

サブメートル分解能の動態判読を実現する土地利用分類AI技術

三五大輔*
Daisuke Sango
栗原康平†
Kohei Kurihara
藤野俊樹*
Toshiki Fujino

小野田郁哉*
Fumiya Onoda

MELTERRA Landscan: Our Land Cover Mapping AI Reveals Terrestrial Dynamics at Sub-meter Resolution

*鎌倉製作所
†防衛・宇宙ソリューション事業部

要 旨

日本の労働人口が減少する中、国内のインフラや経済活動の監視の効率化の一手法として、リモートセンシングデータ、特に衛星画像を活用した土地利用状況の把握が提案されている。しかし、今までの衛星画像を活用した土地利用状況情報では、①目視判読では時間を要する、②自動的に作成された情報の空間解像度が10～50mと粗い、といった問題があった。そこで、三菱電機では、AIを用いて超解像処理を行う“MELTERRA HD”、及び土地利用状況をサブメートル単位で自動分類する“MELTERRA ランドスキャン”を開発した。このAIを令和6年能登半島地震に活用したところ、目視判読と比べて1/12以下の短時間で、同程度の精度が得られることが確認できた。今後、このAIについて、防災分野やESG (Environment, Social, Governance) 分野での利活用が見込まれる。

1. ま え が き

日本の総人口は2050年にかけて約3,000万人減少し、労働人口は30%減少すると言われる中、国内のインフラや経済活動をいかに効率的に支えて、発展させていくかが喫緊の課題になっている。例えば、不動産や建築、建設業界の企業や行政、指定公共機関では、都市部や山間部の広域な範囲の土地状況の変遷を時系列で把握するモニタリング業務があり、慣習的には、現地への定期的な実地調査で実現されてきた。これは作業時間や作業範囲の観点で大きな制約があった。

一方で、近年、広域な範囲の土地状況を把握する代替手段として、リモートセンシングデータを活用した解析手法が提案されている。リモートセンシングの例として、航空機やUAV(ドローン)に加えて、光学衛星、合成開口レーダー(SAR)衛星などの観測衛星が挙げられる。とりわけ観測衛星のデータは、自然災害の被災状況の把握や、インフラ・地盤変動のモニタリング、農業や海洋分野での利用が広がっているが、当社はESG分野での利活用に注目しており、特に“Social(社会)”の領域での衛星データ活用に乗り出した。衛星画像で都市部や山間部の変貌を確認できれば、省人化につながると思う。本稿の2章では、3章以降のAI技術のベースになるAIを用いた超解像処理について述べる。3章では、当社の土地利用分類AI技術と、その特長や適用事例を述べる。4章では、土地利用分類AI技術を活用した具体的な想定ユースケースとして、令和6年能登半島地震での事例について言及する。

2. MELTERRA HDの特長と事例

この章では、MELTERRA HDの特長と適用例について述べる。

2.1 従 来 手 法

衛星画像は、分解能(ものをどのくらい細かく識別可能かという能力)と撮像範囲、及びコストがトレードオフの関係にある。一般に、低分解能の衛星ほど広域を観測可能でコストが安く、高分解能の衛星ほど狭域の観測範囲でコストが高い傾向にある。そこで、衛星画像に超解像処理を適用すると、低コストの画像を基に、より高い分解能の画像と同等の精度を得ることでコストの低減可能、及び衛星画像の最高分解能を超える分解能を実現して航空写真やドローン撮影の代替可能、といったメリットがある。そこで、衛星画像へのAIを用いた超解像処理の適用が進められているが、偽像の発生等の課題があった。

2.2 MELTERRA HDの手法

当社では、これまでの光学衛星開発で実績がある高精度な衛星画像シミュレーション技術を持っている。そこで、AI

超解像の学習データに用いる低解像度画像と高解像度画像のペアをシミュレーション技術によって作成し、現実の衛星画像の劣化に即した超解像モデルを学習することで、高精細な超解像処理を達成するMELTERRA HDを開発した(図1)。

