

令和 2 年度衛星画像解析による
中山間地域等直接支払制度における
現地確認作業の効率化手法の開発・調査業務

業務実施報告書

2021 年 3 月 12 日

一般財団法人リモート・センシング技術センター

目 次

1. 業務概要	1
1. 1 業務の目的	1
1. 2 業務の期間	1
1. 3 業務の内容	1
2. 作業計画	3
3. 研究会の設置・運営	4
4. 衛星画像解析による中山間地域等直接支払制度における現地確認作業の効率化手法の 開発・調査・現地調査実施マニュアル作成	5
4. 1 農用地管理状況判別に係る閾値等のパラメータの検討等	5
4. 2 衛星画像データの取得等	8
4. 3 衛星画像データの解析	11
4. 4 農用地管理状況判別手法の実地検証	21
4. 5 検討課題、対応方策等の整理	32
4. 6 衛星画像を用いた現地調査実施マニュアルの作成	35
4. 7 業務実施報告	36
5. 担当部署との打ち合わせ会議の開催	37

1. 業務概要

1. 1 業務の目的

現在、農林水産省殿では中山間地域等直接支払交付金などの日本型直接支払制度等の運用にあたって、農用地区画ごとの実施状況の現地確認作業に多大な労力を要しており、これら農業生産基盤の現況を迅速かつ効率的に把握する手法の開発が急務となっている。

中山間地域等直接支払制度とは、農業清算条件の不利な中山間地域等において、集落等を単位に、農用地を維持・管理していくための取決め（協定）を締結し、それにしたがって農業生産活動等を行う場合に、面積に応じて一定額を交付する仕組みである。この協定が締結された農用地（協定農用地）について、市町村が活動の実施状況を確認することになっており、農用地ごとに、耕作又は維持管理の適否を現地確認により判定している。

一方で、近年、地球観測衛星の高性能化、画像解析技術などの新技術開発は急速に進んでおり、これらを効果的に活用することにより、効率的な現地確認作業の実現が見込まれている。

本業務の目的は、衛星画像データを解析し、農用地区画ごとの土地利用状況を高い精度で把握し、中山間地域等直接支払制度における現地確認作業の効率化手法を開発することである。この開発により、農用地ごとの耕作又は維持管理の適否を、衛星画像データを用いて判定することにより、市町村職員の業務負担を軽減することを目的とする。

1. 2 業務の期間

自 2020（令和2）年7月31日 至 2021（令和3）年3月12日

1. 3 業務の内容

（1）作業計画

（2）研究会の設置・運営

（3）衛星画像解析による中山間地域等直接支払制度における現地確認作業の効率化手法の開発・調査・現地調査実施マニュアル作成

ア 農用地管理状況判別に係る閾値等のパラメータの検討等

イ 衛星画像データの取得等

ウ 農用地管理状況判別手法の実地検証

エ 検討課題、対応方策等の整理

オ 衛星画像を用いた現地調査実施マニュアルの作成

カ 業務実施報告

(4) 担当部署との打ち合わせ会議の開催

2. 作業計画

作業実施に当たっては、契約締結後 10 日（行政機関の休日を含まない。）以内に次の項目について作業計画書を提出し、農村振興局農村政策部地域振興課及び大臣官房政策課食料安全保障室（以下、「担当部署」という。）の承認を得た。

ア 実施スケジュール（図 2.1）

イ 実施体制表（表 2.1）

（ア）本業務の実施を統括する業務責任者及び業務担当者を配置した。

（イ）業務責任者は、業務担当者を統括し、業務の適切な実施を管理するとともに、担当部署との連絡・調整を行う者とした。

（ウ）業務担当者は、業務の進行に必要な各業務の担当者とした。

	2020年					2021年		
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
（1）作業計画	←→							
（2）研究会の設置・運営								
研究会設置	←→	9/14				1/27		
研究会		●				●		
（3）効率化手法の開発・調査・現地調査実施マニュアル作成								
ア パラメータの検討等	←→							
イ 衛星データの取得等	←→							
ウ 農用地管理状況判別手法の実地検証			←→					
エ 検討課題、対応方策等の整理				←→				
オ 現地調査実施マニュアルの作成						←→		3/12納期
カ 業務実施報告							←→	
（4）担当部署との打ち合わせ会議	●		●		●	●		
	8/27		10/21		12/24	1/18		

図 2.1 実施スケジュール

表 2.1 実施体制表

管理責任者	ソリューション事業第二部 部長 向井田 明
業務責任者	ソリューション事業第二部 調査普及課 参事 奥村 俊夫
業務担当者	ソリューション事業第二部 調査普及課 課長 斉藤 葉子 課長代理 金澤 聡子 研究開発部 環境解析グループ 主任研究員 小田川信哉 研究員 小林 優介 研究員 金子 歩

3. 研究会の設置・運営

本業務の実施にあたり、専門的見地から衛星画像解析による中山間地域等直接支払制度における現地確認作業の効率化手法の検討・評価を行うための研究会（以下、「研究会」という。）を設置した。

研究会の研究委員は、担当部署と相談の上、農林水産業分野における衛星リモートセンシング技術等を活用した画像解析に関する分野の学識経験者2名を選定した（表3.1）

研究会は、原則として農林水産省内会議室で開催し、以下の内容で2回行った（表3.2）。開催時期、内容等については担当部署と相談の上、決定した。

研究会の議事録を作成し、研究会終了後、5日以内（行政機関の休日を除く。）に提出し、担当部署の承認を受けた。

研究会の開催経費（研究委員の旅費・謝金、研究会等の資料の作成経費等）については、当財団が負担した。

表 3.1 研究委員

名前	所属	専門分野
小川茂男	農研機構 本部 事業開発室 上級研究員	農業水産業分野におけるリモートセンシング技術の研究
石塚直樹	農研機構 農業環境変動研究センター 農業空間情報解析ユニット 上級研究員	農業水産業分野におけるリモートセンシング技術、特に衛星データを用いた農地解析（機械学習）の研究

表 3.2 研究会

	開催日	内容
第1回研究会	2020年9月14日	運営方針・年間計画の決定 農用地管理状況判別に係る衛星データの後方散乱強度の閾値等のパラメータの検討 現地調査実施マニュアル作成方針
第2回研究会	2021年1月27日	判別手法の検証結果の検討 現地調査実施マニュアル作成方針

4. 衛星画像解析による中山間地域等直接支払制度における現地確認作業の効率化手法の開発・調査・現地調査実施マニュアル作成

4. 1 農用地管理状況判別に係る閾値等のパラメータの検討等

本業務において農用地管理状況を判別するために用いる手法は、昨年度業務「令和元年度衛星画像解析による現地確認作業の効率化手法の開発・調査委託事業」において、中山間地域等直接支払制度の対象農用地の主要な地目である「田」と「畑」を対象に、合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）を活用した後方散乱強度閾値法である。本手法は、農用地において期間中一度でも耕作や管理がされていれば、農用地が均されることにより後方散乱強度が著しく低下することを利用して、田や畑が中山間地域等直接支払制度の対象農用地において耕作もしくは管理されていることを判定する手法である。SAR センサは、自ら斜めに出した電波が地表面で反射して帰ってきた電波をとらえることにより、地表面の特徴を表す後方散乱強度を取得することができる（図 4.1.1）。水田の湛水や、畑地における作付け前など、農用地が平らに均されていると、斜めに照射した電波は鏡面反射により衛星には帰ってこないため、後方散乱強度は著しく低下することから、農用地が耕作もしくは管理されていることを把握することができる。

昨年度業務において山梨県北杜市における PALSAR-2 を用いた本手法の試行の結果を図 4.1.2 に示す。図にある農用地 1908-016359-016246 は、時系列解析の結果、4 月や 8 月に後方散乱強度が著しく低下していることから、どちらかの時期に畑地として整備されていたと考えられる。また、農用地 1908-016349-016193 は、5 月下旬ごろに後方散乱強度が著しく低下しており、この時期に水田として湛水していたと考えられる。昨年度業務において後方散乱強度最低値に閾値を設定し、耕作・管理されている農用地と、それ以外の農用地に分類した結果を図 4.1.3 に示す。別の手法によって水田と推定された圃場の後方散乱強度の頻度分布を見ると、ある閾値以下であれば、水面が張られた農用地と同じ程度の鏡面散乱とみなすことができ、農用地が水田として利用されているか、何らかの管理がされているものと判断できる。分類結果を公開されている航空写真と比較すると、閾値以下の農用地は耕作・管理されているように判読でき、閾値以上の農用地は耕作・管理されていないように判読できた。

この様に、期間内で一度でも後方散乱強度が低下している場合、農用地が耕作もしくは管理されていると判断できるため、後方散乱強度の期間内における最低値を評価する（閾値を設ける）ことにより、衛星データから耕作もしくは管理されている農用地を判定することができると考えられる。本業務では、北杜市において 2018 年に撮影された SAR データを詳細に解析することによって閾値を決定する手法を確立する。さらに 2020 年に撮影された SAR データに本手法を適用して農用地を判別し、現地検証調査にて本手法の精度と課題を整理する。

