口頭発表

2025年11月1日(土) 16:00 ~ 17:40 | D会場(共通教育棟 A21番教室)

[D4] 防災１

司会：岸本 まき

16:00 ~ 16:20

[D4-01] 超小型衛星による機動的極端気象災害監視の戦略

*高橋 幸弘[1] (1. 北海道大学)

16:20 ~ 16:40

[D4-02] 停電履歴情報を用いた令和6 年能登半島地震による停電GIS データの作成

*杉本 賢二[1]、小松 紗也[2]、松村 寛一郎[3] (1. 大阪公立大学、2. 元・大阪市立大学、3. 金城大学)

16:40 ~ 17:00

[D4-03] 津波に対する住民の主観的な防災意識と物理的なリスクのギャップ可視化に関する研究

*松本 亜玖亜[1]、秋山 祐樹[1]、小久保 賢人[1] (1. 東京都市大学)

17:00 ~ 17:20

[D4-04] マニラ首都圏における洪水リスクが不動産賃料に与える影響の分析 ― 賃料帯の異質性に着目して ―

*釜谷 紘生[1]、堤 盛人[1] (1. 筑波大学)

17:20 ~ 17:40

[D4-05] 観測衛星による大地震時の市街地被害解析ガイドライン案の検討

*阪田 知彦[1] (1. 国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部)

©一般社団法人地理情報システム学会

超小型衛星による機動的極端気象災害監視の戦略

高橋幸弘*

Strategy for agile extreme weather disaster monitoring using micro-satellites

Yukihiro Takahashi*

Abstract: Real-time monitoring of natural disasters caused by extreme weather and understanding the broader conditions leading to them are crucial issues from a disaster mitigation perspective. However, observations from existing satellites are not always sufficient in terms of observation frequency and ground resolution. Yet, significantly increasing the number of medium-to-large satellites from the current situation is not straightforward. We must explore incorporating low-cost, high-performance satellite observation methods while maximizing the use of existing satellite data. Our group at Hokkaido University, in collaboration with Tohoku University, has developed and launched six 50kg-class micro-satellites to date, demonstrating their practical feasibility. We have particularly succeeded in developing unique methodologies not found in existing satellites, such as creating 3D cloud models through stereo imaging and observing water vapor using a high-precision spectral camera capable of multi-wavelength selection. In the future, we aim to achieve continuous monitoring of any region globally with the world's smallest number of satellites by forming a constellation of multiple units.

Keywords: extreme weather, micro-satellite, monitoring, strategy

１．はじめに

極端気象に起因する自然災害の即時性の高い監視や、そこに至る広域の状況把握は、減災の観点から重要な要素である。一方、既存衛星による観測は、観測頻度や地上解像度の点から必ずしも十分とは言えない。しかし、頻度向上のために、中型大型衛星の数を現在の状況から大幅に増やすことは予算や運用の観点から簡単ではない。既存衛星のデータを最大限活かしながら、低価格で機能の高い衛星観測の方法を取り入れることを検討しなければならない。私たち北海道大学理学研究院のグループは東北大学工学研究科とともに、50kg 級の超小型衛星をこれまでに 6 基開発、打ち上げ、その実用可能性を証明してきた。特に、ステレオ撮影による雲の 3D モデル作成や、多波長選択が可能な高精度スペクトルカメラによる水蒸気観測では、既存衛星にないユニークな手法の開発に成功している。将来的には複数機のコンステレーションを組むことで、世界最少の基数で全球の任意の地域を連続監視の実現を目指す。

１.１　極端気象に関わる観測の課題

最近多発する個々のゲリラ雷雨、線状降水帯、台風は、いずれも積乱雲活動に深くかかわるものである。しかし、個々の積乱雲の時間・空間スケールは、それぞれ数 10 分から数時間以下、数 km から数 10km と短く、小さい。このことが、状況の把握を困難にしている。また台風に関しては、強度推定を経験的な雲の水平パターンに依存する部分が大きく、この 20 年間で予測精度向上は限られている。こうした問題の解決の糸口は、積乱雲の規模や成長速度の推定精度の改善にあると予想されるが、最先端の雲レーダーのカバー範囲は限られており、その運用も安定的なものに至っていない。

