

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780263

研究課題名(和文) リモートセンシングと作物モデルを用いた水稻の生育と収量の高精度予測

研究課題名(英文) Estimation of rice growth and yield by using remote sensing data and crop model

研究代表者

牧 雅康 (MAKI, Masayasu)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50375391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、稲の生育と収量を精度良く推定するために、リモートセンシングと作物モデルの同化による推定に関する研究を行った。まず、本研究で用いる作物モデルの性能を評価し、水稻の葉面積を用いてモデル内のパラメータを調整することで、高精度に生育と収量を推定することが可能になることを確認した。そして、広域で葉面積を精度良く推定するために、リモートセンシングデータから算出可能なTIPSという植生指標から求めた葉面積指数によってモデル内のパラメータを調整することで、生育と収量を精度良く推定することが可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Assimilation of remote sensing into crop model was investigated for accurate estimation of rice growth and yield. In order to estimate rice yield by assimilating remote sensing data into crop model, availability of crop model used in this study was firstly confirmed using field measurement data. As results, when these parameters were readjusted by accurate leaf area index (LAI), the model could estimate rice growth and yield. In order to estimate accurate LAI at regional or global scale, TIPS, the vegetation index derived from remote sensing data for estimating LAI, was developed. And it was confirmed that TIPS was more useful to estimate LAI than conventional vegetation indices. For accurate estimation of rice growth and yield, readjustment of parameters in the model was executed using LAI derived from TIPS. As results, estimation accuracy of LAI was improved by optimization using remote sensing data, and estimation accuracy of yield was also improved by using optimized parameters.

研究分野：環境リモートセンシング

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：リモートセンシング 水稻 生育推定 収量推定

### 1. 研究開始当初の背景

国家レベルでの食糧安全保障政策を勘案する場合、対象作物の正確な収量の変動を面的に捉えておくことが必要となる。その際、広域を非破壊で観測可能なリモートセンシングが有効であるとされており、これまでに生育管理に活用した研究が幾つか行われている。しかし、既存の研究のほとんどは、観測時の生育状態（地上部乾物重や葉面積指数等）を推定するものである。これは、主に、リモートセンシングデータから計算される植生指標と実測乾物重（または葉面積）の回帰モデルの利用と、放射伝達モデルから計算される反射率と実際の反射率を用いた乾物重（または葉面積）の逆推定の2つの方法で行われている。どちらにも共通する問題点は、リモートセンシングデータは瞬時的であるため、動的な作物生長の一部分しか捉えることが出来ないことである。

リモートセンシング以外に、広域の地上部乾物重や葉面積を非破壊で推定する方法として、作物モデルの利用が考えられる。これについても、既存の研究によって、いくつかのモデルが開発されている。既存の作物モデルの共通点は、気象データ（気温、日長、日射、降雨等）および作物固有の変換係数を用いて光合成量を計算し、その結果を各器官へ分配するものである。これらは生理生態学的観点から構築されたモデルであるため、得られた結果の信頼性は高く、動的な作物生長シミュレーションが可能である。しかし、広域に展開した場合、実際の生長や収量を正確に推定できるまでに至っていないのが現状である。その理由として、モデル内の変数の複雑さや作物や圃場に関する係数の不正確さが挙げられる。

### 2. 研究の目的

リモートセンシングデータおよび作物モデルをそれぞれ単独で用いる場合は、上記の問題がある。しかし、瞬時値であるが、物理現象を反映している分光反射率を広域で得られるリモートセンシングと、広域展開した場合の不正確さはあるが、生理生態的な解釈および動的な生長シミュレーションが可能な作物モデルを結合することにより、従来の方法よりも高精度な生育状態推定および収量予測が可能になると考えられる。また、衛星画像を用いることにより、広域への展開が可能となる。よって、本研究では、広域展開が可能なリモートセンシングと作物モデルの結合による生育状態推定および収量予測の高精度化を目的とする。なお、対象とする作物は、アジア域の主要作物であるコメとする。

