

マイクロ波衛星画像と地理情報システムを利用して 水稲作付け地を高い精度で推定する

生態系計測研究領域 石塚直樹

第1章 はじめに

我が国では、農林水産省統計部生産流通消費統計課によって農地面積調査（以下、統計調査という）が実施されており、水田を含めた耕地面積および作物収穫量統計に必要な作付面積が把握されている。この面積は、約4万カ所の標本圃場について現地調査を実施し、統計的手法を用いて算出されている。

この統計値は米の生産調整、いわゆる減反政策の元となる重要なデータでもある。しかしながら減反面積を割り当ててゆくという行政指導の減反政策も、いわゆる田湧き現象（減反の割り当て面積が増えるにつれ、割り当ての基準となる水田の総面積が増える現象）によって実質的な作付面積が減らないなど、問題を抱えていた。そこで2003年末に「コメ政策大綱」がまとめられ、今までの減反政策は2008年までに廃止することが決定され、農業者や生産者団体が自ら米の生産量を決め調整してゆくことになった。

前述のような背景からも、各市町村より、水田の水稲作付面積の把握、水稲作以外の作物栽培奨励施策の実施状況や地域振興政策への利用のためにこの統計値を利用したいという要望が強い。しかしながら、統計部のデータは都道府県レベルでの精度を保証しているが、市町村レベルでの精度を保証していないという問題がある。近年、国・都道府県・市町村での農業行政のGIS化が進みつつあり、集計表としての数値だけではなく、水稲作付分布図としての公表要望も増え始めている。面的な広がりをもつ農地を対象として現況図を作成するためには、リモートセンシング技術は最も有効な手段である。

統計調査は、先に述べたように全国約4万カ所の標本圃場を実測により調査しているために、多くの労力を必要としているのが実態である。この調査労力の軽減と効率的な調査体系の改善が求められており、リモートセンシング技術を活用した面積調査の開発研究が進められている。

既に、光学センサで観測適期に良好な画像を得ることができれば、精度の良い結果を得る技術はほぼ確立している。しかし、光学センサは雲があると観測できないという問題があるため、雲を透過して観測できる合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar；以下SARとする）を利用する研究がなされるようになった。

SARデータは従来の光学センサと比べると特有の現象が多く、扱いが複雑であるため、SARによる水田観測はまだ知見が十分とは言えず、これらSARを使った研究においても、SARデータのみで作付面積を求めたものはほとんどない。

本研究は、雲の影響によりデータの適期取得の困難な光学センサに代わり、地理情報とSARデータを用いて水稲作付面積を精度良く、安定して計測できる方法の開発をすることを目的とする。

第2章 合成開口レーダ（SAR）とは？

レーダは当初、偵察、ナビゲーション、射程距離測定用機器として第2次世界大戦以前に開発が始まった（飯坂(1998) i）。その後、実開口レーダによる映像型レーダが夜間爆撃支援のため開発され、1950年代後半に航空機搭載型のSARが開発された。1960年代に軍事機密から解除となり地形解析や天然資源調査などに利用されはじめた。

SARは、衛星、航空機などの高速で移動するプラットフォームに積まれたセンサから偏波面と

位相をそろえたマイクロ波パルスを照射し、対象に当たって散乱したもののうち、センサ方向に戻ったマイクロ波（後方散乱波）を観測している。SAR は合成開口レーダと呼ばれるように、プラットフォームの移動によって起こるドップラー効果を利用し、アンテナを並べたような大きな仮想的アンテナで観測した場合と同等の結果を得ることができ高分解能を可能にしている。

マイクロ波の定義は使う人によって異なっているが、概ね波長 1mm~1m（周波数 300GHz~0.3GHz）の電磁波を指す。数 cm 以上の波長のマイクロ波を利用すると、降雨による散乱も小さく、大気の透過率はほぼ 100%であるので、雲を透過し地表を観測することができる。先頃、打ち上げに成功した ALOS（だいち）に搭載された PALSAR も SAR センサであり、今後、安価なデータ入手が可能になることが期待されている。

このように SAR は雲に左右されず高分解能で地表の観測ができるという利点を有しているが、いくつかの問題もある。まず、現在運用されている衛星搭載 SAR のほとんどは単波長・単偏波で観測するため、モノクロの画像しか取得できない。また、スペックルと呼ばれるノイズが非常に大きいため、SAR 画像は非常にザラザラとした画像となる。さらに、SAR は地表面にマイクロ波を斜めに照射しているため、地表に起伏があると画像が歪んだり、撮影されない部分が生じる。

