

平成 31 年 5 月 4 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07942

研究課題名(和文) マルチセンサーによる日本の農地動態の広域・長期モニタリング法の開発

研究課題名(英文) Development of long-term monitoring method of agricultural land use dynamics in Japan using multiple satellite sensor images

研究代表者

長野 宇規 (Nagano, Takanori)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：70462207

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：中解像度の合成開口レーダ衛星画像と可視衛星光画像を用いて、広範囲かつ安価に日本の農用地の土地利用を圃場単位で判別できる技術を開発した。水土里ネットの圃場形状データを併用することで、異なる地域においても定期取得の合成開口レーダ画像3枚で25a以上の農用地については6月末までに高精度で水田・非水田判別が可能となった。25a以上の大豆畑については可視光画像の併用により判別が可能。一方、耕作放棄地の正確な判別には課題が残った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在日本において農地の動態調査は農業センサスが5年に1度行われている。一方農業土地利用は農家の高齢化や経済的な要因で近年大きく変化しつつあり、特に耕作放棄地が急速に増加している。農業土地利用の変化を把握し、適切な対策を講じるためには農地動態の調査が毎年行われることが望ましい。本研究の成果により全国レベルで農地土地利用が圃場単位で自動判別可能になる。現在補助金支給等の確認のため、市町村職員が目視で農地を悉皆調査しているが、その労働負荷削減にも大きく貢献する。

研究成果の概要(英文)：We have developed a technology that can determine the land use of agricultural land in Japan on a field basis in a wide range and inexpensively using of medium-resolution synthetic aperture radar satellite images and optical sensor satellite light images. By using field shape data provided by Midori-net together, rice grown and non-rice grown field distinction became possible with high accuracy by the end of June for fields larger than 0.25 ha with three synthetic aperture radar images of regular acquisition. While it was possible to distinguish soybean fields larger than 0.25 ha with additional use of visible light images, there were still problems in accurately determining abandoned fields.

研究分野：地域計画

キーワード：合成開口レーダー 農地 水土里ネット 土地利用判別 水田 マルチセンサー

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

日本の農業土地利用は近年大きく変化しつつある。耕作放棄地は平成 22 年の時点で 39.6 万 ha あり、今後も増加すると見込まれている。農業従事者の高齢化と農村地域における過疎化の進行で深刻な担い手不足が生じていることに加え、人口減少に伴う消費の不振、各種農業補助金の撤廃、環太平洋自由貿易協定（TPP）の締結などが追い打ちし、コメをはじめとする農産物の利益率が低下しているためである。農業土地利用の変化を把握し、適切な対策を講じるためには農地動態の調査が毎年行われることが望ましい。しかし実際農地の動態調査は農業センサスが 5 年に 1 度行われているのみである。

2. 研究の目的

平野部の大区画のみならず、中間地、山間地においても圃場単位で農地利用を把握する衛星画像判別技術の開発を目的とした。最終的に日本全国を対象として毎年観測が行えるよう低コストでかつ地域差に安定して対応できる方法論を構築することとした。土地利用は 1)水田、2)それに次ぐ主要作物（大豆の場合が多い）、3)耕作放棄地を判別すること当初目標とした。

3. 研究の方法

3.1 研究手法の特徴

衛星画像解析による土地利用判別は古典的なテーマであり、今まで多くの手法が提案されてきた。研究レベルでは高解像度衛星画像を多数用いればある特定の場所の土地利用はほぼ正確に判別できるようになっている。ところが解析対象を広域化し（日本全国レベル）、毎年観測するとすると、解析に用いる衛星画像の取得コストと地域による農作物の違いと農事暦の差異が問題となる。そこで以下のような方法で研究に取り組んだ。

3.1.1 低コスト化

現在衛星画像の解像度は光学センサー画像であれば数 10cm のものが入手可能である。これらは民間商用衛星画像であり、撮影範囲が狭く高価である。一方欧米の公的機関が運用する衛星画像は近年地球環境研究の促進のためオープンアクセス化（利用料の無料化）が進んできた。例として挙げられるのは Landsat-8（NASA）、Sentinel-1,2（ESA）などである。これらは解像度は 10-30m と決して高くはないが、その分回帰日数（観測間隔）は 2 週間程度と比較的短い。Sentinel はコンステレーション化（同じセンサー搭載機を複数運用すること）により観測間隔が 6 日と非常に短くなっている。そこでオープンアクセスの衛星画像を複数利用することとした（マルチセンサー）。

