

衛星画像等を利用した水稻生育段階の分布把握とその利用について

環境リモートセンシング研究室 寺岡 延尉
力丸 厚
向井 幸男
高橋 一義

1 はじめに

近年新潟県内の一部の農協では、米の品質向上維持のため、約 10 日に一度の頻度で稲の生育調査を行っている。広範囲に分布する水田において、これらの情報を把握するには多大な労力と時間が必要であり、その軽減が求められている。

本研究では、広範囲の水田の状態を把握する際に適している衛星画像データから、水稻の生育段階を推定することを目的とする。

生育段階の異なる水稻のデジタル写真から、経過日数および生育調査データと葉面積被覆率の関係を導き出した。この関係式から導出した葉面積被覆率と衛星画像データから求めた植生被覆密度とを同様とみなし、経過日数に対応させることで、水稻の生育段階マップを作成した。これにより出穂前における水稻の生育状態を簡易に短時間で把握することができる。

そこで、最も重要で判断が困難とされる、出穂前の水稻に対する穂肥に注目し、営農指導をする参考となる生育段階情報の取得を試みた。

また、近年の兼業農家の増加によって農作業が休日に集中している。食味計測を目的として、刈り取り後、米は農協に持ちこまれるが、短期集中型の現状に対応できていない。このことから、食味計測に使用する時間の軽減が求められている。

北海道立中央農業試験場において、衛星画像から蛋白質含有量を推定することが可能という成果が挙げられた。新潟県の一部の農協においてもこの技術を利用して、食味予測を行うという動きがある。この農協では IKONOS 衛星画像を使用している。IKONOS 衛星は現在の商業衛星では最も高い解像度のセンサを搭載しているが、高価で範囲が狭いという問題がある。

本研究においては、比較的安価で対象領域全体を撮影可能な LANDSAT 衛星画像を利用することで、同様の結果を求めることを試みた。

2 使用データおよび対象地域

今回の報告では、1999 年 6 月 14 日に撮影された LANDSAT5 - TM(Thematic Mapper)衛星画像および 1999 年 8 月 9 日に撮影された LANDSAT7 - ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus)を用いた。画像 1PIXEL の解像度はどちらも 30m である。

表 1 に使用データを示す。

表 1 使用データ

データ名	生育調査データ	食味計測データ	撮影写真	衛星画像データ	
情報	草丈、葉令他	蛋白質、アミロース他	葉面積被覆率	植生被覆密度	NDVI
取得年度	1999年	1999年	2002年	1999年	1999年
日付	5月21日	10月末～11月上旬	6月7日	6月14日	8月9日
	5月31日				
	6月10日		6月20日		
	6月21日				
	7月1日		7月19日		
	7月12日				
	7月22日		8月23日		
	8月2日				

2002 年の衛星画像は未入手のため、年度は異なるが、デジタルカメラで撮影した日付と近い撮影日の衛星画像を選択した。

また、この時期は田植え時期から出穂時期の間という条件を満たし、ある程度生長した時期であるということ、この年度の生育調査データ、食味計測データが存在するというのも理由として挙げられる。

これらのデータは JA 越後さんとう越路中央支店から提供していただいた。

撮影方法は、5m のスタッフの先端にデジタルカメラを取り付け、約 4m の高さから水田の撮影を行うというものである。写真のサイズは 1600 × 1200PIXEL である。

デジタルカメラの写真は 2002 年 6 月 7 日、2002 年 7 月 19 日、2002 年 8 月 24 日の 4 時期において、スーパーコシヒカリ（中稲）を計 11 点の水田で撮影したものを使用した。対象地域は新潟県三島郡越路町の浦、中沢周辺である。

