

称号及び氏名 博士（工学） 小西 智久

学位授与の日付 平成19年2月21日

論文名 「リモートセンシングデータを用いた水稻作付領域の  
抽出と生育状況の監視に関する研究」

論文審査委員 主査 大松 繁  
副査 黄瀬 浩一  
副査 市橋 秀友

## 論文要旨

リモートセンシングとは、人工衛星や航空機などに搭載したセンサを用いて、直接対象物に触れることなく対象物の物理的特性を探索することである。現在、リモートセンシングは、地球規模から地域規模にわたる地球環境の変動を捉える上で、必要不可欠な観測手段となっている。観測に用いられるセンサは光学センサ (Optical Sensor: OPS) とマイクロ波センサの二つに大別される。OPS は太陽光の反射を利用するセンサであり、可視域とそれより波長の長い赤外域の波長も捉えることができる。また、多波長を観測することができるセンサが多く、マルチスペクトルの情報を扱うことができる。しかし、OPS による観測は、気象条件に影響されやすい欠点がある。

一方、マイクロ波センサは、OPS よりも長い波長(1mm~1m)を利用している。なかでも合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) は、代表的な能動型マイクロ波センサであり、雲や霧の影響を受けにくく、昼夜を問わず観測を行なうことができる。そのため、OPS と異なり、気象条件とは無関係に、定期的に地表面の観測を行なうことができる。さらに、観測波長や観測方法の違いにより、OPS と異なる情報を取得することができる。

リモートセンシングは、災害時における即時的な被災状況の把握や環境の定期的な監視など、災害や環境変動の正確な現状把握と、その予測などへの利用が期待されている。ところで、農業分野では、安定した食糧を確保することが重要であり、農作物の生育を把握・診断し、収穫量を予測することが必要である。とくに、水稻は日本の基幹作物であり、その作付面積や生育状況を正確に把握することは、生産調整や食糧管理の上で重要である。毎年、農林水産省により全国的な農作物の統計調査が行なわれているが、この調査には多大の時間と労力を要するため、簡便で定期的かつ広域的なデータ収集が可能なリモートセンシングの利用による調査が望まれている。

本論文では、リモートセンシングデータを用いた水稻の作付領域の抽出と、その生育状況の監視を行なうことが研究目的である。

リモートセンシングデータによる水稻作付領域の抽出には、複数時期の SAR データに対して画像分類を行ない、作付領域を抽出する手法がある。リモートセンシングデータに対する分類は、統計的手法である最尤法が広く用いられている。最尤法は、各カテゴリの確率分布が多次元正規分布に従い、それらの出現確率が等しいという仮定の下で分類を行なう手法である。しかし、SAR データを分類する場合には、一般的に各カテゴリの確率分布が正規分布に従っていないため、最尤法による分類では誤分類が多く含まれている。

近年、確率分布を仮定しないニューラルネットワークによる分類手法が提案されている。この手法は、学習により識別境界を決定して分類を行なうものであり、SAR データに対して有効であると考えられる。

リモートセンシングデータによる水稻の生育状況の監視には、時系列の OPS データから算出した植被率などの指標を用いた監視手法がある。この手法は、植被率が葉面積指数(Leaf Area Index: LAI)や地上部乾物重量と高い正の相関があることを利用して、植被率によって生育状況を監視する方法である。しかし、この手法には、気象条件により OPS データを定期的に取得できないという問題がある。

一方、SAR による観測は、気象条件に左右されることなく定期的に実行可能である。これまでに、RADARSAT や ERS-1/SAR などの C バンド SAR データに対して、その後方散乱係数の時間的変化を用いて水稻の生育状況を監視する手法が報告されている。しかし、これら単偏波 SAR データの後方散乱係数は、田植から約 100 日の 8 月初旬頃には飽和を起し、刈り取り時期までの生育を監視できないという問題がある。

本論文では、リモートセンシングデータを用いた水稻作付領域の抽出と生育状況の監視において、上述の課題を改善する手法を提案し、その有用性を検証した。

第 1 章では、本研究の背景、目的および内容の概略を示し、本論文の構成について述べた。

第 2 章では、ニューラルネットワークによる分類が SAR データを用いた水稻の作付領域抽出に有効であることを示すため、自己組織化特徴マップ(Self-Organizing feature Map: SOM)を用いて解析を行なった。SOM は、競合型ニューラルネットワークの一つであり、入力データの類似度に応じて領域分割を行なう能力を獲得していくことができる教師なし分類法である。

