

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

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

報告書

2020 年 3 月 13 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. 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業務 ...	3
2. 1 作業計画	3
2. 2 研究会の設置・運営	5
2. 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	6
2. 3. 1 衛星画像解析手法の調査・検討等	6
2. 3. 2 衛星画像データの取得等	8
2. 3. 3 農用地区画ごとの土地利用状況判別手法の開発・検証	14
2. 3. 4 成果のまとめ	35
2. 3. 5 確度の向上に向けた課題、対応方策等	36
2. 3. 6 衛星データを活用した場合の経費及び所要労力の節減効果	37
2. 3. 7 全国展開に向けた課題整理	43
2. 3. 8 業務実施報告	44
2. 4 担当部署との打ち合わせ会議の開催	45

1. 業務概要

1. 1 業務の目的

現在、農林水産省では、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は、農用地区画ごとの土地利用状況の現地確認作業に多大な労力を要しており、これら農林業分野の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。

一方で、近年、地球観測衛星の高性能化、人工知能（AI）で活用されている機械学習を利用した画像解析技術などの新技術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。

本業務は、レーダ衛星及び光学衛星により撮影した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の開発（以下、「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」という。）を目的として実施するものである。

なお、中山間地域等直接支払制度とは、農業生産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。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、農用地毎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。

1. 2 業務の期間

自 2019（令和元）年 10 月 18 日 至 2020（令和 2 年）年 3 月 19 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

ア 衛星画像解析手法の調査・検討等

イ 衛星画像データの取得等

ウ 農用地区画ごとの土地利用状況判別手法の開発・検証

エ 検討課題、対応方法等の整理

オ 業務実施報告

(4) 担当部署との打ち合わせ会議の開催

2. 「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」業務

2. 1 作業計画

作業の実施に当たっては、契約締結後 5 日（行政機関の休日を含まない。）以内に、実施スケジュール（図 2.1）および実施体制表（表 2.1）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。

実施体制表には、本業務の実施を総括する業務責任者及び業務担当者を配置した。業務責任者は、業務担当者を総括し、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・調整を行った。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。

図 2.1 実施スケジュール

	2019年			2020年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1) 作業計画	10/18契約 ■					
(2) 研究会の設置・運営						
ア 研究会設置		■				
イ 研究委員選定		■				
ウ 研究会開催		▲ 11/26			▲ 2/3	▲ 3/3
(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						
ア 衛星画像解析手法の調査・検討等	■	■				
イ 衛星画像データの取得		■	■			
ウ 農用地区画ごとの土地利用状況判別手法の開発・検証		■	■	■	■	■
エ 検討課題、対応方法等の整理					■	■
オ 業務実施報告						3/19納品 ■
(4) 打ち合わせ会議		▲ 11/5	▲ 12/26	▲ 1/30	▲ 2/28	

表 2.1 実施体制

管理責任者	研究開発部 部長 山本彩
業務責任者	研究開発部 利用技術グループ グループリーダー 石井景子
業務担当者	研究開発部 利用技術グループ 主任研究員 小田川信哉 主任研究員 稲永麻子 研究員 瀬口大介 ソリューション事業第一部 事業戦略室 参事 奥村俊夫
業務副担当者	研究開発部 利用技術グループ 研究員 出原真理子 研究員 渡部帆南

2. 2 研究会の設置・運営

本業務の実施に当たり、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活用、機械学習技術などを活用した画像解析に関する分野の学識経験者2名を選出した（表2.2）。

研究会は、農林水産省内会議室で開催し、以下の内容で3回実施した。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（表2.3）。

研究会の議事録を作成し、研究会終了後、5日以内に提出し、担当部署の承認を受けた。

表 2.2 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 2.3 研究会

	開催日	内容
第1回研究会	2019年11月26日	運営方針・年間計画の決定、取得する衛星画像や教師データの作成方法、適用する機械学習分析手法等、具体的な事業の実施方針の検討
第2回研究会	2020年2月3日	判別手法の検証結果の検討（一次評価）
第3回研究会	2020年3月3日	判別手法の検証結果の検討（二次評価）及び費用対効果を考慮した実務への実装化の検討 本事業における成果及び課題の整理、課題への対応方法等の検討

2. 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

2. 3. 1 衛星画像解析手法の調査・検討等

様々な分野における衛星画像データの機械学習を含む解析事例を調査し、本事業において適用可能と思われる手法の効果を検討し、最適と思われる手法を提案した。

解析手法を調査するにあたり、衛星データに AI 機械学習を適用した事例を記載した論文検索を実施した。適用分野は農業分野だけでなく、資源・エネルギー、林業、水産、環境分野も対象とした。ただし、AI 機械学習を主体とした論文は非常に多くあるため、衛星データの利用に関連した論文に注力した。このことから、検索した国内学術誌はリモートセンシングを扱う学術雑誌「日本写真測量学会誌（写真測量とリモートセンシング）」「日本リモートセンシング学会誌」「システム農学会誌」、海外学術誌は影響力がある「International Journal of Remote Sensing」「Remote Sensing of Environment」とした。なお、本調査においては、解析手法のみならず、前処理についても整理した。整理した結果を添付資料 1 に示す。

検索結果の整理項目は、論文の識別に用いる「題名・著者・発行年・巻・号・ページ数・雑誌名」のほか、「前処理方法」「解析手法」「使用ソフト」「使用センサ」「対象（作）物」「対象地域」とした。検索期間は最新号（2019 年度）から 2009 年までの約 10 年間とした。これは、AI 機械学習が衛星データに多用され始めたのが 2010 年以降であり、日進月歩の AI 機械学習の適用事例について最新の動向を把握する必要があるためである。検索に用いた単語は、「圃場（field, farm, till, cultivate）」のほか、「水稻（rice, paddy）」「小麦（wheat）」「大豆（soybean）」「トウモロコシ（corn, maize）」のような農作物とし、解析手法として「機械学習（machine learning）」「時系列解析（time series analysis ほか）」「人工知能（AI）」「ディープラーニング（Deep Learning）」「ニューラルネットワーク（Neural Network）」「ランダムフォレスト（Random Forest）」「サポートベクターマシーン（Support Vector Machine）」などとした。

検索した結果を絞り込むにあたり、使用されたセンサの種類はマルチスペクトルセンサのみとした。これは本事業で用いることができる高空間分解能、高撮影頻度の衛星センサがマルチスペクトルセンサだからである。このため、同じ光学センサであるハイパースペクトルセンサや熱赤外センサは含めなかった。たとえマルチスペクトルセンサの成果であっても、ドローンや車載カメラによる成果も含めなかった。また、本事業は分類が目的であることから、解析手法の一つである相関関係を求める成果（例えば衛星データからバイオマスを相関モデルによって推定する等）も含めなかった。

文献調査の結果、日本の学術誌に全項目が該当する論文はなかった。ただし、一部が該

当する論文はあったため、納品物にはそれらは削除せずに残した。海外の学術誌では、Remote Sensing of Environment に 39 編、International Journal of Remote Sensing に 20 編存在した。衛星センサは Landsat シリーズや MODIS が多かった。この理由として、無料で利用できることに加え、継続的な観測により、複数時期にわたる時系列解析が可能であるためと考えられる。一部の論文では WorldView シリーズが利用されているが、時系列解析にはほとんど用いられていない。

衛星画像の前処理ではオブジェクト分類や同時生起行列があったが、本事業で対象となる協定農用地のような不規則な形状のポリゴンには適用できない。時系列解析における前処理としてフーリエ解析があるが、適用事例は少なかった。

AI 機械学習ではランダムフォレストの適用事例が非常に多かった。次にサポートベクター分類があり、大量の参照データが必要となるディープラーニング（ニューラルネットワーク）の適用事例は少なかった。ランダムフォレストは、衛星データと対象物の関連性がたとえ弱くとも、弱い関連性を多数寄せ集めることによって、推定モデルを構築する手法である。そのため、どのような対象物でも解析可能となることから、適用事例が多いと考えられる。本事業においても PlanetScope のバンド数は 4 つしかないが、半年間にわたる大量の観測データを用いることから、多数のデータがあることになり、ランダムフォレストが適用できる。また、ランダムフォレストでは推定モデル構築に重要なパラメータ（この場合、衛星バンドや観測時期）が算出できるため、このことも適用事例が多い理由と考えられる。以上より、解析手法はランダムフォレストを中心に考慮することとした。

2. 3. 2 衛星画像データの取得等

協議の結果、対象とする自治体は、主な協定農用地が草地である北海道別海町と、水稻である山梨県北杜市とした。なお、北杜市は、小淵沢町、白州町、長坂町、高根町、大泉村、武川村、須玉町、明野村の 8 町村が合併した市であり、協定農用地も旧 8 町村を管轄する支所ごとに管理されている。

本業務で使用する衛星データは、光学衛星とレーダ衛星である。光学衛星の仕様は、地上分解能 4 メートル以上、観測頻度が少なくとも 3 日に 1 回以上のデータとされていることから、超小型衛星群 PlanetScope を用いることとした。なお、PlanetScope データの解析範囲は概ね合計 1,000 km²、最長 6 か月程度の期間とされている。

PlanetScope の解析範囲は全部で 1,000km² 以下であるが、別海町の協定農用地の範囲はそれ以上であった。一方、北杜市から提供を受けたのは旧小淵沢町と旧白州町の協定農用地のみであり、その範囲は約 56km² であった。このことから、別海町と協議の上、別海町の解析範囲は約 930km²、北杜市は 56km² とした。

レーダ衛星は JAXA の衛星データと規定されていることから、ALOS-2 に搭載された PALSAR-2 を用いることとした。

解析年度は自治体において既に中山間地域等直接支払制度における現地確認調査が終了している最新年度である 2018 年度とし、解析期間は年度初めの 4 月から現地確認調査が終了する 9 月末までの半年間とした。

(1) 別海町

別海町農政課からは、中山間地域等直接支払制度における協定農用地に関する資料として、地番図のポリゴンデータおよび地番と現地確認結果が記載された協定農用地の確認野帳（マイクロソフトアクセス形式）および低解像度版航空写真等を貸与して頂いた。協定農用地確認野帳のひな形を添付資料 2 に示す。これらの資料から、解析範囲に含まれる協定農用地のポリゴンを作成した。別海町の解析範囲と協定農用地を図 2.2 に示す。別海町の解析範囲に含まれる協定農用地の地番（ポリゴン）数は 14,261 であった。目視確認の結果、衛星画像の位置精度は良好であったが、道路など輝度が高い地物の影響を受けている協定農用地もあった。このため、全ポリゴンに 5m の緩衝帯（バッファ）を設け、実際に解析に用いられる画素に周辺の地物が極力影響しないようにした（図 2.3）。また、協定農用地の中には非常に狭小なポリゴンもあり、PlanetScope の高い空間解像度でも十分に解析できないものも含まれていた。このため、緩衝帯処理後に 500m² 以下の面積となったポリゴンは解析対象外とした。その結果、567 ポリゴン（全体の約 4 %）を対象外とし、解析対象ポリゴン数は 13,694 となった。また、雲や雲影が極力少ない観測日の衛星画像を選択したもの、一部の地域には雲や雲影が入り込んでいたため、目視確認により、雲と雲影を除去し

た（図 2.4）。本業務では、その日の観測データに雲や雲影を含む協定農用地は解析対象外とした。なお、全期間にわたり雲や雲影に覆われ続けたポリゴンはなかったため、すべての解析対象ポリゴンを解析した。

別海町から提供された確認野帳では、協定農用地の地目はすべて牧草を栽培している「草地」であり、管理状況は「耕作の適」であった。

2020 年 2 月 13 日に、別海町町役場にて、衛星画像データによる土地利用状況判別の一次解析の結果により、協定農用地の利用状況に関する聞き取り調査を実施した。その結果、牧草は毎年必ず刈り取りしているとのことであった。刈取時期は一番草が 7 月頃、二番草が 9 月頃とのことであった。また、別海町ではデントコーンなど牧草以外の飼料作物も作付されているが、解析範囲には含まれていなかった。

（2）北杜市

北杜市農政課からは、協定農用地に関する資料として、旧小淵沢町と旧白州町の地番図（紙資料）および地番と現地確認結果が記載された協定農用地の確認野帳（マイクロソフトエクセル形式）を貸与して頂いた。北杜市では外部に提供可能なデジタル化された協定農用地のポリゴンデータはなかったため、農林水産省がオープンデータとして公開している筆ポリゴンを活用した。旧小淵沢町においては、筆ポリゴンへの地番及び確認野帳の情報の関連づけはポリゴン単位に手作業で行った。旧小淵沢町において開発した解析手法は旧白州町の地番及び確認野帳の情報の関連づけを行わない筆ポリゴン上で検証することとした。北杜市（旧小淵沢町と旧白州町）の解析範囲と協定農用地を図 2.5 に示す。北杜市の解析範囲に含まれる協定農用地の地番（ポリゴン）数は、旧小淵沢町では 1,602、旧白州町では 2,286 であった。目視確認の結果、衛星画像の位置精度は、傾斜地である北杜市においても良好であったが、道路など輝度が高い地物の影響を受けている協定農用地もあった。このため、全ポリゴンに 5m の緩衝帯を設け、実際に解析に用いられる画素に周辺の地物が極力影響しないようにした（図 2.6）。また、協定農用地の中には非常に狭小なポリゴンもあり、PlanetScope の高い空間解像度でも十分に解析できないものも含まれていたことから、緩衝帯処理後に 100m² 以下の面積となったポリゴンは解析対象外とした。その結果、157 ポリゴン（全体の約 10%）を対象外とし、旧小淵沢町の解析対象ポリゴン数は 1,445 となった。なお、北杜市では、雲・雲影の影響を受けていない衛星データで解析することができた。

北杜市から提供された観測野帳では、旧小淵沢町と旧白州町の協定農用地の地目はすべて「田」であり、管理状況は「耕作の適」もしくは「維持管理の適」であった。旧小淵沢町の協定農用地の内訳は、「耕作の適」が 1,272、「維持管理の適」が 330、計 1,602 であり、旧白州町は、「耕作の適」が 2,157、「維持管理の適」が 129、計 2,286 であった。

2020年2月7日に、北杜市役所にて、衛星画像データによる土地利用状況判別の一次解析の結果により、協定農用地の利用状況に関する聞き取り調査を実施した。その結果、協定農用地の主な作目は水稲であるが、早生品種や酒米、飼料用米、古代米など、様々な水稲を作付しているとのことであった。また、水稲の他にも麦や牧草などが作付けられているとのことであった。

別海町と北杜市における解析に用いた PlanetScope の観測日を表 2.4(1)～(2)に示す。PlanetScope はほぼ毎日データ取得可能であるが、撮影範囲のほとんどが雲に覆われているなど、明らかに解析に使用できないデータは除外した。各自治体ともに、月単位では必ず観測できるものの、旬単位では観測できなかったこともあった。

図 2.2 解析範囲と協定農用地（別海町）

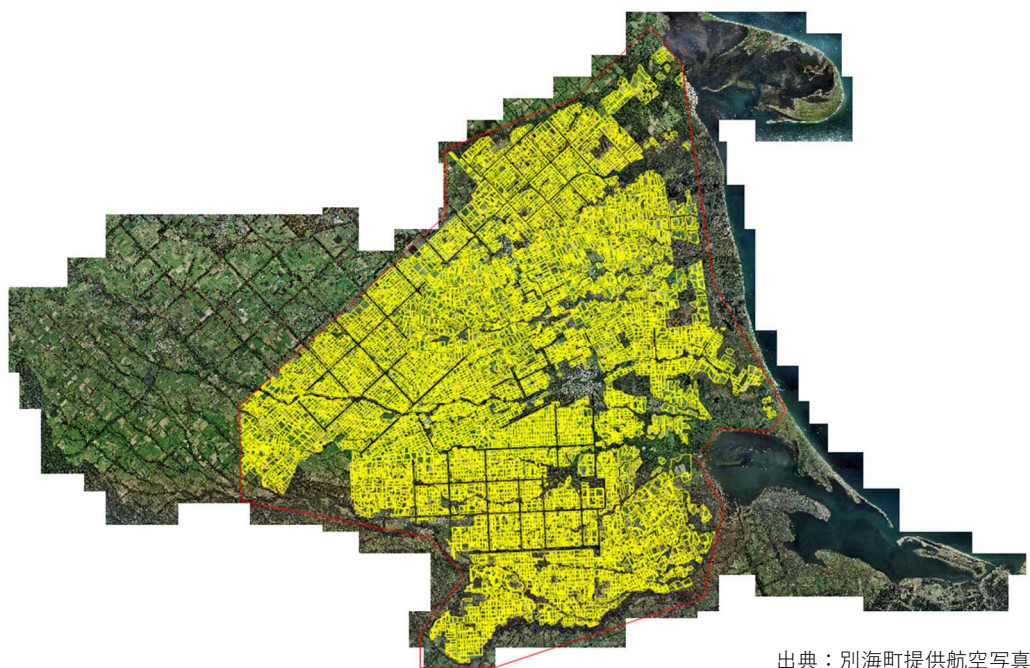


図 2.3 緩衝帯（バッファ）処理（別海町）

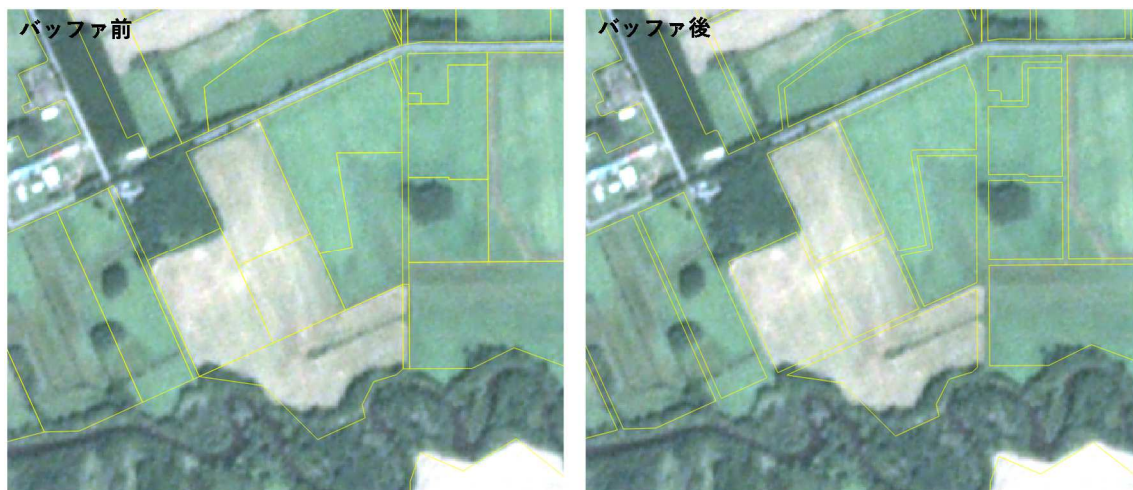


図 2.4 雲・雲影の除去（別海町）

雲・雲影の範囲設定

雲・雲影除去後の衛星画像

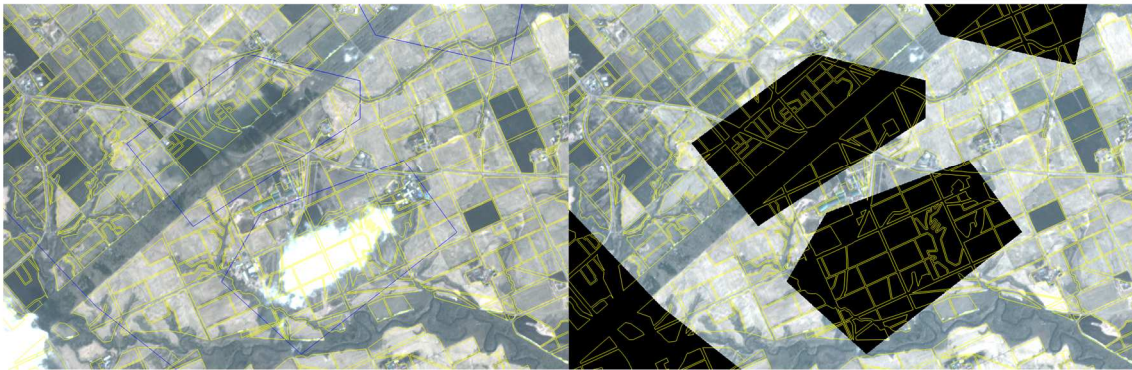
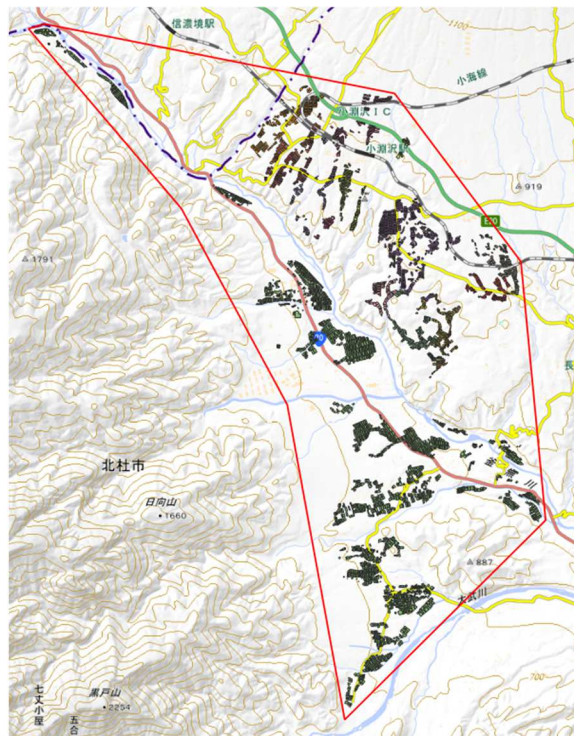


