

衛星データと作物モデルのデータ同化による冬小麦収穫量の推定

A Study of Estimating Winter Wheat Yields by Using Satellite Data Assimilation with Crop Growth Model

学籍番号 47096750

氏名 桑田 賢太郎 (Kuwata, Kentaro)

指導教員 柴崎 亮介 教授

1 はじめに

世界中で栽培されている農作物の総栽培面積約 15 億 ha の内、約半分が穀物だといわれており、世界で最も多く栽培されている農作物は穀物である (FAOSTAT)。しかし過去 50 年間、農作物の栽培面積は約 1 億 ha 程しか増加しておらず、穀物に関してはほとんど変化していない。つまり栽培面積を広げずに生産量を増やすため、人類は単位面積当たりの収穫量を増加させた。だが、地球温暖化による気候変動によって、世界中の作物栽培に悪影響を及ぼすことが報告されている (3)。また、穀物生産は、各国の農業政策や気候変動などの影響によるリスクが存在するため、穀物生産の事情は大きく変化する可能性がある。様々な要因に脆弱である穀物の供給を安定させ、計画的な食料生産を実現させるためには、様々な技術改善や政策が必要となる。その様な解決や対応策を実行するためには、穀物生育をモニタリングし、どこでどのような穀物がどれくらい生産されているかという情報が

不可欠だといえる。そこで、衛星リモートセンシングによる作物モデルのデータ同化が有用である (Dorigo *et al.*(1))。

2 本研究の目的

本研究の目的は、冬小麦の収穫量を大きな負担をかけずに高い精度で推定するため、衛星データと作物モデルによるデータ同化手法を開発することである。衛星による作物モデルのデータ同化は、作物のモニタリングに有用であるといわれているが、実装するために多くのデータを必要としたり、作物モデルが異なると、同じ様な手法が使えない場合が考えられ、クリアしなければならないハードルが数多く存在する。本研究は、衛星データを利用することで、どのような作物モデルでもデータ同化できるような、汎用性の高い手法を開発する。本研究では以下の3つを行う。

- 作物モデルの入力データとして、衛星データが有効に用いることができるか検証する。

- 異なる作物モデルでも簡易的にデータ同化できる手法を開発する。
- データ同化に有効な衛星データや作物モデルの出力データを模索する。

3 手法

3.1 研究対象地

本研究では、地方独立行政法人 北海道立総合機構 農業研究本部 十勝農業試験場の秋播き小麦を対象とした。試験場で栽培されている秋播き小麦、ホクシン (北見 66 号) の播種日、肥料に関する情報を参考にした。作況報告書は、十勝農業試験場のホームページ (<http://www.agri.hro.or.jp/tokachi/>) から入手した。

3.2 作物モデル

本研究では ICASA (International Consortium for Agricultural Systems Applications) で開発された農作物モデル、DSSAT-CSM (A Decision Support System for Agrotechnology Transfer Cropping System Model) を用いた。DSSAT-CSM は、作物の生長状況を定量的に表す乾物生産量 (Dry Matter; 以降から DM とする。) や LAI (葉面積指数) など多くのデータを各日で出力することができる。また多種多様な作物モデルが容易されているので、多くの種類の農作物のシミュレーションをすることができる。よって、それらの出力データで同化をすることができるので、データ同化に利用しやすいモデルだといえる。十勝農業試験場の作況報告書を

参考に、小麦の特徴を表す遺伝的パラメータをモンテカルロシミュレーションによって推定した。

3.3 感度分析

シミュレーションモデルには、多くのパラメータが用意されており、過去に起きた現象を再現するためには、シミュレーション前にパラメータを調整する必要がある。しかし、モデルのユーザーにとって、それらの性質は不透明であり、不確定な場合がある。よって、あらゆる状況のもとでパラメータを正確に推定するのは容易なことではないが、どのパラメータがどの程度、結果に影響を与えるかを知る必要がある。そのような分析を感度分析という。本研究では、どのパラメータがどの時期に冬小麦の LAI の生長に影響を及ぼすか、定量的に分析した。そうすることで、少ない労力で効果的なデータ同化をすることができる。結果、播種日が冬小麦の収穫量や LAI に最も強い影響を持つパラメータであった。図 1 は、播種してから LAI と播種日の相関係数の変動を表すものである。横軸が播種してからの日にち、縦軸が播種日と LAI の相関係数である。このような経時的感度分析から、播種日は、播種後の 200 日から 250 日の期間で最も LAI の生長に影響を及ぼすことがわかった。

3.4 衛星データ

本研究では、Nasahara, 2009(2) の手法を用いて、衛星データで光合成有効放射量 (Photosynthetically Active Radiation: PAR) を推定した。日本における年間積算 PAR の結果は、図 2 である。さら

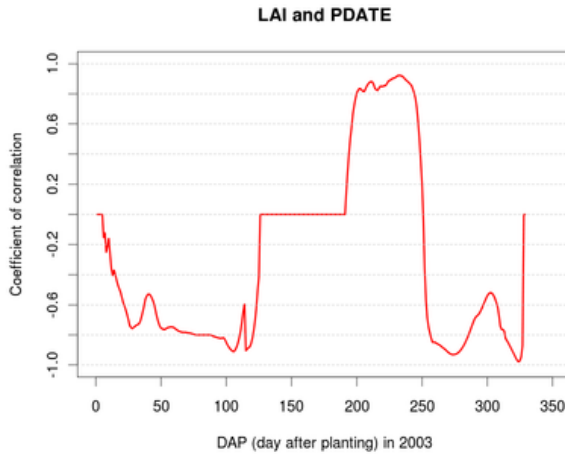


図 1: 播種後の各日における, DSSAT で計算した LAI と播種日の相関係数 (2003).