3 解析手法

生育段階マップ作成の手順を図 1 に示す。

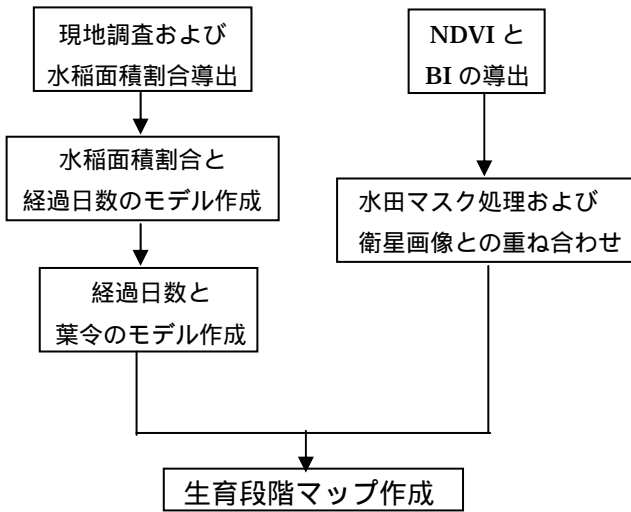


図 1 生育段階マップ作成手順

4.1 葉面積被覆率導出

図 1 に示した約 6m 四方の原画像から、およそ 30 株の水稲が入るサイズで左右と中心の 2、もしくは 3 領域を切り出し、2 値化して葉面積被覆率を導出した。6 月 7 日におけるコシヒカリの現地撮影原画像と解析用原画像および 2 値化画像をそれぞれ図 2 ~ 図 4 に示す。

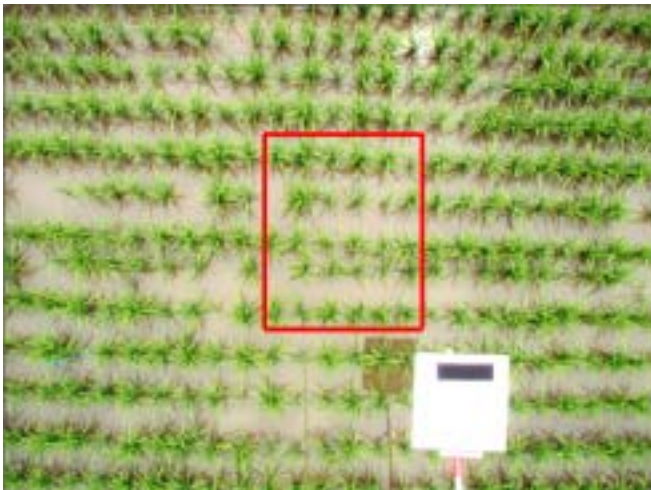


図 2 現地撮影原画像



図 3 解析用原画像

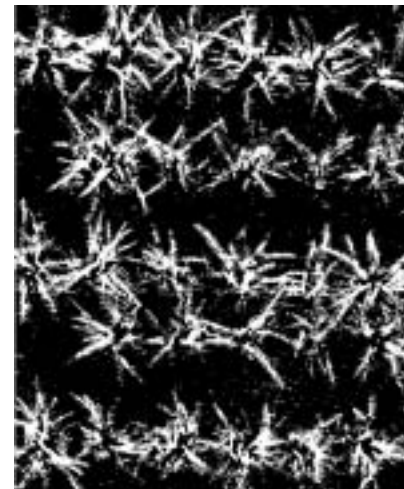


図 4 2 値化画像

4.2 モデル作成

写真撮影日においてコシヒカリの葉面積被覆率をプロットし、ラグランジュ補間により内挿を行い、経過日数と葉面積被覆率の関係をあらわしたグラフを図 5 に示す。

このグラフの始点は浦、中沢周辺における兼業農家の平均的な田植え時期とし、葉面積被覆率の初期値は 0% と仮定した。被覆率が 100% に達する時期は最初に写真で確認された 8 月 23 日とし、刈入れ日を終点とした。

