MODISデータを利用した稲の生育モニタリングに関する研究

山形県川西町吉島地区を事例に

誌名	東京農業大学農学集報
ISSN	03759202
著者名	鈴木,充夫 若森,弘二 市川,ドルジュ
発行元	東京農業大学
巻/号	57巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 154-159
発行年月	2012年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

J. Agric. Sci., Tokyo Univ. Agric., 57 (3), 154-159 (2012)
東京農大農学集報，57（3），154-159（2012）

MODISデータを利用した稲の生育モニタリングに関する研究

—山形県川西町吉島地区を事例に—

鈴木充夫*・若森弘二**・市川ドルジュ**

（平成24年5月17日受付/平成24年7月20日受理）

要約：国内での衛星画像の農業利用が始まって以来，既に20年近く経過しているが，いまだ，実用化の段階には至っていない。本研究と同じMODISを使った水田分類の研究はあるが，本研究のような現場での普及を目的とした研究はなかった。その背景には1）稲の生育期間には梅雨の期間が含まれ，定期的な画像取得が困難なこと，2）高分解能の衛星画像は高価であること，3）衛星画像の解析のためには多大なコストが必要なことなどの要因があった。本研究では，NASAが2003年から運用しているTerra, Aquaに搭載しているMODISデータを利用し，準リアルタイム自動処理システムにより計算された時系列NDVI（植生指標）とGISを組み合わせることにより，圃場段階の稲の生育状況を連続的にモニターすることを可能にした。

キーワード：MODIS，正規化植生指数，NDVI，稲の生育モニタリング

1. 課　　題

国内での衛星画像の農業利用が始まって以来，既に20年近く経過しているが，いまだ，実用化の段階には至っていない（註1）。実用化が進まない理由には，①衛星利用コストが極めて高いこと，②衛星の周回頻度と農作業時期とのミスマッチの問題が挙げられる。これまで，数多くの衛星画像を活用した農業分野への適用研究がなされてきたが，ほとんどの適用研究は補助金対象事業が終了すると，利用者負担では賄えないほどの衛星画像経費が必要なために，利用者側も継続利用を諦めざるを得ない状況になっていた。また，稲の生育モニタリングを行うとすれば，稲の生育状況と農作業の関係から10日間間隔のモニタリングが必要である。

本研究では，NASAが2003年から運用しているTerra, Aquaに搭載しているMODISデータ（註2）を利用し，準リアルタイム自動処理システムにより計算された時系列NDVI（植生の分布状況や活性度を示す植生指標：Normalized Difference Vegetation Indexの略）（註3）を活用した稲の生育モニタニングについて報告する。対象とした地域は山形県東置賜郡川西町吉島地区（図1）の約1,200 haの水田であり，対象とした品種は，「コシヒカリ」と「はえぬき」である。

NDVIを活用した稲に関する従来の研究にはIKONOSやSPOTなど高分解能の衛星画像を使用した水田利用状況の判別やコメのタンパク含有率の推定（註4）などがある。また，本研究と同じMODISを使った水田分類の研究（註5）もあるが，本研究のような現場での普及を目的とした研究はなかった。その背景には，1）稲の生育期間には梅雨の期間が含まれ，定期的な画像取得が困難なこと，2）高分解能の衛星画像は高価であること，3）衛星画像の解析のためには多大なコストが必要なことなどの要因があった。

以下，2で従来の衛星画像を活用した農業利用の問題点を整理し，3でMODIS画像の利点，4でデータ処理，5で生育モニタリングの分析結果を報告する。

2. 衛星画像を活用した農業利用の問題点

2.1 天候に左右される農業

衛星画像を活用した農業利用が普及しない理由の1つは，生産期間が長いという農業の特徴を考慮していないことである。稲を例にとれば，5月の田植えから10月の収穫まで約6か月の生産期間がある。特に重要なのは，6月初旬から8月上旬の出穂期までの約2か月間で，多くのJAが試験圃場で実施しているSPAD値（葉色）などの生育調査も，この時期にかけて10日間間隔で実施している。参考のために，本研究で対象としたJA山形おきたまでは，置賜総合支庁の農業技術普及課と協力して，平成23年の6月10日，6月20日，6月30日，7月11日，7月20日の5回，「はえぬき」「つや姫」「コシヒカリ」「ひとめぼれ」の4品種について，管内42箇所の調査圃場で生育調査を実施している。