第3章 解析手法

1. 2 時期 SAR 画像による水稲作付地の抽出

リモートセンシングを用いて水田を検出するには、水田の最も特徴的な地表状態である湛水した時期の画像を取得し、解析するのが効果的かつ一般的である。特に SAR では、衛星から斜め下方に照射されたマイクロ波が水面で鏡面反射して後方散乱が小さくなるため、湛水した水田は黒く映しだされる。この黒くなった部分を閾値を用いて 2 値化処理し抽出するのが最も簡便な方法である。

しかしながら、日本では米の生産調整が行われており、管理水田や調整水田と呼ばれるものは、夏期の雑草対策として作付水田と同様に湛水を行う。正確に水稲作付面積を求めるには、調整水田のような作付されていない水田を除外する必要がある。従来の 1 時期の SAR データを用いた手法では、補助データとして光学センサ画像を用いて作付されていない水田をマスクする必要があったが、その光学画像の取得は天候に左右されてしまう。

そこで、SAR データのみで調整水田を除外するため、2 時期の SAR データを利用することとした。作付水田の稲が生長している時期に、湛水状態である水田が調整水田である。つまり、田植え期に湛水状態で、生長期に湛水状態でないところが水稲作付地となる（図 1）。

この方法は、調整水田のみならず、湖沼や河川といった水域を除外することもできる。さらに、滑走路や広いグラウンドといった、水面でないが平坦であるため鏡面反射を起こすような地物も除外することが可能である。

2. 閾値決定方法

日本全国に適用できる水稲作付面積の計測方法を提案するためには、客観的かつ汎用性の高い 2 値化処理の閾値決定方法が必要であり、本研究においては、P-tile 法を応用した方法を考案した。

P-tile 法とは、求めたい対象の画像内でのおよその面積比率 p が既知の場合、2 値画像中の求めたい対象の画素の割合が p となるように閾値を定める方法である。

本研究は水稲作付面積を測ることが目的であるため、画像全体におけるこの p の値は不明ということになる。そこで、地図などから明らかに湛水地および非湛水地とわかる部分を画像からまんべんなく同じ画素数サンプリングし、 p の比率を 50%と考え、サンプル画素のヒストグラムの

比率が半々になる値を閾値とした。

しかし、SAR はその原理上、水域のような低い後方散乱の中に突起のようなものがあつた場合、その突起部分による高い後方散乱に周囲のピクセルが引っ張られて高い値になるという現象が見られる。したがって、先の P-tile 法で求められた閾値を使うと、抽出される湛水地が本来の湛水地面積より減ってしまう。そこで、減った部分を補うために、閾値の補正が必要となる。

補正の最適値を求めるため、圃場の面積をほぼ正確に求めることができる 1/2,500 国土基本図と比較する。同数をサンプリングして求めた閾値を基準として、既知の面積比のわかる部分における閾値との差を閾値の修正値とする。

3. 地理情報 (GIS データ) 利用方法

リモートセンシングは広範囲のデータが得られる利点がある一方、解像度の制約による境界の曖昧さや瞬時値であるが故の難点がある。リモートセンシングデータのみで精度を上げるには限界があるため、近年、整備が進みつつある地理情報 (GIS データ) を組み合わせることで精度の向上を図る。

GIS データが整備・配布されるようになりつつあるが、現在の GIS データの多くは元々地図であったものをデジタル化したものであり、5年、10年という単位の過去のデータである。この GIS データにおける水田分布は、やはり過去の分布である。しかしながら、現在の日本においては新しく水田が開発されることは希であり、

さらに、水田は畑地のように作付場所が年々移動することはないため、地図において水田とされているところは、水田である可能性のある最大限の領域と考えられる。したがって、地図から水田を抽出すれば、それ以外の部分は非水稲作付領域マスクとして利用することができる。

本研究は日本全国に適用可能な方法を開発することを念頭においている。そこで実用的なマスクを作成するために、日本全国刊行されている「数値地図 25,000 (地図画像)」を使って水田を抽出することとした。