3.1.2 曇天・雨天への対応

日本やアジアにおける主な農事暦はアジア・モンスーン気候と重なる。曇天や雨天が多く、実際に利用できる（雲の影響の少ない）衛星画像は少数しか取得できず、観測機会が安定しない問題がある。そこで雲に影響を受けない合成開口レーダ画像（SAR: Synthetic Aperture Radar）を主に利用し、可視光光学センサー画像は補足的に利用した。

3.1.3 低解像度への対応

日本の農用地の区画面積は世界的に見ても極めて小さい。特に中山間地域の棚田などでは 10a 以下の区画が多数ある。これらの農地をオープンアクセスの衛星が画像で観測しようとすると解像度の問題に直面する。そこで本研究では各県の土地改良事業団連合会（水土里ネット）が所蔵する GIS 農用地区画データを利用することとした。区画データを用いることで衛星画像の画素と圃場区画が重なる領域を正確に抽出することが可能になる。このことで判別精度の向上と使用データの大幅な削減が達成できる。

3.2 調査対象地

兵庫県篠山市（以下篠山）、養父市（以下養父）、新潟県上越市吉川土地改良区（以下吉川）など 3 つの耕区群で現地調査を行った。篠山は加古川の上流を抱く高原地域（平均標高 205m）で整備済みの圃場と山麓の未整備圃場が混在する。養父は狭い谷沿いと山麓に小規模圃場区画が点在する山間地域である。吉川は日本海に面する低平地域から山間部までを含む地域である。

2016、2017、2018 年度にドローンを併用しながら目視で土地利用調査を行った。いずれの地域において主な土地利用は水稻、大豆、耕作放棄であった。それぞれの年の観測圃場数を表 1 に示す。2016 年は耕作放棄地の観測数が少なかったため、2017 年に養父を調査地に追加し、また観測圃場数を大幅に増加した。

表 1 各調査対象地における観測圃場数

年	篠山			吉川			養父		
	水稻	大豆	耕作放棄	水稻	大豆	耕作放棄	水稻	大豆	耕作放棄
2016	505	135	18	662	73	12			
2017	1,061	408	123	1,918	167	549	1,369	5	1,009
2018	1,180	377	195	2,483	212	737	1,504	3	873

3.3 使用衛星データ

本研究で使用した衛星画像を表 2 に示す. 主に使用したのは天候の影響を受けない SAR 画像である. C-band SAR の Sentinel-1 は中解像度でオープンアクセスであり, 比較対象とした Alos-2 は高解像度で有料である. Alos-2 の回帰日数は 14 日だが, 様々な用途で観測が行われているため, 同一地域での定期的画像取得は困難だった. Sentinel-1 については単偏波 VV のプロダクトを 3 月から 11 月までの期間 12 日間隔でデータを取得した. Alos-2 については対象地域を捉える SM1 モードの単偏波 HH について可能な限りデータを取得した.

表 2 本研究で使用した衛星画像の諸元

センサー名	所管	種別	回帰日数	解像度	備考
Sentinel-1	ESA	C バンド SAR	12 日 (現在 6 日)	5×20m	オープンアクセス
Alos-2	JAXA	L バンド SAR	14 日	3×3m	有料
Sentinel-2	ESA	光学	10 日 (現在 5 日)	10×10m	オープンアクセス
ASTER	JAROS/NASA	光学	16 日	15×15m	オープンアクセス

3.3 分析方法

SAR 画像は前処理 (幾何補正, Refined Lee フィルタによる単イメージフィルタリング, ジオコーディング) の後, 各圃場の耕区ベクターファイル毎に空間解像度 3m でサンプリングした. 用いて各農地の後方散乱値を抽出した. 光学センサー画像については正規化植生指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を算出して使用した.

3.4 判別精度評価

判別精度の評価にはオミSSIONエラーとコミSSIONエラーを求め, そこから正答率を示す総合精度と, 1 からコミSSIONエラーを引いた抽出精度を用いた他, Kappa 係数を用いた. Kappa 係数は観測事象と照合事象間の偶然の一致結果に依存しない「一致率」を評価する指標で以下の式で表される.

$$\kappa = (P_o - P_e) / (1 - P_e) \quad (1)$$

ここに P_o : 観測された一致率 (総合精度), P_e : 偶然一致率. 一致率の解釈は 0.4 以下: 低い一致, 0.41-0.60: 中程度の一致, 0.61-0.80: かなりの一致, 0.81-1.00: 高い一致である.