衛星データからの生育調査が技術的に可能であっても，6月初旬から7月下旬の約2か月間にかけて10日間の間隔で圃場の衛星画像が取得できなければ，現場では，まったく役にたたない。ところが，稲作生産にとって最も重要な6月初旬から7月下旬は，梅雨前期から台風シーズン中

* 東京農業大学国際食料情報学部国際バイオビジネス学科
** 東京農業大学客員研究員（有人宇宙システム株式会社）

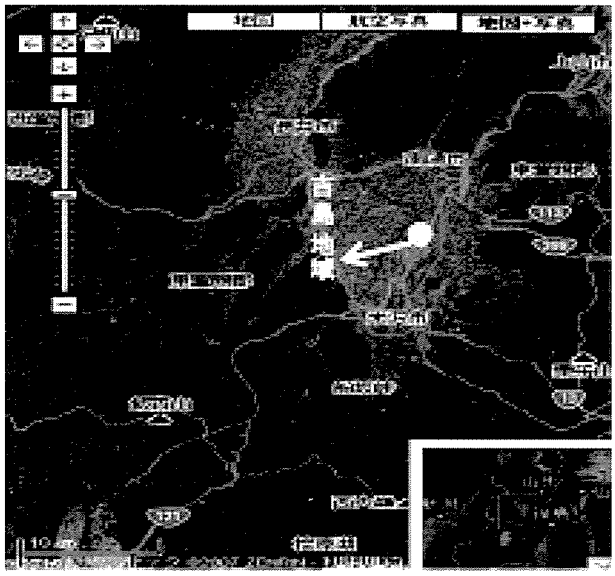


図 1　山形県における吉島地域の位置

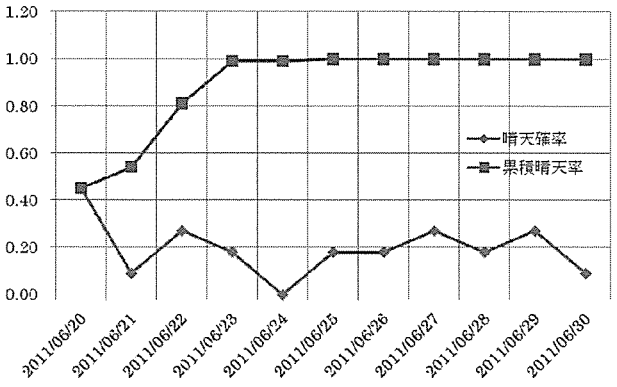


図 2　6月下旬の過去12年間の平均晴天率

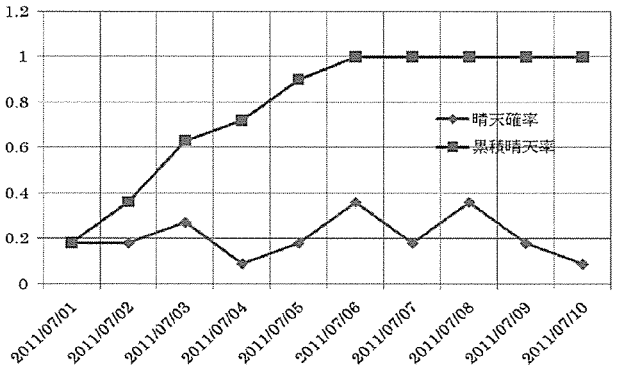


図 3　7月上旬の過去12年間の平均晴天率

期に当たり全国的に極めて晴天率は低い。このため，光学衛星による農業利用は天候上の理由により画像取得機会が極めて少ない。図2と図3は，山形県高畠町の6月と7月の過去12年間の晴天率を示したものである。