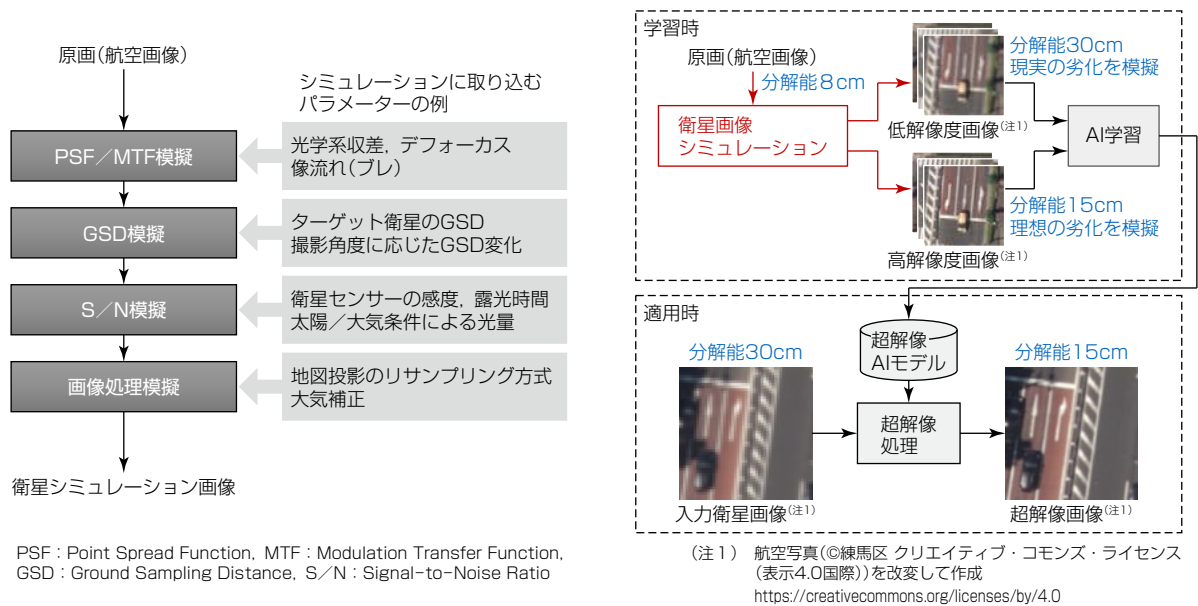


図1-MELTERRA HDのアルゴリズム

2.3 MELTERRA HDの例

MELTERRA HDを適用することで、オリジナル衛星画像から分解能の向上が可能になった。図2は、分解能30cmの衛星模擬画像から、MELTERRA HDによって分解能を15cm相当に向上させた例である。超解像処理後の画像は分解能が向上し、建設中の建物の様子や車両の詳細な形状まで判読可能になった。

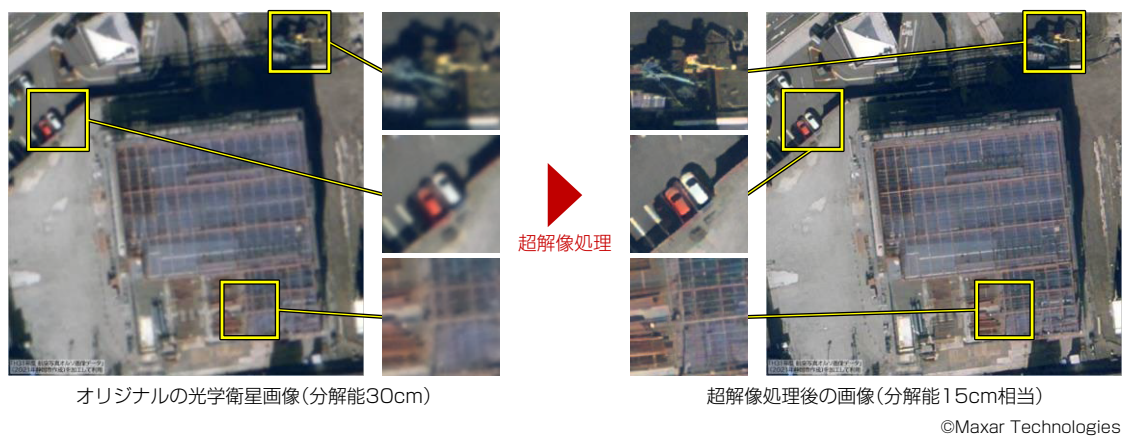


図2-MELTERRA HDによる超解像処理の例

3. MELTERRA ランドスキャンの特長と事例

この章では、MELTERRA ランドスキャンの特長と適用例について述べる。

3.1 従来手法

衛星画像が持つ広域性・網羅性という特長を余すことなく活用するためには、広範囲の土地利用状況を衛星画像から識

別することが重要になる。しかし、広域の識別には時間と、また識別に熟練した多くの技術者が必要である。これを全て人手で行うのは難しいため、処理の自動化が求められる。国内の先行的な取組みとして、JAXA(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)地球観測研究センターが公開した日本国内の土地利用、及び土地被覆マップを示すJAXA高解像度土地利用土地被覆図(JHR LULC Map)⁽¹⁾がある。JHR LULC Mapは、光学画像とSAR画像の両方を使用して10～50mの空間解像度で作成している。

3.2 MELTERRAランドスキャンの手法

当社は独自の機械学習モデルを使用し、衛星画像から土地利用の状況をサブメートル単位で自動的に分類するMELTERRAランドスキャンを開発した。MELTERRAランドスキャンの分類作業は、画像の1画素単位で行われるため、センチメートル級の高分解能画像からメートル級の画像まで幅広く対応する。図3にMELTERRAランドスキャンを用いて鎌倉市の土地利用分類を実施した例を示す。MELTERRAランドスキャンの分類結果を活用すると、緑地、建物、道路、水域などの変化を自動的に検出し、これらの面積の変化を定量的に分析できる。



図3- 高分解能光学衛星(Worldview-3)から土地利用AIを実行した例

また、図4にJHR LULC MapとMELTERRAランドスキャンの比較を示す。10m分解能のJHR LULC Map(図4(a))では、住宅地一帯を都市部として識別するが、Worldview-3画像にMELTERRAランドスキャンを適用した結果(図4(b))では、衛星のネイティブ分解能である30cm分解能の分類を実現しており、各戸建ての宅数、サイズ、道路、周囲の緑地などを高精度に識別可能である。なお、この技術は東京大学横矢研究室のグループが開発したOpenEarthMap⁽²⁾の成果を利用している。さらに、この技術と当社の超解像技術(MELTERRA HD)との組合せで、使用する衛星画像よりも更に高い分解能での分類が可能になった。