極端気象現象の予測を阻んでいるもう一つの要因が、潜熱としてエネルギーを供給し、また雨粒の材料となる、低高度での水蒸気の海上からの流れの把握である。5km よりも高高度ではひまわりなど静止気象衛星の赤外線観測が有効であるが、それ以下の高度では数の限られたマイクロ波観測に頼るしかないのが現状である。ドロップゾンデなどによる直接計測や船舶による観測も行われているが、海上の観測点を大幅に増やすことは難しい。

１.２　超小型衛星の躍進

近年、重量が概ね 100kg 以下の、超小型衛星と呼ばれるカテゴリーの衛星が、実用的にも躍進している。特に、低高度の光学リモートセンシングでは、大型衛星に遜色ない性能を持つものも出てきた。私たち北海道大学のグループは、東北大学とともに、一辺が約 50cm、重量約 50kg の超小型衛星を 6 基打ち上げ、成功率ともに国内トップクラスの実績を持つ。単に、大型衛星で行ってきたことを小さな衛星でも可能にしたというだけでなく、分光撮像では世界最多の波長選択性（600 バンド）と、既存

* 正会員　北海道大学（Hokkaido University）
〒001-0021　北海道札幌市北区　Tel：012-345-6789 または E-mail：spriteselves@gmail.com

のハイパースペクトル衛星をはるかに上回る地上解像度（4m/画素以下）を達成するなど、部分的には大型衛星を上回る性能を有する。また、ターゲットにカメラの視野を向ける時間は、1-2 分程度と高速で、指向精度は最高で 0.05 度と世界的にもトップクラスである。価格は数億円から 10 億円程度と、従来の小型～大型の衛星の数 10 分の 1 から 1/100 程度と低価格で、開発期間は 1-3 年と従来の宇宙機関の典型的なプロジェクトの 10 年前後よりも大幅に短い。

２．超小型衛星による減災への貢献の可能性

上記のような超小型衛星の活用は、従来衛星のみの観測のイメージを大きく書き換える可能性を秘めている。

２.１　高頻度観測

精度の高いカメラ指向性能は、通常の衛星直下だけでなく、対象となる災害地域に高解像度カメラを向けることを可能にする。その結果、低軌道極軌道衛星でも、1 日に昼 2 回、夜 2 回程度の観測が可能となり、計算上は 24 基のコンステレーションでオンディマンド運用（ターゲットポインティング）すれば、世界中の任意の地点を連続観測できることになる。実際には冗長性を確保した 48 基くらいが現実的な数になるだろう。即時性を確保するためには、衛星数だけでなく、地上局の充実も必須である。そのために、国内だけでなく、近隣諸国や極域の観測点を持つ各国との連携が重要である。

２.２　雲の 3D モデル作成

ターゲットポインティング技術を応用して、特定の地点を複数の異なる角度から撮像することも可能になっている。私たちのグループは、航空機や自分たちの開発した衛星を使った、雲の 3D モデル作成に成功している（参考文献）。解像度は 100-200 m から最高で約 10m と、レーダーと比べても遜色のない結果となっている。観測自体は、1 回 10 秒間くらいで、1 回の衛星通過で複数回の 3D モデルを作成し、雲の成長速度の推定まで可能になると考えている。このモデルから、積乱雲・線状降水帯による降水量予測や、台風強度推定において、大幅な精度向上が期待される。

２.３　水蒸気観測

これまで、衛星による水蒸気観測は主として受動的マイクロ波サウンダが用いられてきた。しかしその衛星の数は限られており、十分な観測頻度を確保できていない。私たちのグループは、CCD/CMOS センサーの感度範囲の近赤外戦の水蒸気吸収バンドを使うことで、低コストのカメラで海上のカラム水蒸気量を推定する技術の開発を進めている。高性能スペクトルカメラを使った実験で、すでにその目処が立っている。太陽光を利用するため夜間の観測は難しく、また濃い雲があると観測できないが、広域を高解像度でカバーできるため、今後多くの超小型衛星に搭載することで、線状降水帯や台風の発達に関わる重要な情報源となることが期待される。