図 2.5 解析範囲と協定農用地（北杜市（旧小淵沢町および旧白州町））



出典：国土地理院

図 2.6 緩衝帯（バッファ）処理（北杜市）

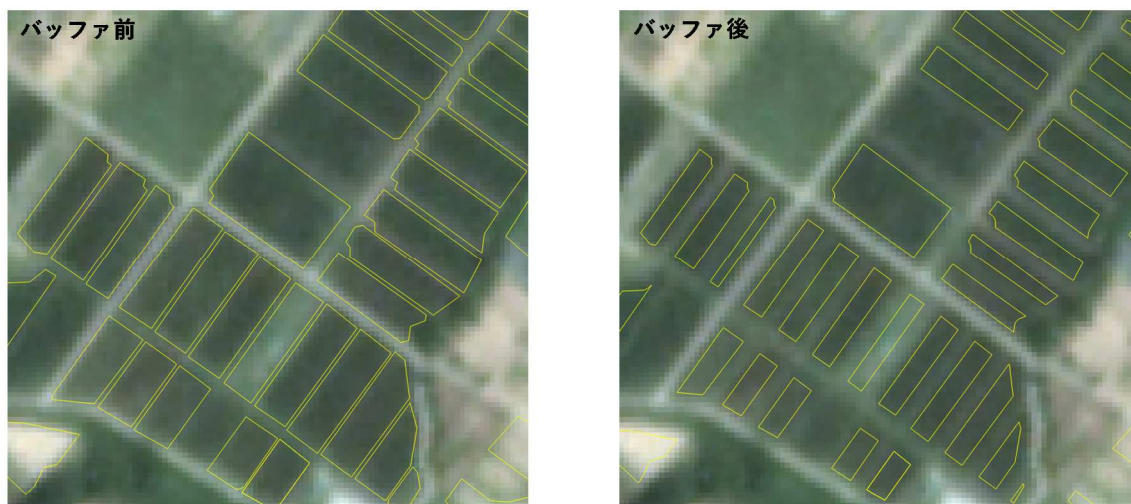


表 2.4(1) PlanetScope 観測日（別海町）

	2018年 4月	5月	6月	7月	8月	9月
上旬	10		3, (4)		2, 4	6
中旬	19, 20	12, 13, (15)		16, 17	20	12, 15, 18, 19, 20
下旬	23, 28, (29),30	21, 28, 29	23, 28, 30			21

括弧は入手したものの品質管理の結果未使用であることを示す。

表 2.4(2) PlanetScope 観測日（北杜市）

	2018年 4月	5月	6月	7月	8月	9月
上旬	2, 3, 4, 10	5, (6)	2, 3, 4 (7), (8)	2	2, 3, (4)	
中旬	13, 19, 20	(14), 16 (19), 20	19	(15) 18, (19)	(17), 18	19
下旬	26, 28, 29, 30	21, 22, 24, 27	25	(21), (22) (23), 24, (27), 30, (31)	26, 27	

括弧は入手したものの品質管理の結果未使用であることを示す。

2. 3. 3 農用地区画ごとの土地利用状況判別手法の開発・検証

衛星データに機械学習などを適用し、農用地区画ごとの土地利用状況を判別する手法を開発・検証するとともに、現地確認業務を迅速かつ効率的に行う手法を提案した。

(1) 別海町

別海町の協定農用地の地目は全て「草地」であり管理状況は「耕作の適」であった。すなわち推定モデルを構築するための参照データは一種類しかないことになる。このため、AI 機械学習など、複数の教師データを必要とする解析手法は適用できない。また、別海町におけるヒアリングの結果、別海町には協定農用地にデントコーン等、牧草以外の作物が作付けされていることもあるが、解析範囲には存在しないこと、一番草の刈取は7月頃、二番草の刈取は9月頃であり、協定農用地では牧草は例外なく刈り取られていることが分かった。光学センサを搭載している PlanetScope の観測波長帯は青、緑、赤そして近赤外であるが、牧草のような植物体を観測する場合、青と赤は植物の葉緑素の吸収、緑は葉緑素の反射であることから植物の活性を表しており、近赤外は植物の細胞壁から反射であることからバイオマスを表すと考えられている。牧草が刈り取られれば、PlanetScope の反射率、特に植生の反射率が一番高く、バイオマスを表している近赤外域のバンドは短期間に著しく低下すると予想されることから、本業務では観測日ごとの反射率の時系列解析を実施した。具体的には反射率の低下をとらえるために、次の観測日の反射率との差分を計算した。このことにより、刈取によって反射率が低下すれば差分はマイナスの値として算出される。実際の任意の圃場における時系列変化の事例を図 2.7 に示す。その結果、一番草や二番草の刈り取り時期である7月や9月に、近赤外域の反射率が急激に低下していた。牧草の生長による反射率の変化よりも、刈取による急激な反射率の低下の方が大きいと考えられることから、差分の最小値を算出することによって、刈取による急激な反射率の低下が把握できると考えた。全協定農用地における差分最小値のヒストグラムを図 2.8 に示す。その結果、ほとんどの協定農用地において、6%以上の急激な反射率の低下が観測された。このことから、調査すべき（もしくは調査が省略可能な）圃場を抽出する（もしくは優先順位をつける）ため、ヒストグラムから差分最小値のレベルを5段階（レベル1：-24%以下、レベル2：-24~-6%、レベル3：-6~-4%、レベル4：-4~-2%、レベル5：-2~0%）に分けた結果を地図に表したものを図 2.9 に示す。なお、一部の協定農用地では上空から観測する衛星画像上では森林が見かけ上入り込んでいた。季節変化が牧草よりも少ないと考えられる森林が協定農用地に入り込んでいる場合があるが、ある程度の割合であれば、急激な反射率の低下を観測できていることが分かった（図 2.7）。

しかし、衛星画像の解析上、森林が協定農用地に大きく入り込んでいる場合には、差分による牧草刈取の検知ができなくなる可能性がある。また、衛星データの欠測が多い場合、刈取による反射率の急激な変化をとらえられないことも考えられる。このため、森林や衛

星データの欠測が本手法に与える影響を考察するために、差分最小値の絶対値が小さかった協定農用地の事例について、反射率の時系列変化と衛星画像を図 2.10 に示す。図中 50-221-8 では、衛星画像の目視判読では森林が草地に半分程度入り込んでおり、急激な反射率の低下が観測できなかった可能性が示唆される。図中 32-281-6 では、衛星画像では明らかに草地であると目視確認でき、9 月中旬まで反射率が高まっているものの、その後の欠測によって刈取による反射率の急激な低下が観測できなかったと考えられる。しかし、この様な協定農用地の数は全体に比べて非常に少なかった。

以上、草地の場合、本手法（反射率差分最小値法）を用いた衛星データの時系列解析により、差分最小値がマイナスになっている農用地は適切に耕作されている、すなわち牧草が刈り取られていると推察することができた。ただし、衛星データが欠測している又は森林が大きく入り込んでいる農用地については、現地確認による検証が必要であることが分かった。

実運用にあたっては、5 段階の差分最小値のレベルのうち、どのレベルまで現地確認が必要か検証すれば、その後は例えばレベル 5 のみ現地確認調査を実施するだけで良い等の効率化を図ることが期待できる。

図 2.7 協定農用地（草地）の季節変化

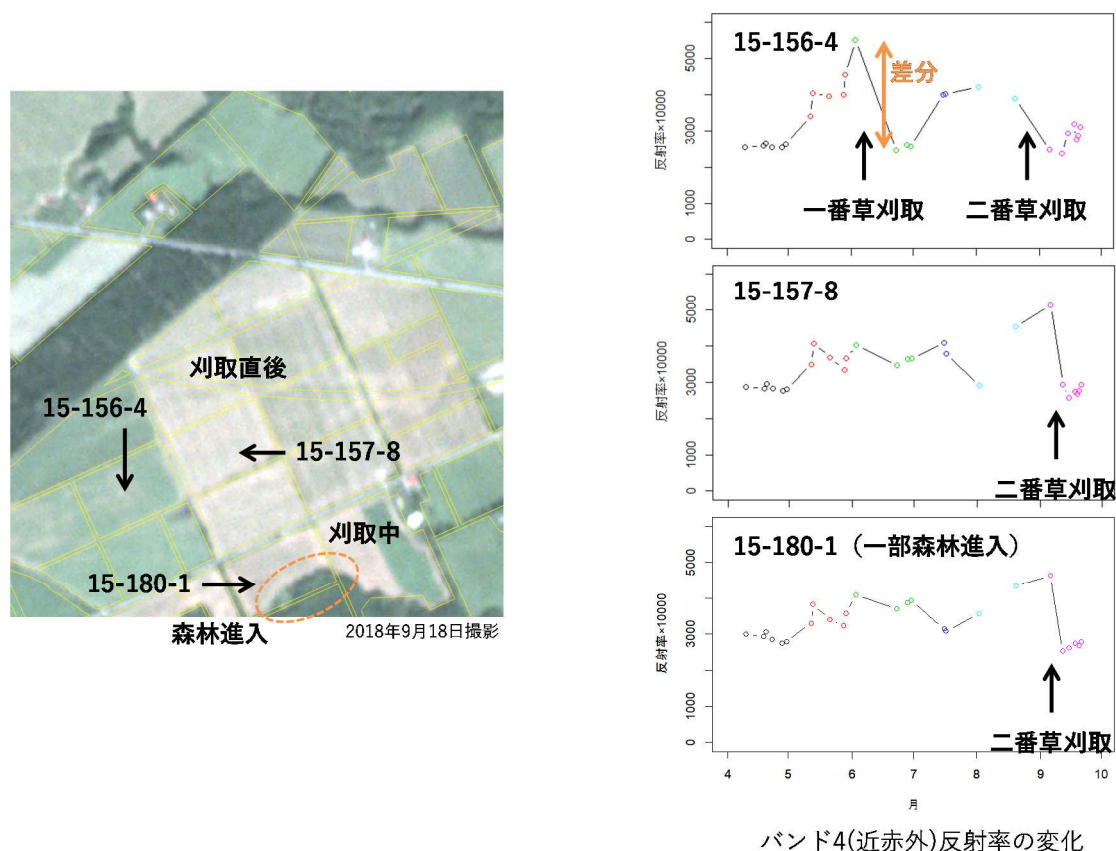


図 2.8 差分最小値のヒストグラム

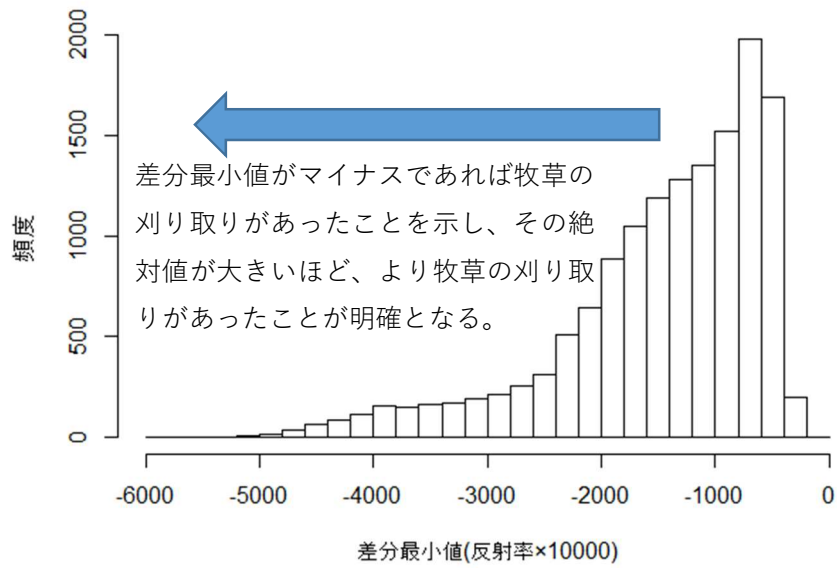


図 2.9 差分最小値による協定農用地の適正判断（別海町）

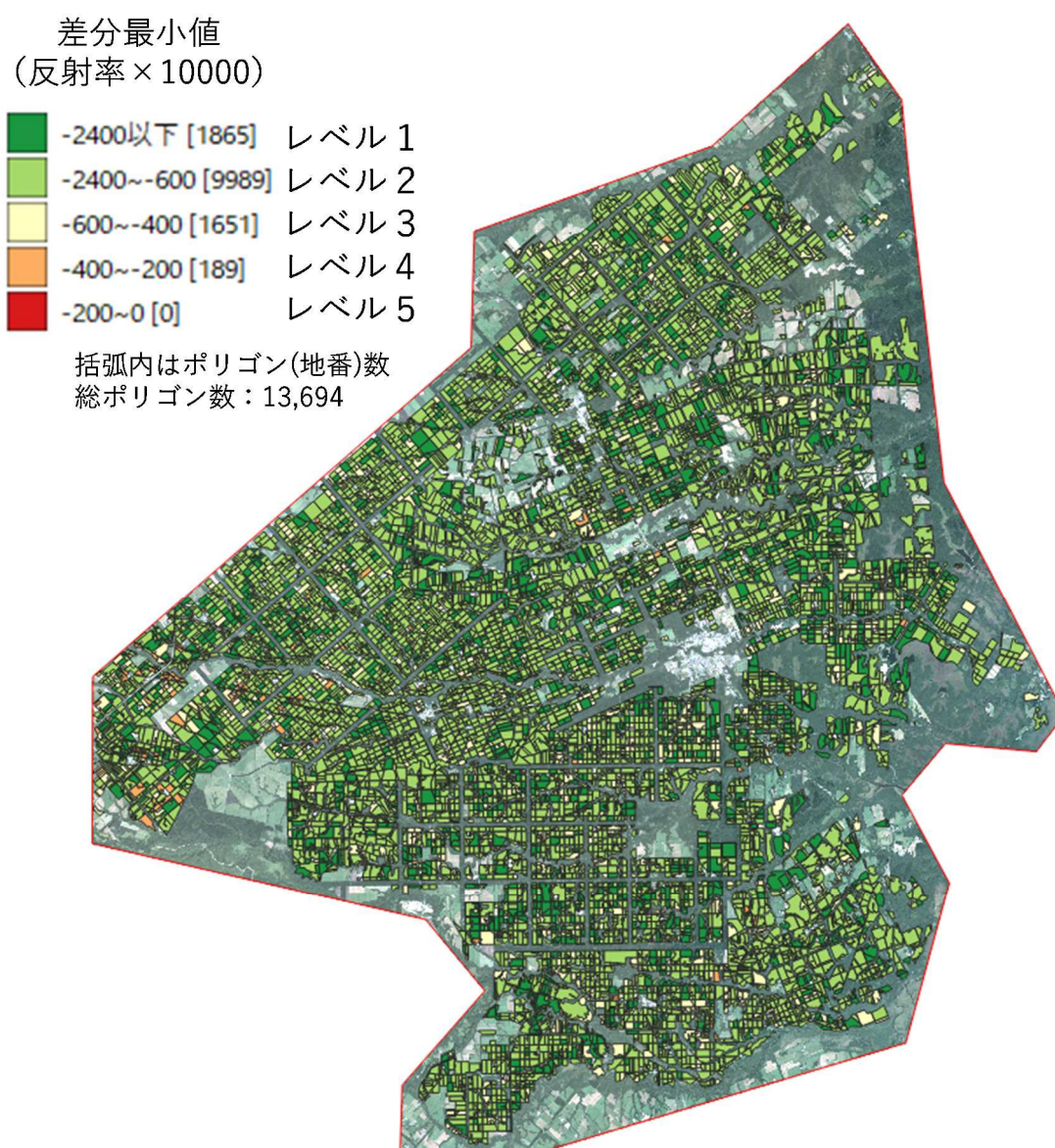
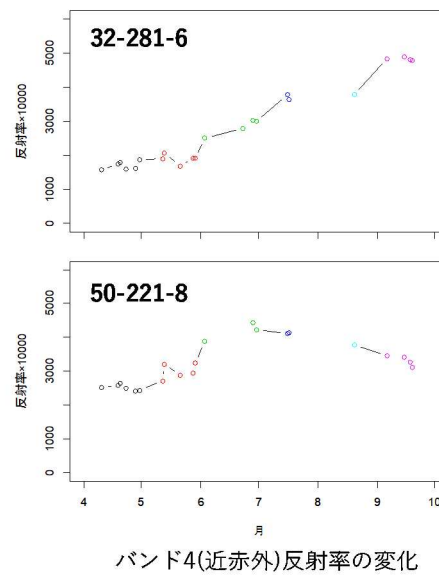


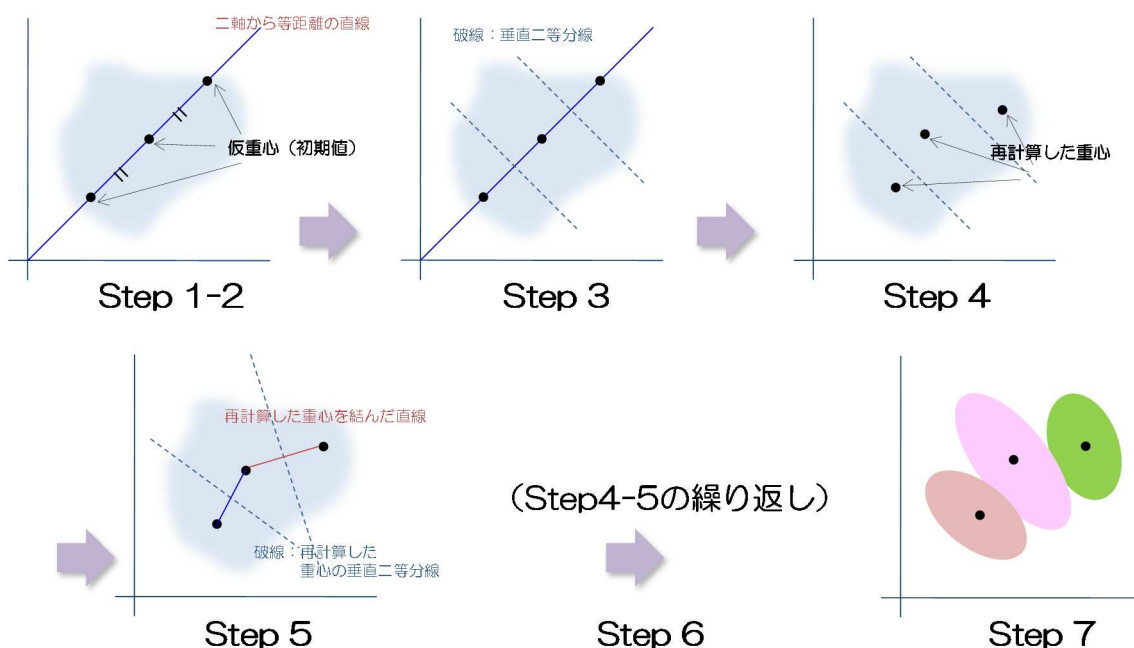
図 2.10 森林や欠測がある協定農用地の季節変化（別海町）



【参考】反射率差分最小値法を結論とするまでの検討経過

差分最小値法による牧草刈取の検知の前に、一次解析として、協定農用地ごとの中央値を月単位で平均した値による教師なし分類（K-means 法）を実施した。結果として、月単位データの教師なし分類では十分でなかったため、差分最小値法となったのであるが、参考までに一次解析の結果を報告する。なお、K-means 法とは、画像の情報だけから、類似する画像を複数のクラスター（かたまり）にクラス分けする手法であり、現地検証データを必要としない教師なし分類の一つである。K-means 法の模式図を図 2.11 に、K-means 法の概要を添付資料 3 に示す。最初に仮の重心点を適当に設定し、全データと重心の近さを評価する。重心をわずかに動かし、全データとの近さを評価して、評価が上がれば新しい重心を採用する。これを繰り返すことによって、最終的には画像の情報だけから、クラス分けができるという手法である。一般的に、複数のカテゴリーが想定される場合、初期に想定するクラス数は想定されるクラス数の倍以上を設定してから、徐々にクラス数を絞り込むことを行うが、本業務では対象となるのは牧草のみなので、初期のクラス数は 10 ないし 5 クラスで実施した。

図 2.11 K-means 法の模式図



別海町における K-means 法の結果を図 2.12 に示す。最終的には 5 クラスに分類した。その結果、クラスター 2、4、5 に、一番草の刈取によると考えられる近赤外バンド反射率の低下が認められた。クラスター 3 にも、弱いながら一番草の刈り取りによると考えられる同様の低下があると考えられる。一方、クラスター 1 にはそのような低下がみられなかった。そこでクラスター 1 と分類されて協定農用地の季節変化を確認した（図 2.13）。その結果、観測日ごとに見ると、明らかに刈り取りによって急激に反射率が低下している圃場であって

も、それが月内であった場合は、平均値にすると急激な反射率の低下が相殺されてしまい、クラスター2～5に見られた変化が見かけ上、現れないことが判明した。このことから、対象とする農作物においては、月平均値ではなく、観測日ごとに解析する必要があることが分かった。

図 2.12 別海町における教師なし分類による反射率の季節変化

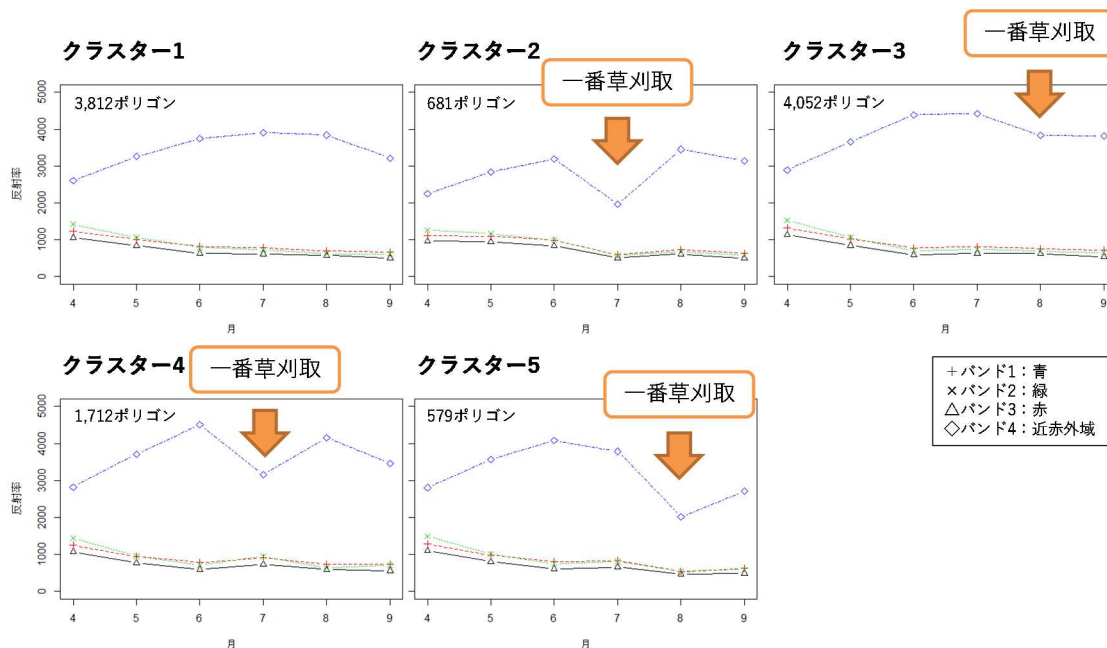
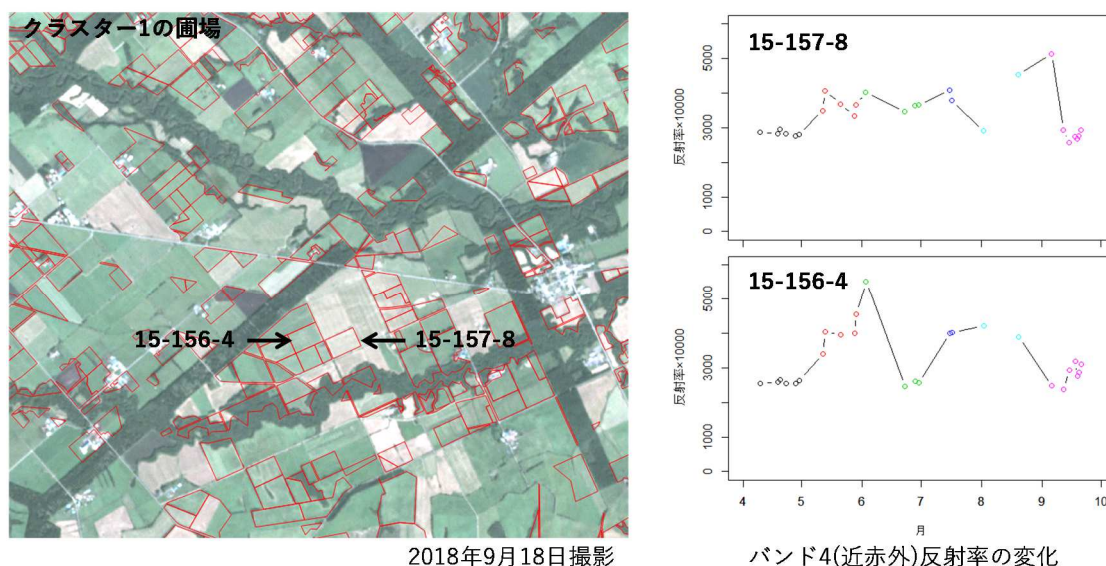