3.3 エキスパートモデルを用いた活用事例

特定の土地利用種別に着目する場合には、その種別に特化したエキスパートモデルを用いることで抽出精度の向上が可能になる。図5に、1m分解能の衛星で小型コンステレーションを形成するSatellogic^(注2)衛星の画像を用いて建物検出した結果を示す。中分解能の小型衛星画像からでも、住宅地の個別の建物を識別している。これは、小型衛星を活用した低コストかつ高頻度なソリューションを実装する上でも、市街地での建物の変化の検出や災害時の被災状況の早期把握が可能なることを示した。

(注2) Satellogicは、URUGUS S.A.の登録商標である。



図4-JHR LULC MapとMELTERRAランドスキャンの比較



図5-Satellogic衛星画像から建物検出を実施した例

3.4 定量的な土地利用変化の把握

MELTERRAランドスキャンによる土地利用解析技術は、高度な機械学習モデルを使用して衛星画像から土地の現状を正確に把握し、その変化の時系列追跡が可能である。この技術はターゲットになる衛星画像に対して、モデルを特化させることで、その地域特有の特徴を反映した土地利用状況の解析を実現する。これによって、観測された瞬間の土地の状況だけでなく、時間経過による変化も定量的に捉えることが可能である。

図6に、2014年から2022年のWorldview-3画像を用いて、AI技術を活用して土地利用の変化を検出し、緑地や建物、道路などの面積の増減を具体的に示した結果を示す。この結果は、都市計画や環境管理の意思決定で重要な情報になると考える。例えば、自治体が進めるまちづくりの施策の効果について、接する緑地の割合や建物の更新率等の土地利用の変化を通した定量的な評価によって、政策の有効性の検証や今後の計画策定が可能になる。

3.5 想定ユースケース

3.4節までに述べた結果は、MELTERRAランドスキャン技術が持つ可能性を示しており、土地利用の分析だけでなく、都市計画、環境保全、災害対策など幅広い分野での応用が期待される。定量的なデータに基づく意思決定支援は、持続可能な社会の実現に向けた重要な一歩になると考える。当社が想定する具体的なユースケースの例を次に示す。

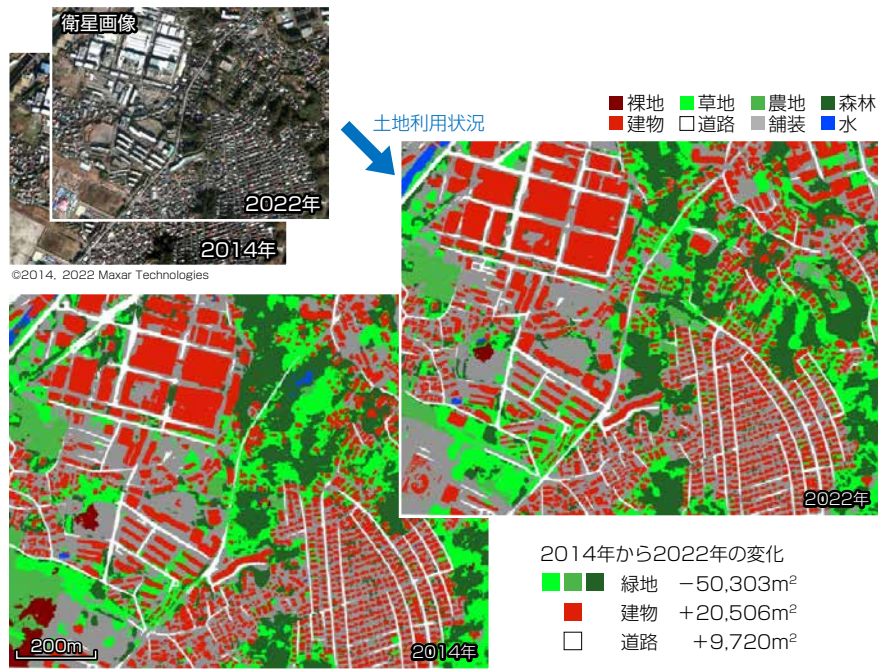
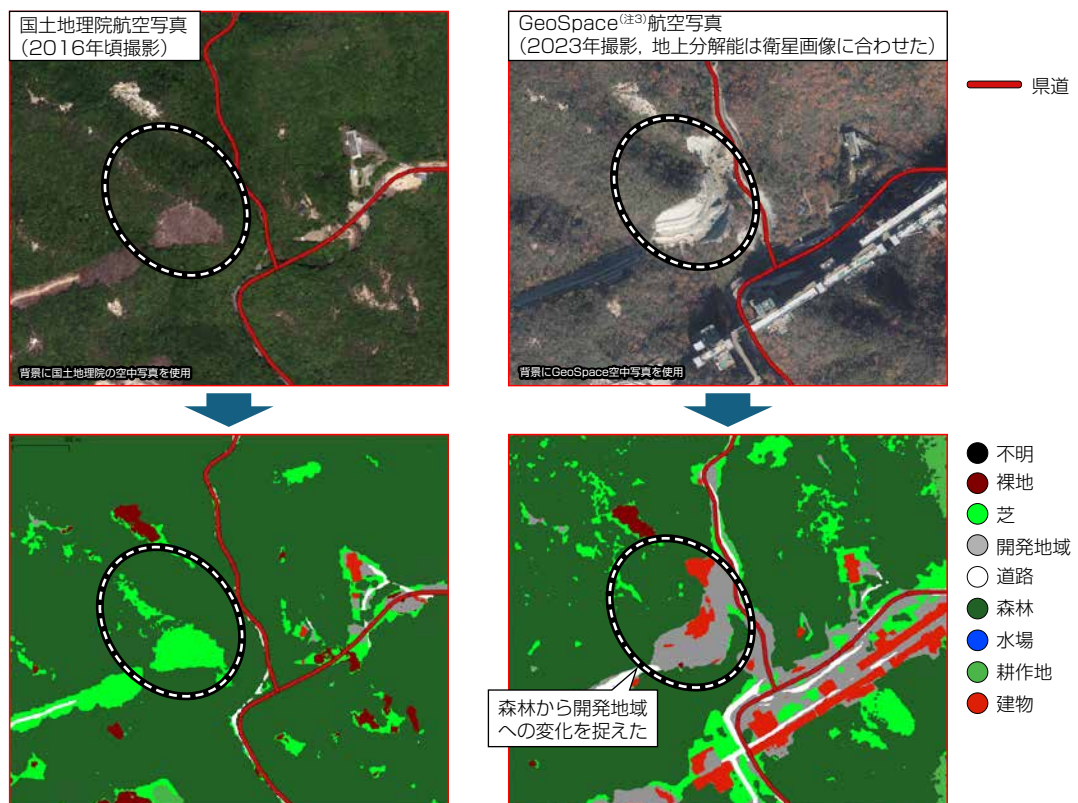