SARは自ら電波を発し、地表物から帰ってきた電波の強度（後方散乱強度）を画像化する。

平らな表面（水面やならされた農用地）では発射した電波はほとんど帰ってこないため、非常に暗い画像となる。

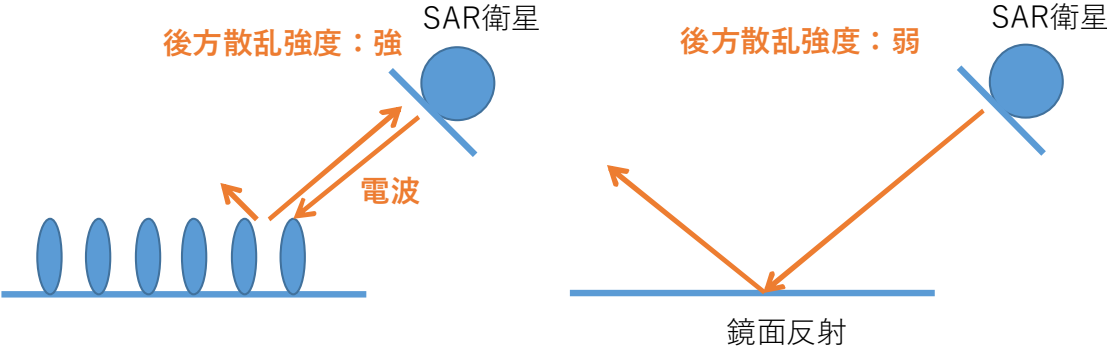


図 4.1.1 SAR の概要

2018年8月14日撮影

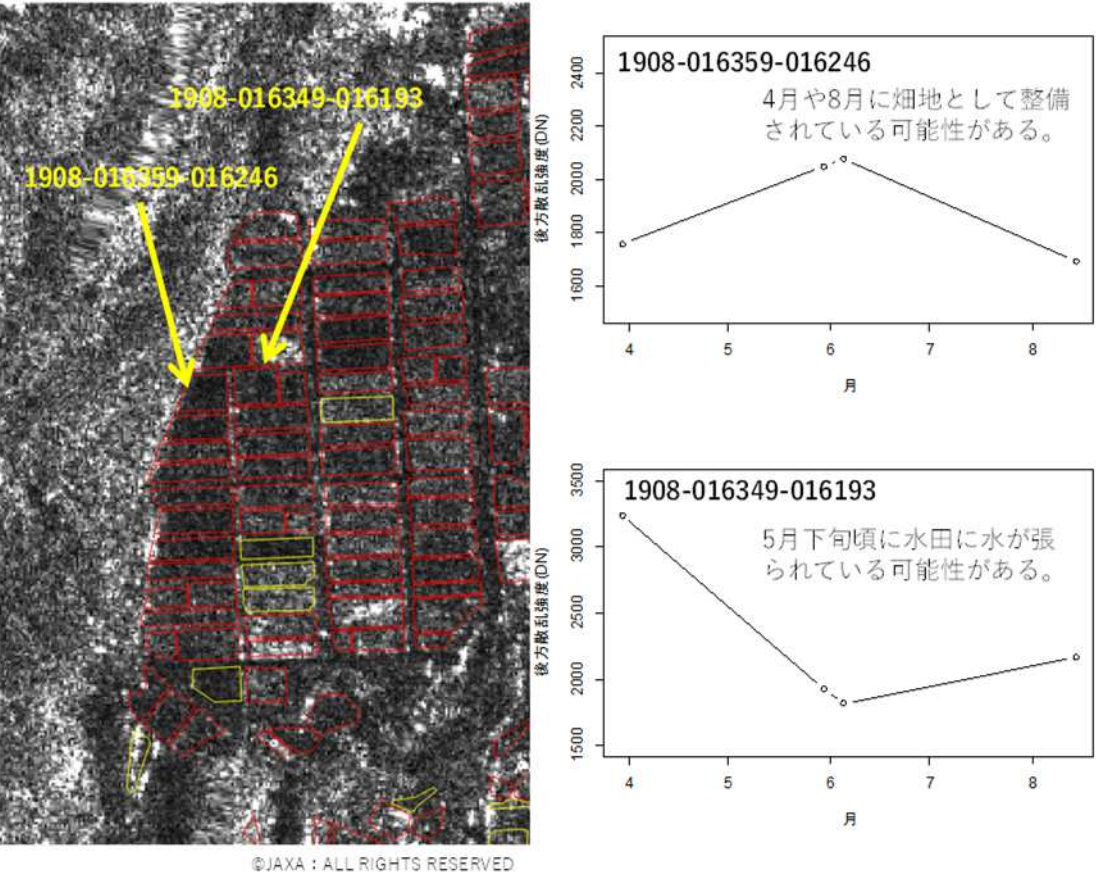
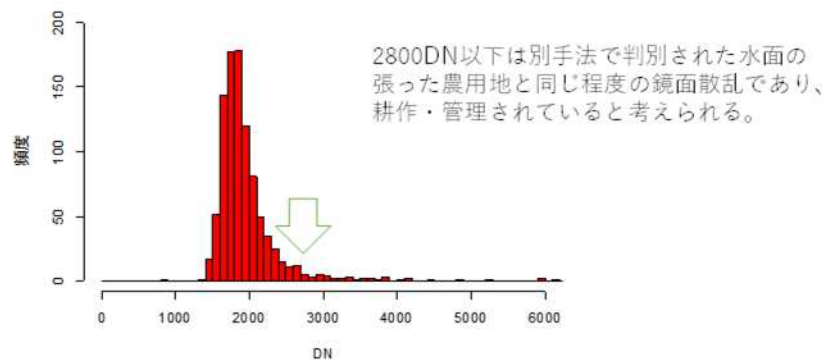


図 4.1.2 後方散乱強度閾値法の概要



水田と推定された農用地の後方散乱強度



後方散乱強度最低値の閾値による耕作・管理された農用地の抽出結果

図 4.1.3 後方散乱強度閾値法による農用地の判別事例(昨年度業務成果)

本年度業務の対象地域は、昨年度業務に引き続き「田」が主な地目の北杜市の他に、「畑」が主な地目の熊本県天草市も対象とした。北杜市にも「畑」は存在するが、天草市を加えることにより、本手法の適用が「田」だけでなく「畑」にも十分に適用できることを示すことができる。また、比較的平らな地形からなる北杜市の他に、急峻な地形が多い天草市も解析することにより、本手法がより多様な地形にも対応できることを示すことができる。

4. 2 衛星画像データの取得等

本業務で使用した衛星画像データは、昨年度業務に引き続き PALSAR-2 を用いるとともに、本手法の冗長性を高めるために Sentinel-1 も用いることとした。各衛星センサの仕様を表 4.2.1 に示す。

PALSAR-2 データは農林水産省殿から無償で貸与されたデータを使用した。高い観測頻度によって農用地の季節変化を観測するとともに、可能な限り面積の小さい農用地も対象とするために、PALSAR-2 の観測モードは高分解能モードとした。PALSAR-2 データには様々な製品（プロダクト）があるが、その内正射投影されているレベル 2.1 を使用した。

Sentinel-1 データは Google Earth Engine (GEE) から無償でダウンロードした。PALSAR-2 と同様な理由により、Sentinel-1 の観測モードは IW (Interferometric Wide) モードとした。Sentinel-1 のプロダクトは、Level-1 のうち地表面投影されている GRD (Ground Range Detected) の HR (高分解能) とした。なお、GEE に格納されている Sentinel-1 は正射投影されている。

表 4.2.1 衛星センサとプロダクトの仕様

仕様項目	PALSAR-2	Sentinel-1
地上分解能(m)	高分解モード 3, 6, 10	IW モード 衛星進行方向 5m 上記直角方向 20m
観測幅 (km)	50、70	250
撮影頻度	2 週間	1 週間
バンド	L	C
使用プロダクト	レベル 2.1	Level-1/GRD/HR
プロダクトデータ単位	DN 変換式により dB に変換	デシベル dB
画像解像度 (m)	2.5	10

衛星画像データの取得期間は、2018 年 3 月～9 月および 2020 年 3 月～9 月とした。3 月～9 月とした理由は、農作物を含むあらゆる植物が繁茂する期間と考えられ、鏡面反射が起こりえるのは人為的な行為しか考えられない期間だからである。北杜市では昨年度業務において既に 2018 年 3 月～9 月の PALSAR-2 を取得していることから、2018 年 3 月～9 月は Sentinel-1 のみを取得した。2020 年は北杜市と天草市ともに PALSAR-2 と Sentinel-1 の両方を取得した。なお、本制度の現地調査は 10 月までであり、9 月末までに衛星画像解析を終えて 10 月からの現地調査に反映しなければならないことを考慮し、2020 年の衛星画

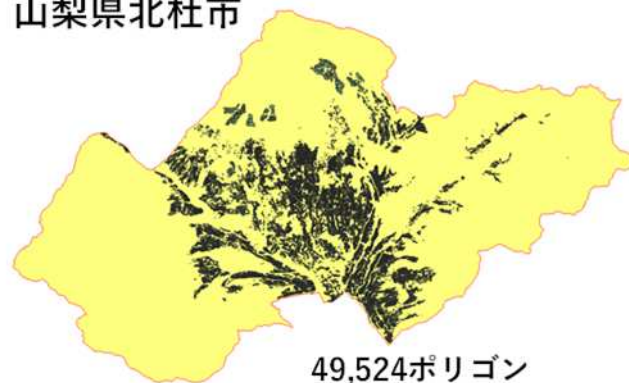
像取得期間は実運用を想定し、9月18日までに取得できた SAR データとした（取得できたデータであって9月18日までに撮影されたデータではない）。PALSAR-2 と Sentinel-1 の撮影実績を表 4.2.2 に示す。PALSAR-2 は3月から9月の7か月間に北杜市では3シーン、天草市では5シーンのデータを確保することができた。一方、Sentinel-1 は北杜市では5~7日間隔、天草市では12日間隔で撮影されていた。

表 4.2.2 PALSAR-2 と Sentinel-1 の撮影実績

地区名	北杜市		天草市	
衛星名	PALSAR-2	Sentinal-1	PALSAR-2	Sentinel-1
2018 年 3～9 月	昇交：1 シーン	29 シーン	－	－
	降交：2 シーン	34 シーン	－	－
2020 年 3～9 月	昇交：1 シーン	27 シーン	昇交：2 シーン	19 シーン
	降交：2 シーン	31 シーン	降交：3 シーン	19 シーン

また、昨年度業務における北杜市の解析では、北杜市担当者からご提供いただいた協定農用地のみを対象としたが、本手法の汎用性を確認するために、北杜市に含まれる全ての農用地（筆ポリゴン）を解析の対象とした。同様に、天草市の解析においても、天草市に含まれるすべての農用地（筆ポリゴン）を対象とした。北杜市と天草市の筆ポリゴンを図 4.2.1 に示す。

山梨県北杜市



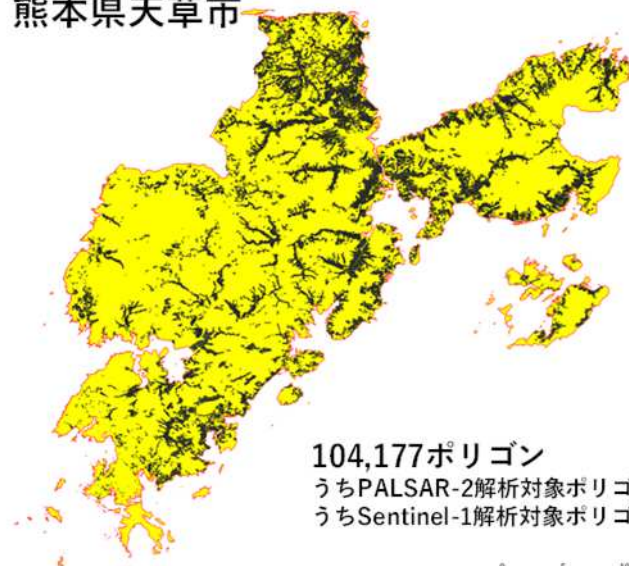
49,524ポリゴン

うちPALSAR-2解析対象ポリゴン27,541

うちSentinel-1解析対象ポリゴン14,375

0 5 10 km

熊本県天草市



104,177ポリゴン

うちPALSAR-2解析対象ポリゴン31,935

うちSentinel-1解析対象ポリゴン14,240

0 5 10 km

出典：「筆ポリゴンデータ」（農林水産省）

図 4.2.1 筆ポリゴン

4. 3 衛星画像データの解析

最初に、昨年度業務において解析の実績がある 2018 年の北杜市における PALSAR-2 に加え、Sentinel-1 の後方散乱強度の特徴を整理した。SAR は地表面に照射した電波が地物から反射してきた電波を受信しているため、人工物など、電波を多く反射する地物があると、その周辺の後方散乱強度はその地物の影響を受ける。本業務の場合、農用地にそのような地物が隣接する場合、それらが電波を多く反射し、農用地内の解析に影響を与えることがある。この現象は SAR データには必ず発生し、その補正は非常に困難なため、解析する農用地のポリゴンを若干狭めることにより、簡便かつ効率的に誤差を極力低減して解析することができる。このような処理を緩衝帯（バッファ）処理という。本業務では一律 5m 筆ポリゴンを縮小した。緩衝帯処理後の筆ポリゴンを図 4.3.1 に示す。バッファ処理後に面積が 100 m² より小さい筆ポリゴンは削除した。この面積は Sentinel-1 プロダクト 1 画素の大きさが 10m × 10m であることから、Sentinel-1 の 1 画素よりも小さい筆ポリゴンは当初より解析から除外した。