「数値地図 25,000 (地図画像)」は、1 ピクセルが約 2.5m でラスタ化された GIS データである。しかし、水田や畑という地目属性はピクセル毎に与えられておらず、カラー情報以外の情報はない。そこで、「数値地図 25,000 (地図画像)」から自動的に水田の地図記号を抽出し、地図記号から水田を十分に覆うバッファを作ることで水田域を抽出することとした。

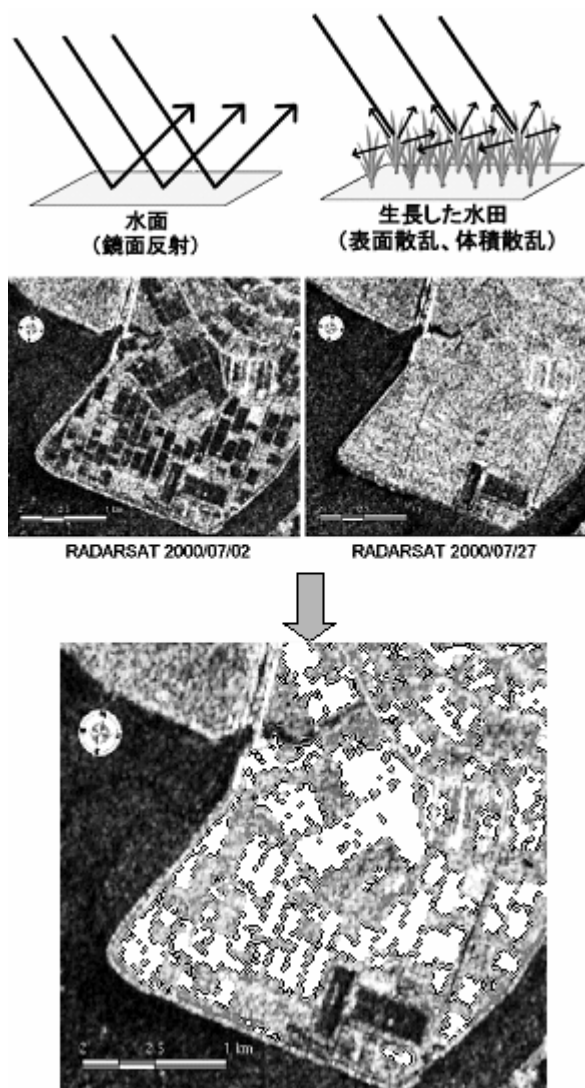


図 1 2 時期 SAR 画像による
水稲作付地の検出

田植期に鏡面反射をし、生長期に大きな後方散乱値を示す部分を水稲作付地 (白) とする。画像右下に非作付地がみられる。

第4章 結果と考察

1. 対象地域

佐賀平野および筑後平野の一部を対象地域とした。対象地域は有明海の北部に位置し、筑後川と背振山系を擁する。気温は温暖で、年平均気温は16℃、降水量も春から秋にかけて豊富で年平均1,836mmとなっている。佐賀平野はわが国有数の穀倉地帯で、米作を中心に小麦、野菜等に高い生産をあげている（福原ら，1993）ⁱⁱ。福岡県柳川市、大川市を中心としてイグサの栽培も盛んである。

対象地域において、品種による多少の違いはあるが、6月中旬から下旬にかけてほぼ同時期に田植えが行われ、ほとんどの品種は7月下旬に中干しが行われ、10月中旬に刈り入れが行われる。

2. 使用したデータ

RADARSAT 画像はスタンダードモードで空間分解能が12.5m、入射角は38.38度のStandard2(S2)モードを用いた。全ての水田で田植えが終わった状態の2000年7月3日のシーン、および、稲が生長して後方散乱が大きくなっている2000年7月27日の2シーンをリモートセンシング技術センター（RESTEC）経由で入手した。

地図情報には、ラスター型の国土地理院「数値地図25,000」の「(地図画像)福岡・熊本」と、ベクター型である「数値地図25,000(行政界・海岸線)」を用いた。また、Digital Elevation Model (DEM) データとして、「国土数値情報50mメッシュ(標高)」を使用した。

3. 閾値の決定

2000年7月3日、2000年7月27日の画像から対象地にまんべんなく散らばるように湛水地と非湛水地のサンプルをそれぞれ240ピクセルずつ、計480ピクセルを抽出しP-tile法に基づき面積比が50%となる部分を閾値とした。その結果、2000年7月3日における閾値は0.00dB、2000年7月27日は0.45dBとなった。

