

10．環境（A）環境保全

■ 2026年8月27日(木) 9:00～10:40 | ■ 第8会場(503教室)

[8-6] 環境保全③

座長:前田 守弘(岡山大学大学院環境生命科学研究科)

環境把握における技術開発と活用

9:00～9:15

[8-36] 酪農地域の飼料作物判別と農家の作付け意向

*田中 健二¹、柴田 航²、多田 明夫¹ (1. 神戸大学大学院農学研究科、2. 神戸大学農学部)

9:15～9:30

[8-37] マルチスペクトルセンサーを用いた低コスト葉緑素計の開発

*吉岡 尚寛¹、矢島 和佳²、富?? 啓太²、青木 伸輔² (1. 香川大学大学院農学研究科、2. 香川大学農学部)

9:30～9:45

[8-38] 令和6年能登半島地震における航空写真を用いたLVLMによるため池の被害判別

*長野 峻介¹、谷内 健人¹、藤原 洋一¹、森 丈久¹、一恩 英二¹ (1. 石川県立大学生物資源環境学部)

9:45～10:00

[8-39] SAR衛星画像の後方散乱強度変化を用いた森林火災焼失域抽出手法の検討

*吉中 輝彦¹、家田 浩之¹、古川 ひな¹、峰野 佳厚¹、北村 至¹、岩崎 俊樹¹、金沢 宗太郎¹、土門 未来¹、前田 理穂¹、高田 南月¹ (1. 株式会社エイト日本技術開発)

10:00～10:40

セッション総括

酪農地域の飼料作物判別と農家の作付け意向 Classification of forage crops in dairy farming regions and farmers' planting intentions

○田中健二*, 柴田 航**, 多田明夫*

○TANAKA Kenji, SHIBATA Wataru and TADA Akio

1. はじめに

近年の気候変動や社会情勢の変化を受けて、酪農地域では飼料用トウモロコシの作付けが拡大しており¹⁾、本研究では、飼料作物の広域の作付分布を明らかにすることを目的とした。大規模酪農地域である北海道東部根室地域を研究対象地とし、衛星画像(Sentinel-2)から得られる植生指数(NDVI)の時系列データのコサイン類似度を用いた飼料作物の判別手法を開発した。判別結果を用いて、飼料作物の作付けの経年的な変化について農家の意向の観点から考察した。

2. 研究手法

本研究は、飼料作物の広域分布状況を把握するため、聞き取り調査と現地踏査、衛星画像解析を実施した。聞き取り調査と現地踏査では、農地ごとに牧草、飼料用トウモロコシ、両方が作付されている混合農地を特定し、2019年から2025年にかけて延べ1,614個の農地の飼料作物の作付状況を収集した。衛星画像解析では、マルチスペクトル画像からNDVIを算出し、農地ごとのゾーン統計量(平均値、標準偏差)を集計した。NDVIの時系列データに対して局所重み付き線形回帰することで作期を通した標準的な変動曲線(飼料作物モデル)を作成した。年ごと農地ごとに飼料作物を判別するため、NDVIの時系列データと飼料作物モデルからコサイン類似度を計算した。コサイン類似度とは、2つのベクトルの方向の類似性を表す指標であり、それらのなす角の余弦($\cos\theta$)として定義され、1.0に近いほど類似性が高いことを表す(式1)。

$$\cos\theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2}} \quad (1)$$

ここで、 $\vec{a}$ は各飼料作物モデルの n 次元ベクトルであり、 $\vec{b}$ は判別対象農地のNDVI時系列データの n 次元ベクトルである。まず、判別対象農地のNDVI平均値時系列データと各飼料作物モデルとの $\cos\theta$ をそれぞれ計算する。次に牧草モデルとの $\cos\theta$ と飼料用トウモロコシモデルとの $\cos\theta$ を比較し、大きい方を判別農地とする。その後、NDVI標準偏差時系列データと混合農地モデルとの $\cos\theta$ が閾値以上の場合を混合農地に判別する。

