/)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

本間 香貴 (HOMMA, Koki)

京都大学・大学院農学研究科・講師

研究者番号: 60397560