今回の報告においては、原点と最初の撮影日である 6 月 7 日までおよび 8 月 24 日から刈入れ日までの区間で線形補間を行った。

6 月 7 日から 8 月 24 日までは、ラグランジュ補間を使用して葉面積被覆率を求めた。

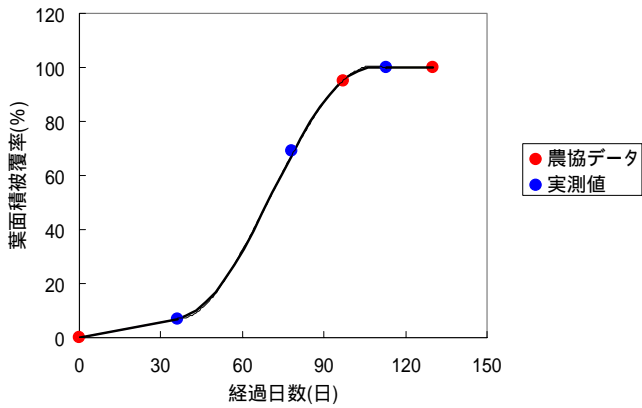


図5 葉面積被覆率変換モデル(コシヒカリ)

4.3 葉令

4.2 で作成したモデルからは、経過日数が得られるが、これは必ずしも生育状態をあらわすとは限らない。そこで実際の生育状態をあらわす指標である葉令を経過日数とのモデルを作成することで算出した。このモデルを図6に示す。

また、現地調査データと衛星画像データに年度の違いがあることから、1999年および2002年の生育調査データを使用して葉令の推移を確認したところ、それほど大きな差は見られなかった。このことから2002年の現地調査データを1999年の衛星画像データに適用しても誤差は少ないと判断した。

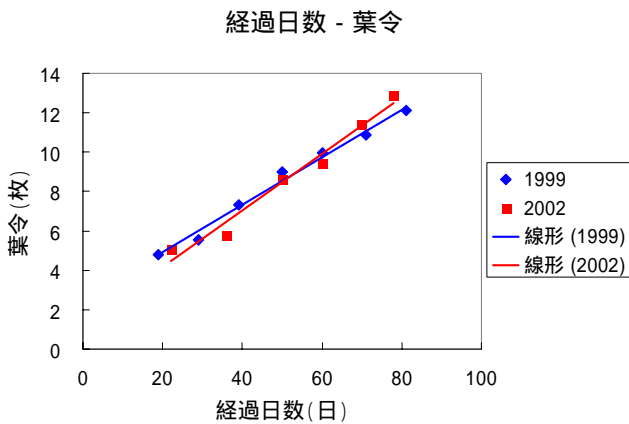


図6 葉令変換モデル

4.4 植生被覆密度の導出

地上での葉面積被覆率に対応するものとして、衛星画像において植生被覆密度 Vegetation Density(以下VD)を使用した。

植生指標VI (Vegetation Index)と裸地指標BI (Bair Soil Index)が負の相関にあることを利用し、主成

分分析を用いて2指標(2変量)を1変量に縮約した第一主成分を求めた。本研究ではVIにNDVI(Normalize difficulty Vegetation Index)を採用した。この新変量がVDの基となるが、そのまま使用すると植生以外の場所も含まれることから誤差が生じる恐れがあるため、画像の較正を行い、植生0%および100%のレベル値を決定することでVDの有効値を求めた。

4.4 生育段階マップ

以上の過程から作成したVDに対し、4.2で作成した葉面積被覆率変換モデルを使用することで、図7に示すような生育段階マップを作成した。

この画像は越路町全域における水田を抽出し、全ての水稲をコシヒカリと仮定して作成したものである。

4.5 栽培管理技術の評価

作成した生育段階マップと蛋白質含有量の関係を調べた。その結果、一定の関係は見られなかった。これは穂肥等による調整が行われたことが原因と考えられる。関係をあらわしたグラフを図8に示す。

