オープン衛星データによる市街地変化の検出方法に関する検討
－合成開口レーダと光学衛星を用いた建物変化検出手法－

斎藤陽生*・寺木彰浩**

A Fundamental Study on Urban Change Detection Methods Using Open Satellite Data
- Development of a Building Change Detection Method Using SAR and Optical Satellites -

Yosei SAITO*, Akihiro Teraki**

Abstract: Urban areas in Japan are experiencing rapid transformation due to the replacement of aging buildings and the construction of new high-rise structures. Continuous monitoring of such changes is essential for effective urban planning and disaster risk reduction. Conventional approaches, including surveys and aerial photographs, are limited in temporal frequency and spatial coverage. This study examines the potential of open satellite data from Sentinel-1 synthetic aperture radar (SAR) and Sentinel-2 optical sensors for detecting building changes. Sentinel-2 images were processed to extract change polygons from RGB reflectance differences, while Sentinel-1 coherence data were employed to evaluate structural variation by calculating absolute coherence differences. Cases with small color differences or small building areas were difficult to capture accurately. In contrast, large-scale construction and demolition were clearly detected. These results suggest that the integration of optical and SAR data is effective for city-scale monitoring of building changes.

Keywords: リモート・センシング（Remote Sensing），合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar），コヒーレンス（coherence），建物変化（building change）

１．はじめに

市街地の環境や脆弱性などを評価するためには，「建築物の一棟ごとの状況を詳細に，同時に，広い範囲で俯瞰する」という 2 つの相反する方向の技術開発が必要となる．従来このような市街地の建物の変化の把握には，都市計画基礎調査の建物利用現況調査や航空写真・住宅地図などを用いた時系列比較等がおこなわれてきた．しかし，これらは調査や撮影間隔が数年単位である，あるいは，変化途中の情報が反映されないなどの課題がある．常に変化する市街地の変化を広範囲にわたって捉えるには十分とは言えない．特に近年，新築だけでなく，老朽化に伴う改築や建替，人口の移動や減少に伴う滅失など，市街地変化の内容が変化している．その面からも個々の建物を面的に把握する技術が強く求められている．

一方で衛星リモート・センシング技術が発展と衛星データのオープン＆フリー化により世界中で様々な地球観測衛星が運用され，広域を継続的に観測することが可能となりつつある．欧州宇宙機関（ESA）の Copernicus 計画の一環として運用されている Sentinel シリーズはその代表例であり，光学センサを搭載する Sentinel-2 と，C バンドの合成開口レーダ（以下，SAR）を搭載する Sentinel-1 は広域を高頻度で観測をおこなっている．

本稿では，Sentinel の衛星データを用いて，市街地における建物の建築・除却等の変化を検出する手法を，東京 23 区を対象として検討した結果を報告する．

２．既往研究

衛星データを市街地の建物に着目した例として，米澤・竹内（1998）や松岡・山崎（2001）がある．これらの研究では，阪神淡路大震災における SAR 画像解析結果と災害現況図や建物被害の現地調査結果との比較をおこない，SAR データが建物被災の把握に有効であることを示している．近年では，小林ほか（2011）や松岡ほか（2024）など SAR コヒーレンス（以下，コヒーレンス）という指標を用いて市街地における液状化や建物被害状況把握をおこなった事例がみられる．

いずれも災害時の変化に着目した事例であり，平常時の市街地の建物の変化に着目した事例は見られなかった．そこで，斎藤ほか（2024）では，ALOS-2 のデータを用いて，平常時においても同様に建物の建築・除却等の変化の検出が可能かについての検討をおこなった．

具体的には，コヒーレンスは，SAR で同一地点を 2 回観測した際の干渉性の度合いを 0～1 の範囲で示す指標である．1 に近い値は建物など構造物の多い場所で得ら

* 学生会員　千葉工業大学創造工学研究科　（Chiba institute of technology, Graduate School of Creative Engineering ）
〒275-0016　千葉県習志野市津田沼 2-17-1　E-mail：s20b2038gk@s.chibakoudai.jp
**正会員　千葉工業大学創造工学部（Chiba institute of technology）

れやすく，植生地や田畑などでは低い値を示す．さらに，観測時期の間に地表面の変化があった場合にも値は低下する．このため，異なる時期のペアであってもコヒーレンス値の分布は概ね類似するという特徴が確認された．この特徴を利用し，2 つのコヒーレンス画像の差の絶対値を算出した．その結果，土地被覆に起因する元来のコヒーレンスが相殺され，値が大きい領域を確認することで，建物の新築・除却などの変化を抽出できることが明らかとなった．