図 2.13 別海町における教師なし分類による反射率の季節変化の考察



2018年9月18日撮影

バンド4(近赤外)反射率の変化

(2) 北杜市

① 植生の反射率に着目した判別

北杜市の協定農用地の地目は全て「田」であり、管理状況は「耕作の適」か「維持管理の適」であった。また、北杜市におけるヒアリングの結果、主な作付けは水稲であるが、水稲の中には早場米や飼料米など、移植時期や、同じ時期でも生育ステージ等が異なる水稲が作付けされていることが分かった（ただし直播栽培はない）。一部では大豆などの畑作物や牧草なども栽培されていることが分かった。

このように作付け作物は多様であるが、本件の推定モデルの構築に使用できる参照データとした観測野帳には「耕作されているか」か「維持管理されているか」の二種類に限定されている。このため、耕作および維持管理の協定農用地に対して、それぞれ K-means 法によって、全バンドの反射率によりクラスター分類を試みた。それぞれのクラスター解析の結果を図 2.14 に示す。

「耕作されている農用地」については、クラスター3～5のように、4月から6月の反射率が低く、7月から8月にかけて急激に反射率が上がり、9月に反射率が下がるクラスターがあった。これは、4月から6月に稲体が小さく水面が広く露出、7月から8月に稲体が生長、9月以降に葉色が黄変し、刈り取り収穫される水稲の変化を表すと考えられる。また、クラスター2では、4月から8月まで徐々に反射率が上がり、9月に反射率が下がっており、大豆など水稲以外の畑作物が作付けされていることが示唆される。また、クラスター1のように現地データがなければ解釈できない推定の困難なクラスもあった。

「維持管理されている農用地」では、クラスター1は通年反射率が低く地表の露出が想定され、常に雑草が生えないように管理されている農用地と考えられる。クラスター4は通年高い反射率を示しているが、北杜市職員からの聞き取りにより、牧草である旨が教示された。クラスター3は、「維持管理」となっているものの、耕作においてみられた水稲の季節変化に類似していた。

以上の検討結果と聞き取り調査から、「耕作」とされているにもかかわらず、クラスターの解析結果が「維持管理」に類似している協定農用地が抽出できれば、現地調査を効率化できると考えられる。そこで、「維持管理」とされている農用地において水稲作と似た季節変化をしていたクラスター4を除く4クラスと、「耕作」とされている協定農用地との類似度を月単位データによる相関係数で評価した。なお、4クラスとした理由は、水稲作に類似しているクラスター3を含めても、類似度の評価に寄与しないからである。相関係数は全く同じであれば1、全く異なれば0になる指標なので、比較する維持管理農地は4つであることから、各耕作協定農用地は0～4の類似度となる。類似度が高いほど、「耕作」とされているにもかかわらず「維持管理」に近い状態であることを示唆することになる。「維持管理」

に対する「耕作」の類似度を図 2.15 に示す。その結果、類似度は正規分布をなし、3～4 の間をとることが分かった。そこで類似度から優先度を 1～5 段階に分けた。優先度 1 が現地確認すべき協定農用地となるが、その数は、K-means 法で得られた耕作のクラスター 1 と 2 に相当する。「耕作」の現地調査優先度を表した評価図を図 2.16 に示す。既に水田は湛水している 6 月下旬における PlanetScope の画像を目視確認すると、優先度 1 とされた圃場では土が露出しているような反射率の高い圃場であることが分かった。

図 2.14(1) 教師なし分類結果（旧小淵沢町：耕地）

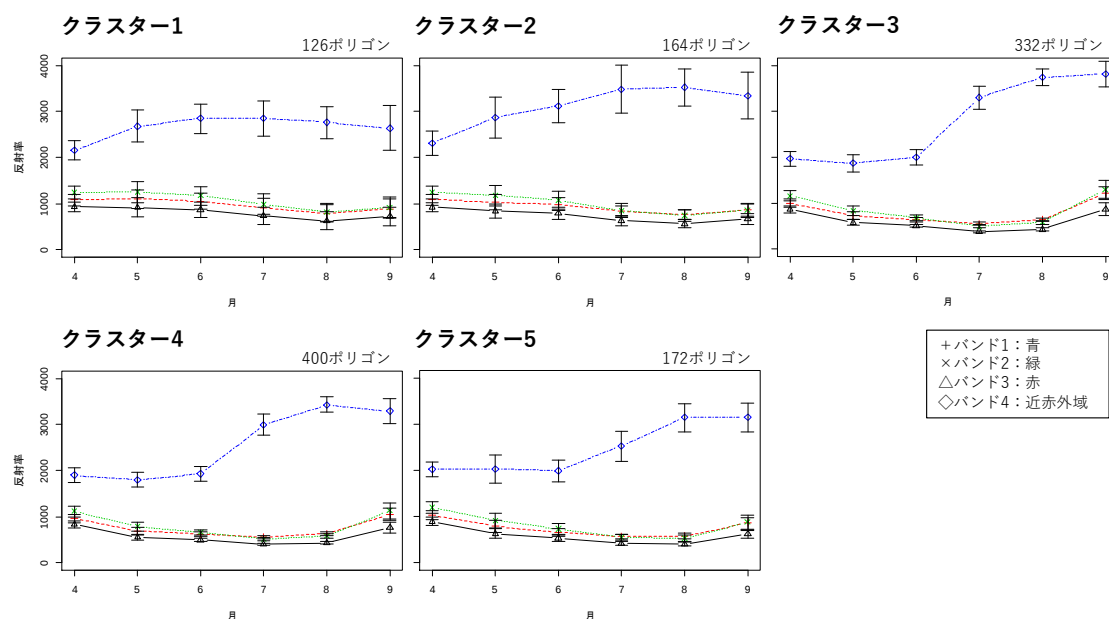


図 2.14(2) 教師なし分類結果（旧小淵沢町：維持管理）

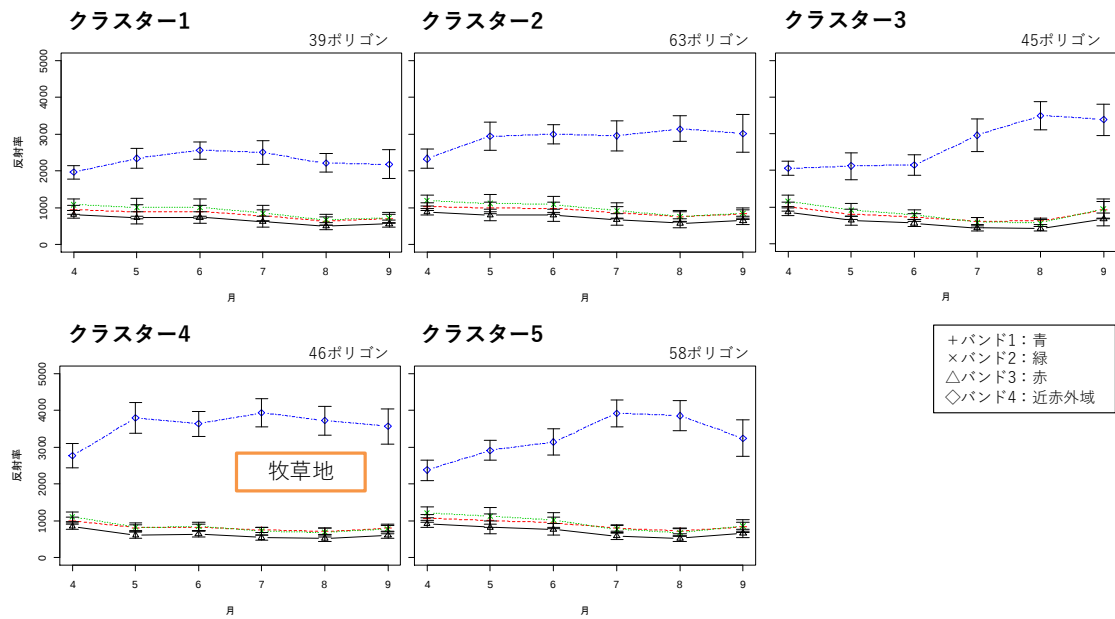


図 2.15 維持管理に対する耕作の類似度

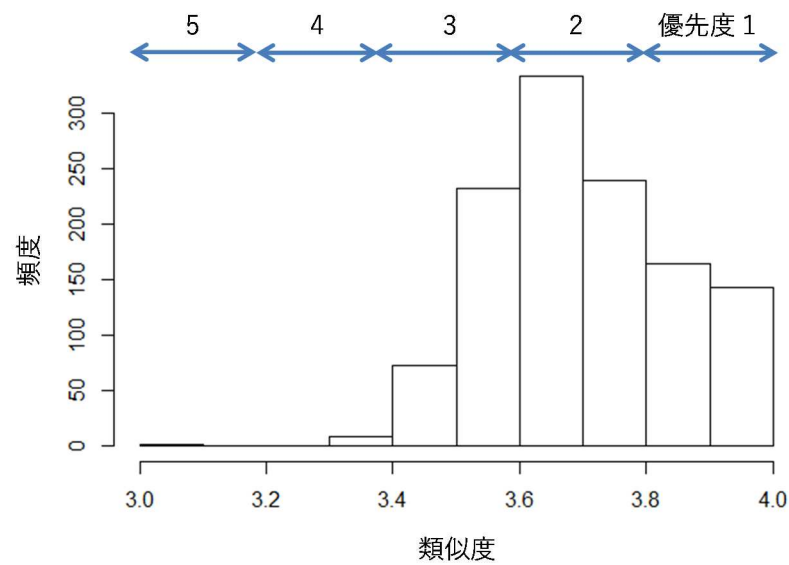


図 2.16 耕作の現地調査優先度の評価図



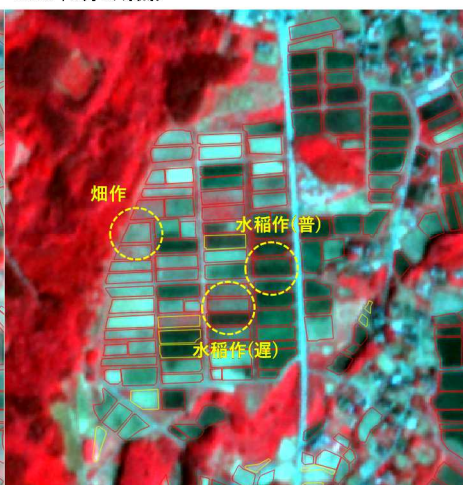
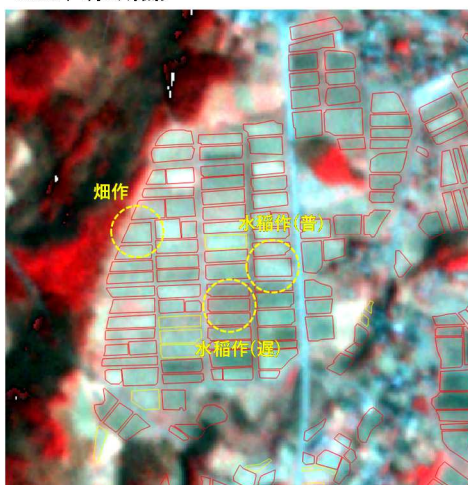
② 光学衛星データの近赤外バンド反射率による水稲作の判別

更に、「耕作されている農用地」において大部分を占める水稲作を衛星データから確認できれば、現地調査を大幅に効率化することが可能となる。既存研究において、光学センサの反射率、とくに近赤外バンドの反射率は水面があると著しく低下することが知られている。そこで、目視判読によって水稲作と想定される圃場と、畑作と想定される圃場の季節変化を対比した。各圃場の月ごとの衛星画像を図 2.17 に示す。図中では、土壌が露出していると反射率が高いため白っぽく見え、湛水状態になると反射率が下がり、黒っぽく見える。また、植物が繁茂しているほど赤くなるように着色しており（フォールスカラー画像という）、普通期に移植された水稲作、移植が若干遅かった水稲作および畑作と考えられる圃場を示した。その結果、いずれの圃場も 4 月では反射率が高く、土壌が露出していると考えられる。5 月になると水稲作と考えられる圃場の反射率が下がっており、水が張られたことが分かる。9 月になると水稲作（普）は刈り取りされて土壌が露出したため反射率が上がっているが、水稲作（遅）では完全に刈り取りされていないように解釈できる。一方、畑作と考えられる圃場は 8 月まで土壌が露出しているような反射率の高い状態が続くが 9 月になって植物が生えてきたように解釈できる。このことから、水稲作と畑作の特徴は 5 月か 9 月頃に顕著に表れると想定できることから、代表する圃場の観測日ごとの反射率（近赤外バンド）の季節変化を確認した（図 2.18）。その結果、水稲作と畑作では 5 月下旬の反射率に大きな違いがあることが分かった。そこでその違いを確認するために全ての協定農用地に対して、5 月下旬ごろの反射率のヒストグラムを作成した（図 2.19）。その結果、農用地が湛水されており、かつ稲体が小さく、水面の観測が容易な 5 月 21 日から 6 月 19 日まで近赤外バンドの反射率はバイモーダル（ヒストグラム中にピークが二つ）な状態であることが確認できた。5 月 16 日は湛水されておらず、6 月 25 日は湛水状態であるが稲体の生長により水面が直接観測できなくなったため、バイモーダルでなくなったと考えられる。バイモーダルになる理由は、反射率が高い傾向にある畑作と、低い傾向にある水稲作の 2 つに分かれた場合、それらの特徴を表す反射率のヒストグラムにも 2 つのピークが現れるためである。このことから、バイモーダルの境界（図中矢印の谷間）、22%より低い反射率である協定農用地を、水稲作と推定することとした。その結果を図 2.20 に示す。その結果、5 月下旬の衛星データを見ると、水面が張られていて輝度値が低い協定農用地は水稲作として抽出されており、土壌が露出して輝度値が高い協定農用地は水田以外と抽出されていた。地上の参照データが無いため定量的な検証はできないが、PlanetScope の画像を用いて目視判読したところ、ほぼ水稲作を抽出できていると考えられる。以上より、近赤外バンドを活用した閾値法によって、水稲作を抽出することができ、現地調査を効率化できると考えられる。

図 2.17 水稲作と畑作と想定される圃場の月ごとの衛星画像

2018年4月2日撮影

2018年5月5日撮影

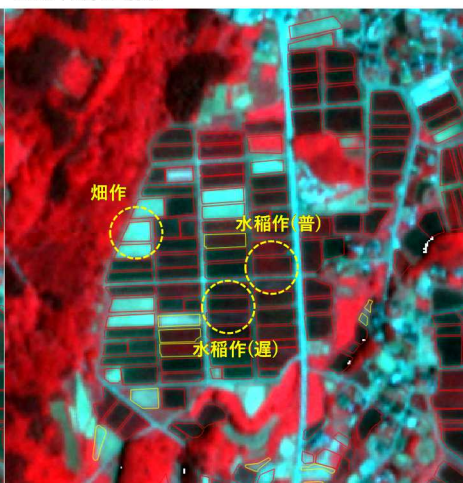
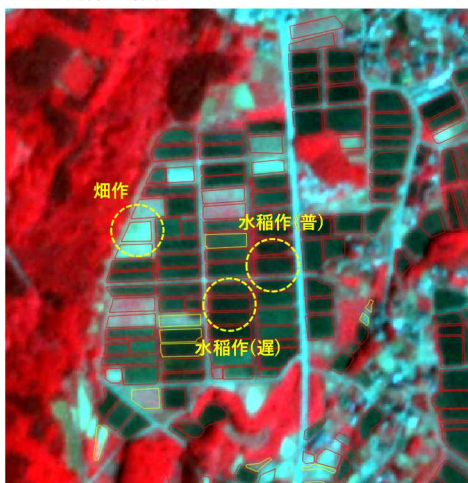


赤枠：耕作

黄枠：維持管理

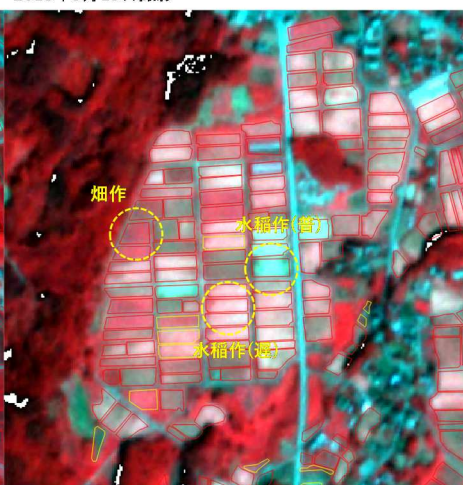
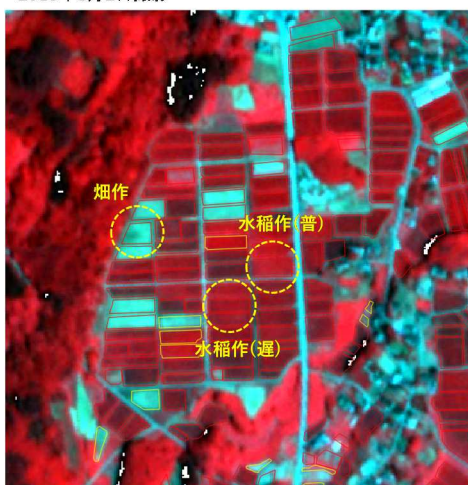
2018年6月2日撮影