3. 結果・考察

牧草と飼料用トウモロコシを正しく判別できた要因と誤判別が生じた原因を特定するため、2025年検証農地のコサイン類似度を分析した。Fig.1に

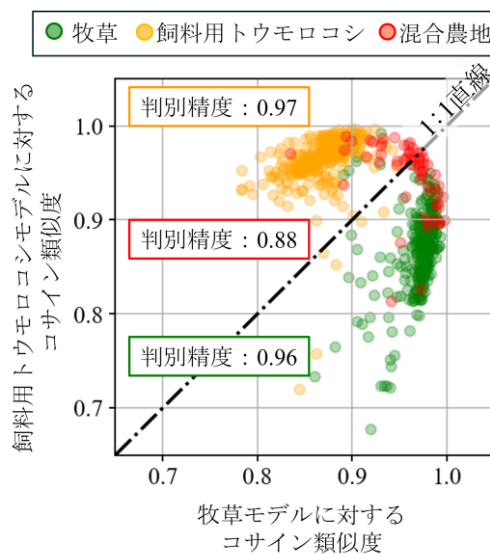


Fig.1 飼料作物の判別結果

* 神戸大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agriculture Science, Kobe University)

** 神戸大学農学部 (Faculty of Agriculture, Kobe University)

キーワード：衛星画像解析，飼料用トウモロコシ，コサイン類似度，転作プロセス

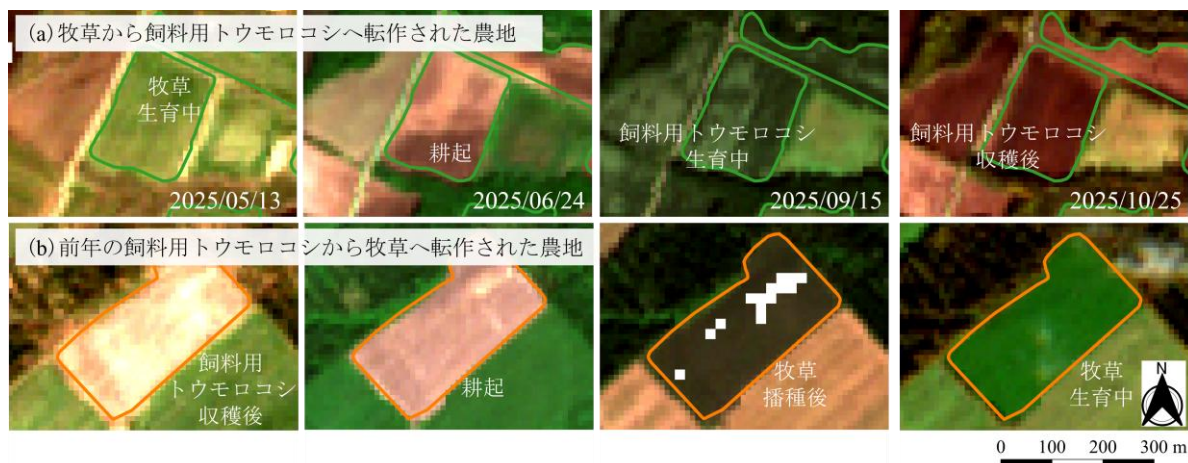


Fig. 2 誤判別された農地の衛星画像

牧草モデルに対するコサイン類似度と飼料用トウモロコシに対するコサイン類似度の関係を示す。牧草と飼料用トウモロコシのプロットは、集中する範囲が明確に分かれており、両モデルに対するコサイン類似度を比較することで判別可能といえる。各作物の判別精度は、牧草と飼料用トウモロコシで 0.96 以上、混合農地はやや劣るものの 0.88 で良好な精度が得られた。一方で、誤判別された農地もあり、4 時期の衛星画像 (Fig.2) をみると、2025 年中に転作していることが推察された。Fig.2 (a) は、5 月時点で牧草地であるが 6 月以降に飼料用トウモロコシが播種され転作したことが見受けられる。Fig.2 (b) は、5 月時点で前年の飼料用トウモロコシの収穫後の状態であるが 6 月以降に牧草が播種され転作したことが見受けられる。

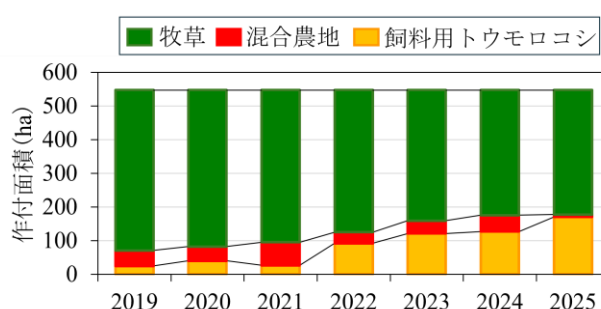


Fig.3 飼料作物の作付け割合 (1 農家の例)