図6－高分解能光学衛星(Worldview-3)から定量的な土地被覆量を算出した結果

3.5.1 生態環境の監視

生態環境への監視は、環境変化、特に人間活動による影響を把握し、対応策を講じるために使用される。図7は、2016年と2023年の神戸市の空中写真を分析した例である。MELTERRAランドスキャンが県道周辺の法面工事の変化を



(注3) GeoSpaceは、エヌ・ティ・ティ・インフラネット㈱の登録商標である。

図7－MELTERRAランドスキャンを用いて法面変化を捉えた例

正確に検出したことを示す。この分析は、法面の維持管理や災害リスク評価での重要な支援ツールになると考える。衛星データを活用すれば、従来の現地調査に代わる手法として、より広範囲で迅速かつ効率的に法面の状態を把握し、必要な対策を講じることが可能になると考える。

3.5.2 都市拡大モニタリング

都市拡大モニタリングは、都市部の成長や拡大の監視に役立つ。この技術の活用で、都市開発のパターンや速度を理解可能になる。図8は、2014年と2023年の鎌倉市のWorldview-3画像を分析し、分譲地の宅地開発を検出した事例である。この分析は、建築・建設・土木の営業活動を代替し、支援可能なツールになると考える。衛星画像の時系列変化を見ることで、現地に赴くことなく、各業種にとって適切な営業のタイミングを見つけることが可能になる。

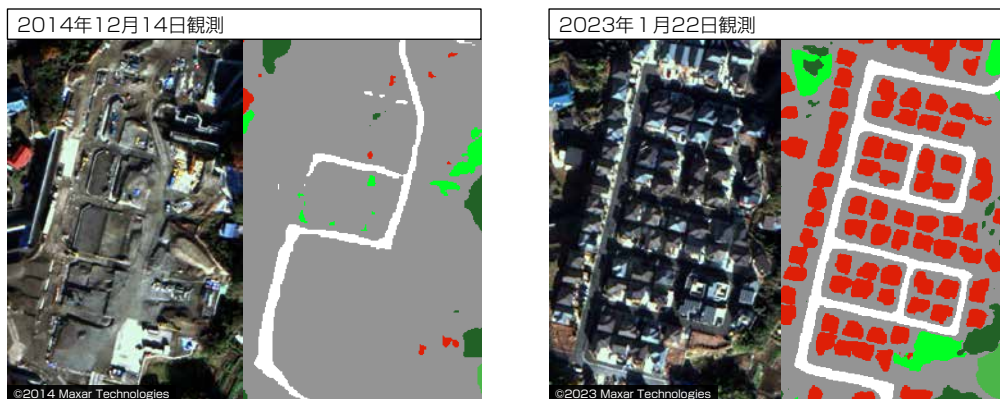


図8-MELTERRAランドスキャンを用いて分譲地の宅地開発を検出した例

3.5.3 被災状況把握

図9は、災害発生前後の地表の変化を検出したものである。災害発生前後の地表変化の検出によって、災害対応や復旧計画の策定に役立てることができる。特に衛星画像の広域性を生かして、建物被害が深刻なエリアや、通行可能な道路を抽出することで、被害の全容を瞬時に把握する。なお、この事例については、4章で詳しく述べる。