2018年7月2日撮影



2018年8月2日撮影

2018年9月19日撮影



衛星リモセンデータを加工して使用

図 2.18 水稲作と畑作と想定される圃場の反射率（近赤外バンド）の季節変化

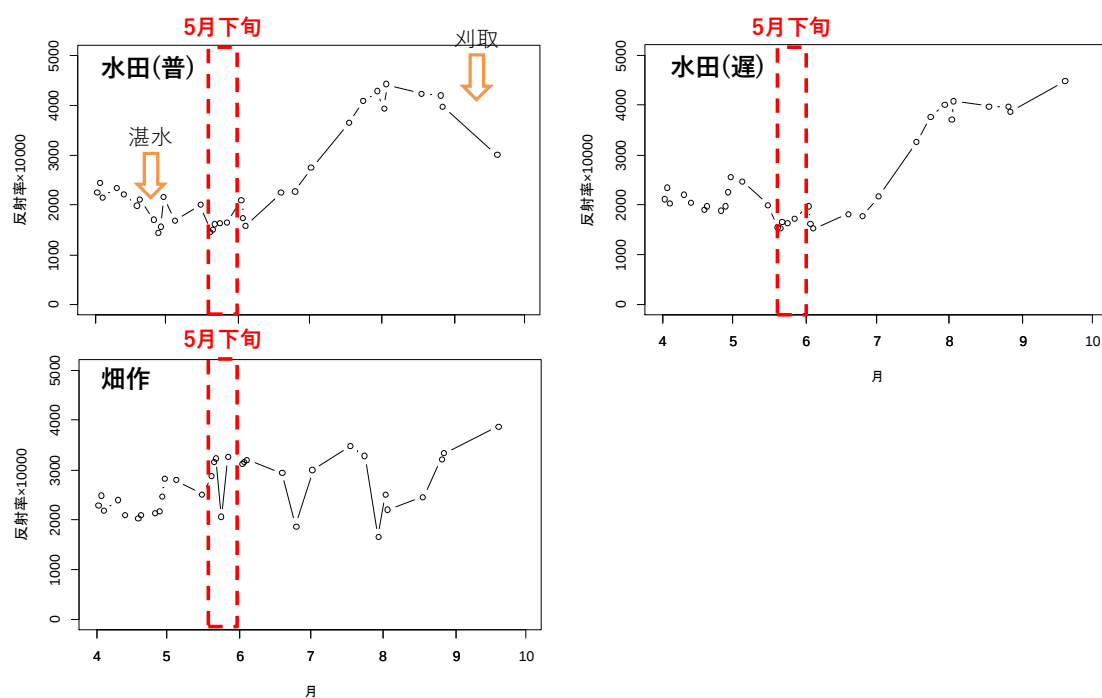


図 2.19 5月下旬の全協定農用地の反射率（近赤外バンド）のヒストグラム

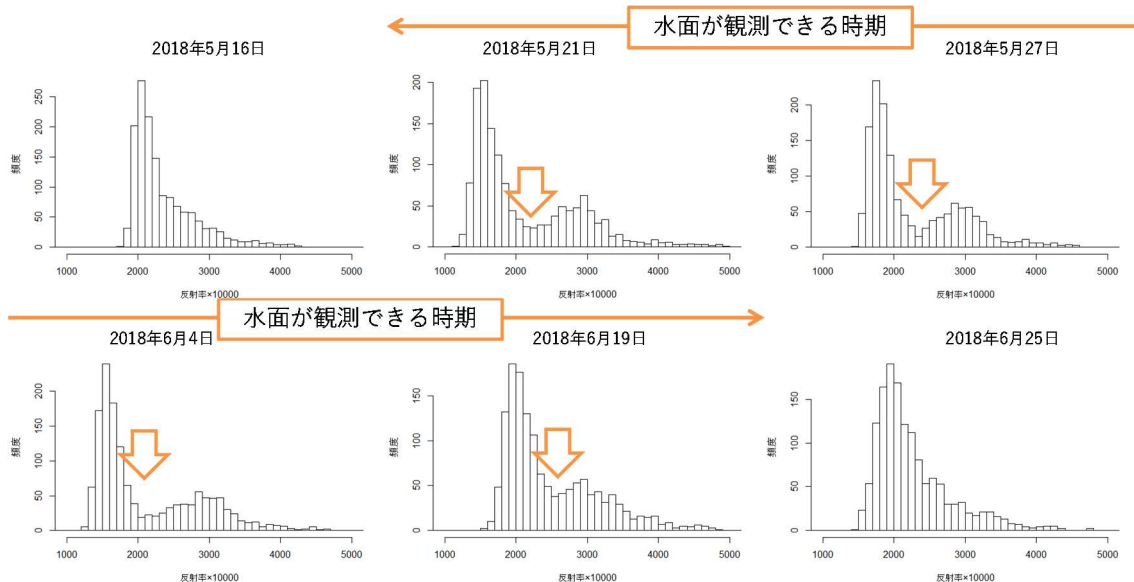
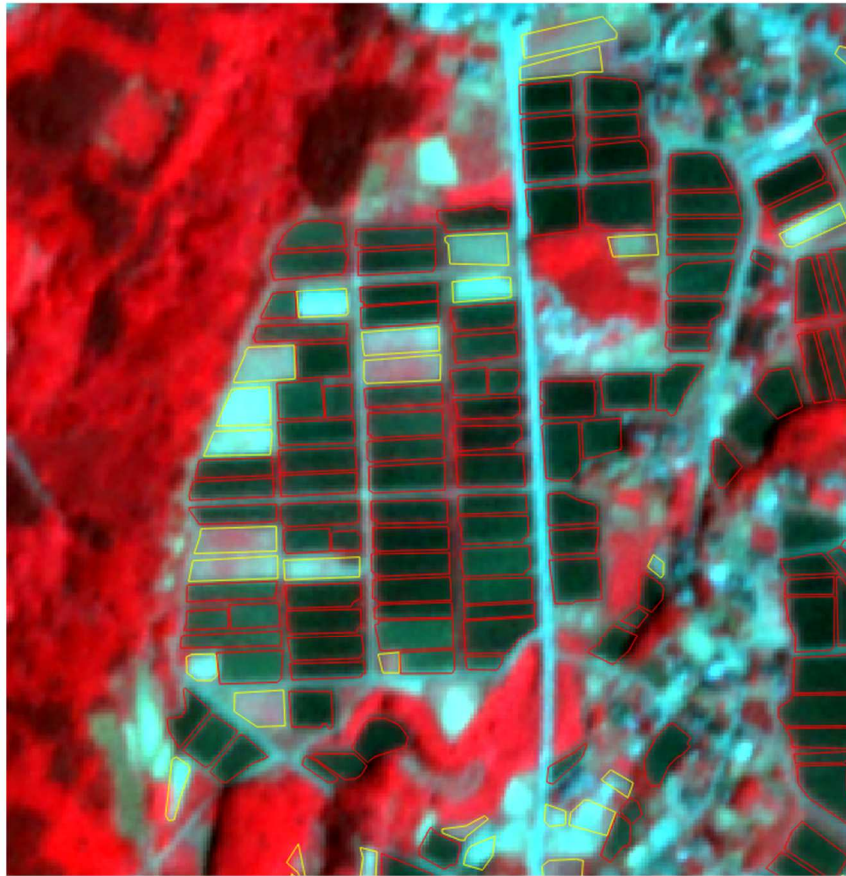


図 2.20 近赤外バンド反射率の閾値解析による水田の抽出結果

2018年5月21日撮影



赤枠：水稲作(バンド4反射率22%以下)
黄枠：水稲作以外

③ SAR データの後方散乱強度による農用地の管理状況の判別

更に、衛星データによる水稻作の抽出については、既存研究において、合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）の反射特性を用いて水田を抽出する試みがなされているため、本技術の適用可能性についても検討した。これは、SAR の観測では、電波を斜め下に照射するので、水面のような平らな対象物がある場合、衛星の方に電波が返ってこないため、非常に暗い画素となる特性を利用したものである（SAR の説明を添付資料 4 に示す）。

衛星データとしては、可能な限り狭小な協定農用地も解析する必要があることから、JAXA の ALOS-2 衛星に搭載されている空間解像度 3m の PALSAR-2 データを利用した。PALSAR-2 のデータは、2018 年 3 月 30 日（ALOS2207960700-180330、昇交軌道）、5 月 30 日（ALOS2216980700-180530、昇交軌道）、6 月 5 日（ALOS2217792890-180605、降交軌道）及び 8 月 14 日（ALOS2228142890-180814、降交軌道）に観測されていた。なお、ダウンロードのプロダクトはオルソ補正されたレベル 2.1（GeoTIFF 形式）とした。PALSAR-2 の画像を図 2.21 に示す。なお図中では比較としてほぼ同じ時期に撮影された PlanetScope の光学衛星画像も併記した。

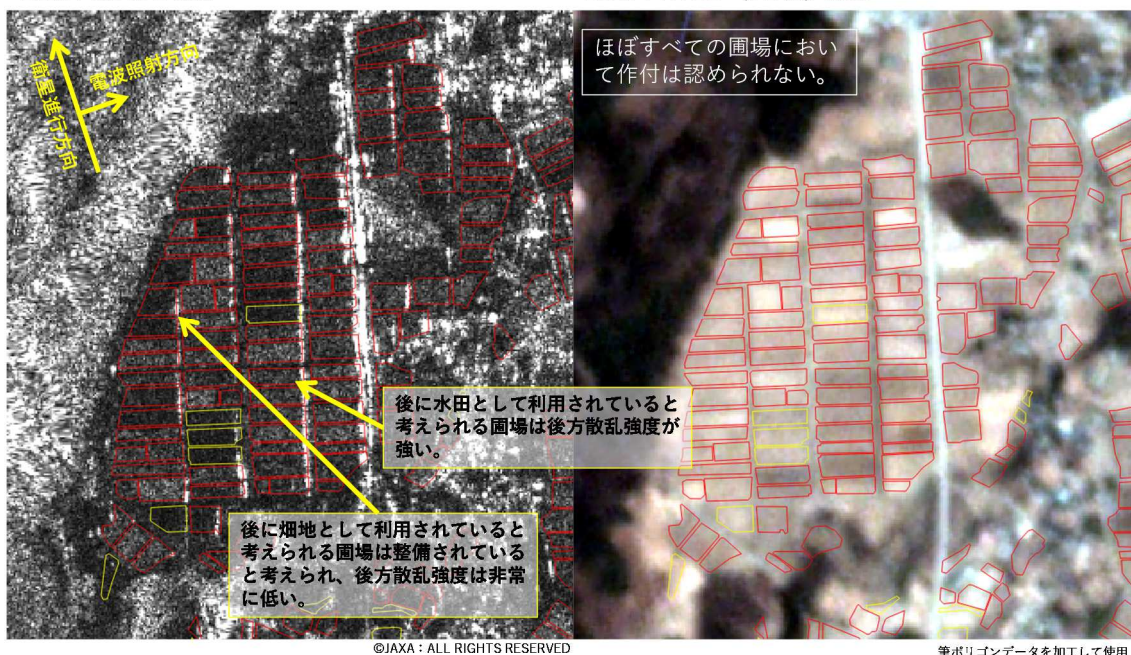
目視確認の結果、3 月 30 日の画像を見ると、後に水稻作として利用されと考えられる農用地では、湛水前であり、前年耕作された稲体の株が残っていることから表面が荒いと考えられるため、マイクロ波の地表での反射強度（後方散乱強度）は高く、畑作地として利用されと考えられる圃場は整備され、表面が均されていると考えられるため、後方散乱強度は低くなったと考えられる。なお、PlanetScope の画像を見るとほぼすべての圃場において作付けはされていないと考えられる。5 月 30 日の PALSAR-2 の画像を見ると、PlanetScope の画像では水が張ってある水稻作と、整地されている畑作地では、ほぼ同じ後方散乱強度であることが分かった。図中 PlanetScope の画像上に PALSAR-2 の後方散乱強度を併記すると、実際の数値もほぼ同じであることが分かる。このことから、PALSAR-2 の後方散乱強度のみを解析して、水稻作のみの抽出、もしくは水稻作と畑作地との区分は困難であるが、耕作もしくは維持管理が適切になされており、水面が露出していたり、整地されて地面が平らにならされていたりするなど、後方散乱強度が著しく低下する要因が一度でもその圃場であれば、耕作もしくは維持管理されている農用地であると推察できる。そこで全ての協定農用地における PALSAR-2 の後方散乱強度のヒストグラムを検討した（図 2.22）。その結果、多くの農用地における湛水時期の 5 月 30 日や 6 月 5 日の画像では、後方散乱強度は低い値が多いことが分かった。次に個別の圃場における PALSAR-2 後方散乱強度の季節変化を検討したところ（図 2.23）、目視判読によって水稻作と考えられる農用地（1908-016349-016193）では、湛水時期である 5 月下旬や 6 月上旬で後方散乱強度が著しく低くなっており、畑作地と考えられる農用地（1908-016359-016246）では、畑作のために整地したと考えられる 3 月下旬や 8 月中旬において、後方散乱強度が著しく低くなっていることが分かった。

以上のことから、協定農用地の栽培暦や作付状況の情報がなくても、PALSAR-2 を用いた時系列的なモニタリングによって、後方散乱強度の変化を把握することにより、耕作されているもしくは維持管理されている協定農用地が推定することができると考えられる。

図 2.21(1) PALSAR-2 観測画像

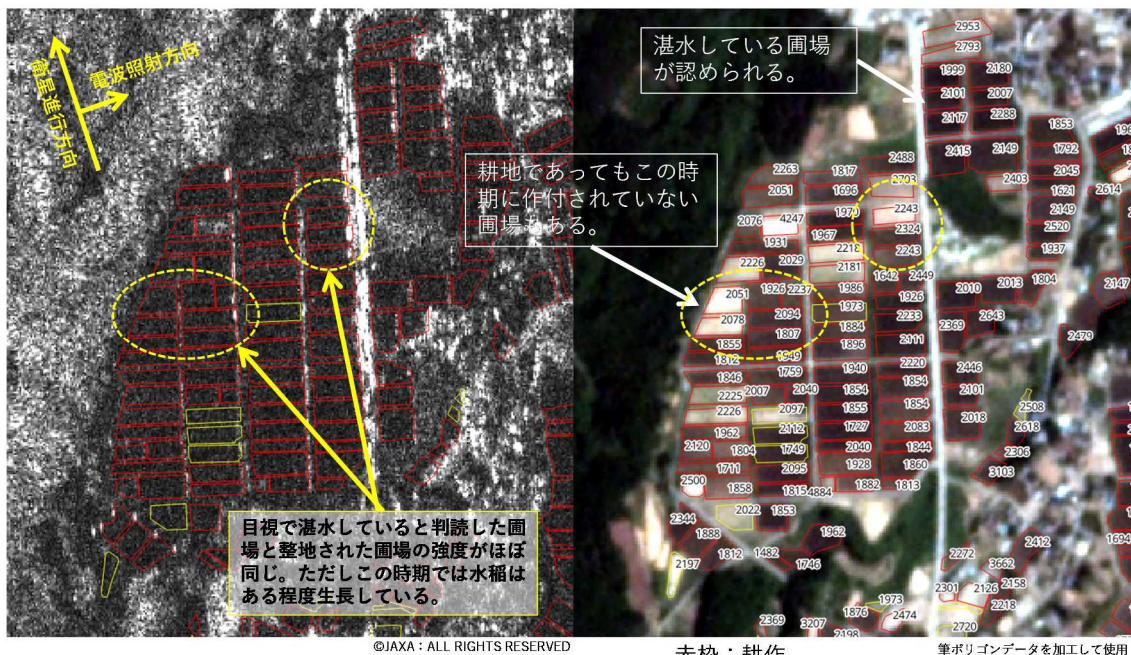
2018年3月30日撮影

2018年4月2日（3日後）撮影



2018年5月30日撮影

2018年5月28日（3日前）撮影

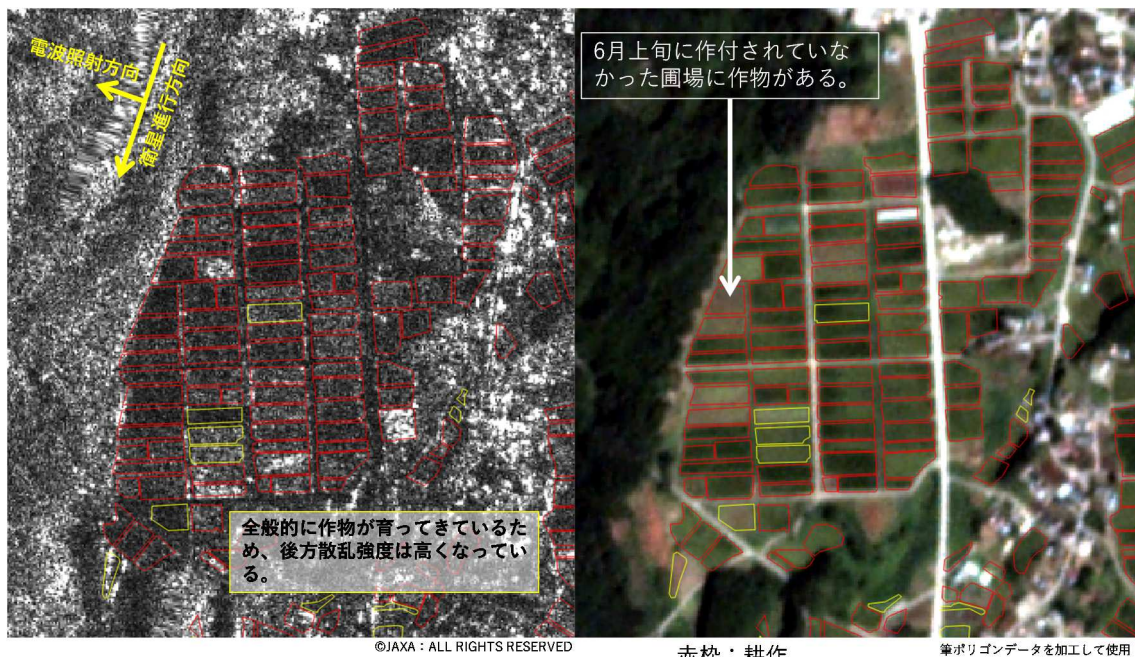
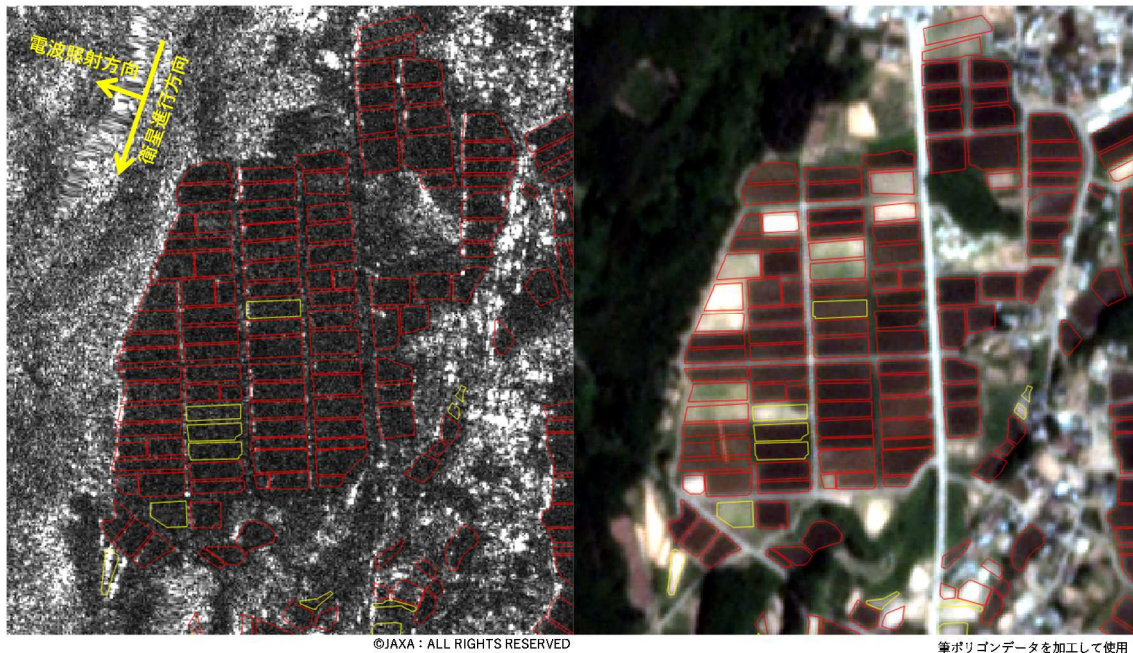


赤枠：耕作
黄枠：維持管理

図 2.21(2) PALSAR-2 観測画像

2018年6月5日撮影

2018年6月4日（1日前）撮影



赤枠：耕作
黄枠：維持管理

図 2.22 PALSAR-2 後方散乱強度のヒストグラム（旧小淵沢町）

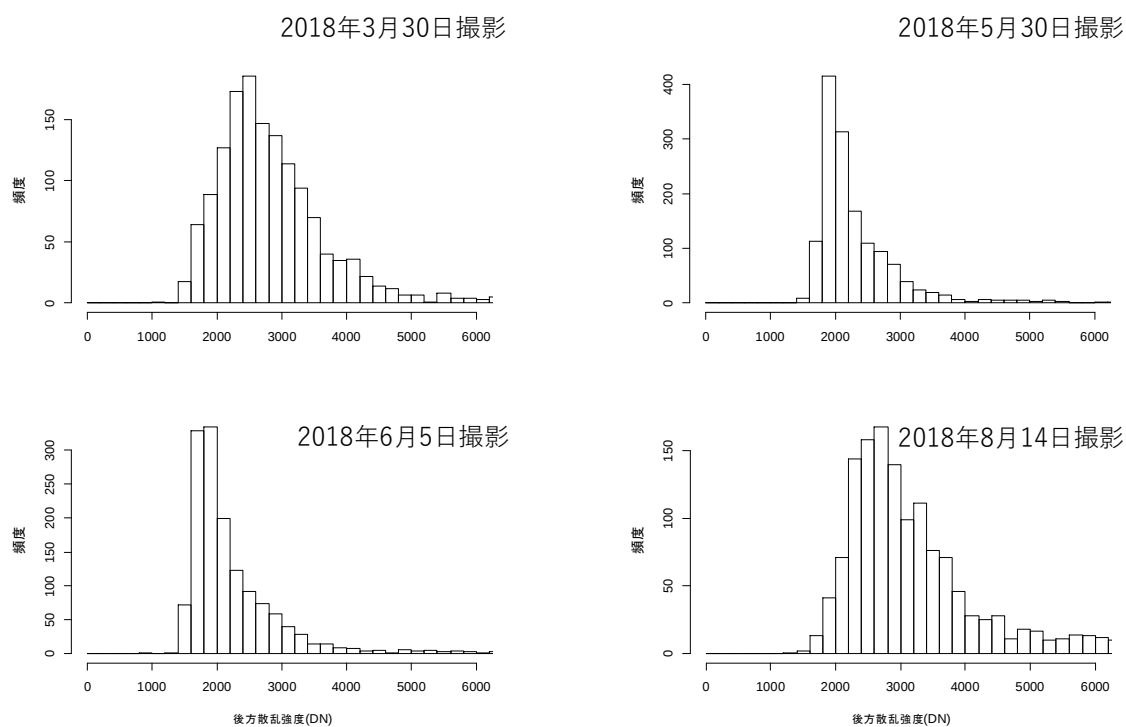
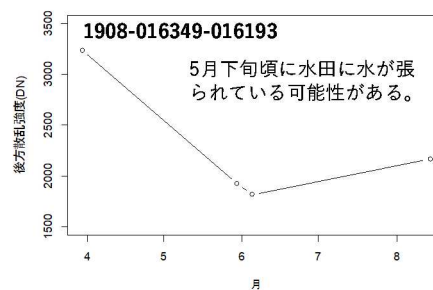
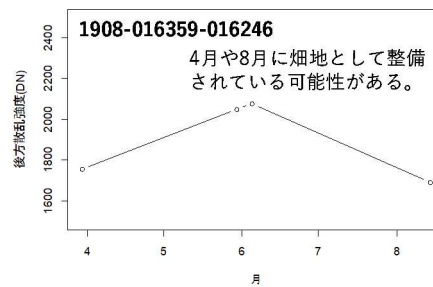
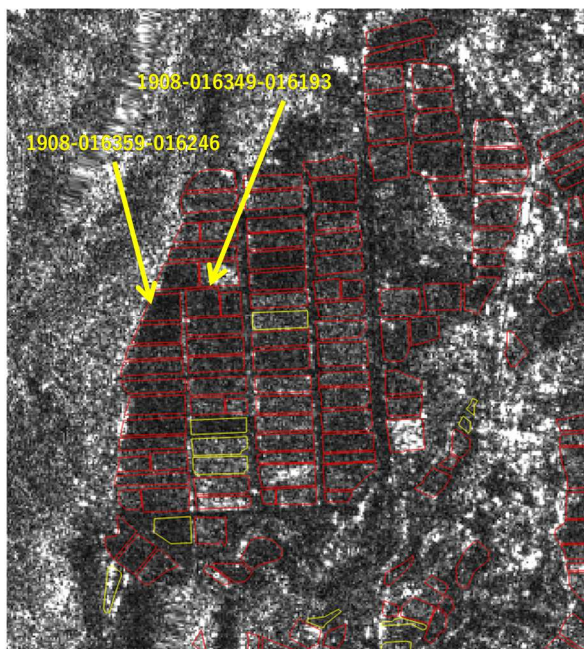