飼料用トウモロコシの作付けが経年的にどのように拡大していくかを考察するため、農家ごとの飼料作物の作付け割合を分析した。飼料用トウモロコシを作付けしている農家を例に、飼料作物の作付け割合の経年変化を Fig.3 に示す。飼料用トウモロコシの作付面積は 2019 年から 2025 年にかけて徐々に増加していることがわかる。また、作付け割合の変化から、牧草から混合農地、混合農地から飼料用トウモロコシに変化しており、飼料用トウモロコシの作付けを牧草地の一部で試行し、その後、転作する農家の意向が汲み取れる。飼料用トウモロコシの作付面積や転作した農地が増えるタイミングとして、2022 年前後と推察され、国際的な飼料高騰の時期と対応していることが示唆される。

4. まとめ

本研究では、衛星画像解析から得られる植生指数の時系列変化のコサイン類似度によって飼料作物を判別する手法を開発し、判別精度が 0.88 以上と高い精度が得られた。判別農地の経年的な変化を考察すると牧草から混合農地、混合農地から飼料用トウモロコシへと転作する段階的な転作プロセスをたどり、飼料高騰を契機とした農家の作付け意向が汲み取れた。

参考文献

- 1) Eckersten, H., Herrmann, A., Kornher, A., Halling, M., Sindhoj, E. and Lewan, E. (2012): Predicting silage maize yield and quality in Sweden as influenced by climate change and variability, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 62(2),151-165.

マルチスペクトルセンサーを用いた低コスト葉緑素計の開発 Development of a Low-Cost Chlorophyll Meter Using a Multispectral Sensor

○吉岡尚寛*・矢島和佳**・富吉啓太**・青木伸輔**

YOSHIOKA Takahiro, YAJIMA Waka, TOMIYOSHI Keita, and AOKI Shinsuke

1. はじめに

窒素は植物の生育に重要な要素の 1 つであり、その欠乏は葉緑素含量の低下を引き起こす (Lemaire et al., 2008)。持続的な農業生産を行うためには、植物体内の窒素栄養状態を適切に評価することが重要である。従来、植物体内の窒素栄養状態を評価する手法として、破壊を伴う化学分析や市販の葉緑素計による非破壊測定が行われてきた。しかし、労力や導入コストの観点から、圃場条件下での多点・高頻度測定には適さない。本研究では、マルチスペクトルセンサーを用いた低コスト葉緑素計を開発し、市販葉緑素計との比較を通じて本装置による SPAD 値の推定可能性を評価した。

2. 方法

マルチスペクトルセンサー (AS7265x, SparkFun Electronics Inc., USA)を用いて葉の反射スペクトルを測定した。本センサーは 410~940 nm の 18 波長バンドの分光情報を取得可能であり、市販の葉緑素計で用いられる波長帯を含む。装置は 3D プリンターで作製した遮光箱内にセンサーを下向きに配置し、Arduino R4 Minima で制御した (図 1)。データは 1 秒間隔で取得し、MicroSD カードに保存した。

測定対象はイチゴおよびキウイの葉それぞれ 21 葉とした。まず、市販の葉緑素計により各葉 5 点の SPAD 値を測定し、その平均値を実測 SPAD 値とした。次に、同一葉を対象として反射スペ



図 1 低コスト葉緑素計

Fig. 1 Low-Cost Chlorophyll Meter

クトルを 5 回取得した。得られた反射スペクトルデータは白色板を用いて正規化し、相対反射率に変換した。SPAD 値への換算では、相対反射率から、全波長ペアから相対反射率の正規化比指数 (Normalized Ratio Index: NRI)を算出し、これを説明変数とする線形回帰モデル (NRI モデル)を構築した。さらに、全 18 波長の相対反射率を説明変数とする部分最小二乗回帰 (Partial Least Squares Regression: PLSR)モデルを三分割交差検証により構築した。これらのモデルから SPAD 値を推定し、実測 SPAD 値と比較した。

* 香川大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agriculture, Kagawa University)

