

# 衛星搭載 SAR と光学センサによる長岡市周辺地域の水稲作付面積推定の検証

地球環境研究室 ○菅原 航平  
 指導教官 向井 幸男  
 力丸 厚  
 高橋 一義

## 1.はじめに

水稲作付面積の実測調査は、多くの労力が必要であり、調査労力の軽減と調査体系の改善が求められている。そこで、衛星画像による作付面積の把握が有効な手法となる。従来は光学センサによる作付面積推定の研究が盛んであった。しかし、実利用の観点からすると、国内の稲の耕作期間は、梅雨の時期をはさむため、雲に覆われる日が多い。力丸ら<sup>1)</sup>によれば、水田の初期状態から生長期を、全天候型である衛星搭載合成開口レーダで把握し、植えられてから1度でも、光学センサでデータを取得すれば、面積推定が可能であると報告されている。このことから、国内の水稲作付面積推定手法は、多時期の全天候型合成開口レーダと1時期の光学センサの併用による、水稲作付面積推定が有効であると考えられる。

本報告において、国内の稲作地帯における水稲作付面積推定の検証を行い、数値情報 50m メッシュ標高 DEM による傾斜を用いて、より高精度の推定を試みた。

## 2. 使用データおよび対象地域

今回、多時期の合成開口レーダ画像として、ERS 搭載 C バンド(5.7cm)を使用している。竹内ら<sup>2)</sup>によれば水稲作付面積の把握には一般的に C バンドが有効であると報告されている。これは、L バンド(23.5cm)に比べて波長が短いため、表面粗度や稲の大きさに比較的敏感に反応するためである。

SAR データの時期は'98年5月7日(田植え時期)、7月16日(稲の生長期)の2時期を用いた。光学センサのデータはLANDSAT 搭載 TM 99年8月1日を用いた検証1とSPOT 搭載 HRV'98年6月1日を用いた検証2の2パターンでの検証を行った。

表1 使用データ

	推定の検証1		推定の検証2	
SARデータ	ERS-1	'98年5月7日	ERS-1	'98年5月7日
	ERS-1	'98年7月16日	ERS-1	'98年7月16日
光学センサデータ	Landsat・TM	'99年8月1日	SPOT・HRV	'98年6月1日

対象地域は、新潟県の長岡市周辺地域である。農山漁村地域活性化要因調査報告書<sup>3)</sup>の農業地域類型で分類された都市的地域および平地・中間・山間農業の

市町村が存在する地域である。国内の水稲作付面積把握の検証用地域に適していると考えられる。

## 3. 水稲作付面積推定手法

SAR では田植え直後で水田が湛水している時期は、後方散乱は低くなる。また、稲の生長に従い後方散乱が増加する。この変化を抽出することにより、水稲の作付面積を推定できると考える。さらに、光学センサにより水稲の植生状態などを表1に示すバンド及び各指標を用いることにより、推定精度をより高くしようとする手法である。

表2 最尤法分類に用いる変量

	推定1: TMとSARデータ	推定2: HRVとSARデータ
分類に用いたデータ	SAR 5.7cm	SAR 5.7cm
	SAR 5.7cm	SAR 5.7cm
	TM・バンド2 0.52-0.60 μm	HRV・バンド1 0.52-0.60 μm
	TM・バンド3 0.63-0.69 μm	HRV・バンド2 0.61-0.68 μm
	TM・バンド4 0.70-0.90 μm	HRV・バンド3 0.79-0.89 μm
	植生指標 $\frac{(\text{バンド4}-\text{バンド3})}{(\text{バンド4}+\text{バンド3})}$	植生指標 $\frac{(\text{バンド3}-\text{バンド2})}{(\text{バンド3}+\text{バンド2})}$
	裸地指標 $\frac{(\text{バンド3}+\text{バンド5})-(\text{バンド1}+\text{バンド4})}{(\text{バンド3}+\text{バンド5})+(\text{バンド1}+\text{バンド4})}$	

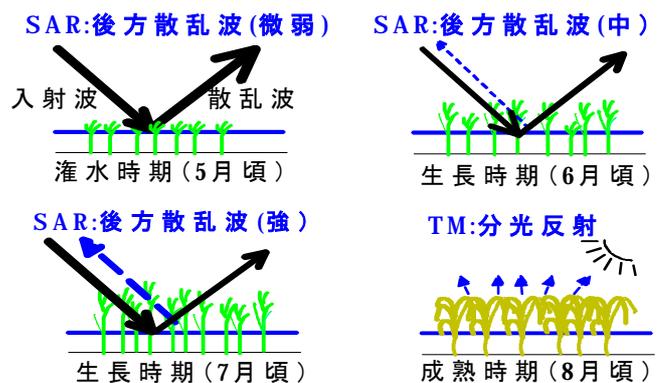


図1 水田における後方散乱等の時系列変化

## 4. 水稲作付面積推定手順

水稲作付面積推定手順を図2に示す。図に示すように、SARの斜め観測より生じる標高歪を補正した後、地図上に投影する幾何補正処理を行い、画像分類をすることにより水稲とそれ以外を分類する。その後、各市町村の行政界データをもとに各々の水稲作付面積を抽出した。