２.３　雷放電発光観測

雷放電活動は豪雨に高い相関があり、台風の 1 日前予測や線状降水帯の数時間前予測に有効である可能性が見出されている。しかし、気象衛星ひまわりには、現時点で雷観測装置の搭載予定はなく、欧米中に大きな遅れをとっている。近年、小型の過渡発光検出に適した素子が開発され、世界の雷放電研究者の間で利用が進んでいる。こうしたカメラであれば、超小型衛星から、昼間も含めた雷発光観測の可能性があり、世界的に雷利用のトップを担うことも夢ではないと考える。

参考文献

Algodon, M.R., Takahashi, Y., Kubota, H. *et al.* 3D reconstruction of typhoon Trami 2018 eye and eyewall clouds from airborne imaging. *Sci Rep* **15**, 23721 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-07510-8

停電履歴情報を用いた令和 6 年能登半島地震による停電 GIS データの作成

杉本 賢二*・小松 紗也**･松村 寛一郎***

Development of Power Outage GIS Data Due to the 2024 Noto Peninsula Earthquake Using Historical Power Outage Information

Kenji Sugimoto*, Saya Komatsu**, Kanichiro Matsumura***

Abstract: The 2024 Noto Peninsula Earthquake caused widespread and large-scale power outages due to earthquakes, tsunamis, and crustal movements. If detailed information on power outages in the region after a disaster can be referenced, it will lead to diverse and multifaceted damage estimates that take into account geographical and regional characteristics. This study used power company blackout history information to create GIS data on blackout areas and periods at the town block and district level. Based on the GIS data created, we visualized the trends in the number of households affected by blackouts and blackout rates as spatial distributions and evaluated the relationship between blackout rates and seismic intensity levels. As a result, power was restored early in Nanao City and Shika Town, but it was delayed in Suzu City, located at the tip of the peninsula. Additionally, in Wajima City, Suzu City, Anamizu Town, and Noto Town, the maximum power outage rate reached 100%, clearly indicating that the entire region was without power due to the earthquake. Furthermore, when calculating the power outage rate by seismic intensity level, there was no significant difference in the reduction rate of power outages across different seismic intensity levels.

Keywords: 停電（power outage）, 令和6年能登半島地震（2024 Noto Peninsula Earthquake）, 災害復旧（disaster recovery）, 停電履歴情報（historical power outage information）

1．はじめに

2024 年 1 月 1 日に発生した石川県能登地方を震源とする M7.6 の令和 6 年能登半島地震では，輪島市と志賀町で最大震度 7 を観測し，その後の津波や液状化，火災などの複合災害により，能登半島の各地に甚大な被害を及ぼした（内閣府，2025）．また，能登半島特注の日本海に突き出た地理条件に加え，斜面崩壊や地殻変動による交通網の寸断は，人命救助や復旧支援，被災者の生活環境確保に大きな影響を及ぼした．加えて，従前の自然災害と同様に発災後に広範囲で大規模な停電が発生し，電力インフラの災害脆弱性が改めてあらわになった．具体的には，石川県を中心に最大 4 万戸が停電したが，交通途絶によりアクセスが困難な送電施設の損傷箇所が多数発生したことから，停電復旧までに 1 ヶ月以上を要した（内閣府，2025）．

こうした災害に起因した大規模停電は，2018 年の北海道胆振東部地震や 2019 年の令和元年房総半島台風など，最近の災害で度々発生している（大規模停電の記録編集委員会，2021）．さらに，今後発生する可能性が高い首都直下地震や南海トラフ巨大地震では，地震や津波による直接被害だけでなく，停電による避難生活悪化や情報伝達の制限といった二次的被害が懸念されている（中央防災会議，2025）．そのため，停電による影響を軽減するためには，過去の被害実績を踏まえた被害想定や停電復旧の見通しを検討する必要がある．

