

衛星データによる稲の生育段階の分布把握

向井幸男*・力丸 厚*・高橋一義*・寺岡延尉**

Estimating distribution of growth stages of rice by satellite data

Yukio MUKAI*, Atsushi RIKIMARU*, Kazuyoshi TAKAHASHI*, Nobuaki TERAOKA**

Abstract : Photographs of rice fields were taken on the ground at several growth stages of rice, and leaf area cover ratios of the rice fields were computed with the photographs at each growth stage. A model of the relationship between the leaf area cover ratios and the growth stages of rice was generated using the data on the growth stages of rice surveyed by Japan Agriculture Echigo Santo. An image of vegetation cover density was generated using Bare soil Index and Normalized Difference Vegetation Index from Landsat TM data acquired during the growing period of rice, from which a distribution image of the growth stages of rice divided into 4 classes was produced using the above model. Examining the distribution image using the data on the growth stages of rice surveyed by JA Echigo Santo, it demonstrated the effectiveness for estimating the growth stages of rice. This study showed a possibility that satellite data acquired before the earing season can be used for the control of fertilization before the earing, a technology important for producing good quality rice.

Key words : Landsat TM data, Growth stages of rice, Vegetation cover density

1. はじめに

稲は日本で最も重要な農作物であり、品種改良などその生産技術の改良には古くから多大の努力がなされて来たが、最近リモートセンシング技術を利用することが研究されている。その作付面積、収穫量の全国的な調査が毎年農林水産省の統計情報センターで多大の時間と労力をかけて行われているが、これに衛星データの利用可能性が示されている^{1), 2), 6)}。

又最近衛星データを米の食味推定に利用する研究が行われており、稲の成熟期に観測されたランドサットTMやスポットデータから得られる正規化植生指数(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)が米粒タンパク含有率との間に高い相関が見られ、衛星データが各種栽培管理技術の評価や米の分別集荷に利用可能であるとしている³⁾。長岡市の隣りの越路町にあるJA越後さんとうでは、高分解能衛星IKONOSの収穫前の観測データを使って、実際に品質による分別集荷や稲の刈り取り適期の推定を行っている。越路町の圃場の大きさは平均して約30アール(100×30m)であり、高分解能衛星データが使用されている。またJA越後さんとうでは、生育調査を行い施肥の量や時期を指導し

ているが、将来衛星データを使って生育度を把握し、これを営農指導に利用することを計画している。美味しいお米を生産するには、生育度を見ながら施肥量を調節、特に出穂前に与える穂肥えが重要であるとの報告⁴⁾もあり、出穂前の生育度の把握が重要である。

本研究は上のような要求に答えるべく、稲の生育調査と同時期に地上で水田を撮影した画像と生育調査データとの関係を基に、ランドサットTMデータを使って稲の生育段階を把握する試みを行ったものである。

2. 研究手順

本研究における稲の生育段階分布画像の作成手順を図1に示す。対象領域は長岡市の南に隣接する越路町の水田とした。越路町の農地を管轄するJA越後さんとうの好意により稲の生育調査データを入手することが出来た。水田を真上から通常のカメラで撮影した画像を取得し、その画像を処理して水田の葉面積被覆率を算出し、稲の生育調査データと照合して、稲の生育度と水田の葉面積被覆率との関係を調査した。稲の成長期に取得されたランドサットTMデータからRikimaruの方法⁵⁾により植生被覆密度を算出し、水田領域のみを抽出し、上で得られた稲の生育度と水田の葉面積被覆率との関係を用いて、衛星の観測日段階での稲の生育段階分布画像を作成した。TMデータとしては田植え期から出穂までの稲の成長期に対象領域を良好な天候条