4. 研究成果

4.1 水稻の特徴

水稻はいずれの地域においても移植後の湛水による後方散乱係数の低下が最大の特徴となった (図 1). Sentinel-1 は田起こし期 (1 月 1 日からの積算日 DOY で 100 日付近) に後方散乱係数が -8 から -10 の高い値をとり, 湛水後そこから 5dB 程度の後方散乱値の低下が見られた. また 150 日付近では共通に最低値が得られた. Alos-2 では水田において同様の後方散乱値の低下が捕捉された. いずれの場合も耕区面積が小さくなると, その特徴は弱まる傾向が見られた. 衛星画素に複数の土地利用の混在する「ミクセル」が生じやすくなることが理由として考えられる.

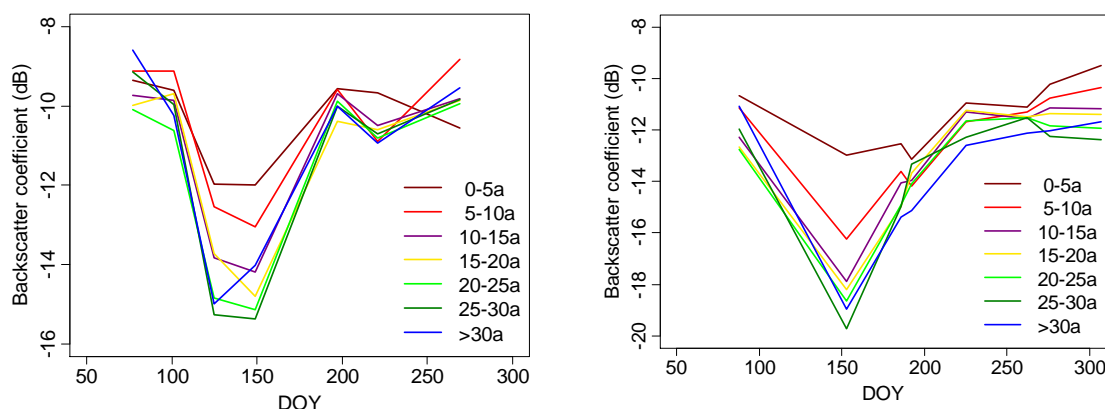


図 1 2016 年篠山における水田の面積別後方散乱係数 (左: Sentinel-1, 右: Alos-2)

4.2 大豆の特徴

Sentinel-1 による大豆畑の観測は, 篠山, 吉川において 100 日から 150 日にかけて後方散乱係数が低下し, その後 200 日付近に向けて増加傾向を示した (図 2). 5-10a の農地でも大きな農地と同様の特徴を捕捉していた. Alos-2 では 150 日付近に後方散乱係数は最低値をとり, その後 270 日付近で最大値を取るまで漸増した.

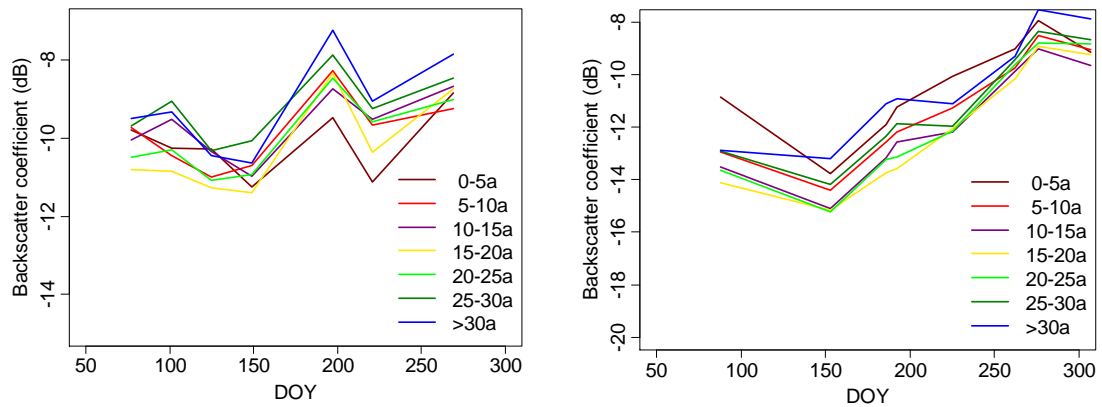


図2 2016年篠山における大豆の面積別後方散乱係数 (左: Sentinel-1, 右:Alos-2)