リモートセンシングと作物モデルを結合するためには、作物モデル内で気象データから計算される物質質量（地上部乾物重や葉面

積）を、リモートセンシングデータから高精度に推定した物質質量を用いて逐次更新することが重要である。すなわち、任意の時間の生育状態はリモートセンシングデータから推定し、その結果を用いて作物モデル内の関係するパラメータを再調整することで、生育状態の推定精度や収量の予測精度を向上させる方法である。よって、本研究では、1) 広域への展開が可能であり、かつ物理的解釈が可能なリモートセンシングデータを用いた地上部バイオマス量の推定手法の開発（瞬時の生育状態推定の高精度化）、2) リモートセンシングデータと作物モデルの同化手法について（生育状態及び収量予測の高精度化）を解決することも研究目標とした。

### 3. 研究の方法

これまで、衛星データから作物の生育状態を推定する方法が提案されているが、単純な統計手法によるため、必ずしも精度が良いとは言える状況では無い。そこで、本研究では、京都大学内の圃場において、リモートセンシングデータから地上部バイオマス量を高精度に推定するための手法の開発を行う。地上部バイオマス量に関係する葉面積については、既に、著者らはコムギを対象とした時系列変化推定のための植生指標であるTIPSを開発済みである。この指標は、既存の代表的な植生指標を用いた場合と比較して、葉面積の時間変化の再現が可能である。本研究では、このTIPSを基にした水稻の葉面積推定手法の開発を行う。そのために、圃場では、1) 個体および群落レベルの分光反射率計測、2) 分光反射率計測箇所のLAIや地上部乾物重の計測、を行う。そして、上記の1)の結果を用いてTIPSを計算する。その結果と、上記の2)の結果を比較し、水田を対象とした場合のTIPSの有効性を評価する。

次に、圃場実験で開発した手法を用いて、リモートセンシングデータと作物モデルの同化を行う。使用する作物モデルは、広域展開が比較的容易なSIMRIWを基本モデルとし、リモートセンシングデータとの高度な結合を目指す。

図1は、作物モデルとリモートセンシングデータの同化の一連の流れを示したものである。解析手順は、1) 作物モデルに、対象地の気象観測データを入力し葉面積を出力する。2) 圃場観測を通じて開発したリモートセンシングデータを用いた葉面積の推定手法を適用し、圃場で計測時の葉面積を推定する。3) 作物モデルとリモートセンシングデータから出力した葉面積を比較する。4) 比較結果が良好ならば、そのまま気象データを入力して、最終的に収量を推定する。5) 比較結果が良好でなければ、作物モデル内のパラメータをリモートセンシングデータから推定した葉面積に合うように調整を行う。6) 再調整されたパラメータを用いた作物モデルに気象データを入力し、最終的に収量を

推定する。

そして、上記の手順で得られた生育および収量と圃場実験で得られた実際の生育および収量とを比較し、本研究で提案した手法の妥当性を評価した。

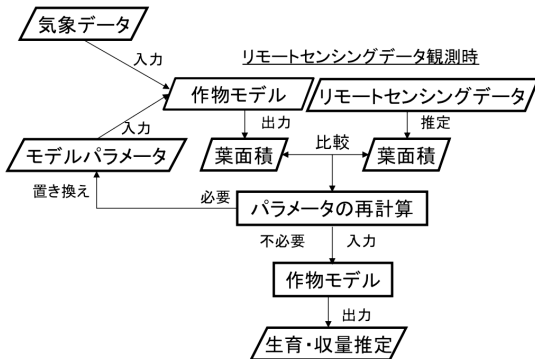


図 1 リモートセンシングデータと作物モデルの同化手順

#### 4. 研究成果

(1) リモートセンシングデータを用いた水稲の生育推定については、小麦用に開発された TIPS を用いた場合の有効性について評価した。図 2 は、京都大学圃場での計測結果を用いた結果の一例である。図中の LAI および TIPS は、それぞれ実測の葉面積指数および TIPS から推定した葉面積指数を表す。この図に示す通り、TIPS は生育期間中の水稲の葉面積指数の推定に有効であることが確認出来た。よって、本研究では、リモートセンシングデータから TIPS を算出し、その値から水稲の葉面積指数を求め、図 1 に示した作物モデルとリモートセンシングデータの同化に用いることとした。