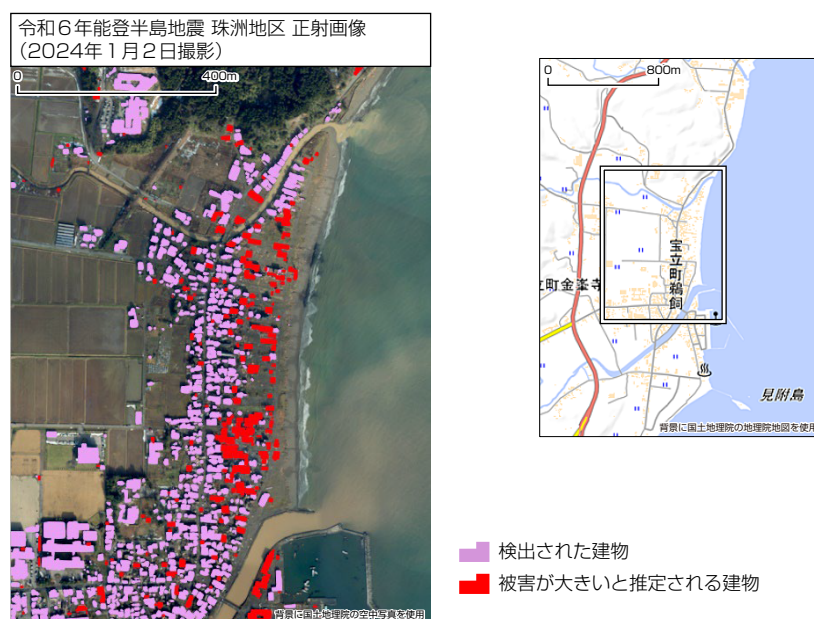


図9-MELTERRAランドスキャンを用いて被災した建物を抽出した例

3.5.4 建築物の情報更新

都市部や郊外の建築物の情報更新は、都市部の建物の変化を検出し、建築物データベースを最新の状態に保つ。また、自然災害などによる建物の損傷を評価し、復旧計画の立案に利用可能である。図10に、湘南鎌倉総合病院の増改築及び増築された建屋の面積を検出した事例を示す。建物の増改築は不動産の評価額に影響を及ぼすため、従来人手や航空機で行われてきた実地調査であるが、衛星からの自動解析で支援が可能である。

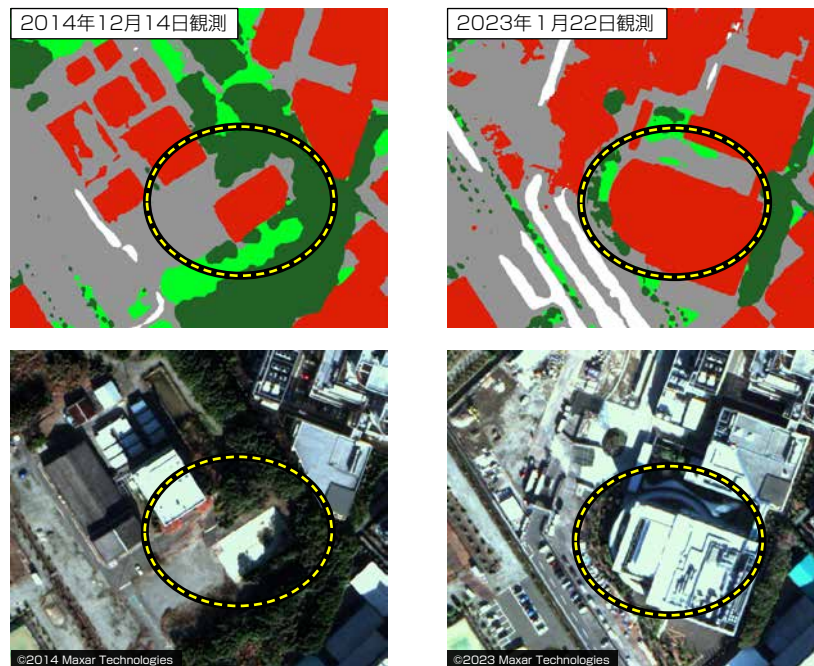


図10-MELTERRAランドスキャンを用いて湘南鎌倉総合病院の増改築を抽出した例

3.5.5 森林伐採監視

図7の事例の応用で、違法な伐採活動や森林の健康状態を監視し、環境保護政策の策定へ貢献できる。MELTERRAランドスキャンは広範囲の森林をリアルタイムで監視可能なため、違法伐採の兆候を即座に検出可能である。このアプローチは、地球規模での森林保護努力に大きなポテンシャルを持ち、環境保全と資源管理の改善に寄与する可能性がある。

3.5.6 スマート農業

図7の事例の応用で、農地の健康や作物の成長を監視し、最適な灌漑(かんがい)や肥料施用のタイミング等を判断することで、農業効率の向上に貢献可能である。このアプローチは、資源の効率的な利用と持続可能な農業生産性の向上に寄与する可能性がある。

4. 令和6年能登半島地震での適用例

この章では、MELTERRAランドスキャンを用いて令和6年能登半島地震での建物被害把握を実施した結果について述べる。

4.1 令和6年能登半島地震での適用例の概要

2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震では、住宅の甚大な被害として、石川県内で全壊5,910棟、半壊16,231棟などが報告されている⁽³⁾。被害が広範囲であったため、全容把握に労力と時間を要した。また、余震が続く中で被害把握には困難な場合も多かった。そこで、近年広域の被災状況を把握するための現地調査に代わる代替手段として、衛星によるリモートセンシングデータの活用が進められている。例えば、令和6年能登半島地震でも、様々な枠組み

