

平成 27 年度 大学院地球環境科学研究科 博士学位請求論文審査報告書

氏 名： 木村 篤史

学位の種類： 博士（理学）

論文題目： 高分解能 SAR データによる水田の利用形態の分類

および水稻の生育量・収量の推定

審査結果の要旨：

本論文は、Xバンド高分解能衛星SARを用いた水田利用形態の分類手法の開発、および、水稻の生育量・収量の推定の可能性やSARの撮影条件を明らかにすることを目的とした。さらに、物理学に基づくマイクロ波の散乱メカニズムにより、植物の生育にともなう生物学における事象を説明することで、今後の研究促進に努めた。

本論文は6章から構成される。

第1章では、序論において、本研究の必要性および社会的な背景を示し、SAR データを用いた水田利用形態の分類および水稻の生育量・収量の推定に関する研究の目的および範囲を明確にした。

第2章では、現在実施されている SAR データを用いた稲作水田抽出および水稻の生育量・収量の推定方法について概説し、従来研究の問題を提起した。

第3章では、田植え期および生育期の2時期の高分解能 SAR 画像の TSX を用いた水田利用形態の分類手法の開発を目的とし、早植え稲作水田、慣行植え稲作水田、遅植え稲作水田、乾田直播稲作水田、大豆栽培水田等の水田利用形態の分類が可能かを検討した。また、分類手法では、TSX データによる圃場ごとの判別および圃場ごとの平均値だけではなく、圃場内の各画素の情報を利用することを検討した。

提案手法では、田植え期と生育期の2時期の TerraSAR-X データを2バンドとして、対象範囲に対してクラスター分析をおこなった。1圃場ごとにポリゴンを作成しておき、そのポリゴン内のクラスター間の比率により水田利用形態ごとに、慣行植え稲作水田（例年の栽培通りに湛水した圃場に対して稲を5月10日前後に移植。以後、慣行植え_稲）、慣行圃場より早い時期（5月1日前後）に稲を移植した早植え稲作水田（以後、早植え_稲）、慣行圃場より遅い時期（5月20日前後）に稲を移植した遅植え稲作水田（以後、遅植え_稲）、圃場への湛水や苗の移植をおこなわずに稲の籾米を圃場に直接播種した乾田直播稲作水田（以後、乾田直播_稲）、大豆を栽培した水田（以後、大豆）等の分類をおこなった。

提案手法を用いた分類結果では、乾田直播_稲、大豆、小麦を抽出できており、この面での利用価値は高い。移植栽培の水稻（早植え_稲、慣行植え_稲、遅植え_稲）は、大豆や小麦とよく分類された。また、早植え_稲、遅植え_稲のように約20日の移植の差異があれば、それぞれが誤分類されないことがわかった。

第4章では、生育量の推定をおこなうために、異なる入射角、異なる偏波のXバンドSARを用いて、生育段階ごとの生育量と後方散乱係数の関係を定量的に解析した。

本研究の結果から、生育量と後方散乱係数の関係は、移植期から最大分蘖期前まで、HH偏波、VV偏波の増加が認められた。最大分蘖期から出穂期までの後方散乱係数は、徐々に減少する傾向を示した。出穂期後は、VV偏波が増加する傾向を示した。生育段階ごとの生育量と後方散乱係数との相関は、移植期から最高分蘖期前までに高い相関が認められた。この相関は、移植期から最高分蘖期前までの水稻の茎や葉の縦横方向の生育からの散乱および稲体自体や稲体と湛水面との散乱が要因と考えられた。

第5章では、水稻の栽培期間を通じて、XバンドSAR衛星のHH偏波とVV偏波の2偏波、異なる入射角で時系列撮影をおこない、水稻の生育推移に伴う後方散乱係数の変化について定量的に把握し、水稻の生育推移のモニタリングや収量推定の可能性を検討した。