ここで良質米とされる蛋白質含有量は6.5%以下であるが、図8においてA、Bというグループに含まれる6.6%以上の蛋白質含有量の米に注目する。

たとえばグループAの米は生育段階が良好であるが、蛋白質含有量が多いことから、撮影日後の栽培管理技術に問題があるという要因が考えられる。

このように結果をグループ化することで各時期における栽培管理技術の良し悪しを確認することができると思われる。

また、これらの結果は翌年以降の米の栽培管理に対する支援に有効である。

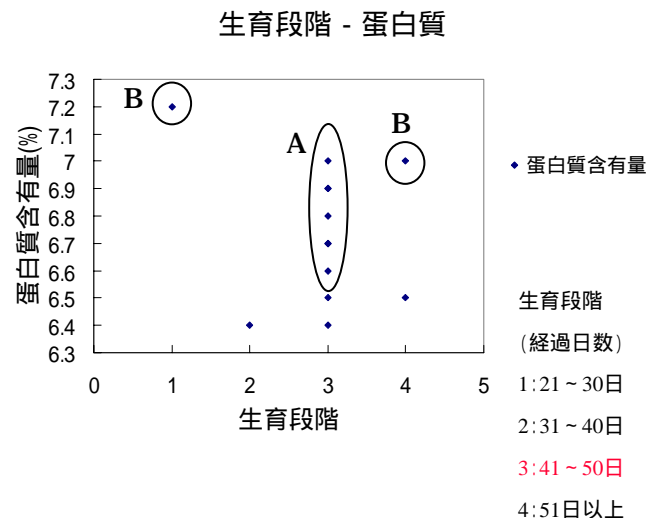


図8 生育段階と蛋白質の関係

5.1 食味

出穂後に撮影された衛星画像から得られる NDVI 値は蛋白質含有量と強い正の相関関係にある。本研究では 2001 年 8 月 25 日の IKONOS 衛星画像を使用して作成して区画データと、1999 年 8 月 9 日に撮影された LANDSAT7 - ETM+衛星画像から得られた NDVI 画像を重ね合わせることで NDVI 値と農協から提供していただいた蛋白質含有量を比較した。作成した区画データを図 8 に示す。



図 8 区画データ

区画データを使用する際、NDVI 値が影響を受けていると思われる場所を除くために、以下の条件を満たすものは除去して画素の選定を行った。

- ・ あぜ道や細い道路を除き、転作地や市街地、森林などの水田以外の要素に隣接した水田
- ・ 対象水田の中心を含まない画素
- ・ 対象水田以外の情報を多く含む画素
- ・ 周囲の画素値が明らかに異なる画素

その結果、新潟県においても条件を満たした水田では、NDVI から蛋白質含有量を推定可能であることを確認できた。

5.2 蛋白質とアミロースの関係

人工的に調整が可能な食味要素は、蛋白質だけではなくアミロースも該当する。このアミロースと蛋白質の関係を調べたところ、強い正の相関関係にあることがわかった。図 11 に関係をあらわしたグラフを示す。

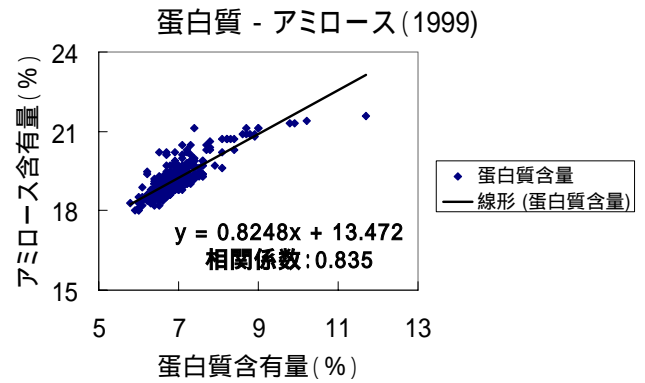


図 9 蛋白質とアミロースの関係

6 まとめ

今回使用した衛星画像はコシヒカリの田植え後、43 日目のものである。VD と生育段階を対応させた結果、田植え後の経過日数が 41~50 日目の水田が最も多いことが確認できた。このことから、JA 越後さんとうこしじ中央支店より入手した田植え日時からの経過日数と、葉面積被覆率およびVD から導出した経過日数がほぼ一致したと言える。