しかし，既存の災害による停電や復旧率の想定は，建物倒壊や津波避難といった他の被害想定と比べて柔軟性が低いことが課題である．例えば，地震の揺れによる建物被害の推計では，過去の被害に基づき推定された，計測震度に対する建物被害率を表現した被害関数が使用される（二神・杉本，2024）．このとき，地震による被害は被害建物の悉皆調査により，多様な構造種別や建築年のサンプルが数多く得られることから，建物の新旧混在や耐震性など，地域特性を考慮した被害推計が可能である．一方で，発災後の停電軒数や停電率は，都道府県や市町村別に時系列の推移が公表されているものの，市町村よりも小さい地域区分である町丁・字単位で明示されていることはない．また，建物被害とは異なり，外観から停電しているとは判断が難しい．そのため，災害による停電被害の想定は，都道府県や市町村などの広範な単位で行われている（中央防災会議，2025）．

ところで，電力会社では管内の配電地域に停電が発生

*　正会員　大阪公立大学 大学院工学研究科（Osaka Metropolitan University）
〒558-8585　大阪市住吉区杉本 3-3-138　E-mail：sugimoto@omu.ac.jp
**　非会員　元・大阪市立大学 工学部（Osaka City University）
***　非会員　金城大学 総合経済学部（Kinjo University）

した場合に，その地域と復旧見通し等に関する停電情報をリアルタイムで公表している．この停電情報は町丁目単位であるため，地域詳細な停電状況を知ることができる．したがって，停電履歴情報を活用して，災害後における市町村や小地域等の地域詳細な停電情報が参照できれば，地理．地域特性を考慮した多様・多面的な被害想定につながる．

以上の背景から，本研究は，電力会社による停電履歴情報を用いて，町丁目・字単位の停電地域・期間に関するGISデータを作成した．また，作成したGISデータをもとに，停電戸数・停電率の推移を空間分布として可視化するとともに，停電率と震度階級との関係について評価を行った．

2．手法

停電GISデータは，北陸電力HPで公表している「停電履歴情報」と，総務省による「令和2年国勢調査 町丁・字等境界データ」（(以下，境界データ）とを，町丁字名で結合することで作成する．対象地域は，能登半島の7市町（七尾市，輪島市，珠洲市，志賀町，中能登町，穴水町，能登町）とした．

停電実績データとして，北陸電力HPで公表された「停電履歴情報」を用いた．対象期間は，地震発生翌日の2024年1月2日から，停電復旧が概ね完了した3月15日までの期間とした．停電履歴情報は，対象期間中に日々アーカイブをしたものを利用する．停電履歴情報は，停電した地域の町域名や発生日時，停電戸数，復旧見通しについて記載がある．

表1に，停電履歴情報の例を示す．停電履歴情報は，送配電網地域や防犯上の理由から，表1中の「宝立町柏原」のように，同じ町丁字名で複数の停電戸数が記載されている場合がある．また，「境界データ」は国勢調査による基本地域単位であるため，実際の住所表示とは異なる町丁字名である場合がある．そのため，「境界データ」の町丁字名に合わせて，停電戸数を合算した．例えば，

表1　停電履歴情報の例（珠洲市，2024年1月3日時点）

町丁字名	停電戸数
宝立町鵜飼	約350戸
宝立町鵜島	約60戸
宝立町大町泥木	約20戸
宝立町柏原	約200戸
宝立町柏原	約60戸
宝立町春日野	約150戸
宝立町春日野	約240戸
宝立町宗玄	約120戸
宝立町馬渡	約60戸
宝立町南黒丸	約110戸