この図から，6月下旬から7月上旬にかけての晴天率は約20%前後であることが分かる。晴天率20%とは，10日間連続して衛星画像を撮りつづけたとしても，晴れる日はそのうちの2日だけという意味である。

農業分野への衛星利用は20年近く経過しているが，平成10年代までは，主にIKONOS衛星やSPOT衛星が利用されてきた。IKONOS衛星の周期は4から5日，SPOT衛星の周期は3日なので，これらの衛星を活用すると，6月下旬から7月上旬で晴れの画像を取得できる確率は，4%から6%（20%を3, 4, 5で割った値）となる。この確率だと稲の生育にとって最も重要な幼穂形成時期にあたる6月から7月初めに10日間の間隔で雲なし画像を取得することは難しいことになる。

2.2　衛星画像利用のコスト

衛星画像を活用した農業利用が普及しないもう一つの理由は，コストが極めて高いことである。IKONOS衛星を利用した1,000haの圃場別タンパク値を衛星画像から推定する場合のコストシミュレーションを示せば以下のようになる。まず，1,000haのIKONOS衛星の画像代は，新規撮影の場合，最低購入面積は121 km^2 (11 km×11 km)，最低購入価格は3,546,873円（国内衛星画像販売店の資料）と極めて高い。この取得した衛星データからタンパク値の推定に必要なNDVI（正規植生指数），および，タンパク値に変換するための解析コストが極めて高いのである。筆者のJA等でのヒアリングによれば，この解析コストに800万円から1,000万円も支払っている。その結果，JA等への提案価格は約1,200万円から1,400万円となってしまうのである。さらに，問題なのは，衛星画像から推定したタンパク値がJAに提出されるのは収穫後であり，これでは，当期の販売戦略や営農指導に使うことはできない。

3.　MODIS画像の利点

本研究で利用した衛星データはNASAが2003年から運用しているTerra, Aquaに搭載しているMODISデータである。MODISデータの分解能は250mと低解像度であるが，毎日画像データを取得できる利点がある。この250mの分解能とは6haから7haの圃場が固まっていれば衛星から圃場の判読が可能ということ意味している。これまで多くのリモートセンシングの研究者は，一筆20-30aの日本の圃場では，MODISによる稲のモニタリングは不可能だと考えていた。しかし，著者たちの長年の稲作地帯での現地調査の経験から，山形県，新潟県，秋田県などの日本のコメの主要産地では，栽培されている稲の品種は地域によりまとまっていることが確認できた。たとえば，JA山形おきたまで栽培されている稲の品種は，「はえぬき」が約60%，「コシヒカリ」が約40%であり，この2つの品種の栽培地域は，おおむね，まとまっている。また，秋田県では「あきたこまち」が全県で約90%に達している。稲の作付品種が特定品種に集中するのは，業務用需要がコメ販売の主流であることを考えれば当然の結果なのである。筆者たちは，研究対象地域の山形県川西町の6農家から6haの圃場の固まり6か所を提供してもらい試験圃場とした。図4に本研究で対象とした吉島地区の6か所の試験圃場の位置を示している。