分類実験では、SAR データとしては、水稻の田植前、田植直後、生長初期の 3 時期の RADARSAT データおよび OPS データとしては、生長初期の SPOT データを入力データとして使用した。また、一般的に SAR に比べて分類精度の高い OPS データから分類した水稻領域が真の水稻領域と仮定し、SOM および従来手法である最尤法による SAR データの分類精度を検証した。その結果、SOM による水稻の作付領域の分類精度が、従来手法よりも優れていることを定量的に示した。

第 3 章では、第 2 章の SOM を用いた水稻の作付領域の抽出精度をさらに改善するため、SOM を教師付き分類に改良した学習ベクトル量子化(Learning Vector Quantization: LVQ)を用いて水稻の作付領域の抽出を行なった。LVQ は、入力データにユークリッド距離の意味で最も近い結合重みを求め、その結合重みと入力データが同じカテゴリに属していれば、結合重みを入力データに近づけ、異なったカテゴリに属していれば、結合重みを入力データから遠ざけるように修正することで学習を行なう手法である。

入力データは、第 2 章と同じ RADARSAT および SPOT データを使用した。さらに、水域、市街地、水稻、森林の 4 個のカテゴリから取得した教師データを用いて学習を行ない、LVQ による分類実験を行なった。その結果、LVQ を用いた水稻の作付領域の分類精度が、従来手法である最尤法よりも優れていることを定量的に示した。

第 4 章では、階層型ニューラルネットワークである誤差逆伝播(error Back-Propagation: BP)法を用いて、SAR データによる水稻の作付領域の抽出を行なった。BP 法は、階層型ニューラルネットワークにおける教師付き学習法であり、出力層に教師データを与え、その教師データと出力結果との誤差が小さくなるように、結合重みを逐次更新する学習法である。

RADARSAT および ENVISAT-1/ASAR AP(Alternating cross-Polarization)モードの SAR データを入力データとして、BP 法を用いて水稻の作付領域の抽出を行なった。学習率や隠れ層のニューロン数などのパラメータを適切に調整することで、従来手法である最尤法に比べて、高精度で水稻の作付領域を抽出できることを示した。さらに、2 偏波で観測可能な ENVISAT-1/ASAR AP モードにおける VV/VH, HH/HV, VV/HH という 3 種類の偏波モードを、それぞれ、2005、2006、2007 年に測定し、それらを用いた BP 法による水稻の作付領域の抽出を行ない、その抽出には HH/HV モードが適していることを示した。

第 5 章では、SAR データによる水稻の生育状況の監視手法について述べた。解析には、水稻情報の速報性を考慮して、広島工業大学地球観測ステーションで直接受信可能である ENVISAT-1/ASAR AP モードデータを、2005、2006、2007 年に取得した。それらの偏波モードは、VV/VH, HH/HV, HH/VV である。人工衛星によるリモートセンシングデータ観測時にグラントゥルースを実施し、稲高、植被率、LAI を計測した。これらのグラントゥルースデータは水稻生育状況に関係が強い生物指標であり、これらの計測データと SAR データの後方散乱係数との相関について考察した。なお、植被率については水稻の重要な要素であるため、OPS

データからミクセルモデルを用いて植被率を推定する手法についても検討した。

水稻の生長による SAR データの後方散乱係数は、6月から7月の期間に HH 偏波と VV 偏波、8月から9月の期間には VH および HV 偏波に対して増加することが明らかになった。さらに、HH 偏波の SAR データの後方散乱係数と稲高、植被率、LAI との間に高い相関があり、SAR データからこれらのランドトゥルースデータを推定できる可能性を得た。これによって、SAR データを水稻の生育状況の監視に利用できることが示された。