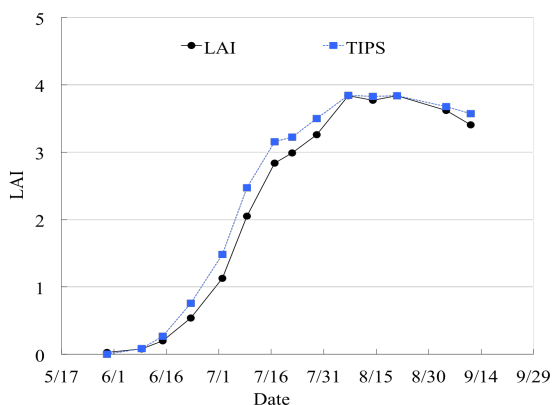


図 2 実際の葉面積指数 (LAI) とリモートセンシングデータから算出した TIPS を用いて推定した LAI の比較結果

(2) 本研究では、広域展開が比較容易な SIMRIW を基とし、圃場の特性を表すために水および窒素ストレスを考慮出来るように作物モデルに改良を施した。そして、改良し

たモデルの性能を評価した。図 3 は、圃場実験によって得られた実際の葉面積指数の時系列変化と、作物モデルのみを使用した場合に得られた葉面積指数の時系列変化の比較結果である。なお、作物モデル内で設定した品種に関するパラメータは、過去の圃場実験によって得られたものを用いた。また、圃場に関するパラメータについても同様である。図中の actual および crop model は、それぞれ実際に計測された葉面積および作物モデルで推定した葉面積指数を表す。この図から、作物モデルのみで生育 (葉面積指数) 変化を推定した場合、モデル内のパラメータの不正確さが原因となって誤差が生じることが確認出来た。

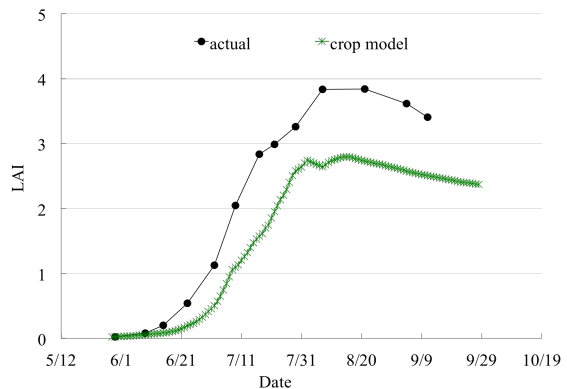


図 3 実際の葉面積指数変化と作物モデルのみで推定した葉面積指数変化の比較結果

(3) 図 3 に示す通り、本研究では作物モデルのみを用いて生育推定することは困難であることが確認出来た。そこで、リモートセンシングデータから算出した TIPS を用いて推定した葉面積指数と、同時刻の作物モデルによる葉面積指数の推定値を比較することで、作物モデル内の圃場に関するパラメータを再調整することを試みた。そして、それによって得られた葉面積指数の時系列変化の妥当性を評価した。その結果は、図 4 に示す通りである。図中の readjusted、actual、default は、それぞれ圃場に関するパラメータを再調整した作物モデルで推定した葉面積指数、実

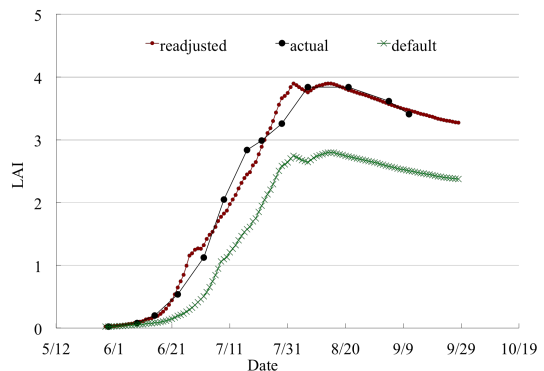


図 4 リモートセンシングデータと同化後の作物モデルを用いた生育推定結果

際の葉面積指数、圃場に関するパラメータの再調整前の作物モデルで推定した葉面積指数を表す。TIPS から得られた葉面積指数を用いて作物モデル内の圃場に関するパラメータを再調整することで、作物モデルによる生育推定の精度は向上することが確認出来た。すなわち、本研究で提案したリモートセンシングデータと作物モデルの同化手法によって、生育推定精度は向上することが確認出来た。