原稿受付：平成15年7月4日

*長岡技術科学大学環境・建設系

**株バスコ

件で観測したデータとして1999年6月14日観測のデータがあったのでこれを使用することにした。

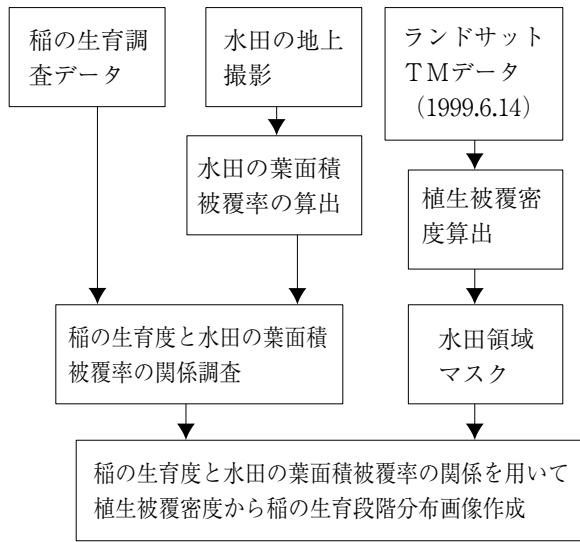


図1 ランドサットTMデータによる稲の生育段階分布画像の作成手順

表1 稲の生育調査データの1例 (1999年)

調査日	5/21	5/31	6/10	6/21	7/1	7/12	7/22	8/2
草丈(cm)	23.2	27.3	36	45.4	56.8	63.9	75	95.3
茎数	5	8	17.8	21.4	25.1	20.2	18.2	18.5
葉令(枚)	5	5.8	6.8	8.1	9	9.9	11.2	出穂
SPAD				34	31.5	28.9	34.5	34



図2 水田の地上撮影風景

3. 稲の生育度と水田の葉面積被覆率との関係調査

3.1 稲の生育調査データ

JA越後さんとうでは高品質の米の生産を目的とした

営農指導のための資料として、管轄内の約50点の水田を対象として、5月下旬から8月上旬までの間、約10日間隔で、稲の生育調査を行っている。調査項目は草丈、茎数、葉令、SPADである。草丈は稲の全長、茎数は1株における茎の本数であり、葉令は葉の枚数であり、SPADは葉の色の濃さを表すものであり、SPADメータで稲の葉をはさんで葉緑素の吸収帯(赤色帯)と吸収の少ない近赤外域の吸光度の差により測定する。JA越後さんとうから提供していただいた生育調査データの1例を表1に示す。稲の生育度を最もよく表す項目は1本の茎の葉の枚数を示す葉令であり、基本的な最高枚数は13である。1999年から2002年までの生育調査データを提供していただいた。

3.2 水田の葉面積被覆率調査

稲のいくつかの生育段階において、地上で図2に示すように長い棒の先に通常のカメラを取り付け約4m上から水田を撮影した。撮影した画像から稲の約30株が写る範囲を切り出して、葉の部分のみ抽出するような2値化処理を行い、水田の葉面積被覆率を算出した。2002年6月7日、7月19日、8月24日に7箇所の水田で撮影を行い、葉面積被覆率を算出し、その平均値を求めた結果を表2に示す。

3.3 稲の生育度と水田の葉面積被覆率との関係調査

稲の生育度を最もよく表す指標は葉令であるが、葉令では一般的に分かりにくいので、稲の生育度の指標として田植え後の日数を用いることにした。使用した1999年の生育調査データを基に田植え後日数と葉令の関係を調べて見ると、図3のように両者は直線関係を示し、生育度の指標として田植え後日数を用いてもよいと考えられる。地上撮影を行った7点の水田の平均の田植え日を5月2日(対象領域ではゴールデンウィークに田植えされることが多い)として、表2の撮影日を田植え後日数に変換し、稲の生育度と水田の葉面積被覆率の関係を求めた。表2に示すデータ以外に、田植え日を0%、出穂日(8月7日頃)を穂が半分出た時点なので95%、刈り取り日(9月10日頃)を100%の3点を追加して、最初と最後の区間を直線、その間の区

表2 地上撮影写真から算出した水田の葉面積被覆率

撮影日(2002年)	6月7日	7月19日	8月24日
葉面積被覆率(%)	6.9	67.5	100

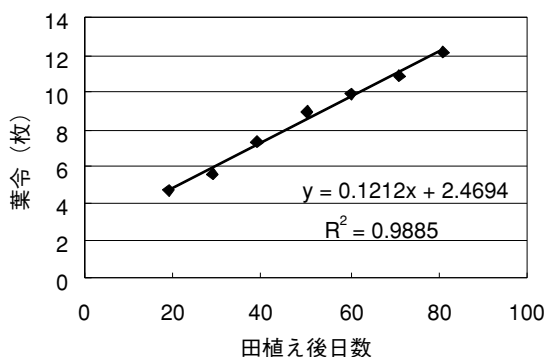


図3 葉令と田植え後日数の関係 (1999年の生育調査データによる)