の中で地球観測衛星による緊急観測が行われ、その衛星データの解析結果が活用された。当社でも衛星を利用した観測ソリューション技術であるMELTERRAランドスキャンを用いて災害被害把握を実施し、被害状況把握を支援した。そこで、MELTERRAランドスキャンを用いた被災把握の結果と、目視での判読結果との定量的評価の実施結果を述べる。

4.2 従来手法

3.1節に述べた理由から、広範な土地利用状況を衛星画像から正確に識別するためには自動処理が必要である。国内では、国立研究開発法人 防災科学技術研究所が災害対応に必要な情報を集約し、統合的に発信している防災クロスビューがある⁽⁴⁾(図11)。防災クロスビューの建物被害推定では、震動分布の推定結果を使って、建物構造、被災度、耐震基準・年代ごとに異なる被害関数を適用し、250mメッシュごとの被害率、建物被害棟数を計算し表示している。

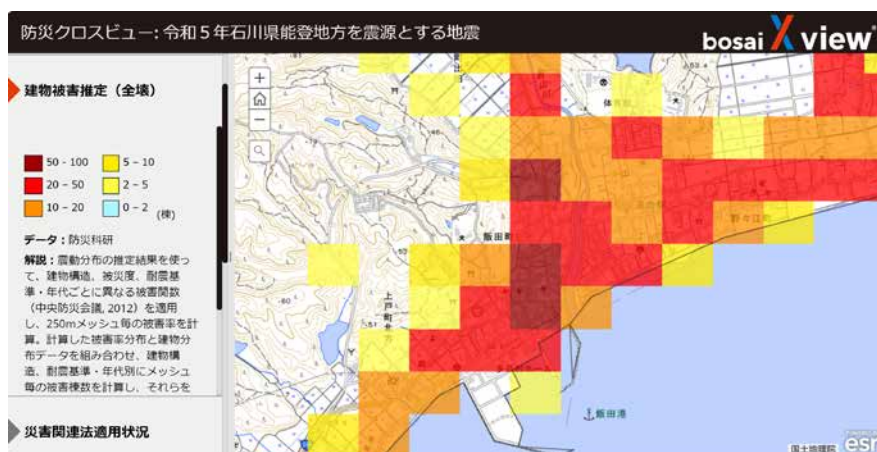


図11-従来手法(防災クロスビュー)によって建物被害を抽出した例

また、従来の建物被害状況把握の手法として、航空写真や光学衛星画像から目視判読によって建物被害を抽出する手法がある。図12は、令和6年能登半島地震で被害が大きかった輪島市の建物被害を抽出した例であるが、図中の黄枠の範囲の判読を1人で実施した結果、数時間を要した(約360棟の建物へのラベリングを実施)。このように、従来手法でも建物単位での被害把握は可能であるが、時間とコストがかかる問題があった。そのため、時間とコストをかけずに建物単位での被害状況を把握する技術の開発が必要であった。そこで、令和6年能登半島地震の建物被害抽出にMELTERRAランドスキャンを適用した。

崩壊の判断基準

- ・ European Macro-seismic Scale (EMS-98)のGrade5に相当する崩壊
- ・ 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン(日本建築学会構造系論文集第524号66-72)の木造軸組工法の崩壊も参照



2010 HAITI EARTHQUAKE Final Report記載のGrade5建物例



目視での建物崩壊判読結果

判読作業時間: 数時間(360個の建物のラベリング)

図12-従来手法(航空写真からの判読)によって建物被害を抽出した例

図13に、MELTERRAランドスキャンを用いた建物単位の被害解析と建物被害解析のフローを示す。今回は災害前後の航空写真を用いた。災害前後の航空写真にMELTERRAランドスキャンを実施し、それぞれの土地利用分類を算出した。次に、災害前後の土地利用分類から建物の分類結果から差分を抽出し、変化建物ポリゴンを抽出した。この変化建物ポリゴンが建物被害抽出結果になる。なお、図13のフローについて2枚の画像から建物被害までの処理時間は5分で

ある。AI建物被害解析を能登半島全域に実施した例を図14に示す。図14の範囲の処理に要した時間は1時間強であった。例えば図14左の輪島市を拡大していくと、先に述べた解析結果と同じ結果が確認できる。