4.3 耕作放棄地の特徴

Sentinel-1 (図3), Alos-2 (図4) いずれも耕作放棄地の後方散乱係数は大豆畑と類似した推移を示し、両者の判別は極めて困難であった。

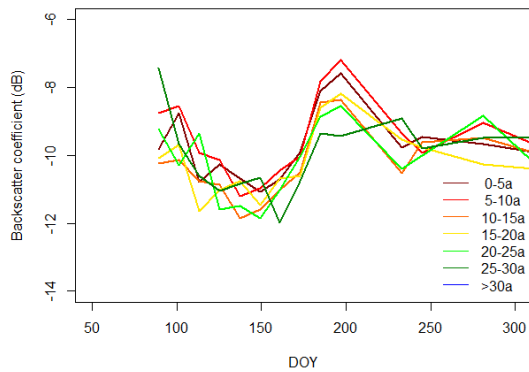


図3 2017年篠山における耕作放棄地の面積別後方散乱係数

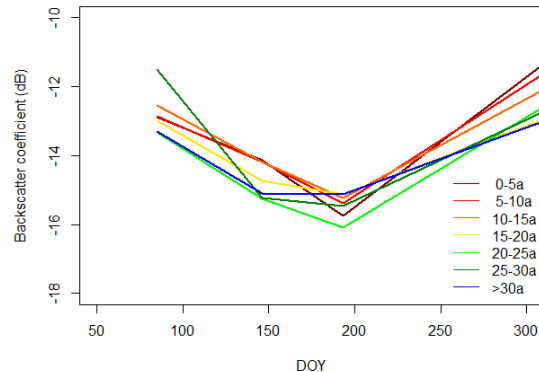


図4 2018年養父における耕作放棄地の面積別後方散乱係数

4.5 マルチセンサー判別性能

2016年の調査結果に対し Sentinel-1 と光学センサー (Sentinel-2, ASTER) の NDVI 値双方を使用して決定木法により判別性能の検証を行った。光学センサー画像の取得機会は天候に依存するため、利用できる画像を用いて篠山において以下のように判別式を作成した。水稻・大豆の順に逐次判別を行うものである。式(2)-(7)は水稻の判別式、式(8)は大豆の判別式である。

- σ(74) - σ(124) > 5.5 (2)
- σ(74) - σ(148) > 5.5 (3)
- σ(124) - σ(196) < -9 (4)
- σ(124) < -17 (5)
- σ(148) < -17 (6)
- NDVI (290) < 0.35 (7)
- NDVI (169) < 0.37 (8)

ここにσ(DOY): Sentinel-1の後方散乱係数, DOY: 1月1日からの積算日, NDVI: 可視光画像から作成した正規化植生指数。

上記条件式の総合精度は篠山において91.3%, Kappa係数は0.78となった。篠山で決定した条件を吉川に適用した判別は、総合精度94.8%, Kappa係数0.77を得た。

図5に抽出精度と面積の関係を示す。精度は圃場面積が小さくなるほど低下する傾向を見せた。水稻は16.1a以上の耕区であれば98.0%の抽出精度を持った。大豆は26.3a以上で完全な一致を示したが、面積が小さくなるとともに抽出精度が低下した。耕作放棄地については面積に関係なく抽出精度が低い結果となった。サンプル数が少ないことが影響した。マルチセンサー判別は比較的高い精度が得られたが、可視光画像の取得可能性が不安定で、広域・経年観測のための条件式の作成に困難が伴う。

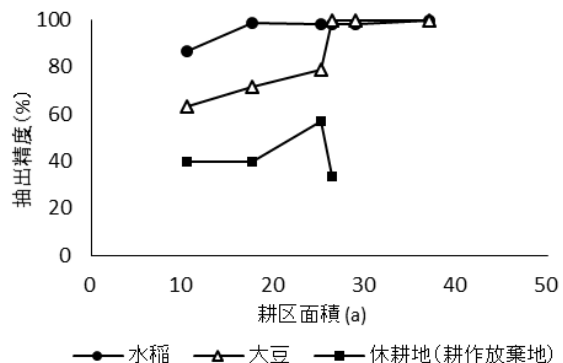


図5 抽出精度の面積依存性

4.4 SAR のみによる水田—非水田判別精度

SAR は影響を受けないため安定した観測が可能である。水稻は特徴的な後方散乱係数を示す一方、大豆と耕作放棄地の判別は困難であることから、水田—非水田判別の精度を面積別に分析した。判別に Sentinel-1 は 5 月以降 12 日毎の画像 3 枚、Alos-2 については 4 月上旬から 8 月下旬まで入手可能な画像 3 枚を用いて 3 段階の決定木法により判別精度の検証を行った。2017 年の判別結果を図 6 に、2018 年の判別結果を図 7 に示す。