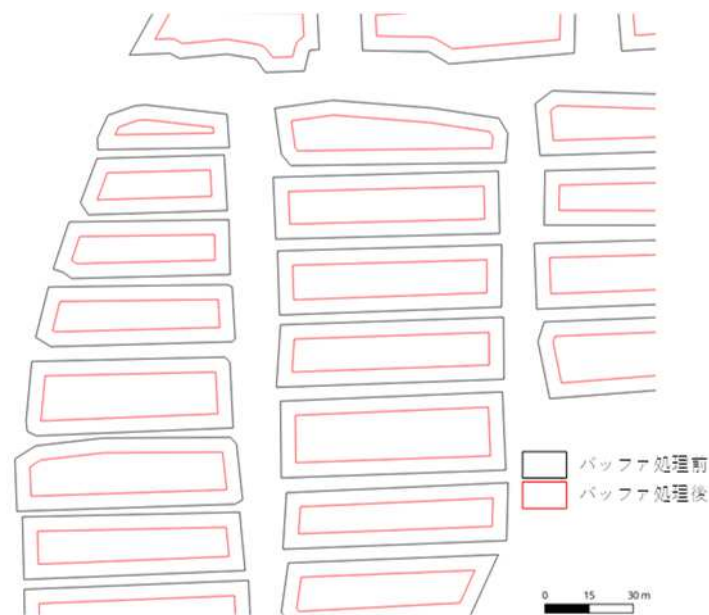


図 4.3.1 緩衝帯処理後の筆ポリゴン（一律マイナス 5m）

次に QGIS のゾーン統計機能を用いて、PALSAR-2 と Sentinel-1 の後方散乱強度を各ポリゴンの属性情報に取り込んだ。各筆ポリゴンの後方散乱強度の代表値は中央値とした。中央値は平均値とほぼ同じであるが、仮に前述したような影響により農用地にとって異常な値が混入したとしても、平均値よりも異常値の影響を受けにくく、農用地を代表する統計値になるからである。解析期間内の後方散乱強度（中央値）の最低値を、各筆ポリゴンの後方散乱強度最低値とした。また、筆ポリゴンに含まれる画素数も記載した。前述したように 100 m² より小さい筆ポリゴンは削除したが、その形状（いびつもしくは細長いなど）によっては面積が 100 m² 以上であったとしても、筆ポリゴンの代表的な後方散乱強度を求めら

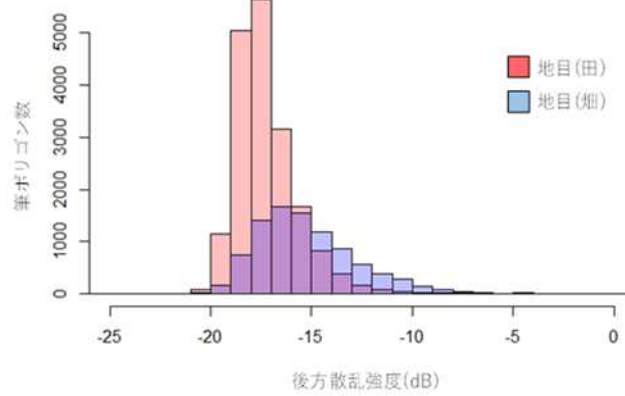
れるほどに十分な画素が含まれない可能性もあるためである。本業務では PALSAR-2 では 20 画素以上（1 画素 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m} \times 20\text{ 画素} = 125\text{ m}^2$ ）、Sentinel-1 では 5 画素以上（ $10\text{ m} \times 10\text{ m} \times 5\text{ 画素} = 500\text{ m}^2$ ）を対象とした。その結果、北杜市に含まれる全筆ポリゴン 49,524 のうち、PALSAR-2 の解析ポリゴン数は 27,541（55.6%）、Sentinel-1 の解析ポリゴン数は 14,375（29.0%）、天草市に含まれる全筆ポリゴン 104,177 のうち、PALSAR-2 の解析ポリゴン数は 31,935（30.7%）、Sentinel-1 の解析ポリゴン数は 14,240（13.7%）となった（図 4.2.1 参照）。天草市の筆ポリゴンは北杜市より多いものの、北杜市と比較して解析が困難な小さい筆ポリゴンが多いことが分かる。

筆ポリゴンには筆ポリゴンの ID の他に地目（「田」もしくは「畑」）も記載されている。ただし、地目が「田」であったとしても、必ずしも水田ではなく、畑作されていることもある。一方、この地目は、農林水産省殿によって、農用地に湛水機能の有無を高解像度写真で確認して記載しているので、地目が「畑」であるにもかかわらず湛水機能が必要な水田として利用されることはない想定できる。そこで、地目ごとに後方散乱強度最低値を記載した。2018 年度における北杜市の後方散乱強度最低値の頻度分布を図 4.3.2 にしめす。なお、観測頻度の関係上、PALSAR-2 は昇交と降交を合わせて、Sentinel-1 は分けて解析した（PALSAR-2 を昇交と降交で分けると、解析期間中一つしかデータが無いことがあり、期間内における後方散乱強度の最低値を算出できないためである）。その結果、PALSAR-2 と Sentinel-1 とともに「田」と「畑」では後方散乱強度最低値の分布傾向が重なってはいるものの、そのピークと頻度は異なることが分かった。この分布傾向は、「田」において畑作が行われているものの、水田としても利用されているので、分布傾向が異なったりと考えられる。分布傾向が異なるため、後方散乱強度最低値の閾値も「田」と「畑」で分けて検討することとした。

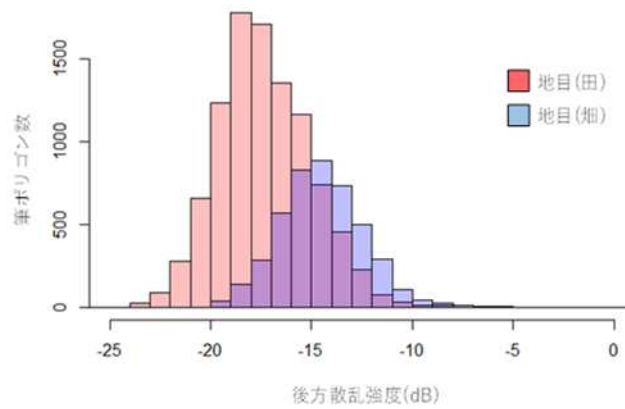
次に、2018 年の北杜市における PALSAR-2 と Sentinel-1 の後方散乱強度最低値を比較した（図 4.3.3）。比較は昇交と降交および地目で分けた。その結果、センサ間で弱い相関はあるものの、必ずしも同じ傾向にはないことが分かったことから、センサごとに解析することとした。

次に、2018 年の北杜市における Sentinel-1 の昇交・降交（飛行方向）による後方散乱強度最低値を比較した（図 4.3.4）。その結果、弱い相関であったことから、Sentinel-1 では昇交と降交に分けて解析することとした。