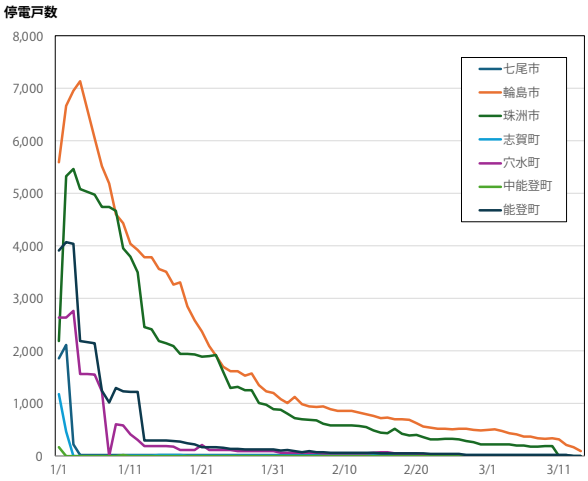


図1　市町別停電戸数の推移

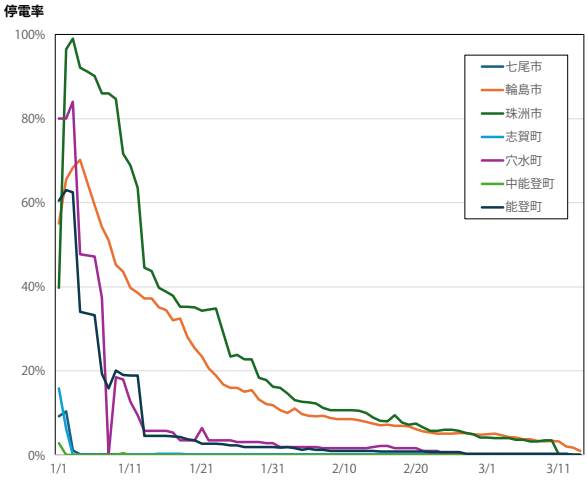


図2　市町別停電率の推移

表1に示した珠洲市宝立町地区は，「境界データ」では宝立町という1つの町丁字として集計されている．そのため，「停電履歴情報」の宝立町に該当する停電個数を合計し（表1の場合，1,370戸），それを「境界データ」の属性情報に付与した．以上の手順を対象期間内で繰り返し，停電GISデータを作成した．

3．結果

3.1　停電の推移

図1に，市町別の停電戸数の推移を示す．停電戸数の多い市町は，輪島市（最大6,668戸），珠洲市（最大5,463戸），能登町（最大4,070戸）の順であった．また，停電戸数のピークは地震翌日の1月2日ではなく，1月3日であった．これは，余震による停電の発生に加えて，発災直後は交通網の寸断により停電状況の把握が困難な地域が，時間を経て被害が判明したことも起因していると考えられる．