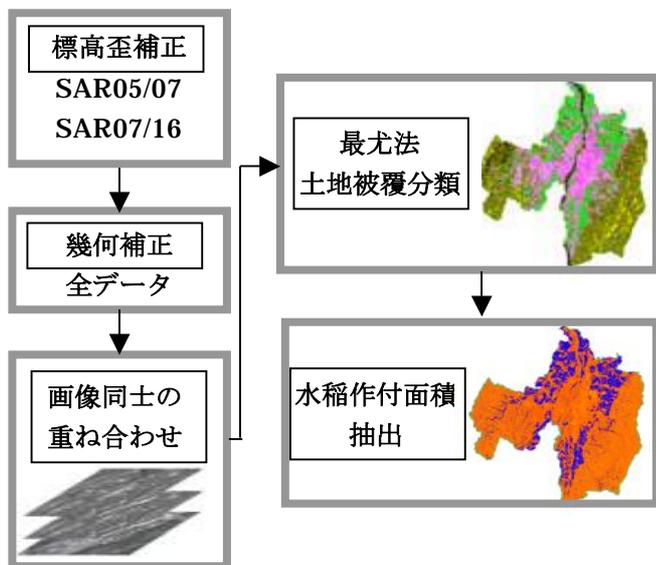


図2 水稻作付面積推定手順

### 5. 地形補正を考慮しない水稻作付面積推定結果

平成10年度統計水稻作付面積<sup>4)</sup>と推定面積を比較して、推定精度の検証を行なった。

TM と SAR データによる都市的地域、平地農業地域の推定結果を表3に示す。平均推定精度が3.6%と、高い推定精度が得られた。また、中・山間地域の推定結果を表4に示す。平均推定精度が9.1%と低く推定された。

表3 都市的地域・平地農業地域の推定結果

市町村	統計面積	推定面積	誤差
長岡市	4730	4751.1	0.4
越路町	990	931.3	-5.9
三島町	560	567.7	1.4
与板町	443	432.3	-2.4
小千谷市	2180	2200.9	1
柏崎市	3070	3550.2	15.6
刈羽村	462	471.0	1.9
合計	12435	12904.5	3.64

表4 中・山間農業地域の推定結果

市町村	統計面積	推定面積	誤差
栃尾市	1490	1791.1	20.2
川口町	419	398.7	-4.8
出雲崎町	378	524.8	38.8
山古志村	166	246.2	48.3
広神村	750	556.8	-25.8
守門村	514	538.5	4.8
西山町	476	553.4	16.3
合計	3717	4056.1	9.12

単位 面積：ha 誤差：%

HRV と SAR データによる都市的地域、平地農業地域の推定結果を表5に示す。平均推定精度が8.3%と、やや低い推定精度が得られた。また、中・山間地域の推定結果を表6に示す。平均推定精度が-30.2%と低く推定された。この原因として、光学センサの取得時期が田植えから1ヶ月程度で水稻をうまく捕らえられなかったことや、バンドデータとして波長帯中間赤外域が HRV に存在していないことが原因と考察される。

表5 都市的地域・平地農業地域の推定結果

市町村	統計面積	推定面積	誤差
長岡市	4730	5417	14.5
越路町	990	1014	2.5
三島町	560	536	-4.4
与板町	443	404	-8.7
小千谷市	2180	2282	4.7
刈羽村	462	488	5.7
合計	9365	10142	8.3

表6 中・山間農業地域の推定結果

市町村	統計面積	推定面積	誤差
栃尾市	1490	854	-42.7
川口町	419	402	-4.1
出雲崎町	378	313	-17.3
山古志村	166	54	-67.5
広神村	750	647	-13.7
守門村	514	206	-59.9
西山町	476	451	-5.2
合計	4193	2927	-30.2

単位 面積：ha 誤差：%

### 6. 地形補正を考慮した水稻作付面積推定

#### 6.1 地形補正を考慮する条件

TM と SAR データの中・山間農業地域において著しく精度が低いため、北陸農政局平成5年度第3次土地利用基盤整備基本調査<sup>5)</sup>をもとに傾斜区分1/300未満と1/20以上に水田地帯が存在しない市町村については、分類画像上においても同様にその傾斜区分には水田が存在しないものと考えることができる。そこで50m数値地形モデル(DEM)を用いて、各地点の傾斜角を算出し、表7に示すような条件に当てはまる市町村において地形補正処理を行った。