本研究によって、衛星画像撮影時における水田の生育段階が、どの程度の経過日数に相当するかを把握できることが確認された。ただし、これにはどの水田にどの品種がいつ植えられたかを把握しておく必要がある。

ここで、図 10 において経過日数が 41~50 日以外の水田も存在する。これは、対象地域内の稲の種類を同一として解析を行ったことや、田植え時期の違いを考慮していないためであると考えられる。

なお、生育段階マップを作成することで、栽培管理技術の評価に使用することも可能となった。

食味に関しては新潟県においても、NDVI から蛋白質含有量を推定することが可能であり、さらに蛋白質を介してアミロース含有量を推定できる可能性が明らかとなった。

さらに、本研究で用いた手法は表 6.2 に示したデータを所持していれば、どの場所にも適用可能である。

ここで、これらの結果は全て LANDSAT 衛星画像を利用したものであるが、回帰日数が 16 日であること、対象時期が天候不良であることから最適な時期に撮影

が行えるとは限らない。このことから、高頻度で調査を行うことは勿論のこと、LANDSAT 以外の衛星画像を併用することが望ましいと考えられる。

また、使用した LANDSAT 衛星の解像度は 30m であり、新潟県での平均的な水田面積が 30m × 100m であることから、NDVI および生育段階マップにおいて対象水田の純粋な情報を取得することは困難である。対象水田の情報を含む画素を選定する労力や時間の軽減および、使用する画素の絶対量の増加のためにも、LANDSAT 衛星画像に変わる高分解能画像の使用が求められる。