** 香川大学農学部 (Faculty of Agriculture, Kagawa University)

キーワード: SPAD、マルチスペクトルセンサー、環境保全

3. 結果と考察

イチゴの実測 SPAD 値は 35.9～59.9 であった。図 2a にイチゴの葉における実測 SPAD 値と NRI モデルによる予測 SPAD 値の比較を示す。このとき、435 nm と 510 nm の波長ペアが最適であり、決定係数 R^2 は 0.672、二乗平均平方根誤差(Root Mean Square Error: RMSE)は 4.73 であった。図 2b に実測 SPAD 値と PLSR モデルによる予測 SPAD 値の比較を示す。 R^2 は 0.922、RMSE は 2.311 であり、NRI モデルを上回る予測精度が得られた。

キウイの実測 SPAD 値は 10.8～28.7 であった。図 3a にキウイの葉における実測 SPAD 値と NRI モデルによる予測 SPAD 値の比較を示す。このとき、705 nm と 730 nm の波長ペアが最適であり、 R^2 は 0.763、RMSE は 2.42 であった。図 3b に実測 SPAD 値と PLSR モデルによる予測 SPAD 値の比較を示す。 R^2 は 0.949、RMSE は 2.038 となり、イチゴの葉と同様に NRI モデルを上回る予測精度が得られた。

以上の結果から、NRI モデルによる実測 SPAD の予測に最適な波長の組み合わせは作物種によって異なり、イチゴでは可視域 (435～510 nm)、キウイでは近赤外域 (705～730 nm)であった。一方で、最適な波長を用いた NRI モデルであっても必ずしも市販の葉緑素計の再現性が得られるわけではなかった。これに対し、PLSR モデルは、いずれの葉種においても NRI モデルより高精度に SPAD 値を予測可能であった。これは、NRI モデルが特定の 2 波長の情報のみに基づくのに対し、PLSR モデルでは全波長の情報を統合的に利用できるためであると考えられる。今後はさまざまな植物種を対象に本装置を用いた測定を行い、本装置の汎用性を明らかにする必要がある。

参考文献

Lamaire et al. (2008): Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management.

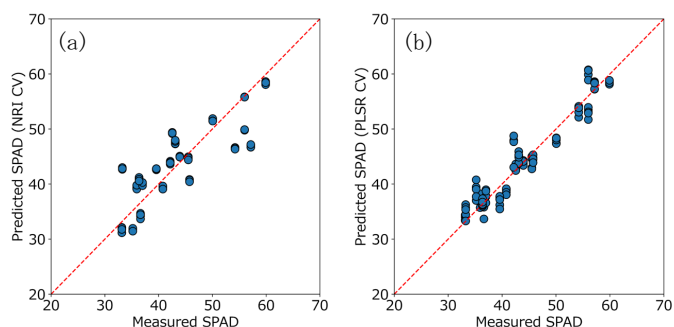


図2 イチゴの葉における実測 SPAD 値 vs 予測 SPAD 値
(a)NRI モデル、(b)PLSR モデル

Fig. 2 Measured SPAD Value vs Predicted SPAD Value for Strawberry Leaves (a)NRI model, (b)PLSR model

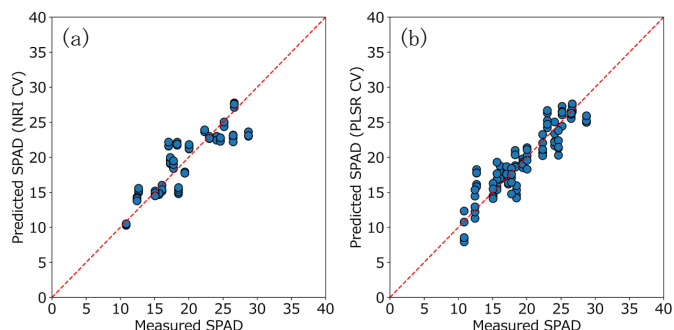


図3 キウイの葉における実測 SPAD 値 vs 予測 SPAD 値
(a)NRI モデル、(b)PLSR モデル

Fig. 3 Measured SPAD Value vs Predicted SPAD Value for Kiwi Leaves (a)NRI model, (b)PLSR model

令和6年能登半島地震における航空写真を用いたLVLMによるため池の被害判別 LVLM-Based Damage Classification of Irrigation Ponds from Aerial Photos After the 2024 Noto Peninsula Earthquake

○長野 峻介*, 谷内 健人*, 藤原 洋一*, 森 丈久*, 一恩 英二*

○CHONO Shunsuke*, YACHI Kento*, FUJIHARA Yoichi*, MORI Takehisa*, and ICHION Eiji*