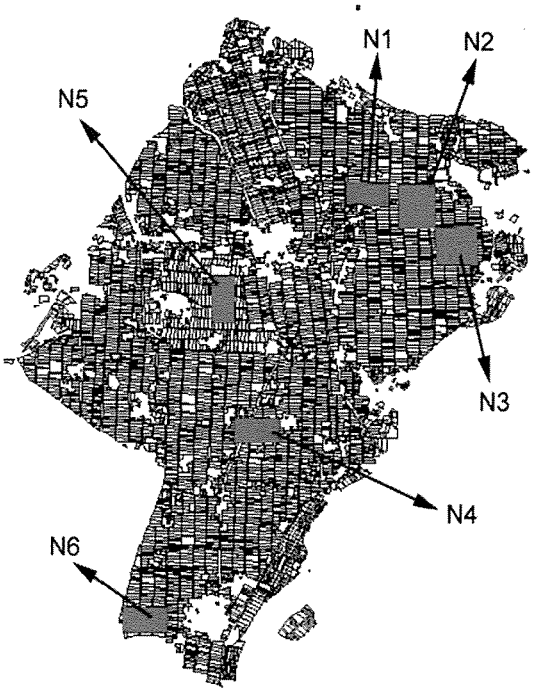


図 4 対象とした試験圃場

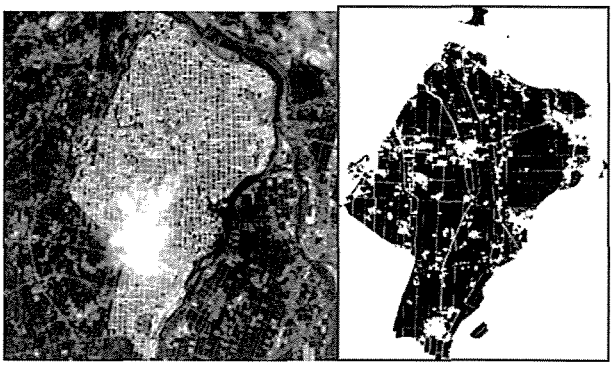
図 4 の N2 と N3 は，「コシヒカリ」が 80% 以上作付されている試験圃場，N4 と N5 は「はえぬき」が 80% 以上作付されている試験圃場，N1 と N6 はいくつかの品種が混合作付されている試験圃場である。

これらの試験圃場での生育モニター結果と 6 農家の現地での生育観察との意見交換から，6 ha のなかに同一品種が 80% 程度あれば，その品種の生育モニターは MODIS 衛星でも有効であるとの結論に達した。したがって，産地と圃場を選ぶことにより，その地域の代表的な稲の生育状況，たとえば，例年と比べて成長が早いか遅いかをリアルタイムで定点観測できることを確認した。

4. データ処理

4.1 GIS データのマスク画像の作成

対象地域の緯度・経度，および，一筆ごとの圃場ポリゴンが土地所有者の属性データと解析した衛星データとが正確にリンクされていなければ，衛星画像は，単なる写真にすぎず，現場での営農指導に利用することはできない。個別農家の営農をサポートしたり，JA が個々の農家に対し営農指導情報を提供しようとするならば，衛星画像が保有する情報を個々の農家の圃場レベルで把握することが必要になる。この意味において，GIS の構築と衛星画像の情報は表裏一体の関係にある。本研究では，鈴木が作成した吉島地区の GIS データ（1,200 ha：約 4,500 筆）を利用する。しかし，作成した吉島地区の GIS データには水田以外の異なるタイプの土地被覆（たとえば，宅地，屋敷林，道路，河川など）が存在しているので，まず，水田とそれ以外の土地被覆を区別し，水田のみを抽出・分析できる処理を行った。具体的には，作成した吉島地区の GIS データから，① ベクトル型の圃場ポリゴンシェープファイルを使用し，②



A. ポリゴンシェープデータ　　B. マスク画像

図 5 対象地域の圃場図

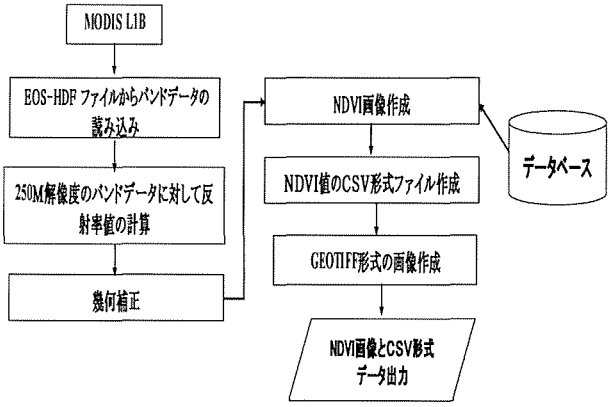


図 6 MODIS 画像処理のフローチャート

ベクトル型の圃場ポリゴンデータをラスタベースの画素に変換して圃場のマスク画像（図 5）を作成した。このマスク画像の活用により MODIS データから NDVI を計算するための精度を高めた。