図 2.23 PALSAR-2 後方散乱強度の季節変化（旧小淵沢町）

2018年8月14日撮影



次に、どの程度の後方散乱強度であれば、耕作されているもしくは維持管理されている協定農用地を推定することができるかを考察した。

目視確認によって水稻作と推察できた協定農用地における PALSAR-2 の後方散乱強度のヒストグラムを図 2.24 に示す。この図からは、後方散乱強度が 2800DN 以下（図中矢印）であれば農用地が湛水状態であると推察できる。このことから、畑作地であっても後方散乱強度が 2800DN 以下であれば、湛水状態と同等に均一化された地表面とみなすことができ、「耕作」もしくは「維持管理」であると推察できる。この検証のため、2800DN を閾値とした解析によって「耕作」もしくは「維持管理」でない可能性がある協定農用地を抽出した(図 2.25)。インターネット上で公開されている高空間分解能の航空写真(Google Map)を活用して目視確認した結果、抽出された協定農用地は、航空写真では見かけ上、「耕作」や「維持管理」がなされていない可能性があることが分かった。

以上により、PALSAR-2 の後方散乱強度の閾値法によって、「耕作」もしくは「維持管理」の可能性が高い（もしくは可能性が低い）協定農用地を抽出することができた。圃場が小さい場合や、田畑が複雑に混在している場合など、誤差要因はいくつか想定できるが、一定閾値以下の後方散乱強度を持つ農用地を対象に現地確認調査を重点的に行えば、現地作業を効率化できると考えられる。

図 2.24 水稻作と推定された協定農用地の後方散乱強度のヒストグラム

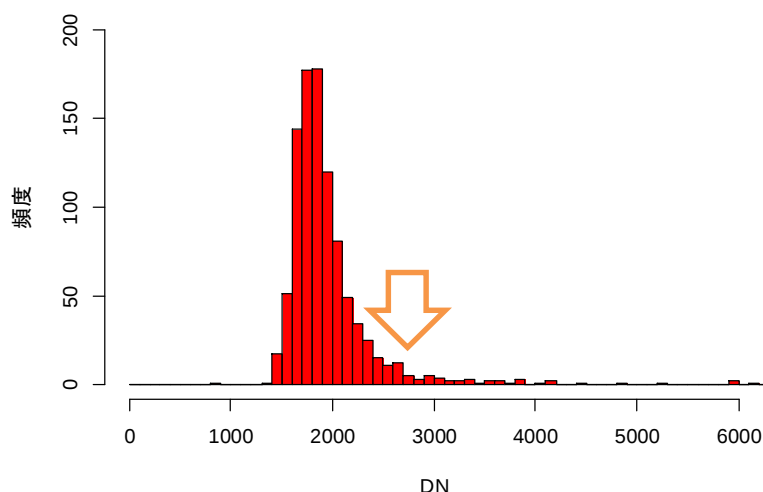
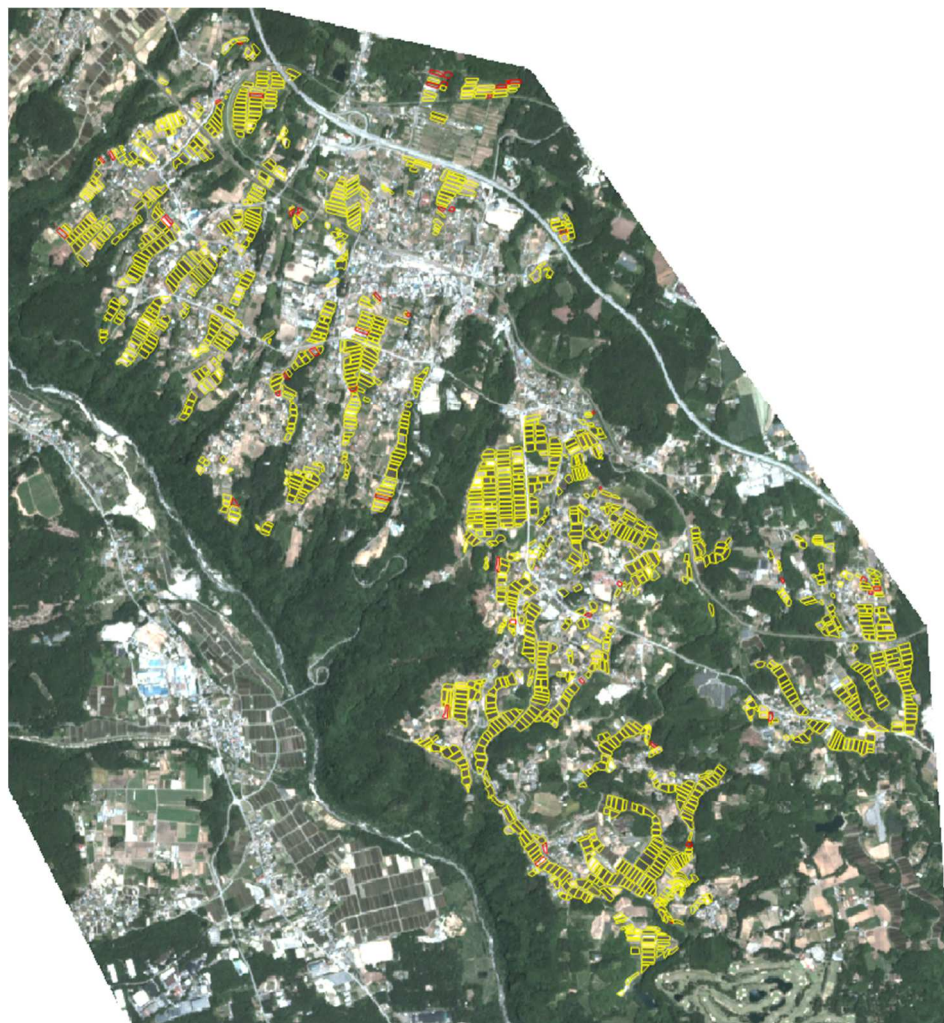


図 2.25 PALSAR-2 後方散乱強度の閾値法による耕地・維持管理以外の圃場の推定



筆ポリゴンデータを加工して使用

-  2800DN以上（耕地等ではない可能性あり）
-  2800DN以下（耕地等である可能性あり）

2. 3. 4 成果のまとめ

中山間地域等直接支払制度における協定農用地の土地利用が、牧草が主体の別海町と稲作が主体の北杜市において、限定的な現地情報のみであっても、衛星データの解析により、一定の確度を持って、管理状況が「耕作の適」や「維持管理の適」の農用地を抽出する手法を、土地利用状況に合わせて開発した。これらの手法を現地確認調査に適用すれば、衛星データの解析により耕作又は維持管理されていることについて、一定の確度を持つ農用地の調査は必要なく、確度が曖昧な農用地のみを対象とすることができる。

また、中山間地域等直接支払制度の対象地域において、大きな割合を占める水稻作を衛星データから判別することができれば、現地確認調査を効率化できる。

これらをまとめると以下の様になる。

- (1) 土地利用が牧草主体である場合、光学衛星データの時系列解析によって、牧草は刈り取りによって急激に近赤外バンドの反射率が低下する特性があることが判明。現地確認調査は、低下レベルが低い協定農用地を優先的に対象とすることが可能。【反射率差分最小値法】
- (2) 土地利用が水稻主体である場合、光学衛星データの時系列解析によって、管理状況が「耕作の適」であっても、「維持管理の適」と同様の特徴を持つ農用地を類似度で抽出する技術を開発。「耕作の適」であってもグレーゾーンにある農用地として優先的に現地調査の対象として抽出することが可能。【反射率類似度法】
- (3) 5月下旬～6月上旬の光学衛星による近赤外バンド反射率の閾値解析によって、水稻作である圃場を抽出する技術を開発。水稻作であれば「耕作の適」であることから、その農用地の調査を省略することが可能。【反射率閾値法】
- (4) レーダ衛星のセンサである PALSAR-2 の後方散乱強度の閾値解析によって、「耕作」もしくは「維持管理」されている農用地を抽出する技術を開発。現地確認調査は、一定の確度以下のグレーゾーンの農用地のみとすることが可能。【後方散乱強度閾値法】

2. 3. 5 確度の向上に向けた課題、対応方策等

前述2. 3. 4で記述したそれぞれの手法の確度を向上させるためには、以下の技術的な課題に対処する必要がある。

(1) 土地利用が牧草主体である場合

草地に森林が入り込んでいる場合があるが、反射率の低下レベルが見かけ上、小さくなる。予め森林を協定農用地から除外して解析すれば誤判別を極力低減できるが、一方、森林は複雑に入り込んでおり、その判読や分類は多大な労力がかかる。このため、市町村から入手した地番を基に作成されているポリゴンではなく、現況の農用地をポリゴン化した筆ポリゴンを活用すべきである。

また、光学センサだけでなく SAR のデータも用いることにより、牧草の刈り取りに伴い減少すると予想される体積散乱の減少による後方散乱強度の低下を用いた手法の開発も検討すべきである。この場合、実際の牧草の体積散乱の増減が、SAR でとらえられるか確認するとともに、牧草の変化は急激に起こることから可能な限り短い観測周期の SAR のデータを用いる必要がある。

(2) 土地利用が水稻主体である場合

各手法を実務に適用するためには、精度検証のための調査を実施する必要がある。なお、精度検証により各手法における現地確認調査の対象となる農用地の絞り込みが可能となる。

2. 3. 6 衛星データを活用した場合の経費及び所要労力の節減効果

実装化にあたっては、現行の手法に衛星データを加えた場合の時間と費用の検討をする必要がある。そこで別海町と北杜市の聞き取りを基に、費用と作業効率（スケジュール）を比較した。聞き取りにおける費用と作業効率に関するまとめを表 2.5 に示す。なお、本制度では、自治体は 9 月末までに現地調査を終了し、10 月末までに都道府県に現地調査を含め、協定農用地に関する書類を提出する必要がある。

別海町ではセスナ機を利用した上空からの見回り調査によって、他の自治体とは比較にならないほど効率化が既になされている。これは、広大な面積と、協定農用地へのアクセスの困難さから、仮に車両による目視確認をした場合、2000 時間以上かかるという試算もあり、実行不可能であるからである。そのため、農用地の GIS 化も含め、先進的な業務を実施している。

一方、北杜市は従来の紙ベースの資料を用い、なおかつ支所ごとにまとめていることから、表 2.5 に示した作業は支所ごとの結果となり、北杜市全体ではこの 8 倍が費用と作業日数になる。そのため、両自治体から、衛星データの活用にあたり表 2.6 に示す期待が寄せられた。

現行調査を衛星によって効率化した場合の費用と作業効率の比較を表 2.7 及び表 2.8 および図 2.26 に示す。表 2.7 では、別海町と北杜市それぞれの現状における費用を、表 2.8 には人工衛星を活用した場合の費用を示す。なお、表 2.8 では今回の検討を基に試算した費用と、将来の効率化を見込んだ費用の試算の両方を記載した。将来の効率化では、人工衛星の利用が当然となり、費用と人員が大幅に削減もしくは省略されている状況を想定している。その結果、現時点で非常に効率化されている別海町では、衛星データ代により全費用は取りまとめ等の実働日数を 10 日間から 8 日間へと抑えられるが、経費は 2 倍となる。但し、衛星データを活用した場合、セスナ機調査に比べ、農用地のポリゴン・GIS データと衛星データによって現況を正確に把握することが可能となり、見落とし等の誤差を生じない利点がある。

一方、一般的な自治体の現状を表していると考えられる北杜市では、1 旧市町村あたり実働日数は 31 日間から 10 日間と 3 分の 1 に短縮でき、経費は衛星データ代を含めても半分となる。また、現在は市職員が自動車による見回りの際、証拠写真を地図等に撮影箇所を記録しながら撮影しているところ、衛星画像の活用によりその代替が可能となり、現地確認調査後の整理においては、想定以上の貢献が期待できる。人工衛星の利用が必然かつ簡易になれば、当初は必要となる衛星データ解析の外部委託費も大幅に削減できるか無くすことができると考えられる。

別海町および北杜市において、現状の対応と人工衛星の活用した対応における作業フロ

一の対比図を図 2.27 に示す。現状では現地調査ととりまとめに多大な時間と人員がかかっている。一方、人工衛星の活用では、人工衛星データを自動で取得されているため、自治体の負担はない。衛星画像の解析においても、解析対象や時期を自治体に合わせて絞り込めば、費用と時間は大幅に圧縮できると考えられる。それに加えて現地調査と取りまとめの人員と費用は大きく抑えられることから、人工衛星の活用によって、総合的な人員と費用は現状より抑えられると考えられる。

衛星画像の購入費用は、対象となる自治体の広さによって変動すると考えられる。仮に北杜市（旧小淵沢町と旧白州町）において PALSAR-2 も活用して「耕作」や「維持管理」を抽出する手法を採用した場合、民間企業からの購入を想定すると PALSAR-2 の 1 シーンの国内向け購入費用は 8 万円となる（ただし、新規撮影注文ではなくアーカイブ画像の購入を想定、観測要求をしたうえでの撮影では 3 万 7 千円別途発生する）。本業務の検討により、複数時期のシーンが必要となることから、年間 4 シーンを想定すると、32 万円となる。また、北杜市や別海町において PlanetScope を半年間利用無制限で購入した場合、150 万円かかるが、これは最大の見積となる。各自治体において解析対象や時期を絞り込めば、PlanetScope の購入費用はこれ以下に抑制できる。衛星画像代は新たな手法において大きな割合を占めるが、従来の手法における人件費の様に削減できない項目ではなく、解析対象や時期の絞り込みによって、大きく減少させることができる。また、将来的には空間解像度 3.2 m のマルチスペクトルセンサを搭載した ALOS-3（2020 年度打ち上げ予定）や、観測頻度が 2 週間に 1 回となる Lバンド合成開口レーダ PALSAR-3 を搭載した ALOS-4（2021 年度打ち上げ予定）を活用することにより、より頑健性や汎用性のある利用技術を開発できると考えられる。

また、衛星を活用した手法では衛星画像の解析費用が発生する。当初においては外部委託の費用が生じるが、各自治体において解析対象や時期を絞り込めば、解析手法自体をルーチン化やコモディティ化することが可能と考えられる。外部委託費用の試算を表 2.9 に示す。なお、本試算は委託先の業務経験によって大きく上下する可能性がある。本業務において検討した手法も、すべてフリーのソフトウェアで開発していることから、将来的には、自治体職員がルーチンとして解析することにより、外部委託費も大きく減少もしくは無くすることが可能であると考えられる。なお、解析手法のコモディティ化によっては、地元企業が全て対応することも十分に可能であると想定している。

以上、別海町は特殊な事例と考えれば、衛星画像を活用した手法は、労力及び経費の削減に有効であると考えられる。

表 2.5 別海町と北杜市における現行の現地調査の整理

	別海町	北杜市（各支所）
準備作業	1～数日以下	1～数日以下
現地調査期間	9月中旬 （実働1日）	水稲刈取後の8月末～9月 （実働7～10日）
現地調査資料	地番図・図面	地籍図・住宅地図・前年度調査図面
現地調査方法	セスナから全圃場をカメラ撮影	車両巡回による全圃場目視確認。調査結果を図面に記載。定点写真撮影（複数圃場が映る遠景）。
現地確認内容	画像から放棄されていないか確認。仮に放棄されている圃場は機上から目視でも容易に判別可能。	水田機能の維持（畦・土手機能や樹木の有無）を目視確認。
整理期間	1か月（実働約7日）	1か月（実働約10日）

表 2.6 衛星データ活用に対する期待

別海町	北杜市
一次解析（教師なし分類）におけるクラスター1が削減できると効率化できる。→差分最小値法によって実現したため、効率化できると考えられる。	耕作圃場だけでも区別できれば非常に有用。
衛星画像を見るだけでも、牧草の生育の状況が場所と合わせて推定できる（泥炭地に近い圃場ほど生育が悪く見える等）	教師なし分類の結果だけでも、作付が推定できるので有用。
	衛星画像は現地調査の証拠として残るので、事務処理の簡素化に有用。

表 2.7 現状における費用

別海町

1. 準備作業実働					備考
技師B	技師C	実働日数	小計		
40,600		1	40,600		職員実施と仮定
2. 現地調査					
技師B	技師C	実働日数			
40,600	32,700	1	73,300		セスナ搭乗
セスナチャーター代	実働日数				
450,000	1		450,000		別海町負担分
3. とりまとめ・整理					
技師B	技師C	実働日数			
36,600		10	366,000		職員実施と仮定
総額			929,900		

北杜市

1. 準備作業実働					備考
技師B	技師C	実働日数	小計		
40,600		1	40,600		職員実施と仮定
2. 現地調査					
技師B	技師C	実働日数			
40,600	32,700	10	733,000		職員実施と仮定
車両費（ガソリン代込み）	実働日数				
5,000	10		50,000		リースを想定
3. とりまとめ・整理					
技師B	技師C	実働日数			
40,600		10	406,000		職員実施と仮定
小計（支所あたり）			1,229,600		
支所数			8		
総額			9,836,800		

表 2.8(1) 人工衛星を活用した費用（別海町）

今回の検討を基にした試算				将来の効率化を見込んだ試算				備考	
1. 準備作業実働									
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	職員実施と仮定	
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			
40,600	32,700	3	219,900	40,600	32,700	1	73,300	確認が必要な圃場のみ	
衛星画像代		数量		衛星画像代		数量		PlanetScope想定	
3,000,000		1	3,000,000	3,000,000		1	3,000,000	別海町全域1,320km ²	
衛星解析外部委託費				衛星解析外部委託費					
2,000,000		1	2,000,000	2,000,000		0	0	詳細別表参照 将来的には職員による自動解析を想定	
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			
40,600		3	121,800	40,600		1	40,600	職員実施と仮定	
総額			5,382,300	総額			3,154,500	光学衛星のみ	

表 2.8(2) 人工衛星を活用した費用（北杜市）

今回の検討を基にした試算				将来の効率化を見込んだ試算				備考	
1. 準備作業実働									
技師B	技師C	実働日数	小計	技師B	技師C	実働日数	小計	職員実施と仮定	
40,600		1	40,600	40,600		1	40,600		
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		職員実施と仮定	
40,600	32,700	3	219,900	40,600	32,700	1	73,300		
車両費（ガソリン代込み）		実働日数		車両費（ガソリン代込み）		実働日数		リースを想定	
5,000		3	15,000	5,000		1	5,000		
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		職員実施と仮定	
40,600		3	121,800	40,600		1	40,600		
小計（支所あたり）			397,300	小計（支所あたり）			159,500		
支所数			8	支所数			8		
衛星画像代PlanetScope			1,500,000	衛星画像代PlanetScope			1,500,000	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	詳細別表参照 将来的には職員による自動 解析を想定	
総額			6,998,400	総額			3,096,000	光学衛星とSAR衛星両方	
総額			6,678,400	総額			2,776,000	光学衛星のみ	
総額			5,498,400	総額			1,596,000	SAR衛星のみ	

表 2.9 衛星解析外部委託費の試算

大項目	中項目	小項目			計	備考
直接費					1,174,900	
	直接人件費				1,164,900	
			技師B	技師C		備考
		単価	40,600	32,700		農林水産省技術者基準日額（令和2年度）
			人日	人日		
		計画・準備	1	2	106,000	衛星画像選定含む
		衛星画像前処理	3	3	219,900	
		解析	5	5	366,500	
		GIS処理	3	3	219,900	
		報告書作成	1	2	106,000	
		打合せ	2	2	146,600	初回及び納品
	直接経費				10,000	
			単価	数量		
		車両費(含燃料費)	5,000	2	10,000	リースを想定
技術経費					232,980	直接人件費×20%
一般管理費等					422,364	(直接費+技術経費)×30%
消費税					183,024	税率10%
合計					2,013,268	

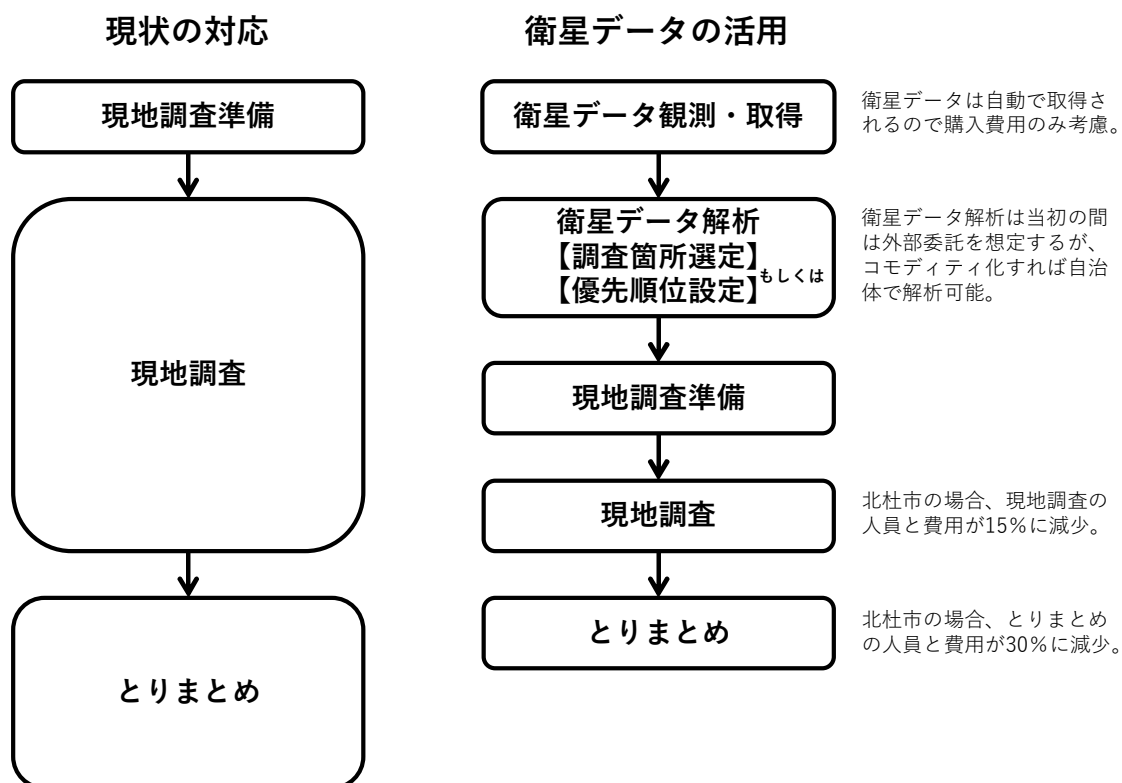
図 2.26(1) 作業効率の比較（別海町）

別海町	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	備考
牧草栽培期			施肥	一帯草刈り取り		二帯草刈り取り							
中山間地域直接支払制度 (現在の制度上の工程の目安)						9月末 現地調査終了	10月末 県への結果提出						
現状の対応													
現地調査準備						※1：準備期間はごく僅か							地蔵図の出力
現地調査による確認作業						撮影							セサナから写真撮影。実働：2名×1日
現地調査結果とりまとめ							約1ヶ月間						職員でとりまとめ。実働：2週間程度
個別農家への確認等													なし
人工衛星の活用													
衛星データ観測													
衛星データ解析・データ提供													
自治体での対応													
現地調査準備													
現地調査による確認作業						実働数日							衛星データから判別困難な圃場のみを対象
現地調査結果とりまとめ							約1ヶ月間						現地調査対象圃場のみ整理と想定
個別農家への確認等													なし