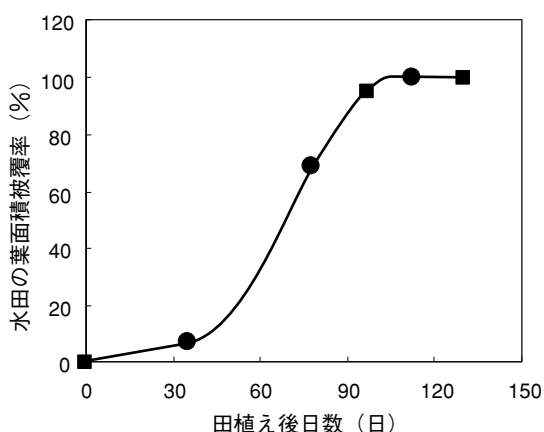


図4 稲の生育度 (田植え後日数) と水田の葉面積被覆率の関係

間をラグランジュ補間で近似して、稲の生育度と水田の葉面積被覆率の関係を求め、図4に示す結果を得た。図4で●は表2のデータの点、■は上述の追加した点を示す。厳密には稲の生育の度合いは品種によって異なるのであるが、ここではスーパーコシヒカリのデータを対象とした。対象領域全体には生育の度合いが異なる五百万石や千秋楽などの酒米も多く含まれている。

4. 衛星データからの植生被覆密度画像作成

地上での水田撮影は2002年であるが、この年の稲の田植え期から出穂期までの間に対象領域を観測した良好なランドサットTMデータが得られなかったため1999.6.14観測のTMデータを使用した。1999年と2002年の生育調査データにより、各年の図3の関係を調べるとほぼ同じ関係を示していたので衛星データとして1999年のデータを使用してもよいと考えた。ランドサットTMデータから植生被覆密度を算出する方法はRikimaruらの方法⁵⁾によった。以下にその方法を簡単

に説明する。

- (1) 雲、雲の影、水域を除き、各バンドの値を平均値と標準偏差を用いて正規化する。
- (2) 次式により正規化植生指数 (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) の画像を作成する。

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)} \times 100 + 100$$
 B4, B3: TMのバンド4と3
- (3) 次式により裸地指数 (BI: Bare soil Index) の画像を作成する。

$$BI = \frac{[(B5 + B3) - (B4 + B1)]}{[(B5 + B3) + (B4 + B1)]} \times 100 + 100$$
 B1, B3, B4, B5: TMのバンド1, 3, 4, 5
- (4) NDVIとBIの画像を入力データとして主成分変換を行うと、第1主成分が植生被覆密度を示す画像となる。植生被覆密度の値は第1主成分の軸上のヒストグラムを見ながら決定する。

NDVIとBIはそれぞれ植生と裸地の特性を示し、両者は負の高い相関関係を示す。NDVIとBIの主成分変換の第1主成分上のNDVIとBIのヒストグラムと植生被覆密度0と100%の設定状況を図5に示す。図5において、

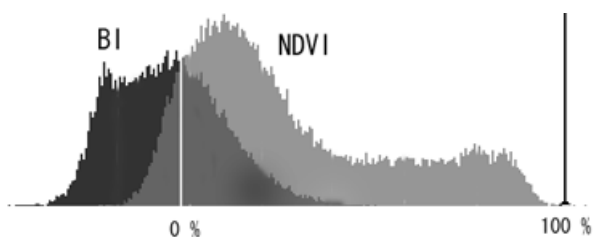


図5 NDVI (右) とBI (左) の第1主成分の軸上のヒストグラムと植生被覆密度0と100%の設定

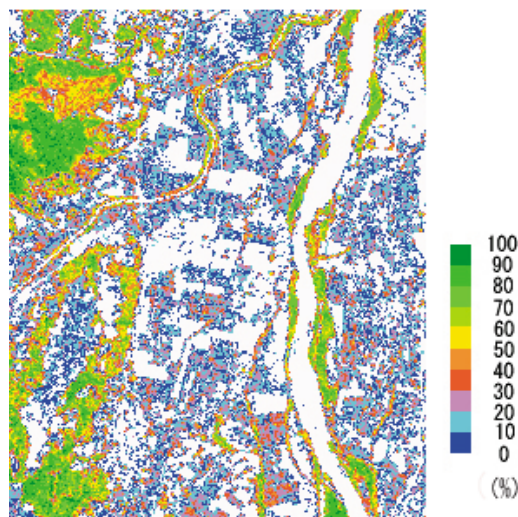


図6 ランドサットTMデータから作成した植生被覆密度の10%段階の色別表示画像

BIは左側にNDVIは右側に分布し、左から右に行くに従い植生被覆密度が増加する。このヒストグラムを見ながらBIとNDVIの頻度が等しくなる点を0%、NDVIの頻度が0になる上限の点を100%と設定した。以上のようにして得られた植生被覆密度を10%段階で色別表示した画像を図6に示す。