補正の最適値を求めるため、衛星画像と1/2,500国土基本図を重ね、その面積比がほぼ同じになる値を求めた。その結果、求められた閾値の補正值は+0.5dBとなり、2000年7月3日における水面と非水面の分離閾値は0.5dBとなった。

4. 非水稲作付地マスクの作成

非水稲作付地マスク作成の流れを図2に示した。水田の地図記号は他の土地利用の記号と違い水色となっているので、水色のみを2値化して抽出した。抽出されたものには、水田記号以外に、水域の境界線と細い河川が含まれていた。

次に、水田記号のみを抽出するために長さの情報に注目した。線分1つ1つに地理参照座標上における長さの属性を与え、条件式を $4m < \text{水田記号} < 20m$ とすることにより、ほぼ水田記号のみが抽出された。ただし、ほぼ同様な長さの破線で描かれている地下水路などは取り除けないため、一部手作業で修正した。

今回は水田を十分に含む必要があり、さらに衛星画像との位置ずれなどを考慮し、水田記号から半径100mでバッファを作成し、それ以外の部分を非水稲作付地マスクとした。

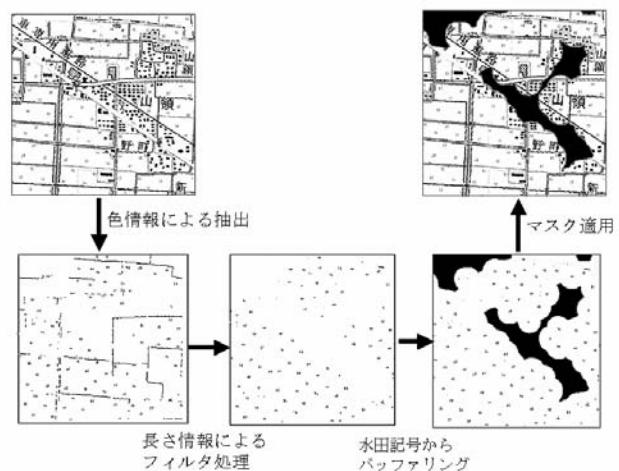


図2 「数値地図25,000(地図画像)」からの水稲作付可能性領域の作成

5. 水稲作付地の抽出

2 時期の SAR 画像は前処理として DEM を用いて地形補正をすると共に、幾何補正を行った。まず田植え後の 1 シーン目 2000 年 7 月 3 日の SAR データより、マイクロ波の鏡面反射による後方散乱の低下を利用し、閾値をもって湛水地を抽出した。この抽出された湛水地は湛水された水田及び水域を含んでいることになる。次に、水稲生長後の SAR データより同じく閾値を用いて湛水地を抽出した。この 2 シーン目 2000 年 7 月 27 日において抽出された湛水地は、調整水田のような作付されていない水田及び水域を含んでいることになる。1 シーン目で抽出された湛水地から、2 シーン目で抽出された湛水地を差し引いたものに、GIS データとして非水稲作付地マスクを適用し、最終的な水稲作付地を抽出した。図 3 にフローを示した。

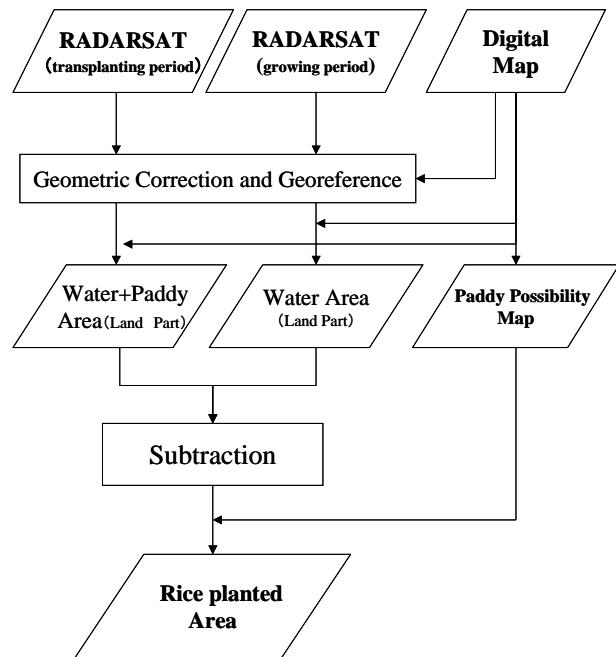


図 3 2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法
フローチャート

2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法による抽出を行った結果と、統計値との比較を図 4 に示した。このとき、佐賀県の精度は 100.7%、福岡県が 103.1%、全体で 102.1%という非常に良い結果を得ることができた。