1. はじめに

令和6年1月1日午後4時10分に石川県能登地方の深さ16kmを震源とするマグニチュード7.6の地震が発生し輪島市や志賀町では最大震度7を観測した。この能登半島地震により、多数のため池で堤体の崩壊や亀裂などの被害が発生した(図1)。しかし、被災したため池の現地調査では人手不足やアクセスが困難な場合がある。被災地の航空写真が、地震発生後の1月2日から1月17日にかけて国土地理院によって撮影され、1月4日から正射画像として公開された。そこで、発災後早期に提供される航空写真を用いてため池の被害判別が可能となれば、ため池の被害状況を迅速に把握し、早期の復旧対応につなげることができる。本研究では、地震発災後のため池の航空写真を用いて、ため池の被害判別の迅速化および省力化を目的として、令和6年能登半島地震によるため池の被害報告を整理し、報告された被害を航空写真の正射画像から判別可能であるか目視による分析を行った。さらに、Large Vision Language Model (LVLM)としてGoogle Gemini 3に航空写真と地震被害について画像解析を行うプロンプトを与えることで、LVLMによるため池の被害判別を行った。目視とLVLMによる地震被害の判別結果を比較・精査し、目視とLVLMによって航空写真からため池の被害をどの程度特定可能であるか検証した。

2. 研究方法

本研究では、水土里ネットいしかわの農地農業施設情報システム(以下、情報システム)から、能登地方のため池を対象に所在地や被害状況などのデータを取得した。次に、ため池517件について、国土地理院が公開する地震前後の航空写真(正射画像)を取得し、地震前後の画像から堤体形状の変化などの有無を確認し、目視による被害判別を実施した。この目視判別の結果に基づき、被害の有無について目視判別での結果と情報システムでの報告と比較した。LVLMによるため池の被害判別では、ターミナル環境でGoogle Gemini CLIを使用し、ため池517件についてpythonでの処理により被害判別を行った。Gemini CLIの設定として、モデルをGemini 3 pro previewに指定し、回答に一貫性、正確性を持たせるためTemperatureの値を0.1に設定した。そして、プロンプトエンジニアリングとして一次判別に用いるプロンプトとその結果を監査するプロンプトを作成し2段階エージェントシステムを構築し被害判別を行わせ、ため池の被害リスクについてA, B+, B-, Cの4つのランク付けにより被害レポートをjson形式で作成・出力させた。本研究では、Google Geminiの一日の使用量最上限プランであるGoogle AI UltraでGeminiを使用し被害判別を行った。

*石川県立大学生物資源環境学部 Faculty of Bioresources and Environmental Sciences, Ishikawa Prefectural University
キーワード: 能登半島地震, ため池, 航空写真, LVLM, 画像解析

3. 結果と考察

517 件のため池の航空写真を対象として目視で被害判別を行った結果、被害を確認できたのは 79 件 (15.3%)、被害を確認できなかったのは 375 件 (72.5%)、雲や樹木の影で堤体が確認できなかったのは 63 件 (12.2%) となった。被害の有無についてシステムの報告と目視確認で混同行列を作成した結果、適合率は 78%、再現率は 45%、F1-score は 0.571 という結果になった。目視での被害の見逃しについては、被害の規模が小さいことや航空写真からでは確認しにくい被害の種類であることによるものと考察される。

Gemini CLI で一次判別とその結果を監査するプロンプトにより、対象ため池 517 件の航空写真の画像を分析させ、A (緊急)、B+ (要警戒、被害の可能性)、B- (要警戒、判別困難)、C (観察) という 4 つのランク付けの被害判定と被害判別レポートを作成させた。その結果、A ランク 3 件、B+ ランク 8 件、B- ランク 494 件、C ランク 12 件と対象のため池の約 96% が B- ランクとなった。目視での判別結果との比較により適合率 45%、再現率 6% が得られ、誤検出と見逃しともに多くなった。A、B+ ランクとなったため池 (図 2) の被害判別レポートでは、堤体に発生した亀裂や漏水などを土木工学や災害工学的な分析から詳細な被害を報告していた。しかし、目視での被害判定結果と比較すると「被害あり」とされるため池の件数は少なく、Gemini の判定基準が厳格な傾向にあった。これは、「決壊・決壊の切迫性」が推定される場合に A ランクを付与するという判定基準を設定していたため、航空写真の解像度が低い場合や、雪や植物の影によって堤体が確認できない場合に Gemini が慎重に判断する傾向となった。本研究で使用了航空写真は、地震直後に緊急対応として撮影されたもので、堤体やその周辺を覆うように積雪がある場合や樹木の影が堤体にかかっている場合が多くあった (図 3)。