得られたラスタデータでは，建物変化が発生した場所で周囲と比較して大きな値を示した．この特性を活用し，等高線を生成し，変化した建物のポリゴン化を試みた．しかし，変化位置を大まかに示すポリゴンを生成することは可能であったが，実際の建物形状を捉えることは困難であった（図 1）．

本稿では，この課題を解決するにあたり，従来の SAR 衛星を用いた手法に加え，光学衛星を組み合わせた手法についての検討をおこなう．

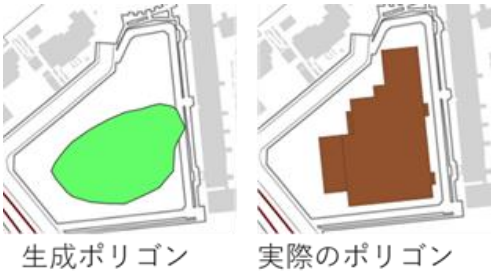


図 1　SAR による生成ポリゴン

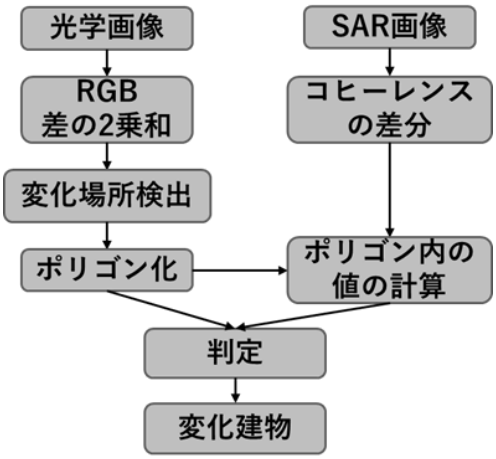


図 2　建物変化検出手法

表 1　利用した Sentinel-2 のデータ

衛星	観測日	観測時間（UTC）	軌道方向	処理レベル
Sentinel-2A/	2016/12/9	T01:30:42	Descending	Level-2A
MSI	2020/12/8	T01:30:41	Descending	Level-2A

３．手法の検討

３.１研究フロー

光学衛星は太陽を光源とし，可視光領域などを観測しているため，2 枚の光学画像を比較した際に，変化した場所が把握しやすい．そこで本研究では，従来の課題であった「変化のあった建物形状」を光学衛星データから抽出し，その生成された色変化ポリゴンが建物の高さ方向の変化によるものか，SAR データを用いて判定する手法を検討する．実際の処理フローを図 2 に示す．

３.２対象

実際に Sentinel-1,2 のデータを用いて，手法の検討をおこなった．市街地変化検出を目的としているので，対象エリアは建物変化が多い東京 23 区とし，変化抽出期間を 4 年とした．

３.３　光学画像の処理

Sentinel-2 のデータについては Copernicus Data Space Ecosystem からダウンロードをおこなった．GIS 上で処理をおこなうため，あらかじめ幾何補正済み，大気補正済みである 2LA のプロダクトを用いることとした．実際に使用したデータを表 1 に示す．

本検証においては，建物の変化抽出にあたって視覚情報と同じ，RGB のバンド帯（Sentinel-2 では各 B04, B03, B02 に該当）を用いる．また，建物を形状を捉えるため，最も分解能が高い 10m のデータを用いた．2LA プロダクトでは，各ピクセルが地表面の反射率を 10,000 倍にした値になっている．計算の事前処理として，0～1 スケールに変換するため，各ピクセルについて 10000 で除し，一部 1 を超えたものについては，1 に変換をおこなった．

変化ポリゴンの生成においては，色が変化した場所のみを抽出することが求められる．そこで，２時点間の画像間の比較をおこなう．可視光領域である RGB それぞれのバンド帯の 2 時期の差分の 2 乗和を求めることで，色の変化が大きい場所を抽出する計算をおこなった．

$$色変化式 = \frac{(R_1-R_2)^2+(G_1-G_2)^2+(B_1-B_2)^2}{3}$$

R_1：赤バンド前時期
R_2：赤バンド後時期
G_1：緑バンド前時期
G_2：緑バンド後時期
B_1：青バンド前時期
B_2：青バンド後時期

RGB の差分の 2 乗和の計算結果をもとに閾値を決定し，変化地点のポリゴン化をおこなう．計算結果は二峰性分布をもたないが，クラス内分散を最小にし，2 つのクラス間の分散を最大化する閾値を決定法である大津法を用いて閾値を計算し，ポリゴン化をおこなったところ，実際の変化場所との当てはまりがよかったため，これを採用し，色変化ポリゴンを作成した（図 3）．

３.４　SAR 画像の処理

Sentinel-1 の SAR データについては，Sentinel-2 と同様に Copernicus Data Space Ecosystem から SLC プロダクトのデータのダウンロードをおこなった．コヒーレンス画像については衛星解析ソフトウェアである SNAP を利用し作成をおこなった．