PALSAR-2



Sentinel-1昇交



Sentinel-1降交

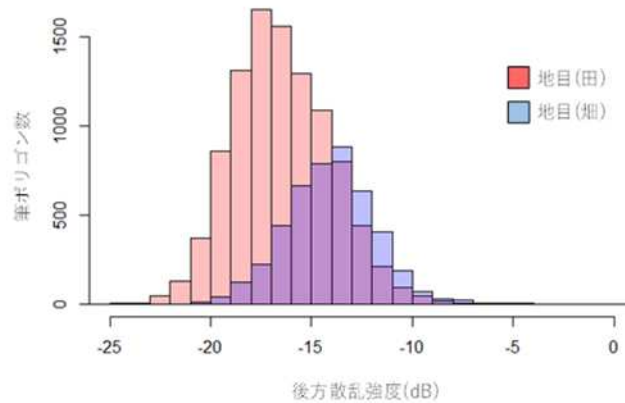


図 4.3.2 後方散乱強度最低値の頻度分布（2018 年、北杜市）

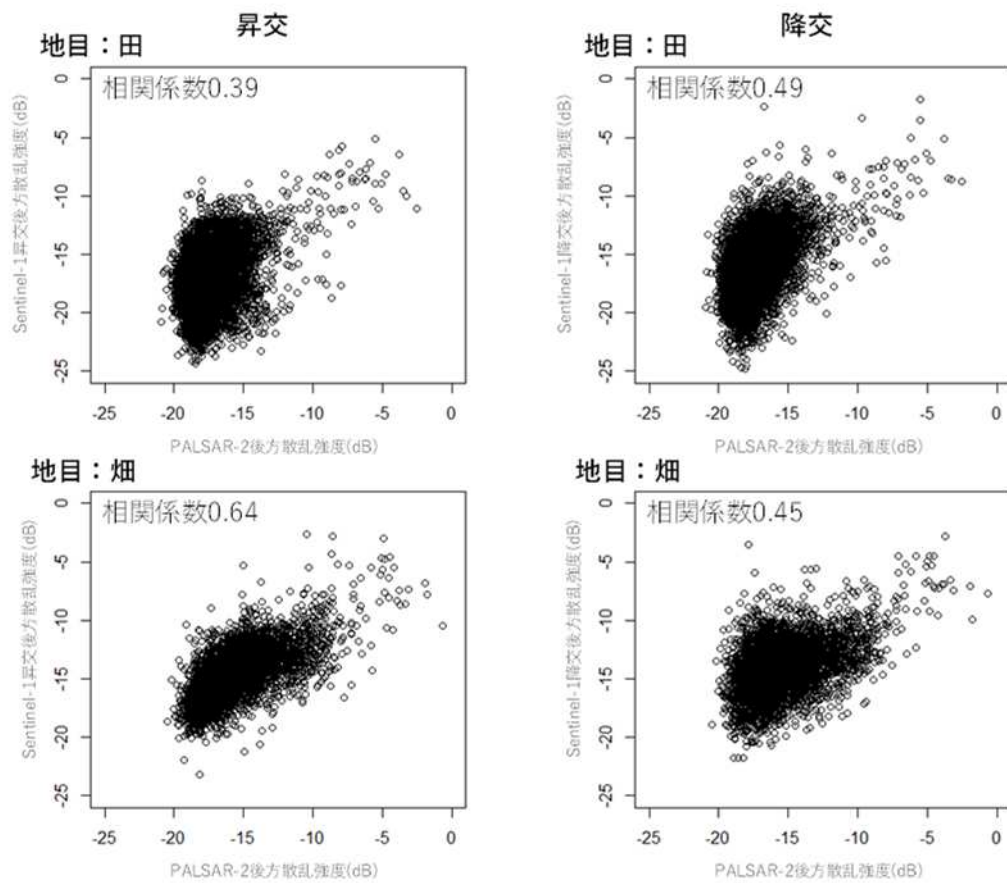


図 4.3.3 2018 年北杜市における後方散乱強度最低値のセンサ間比較

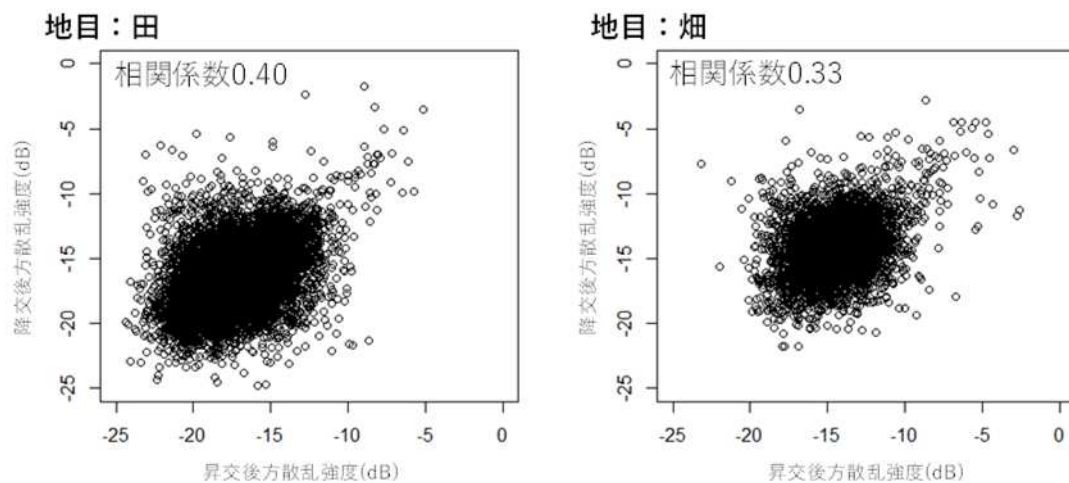
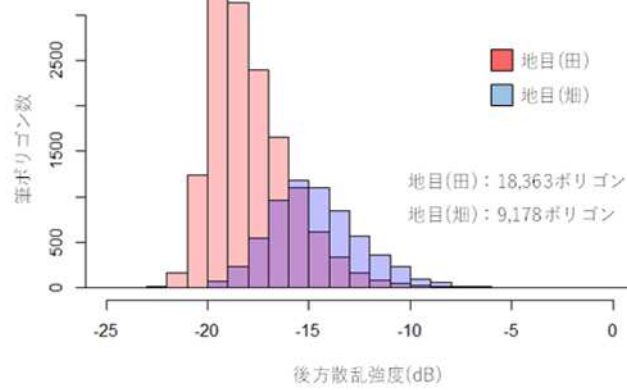


図 4.3.4 2018 年北杜市における後方散乱強度最低値の飛行方向比較

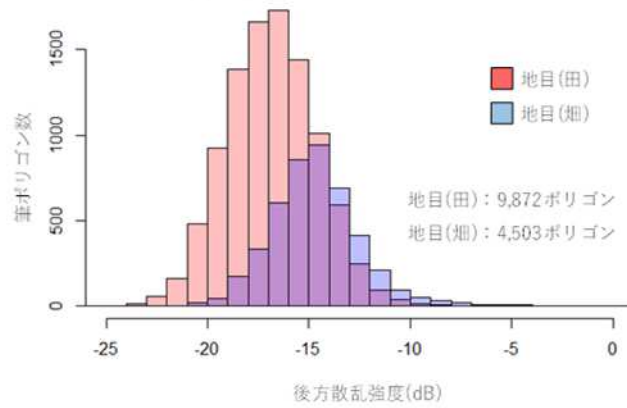
2018 年の北杜市における検討結果を基に、2020 年の北杜市および天草市における PALSAR-2 と Sentinel-1 のデータを整理した。各自治体の後方散乱強度最低値の頻度分布を図 4.3.5(1)～(2)に示す。その結果、2 年間のデータがある北杜市の頻度分布の傾向は 2018 年と 2020 年でほとんど変わらないことから、同様の検討は 2020 年でも適用可能と考えられる。2020 年における天草市の分布傾向は、北杜市よりも地目の分布傾向がより異なっていた。これは畑作が主である天草市では、「畑」が「田」と同じくらい存在すること、畑作されている「田」の比率が北杜市より低いためと考えられる。天草市においても地目によって頻度分布の傾向が異なることから、北杜市と同様、地目ごとに解析することとした。

次に 2020 年の天草市における Sentinel-1 の昇交・降交（飛行方向）による後方散乱強度最低値を比較した（図 4.3.6）。その結果、「田」には弱い相関しかないだけでなく、「畑」では逆相関になっていた。このことは平地にある「田」では、北杜市と同様な傾向が得られたものの、山地にある「畑」では、飛行方向（電波の照射方向）の違いにより、傾向が全く異なることが分かった。そこで、PALSAR-2 と Sentinel-1 における飛行方向の違いによる画像の比較を行った（図 4.3.7）。その結果、急傾斜の谷あいにある筆ポリゴンでは、電波の照射方向の違いにより、地形の影響が顕著となり、後方散乱強度が見かけ上強くなっていることが分かった。Sentinel-1 は PALSAR-2 より空間解像度が粗いため、地形効果の影響がより顕著になったものと考えられる。一方、本業務では解析期間内の後方散乱強度の最低値が重要となるが、地形効果による後方散乱強度の見かけ上の情報は、降交・昇交の両方の飛行方向の解析結果（最低値）を統合し、どちらか低い方の最低値を採用することによって、地形効果の影響を極力低減できると考えられる。このことから、Sentinel-1 では、昇降・降交に分けて後方散乱強度最低値を算出した後、その二つを統合して、どちらか低い方の最低値を、筆ポリゴンの後方散乱強度最低値とすることとした。一方、PALSAR-2 を見ると、電波の照射方向による後方散乱強度の違いはほとんどない。これは空間解像度が高いため、谷にある農用地であっても電波の照射方向にかかわらず観測できているためと考えられる。このことから、PALSAR-2 では飛行方向に分けることなく、より多くのデータを使って後方散乱強度最低値を計算することとした。

PALSAR-2



Sentinel-1昇交



Sentinel-1降交

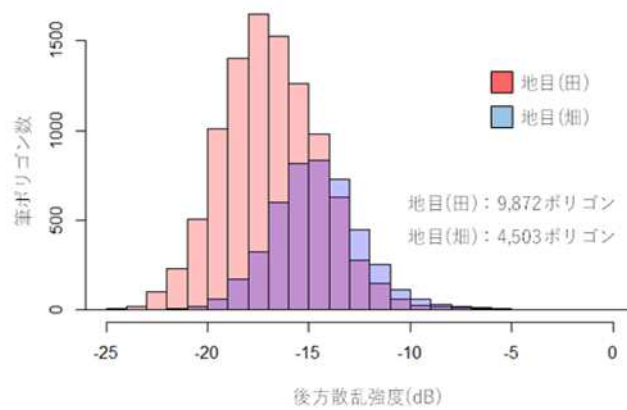
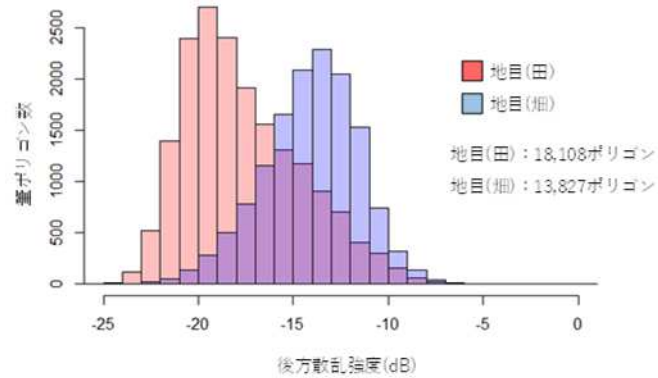
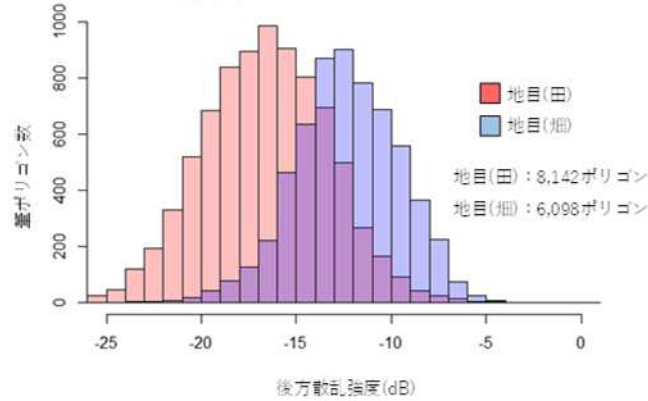


図 4.3.5(1) 後方散乱強度最低値の頻度分布 (2020 年、北杜市)