図13-建物単位の被害解析の例と解析フロー

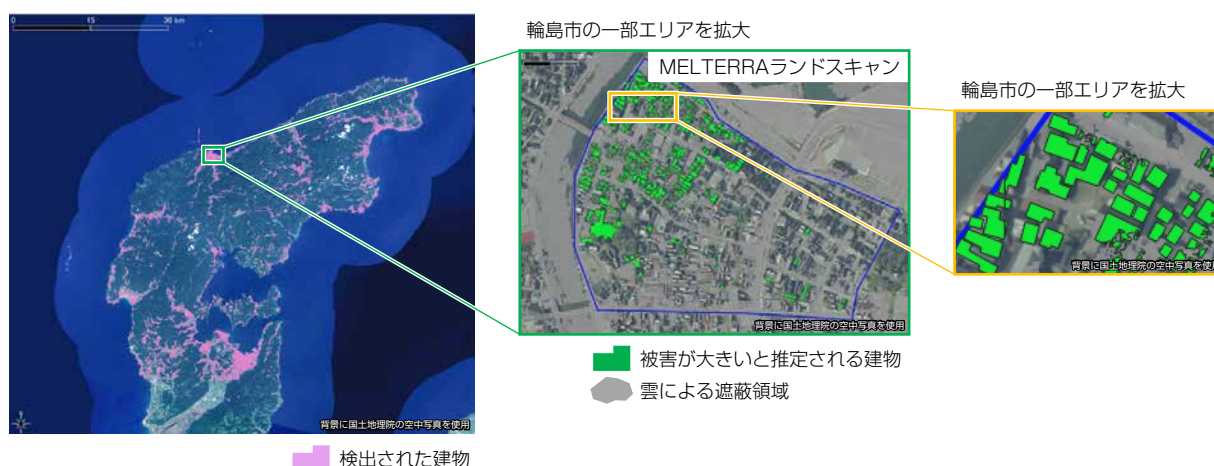


図14-能登半島全域での建物単位の被害抽出例

4.3 評価

建物被害解析結果の精度評価のために、防災科学技術研究所が実施した輪島市の被害判定結果との比較を実施した。図15に現地調査結果を示す。なお、現地調査結果では、ダメージグレードをD0～D5まで分類していたが、航空写真からD0～D4の識別は困難ため、D5と火災を対象とした。

今回能登半島全域に対して、提案手法を適用した。適用結果の一部を図16に示す。図16に白色で示された場所は建物に大きな被害があると予想される場所である。また、黒色で示された場所は、雲による遮蔽で建物が検出できなかったエリアである。背景及び検出処理を実施した画像は、国土地理院が公表している2024年1月5日に撮影された航空写真である。

表1に、建物被害解析結果及び目視判読結果と現地情報との精度評価結果を示す。両結果を比較すると、適合率はあまり変わらないが、再現率を見ると建物被害解析結果が低いことが分かる。これは、倒壊した建物を見逃した事例が多いことを示している。一方で、建物被害情報の作成時間を見ると、図16の青枠の範囲で12倍以上の速度で建物被害解析が結果を算出していることが分かる。したがって、この解析結果で建物被害と判定した箇所は、実際に建物被害が発生したと判断し、建物被害が少ない箇所の現地調査に注力することで、現地調査の負荷を低減可能と考える。ただし、安全サイドの考え方では、見逃し率が高いのは問題であると考ええる。

- ・能登半島の20エリアを選定し、そのエリア内の建物1棟ごとの被害判定の結果を現地調査
- ・地震被害調査のための建物分類と破壊パターンのD0～D6及び火災で分類⁽⁵⁾
- ・比較対象は、崩壊(Destruction)の現地調査結果D5以上と火災
- ・今回は青枠の範囲の精度評価を実施