4.2 MODIS データ処理

本研究では，2007 年から 2011 年までの 6 年間の MODIS データの 250 m の分解能を持つバンド 1 とバンド 2 を利用した。MODIS データは NASA のウェブサイト（MODIS Rapid Response System）から，本研究で対象とした山形県東置賜郡川西町吉島地区を含むデータを 2007 年から 2011 年の田植時期から収穫終了後まで，毎日ダウンロードし，当該日に雲があった場合には直近の吉島地区の雲無時のデータを 10 日間間隔で合成した雲なしコンポジットデータを作成し，稲の田植えから刈取りまでの生育状況を 10 日間間隔で準リアルタイムモニタリングできるシステムを開発した。このデータにラジオメトリック補正（註 6）と幾何補正（註 7）を施した。幾何補正では，ベクター型ポリゴンデータから生成した圃場のマスク画像を使って，試験地区の NDVI 値を計算し，RGB NDVI 画像（註 8）（図 7 参照），並びに，CSV 形式の数値データで出力した。そのアルゴリズム等の詳細については，Ts. Purevdorj〔5〕，Ts. Purevdorj and R. Yokoyama〔6〕を参照されたい。なお，図 6 に MODIS 画像処理のフローチャートを示してある。

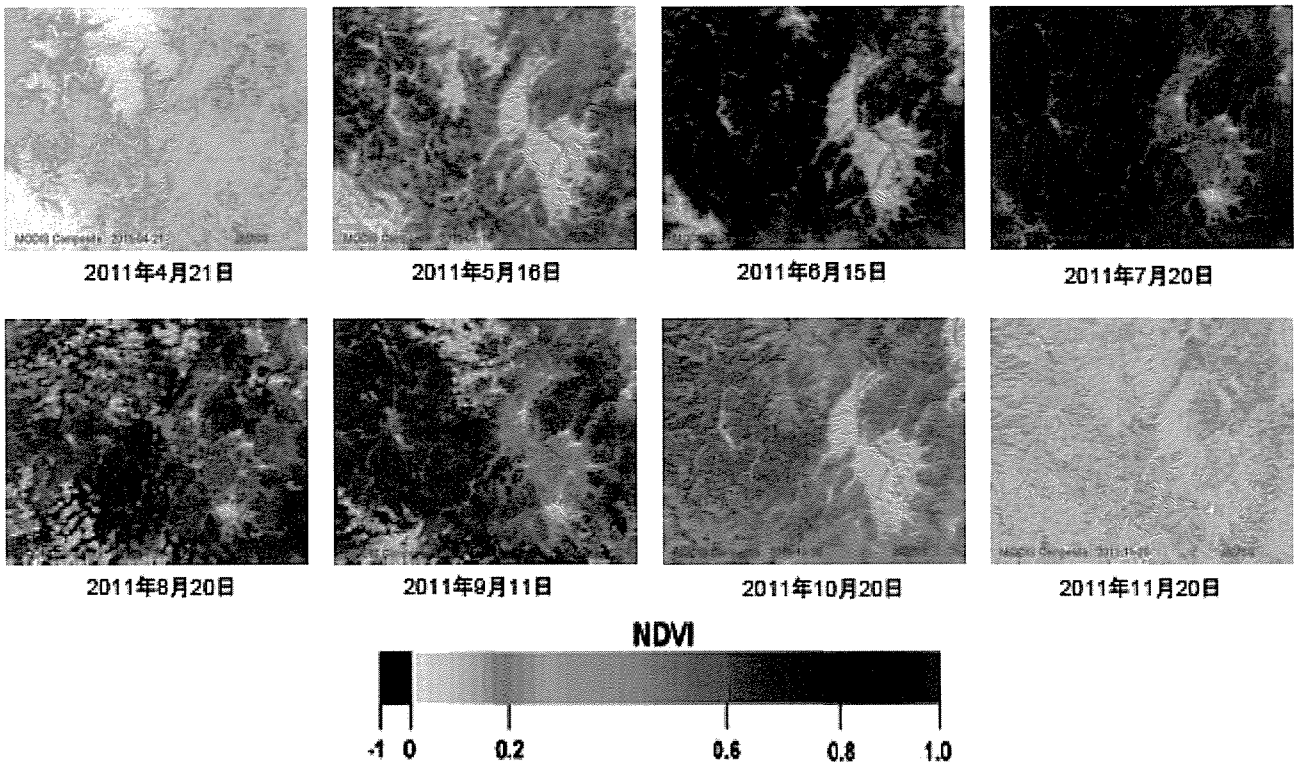


図 7　MODIS 画像による NDVI 値の時系列変化

5.　生育モニタリングの分析結果