図2に，市町別の停電率の推移を示す．珠洲市では停電率は最大で99%（1月3日）であったが，その後1ヶ

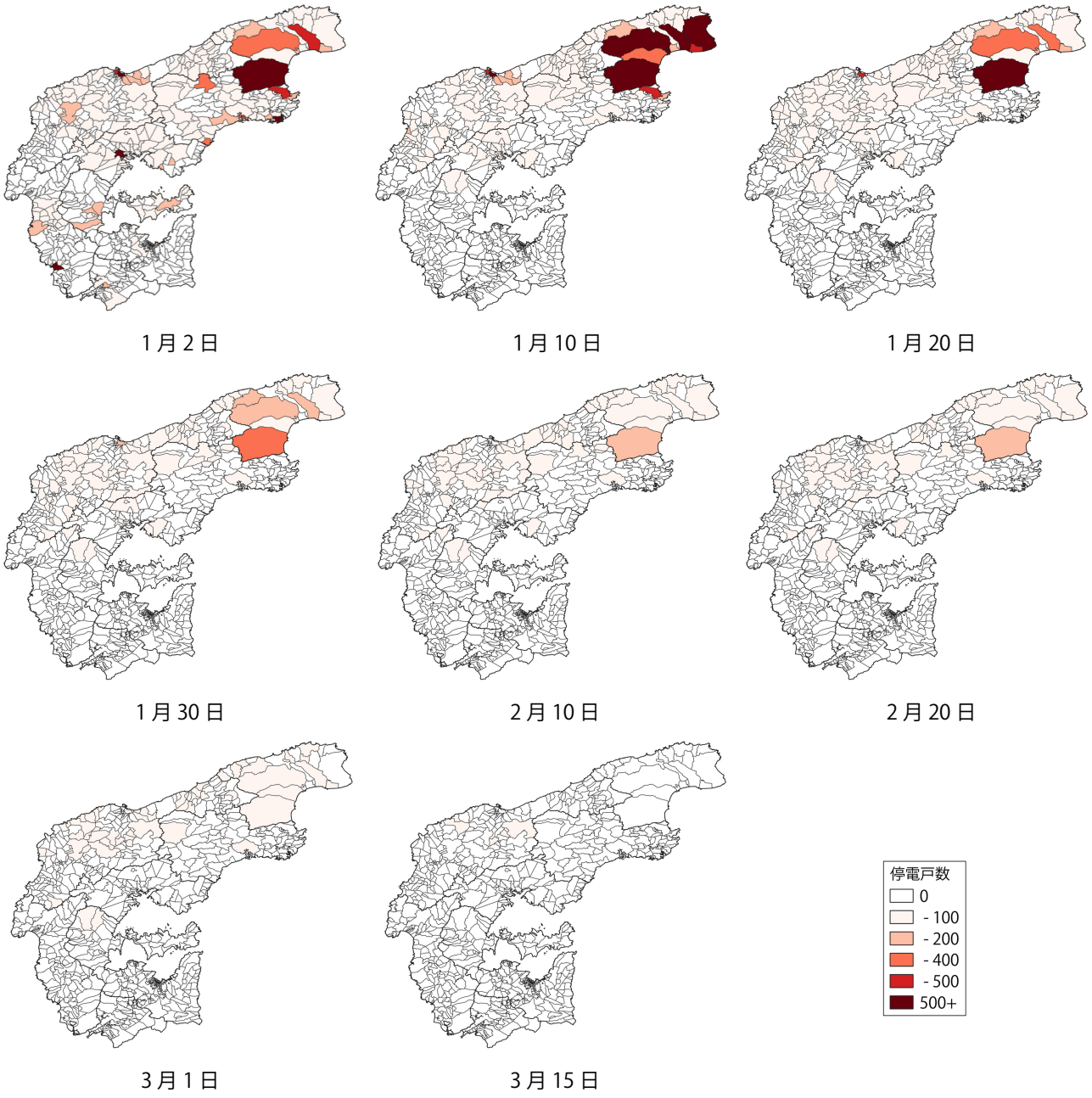


図3　町丁字別の停電戸数の推移

月程度で停電率は20%となり，3月12日には停電が解消された．他の市町でも，発災後2，3週間で停電率は大きく低下するものの，それ以降は横ばいとなることから，長期的に停電した地域が一定割合あったことが示唆される．なお，穴水町や能登町では，1月10日に停電率が上昇しているが，これは余震により発生した新たな停電であると考えられる．

3.2　停電の空間分布

図3に，町丁字別の停電戸数の推移を示す．1月2日には各地で停電していたが，半島の付け根に位置する七尾市や志賀町，穴水町では，時間経過とともに停電が解消されていく様子がわかる．一方で，半島の先端にある珠洲市では，1月2日から10日にかけて停電戸数が増加しており，さらにその解消には1ヶ月以上を要している．また，輪島市や能登町では停電戸数が変化しない地区が散見される．これらは，前述のように停電状況の把握あるいは公表が遅れたことに加え，アクセスが困難な停電箇所が多かった地域であると推測される．

図4に，町丁字別の最大停電率を示す．ここでの最大停電率は，1月2日から3月15日までの停電戸数の最大値を，国勢調査の世帯数で除した割合である．大きな揺れを観測した輪島市，珠洲市，穴水町，能登町では，山間部の人口が少ない地区を除いて最大停電率が100%であり，地震により地域一帯が停電したことが明らかになった．一方で，七尾市や志賀町では停電していなかった地