従来，地震等における被害地域の抽出等をおこなう場合，3 時点の観測データを組み合わせて変化の抽出が用いられる．地震の場合は，地震発生前 1（1），地震前発生 2（2），地震発生後（3）の 3 時点の観測データをもとに，（1）と（2）ペア①，（2）と（3）のペア②のコヒーレンスの比較をおこなうことで，被害場所を抽出する方法が用いられる．一方，今回の検証においては，スパンが長く，数年単位のスパンの組合せで Sentinel-1 のデータを用いてコヒーレンス画像を作成した場合，複数の地域で時期による干渉性が低下が大きく，建物の変化のみの抽出が困難であることが確認された．

そこで本検討においては， Sentinel-2 のデータが観測された 2016 年 12 月付近のペア①と，2020 年 12 月付近のペア②（表 2）の SAR データを用いてそれぞれの時期におけるコヒーレンスを計算し，従来と同じく差の絶対値を求めることで，建物変化を捉えることができているか確認をおこなった．

実際に計算結果の値が大きく，変化があったと予測される場所について Google Earth pro の高解像度衛星写真やストリートビュー等を用いて変化場所の確認をおこなった．値が大きい場所を無作為に複数抽出し確認をおこなったところ，建築・除却等の変化を確認することができた（図 4）．

よって，本検討では，この値を高さ方向の判別に用いることにした．

３.５　建物変化の判定

３．３で生成をおこなった色変化ポリゴンは 2 時期における RGB の波長帯の反射強度の変化をもとに生成されたポリゴンであるため，屋根の色の変化や道路の色の変化もポリゴン化されている．ポリゴンが建物の建築・除却等による変化なのか判別をおこなうために，３．４で計算をおこなったコヒーレンス差の絶対値を用いる．GIS 上で色変化ポリゴン内のコヒーレンス差の絶対値の平均を求め，色変化ポリゴンが建築・除却等によるものなのか判別をおこなう．

判別する閾値については，３．４のコヒーレンス差の絶対値をもとに 0.05 間隔で等高線を発生させ，実際に変化した建物の境界と等高線との重なりの確認をおこなった結果，0.15 を採用することとした．0.15 以上の場合に建物の建築・除却等の変化，0.15 未満の場合にそれ以外

表 2　利用した Sentinel-1 のデータ

衛星/センサ	軌道方向	干渉ペア	観測日	観測時間（UTC）	プロダクトタイプ	観測モード	利用した偏波
Sentinel-1B/ C-band SAR	ASCENDING	①	2016/12/2	T08:41:15	SLC	IW	VH
	ASCENDING		2016/12/14	T08:41:15	SLC	IW	VH
	ASCENDING	②	2020/12/5	T08:41:41	SLC	IW	VH
	ASCENDING		2020/12/17	T08:41:40	SLC	IW	VH

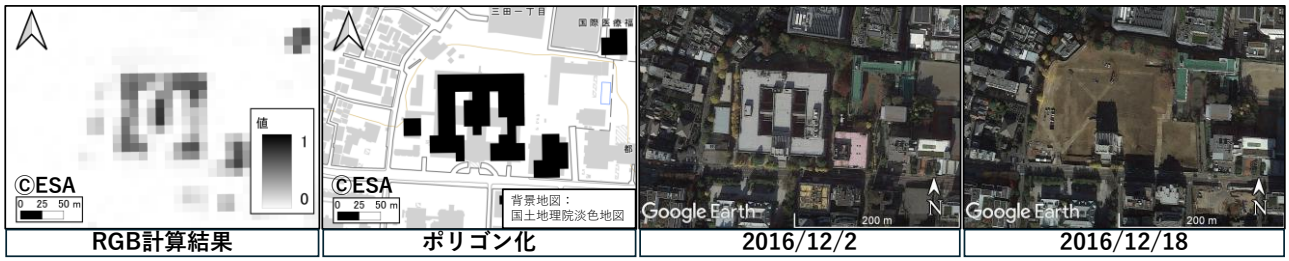


図 3　変化ポリゴン作成例



図 4　変化検出例

と判別される．

3.6　検証結果

実際に建築行為が確認されたタワーマンションや大規模倉庫について建物形状のポリゴンを生成したうえで，建物の建築・除却の判定に成功した．

また，建築行為が確認された建物と，屋根や地面の変化が混在するエリアにおいても，それらの判別に成功した例が確認された（図 5）．

また，期待されない判別例も複数確認された．図 6 のポリゴンでは建築・除却等の変化は確認できなかったが，建物変化と判別された．屋根に太陽光パネルとみられるものの設置された形跡があり，色変化ポリゴンが生成されたと考えられる．ポリゴン内でペア①とペア②それぞれのコヒーレンスの平均値の計算をおこなった結果，ポリゴン内のコヒーレンス値は 2020 年のペア②のほうが大きく，太陽光パネルの設置により干渉性が増したと考えられる．