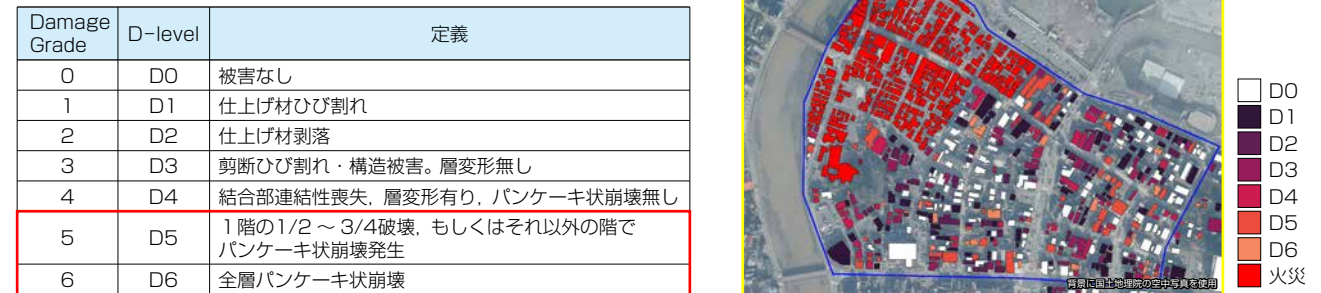


図15-現地調査結果

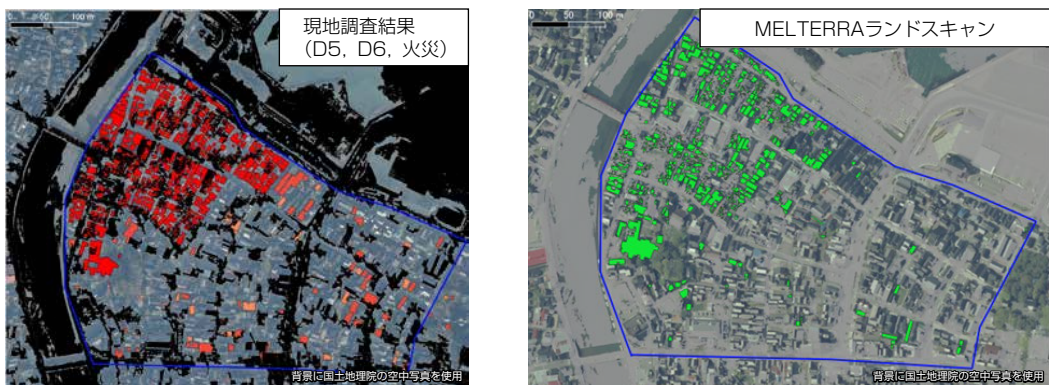


図16-JHR LULC MapとMELTERRAランドスキャンの比較

表 1-AIによる建物被害解析結果及び目視判読結果と現地情報との精度評価結果

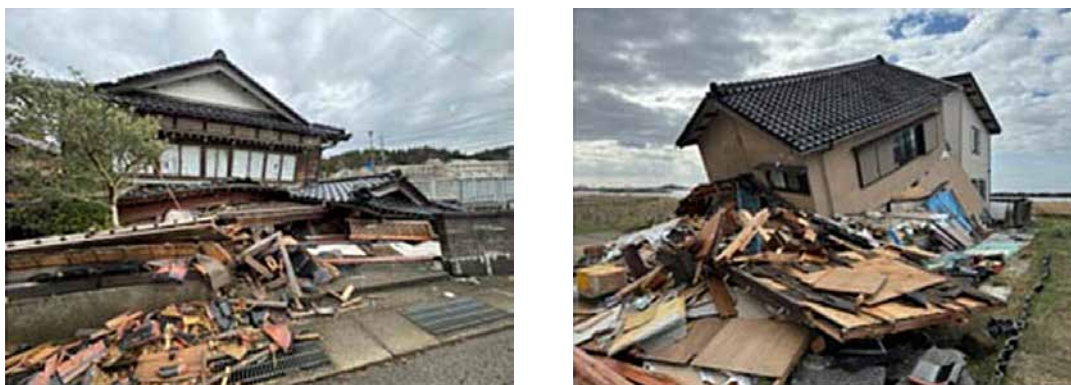
		AI建物被害解析結果の精度		目視判読結果の精度	
		最高値	最低値	最高値	最低値
正答率 現地情報との	正	237	134	296	75
	誤	60	444	37	467
	適合率	0.80		0.89	
	再現率	0.64		0.80	
	F値(適合率と再現率の調和平均)	0.71		0.84	
解析範囲の建物被害情報の作成時間		5分		1時間～数時間	
能登半島全域の建物被害情報の作成時間		1時間強		1日～数日	

4.4 見逃し事例

図17は、建物被害解析で見逃した建物倒壊の例である。左図は建物の2階はそのまま、1階が押し潰(つぶ)されていることが分かる。また、右図は1階が押し潰されて家屋が傾いていることが分かる。このような事例の場合、上空から一見すると屋根部分は変化がないように見えるので、AIによる土地被覆分類で“被害なし”と誤抽出されることが考えられる。今後はこれらの見逃したケースについて、AIに追加学習させることで精度向上を図る予定である。

4.5 令和6年能登半島地震への適用のまとめ

MELTERRAランドスキャンを用いて能登半島地震での建物被害把握を実施し、目視での判読結果との定量的評価を実施した。その結果、適合率0.80、再現率0.64の結果を得られた。再現率が低い理由が、1階が押し潰されたような被害事例であったため、今後は他エリアや衛星画像での検出評価も実施するとともに、押し潰されたような建物被害への学習を進めていく。

図17-建物被害解析で見逃した建物倒壊例⁽⁶⁾

5. む す び

日本での人口減少と労働力不足の問題に対処し、国内のインフラや経済活動を支えて、発展させるためのリモートセンシング技術の活用について述べた。特に、衛星画像を用いた土地利用状況の自動分類技術MELTERRAランドスキャンの開発とその応用可能性に焦点を当てた。また、令和6年能登半島地震の事例からMELTERRAランドスキャンが実用に耐える精度を持つことが確認できた。これによって、従来の現地調査に代わる効率的な手法として、広域な範囲の土地利用の変遷を時系列で把握し、都市部や山間部での環境変化の監視、災害管理、都市計画、環境保全など幅広い分野での意思決定支援に貢献することが示された。この研究が提供するリモートセンシングデータの活用は、社会的課題への対応だけでなく、当社が発信するESG分野でのサステナビリティイノベーションに向けた一歩になる。今後も技術の進化とともに、これらの応用範囲の拡大と精度向上を実現する。

参 考 文 献

- (1) JAXA：高解像度土地利用土地被覆図
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc_j.htm
- (2) Xia, J., et al. : OpenEarthMap: A benchmark dataset for global high-resolution land cover mapping, 2023 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision, 6254~6264 (2023)
- (3) 内閣府：令和6年能登半島地震に係る被害状況等について
<https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/index.html>
- (4) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所：防災クロスビュー：令和5年石川県能登地方を震源とする地震
<https://xview.bosai.go.jp/view/index.html?appid=6ee66425288a4778ac62c517bade15f5>
- (5) 高井伸雄，ほか：地震被害調査のための鉄筋コンクリート造建物の破壊パターン分類，日本建築学会構造系論文集，66，No.549，67～74（2001）
- (6) 一般社団法人 日本住宅基礎鉄筋工業会：能登半島地震の現地調査 第二報（2024）
<https://www.jhr-net.jp/serialms05>