PALSAR-2



Sentinel-1昇交



Sentinel-1降交

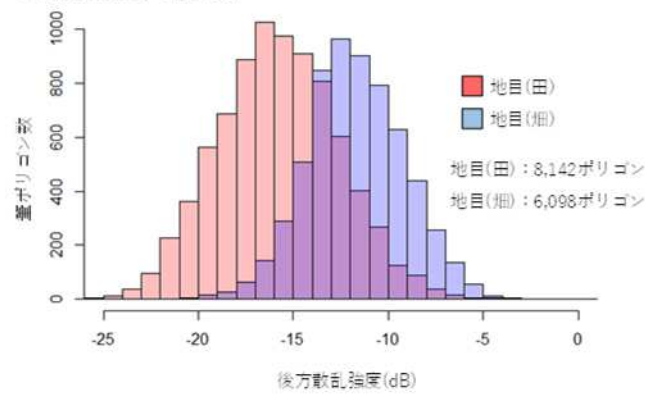


図 4.3.5(2) 後方散乱強度最低値の頻度分布（2020 年、天草市）

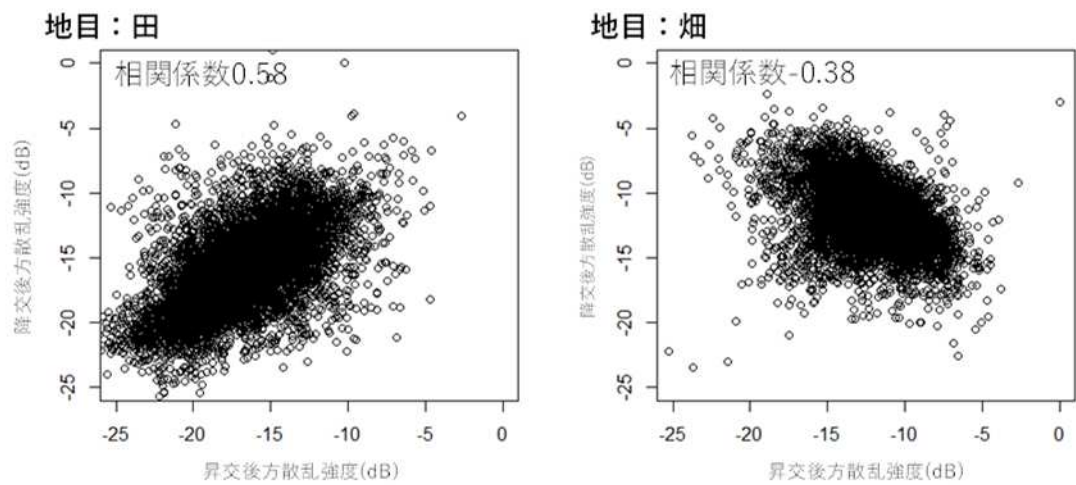


図 4.3.6 後方散乱強度最低値の頻度分布（2020 年、天草市）

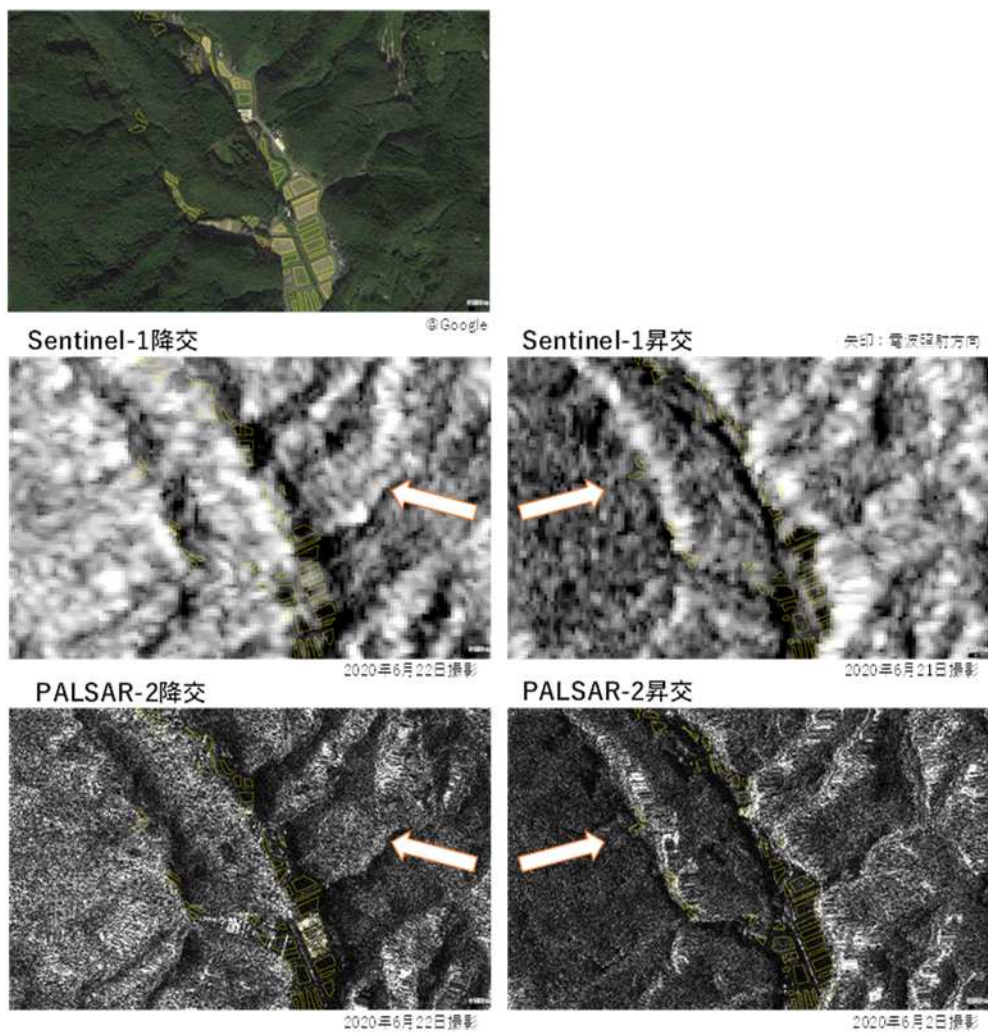
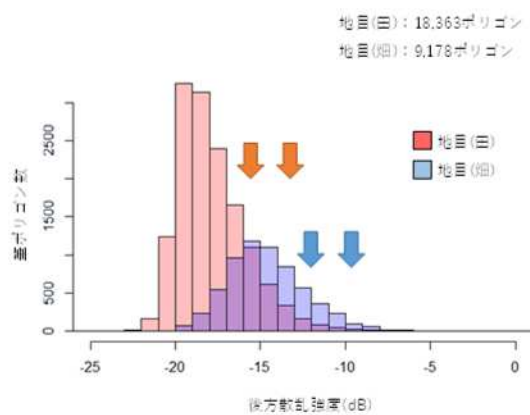


図 4.3.7 飛行方向の違いによる後方散乱強度の画像比較（2020 年、天草市）

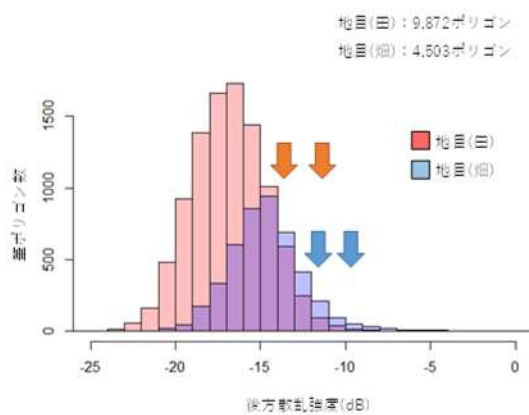
以上により、現地検証調査のため、2020 年の PALSAR-2 と Sentinel-1 を用いて、農地・管理地とそれ以外の農用地を判別するための、後方散乱強度最低値の閾値を検討した。閾値の決定では、教師なし分類や教師付き分類による方法がある。教師なし分類には大津の方法や Kittler の方法などがあるが、いずれも頻度分布が 2 つのクラスに分かれていることが条件となる。しかし、北杜市も天草市も、項目ごとの頻度分布には 1 つのピークしかなく、教師なし分類は適用できない。1 つしかピークがないのは、実際の筆ポリゴンには耕作・管理されている農用地がほとんどだからである。また、教師付き分類には P-tile 法、モード法および判別分析法などがあるが、いずれもクラス分けするためには各クラスの教師（現地検証）データが必要となるが、前述したように、耕作・管理されている農用地がほとんどであるため、教師付き分類をするための教師データが揃えられない。そこで、頻度分布に一つしかピークが無い正規分布に近いことを利用し、平均値と標準偏差からクラス分けし、各クラスが実際に現地でどのように分類されるかを確認することとした。本業務では平均値から標準偏差を足した閾値（一般に 1σ と呼ばれる）と、平均値から 2 倍の標準偏差を足した閾値（一般に 2σ と呼ばれる）を閾値とした。2020 年の頻度分布に閾値を示したものを図 4.3.8 に、具体的な後方散乱強度最低値を表 4.3.1 に示す。

この閾値を基に、各市町村における 2020 年度における中山間地域等直接支払制度における現地調査に活用するために、地図（解析図面）を作成した。解析図面では 2σ 以上を調査対象 1（耕作放棄地と推定）、 1σ 以上を調査対象 2（耕作・管理されているか要確認）、それ以外を調査対象 3（耕作・管理されている農用地と推定）とした。解析図面は自治体において 10 月に実施される現地調査に活用するため、9 月 30 日に農林水産省殿に提出し、農林水産省殿の指示の下、各自治体に配布した。

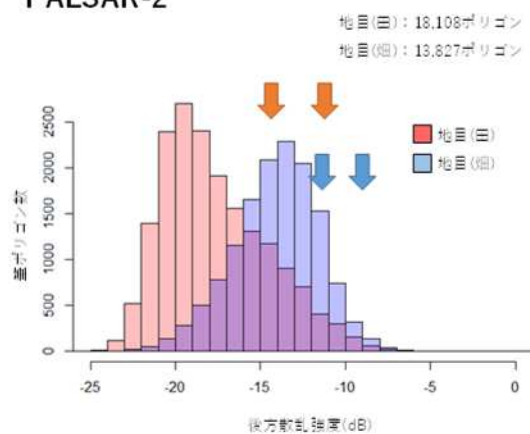
北杜市
PALSAR-2



Sentinel-1



天草市
PALSAR-2



Sentinel-1

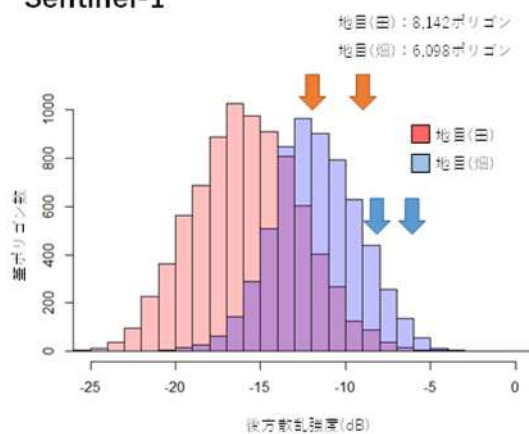


図 4.3.8 頻度分布と閾値

表 4.3.1 後方散乱強度最低値の閾値

	北杜市 1σ	2σ	天草市 1σ	2σ
PALSAR-2 田	-15.73462	-13.64766	-14.55943	-11.47936
PALSAR-2 畑	-12.29681	-9.962243	-11.58775	-9.088888
Sentinel-1 田	-13.62100	-11.45000	-11.94096	-8.853822
Sentinel-1 畑	-11.60459	-9.540482	-8.189420	-6.126254

単位: dB

4. 4 農用地管理状況判別手法の実地検証

北杜市と天草市において、取得した2020年のPALSAR-2とSentinel-1データを用いて、設定した閾値による農用地管理状況を判別した。判別には、農林水産省殿において整備した農用地の区画情報（筆ポリゴンデータ）を用い、判別結果を図面（解析図面）として印刷した。この解析図面を担当部署から北杜市と天草市に配布し、市町村職員が10月末までに行う現地確認作業の際、重点的に現地作業を行うべき場所の選定等に利用した。

筆ポリゴンは農林水産省殿の筆ポリゴンのダウンロードサイト (<https://www.maff.go.jp/j/tokei/polygon/>) より、ダウンロードした。

また、北杜市において、実際の現地の農用地の状況と衛星画像データによる判別結果の比較検証を現地にて行い、結果を取りまとめた。天草市においては、現地職員に判別結果の比較検証を現地にて実施していただき、その結果を取りまとめた。

（1）北杜市

北杜市において実地検証を2020年10月27～29日に実施した。実地検証の範囲を図4.4.1に示す。北杜市全域に対して計25地区において実施した。なお、手法の汎用性を考慮するために、協定農用地にこだわらず全域で実施した。