5. 衛星データによる稲の生育段階分布画像の作成

ランドサットTMデータを使って教師ありマルチスペクトル分類により水田の領域を抽出した水田マスクを作成し、そのマスクを使って、4項の手順で得られた植生被覆密度の画像から水田領域のみの植生被覆密度の画像を作成し、次に以下のような考え方で稲の生育度を4段階に分けた画像を作成した。

- (1) TMデータの観測日の6月14日は平均的な田植え日を5月2日とすると田植え後日数43日目に相当し、生育段階としてその前後の田植え後日数21~30、31~40、41~50、51~の4段階を設定した。
- (2) 上の4段階の田植え後日数に対する植生被覆密度の値を図4から求めると4.0~5.8、5.9~9.0、9.1~18.2、18.3~100%であり、上で求めた水田域の植生被覆密度の画像から上記範囲を抽出し、4段階に分けた稲の生育段階分布画像を作成した(図7)。図7では、図3の関係を使って各段階の田植え後日数に相当する葉令の値を求め、稲の生育段階の指標としてその値も示しておいた。

6. 結果の検討

- (1) 田植え後日数43日は図3と4の関係によれば、葉令7.7、水田の葉面積被覆率9.7%になり、図7では第3段階の赤に相当する。図7において、第1~4段階の割合はそれぞれ、10、15、56、19%で、第3段階の赤が最も多くなっており、順当な結果であると考えられる。しかし田植え後日数43日は第3段階のはじめに近いのであるが、図7では第4段階の黄色が第2段階のシアンより多くなっているのが少し納得できない。酒米はコシヒカリよりも生育が早い品種が多く、対象領域全体では酒米が比較的多く植えられており、酒米などが第4段階の黄色に判別されているのかもしれない。
- (2) 図6の植生被覆密度の画像では、左上隅の森林や信濃川沿いの植生被覆密度が大きくなっている。水田は主として信濃川の両側に分布している。

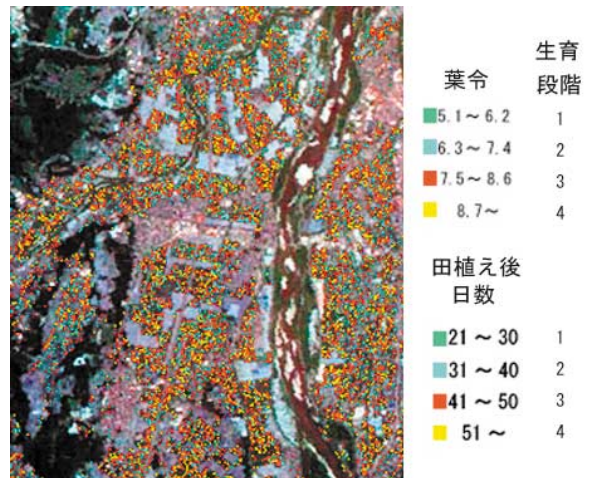


図7 ランドサットTMデータ(1999.6.14観測)による稲の生育段階分布画像

水田マスクを使って水田領域のみの植生被覆密度の分布を調べると、0~10、11~20、21~30、31~40%の各範囲に含まれる面積の割合は、それぞれ30、37、24、8%であった。衛星データの観測時期の被覆率の推定値が9.7%とすると、全体的に高い値になっているようであるが、これは上で述べたように、生育の早い酒米などの影響が出ているのかもしれない