図 7 は吉島地区を含む東置賜郡と米沢市周辺の 2011 年の MODIS 画像の NDVI 値の時系列の変化を示したものである。この図では NDVI 値は黒色が濃くなるにつれて大きく（植生活性度が高い）なることを示している。4 月 21 日は田植前なので植生活性度が低く，NDVI 値も小さく中央部の水田地帯は薄い灰色を示しているが，稲の成長にあわせ NDVI 値も大きくなり，7 月下旬から 8 月上旬にかけて黒色が最も濃くなり，収穫時期を迎える 9 月下旬にかけて，再び黒色が薄くなることが確認できる。一方，この地域の稲の生育状況は，5 月中旬・下旬の田植，8 月上旬の出穂，9 月初めの落水，9 月下旬の刈取となっており，色の変化と稲の成長過程がほぼ重なることが分かる。

図 8 は，本研究の対象地域である山形県川西町吉島地区における「コシヒカリ」（試験圃場 N2）と「はえぬき」（試験圃場 N5）が栽培されている試験圃場（6 ha）の 2011 年の 5 月上旬から 10 月下旬までの時系列 NDVI を示したものである。この図から NDVI 値の最大値は 8 月上旬（8 月 10 日）であり，「コシヒカリ」は 0.718，「はえぬき」は 0.688 を示していること，また，「コシヒカリ」と「はえぬき」では NDVI の波形が異なることが確認できた。この対になっている 2 品種の NDVI の差をとり有意性検定を行った結果，1％水準で有意であることが確認された。したがって，250 m の分解能を持つ MODIS 画像でも，隣接する 6 ha 程度の水田の 80％程度に同じ品種が作付されていれば品種の特定が可能なことが示された。