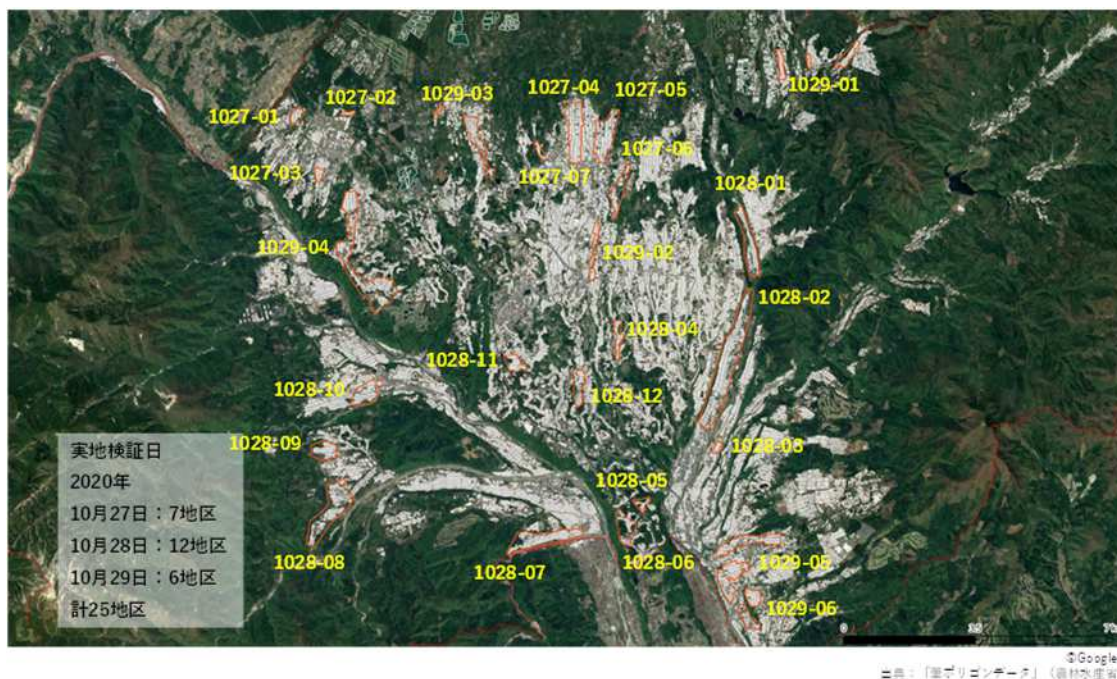


図 4.4.1 実地検証範囲（北杜市）

実地検証は、現地にて農用地を目視確認し、状況を記載するとともに、主要な農用地の写真を撮影した（図 4.4.2）。



図 4.4.2 実地検証の様子

実地検証時における北杜市の農用地の状況は、刈取後株が残る水田、牧草、ソバなどの他、農用地内に人工物が必要ないネギ、生育に人工物が必要な長芋やホップなどがあった。その他に、樹園地やビニールハウスなどがあり、極一部ではあるが耕作放棄地も存在した（図 4.4.3）。ただし、実地検証において確認した耕作放棄地は全て協定農用地に含まれていない。

実地検証の結果を表 4.4.1 に示す。調査対象 1（耕作放棄地と推定）と判定された農用地には、ビニールハウスなどの人工物を設置した農用地が多く含まれていた。調査対象 1 において実際に耕作放棄地であったのは PALSAR-2 では 6、Sentinel-1 では 1 であった。調査対象 1 と判定された農用地においても実際には耕作・管理された農用地が多く、例えば農用地のそばにある人工物によって見かけ上、後方散乱強度最低値が大きくなり、調査対象 1 と判定されていた。調査対象 2（耕作・管理されているか要確認）と判定された農用地についても、そのほとんどは実際には耕作・管理された農用地であった。調査対象 3（耕作・管理されている農用地と推定）と判定された農用地については PALSAR-2 では全て実際に、耕作・管理された農用地であり、Sentinel-1 では極一部の誤判別はあったものの、ほぼ全て耕作・管理された農用地であった。このことから、調査対象 1 及び 2 の区分により直接耕

作放棄地等と判別することは誤差要因があるため困難であるが、調査対象 3 の区分により耕作・管理された農用地を抽出することは、実用性が非常に高いと考えられる。本手法における調査対象 1 及び 2 における誤差要因の一覧を図 4.4.4 に示す。



図 4.4.3 農用地の状況（北杜市）

表 4.4.1 実地検証の精度評価（北杜市）

PALSAR-2：田

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	6	2	0	8
耕地・管理地	54	214	1,584	1,852
人工物	44	19	13	76
樹園地	0	0	0	0
計	104	235	1,597	1,936

PALSAR-2：畑

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	0	0	0	0
耕地・管理地	5	42	292	339
人工物	15	2	17	34
樹園地	8	6	0	14
計	28	50	309	387

Sentinel-1：田

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	1	2	2	5
耕地・管理地	58	247	1,206	1,511
人工物	14	23	14	51
樹園地	0	0	0	0
計	73	272	1,222	1,567

Sentinel-1：畑

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	0	0	0	0
耕地・管理地	1	14	134	149
人工物	13	3	11	27
樹園地	0	3	8	11
計	14	20	153	187



ビニールハウス



鉄塔



電柱・電線



樹木の覆いかぶさり



コンクリート畦



農用地脇の人工物等



農作物のための人工物



樹園地



畦（脇）の樹木



樹園地のスプリンクラー

図 4.4.4 後方散乱強度閾値法における誤差要因

(2) 天草市

天草市において市職員のご協力により実地検証を12月に実施していただいた。実地検証の調査を図4.4.5に示す。天草市の中から北部を中心に、計24地区において実施した。なお、市職員による実施であるため、各地区は協定農用地を中心に実施された。

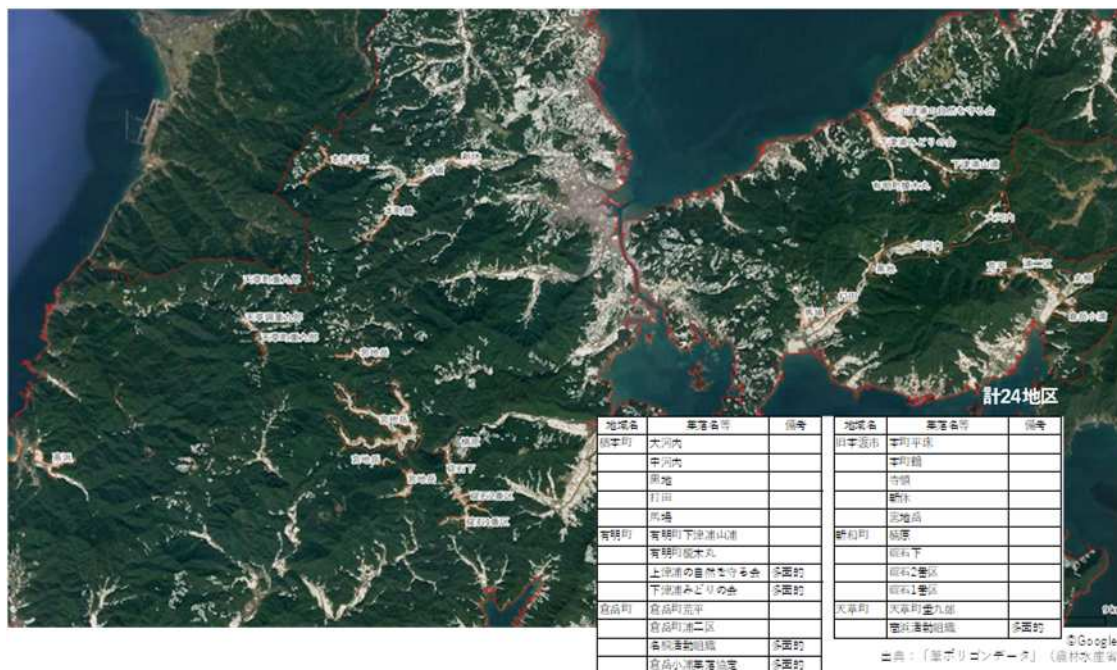


図 4.4.5 実地検証範囲（天草市）

実地検証時における天草市の農用地の状況は、刈取後株が残る水田、畑作のほか、ミカンなどの樹園地やハウスが併設されている樹園地からなり、極一部ではあるが耕作放棄地も存在した（図4.4.6）。ただし、北杜市と同様、実地検証にて確認した耕作放棄地は全て協定農用地には含まれていない。

実地検証の結果を表4.4.2に示す。結果は北杜市とほぼ同様であった。調査対象1（耕作放棄地と推定）や調査対象2（耕作・管理されているか要確認）と判定された農用地には、実際には耕作・管理された農用地が多かった。耕作・管理されているにもかかわらず調査対象1や2となったのは、農用地に隣接している人工物や、ビニールハウスなどの農用地内の人工物によって見かけ上、後方散乱強度最低値が高くなっていったからと考えられる。一方、PALSAR-2では調査対象3（耕作・管理されている農用地と推定）と判定された農用地の中に耕作放棄地が含まれることはなく、Sentinel-1においても、極一部の誤判別を除き、耕作放棄地が含まれることはなかった。このことから、北杜市と同様、調査対象3の区分により耕作・管理された農用地を抽出することは、現地作業の効率化に対する実用性が非常に高いと考えられる。



図 4.4.6 農用地の状況（天草市）

表 4.4.2 実地検証の精度評価（天草市）

PALSAR-2：田

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	3	6	0	9
耕地・管理地	12	106	2,180	2,298
人工物	26	8	1	35
樹園地	0	0	1	1
計	41	120	2,182	2,343

PALSAR-2：畑

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	2	0	0	2
耕地・管理地	0	26	209	235
人工物	4	5	1	10
樹園地	1	3	24	28
計	7	34	234	275

Sentinel-1：田

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	0	3	3	6
耕地・管理地	14	59	1,012	1,085
人工物	9	19	0	28
樹園地	0	0	0	0
計	23	81	1,015	1,119

Sentinel-1：畑

	調査対象1	調査対象2	調査対象3	計
耕作放棄地	0	0	0	0
耕地・管理地	1	8	82	91
人工物	1	1	4	6
樹園地	0	3	12	15
計	2	12	98	112

（3）Sentinel-1 の調査対象 3 に見られた耕作放棄地の誤判別についての考察

本事業において避けなければならないのは、衛星データによって耕作・管理された農用地と判別しておきながら、実際には耕作放棄地であることである。これは、本来補助金が支払われてはいけない農用地に対して補助金が支払われる可能性があることを示唆するからである。そのため、このような誤判別は実運用において全て解決もしくは認識したうえで実運用することが目標となる。北杜市や天草市における実地検証では PALSAR-2 では発生しなかったが、Sentinel-1 において、調査対象 3（耕作・管理されている農用地と推定）として

おきながら、現地で確認したところ耕作放棄地であった農用地が僅かではあるが存在した。誤判別率は北杜市で 0.2 %、天草市で 0.3 %であった（ただし協定農用地における耕作放棄地はなかった）。各地区における誤判別の要因を考察する。

北杜市では 2 つの筆ポリゴンで誤判別が発生した。発生した筆ポリゴンを図 4.4.7 に、後方散乱強度の季節変動を図 4.4.8 に示す。比較のため、隣接する耕作されている農用地と管理地も併記した。その結果、調査対象 3 と誤判定された耕作放棄地の後方散乱強度は 3 月から 9 月にかけて上昇傾向にあり、耕作された農用地の様に、解析期間の途中で後方散乱強度が閾値以下に低下することはなかった。ただし、3 月上旬（最初の観測データ）においてのみ閾値を下回ったため、耕作放棄地であるにもかかわらず調査対象 3 と誤判別されていた。耕作放棄地には雑草が生えており、解析期間中になくったりしないために、後方散乱強度は高いままであるが、今回の結果は、寒い時期においては雑草といえどもバイオマスが著しく低下し、後方散乱強度が閾値以下になる場合があることを示している。この様な場合の対策として、北杜市の様に寒い地域が含まれる場合は、誤判別を可能な限り無くすために、解析期間のはじめを 3 月中旬以降に送らせるなどの対策が考えられる。ただし、農作物によっては冬季の終わりに耕起などを実施する農作物もあることから、地域の実情に応じて解析期間を調整することが必要となる。