- (3) JA越後さんとうが1999年度に行った生育調査データを行った15点(品種はいずれもスーパーコシヒカリ)について、図7の判別結果を調べると、第1~4段階に判別された点がそれぞれ1、4、8、2点であり、第3段階が最も多く、次が第2段階で、15点中12点が第2~3段階に判別されているのは、有意な結果であると考えられる。また、これらの点の6月14日時点の葉令の平均値を生育調査データから求めると15点の平均値は7.8で、田植え後日数からの推定値7.7とほぼ同じであった。第1~4段階に判別された点の平均値はそれぞれ7.3、7.8、7.9、7.8であり、第4段階を除けば第3段階までは順に大きくなっているようであるが、第1と4段階の点がそれぞれ1点と2点であり、これは有意な結果を示しているとは考えにくい。
- (4) 図7の画像が現在の生育段階の把握意外に、将来の生育度推定に利用可能であれば有益である。対象領域を1999年8月9日にランドサット7号により観測したETMデータがあったので、そのデータからNDVI画像を作成し、水田マスクを使って、水田領域のみを抽出し、8月9日のNDVI画像と

6月14日の植生被覆密度の画像との相関を調べると0.74の相関が得られた。8月9日は出穂直後であり、成熟期の初期であるが、成熟期のNDVIデータが米のタンパク含有量推定に有効であることは知られており³⁾、タンパク含有量は米の食味に大きく影響する。このことは出穂前の水田の植生被覆密度の画像が、将来の米の食味推定に有効であることを示唆している。

- (5) 図7の生育段階分布画像において、TMデータの観測時期とは離れた第1や4段階に判別された点のいくつかについて、元のTM画像を拡大表示して第1や4段階に判別された理由を調査してみたが、TMデータの分解能が不十分で分からなかった。TMデータの分解能が30mであり、対象領域の圃場の平均の大きさが30×100mであり、1画素の中に違った品種や作物（転作として大豆が多く栽培されている）の信号が含まれていることなどによる誤判別が十分考えられる。

7. まとめ

- (1) 水田の地上撮影画像から得られた水田の葉面積被覆率と稲の生育調査データから、水田の葉面積被覆率と稲の生育度との関係を調査し、稲の生育度として田植え後日数を用いて両者の関係を示すモデルを作成した。
- (2) 稲の出穂前の成長期（1999.6.14）に観測されたランドサットTMデータから得られる植生被覆密度の画像は水田の葉面積被覆率を表している。
- (3) (1)で得られたモデルを使って水田の植生被覆密度の画像から稲の生育度を4段階に分けた生育段階分布画像を作成した。
- (4) 得られた生育段階分布画像を生育調査データなどにより評価すると、TMデータが得られた時期に相当する生育段階にある水田の割合が最も多く、順当な結果を示していた。
- (5) 得られた植生被覆密度の画像は水田部分に関して、約1ヶ月半後の出穂直後の成熟期初期に観測されたETMデータによるNDVI画像との相関が高かった（ $r=0.74$ ）。このことは稲の出穂前の成長期の植生被覆密度の画像は稲の生育段階の把握のみならず、将来の米の食味推定にも有効であることを示唆している。

本研究により出穂前の稲の成長期に観測されたTMデータから作成した植生被覆密度の画像が稲の生育段

階の把握に有効であることが示された。TMデータの分解能が対象領域の平均的な圃場の大きさには不十分であり、将来もっと高分解能の衛星データが得られれば、美味しいお米の生産に重要な影響を持つ出穂前の施肥量の圃場単位での制御などに利用可能であると考えられる。

謝 辞

本研究の実施に当たり、JA越後さんとうの内山文昭氏から貴重な稲の生育データやその他稲の生育に関するいろいろな情報を提供して頂きました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 竹内章司、小西智久、菅雄三、小黒剛成、衛星搭載SARデータによる水稲作付面積の早期推定、写真測量とリモートセンシング、VOL.39, No.4, pp.25-30, 2000
- 2) 村上拓彦、斎藤元也、小川進、石塚直樹、VSW指数を応用した水稲作付面積推定、日本リモートセンシング学会誌, Vol.21, No.4, pp.330-341, 2001
- 3) 北海 道立中央農業試験場成果報告、衛星リモートセンシングを利用した米粒タンパク含有率区分図の作成、2000
- 4) 佐藤徹他、コシヒカリの食味に影響する要因および玄米窒素の制御、新潟県農業試験場報告、第43号、pp.35-43、1998
- 5) A. Rikimaru and S. Miyatake, Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model using Indices of Vegetation, Bare soil and Shadow, The 18th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. E 6.1-6.1997
- 6) 向井幸男、力丸厚、高橋一義、菅原航平、衛星搭載合成開口レーダーと光学センサーによる長岡市周辺地域の稲の作付面積推定、長岡技術科学大学研究報告 第24号、pp. 23-28、2002