次に、リモートセンシングデータを用いて圃場に関するパラメータを再調整した作物モデルによって収量を推定し、収量推定における同化の有効性を評価した。その結果は、図 5 に示す通りである。図中の Nipponbare、Takanari、B6144、Banten、Phitsanulok2 は、それぞれ水稻の品種名であり、default、optimized、actual は、それぞれリモートセンシングデータとの同化前の収量推定結果、リモートセンシングデータとの同化後の収量推定結果、実際の収量を表す。この図から、リモートセンシングデータとの同化を行わなかった場合、推定した収量は品種によって過大評価や過小評価となり、いずれの場合も実際の収量と差があることが確認出来た。一方、圃場に関するパラメータを再調整した場合、すなわち、リモートセンシングデータとの同化を行った場合、いずれの品種においても、収量の推定精度は向上したことが確認出来た。

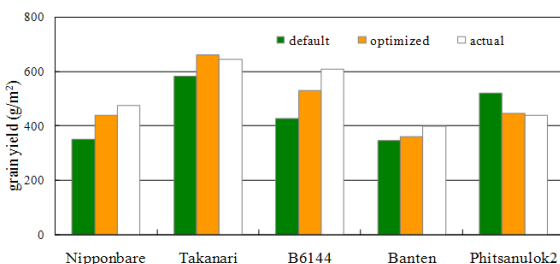


図 6 リモートセンシングデータの同化前後の作物モデルによって推定した収量の比較結果

以上のことから、本研究で得られた成果は、水稻の生育および収量推定の高精度化に貢献出来たと考えられる。

## 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 1 件)

Maki, M., Homma, K. Empirical Regression Models for Estimating Multiyear Leaf Area Index of Rice from Several Vegetation Indices at the Field Scale. *Remote Sensing*. 査読有り, 6(6), 2014, pp. 4764 - 4779.

[学会発表](計 6 件)

Maki, M., Homma, K., Hirooka, Y., and Oki, K. Estimation of rice yield by assimilating remote sensing data into crop growth model (SIMRIW-RS). International Symposium on Agricultural Meteorology, 2014年3月18日, 札幌

Maki, M., and Homma, K. Development of simulation model to evaluate geographical distribution of rice growth and yield. The International Symposium on Remote Sensing, 2013年5月16日, 幕張

Maki, M. and Homma, K. Development of SIMRIW-RS -Toward the development of simulation model to evaluate geographical distributions of rice growth and yield-. Workshop on RADAR observation of rice crop monitoring, 2013年2月18日, バンコク.

牧 雅康、本間香貴、沖 一雄、リモートセンシングデータと作物モデルの同化による収量予測の高精度化、第22回生研フオーラム、2013年3月1日、東京

牧 雅康、本間香貴、宮岡香苗、リモートセンシングデータとの同化による稲の広域評価型生育・収量予測モデルの開発、H24年度農業農村工学会大会講演会、2012年9月19日、札幌

牧 雅康、本間香貴、イネの広域評価型生育・収量予測モデルの開発に向けて、環境科学会 2011 年会、2011 年 9 月 9 日、西宮

[図書](計 1 件)

Oki, K., Noda, K., Yoshida, K., Azechi, I., Maki, M., Homma, K., Hongo, C., and Shirakawa, H. Development of an Environmentally Advanced Basin Model in Asia. *Crop Production*, 2014, Dr Aakash Goyal (Ed.), ISBN: 978-953-51-1174-0, InTech, DOI: 10.5772/54926, pp. 35 - 40

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

牧 雅康 (MAKI, Masayasu)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：5 0 3 7 5 3 9 1