まず、水稻の品種、移植日、施肥量を変化させて生育量・収量が異なる12の試験圃場を設定し、各圃場の生育状況の推移および収量を移植日から収穫日まで現地地上調査で調べた。また、TerraSAR-Xによ

って、21 度と 49 度の異なる入射角を用いて、各圃場の HH 偏波、VV 偏波の時系列変化を 11 日周期で取得した。これらのデータをもとに、各試験圃場の後方散乱係数の時系列変化と生育状況との関係を調べた。さらに、相関分析により、TSX の撮影日ごとに生育量と後方散乱係数との関係を調べ、水稻の生育量や収量と相関の高い時期を求めた。最後に、収量調査に適した TerraSAR-X の撮影時期、マイクロ波の入射角度と偏波についてまとめた。

水稻生育量と後方散乱係数との関係の時系列変化を、TSX の撮影日ごとに相関分析で調べた結果では、分蘖期における TSX の撮影により、茎数、草丈、植被率の生育状況を推定できる可能性が示唆された。また、籾数と登熟歩合は、出穂期から成熟期前の間に、入射角 21 度および 49 度で TerraSAR-X の HH 偏波の撮影をすれば、相関が高いデータを得られることが示された。収量は、出穂期に入射角 49 度で観測した VV 偏波または HH×VV dB、もしくは成熟期前に入射角 49 度で観測した HH 偏波で、相関の高いデータが得られることが示された。X バンド 2 偏波 SAR 衛星により時系列撮影による、水稻の生育量・収量の推定の可能性を示すことができた。

第 6 章では、各章の要旨、本研究の新しい試みとその効果、および、本研究の理学的有用性をまとめた。

本論文では、X バンドの波長 3.1cm という短い波長(日本の SAR 衛星 PALSAR2 は L バンドで 22.9cm)の高分解能衛星 SAR である TerraSAR-X データを使用して、水田利用形態毎の面積を求める新しい方法を提案し、その有効性を検証している。日本の草地および樹園地を含む農地の約 60%が水田であり、畑作作物が栽培されている場合も多いが、平坦地の農地のほとんどが水利施設を有している水田であるために、水田利用形態の分類ができたことの農業施策上の意義は大きい。

また、TerraSAR-X データによる単位面積当たりの収量を推定する方法を開発している。日本において陸稲はほとんど無いので、水田における水稻の作付面積に対して収量を掛け合わせると米についての生産高となる。本論文により TerraSAR-X データを使用して、水田利用形態の分類、および、水稻の生育量および収量の推定法ができ、衛星データによる米の生産量の推定が可能となった。現在、水田での水稻作付割合は約 73%であり、農地の水田割合の 60%を掛け合わせると、日本の農地の 44%は水稻を栽培している。日本農業で水稻の占める位置は揺るぎないものであり、水稻の生産高を導くことの出来た意義は非常に大きい。

さらに、生育段階ごとに TerraSAR-X の後方散乱係数について、マイクロ波の入射角および偏波と、水田における水稻群落構造の関係において説明を試みており、理学的見地に立った研究と言える。本研究対象は水田であり、衛星データの実利用に重きをおいてあるが、大局的にみると植物体のバイオマス計測技術の 1 つの研究であり、植生の状況把握技術の基礎研究と言える。以上の観点から、本論文は自然科学分野の学位論文として、十分な価値があると認める。

以上を総合的に判断し、博士(理学)の学位論文として合格と判定した。

付記：口頭試問は平成 27 年 12 月 17 日、筆記試験は平成 28 年 1 月 20 日に実施し、合格と判定された。最終試験は平成 28 年 1 月 20 日に公開で実施された。

平成 28 年 2 月 9 日

主査 立正大学・大学院地球環境科学研究科

教授 後藤 真太郎

副査 立正大学・大学院地球環境科学研究科

教授 吉崎 正憲

副査 東京工業大学・イノベーション研究推進体

特任教授 齋藤 元也