図 9 は，定点観測用の吉島地区のコシヒカリの試験圃場

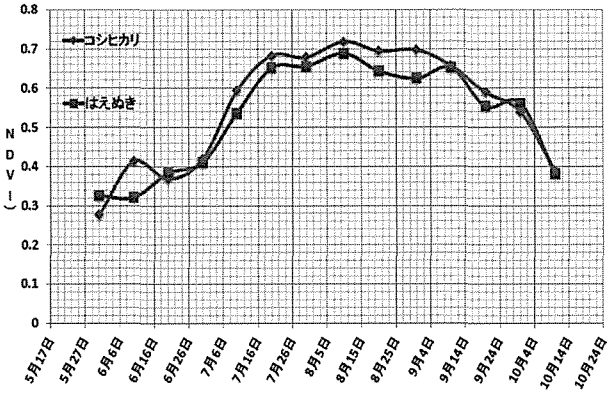


図 8　「コシヒカリ」と「はえぬき」の成長段階に対する NDVI 値

（6 ha：N2）における 2007 年から 2011 年の NDVI の時系列変化を示したものである。

2011 年度の稲作期間は雪解けが 4 月中旬と遅れたために田植え時期が 5 月後半となった。その影響で，稲の生育が例年（2007，2008，2009）と比べて遅れたものの（2011 年の NDVI 値は小さい：(a)），6 月中旬以降は例年並みの成長に戻り (b)，出穂時期 (NDVI 値がピーク) も例年並みとなった。しかし，出穂後の日照量，また 8 月後半の長雨と夜間温度の低下等の影響で，吉島北地区の試験圃場の NDVI 値は，8 月下旬に例年に比べ急激に低下したことが確認できる (c)。その結果，2011 年度の作柄は，NDVI 値が例年とほぼ同じ大きさであることから平年並みかそれを若干下回り，また，NDVI 値が 8 月下旬以降急激に低下したことにより，千粒重が平年より低いことを 8 月下旬時点

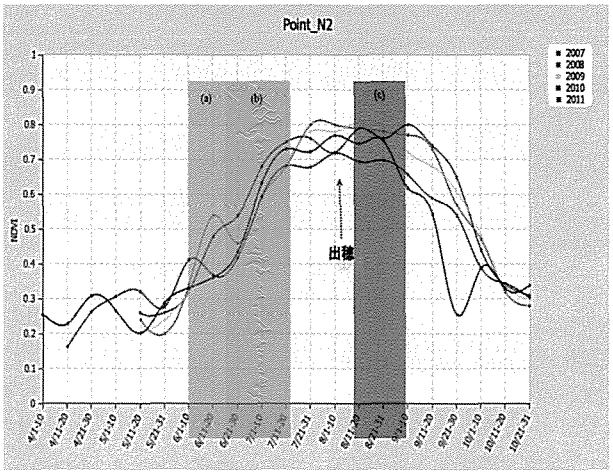


図 9 稲の生育段階に対する NDVI 値

で予測することができた。

6. 結　　論

これまで，MODIS データでの稲の生育状況をモニターした例は多数あるが，何れも，植生環境観測の域を出ていなかった。本研究では，MODIS の 250 m 解像度から自動解析システムを用い計算した NDVI データと GIS を組み合わせることにより，6 ha 圃場の稲の生育状況を連続的にモニターすることを可能にした。さらに，本研究で使用した MODIS 画像は無料で毎日入手可能であり，本処理ソフトを利用すれば，営農者自身が稲の生育状況を廉価で確認することが可能となった。なお，本研究は文部科学省の戦略的研究基盤形成支援事業（平成 20 年度から 24 年度，研究代表者：東京情報大学 新沼勝利），および，文部科学省宇宙開発利用促進調整委託費（平成 21 年度から 23 年度，研究代表者：東京農業大学 鈴木充夫）により実施した研究成果の一部である。

註

（註 1）本論で言う実用化とは，「利用者が国などの補助金に頼らず，自己資金により利用することができ，多くの JA などの導入事例がある」ことを指している。米のタンパク質含量を衛星画像などから推定し，品質管理に利用する取り組みが，新潟県，石川県，佐賀県などで行われていたが，筆者のヒアリングによれば新潟県の JA 越後さんとう，佐賀県の JA 佐賀では費用対効果を検討し衛星画像利用の見直しが行われ，石川県の羽咋市では，独自に衛星画像ビジネスを立ち上げたが，現段階では実用化までには至っていない。