図 4.4.7 Sentinel-1 による調査対象 3 に対する誤判別（北杜市）

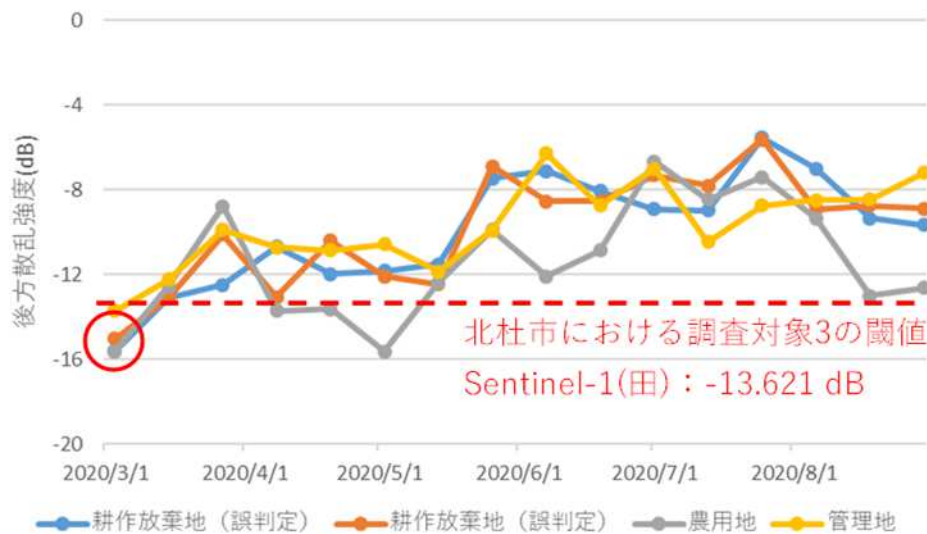


図 4.4.8 誤判別された筆ポリゴンにおける後方散乱強度の季節変化（北杜市）

天草市では、3つの筆ポリゴンで誤判別が発生した。発生した筆ポリゴンを図 4.4.9 に、後方散乱強度の季節変動を図 4.4.10 に示す。比較のため、隣接する農用地や正しく耕作放棄地と判定された筆ポリゴンも併記する。その結果、正しく耕作放棄地と判定された筆ポリゴンの後方散乱強度は3月から9月にかけて上昇傾向にあり、耕作された農用地の様に、解析期間の途中で後方散乱強度が閾値以下に低下することはなかった。しかし、調査対象3と誤判定された耕作放棄地は、解析期間の途中の4月下旬（4月23日）や5月上旬（5月5日）において後方散乱強度が閾値以下になっていることがあった。北杜市のような冬季におけるバイオマスの減少とは考えられないため、近くにあるアメダスデータの雨量を調査した。天草市北部にあるアメダス本渡の2020年4月と5月の日降水量を図 4.4.11 に示す。その結果、Sentinel-1の観測日前に強い雨が降っており、4月には同様の強い雨が何回にもわたって降っていたことが分かった。誤判別された耕作放棄地は谷にあることから、多量の雨が当該耕作放棄地に流れ込み、雑草を一時的に押し倒すか、湛水する等して、見かけ上、後方散乱強度が低下した可能性がある。このような場合の対策として、強い雨が降った後のSAR画像は解析に使用しない、もしくは耕作放棄地が隣接するにもかかわらず調査対象1になっている場合は、念のため現地確認をするなどの対策が考えられる。



図 4.4.9 Sentinel-1 による調査対象 3 に対する誤判別（天草市）

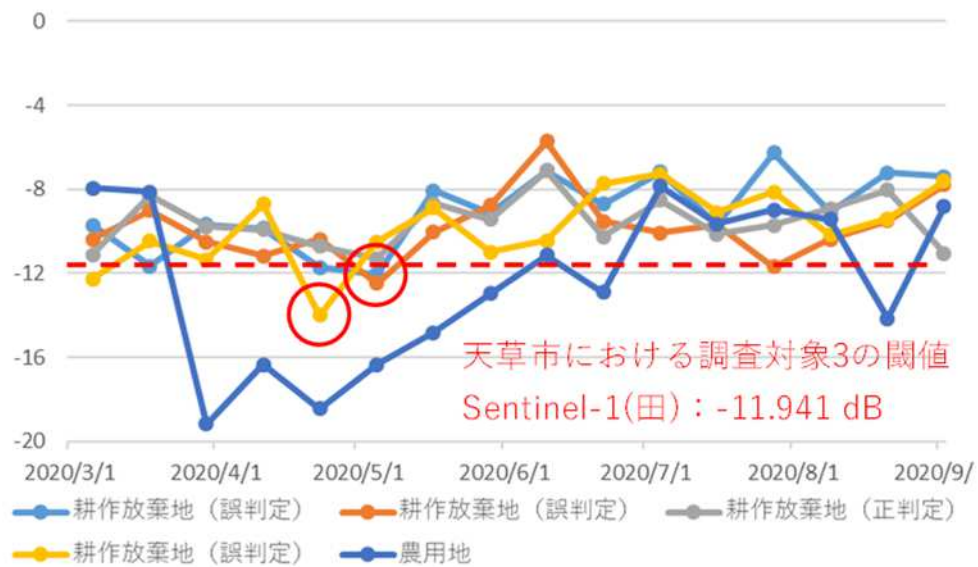


図 4.4.10 誤判別された筆ポリゴンにおける後方散乱強度の季節変化（天草市）

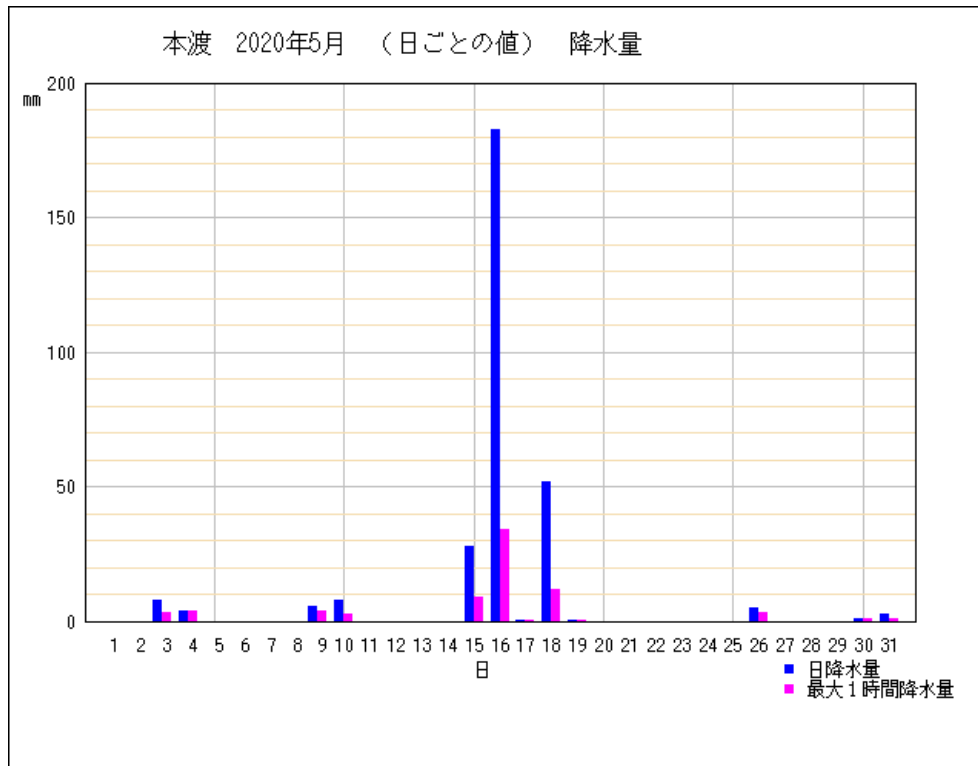
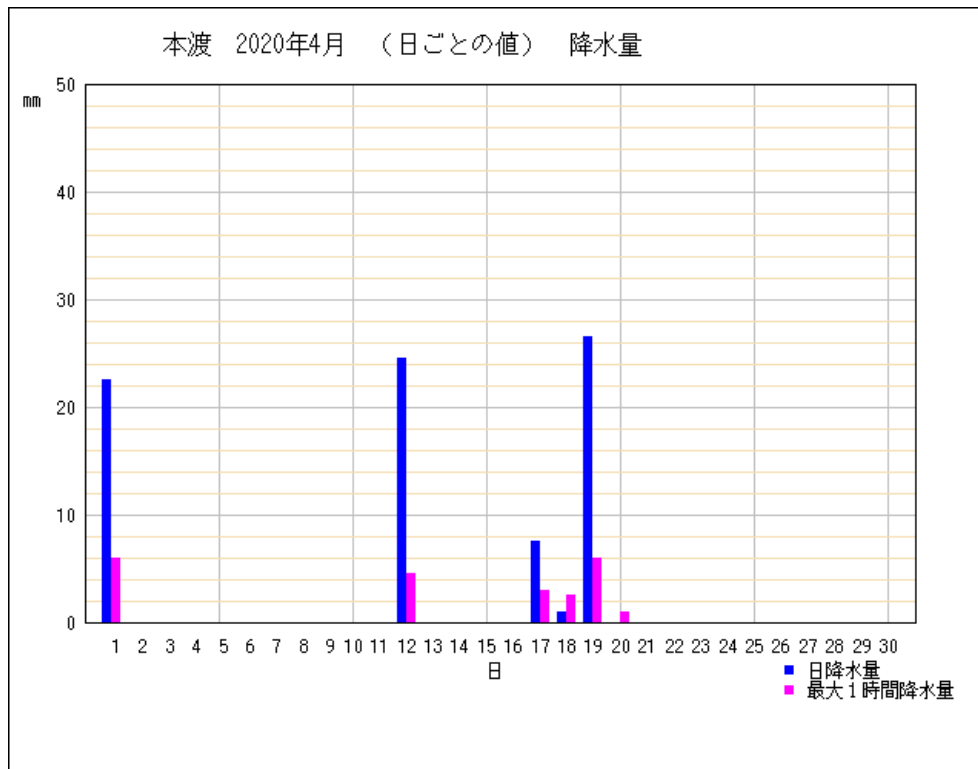


