HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	合成開口レーダを利用した圃場情報の取得に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	山谷，祐貴
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第14374号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81291
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yamaya_Yuki_abstract.pdf，論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博　士（農学）　　氏名　山　谷　祐　貴

学 位 論 文 題 名

合成開口レーダを利用した圃場情報の取得に関する研究

圃場ごとの作物に関する情報（圃場情報）は，作付面積の調査，生産量の予測，生育状態の把握，災害の被害調査など，様々な用途に供せられる。これらの圃場情報を今後も継続的かつ長期的，広域的に把握していくためには，人の手による現地調査では限界があり，今後は困難となるおそれがある。したがって，人的コストの削減を進める一方で，圃場情報を詳細に把握していく手法の確立が，農業地域における課題の一つとなっている。この課題を解決するために，衛星リモートセンシングの利用が注目されている。特に合成開口レーダ（SAR）は，昼夜問わず安定した観測が可能であり，大気による減衰が少なく，大気や天候に影響をほぼ受けることなくデータを取得することが可能であり，課題解決のために効果的であると考えられる。

序章では，農業地域での圃場情報取得に関する課題およびリモートセンシングの農業利用に関する既往研究について総括した。また，SAR における農業利用の有効性と，後方散乱係数や散乱成分の算出方法と必要性について解説した。以上を踏まえ，SAR により取得された衛星データの各変数を中心に使用し，圃場情報を高精度かつ効率的に取得することを研究の目的として挙げた。特に作付作物の分類および水稲穂含水率の推定を行い，農業分野における SAR の有望な情報収集手段として適用することの可能性を評価することとした。

2 章では，X バンドの SAR を搭載した TerraSAR-X の 2 偏波データを用いて，作付作物の分類を行った。SAR データからは後方散乱係数 2 変数と固有値解析法による散乱成分 2 変数を算出した。これらの 4 変数を機械学習アルゴリズムの Random Forests（RF）に適用し，北海道の十勝地方における代表的な 6 作物を対象に圃場単位での作付作物の分類を行った。6 月から 7 月にかけて観測された 5 時期のデータを用いることで，0.895 の全体精度が得られた。また，データ取得コストを鑑みて時期数を削減した結果，4 時期による分類は 5 時期での分類と有意な差のない結果が得られ，有効なデータ使用法であることを明らかにした。

3 章では，更に高精度な作付作物の分類を目指し，C バンドの SAR を搭載した RADARSAT-2 の 4 偏波データから RF による分類を実行した。C バンドからは 16 変数を算出し，最も高い精度が得られる変数の組み合わせを検討した。後方散乱係数の 3 変数と Van Zyl の散乱モデル分解法による散乱成分の 3 変数，固有値解析法による散乱成分の 3 変数の計 9 変数を用いることにより，5 時期のデータで 0.922 の全体精度が得られ，4 時期のデータでも 5 時期と有意な差のない分類結果が得られた。また，C バンドの 9 変数と X バンドの 4 変数を使用することにより，各 5 時期のデータから 0.934 とさらに高い全体精度が得られ，各 3 時期のデータでも 5 時期と有意な差のない結果が得られた。以上の結果から，C バンド SAR の有効な変数，2 バンドを併用することの有効性，有効なデータの時期数を示した。

4 章では，SAR による作付作物分類で使用された例がない 2 種類の機械学習アルゴリズムを RF と比較し，X バンドと C バンドを併用した分類の精度向上を検討した。Extremely Randomized Trees（ERT）は，RF より高い全体精度であり，有効なアルゴリズムとして示された。この ERT を使用して効率的に高い精度を得るために，X バンドと C バンドの精度比較や，効果的な併用手法に関して検討した。X バンドには，先述の 4 変数のほか，散乱モデル分解法による散乱成分を加えた計 7 変数を使用した。1 時期での分類は，7 月までは C バンド，8 月は X バンドで概ね高い全体精度が得られた。多時期での分類では，C バンドがほぼすべての時期数で高い全体精度を得られた。以上の結果から，一部のデータでの効率的な分類を検討したところ，7 月上旬までの 2 時期の C バンドと 7 月中旬以降の 4 時期の X バンドの併用により，0.953 の全体精度が得られた。こ

の結果は，両者を各 6 時期全て使用した分類と有意差がなく，効率的な作付作物分類を実行するための有用で新たな手法として提示できた。

5 章では，C バンドや X バンドのデータと比較して安価に利用できる，L バンドの SAR を搭載した PALSAR-2 のデータを使用し，取得コストを削減した作付作物の分類手法について提示した。C バンドおよび L バンドの 4 偏波データからは 9 変数を，L バンドの単偏波データからは後方散乱係数の 1 変数を算出し，RF で分類を実行した。1 時期および 3 時期での分類は，L バンドデータで良好な全体精度を得られなかった。双方のデータを併用した場合，2 時期の L バンドデータと，4 時期の C バンドデータを併用することにより，0.9 を超える全体精度が得られた。また，2 時期の L バンドデータと 6 月や 7 月上旬の 2 時期の C バンドデータの併用は，少ないデータ数でも高い精度を得られ，L バンド SAR データの実用的な使用法となることが示された。

6 章では，C バンドの 9 変数のほか，高解像度光学センサである Geoeye-1 データから NDVI を算出した。これらの変数から，ステップワイズの変数減少法を用いた重回帰分析を使用し，北海道の空知地方における代表先な作物である水稲を対象に，圃場単位での穂含水率の推定を行った。SAR によるモデルでは，決定係数は 0.364 と高い精度を得られなかったが，衛星進行方向ごとや栽培体系ごとにモデルを分けて作成したところ，特にアセンディングによるモデルと直播圃場によるモデルでは 0.8 を上回ったことから，条件を分けたモデルの有効性が示された。光学センサによるモデルでは，湛水していない圃場のみを対象とすることで 0.923 の決定係数が得られたが，SAR と光学センサを併用したモデルでは全ての圃場を対象に 0.932 の決定係数が得られ，双方を併用する有効性が示された。最後に，SAR より作成されたモデルについて，翌年のデータを用いて検証を行った。全データを使用したモデルは RMSE が 4.60%と最も低かったが，他のモデルは低い RMSE を得られなかった。

7 章では，C バンドの 9 変数に，3 種類のダミー変数（衛星の進行方向，衛星の入射角，水稲の栽培体系）を使用し，ステップワイズの変数減少法を用いた重回帰分析により，圃場単位での水稲の穂含水率を推定するモデルを作成した。全データを使用したモデル，衛星進行方向ごとのモデル，栽培体系ごとのモデルのいずれにおいても，ダミー変数を使用することで精度の向上がみられた。特に，全データにダミー変数を加えたモデルは，0.593 の決定係数が得られた。このモデルには，体積散乱，エントロピ，栽培体系の 3 変数が選択された。最後に，この全データにダミー変数を加えたモデルについて，5 分割による交差検証を行った。検証結果における RMSE は 5.63%と，モデル作成における RMSE と同等の精度となっており，このモデルの有効性が確認できた。

終章では，各章の総括を行い，作付作物の分類や水稲穂含水率の推定について，SAR による衛星データが高い精度で適用可能であることを示した。これにより，SAR は農業分野における有望な情報収集手段となることを結論づけた。