戸建てが多い地域では変化ポリゴンを形成することができず，建物変化を捉えることができなかった（図 7）．一方で，コヒーレンス差の絶対値は，周囲よりも大きな値を示しており，SAR においては建物変化を捉えていると考えられる．

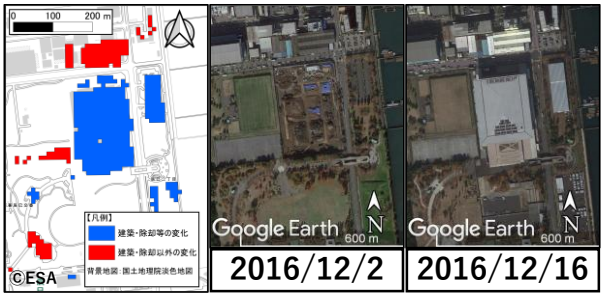


図 5　成功事例

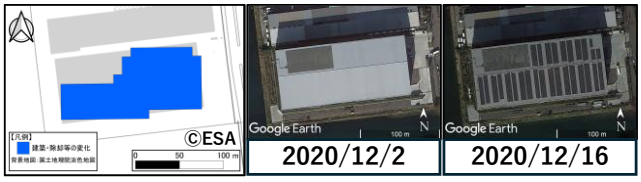


図 6　太陽光による事例

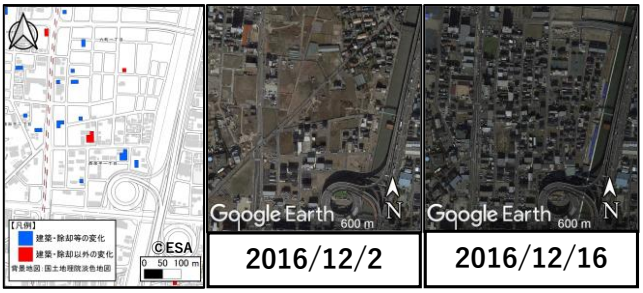


図 7　戸建て事例

また，建築・除却行為が確認された建物について形状を捉えられなかったものや全体がポリゴン化されないものが複数確認された．高解像度衛星写真を確認するとポリゴン化できなかった場所の一部，または全体で 2016 年と 2020 年とで色の変化が小さく，ポリゴンが生成されなかったと考えられる．

4．さいごに

今回の検証では，Sentinel-2 の光学画像と Sentinel-1 の SAR 画像を組み合わせて用いた．その結果，SAR のみを用いた場合と比較して，より建物の形状を捉えたポリゴンを生成することができた．さらに，色の変化や面積の大きい建物について確認を行ったところ，多くの事例で建物変化の判別に成功した．一方で，色の変化が小さい建物や面積が小さい建物については変化ポリゴンを生成することができず，変化を抽出することができなかった．

今回の色変化式では差の 2 乗和を用いているため色の変化が大きい場所を強調する傾向が見られた．今後はより微小な変化を捉える式についても検討をおこなっていきたい．また，面積が小さい戸建て等や色の変化が少ない場所でポリゴンを生成できない場合でも，コヒーレンス差の絶対値では値が大きく，変化を捉えていると考えられる場所が複数確認された，今後はポリゴン化する前に組み合わせる方法などについても検討をおこなっていきたい．

参考文献

米澤千夏・竹内章司（1998）ERS-1/SAR 強度画像を用いた兵庫県南部地震による建造物被害地域の抽出.「写真測量とリモートセンシング」，**37**，(4)，57-61

松岡昌志・山崎文雄（2001）1995 年兵庫県南部地震での建物被害地域における人工衛星 SAR 強度画像の特徴.「日本建築学会構造系論文集」，**66**，(546)，55-61

松岡昌志・カリムザデ サドラ・大串文誉・桑原光平・西村和真・山口亮（2024）合成開口レーダ（SAR）衛星から観た 2024 年 1 月 1 日の能登半島地震直後の被災地.「日本リモートセンシング学会誌」，**44**，(1)，52-57

小林知勝・飛田幹男・小荒井衛・乙井康成・中埜貴元（2011）干渉 SAR のコヒーレンス変化から見る平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う液状化地域.「国土地理院時報」，**122**，143-151

斎藤陽生・古市琢雄,・寺木彰浩,・阪田知彦（2024）オープン衛星データプラットフォーム利用による市街地変化検出の試行.「都市計画報告集」**23**，(1)，72-77