図 2.26(2) 作業効率の比較（北杜市）

北杜市	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	備考
水稲栽培期			田植え		出穂期	刈取期							農林水産省平成30年度水稲統計情報参照
2018年 前期-最盛期-終期			5/13-5/28-6/18		7/30-8/6-8/29	9/11-10/4-/**							
【参考】													
牧草地（経営牧草地）			秋蒔まで4月末頃～10月末頃までに複数回刈取										
水稲早生品種（五右衛門）													
中山間地域直接支払制度 (現在の制度上の工程の目安)						9月末 現地調査終了	10月末 県への結果提出						
現状の自治体での対応													
現地調査準備						※1：準備期間はごく僅か							地蔵図・住宅地図・前年調査結果図
現地調査による確認作業						実働10日間程度							全数調査
現地調査結果とりまとめ							約1ヶ月間						実働：2名×10日（支所によっては10～20日） 専車：1台
個別農家への確認等													職員でとりまとめ（臨時職員応援の場合あり）実働：2週間程度
人工衛星の活用													
衛星データ観測													
衛星データ解析・データ提供													
自治体での対応													
現地調査準備													
現地調査による確認作業						実働数日程度							衛星データから判別困難な圃場のみを対象
現地調査結果とりまとめ							約1ヶ月間						現地調査対象圃場のみ整理と想定
個別農家への確認等													なし

図 2.27 現状の対応と人工衛星の活用を想定した対応における作業フローの対比



2. 3. 7 全国展開に向けた課題整理

今回、本事業で開発した手法の全国展開を念頭に、事業全体を鑑みると、今後、以下のような課題への対処が必要である。

- 今回は、牧草地と水稲作が中心となる作付けが単純な地域を対象とした。このような地域では、現地情報が限られていても、一定の解析技術の開発を行うことができた。しかし、今後、全国展開を考慮した場合、多様な作付作物にも対応する必要があるが、中山間地域等直接支払制度における確認調査野帳の記載内容には作付情報はないことから、作付が多様な地域では、「耕地」や「維持管理」の絞り込みは難しくなると考えられる。このため、別途、農林水産省統計部で研究されている作付判読の成果の導入を図るべきである。
- 自治体によっては協定農用地の地図や確認野帳の結果がデジタル化されておらず、紙ベースでのみ整理されている場合がある。衛星データによる現地作業の効率化手法の全国展開にあたっては、全国の農用地が統一された基準でポリゴン化され、地番情報と紐付けられた GIS データが必要となる。本件は、現在、別途、農林水産省のデジタルトランスフォーメーションの一環としてデジタル地図の統一化の検討が進められているが、その進展が期待される。
- 今回、光学衛星として利用した PlanetScope は、ほぼ毎日連続して観測データを入手できる同一メーカーの複数衛星で成り立っているが、判別精度向上のためには衛星同士のデータの補正方法を確立する必要がある。これは、同じメーカーの衛星センサであっても、個別機器ごとにセンサの感度が微妙に異なることから、例え同じ対象物を同じ条件で撮影したとしても全く同じ観測結果とはならず、判別の誤差要因となるからである。今後、具体的な課題解決方法を検討すべきである。

2. 3. 8 業務実施報告

以上の成果や課題を業務実施報告書に記載した。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。

- ① 作業計画書（電磁的記録媒体） 2部（契約締結後5日以内）
- ② 研究会、打ち合わせ会議等資料（電磁的記録媒体） 2部（終了後5日以内）
- ③ 研究会、打ち合わせ会議等議事録（電磁的記録媒体） 2部（終了後5日以内）
- ④ 業務実施報告書（電磁的記録媒体） 2部（令和2年3月13日）
- ⑤ 本業務において作成した検証データセット、解析モデル等（電磁的記録媒体） 一式（令和2年3月13日）

2. 4 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1ヶ月に1回および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2.8に示す。打ち合わせ会議の終了後、5日以内に議事概要を作成し、担当部署の承認を受けた。

表 2.8 打ち合わせ会議実績

	開催日	内容
第1回	2019年11月5日	第1回研究会内容について。
第2回	2019年12月26日	解析範囲確定について。PALSAR-2解析について。
第3回	2020年1月30日	第2回研究会内容について。
第4回	2020年2月28日	第3回研究会内容について。

【補足】衛星データから発生させた DEM の検討

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は、農用地区画ごとの土地利用状況のみならず、傾斜角度も重要な要素となる。日本国内であれば、国土地理院により、航空写真測量や航空レーザー測量による地形の更新が定期的に行われている。しかし、その更新頻度は、近年の圃場整備の更新と必ずしも整合していないことがある。一方、衛星データによる測量によっても、地形を計測することができる。衛星は常に地表を観測していることから、衛星データによって発生させた地形情報（Digital Elevation Model: DEM）が中山間地域等直接支払交付金の制度が要求する地形の精度を満たしていれば、圃場整備の更新に合わせて、地形を把握することができる。さらに、衛星データから発生させた DEM は、社会的な重要性から、フリーで公開されているデータもある。そこで、本業務では、国土地理院が発行しているフリーで利用できる最高解像度の DEM である「数値標高モデル 5m メッシュ（DEM5A）」を基準として、衛星データから発生させた DEM の精度を検討した。

本業務で検討した衛星データは経済産業省が製造した光学衛星センサ ASTER データから作成した ASTER/GDEM 及び JAXA が運用した ALOS-1 に搭載された光学衛星センサ PRISM から作成した AW3D30 である。なお、スペースシャトルに搭載したレーダデータから作成した SRTM3 もあるが、空間解像度が低いので検討対象としなかった。表 2.9 に空間解像度と標高精度を示す。また、本業務において地形を検討すべき地域は北杜市であることから（別海町はほぼ平坦であることから）、本検討は北杜市の解析範囲において実施した。

表 2.9 衛星データによる DEM の精度

製品名	空間解像度	標高精度	提供範囲
SRTM3	約 90m	10m 以内	陸域全球
ASTER/GDEM	約 30m	7～14m 以内	陸域全球
AW3D30	約 30m	5m 以内	陸域全球
数値標高モデル 5m メッシュ（DEM5A）	約 5m	0.3m 以内	国内の都市域・河川 流域等

解析範囲における各 DEM のラスター画像を図 2.28 に、標高の頻度分布を図 2.29 に示す。その結果、ASTER/GDEM と AW3D30 は、ほぼ DEM5A と同じ傾向であった。次に、各 DEM の相関を検討した結果（図 2.30）、本地域では ASTER/GDEM よりも AW3D30 の方が、DEM5A との相関が高かった。このことから、DEM5A との詳細な比較は AW3D30 とした。DEM5A の空間解像度は 5m であり、AW3D30 は 30m であることから、DEM5A の空間解像度を 30m にリサンプリングして比較した。DEM5A と AW3D30 の傾斜区分図を

図 2.31 に、頻度分布図を図 2.32 に示す。その結果、AW3D30 と空間解像度をリサンプリングした DEM5A は、ほぼ同じ傾向を示すことが分かった。次に、連続して傾斜地にある実際の協定農用地を対象に地形断面図を比較した。比較した側線の位置を図 2.33 に、縦断面図を図 2.34 に示す。なお、DEM5A との比較を直接するために、DEM5A では 5m 空間解像度と 30m 空間解像度の両方を示した。また、図 2.34 では、縦断線の標高だけでなく、傾斜も示した。その結果、DEM5A では、畦畔の法面も詳細に表現されていることが分かる。ただし、詳細に表現されすぎており、協定農用地の地形の傾斜の概要は表されていない。一方、30m 空間解像度にリサンプリングされた傾斜は、協定農用地の地形の傾斜の概要を表していると考えられる。これと AW3D30 の傾斜を比較すると、ほぼ同じ精度で地形を計測できていると考えられる。このことから、人工衛星データから生成した DEM を用いて、中山間地域等直接支払交付金の制度に用いることができる地形情報を提供できると考えられる。なお、AW3D30 の元データとなる PRISM を搭載した ALOS-1 は 2011 年以降、運用停止となっているが、同等以上の性能を持つ衛星センサ (WorldView シリーズ) によって、有償ではあるものの、AW3D30 以上の精度を持つ AW3D が利用可能である。

図 2.28 各 DEM のラスター画像

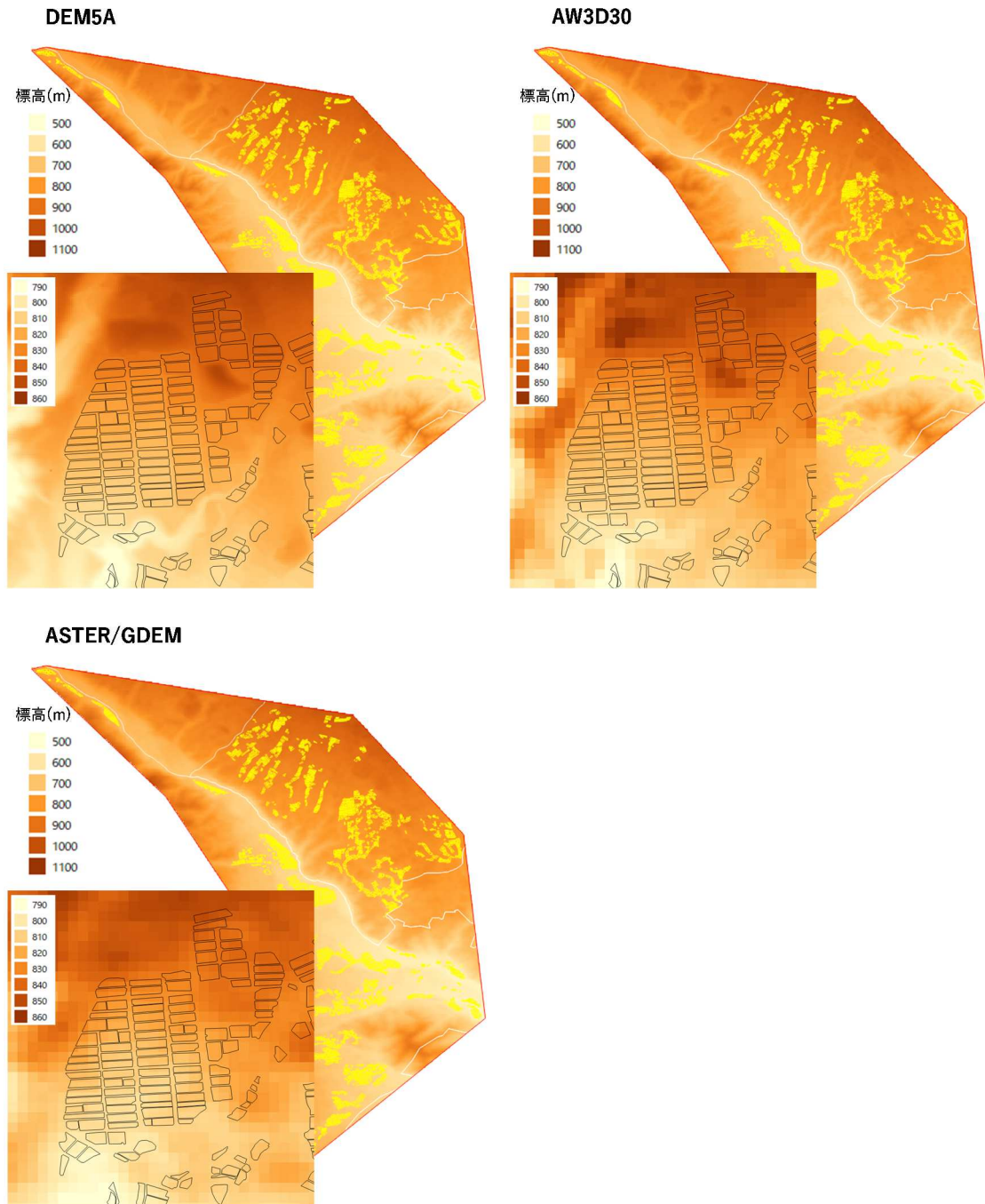
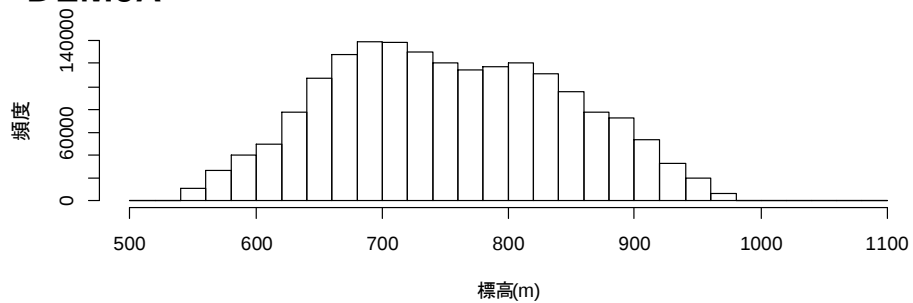
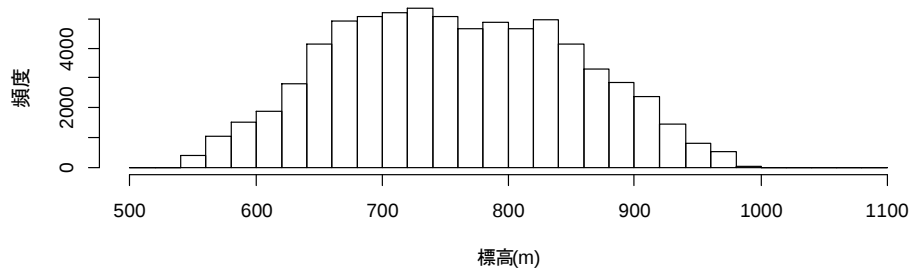


図 2.29 各 DEM の標高の頻度分布

DEM5A



AW3D30



ASTER/GDEM

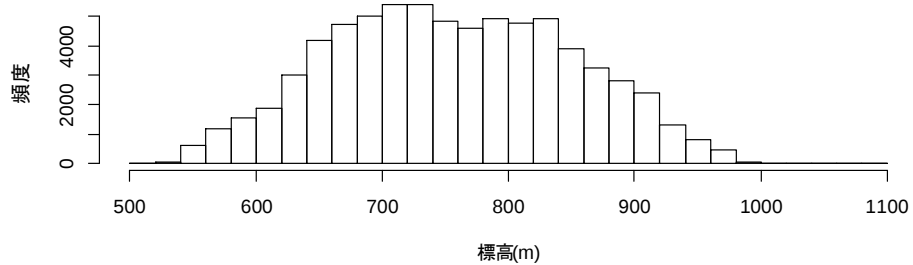


図 2.30 各 DEM の相関

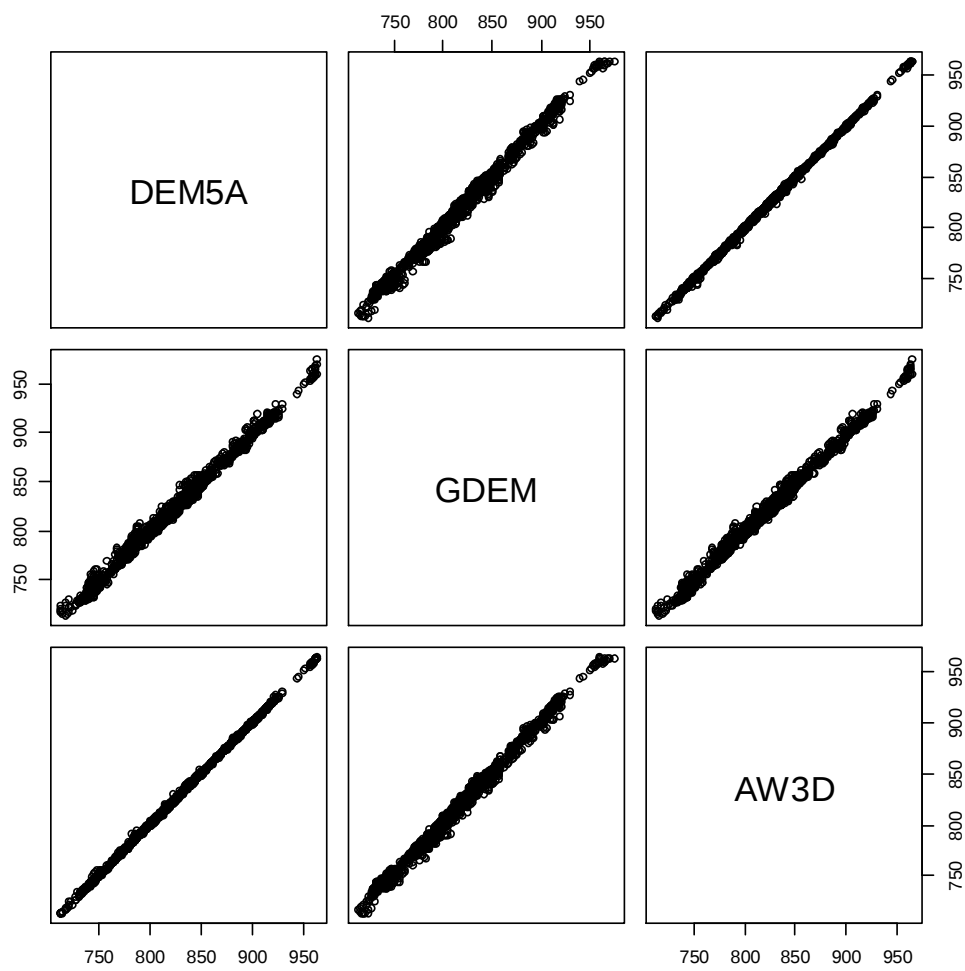
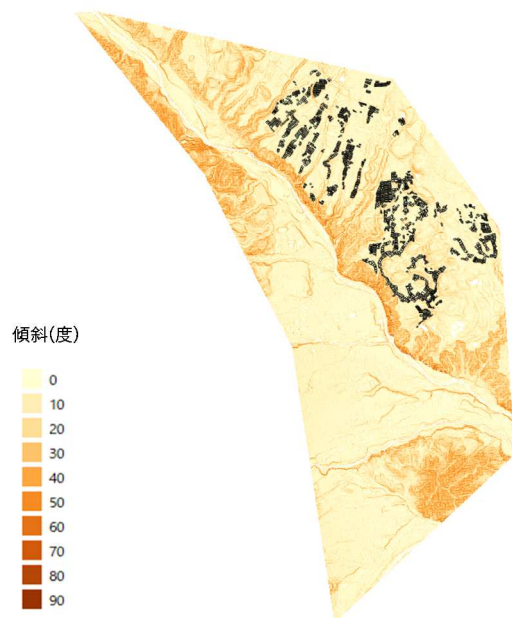
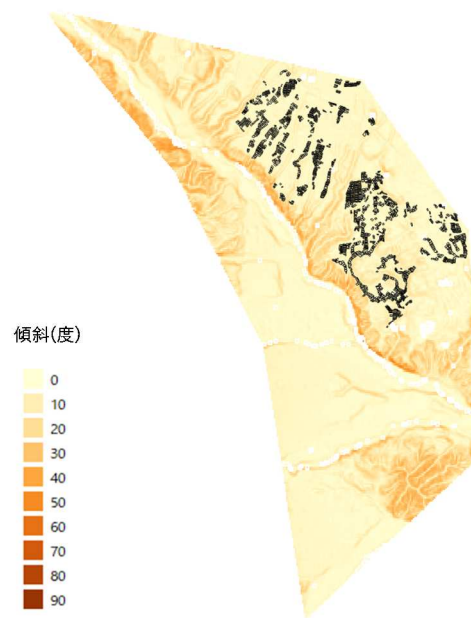


図 2.31 DEM5A と AW3D30 の傾斜区分図

DEM5A (解像度約5m)



DEM5A (解像度約30m)



AW3D30 (解像度約30m)

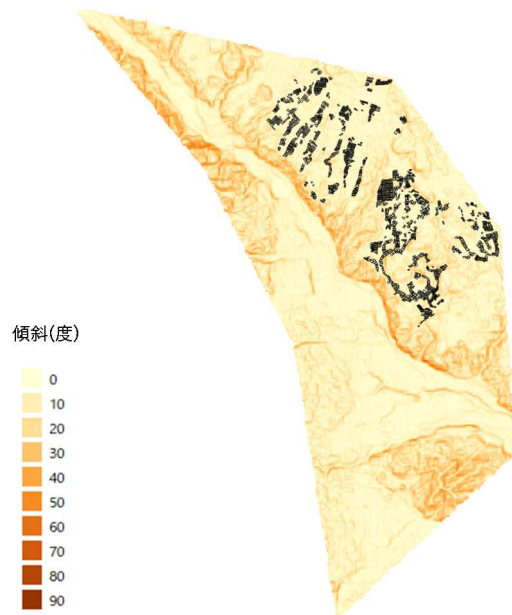
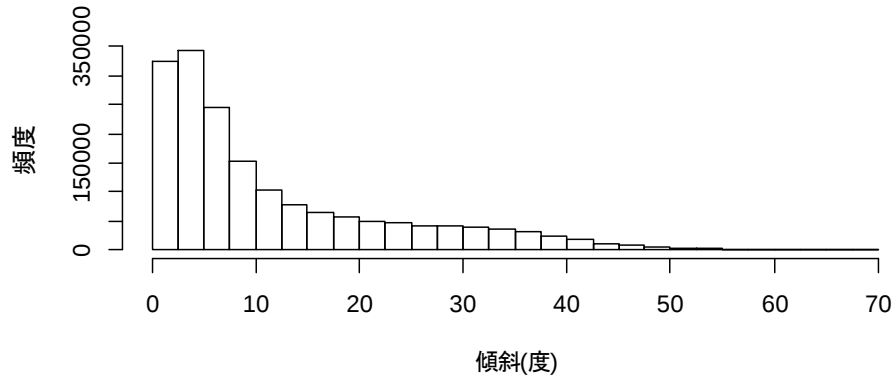
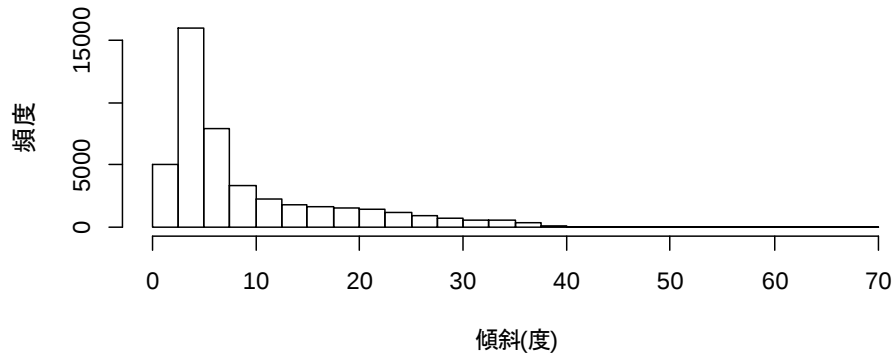