にそれを DSSAT-CSM の入力データとして用いるために, 日射量に変換した.

さらにモデルを同化するデータとして, 本研究では, MODIS (the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) の LAI プロダクト (MOD15A2) を使用した. LAI (Leaf Area Index) は, 地表の単位面積に対しての, その上方に存在するすべての葉の片側の総面積の比率である. 植物の個体に対しての LAI はその植物の生長を示す.

3.5 データ同化

本研究は, 経時的感度分析を参考にして, MODIS の LAI による DSSAT-CSM のデータ同化を行い, 2003 年から 2008 年までに播種したホクシンの収穫量を推定した. まず, 播種して 200 日から 250 日後の間で観測された MODIS LAI と DSSAT-CSM が計算した LAI の RMSE (平均二乗誤差) を計算する. そしてそれが最小になるような播種日を選

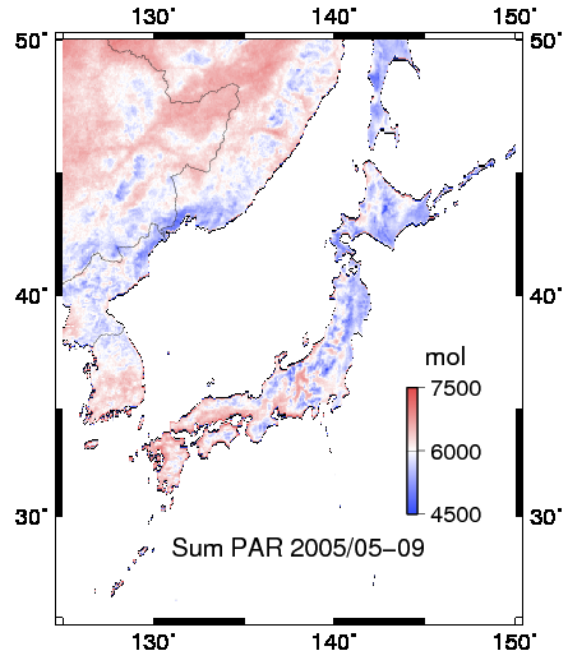


図 2: 衛星で推定した PAR の 2005 年の 5 月から 9 月までの積算.

択する. 十勝地方では, 冬小麦は 9 月の間に播種するので, 9 月 1 日から 30 日まで播種日を 1 日ずつずらし, 計算した.

4 結果

4.1 衛星による日射量の推定精度

図 3 は, MODIS の PAR から推定した日射量と松本市のアメダスによって観測された日射量を対応させた散布図である. 横軸が衛星で推定した日射量, 縦軸が松本のアメダスで推定された日射量である. 相関係数は 0.934, RMSE は 2.79 MJ m^{-2} となり, 高い精度で衛星データから日射量を推定することができた.

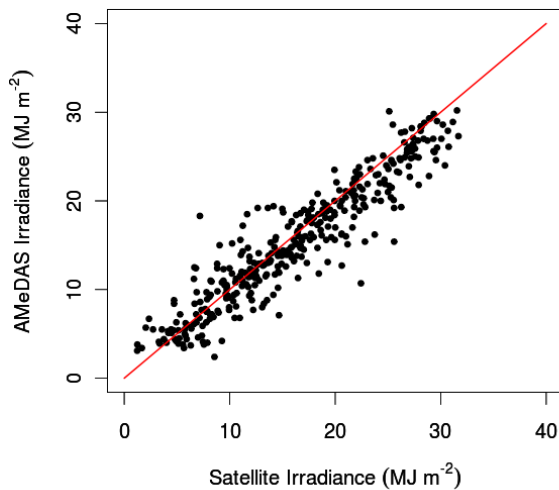


図3: 衛星の PAR から推定した日射量と松本のアメダスで観測された日射量.

4.2 衛星データと DSSAT-CSM のデータ同化による冬小麦の収量推定

特定の時期でデータ同化する手法で推定した6年間の冬小麦の収穫量と十勝農業試験場で報告されている収穫量との RMSE は $413.29 \text{ kg ha}^{-1}$ となった.

5 考察と今後の展望

衛星データと穀物データによるデータ同化を用いることで、高い精度でホクシンの収穫量を推定することができた。また衛星の日射量を利用することで、日射量が観測されていない地域でも収穫量を推定できるようになった。

今回は同化に LAI を用いた。しかし、DSSAT-CSM は LAI 以外にも作物の乾燥質量を計算し、

出力する。LAI によるデータ同化の既往研究は多く存在するが、乾燥質量による同化研究はまだ報告されていない。乾燥質量でモデルを同化することによって、LAI よりも高い精度で収穫量が推定できるか検証する必要がある。

今後は、MODIS の LAI だけでなく様々な衛星データを用いたデータ同化に取り組みたい。

参考文献

- [1] DORIGO, W., ZURITA-MILLA, R., WIT, DE A., BRAZILE, J., SINGH, R. and SCHAEPMAN, M. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **9**, 2 (2007), 165 – 193, Advances in airborne electromagnetics and remote sensing of agroecosystems.
- [2] NASHARA, K. N. Simple Algorithm for Estimation of Photosynthetically Active Radiation (PAR) Using Satellite Data, *SOLA*, **5** (2009), 037–040.
- [3] TAN, G. and SHIBASAKI, R. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration, *Ecological Modelling*, **168**, 3 (2003), 357 – 370, Landscape Theory and Landscape Modelling.