図 1 被災したため池



図 2 堤体に亀裂が発生したため池

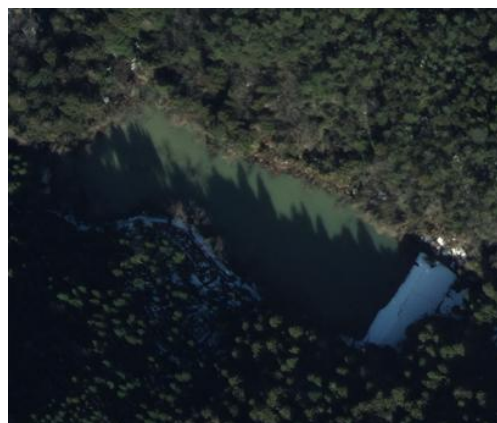


図 3 積雪や樹木の影

4. まとめ

本研究により、能登半島地震における被災ため池の航空写真を用いた目視と LVLM による被害判別を行った。その結果、目視では適合率が高い被害判別が行えたが、LVLM として Google Gemini を用いた被害判別では課題が明らかとなった。現状の LVLM による被害判定は、一次スクリーニングツールとして用いることは困難であるが、画像からの言語化能力は高く、目視でスクリーニングした後に被害レポート作成の補助に LVLM を用いることが期待される。

SAR 衛星画像の後方散乱強度変化を用いた森林火災焼失域抽出手法の検討

Burned Area Extraction for Forest Fires Using SAR Satellite Backscatter Intensity Changes

○吉中輝彦、家田浩之、古川ひな、峰野佳厚、北村至
岩崎俊樹、金沢宗太郎、土門未来、前田理穂、高田南月

○Yoshinaka Teruhiko, Ieda Hiroyuki, Furukawa Hina, Mineno Yoshihiro, Kitamura Itaru,
Iwasaki Toshiki, Kanazawa Sotaro, Domon Mirai, Maeda Riho, Takada Nazuki

1 はじめに

2025 年に発生した大船渡市の森林火災は、約 3400ha に及ぶ広範囲の森林が焼失する大規模災害であった。このような広域災害においては、被害範囲の迅速かつ正確な把握が求められるが、従来の航空撮影による手法では、対象範囲が広大であるため複数回の飛行が必要となり、時間的・経済的負担が大きいという課題がある。さらに、気象条件や煙の影響により観測が制約される場合も少なくない。

本報告では、広域を一度に観測可能であり、天候の影響を受けにくい SAR 衛星データに着目し、森林火災における焼失域の把握手法について検討する。特に、後方散乱強度の変化を用いた解析により、効率的な被害範囲抽出の可能性を評価し、従来手法と比較した場合のコスト削減および作業負担軽減の観点からその有用性について考察する。

2 後方散乱係数について

本報告では、SAR 衛星画像を用いた解析手法として後方散乱係数に着目する。後方散乱係数とは、地表面からセンサ方向に散乱されて戻ってくる電波の強度を表す指標であり、地表面の粗さや水分量、植生構造などの影響を受ける。このため、森林火災による植生の消失や地表状態の変化を捉える上で有効な指標である。

後方散乱係数には、観測幾何の影響を含むシグマノート (σ^0) と、入射角の影響を補正したガンマノート (γ^0) が存在する。 σ^0 はセンサに対する単位面積あたりの散乱強度を表す基本的な指標である一方、 γ^0 は地表面に対する実効的な散乱強度を表し、地形や入射角の影響を低減できる特徴を有する。

本報告の対象である森林域は地形起伏の影響を受けやすく、入射角による散乱強度のばらつきが結果に影響を与える可能性がある。そのため、地形および観測条件の影響を低減し、より安定した比較を行う観点から、ガンマノート (γ^0) を用いた解析が適していると判断した。以上より、本報告では γ^0 を用いて火災前後の後方散乱強度変化により、焼失範囲の推定を行う。使用した衛星データは無償利用可能な欧州宇宙機関 (ESA) の Sentinel-1 とした。解析ソフトウェアは同じく ESA の SNAP を用いた。