表 7 地形補正処理条件

地形補正処理の実行		× 実行 — そのまま			
推定水稲面積の傾斜区分	1/300未満水田地帯	1/300以上1/100未満	1/100以上1/20未満	1/20以上水田地帯	
1/300傾斜未満の水田地帯	×	—	—	—	
1/20傾斜以上の水田地帯	—	—	—	×	

6.2 傾斜算出手法

地形補正処理を行うにあたり、各地点の傾斜角を算出する必要がある。本研究では、以下のように各地点の傾斜角を算出した。算出手法を以下に説明する。

3次元空間の3点  $\vec{p} = (x_i, y_i, z_i) (i=1,2,3)$  を通る平面的単位法線ベクトル  $\vec{n}$  は

$$\vec{n} = (n_x, n_y, n_z) = \frac{(\vec{p}_2 - \vec{p}_1) \times (\vec{p}_3 - \vec{p}_1)}{|(\vec{p}_2 - \vec{p}_1) \times (\vec{p}_3 - \vec{p}_1)|}$$

で計算できる。図 2 にその傾斜の算出概念を示す。

斜面の単位法線ベクトル  $\vec{n}$  が求めれば、斜面の傾斜角  $\theta$  が以下のように計算できる。これを図 3 に示す。

$$q = \cos^{-1} n_z$$

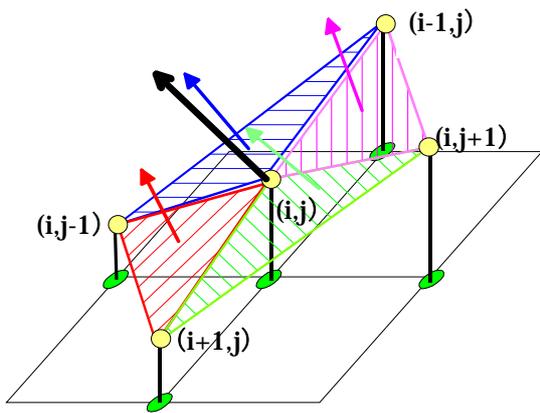


図 3 傾斜角の算出概念

6.3 地形補正を考慮した水稲作付面積推定結果

傾斜 1/300 以下の水田地帯がない市町村では、西山町の推定精度が 16.3% から -6.3% と向上した。それ以外は精度があまり変わらない結果となった。それを表 8 に示す。

表 8 傾斜 1/300 以下の水田地帯がない市町村における地形補正処理結果

市町村	統計水稲作付面積	補正前の推定面積	補正後の推定面積	補正前の誤差率	補正後の誤差率	農業区分
栃尾市	1490	1791.1	1727.1	20.2	15.9	中間
西山町	476	553.4	446.1	16.3	-6.3	中間
小千谷市	2180	2200.9	1899.8	1	-12.9	平地
山古志村	166	246.2	241.7	48.3	45.6	中間
川口町	419	398.7	377.6	-4.8	-9.9	中間
守門村	514	538.5	526.3	4.8	2.4	山間
合計	5245	5728.8	5218.6	9.2	-0.5	

単位 面積 : ha 誤差 : %

傾斜 1/20 以上の水田地帯がない市町村では、出雲崎町の推定精度が 38.8% から -0.6% と向上した。それ以外は精度があまり変わらない結果となった。それを表 9 に示す。

表 9 傾斜 1/20 以上の水田地帯がない市町村における地形補正処理結果

市町村	統計水稲作付面積	補正前の推定面積	補正後の推定面積	補正前の誤差率	補正後の誤差率	農業区分
三島町	560	567.9	488.1	1.4	-12.8	平地
出雲崎町	378	525.1	375.9	38.8	-0.6	中間
与板町	443	432.7	414.8	-2.4	-6.4	平地
刈羽村	462	471.3	435.5	4.7	-5.7	平地
合計	1843	1997.1	1714.2	8.4	-7.0	

単位 面積 : ha 誤差 : %

土地利用基盤整備基本調査での傾斜角測定は、国土地理院発行の 2 万 5 千分 1 地形図を緯度、経度ごとに 20 等分し (約 500m × 500m)、そのメッシュごとの水田地帯の平均的な傾斜 (主傾斜) を傾斜区分としている。一方、本研究で DEM により求めた傾斜角は、TM と SAR データの分解能と同じ 30m ごとの傾斜角である。そのため、土地利用基盤整備基本調査での傾斜区分を忠実に現しているとはいえない。その点のギャップを埋めることでより忠実な補正を行うことが考えられる。

また、傾斜角を算出するにあたり使用した DEM は 50m 間隔である。50mDEM では、山あいので水稲が分布する微細な実地形を忠実に表現しているとはいえない。そのため、よりピッチの細かい細密な DEM を用いた傾斜角の算出が必要であろうと考える。

## 7. 水稲作付面積推定精度に関する考察

いままでの水稲作付面積推定結果より,統計水稲面積と比較して推定精度が低い市町村がいくつかみられた.そこで推定精度の低下をもたらす原因を探り,考察した.