従来の光学センサを併用した方法が、高精度のマスクと 1 時期の SAR データで高精度の結果を得ているのに対し、本方法は、実用十分なマスクと SAR データで高精度に作付地のみを抽出しているといえる。しかし、本方法は光学センサ併用方法にない最大の利点として、マスク作成も衛星データの取得も天候の影響を受けないという点があげられる。この 2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法によって、天候に左右されずに、毎年確実に光学センサを併用した時と同じ精度で水稲作付面積の計測が可能な方法を確立できた。

6. 他年次データによる検証

最終的に確立された実用的な 2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法の再現性を検証するため、2001 年の RADARSAT 画像 2 シーンを用いて検証試験を行った。

解析に使用したシーンは 2001 年 6 月 28 日と 2001 年 7 月 22 日の画像である。2000 年の画像と同様に DEM を用いた幾何補正を行った後に解析を行った。閾値は画像によって異なるものであり、また、2000 年と 2001 年のデータは同じ観測条件ながらも受信局およびデータ処理が異なるため、同じ dB 幅を用いることができない。そこで、2001 年の閾値を決定するのに、2000 年のデータにおいて、閾値決定に利用したサンプル箇所と全く同じ箇所を 2001 年のデータでもサンプルとして用い、ヒ

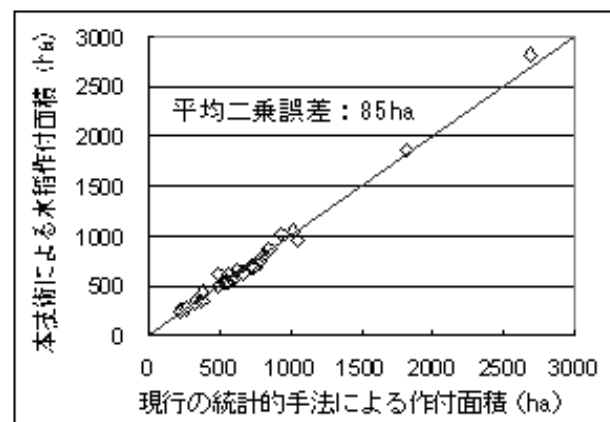


図 4 2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法の結果と統計値の比較 (2000 年)

ストグラムにおける面積率という値に直してから修正を行った。

その結果は、佐賀県が 102.2%、福岡県が 100.2%、全体で 101.5%という良い結果が得られた。このことから、本研究において考案された 2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法の再現性の高さが示された。

第5章 まとめ

田植え期と生長期の2時期のSAR画像を用いることにより、天候に左右されずに、調整水田を除外した水稲作付地を抽出することができた。

また、非水田部分へのマスクとして、従来よりマスクとして利用されてきたDEMや国土数値情報でなく、「数値地図25,000（地図画像）」の色情報や長さといった情報から水田記号を抽出し、マスク作成に利用するという新しい方法を考案した。

それらを組み合わせた 2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法を提案し、その結果 101.5%という高い精度が得られた。さらに、同じ対象地で異なる年のデータを用いた検証試験でも高い精度が得られ、本手法の再現性の高さも確認した。この 2 時期 RADARSAT+GIS データ併用方法によって、天候に左右されずに、毎年確実に光学センサを併用した時と同様に高い精度で水稲作付面積の計測が可能な方法を確立できた。

今後、誤差が生じやすい中山間地において本手法がどの程度有効であるかや、他の地域での汎用性などを検証していく予定である。

引用文献

- ⁱ 飯坂讓二監修・日本写真測量学会編（1998）：合成開口レーダ画像ハンドブック．朝倉書店，東京，208p.
- ⁱⁱ 福原道一・今川俊明編著（1993）：カラー解説 宇宙から見た日本の農業．農業環境技術研究所，養賢堂．