図 2.32 DEM5A と AW3D30 の頻度分布図

DEM5A (解像度約5m)



DEM5A (解像度約30m)



AW3D30 (解像度約30m)

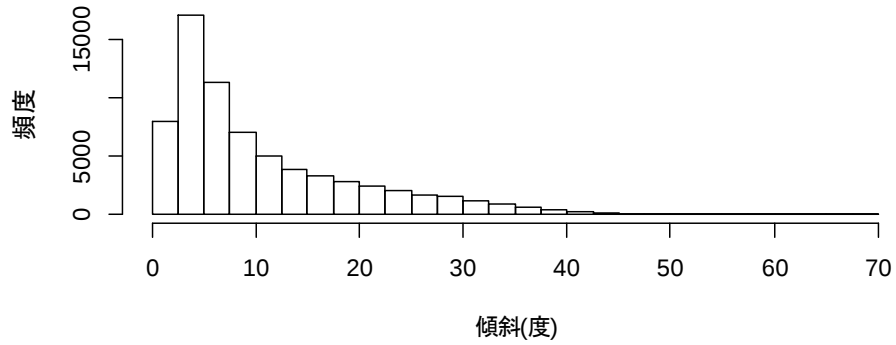


図 2.33 縦断面図位置 (DEM5A)

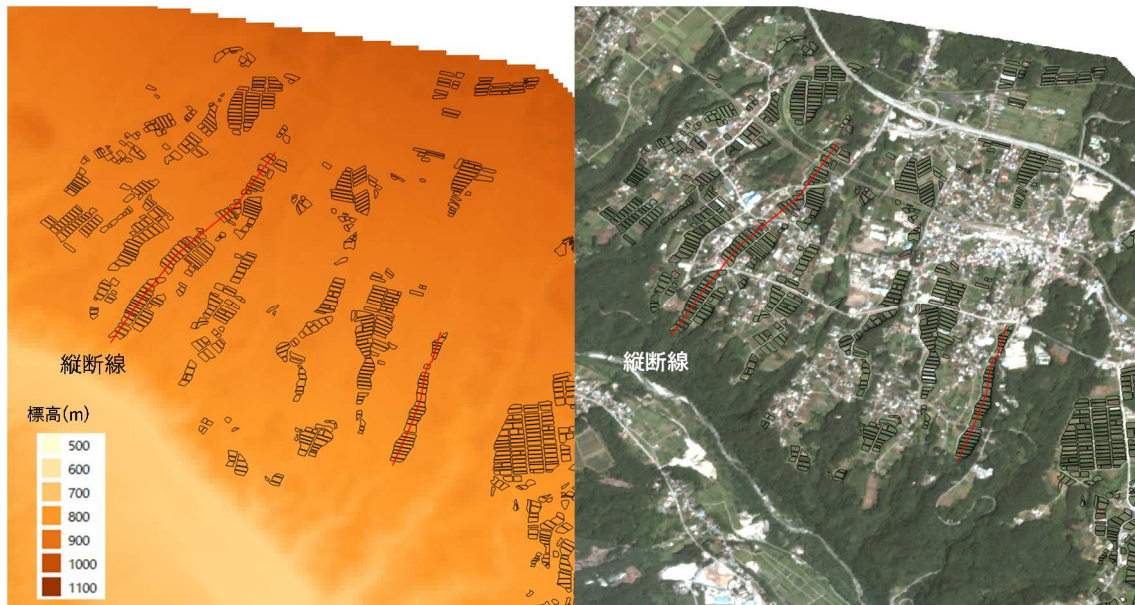
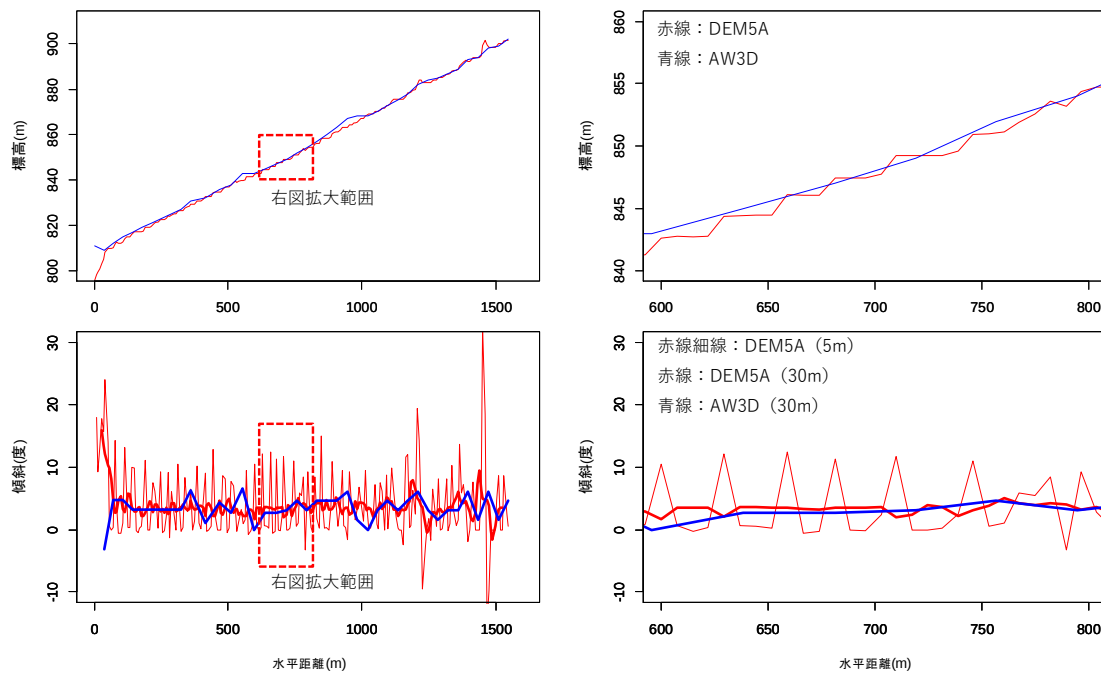


図 2.34 DEM5A と AW3D30 の縦断面図



添付資料

添付資料 1 論文リスト

添付資料 2 協定農用地の確認野帳の形式

添付資料 3 K-means 法の概要

添付資料 4 合成開口レーダ SAR の説明

添付資料 1 論文リスト

No.	論文諸元							文献調査結果					
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	解析手法	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
1	Smallholder maize area and yield mapping at national scales with Google Earth Engine	Zhenong Jina, George Azzaria, Calum Youa Stefania Di Tommasoa, Stephen Aston, Marshall Burkea, David B. Lobella	2019	228	-	115-128	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	Sentinel-1 Sentinel-2	Maize	-
2	Field-level crop yield mapping with Landsat using a hierarchical data assimilation approach	Yanhui Kang, Mutlu Özdoğan	2019	228	-	144-163	Remote Sensing of Environment	MCMC	Kalman Filter	-	Landsat series	Maize	-
3	Machine learning and multi-sensor based modelling of woody vegetation in the Molopo Area, South Africa	Marvin Ludwig, Theunis Morgenthal, Florian Detsch, Thomas P.Higginbottom, Maite Lezama, Valdesa Thomas Nauß, Hanna Meyer	2019	222	-	195-203	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	Seintien-1 Sentinel-2	Woody Vegetation	Molopo Area, South Africa
4	Crop type mapping without field-level labels: Random forest transfer and unsupervised clustering techniques	Sherrie Wang, George Azzaria, David B.Lobella	2019	222	-	303-317	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	Fourier transform	-	Landsat series	-	US Midwest
5	Joint Deep Learning for land cover and land use classification	Ce Zhang, Isabel Sargent, Xin Pan, Huapeng Li, Andy Gardiner, Jonathon Hareem, Peter M.Atkinson	2019	221	-	173-187	Remote Sensing of Environment	MultiLayer Perceptron (MLP) Convolutional Neural Network (CNN)	-	-	VFSR	-	Southampton and Manchester
6	Satellite mapping of tillage practices in the North Central US region from 2005 to 2016	George Azzari, Patricio Grassini, Juan Ignacio , Rattalino Edreir, Shawn Conley, Spyridon Mourtzinis, David B.Lobella	2019	221	-	417-429	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	Landsat series Sentinel-1	-	The entire North Central US
7	Deep learning based multi-temporal crop classification	Liheng Zhong, Lina Hu, Hang Zhou	2019	221	-	430-443	Remote Sensing of Environment	Deep Neural Networks (DNN) Long Short-Term Memory (LSTM) One-dimensional convolutional (Conv1D) layers XGBoost Random Forest (RF) Support Vector Machine (SVM)	-	-	Landsat Enhanced Vegetation Index (EVI) time series	Economic crops	Yolo County, California
8	dPEN: deep Progressively Expanded Network for mapping heterogeneous agricultural landscape using WorldView-3 satellite imagery	Paheding Sidike, Vasit Sagan, Maitinyazi Maimaitijiang, Matthew Maimaitiyiming, Nadia Shakoor, Joel Burken, Todd Mockler, Felix B.Fritschl	2019	221	-	756-772	Remote Sensing of Environment	deep Progressively Expanded Network (dPEN)	-	-	WorldView-3	Corn and Soybean	Columbia, US
9	Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping	Patrick Griffiths, Claas Nendel, Patrick Hostert	2019	220	-	135-151	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	Sentinel-2 Landsat series	Cereals and Maize	Germany
10	Generalizing machine learning regression models using multi-site spectral libraries for mapping vegetation-impervious-soil fractions across multiple cities	Akpona Okujeni, Frank Cantera, Sam D.Cooper, Jeroen Degerickx, Uta Heiden, Patrick Hostert, Frederik Priem, Dar A.Roberts, Ben Somers, Sebastian van der Linden	2018	216	-	482-496	Remote Sensing of Environment	Support Vector Regression (SVR)	-	-	EnMAP	-	Berlin (Germany), Brussels (Belgium), and Santa Barbara (US)

No.	論文諸元							文献調査結果					
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	解析手法	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
11	A high-performance and in-season classification system of field-level crop types using time-series Landsat data and a machine learning approach	Yaping Cai, Kaiyu Guan, Jian Peng, Shaowen Wang, Christopher Seifert, Brian Wardlow, Zhan Li	2018	210	-	35-47	Remote Sensing of Environment	Deep Neural Network (DNN)	-	-	Landsat series	Corn and Soybean	US Corn Belt
12	Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis	Sory I.Toure, Douglas A.Stow, Hsiao-chien Shih, John Weeks, David Lopez-Carr	2018	210	-	259-268	Remote Sensing of Environment	geographic object-based image change analysis (GEOBICA)	-	-	Landsat series	-	USA
13	Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis	Mariana Belgiu, Ovidiu Csillik	2018	204	-	509-523	Remote Sensing of Environment	time-weighted dynamic time warping (TWDTW) Random Forest	Pixel- and object-based image	-	Sentinel-2	-	Romania, Italy and California
14	Towards fine resolution global maps of crop yields: Testing multiple methods and satellites in three countries	George Azzari, Meha Jain, David B.Lobell	2017	202	-	129-141	Remote Sensing of Environment	Both SCYM and PEAKVI	-	-	Landsat series Terra & Aqua/MODIS	-	US and Zambia
15	Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications	Amanda Veloso, Stéphane Mermoz, Alexandre Bouvet, Thuy Le, Toan Milena, Planells Jean-François Dejoux, Eric Ceschia	2017	199	-	415-426	Remote Sensing of Environment	Non Machine learning	NDVI	-	Sentinel-2	wheat, rapeseed, maize, soybean and sunflower	Southwest France
16	A new method for crop classification combining time series of radar images and crop phenology information	DamianBargiel	2017	198	-	369-383	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF) and Maximum Likelihood	-	-	Sentinel-1	Grasslands, maize, canola, sugar beets and potatoe	Northern Germany
17	Early season large-area winter crop mapping using MODIS NDVI data, growing degree days information and a Gaussian mixture model	Sergii Skakun, Belen Franch, Eric Vermote, Jean-Claude Roger, Inbal Becker-Reshef, Christopher Justice, Natalia Kussul	2017	195	-	244-258	Remote Sensing of Environment	Gaussian Mixture Model (GMM)	NDVI	-	Terra and Aqua/MODIS	-	Kansas, US and Ukraine
18	Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery	Feng Gao, Martha C. Anderson, Xiaoyang Zhang, Zhengwei Yang, Joseph G. Alfieri, William P. Kustas, Rick Mueller, David M. Johnson, John H. Prueger	2017	188	-	9-25	Remote Sensing of Environment	Non Machine learning	-	-	Landsat series Terra & Aqua/MODIS	Corn and Soybean	-
19	Development of methods to improve soybean yield estimation and predict plant maturity with an unmanned aerial vehicle based platform	Neil Yu, Liujun Li, Nathan Schmitz, Lei F. Tian, Jonathan A. Greenberg, Brian W. Diersa	2016	187	-	91-101	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	UAV	Soybean	-
20	A hybrid approach for detecting corn and soybean phenology with time-series MODIS data	Linglin Zeng, Brian D. Wardlow, Rui Wang, Jie Shan, Tsegaye Tadesse, Michael J.Hayes, Deren Li	2016	181	-	237-250	Remote Sensing of Environment	Shape-model fitting	-	-	MODIS 250-m Wide Dynamic Range Vegetation Index (WDRVI) time-series data and 1000-m Land Surface Temperature (LST) data	Corn and Soybean	Eastern Nebraska, US

No.	論文諸元							文献調査結果					
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	解析手法	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
21	A generalized computer vision approach to mapping crop fields in heterogeneous agricultural landscapes	Stephanie R. Debats, Dee Luo, Lyndon D. Estes, Thomas J. Fuchs, Kelly K. Caylor	2016	179	-	201-221	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	WorldView-2	-	South Africa
22	Conterminous United States crop field size quantification from multi-temporal Landsat data	Panel L. Yan, D.P.Roy	2016	172	-	67-86	Remote Sensing of Environment	Non Machine learning	-	-	Landsat 5/TM Landsat 7/ETM+	-	US
23	Assessing fruit-tree crop classification from Landsat-8 time series for the Maipo Valley, Chile	M. A. Peña, A. Brenning	2015	171	-	234-244	Remote Sensing of Environment	Linear discriminant analysis (LDA) Random Forest (RF) Support Vector Machine (SVM)	NDVI	-	Landsat 8/OLI	Fruit-tree crops	Central Chile
24	Mapping rice paddy extent and intensification in the Vietnamese Mekong River Delta with dense time stacks of Landsat data	Caitlin Kontgis, Annemarie Schneider, Mutlu Ozdogan	2015	169	-	255-269	Remote Sensing of Environment	Non Machine learning	-	-	Landast series	Rice	Mekong Delta
25	A scalable satellite-based crop yield mapper	David B. Lobell, David Thau, Christopher Seifert, Eric Engle, Bertis Little	2015	164	-	324-333	Remote Sensing of Environment	Scalable satellite-based Crop Yield Mapper (SCYM)	-	-	-	Maize and Soybean	In the Midwestern US
26	Tracking the dynamics of paddy rice planting area in 1986–2010 through time series Landsat images and phenology-based algorithms	Jinwei Dong, Xiangming Xiao, Weiwei Kou, Yuanwei Qin, Geli Zhang, Li Li, Cui Jin, Yuting Zhou, Jie Wang, Chandrashekhar Biradar, Jiyuan Liu, Berrien Moore III	2015	160	-	99-113	Remote Sensing of Environment	Phenology-based algorithm	Phenology timing and crop calendar	-	Landsat series	Rice	Northeast China
27	Mining dense Landsat time series for separating cropland and pasture in a heterogeneous Brazilian savanna landscape	Hannes Müller, Philippe Rufin, Patrick Griffiths, Auberto JoséBarros Siqueira, Patrick Hostert	2015	156	-	490-499	Remote Sensing of Environment	Landsat-derived spectral-temporal variability metrics	-	-	Landsat series	Cropland, pasture, and natural savanna vegetation	Brazilian Cerrado
28	Dynamic identification of summer cropping irrigated areas in a large basin experiencing extreme climatic variability	Jorge L. Peña-Arancibia, Tim R. McVicara, Zahra Paydara, Lingtao Li, Juan P. Guerschman, Randall J. Donohue, Dushmanta Dutta, Geoff M. Podgera, Albert I.J.M.van Dijk, Francis H. S. Chiewa	2014	154	-	139-152	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	Landsat 5/TM Landsat 7/ETM+ Terra and Aqua/MODIS	-	the Murray-Darling Basin, Australia
29	Near real-time prediction of U.S. corn yields based on time-series MODIS data	Toshihiro Sakamoto, Anatoly A. Gitelson, Timothy J. Arkebauer	2014	147	-	219-231	Remote Sensing of Environment	Non Machine learning	Wide Dynamic Range Vegetation Index (WDRVI)	-	Terra and Aqua/MODIS	Corn	-
30	Automated crop field extraction from multi-temporal Web Enabled Landsat Data	L. Yan, D. P. Roy	2014	144	-	42-64	Remote Sensing of Environment	Object-based approach	multi-temporal WELD data	-	Landsat series	-	-

No.	論文諸元						文献調査結果						
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	解析手法	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
31	Efficient corn and soybean mapping with temporal extendability: A multi-year experiment using Landsat imagery	Liheng Zhong, Peng Gong, Gregory S. Biging	2014	140	-	1-13	Remote Sensing of Environment	Image segmentation and curve-fitting Random Forest (RF)	Phenology	-	Landsat 5/TM Landsat 7/ETM+	Corn and Soybean	Doniphan County, Kansas
32	MODIS-based corn grain yield estimation model incorporating crop phenology information	Toshihiro Sakamoto, Anatoly A. Gitelson, Timothy J. Arkebauer	2013	131	-	215-231	Remote Sensing of Environment	Shape-Model Fitting Method	Phenology	-	Terra and Aqua/MODIS	Corn	Iowa, Illinois, Delaware, Minnesota, Ohio, West Virginia, Wisconsin, Michigan, Indiana, Nebraska, Kentucky, New York, South Dakota, Missouri, Pennsylvania, Tennessee, New Jersey and Maryland
33	Identification of "ever-cropped" land (1984–2010) using Landsat annual maximum NDVI image composites: Southwestern Kansas case study	Susan K. Maxwell, Kenneth M. Sylvester	2012	121	-	186-195	Remote Sensing of Environment	Non Machine learning	NDVI	-	Landsat series	-	Kansas
34	Winter wheat area estimation from MODIS-EVI time series data using the Crop Proportion Phenology Index	Yaozhong Pan, Le Li, Jinshui Zhang, Shunlin Liang, Xiufang Zhu, Damien Sulla-Menashe	2012	119	-	232-242	Remote Sensing of Environment	Non Machine learning Spectral Mixture Analysis	EVI	-	Terra and Aqua/MODIS	-	China
35	Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology	José M. Peña-Barragán, Moffatt K. Ngugi, Richard E. Plant, Johan Six	2011	115	6	1301-1316	Remote Sensing of Environment	Decision Tree (DT)	VI	-	Terra/ASTER	Orchards, vineyard, alfalfa and meadow	Yolo County, California
36	Improved classification of conservation tillage adoption using high temporal and synthetic satellite imagery	Jennifer D. Watts, Scott L. Powell, Rick L. Lawrence, Thomas Hilker	2011	115	1	66-75	Remote Sensing of Environment	Random Forest (RF)	-	-	Landsat series Terra & Aqua/MODIS	-	-
37	Evaluating multispectral remote sensing and spectral unmixing analysis for crop residue mapping	Anna Pacheco, Heather McNaim	2010	114	10	2219-2228	Remote Sensing of Environment	Spectral Unmixing Analysis	-	-	Landsat series SPOT	Soybean	-
38	A Two-Step Filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data	Toshihiro Sakamoto, Brian D. Wardlow, Anatoly A. Gitelson, Shashi B. Verm, Andrew E. Suyker, Timothy J. Arkebauer	2010	144	10	2146-2159	Remote Sensing of Environment	Shape-model fitting	-	-	Terra and Aqua/MODIS	Maize and Soybean	University of Nebraska-Lincoln
39	The spatial distribution of crop types from MODIS data: Temporal unmixing using Independent Component Analysis	Mutlu Ozdogan	2010	144	6	1190-1204	Remote Sensing of Environment	Independent Component Analysis (ICA)	Unmixing	-	Terra and Aqua/MODIS	Wheat	Kansas and Nebraska in the US and a third in northwestern Turkey