### 7.1 方位角と傾斜角と推定精度の関係

水稲の方位角と傾斜角を同一平面状に描写させる.上から時計回りに北,東,南,西と方位角をとる.つぎにそれぞれの方位角上に傾斜角ごとの水稲地点数をプロットする.そのような表を対象領域の市町村すべてにおいて作成した.

考察として推定精度が低い市町村において,傾斜角が大きい地点においても水稲が推定されていることが分かった.また逆に,推定精度が高い市町村では,傾斜角度が大きい地点には少なく推定されているか推定されていないことが分かった.

### 7.2 平均傾斜角と推定精度の関係

各市町村の推定された水稲の平均傾斜角と推定精度の絶対値の相関をみた.それを図4に示す.

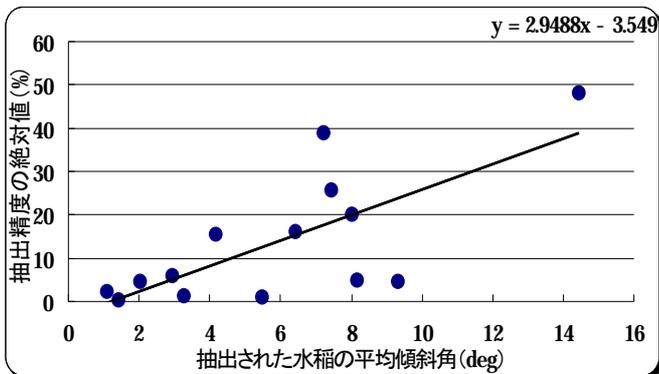


図4 推定された水稲の平均傾斜角と推定精度の関係

図4における相関係数は0.72であった.図4から推定された水稲の平均傾斜角と推定精度に高い正の相関関係にあることがわかった.つまり,傾斜角が大きいほど,推定精度が低下することがわかった.

### 7.3 鳥瞰図からみた推定水稲作付分布

図5はSARの5月7日を赤,7月16日を緑と青に割り当てた鳥瞰図に推定された水稲を表す緑色の点をプロットしたものである.

図5の線で囲まれた地域(標高約450m)のような斜面に沿って推定された水稲がみられる.これら

は不完全な標高歪補正のために,斜面にある水稲が引き伸ばされて本来の水稲面積よりも多く面積が割り出されたことが考えられる.

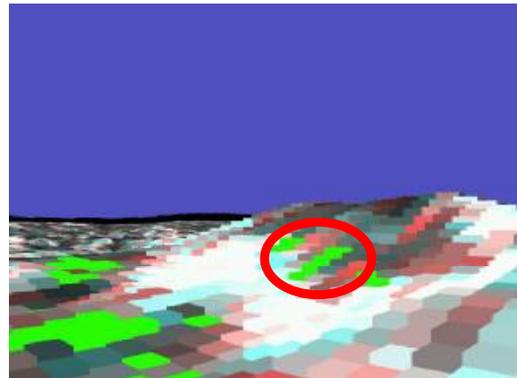


図5 山古志村の鳥瞰図

こういった問題を解決する今後の展望は,SARと光学センサの位置ズレは必ず生じ,また水稲は用水路の関係からある程度まとまって存在すると考え,周囲近傍点を考慮に入れたテクスチャなどの空間解析を行うことが挙げられる.

## 8. 結論

本水稲作付面積推定手法は,

- 平野部における推定面積の統計面積との誤差が-5.9%から1.9%の実用的な精度で推定することができる.
- 山間部の傾斜の大きな地域では,地形補正を行ってもなお-25.8%から45.6%と推定誤差が低く,推定精度の向上の必要がある.

## 参考文献

- 1)力丸厚,茨木教晶,小林慶一郎,兼富宋威 時系列レーダ衛星および光学衛星画像による多時期水田作付け分布状況の把握,日本写真測量学会,平成13年度年次学術講演解発表論文集, pp.131-136,2001
- 2)竹内章司,小西智久,菅雄三,小黒剛成 衛星搭載 SAR データによる水稲作付面積の早期推定,写真測量とリモートセンシング,vol.39,no.4,pp.25-30,2000
- 3)農林水産省統計情報部,農山漁村地域活性化要因調査報告書,平成5年3月
- 4)北陸農政局新潟統計情報事務所,平成10年産水陸稲生産統計及び耕地面積統計,平成11年1月
- 5)北陸農政局,北陸における農地の現状,平成7年1月