図 4.4.11 誤判別された筆ポリゴンの近くのアメダス雨量データ

4. 5 検討課題、対応方策等の整理

解析手法を実地検証した結果、調査対象 1（耕作放棄地と推定）や調査対象 2（耕作・管理されているか要確認）の区分により、耕作放棄地や、耕作・管理されているか確認の必要がある農用地を衛星データだけから判別することは、様々な誤差要因により、困難であることが分かった。一方、調査対象 3（耕作・管理されている農用地）の区分により耕作・管理された農用地と判別することは、極一部の誤判別を除き、可能であることが確認できた。農用地においては耕作・管理されている農用地の方が圧倒的に多く、中山間地域等直接支払制度における現地調査において圧倒的多数の耕作・管理されている農用地を、衛星画像だけから判定することにより、現地調査の対象外にできることは、本制度の効率化に対して多大な貢献となる。また、閾値の設定方法も、後方散乱強度最低値の平均値と標準偏差のみから求めることができるため、特別なソフトウェアを必要としない簡便な方法であり、例え技術者のいない地方自治体であっても、実行することが可能である。本事業においても衛星データの整理と解析は通常スペックのパソコンを利用してフリーソフトウェアで実施していることから、設備投資はかからない。また、SAR の解析に多大な影響を与える急峻な地形であっても有効であることを示すことができた。このことから、後方散乱強度閾値法は汎用性と実現性と効率性を兼ね備えた手法であると考えられる。

一方、極一部ではあったが、調査対象 3 と判定されたにもかかわらず、実際は耕作放棄地であった筆ポリゴンがあった。このような場合の対策として、調査対象 1 や調査対象 2 が隣接している調査対象 3 の農用地は念のための現地確認によって、実運用することができると考えられる。また、冬季の耕作放棄地の雑草のバイオマスが著しく低下することにより、耕作放棄地と誤判定される可能性があるため、解析期間の開始を調整する必要がある。ただし、農作物においては冬季の終わりに耕起などを実施する作物もあるので、地域の実情に合わせて解析期間の開始を調整する必要がある。

耕作放棄地の雑草は解析期間中、枯れたり無くなったりすることはないが、雨によって一時的にバイオマスが見かけ上低下したようになり、誤判別されることがある。そこで、アメダス等のデータにおいて多量の雨が降った後の衛星データは解析から外す対応が考えられる。

なお、本手法は積雪のある地域・時期を含むと適用できないため、地域の実情に合わせて、農用地に積雪のない時期に解析する。

また、本手法では、たとえ耕作放棄地が全くなかったとしても、全体の数%（後方散乱強度最低値が正規分布している場合、平均 $+2\times$ 標準偏差を根拠とすると 2.5%）は調査対象 1（耕作放棄地と推定）となり、逆に本業務の対象地域よりも耕作放棄地が多い地方自治体では、衛星データで解析した結果以上に調査すべき農用地があることが想定される。このことから、本業務における閾値は一つの目安にはなるものの、絶対的な設定値ではなく、地方自

治体の実情に応じて、適切に設定する必要がある。

本成果の費用対効果を考察した。旧調査方法として、現在地方自治体の職員が実施しているように、現地調査のための準備、現地調査およびとりまとめ・整理がある。次に、人工衛星を活用した新調査手法として、本成果を適用し、衛星データだけから耕作・管理されている農用地を判別し、判別された農用地は現地調査をする必要がないとして、現地調査を簡便化する手法を想定する。現地調査が省略できる代わりに、衛星画像の購入や、衛星画像解析の外部委託などが想定に加わる。本事業の成果である後方散乱強度閾値法はマニュアルとして別途まとめられ、通常スペックのパソコンとフリーソフトウェアを利用することにより、設備投資なしで技術者ではない職員でも処理できるようにした。そこで追加の条件として、外部委託をしない条件も検討した。北杜市と天草市における費用対効果を考慮した新旧調査手法の比較を表 4.5.1 に示す。なお北杜市における旧調査手法の実働日数は昨年度業務の成果を、天草市は電話による聞き取り調査によって得た情報である。その結果、8 町村が合併した北杜市においては、人工衛星を活用することによって費用が半分になると考えられる。さらに衛星解析を外部委託ではなく職員で実施した場合、費用は約 3 分の 1 になると考えられる。天草市では、人工衛星を活用することに伴う外部委託を考慮すると、旧調査手法より費用が高くなることになるが、衛星画像解析を職員が実施できれば費用を約半分にすることができると考えられる。いずれの場合においても、衛星データを活用した現地調査の効率化によって、費用対効果の高い手法になると考えられる。

表 4.5.1(1) 新旧調査手法の比較による費用対効果の検討（北杜市）

旧調査手法					新調査手法（人工衛星の活用）					外部委託を含まない試算					備考	
1. 準備作業実施					1. 準備作業実施											
	技師B	技師C	実働日数	小計		技師B	技師C	実働日数	小計		技師B	技師C	実働日数	小計		
	¥40,600		1	¥40,600		¥40,600		1	¥40,600		¥40,600		1	¥40,600	職員実施を想定	
2. 現地調査					2. 現地調査											
	技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			
	¥40,600	¥32,700	10	¥733,000		¥40,600	¥32,700	3	¥219,900		¥40,600	¥32,700	3	¥219,900	職員実施を想定	
	車両費		実働日数			車両費		実働日数			車両費		実働日数			
	¥5,000		10	¥50,000		¥5,000		3	¥15,000		¥5,000		3	¥15,000	ガソリン代込、リースを想定	
3. とりまとめ・整理					3. とりまとめ・整理											
	技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			
	¥40,600		10	¥406,000		¥40,600		3	¥121,800		¥40,600		3	¥121,800	職員実施を想定	
小計（支所あたり）				¥1,229,600	小計（支所あたり）				¥397,300	小計（支所あたり）				¥397,300		
支所数				8	支所数				8	支所数				8		
総額				¥9,836,800	衛星画像代Sentinel-1				¥0	衛星画像代Sentinel-1				¥0	北杜市全域603km ²	
					衛星画像代PALSAR-2				¥320,000	衛星画像代PALSAR-2				¥320,000	8万円×4時期×1シーン	
					衛星解析外部委託費				¥2,000,000	衛星解析外部委託費				¥0	将来的には職員による自動解析を想定	
総額				¥5,498,400	総額				¥5,498,400	総額				¥3,498,400		

表 4.5.1(2) 新旧調査手法の比較による費用対効果の検討（天草市）

旧調査手法					新調査手法（人工衛星の活用）					外部委託を含まない試算					備考	
1. 準備作業実施					1. 準備作業実施											
	技師B	技師C	実働日数	小計		技師B	技師C	実働日数	小計		技師B	技師C	実働日数	小計		
	¥40,600		5	¥203,000		¥40,600		1	¥40,600		¥40,600		1	¥40,600	職員実施を想定	
2. 現地調査					2. 現地調査											
	技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			
	¥40,600	¥32,700	10	¥733,000		¥40,600	¥32,700	3	¥219,900		¥40,600	¥32,700	3	¥219,900	職員実施を想定	
	車両費		実働日数			車両費		実働日数			車両費		実働日数			
	¥5,000		10	¥50,000		¥5,000		3	¥15,000		¥5,000		3	¥15,000	ガソリン代込、リースを想定	
3. とりまとめ・整理					3. とりまとめ・整理											
	技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			技師B	技師C	実働日数			
	¥40,600		10	¥406,000		¥40,600		3	¥121,800		¥40,600		3	¥121,800	職員実施を想定	
小計（支所あたり）				¥1,392,000	小計（支所あたり）				¥397,300	小計（支所あたり）				¥397,300		
支所数				1	支所数				1	支所数				1		
総額				¥1,392,000	衛星画像代Sentinel-1				¥0	衛星画像代Sentinel-1				¥0	天草市全域684km ²	
					衛星画像代PALSAR-2				¥320,000	衛星画像代PALSAR-2				¥320,000	8万円×4時期×1シーン	
					衛星解析外部委託費				¥2,000,000	衛星解析外部委託費				¥0	将来的には職員による自動解析を想定	
総額				¥2,717,300	総額				¥2,717,300	総額				717,300		

4. 6 衛星画像を用いた現地調査実施マニュアルの作成

中山間地域等直接支払交付金を実施する市町村担当者を対象に、本年度業務において「田」と「畑」を対象として構築した SAR による後方散乱強度閾値法だけでなく、昨年度業務において「草地」を対象として構築した光学センサによる差分最小値法の現地調査実施マニュアルを作成した。本マニュアルでは、衛星データや GIS の取扱いに不慣れな職員でも、マニュアルだけで、データ収集から解析、現地調査のための地図印刷までを一貫して自力でできるよう、説明に図を多用することにより、配慮した。

マニュアルにおいてはまず衛星データの簡便な説明をするとともに、フリーソフトウェア QGIS の入手方法を説明した。また「田」と「畑」を対象とした後方散乱強度閾値法と、「草地」を対象とした差分最小値法の説明は章を完全に分け、各章のみで完結するよう努めた。そのため各章では共通の技術は重複して記載している箇所もある。

衛星データの扱いでは、衛星データの注文自体に不慣れな職員でも理解できるよう、衛星データに関する箇所は特に注意深くマニュアルに手順を記載した。また近年は自治体においても GIS ソフトウェアの導入は進んできてはいるものの、不慣れな職員も多いことを想定し、QGIS の操作に関する箇所も特に注意深くマニュアルに手順を記載した。

衛星画像を用いた現地調査実施マニュアルは別添資料として作成した。

4. 7 業務実施報告

以上の成果や課題を取りまとめた業務実施報告書を作成した。また、別途、作業計画書および研究会、打ち合わせ会議等資料を作成した。納入物品を以下に示す。納入物品は納入期限日までに、担当部署に電子メールで提出するとともに、最終成果物の納入期限日までに、全ての成果物について、電子記録媒体により作成し、2部納品した。なお、PDFファイルのほか、PDFファイルを作成した基ファイル及び基データも収録した。

なお、電子記録媒体については、ウィルスチェックを行い、ウィルス対策に関する情報（ウィルス対策ソフト名、定義ファイルのバージョン、チェック年月日）を記載した。納入場所は農林水産省大臣官房政策課食料安全保障室とした。

- ① 作業計画書（契約締結後 10 日以内）
- ② 研究会、打ち合わせ会議資料、擬似概要（会議終了後 5 日以内）
- ③ 解析図面（PDF 及び Shape File）（2020 年 9 月 30 日）
- ④ 現地調査マニュアル（2021 年 3 月 12 日）
- ⑤ 業務実施報告書（2021 年 3 月 12 日）
- ⑥ 本業務において作成した検証データセット（2021 年 3 月 12 日）
- ⑦ 本業務において利用した衛星データ（2021 年 3 月 12 日）

5. 担当部署との打ち合わせ会議の開催

本業務の進捗を担当部署に報告・確認するため、概ね2ヶ月に1回又は担当部署からの要請があった場合や、当財団が必要と判断した場合に、必要資料を作成の上、打ち合わせ会議を開催した。開催実績を表5.1に示す。打ち合わせ会議の終了後、原則5日以内（行政機関の休日を除く）に議事概要を作成し、担当部署の承認を受けた。

表 5.1 打ち合わせ会議実績

	開催日	内容
第1回	2020年8月27日	運営方針・年間計画の検討 他の市町村の決定(熊本県天草市) 衛星データダウンロード状況報告 第3回研究会(2020年9月予定)の検討
第2回	2020年10月21日	パラメータ考察（農用地管理状況判別図の考察） 実地検証の検討（地元自治体との調整内容）
第3回	2020年12月24日	実地検証の考察 検討課題、対応方策等の検討 第2回研究会(2021年1月27日)の検討
第4回	2021年1月18日	天草市実地検証結果報告 検討課題、対応方策等の整理 現地調査実施マニュアル作成方針の検討 第2回研究会(2021年1月27日)の整理