25a 以上の面積では Sentinel-1、Alos-2 とともに kappa 係数は 0.8 程度の高い一致を示した。2017 年は Alos-2 が 15a 以下の面積で Sentinel-1 を上回る精度を示した。空間解像度の高さが要因と思われる。しかし 2018 年は Alos-2 の判別精度が大幅に低下する一方で Sentinel-1 はほぼ同様の精度を保った。回帰日数が短く観測機会に恵まれた Sentinel-1 に対し、Alos-2 の観測は不定期のため、特徴捕捉の適期を逃すと精度が低くなると考えられる。

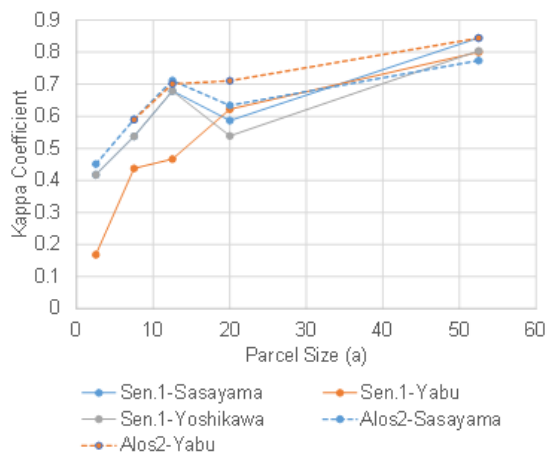


図 6 SAR による水田—非水田判別精度の比較 (2017 年)

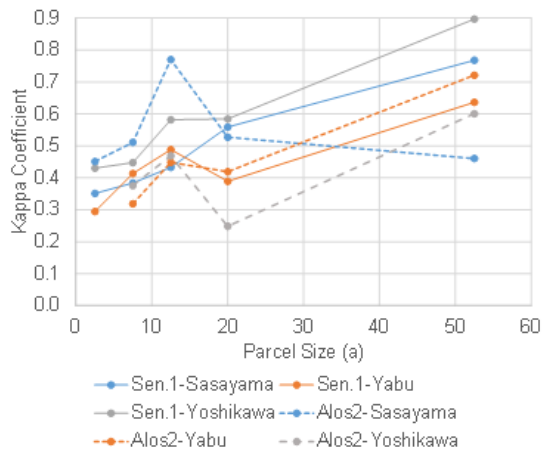


図 7 SAR による水田—非水田判別精度の比較 (2018 年)

4.4 成果のまとめ

SAR の利用により 25a 以上の農用地においては水田-非水田の判別が 6 月下旬以前の Sentinel-1 画像 3 枚により高精度で可能なことを明らかにした。より小さい圃場面積に対しての判別精度向上には高解像度の Alos-2 が有効であるが、定期観測が可能なが前提となる。SAR のみでは大豆と耕作放棄地の判別は困難だったが、光学センサーも併用したマルチセンサー判別を行えば水田の判別精度も向上する一方で大豆と耕作放棄地についても判別が可能になる可能性がある。この点については今後も精査を進める。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Nagano, T., Abudukerem, A, Fujihara, Y., Yoshikawa, N.: Land use detection of small agricultural parcels using multiple synthetic aperture radar images, Proceedings of THA 2019 International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food Nexus and SDGs, January 2019, Bangkok, Thailand.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 長野宇規, 浅野 剛, 吉川夏樹, 小寺昭彦, 藤原洋一: 中解像度衛星画像を用いた毎筆作付判別, 農業農村工学会全国大会, 2017 年 8 月, 藤沢.
- ② エネルバン・アブドケリム, 長野宇規, 藤原洋一, 吉川夏樹: Lバンド, Cバンド SAR の中山間農用地特徴捕捉性能の比較, 農業農村工学会全国大会, 2018 年 9 月, 京都.
- ③ Nagano, T., Abudukerem, A, Fujihara, Y., Yoshikawa, N.: Land use detection of small agricultural parcels using multiple synthetic aperture radar images, THA 2019 International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food Nexus and SDGs, January 2019, Bangkok, Thailand.

[その他]

ホームページ等

<http://www.edu.kobe-u.ac.jp/ans-rpww/index-j.htm>

6. 研究組織

- (1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：藤原洋一（石川県立大学），吉川夏樹（新潟大学）

ローマ字氏名：Fujihara Yoichi (Ishikawa Prefectural University), Yoshikawa Natsuki (Niigata University)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。