3 収集データ内容について

本報告では、2025 年の 2 月下旬から 4 月上旬にかけて発生した大船渡の森林火災の発生前後の Sentinel-1 の SLC (Single Look Complex) を収集した。火災時期と収集データの時系列を図 1 に示す。



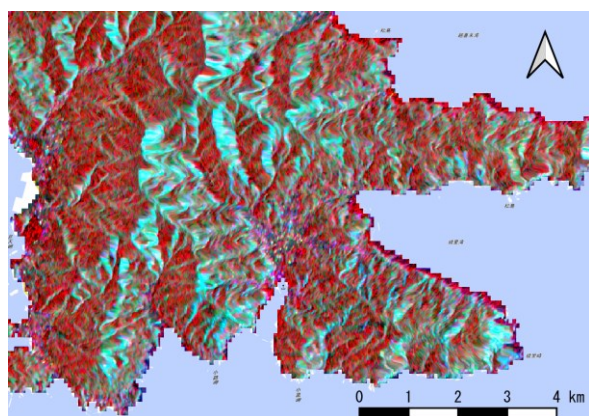
図 1 森林火災と収集データの時系列一覧

Figure.1 Timeline of the Forest Wildfire and Data Acquisition

4 検証結果

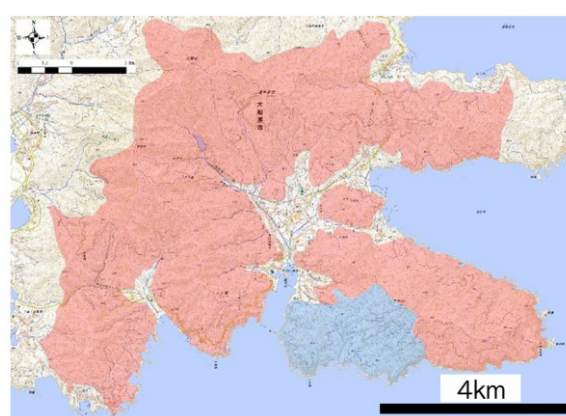
森林火災の延焼地点について後方散乱係数画像 γ^0 の判読を行った結果を図 2 に示す(図 2 の左側は本検討で解析を行った結果の γ^0 画像判読結果、右側は総務省消防庁が公開した最終的な延焼範囲図である)。本報告では、森林火災による地表変化を効果的に可視化するため、SAR 強度画像を用いた RGB 合成を実施した。具体的には、赤バンドに火災前後の VH 偏波における後方散乱強度差分、緑バンドに火災後の VH 後方散乱強度、青バンドに火災後の VV 後方散乱強度をそれぞれ割り当てた。この構成により、植生の消失に伴う後方散乱強度の低下を赤色として強調しつつ、火災後の地表状態および構造物の情報を併せて表現することが可能となる。つまり、焼失域は赤色から赤紫色として表示され、植生が残存する領域は緑色からシアン系の色調を示す。また、裸地や構造物が卓越する領域は青色から暗色として表現される。以上の理由から、本手法は森林火災における焼失域の判別に有効であると考えられる。

本検討における延焼範囲の抽出結果



SAR 強度画像を用いた RGB 合成結果

総務省消防庁公開の最終的な延焼範囲



https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/post-167/05/sankou3.pdf
P25 の図 4-9 を引用

図 2 森林火災地点の抽出結果(左)および消防庁公開の延焼範囲(右)

Figure.2 Extracted Burned Area (Left) and Official Burned Area Published by the Fire and Disaster Management Agency (Right)

解析の結果、本検討で得られた延焼範囲(画像左の赤色から赤紫色)は、消防庁公開の延焼範囲と類似した結果となった。

5 まとめ

推定した延焼範囲は、実際の延焼範囲と概ね良好に一致する結果が得られ、本手法が延焼範囲推定手法として有効であることが示唆された。また、本手法は干渉 SAR 解析とは異なり、地滑り等の地盤変動を伴わない場合においても適用可能であるため、浸水域の把握など他の災害への応用可能性も有すると考えられる。今後は山林火災に加え、近年頻発する豪雨災害を対象とした被害域抽出への適用を進めることで、解析手法および画像判読技術の高度化を図り、実利用への展開を目指すことが重要である。

参考文献：吉中, 家田, 土門ら ダム種別ごとによる衛星干渉 SAR による監視の適用性について
第 74 回農業農村工学会大会講演会 講演要旨集 PP681-682