（註 2）地球観測衛星「Terra」および「Aqua」に搭載されている MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) は，アメリカ航空宇宙局 (NASA) によって開発された可視・赤外域の放射計で，観測波長帯は 0.4 μm から 14.4 μm の範囲に 36 のバンドを有し，直下における水平解像度は 2 バンドが 250 m，5 バンドが 500 m，残りが 1000 m である。地表，大気中微粒子および大気からの放射を観測することにより，エアロゾルの光学的特性(光学的厚さ，粒径分布)，雲分布，海面水温，海色（クロロフィル a 濃度)，積雪分布，雪氷面温度，陸上の植生指数，植生モニトーリング，森林火災の検出などの地球環境に関する諸量が求めることができる。

（註 3）NDVI 値は赤波長（バンド 1）と近赤外波長（バンド 2）のデータから，(近赤外波長－赤波長)/(近赤外波長＋赤波長）の式で求めた。

（註 4）IKONOS 衛星を用いた水田利用状況の判別〔1〕，SOPT 衛星と IKONOS 衛星を用いたコメのタンパク含有の推定〔2〕〔4〕などがある。

（註 5）この研究では MODIS の時系列 NDVI を用い日本全国の水田を抽出している〔3〕。従来の研究では MODIS 画像はこの研究のように広域な分析に適しているとされている。

（註 6）元の衛星データ画像の輝度を実際の反射率を考慮して補正すること。本研究では NASA の作成した補正式を利用した。

（註 7）元の衛星データ画像を投影変換し地図化する処理のこと。

（註 8）NDVI の値を視覚的に分かりやすくするためその値に応じてカラー化したもの。

参考文献

〔1〕福本昌人・島　武男・小川茂男「IKONOS 衛星データを用いた水田利用タイプの判別精度」『システム農学』Vol. 19, No 1, 2003, pp. 80-85.

〔2〕安積大治・志賀弘行「水稲成熟期の SPOT/HRV データによる米粒蛋白含有率の推定」『日本リモートセンシング学会誌』Vol. 23, No 5, 2003, pp. 451-457.

〔3〕竹内　渉・安岡善文「水田面積比率分布図作成手法の時空間的安定性の評価」『日本リモートセンシング学会誌』Vol. 26, No 2, 2006, pp. 146-153.

〔4〕阿部信行，福山利範「高分解能衛星データを用いた水田のタンパク含有率の推定」『新潟大学災害復興科学センター年報 No 2』, 2008, pp. 115-118.

〔5〕Ts. Purevdorj, 2005, User interface and automatic processing of true color MODIS image, 14th Forum "Earth Monitoring from Space", University of Tokyo, pp. 108-112.

〔6〕Ts. Purevdorj and R. Yokoyama, 2002, An approach to automatic detection of GCP for AVHRR imagery, *Journal of the Japan society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 1, pp. 28-38.

〔7〕MODIS Level 1B Product User's Guide, NASA/Goddard Space Flight Center, http : //www.mcst.ssai.biz/mcstweb/documents/L1B_Product_Users_Guide.pd

A Study on Rice Growing Monitoring Using MODIS Image Data

—Case Study of the Yoshijima area in Kawanishi Machi, Yamagata Prefecture—

By

Mitsuo SUZUKI*, Koji WAKAMORI** and Dorj ICHIKAWA**

(Received May 17, 2012/Accepted July 20, 2012)

Summary : In Japan, remote satellite sensing technologies for rice production are not utilized effectively. There are three reasons for this : 1) the difficulty in continuous satellite photography of paddy fields because of the rainy season in the rice production period ; 2) satellite data are expensive ; 3) the cost of analyzing satellite data is expensive ; This paper describes the monitoring of the rice growing stage using MODIS satellite image data from 2007. This information is driven from NDVI using advanced automatic image processing approaches and GIS. The main goal of the research is to develop the system providing timely on quantitative information of rice production in quasi real-time model for agricultural cooperatives or farmers.

Key words : NDVI, Normalized Difference Vegetation Index, Rice growth monitoring, MODIS

* Department of International Bio-Business Studies, Faculty of International Agriculture and Food Studies, Tokyo University of Agriculture

** Visiting Researcher, Tokyo University of Agriculture (Japan Manned Space Systems Corporation)