表 2 使用データ一覧

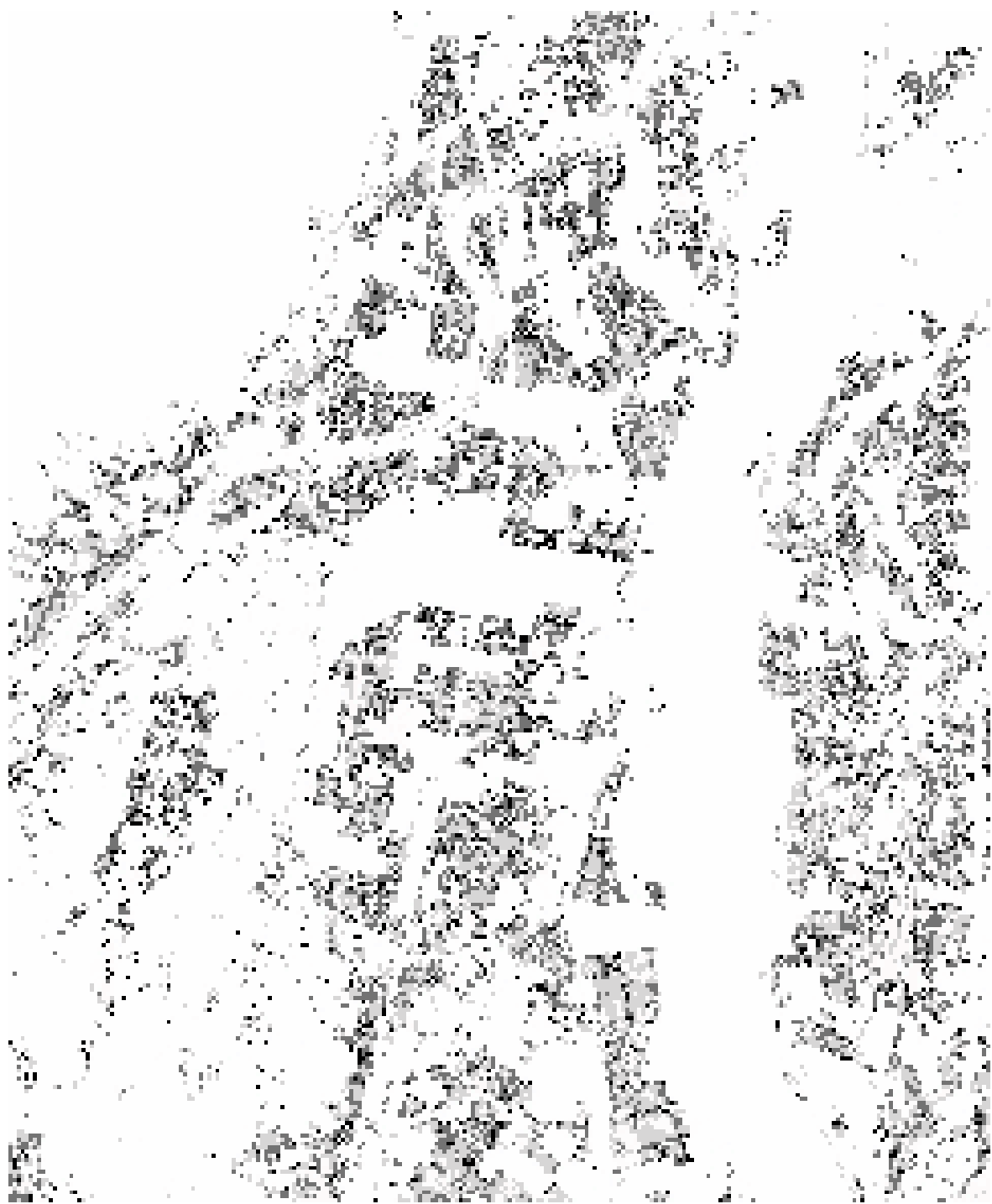
	詳細	時期
衛星画像データ	VI と BI が取得可能な衛星画像データ	解析年度の出穂前および出穂後
	高分解能衛星データ	年度・時期問わず
現地データ	葉面積被覆率	解析年度の田植え日～被覆率が 100% になるまで
	田植え日	
	出穂日	
	蛋白質含有量	解析年度
	圃場番号	必要最低限の更新を前提として年度および時期問わず
	作付品種	解析年度

参考文献

- 1) 新潟県農業総合研究所・作物研 諸我敏夫；本年の米作柄概況と課題、2001
- 2) 北海道立中央農業試験場・環境化学部・土壌資源科；環境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
- 3) 社団法人 農山漁村分化協会；稲作大百科 基本技術 / 生育診断
- 4) 越後こしじさんとう農業協同組合・こしじ中央支店；新潟県スーパーコシヒカリ栽培ごよみ
- 5) 新潟県農業総合研究所・基盤研究部；コシヒカリの目標玄米タンパク質含有率にするための穂肥窒素量の算出方法
- 6) 社団法人 農山漁村分化協会；稲作大百科 総説 / 品質と食味
- 7) A.Rikimaru；Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model using Indices of Vegetation, Bare soil and Shadow, Asian Conference on Remote Sensing, 1998
- 8) 佐藤徹ら；コシヒカリの食味に影響する要因及び玄米窒素の制御、新潟県農業試験場研究報告第 43 号、1998：pp35 - 42
- 9) 上川農業試験場 研究部 土壌肥料科 稲津 脩；水稻成熟期の止葉葉色値による米粒蛋白質含有量の簡易判定法、1996

謝辞

本解析研究に使用したデータの提供および、実地調査など様々な協力を頂いた越後さんとうこしじ中央支店農業協同組合営農センター、新潟県農業総合研究所、新潟県農業試験場、株式会社グリーンの皆様にこの場を借りて深謝いたします。



■	経過日数 31 ~ 40日	葉令 6.3 ~ 7.4枚
■	41 ~ 50日	7.5 ~ 8.6枚
■	51日以上	8.7枚以上

図7 生育段階マップ