No.	論文諸元							文献調査結果					
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	解析手法	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
1	A new approach to predict normalized difference vegetation index using time-delay neural network in the arid and semi-arid grassland	Taosuo Wu, Haipeng Fu, Feng Feng & Hongmei Bai	2019	40	23	9050-9063	International Journal of Remote Sensing	Back Propagation Neural Network (BPNN) Time-Delay Neural Network (TDNN)	-	-	MODIS	Grassland	the southern central part of Hulunguir grassland, eastern of the Inner Mongolia Autonomous Region, China
2	Exploring intra-annual variation in cropland classification accuracy using monthly, seasonal, and yearly sample set	Yidi Xu, Le Yu, Zhigang Cai, Jiya Zhao, Dailiang Peng, Congcong Li, Hui Lu, Chaoqing Yu & Peng Gong	2019	40	23	8748-8763	International Journal of Remote Sensing	Random Forest (RF)	-	-	Landsat5/TM Landsat7/ETM+ Landsat8/OLI	active cropland, bare cropland, other vegetation, water, impervious, bare land, cloud, cloud shadow	Egypt, Ethiopia, South Africa
3	Mapping oak decline through long-term analysis of time series of satellite images in the forests of Malekshahi, Iran	Sadra Imanyfar, Mahdi Hasanlou & Vahid Mirzaei Zadeh	2019	40	23	8705-8726	International Journal of Remote Sensing	Linear Regression Support Vector Regression (SVR)	forest/non-forest classification effective spectral indices selection	-	Landsat7/ETM+	forest, urban, waterbody, farmland, rangeland	Zagros Mountains, Iran
4	Combining multi-scale textural features from the panchromatic bands of high spatial resolution images with ANN and MLC classification algorithms to extract urban land uses	Mojtaba Saboori, Ali Asghar Torahi & Hamid Reza Riyahi Bakhtyari	2019	40	22	8608-8634	International Journal of Remote Sensing	Maximum Likelihood Classifier (MLC) Artificial Neural Network (ANN)	Pan-sharpening Jeffries-Matusita Distance (JMD) grey level co-occurrence matrix (GLCM) Angular Second Moment (ASM)	MATLAB	WorldView-2 GeoEye-1 QuickBird	land-use classification	-
5	Convolutional neural network based heterogeneous transfer learning for remote-sensing scene classification	Huizhen Zhao, Fuxian Liu, Han Zhang & Zhibing Liang	2019	40	22	8506-8527	International Journal of Remote Sensing	Convolutional neural network (CNN)	Principal component analysis (PCA)	-	UC Merced dataset Brazilian coffee scenes (BCS) dataset Aerial images dataset (AID) - from Google Earth images	-	-
6	Crop classification with WorldView-2 imagery using Support Vector Machine comparing texture analysis approaches and grey relational analysis in Jianan Plain, Taiwan	Shiuan Wan & Shih-Hsun Chang	2019	40	21	8076-8092	International Journal of Remote Sensing	Support vector machine (SVM)	Grey relational analysis (GRA) Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM) Grey Relational Grade (GRG)	LIBSVM	WorldView-2	land cover (six different crop categories)	Taiwan Jianan Plain
7	Classifying the severity of basal stem rot disease in oil palm plantations using WorldView-3 imagery and machine learning algorithms	Heri Santoso, Hiroshi Tani, Xuifeng Wang, Agus Eko Prasetyo & Rei Sonobe	2019	40	19	7624-7646	International Journal of Remote Sensing	Support Vector Machine (SVM) Decision tree (DT) Random Forest (RF) JM distance analysis stepclass algorithm	-	R: varSel, klaR package	WorldView-3	Oil palm (healthy, unhealthy1-3) Basal stem rot (BSR)	North Sumatra, Indonesia
8	A random forest-based framework for crop mapping using temporal, spectral, textural and polarimetric observations	Iman Khosravi & Seyed Kazem Alavipanah	2019	40	18	7221-7251	International Journal of Remote Sensing	Random Forest (RF)	-	-	RapidEye	-	Manitoba, Canada
9	A computationally efficient multi-domain active learning method for crop mapping using satellite image time-series	Saeid Niazmardi, Saeid Homayouni & Abdolreza Safari	2019	40	16	6383-6394	International Journal of Remote Sensing	Multi-Domain Active Learning (MDAL) Multiple Kernel Learning (MKL) Active Learning (AL)	-	-	RapidEye and SPOT	-	-
10	Crop classification with WorldView-2 imagery using Support Vector Machine comparing texture analysis approaches and grey relational analysis in Jianan Plain, Taiwan	Shiuan Wan & Shih-Hsun Chang	2019	40	21	8076-8092	International Journal of Remote Sensing	Support Vector Machine (SVM)	NDVI GLCM	-	WorldView-2	-	Jianan Plain, Taiwan

No.	論文諸元							文献調査結果					
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	解析手法	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
11	Identifying crop planting areas using Fourier-transformed feature of time series MODIS leaf area index and sparse-representation-based classification in the North China Plain	Lan Xun, Pengxin Wang, Li Li, Lei Wang & Qingling Kong	2019	40	5-6	2034-2052	International Journal of Remote Sensing	Non machine learning	-	-	Terra&Aqua/MODIS	Winter wheat, spring maize, summer maize, cotton, and orchard	North China Plain
12	Spatial-temporal patterns of features selected using random forests: a case study of corn and soybeans mapping in the US	Xiaoxuan Liu, Le Yu, Liheng Zhong, Pengyu Hao, Bo Wu, Hongshuo Wang, Chaoqing Yu & Peng Gong	2019	40	1	269-283	International Journal of Remote Sensing	Random Forest (RF)	-	-	-	Corn and soybean	US Corn Belt
13	Mapping paddy rice fields by applying machine learning algorithms to multi-temporal Sentinel-1A and Landsat data	Alex O. Onojeghwa, George A. Blackburn, Qunming Wang, Peter M. Atkinson, Daniel Kindred & Yuxin Miao	2018	39	4	1042-1067	International Journal of Remote Sensing	Support Vector Machine (SVM) Random Forest (RF)	NDVI	-	Sentinel-1A Landsat 8/OLI	Rice	Sanjiang plain, China
14	Multiple kernel representation and classification of multivariate satellite-image time-series for crop mapping	Saeid Niazmardi, Saeid Homayouni, Abdolreza Safari, Jiali Shang & Heather McNairn	2018	39	1	149-168	International Journal of Remote Sensing	Multiple Kernel Learning (MKL)	-	-	RapidEye	-	
15	Forecasting wheat yield from weather data and MODIS NDVI using Random Forests for Punjab province, Pakistan	Umer Saeed, Jan Dempewolf, Inbal Becker-Reshef, Ahmad Khan, Ashfaq Ahmad & Syed Aftab Wajid	2017	38	17	4831-4854	International Journal of Remote Sensing	Random Forest (RF)	-	-	Terra&Aqua/MODIS	Wheat	Punjab province, Pakistan
16	Accurate crop-type classification using multi-temporal optical and multi-polarization SAR data in an object-based image analysis framework	Bahram Salehi, Bahram Daneshfar & Andrew M. Davidson	2017	38	14	4130-4155	International Journal of Remote Sensing	Random Forest (RF)	-	-	RapidEye Radersat-2	-	Manitoba, Canada
17	Landsat-based wheat mapping in the heterogeneous cropping system of Punjab, Pakistan	Ahmad Khan, Matthew C. Hansen, Peter Potapov, Stephen V. Stehman & Ashfaq Ahmad Chatta	2016	37	16	1391-1410	International Journal of Remote Sensing	Supervised bagged classification tree	-	-	Landsat 8/OLI	Wheat	Punjab, Pakistan
18	Comparison of support vector machine, artificial neural network, and spectral angle mapper algorithms for crop classification using LISS IV data	Pradeep Kumar, Dileep Kumar Gupta, Varun Narayan Mishra & Rajendra Prasad	2015	36	6	1604-1617	International Journal of Remote Sensing	Support Vector Machine (SVM) Artificial Neural Network (ANN) Spectral Angle Mapper (SAM)	-	-	Resourcesat-2/LISS IV	Crop/Non-crop	a part of Varanasi district, Uttar Pradesh, India
19	Neural network and crop residue index multiband models for estimating crop residue cover from Landsat TM and ETM+ images	Mónica Bocco, Silvina Sayago & Enrique Willington	2014	35	10	3651-3663	International Journal of Remote Sensing	Neural Networks (NN) Crop Residue Index Multiband (CRIM) index	-	-	Landsat 5/TM Landsat 7/ETM+	Soil and residue (Corn and soybean)	Argentina
20	Estimating soybean ground cover from satellite images using neural-networks models	Monica Bocco, Gustavo Ovando, Silvina Sayago, Enrique Willington & Susana Heredia	2012	33	6	1717-1728	International Journal of Remote Sensing	Neural Network (NN)	-	-	Terra and Aqua/MODIS Landsat	Soybean	Argentina

No.	論文諸元							文献調査結果				
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
01	深層学習によるMMS画像からの車両とその影響域の検出および高解像度路面オルソ画像作成への適用に関する研究	李 勇鶴, 坂元 光輝, 篠原 崇之, 佐藤 俊明	2019	58	3	130-141	写真測量とリモートセンシング	-	Mobile Mapping System (MMS)	デジタルカメラ	路面	-
02	DNBとBTデータを用いたANNによる漁火検出モデルについて	長谷川 大輔, 浅沼 市男, 山口 崇志, 林 鍾杰, マッキン ケネス ジェームス	2019	58	1	4-13	写真測量とリモートセンシング	-	scikit-learn MLP Regressor	Suomi NPP/VIIIRS	漁火	南シナ海
03	ディープラーニングに基づくCCTVカメラ画像からの水位計測方法	前原 秀明, 長瀬 百代, 口 倫裕, 鈴木 利久, 平 謙二	2019	58	1	28-33	写真測量とリモートセンシング	-	TensorFlow 1.0	CCTVカメラ	水面	琢磨川
04	畳み込みニューラルネットを用いた衛星画像からの建物検出	濱口 竜平, 彦坂 修平	2018	57	6	246-247	写真測量とリモートセンシング	-		WorldView-3	建物	-
05	ドローン・カラー空中写真を用いた北海道東部標津湿原の植生図の作成	吉野 邦彦, 川口 小百合, 神田 房行	2018	57	5	188-197	写真測量とリモートセンシング	セグメンテーション処理	ENVI, EX ArcGIS	空中写真	植生分類 (46分類)	北海道, 標津町, 標津湿原
06*	XバンドおよびCバンドSARデータを併用した機械学習アルゴリズムによる圃場の作物分類	山谷 祐貴, 谷 宏, 王 秀峰, 園部 礼, 小林 伸行, 望月 貴一郎, 野田 萌	2018	57	2	78-83	写真測量とリモートセンシング	-	統計ソフト: R randomForest	RADARSAT-2 4偏波 TerraSAR-X 2重偏波	小麦, 豆類 (小豆・大豆・菜豆), 馬鈴薯, 甜菜, 牧草, トウモロコシ	北海道, 十勝西部, 河西郡芽室町と川上郡清水町
07	ハイパースペクトルデータを用いたチャノキ (Camellia sinensis) のクロロフィル量推定	園部 礼, 佐野 智人, 堀江 秀樹	2017	56	5	234-243	写真測量とリモートセンシング	-	統計ソフト: R randomForest, darch, rBayesianOptimization MATLABコード	紫外可視分光高度計 分光放射計: FieldSpec 4 (ハイパースペクトル センサ)	チャノキの一番茶新芽	静岡県, 島田市, 金谷茶業研究圃場
08*	CバンドSARデータを利用した機械学習アルゴリズムによる圃場の作物分類	山谷 祐貴, 谷 宏, 王 秀峰, 園部 礼, 小林 伸行, 望月 貴一郎, 野田 萌	2017	56	4	143-148	写真測量とリモートセンシング	-	統計ソフト: R randomForest	RADARSAT-2	小麦, 豆類 (小豆・大豆・菜豆), 馬鈴薯, 甜菜, 牧草, トウモロコシ	北海道, 十勝西部, 河西郡芽室町と川上郡清水町
09	バイラテラル最小値/最大値フィルタを用いた航空機搭載レーザスキャナデータのクラス分類	河野 誠也, 岡田 和夏, 平岡 透, 野中 尋史, 力丸 厚	2016	55	1	60-65	写真測量とリモートセンシング	-	LIBSVM	航空機レーザスキャナ	樹木, 建物, 地面	-
10*	M-chi Decomposition による3成分を活用したTerraSAR-Xデータによる作物の分類	園部 礼, 谷 宏, 望月 貴一郎, 王 秀峰	2015	54	2	95-100	写真測量とリモートセンシング	-	統計ソフト: R randomForest	TerraSAR-X 2重偏波	豆類 (小豆・大豆・手亡・金時), 甜菜, 牧草, トウモロコシ, 馬鈴薯, 秋播き小麦	北海道, 十勝西部, 河西郡芽室町と川上郡清水町

No.	論文諸元							文献調査結果				
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
11	人々の流動データの基礎的な処理・分析方法について	岡本 義秀	2013	52	6	321-326	写真測量とリモートセンシング	トリップ分割（移動）	Rapid Miner	携帯電話のGPS	交通手段の推定	－
12*	土地被覆分類におけるテクスチャ計測を用いたマルチテンポラルSARと光学データの併用	チュリーサンバン カモンラット, 須崎 純一	2012	51	4	211-223	写真測量とリモートセンシング	同時生起行列（GLCM）	ENVI	ALOS/PALSAR ALOS/AVNIR-2	市街地, 野原, 森林, 水域	大阪
13	地上LiDARを用いた建造物の格子窓の自動抽出	須崎 純一, 柴田 泰宏	2012	51	3	136-145	写真測量とリモートセンシング			地上LiDAR	建造物の格子窓	岐阜県, 高山市, 三町伝統的建造物群保存地区
14	車載ステレオ画像とレーザデータの融合による道路標識の自動抽出手法の開発	史 中超, 史 云, 柴崎 亮介	2010	49	2	75-82	写真測量とリモートセンシング			車載ステレオ画像 車載レーザ	道路標識	－
15	記号列処理による高頻度観測衛星データを用いた異常検知手法の開発	澤田 義人	2009	48	2	97-112	写真測量とリモートセンシング	隠れマルコフモデル（バンド選択）	統計ソフト：R rpart	SPOT/vegetation S10	植生、土壌、水域、雪（22分類）	日本全域
16	雪プロダクト作成のための離散的時系列モデルの開発	澤田 義人	2009	48	1	15-31	写真測量とリモートセンシング	隠れマルコフモデル（バンド選択）	統計ソフト：R rpart	SPOT/vegetation S10	雲、雪	日本全域

No.	論文諸元							文献調査結果				
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	データの前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
1	ASTER天然色画像の全球シームレスモザイク	山本 浩万, ルイ ゴンザレス, ヴァレリー バレット	2019	39	2	148-151	日本リモートセンシング学会誌	－	FondsDeSol DB	Terra/ASTER Terra/MODIS	－	全球
2	深層学習を用いた衛星画像の超解像手法	川嶋 一誠, 中村 良介	2018	38	2	131-136	日本リモートセンシング学会誌	－	－	WorldView-2	都市域, 農村域, 森林	東京都 墨田区, 千葉県 銚子市, 茨城県 つくば市
3	小型UAVによる空撮画像からのスーパーピクセル分割と機械学習を用いた植生分類手法の構築	鈴木 太郎, 土屋 武司, 鈴木 真二, 山場 淳史	2016	36	2	59-71	日本リモートセンシング学会誌	小領域分割 (Mean Shift)	－	UAV搭載デジタルカメラ	植生群落 (アブラガヤ, ハンノキ, イ, ミゾソバ, ススキ, ヨモギ, 水面)	広島県 山県郡 北広島町 八幡地区
4	ALOS/AVNIR-2多時期データを用いた奈良県・京都府南部における竹林の抽出	花本 なるみ, 村松 加奈子, 落合 史生, 曾山 典子, 醍醐 元正, 田殿 武雄	2015	35	2	77-88	日本リモートセンシング学会誌	UPDM係数 (ユニバーサルバターン展開法)	－	ALOS/AVNIR-2	竹林, 常緑樹林, 落葉樹林, 草地, 茶畑, 水域, 市街地	奈良県と京都府南部
5	多時期光学観測データを用いた高精度土地被覆分類手法の開発	橋本 秀太郎, 田殿 武雄, 小野里 雅彦, 堀 雅裕, 塩見 慶	2014	34	2	102-112	日本リモートセンシング学会誌	－	－	ALOS/AVNIR-2	水面, 都市, 水田, 畑, 草原, 落葉樹, 常緑樹, 裸地	日本全域
6	スパース正則化を用いたハイバースペクトルデータの解析: インドネシア水田地帯における水稲生育状況診断および収量予測への適用	吉田 圭吾, 高山 泰一, 福原 弘太郎, 内田 敦, 関根 秀真, 鹿志村 修	2012	32	5	287-299	日本リモートセンシング学会誌	－	－	航空機ハイバースペクトルセンサHyMAP	水稲	インドネシア, 西ジャワ地区, カラワン県

No.	論文諸元							文献調査結果				
	題名	著者	発行年	巻	号	ページ	雑誌名	データの前処理	使用ソフト	使用センサ	対象作物	対象地域
1	ALOS PALSARデータを用いたインドネシア・中部ジャワにおける農学的土地利用分類手法の検討	ブリマ ミズキ, ミレルバ, 長澤 良太	2017	33	2	27-36	システム農学会誌	－	－	ALOS/PALSAR	水稲, 畑地, 混合耕作地, 居住地	インドネシア, 中部ジャワ
2	多時期RapidEye衛星画像データを用いた畑地作目の分類	鈴木 研二, 武内 智	2015	31	1	1-10	システム農学会誌	－	－	RapidEye	秋播小麦, 馬鈴薯, 甜菜, 小豆, 大豆, その他作物	北海道
3	オブジェクト指向分類を用いたインドネシア・プランテーション地帯における農地の特徴把握	山本 由紀代, 平野 聡, 内田 諭	2011	27	4	137-148	システム農学会誌	－	Definens Developer	QuickBird	プランテーション (オイルパーム, ココナッツ, キャッサバ等)	インドネシア, スマトラ島南部, ランブン州
4	多時期ASTER画像による宮城県大崎地域での農地の作付け分類	大澤 一雅, 國井 大輔, 斎藤 元也	2010	26	2	67-77	システム農学会誌	－	ERDAS IMAGINE	Terra/ASTER	水稲, 大豆, 麦類, 草地, ゴルフコース, 遊休農地	宮城県北西部, 大崎地域
5	時系列ALOS画像を用いたタイのキャッサバ栽培地の解析	吉田 美幸, 長澤 良太	2010	26	1	9-15	システム農学会誌	セグメンテーション処理	eCognition	ALOS/AVNIR-2	キャッサバ	タイ東北部, ナコンラチャシマ県

添付資料 2 協定農用地の確認野帳の形式

平成30年度集落協定の協定農用地確認野帳

所在地		協定名	
現地確認者		立会人	
現地確認日		交付の適否	適 否

1 協定農用地

[illegible]

添付資料 3 K-means 法の概要

K-means 法は、予め設定した K 個のクラスターの重心を用いて、画素のクラスターへの配属、重心の再計算という過程を、クラスターの重心の移動がなくなるまで繰り返し行う手法である。K-means 法では、初期設定としてクラスター数 K を、終了設定として反復処理でクラスターを移動した画素の割合を設定する。

K-means 法の処理は以下の通りである。

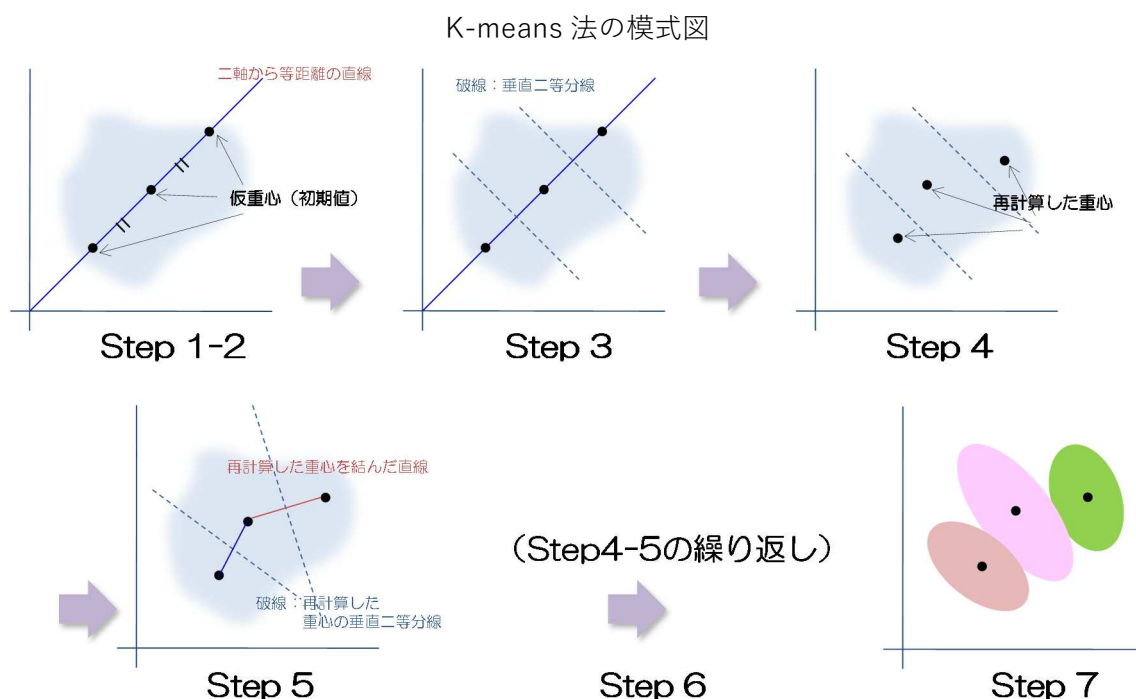
初期重心の決定：対象画素のヒストグラムを基に、K 個のクラスターの初期重心位置を決定する (Step1~2)。

画素の仮配属：初期重心を利用して、各画素を初期クラスターに配属する。初期重心と画素の間はユークリッド距離で算出する (Step 3)。

重心の再計算：配属された画素のデータを基に、各クラスターの重心や分散行列を計算する (Step 4)。

画素の再配属：再計算された重心や分散行列を利用して、各画素を各クラスターに再配属する (Step 5)。

終了判定：クラスター間の画素の移動が終了設定以下であれば処理を終了し、高ければ重心の再計算と画素の再配属を繰り返す (Step 6~7)。



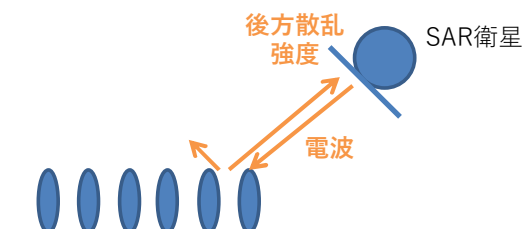
参考:資源・環境リモートセンシング実用シリーズ③地球観測データからの情報抽出

添付資料 4 合成開口レーダ SAR の説明

レーダの一種で、航空機や人工衛星に搭載し、移動させることによって仮想的に大きな開口面（レーダーの直径）として働くレーダ。一般的にレーダは、通常マイクロ波と呼ばれる電磁波を対象物に照射し、反射して返ってきた信号を分析して対象物を観測する。マイクロ波は可視光などに比べて波長が長く雲などの影響を受けずに観測ができるが、空間分解能はアンテナの直径に依存する。このため、アンテナの直径を仮想的に大きくし分解能を向上させるための技術として合成開口レーダが開発された。

合成開口レーダ模式図

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（水面やならされた圃場）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。