第6章では、本研究で得られた結果と知見を総括して結論とし、今後の研究課題について述べた。

## 本論文の基礎となる発表論文

| No. | 論文題目   | 著者名   | 発表誌名   | 本論文との対応 |
|-----|--|---|--|---------|
| 1   | Extraction of Rice-Planted Area Using a Self-Organizing Feature Map  | T. Konishi<br>S. Omatu<br>Y. Suga   | Artificial Life and Robotics, Vol. 11, No. 2, pp. 215-218 (2007).      | 第2章     |
| 2   | Extraction Rice-Planted Areas by RADARSAT Data Using Neural Networks   | T. Konishi<br>S. Omatu<br>Y. Suga   | Artificial Life and Robotics, Vol. 11, No. 2, pp. 211-214 (2007).      | 第3章     |
| 3   | Remote Sensing Image Analysis Using Neural Networks  | T. Konishi<br>S. Omatu<br>Y. Suga   | Int. Journal of Pure and Applied Mathematics,<br>in press.             | 第4章     |
| 4   | 衛星搭載SARデータによる水稲作付面積の早期推定   | 竹内 章司<br>小西 智久<br>菅 雄三<br>小黒 剛成   | 写真測量とリモートセンシング学会誌, Vol. 39, No. 4, pp. 25-30 (2000).                   | 第5章     |
| 5   | Comparison of SAR and Optical Sensor Data for Monitoring of Rice Plant Around Hiroshima  | Y. Oguro<br>Y. Suga<br>S. Takeuchi<br>M. Ogawa<br>T. Konishi<br>K. Tsuchiya | Advances in Space Research, Vol. 28, No. 1, pp. 195-200 (2001).        | 第5章     |
| 6   | Extraction of Vegetation Cover Rate in Urban Areas Based on Mixel Analyses of Landsat Data   | S. Takeuchi<br>T. Konishi   | Proc. of SPIE,<br>「CD-ROM」 Total 9 pages<br>(Stockholm, Sweden, 2006). | 第5章     |
| 7   | Rice Crop Growth Monitoring Using ENVISAT-1/ASAR AP Mode   | T. Konishi<br>Y. Suga<br>S. Omatu<br>S. Takeuchi<br>K. Asonuma              | Proc. of SPIE,<br>「CD-ROM」 Total 9 pages<br>(Florence, Italy, 2007).   | 第5章     |
| 8   | Comparison of the Performances of Middle-Resolution Multi-Spectral Images for Vegetation Cover Rate Extraction Based on Mixture Analyses | Y. Suga<br>T. Konishi<br>S. Takeuchi  | Proc. of SPIE,<br>「CD-ROM」 Total 9 pages<br>(Florence, Italy, 2007).   | 第5章     |
| 9   | Monitoring Rice Crop Growth with ENVISAT-1/ASAR AP Mode  | T. Konishi<br>Y. Suga<br>S. Omatu<br>S. Takeuchi<br>K. Asonuma              | Journal of Applied Remote Sensing, SPIE, submitted.                    | 第5章     |
| 10  | Performance Comparison of Mid-Resolution, Multi-Spectral Images for Extraction of Vegetation Cover Rate Based on Mixture Analyses        | Y. Suga<br>T. Konishi<br>S. Takeuchi  | Journal of Applied Remote Sensing, SPIE, submitted.                    | 第5章     |

## 審査結果の要旨

本論文は、天候に関係なく定期的に地表面を観測できる合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)データを用いたリモートセンシングデータによる水稻の作付領域の抽出と生育状況の監視を行い、その有用性を定量的に検証したものである。水稻領域の抽出にニューラルネットワークによる分類を提案するとともに、水稻の生育状況の監視に2偏波で観測可能なSARデータを利用した解析を行い、以下の成果を得ている。

- (1) グラントゥルースが困難な場合に有効な、競合型ニューラルネットワークによる教師なし分類法である自己組織化特徴マップ(Self-Organizing feature Map: SOM)を水稻領域の抽出に適用する手法を提案し、従来手法に比べて水稻領域の抽出精度を改善した。
- (2) SOMを教師付き分類に改良した学習ベクトル量子化(Learning Vector Quantization: LVQ)を水稻領域の抽出に適用する手法を提案し、従来手法に比べて水稻領域の抽出精度を改善した。
- (3) SARデータによる水稻領域の抽出に階層型ニューラルネットワークの教師付き分類法である誤差逆伝播法を用いた手法を提案し、LVQ法よりもさらに水稻領域の抽出精度を改善した。
- (4) SARデータによる水稻の生育状況の監視に、2偏波で観測可能なENVISAT-1/ASAR APモードデータの利用を提案し、HVおよびVH偏波の後方散乱係数が水稻の生育期間にわたり増加することを明らかにした。
- (5) ENVISAT-1/ASAR APモードデータの後方散乱係数とグラントゥルースで計測した稲高、植被率、葉面積指数(Leaf Area Index: LAI)との間に高い相関があることを示し、SARデータからこれらの生物指標を推定できる可能性を明らかにした。

以上の諸成果は、水稻という日本人の生活に欠くことのできない農作物を、リモートセンシングデータを用いて、その作付面積と生育状況を定量化し、リモートセンシングデータを用いた水稻の監視手法の開発に寄与するものであり、知能情報工学の分野に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識とを有することを証したものである。