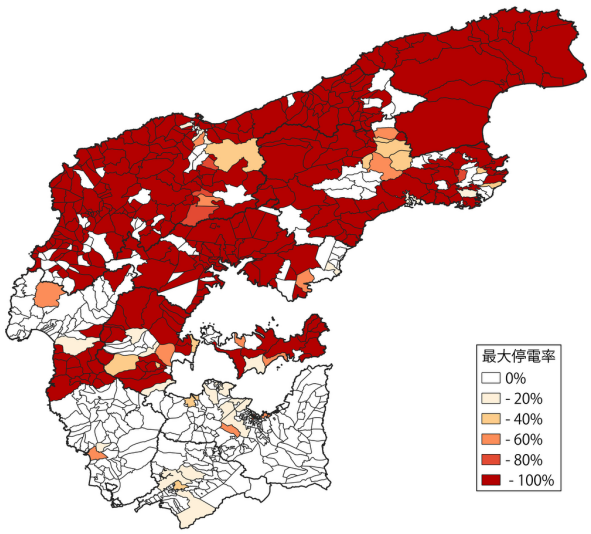


図 4 町丁字別の最大停電率

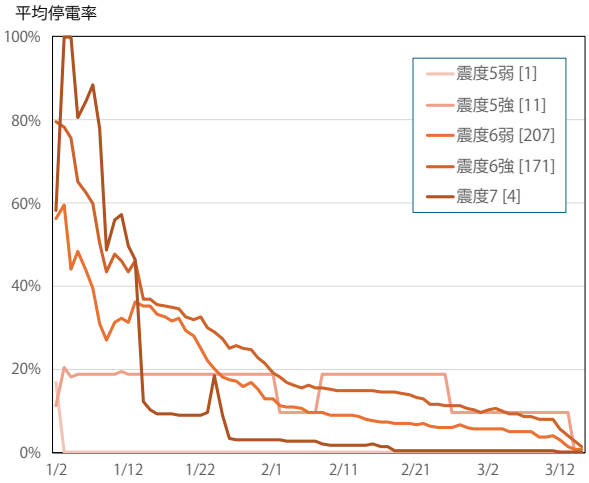


図 5 震度階級別の平均停電率の推移

区も見られるが，これは本研究の対象期間が 1 月 2 日以降であり，地震発生当日の 1 月 1 日時点では停電していたが，翌日には復旧していた可能性もある．

3.3 計測震度と停電率との関係

作成した町丁字別の停電 GIS データを用いた分析として，震度階級別の停電率の推移との関係を評価した．ここで，震度階級は，「境界データ」の町丁字ポリゴンの重心点に最も近い，QUIET+（構造計画研究所，2025）の計測震度データ（250m メッシュ）の計測震度から算出した．図 5 に，震度階級別の平均停電率の推移を示す．平均停電率は，1 月 2 日以降に停電があった町丁字の停電率を，震度階級別に平均したものである．まず，当然ではあるが，震度階級が大きいほど平均停電率は大きくなり，地震の揺れが大きいほど停電率が高くなる傾向がわかる．また，時間経過による停電率の減少は，震度階級によって大きな違いは見られなかった．ただし，あくまでも震度階級別に集計した結果で，例えばアクセス性は考慮できておらず，道路の通行状況を踏まえた復旧率の算出は今後の課題である．

4．おわりに

本研究では，電力会社 HP で公表されている停電履歴情報を用いて，令和 6 年能登半島地震による停電 GIS データの作成を行った．その結果，七尾市や志賀町では早期に停電が復旧したものの，半島の先端に位置する珠洲市では停電復旧が遅れたことが示された．また，輪島市，珠洲市，穴水町，能登町では最大停電率が 100%であり，地震により地域一帯が停電したことが明らかになった．さらに，震度階級別に停電率を算出したところ，震度階級によって停電率の減少割合に大きな差が見られなかった．

今後の課題として，現地調査や報告書にもとづいた，停電 GIS データの精度検証が挙げられる．特に，境界データとして利用した国勢調査の基本地域と住居表示とは異なる場合があり，精査が必要である．また，停電率と交通網との関連性など，アクセス性を考慮した停電復旧の分析を行うことが重要である．

謝辞

本研究は，中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS202516 の助成を受けたものです．

参考文献

構造計画研究所（2025）QUIET+ 地震動マップ推定システム，< https://site.quietplus.kke.co.jp/home/>
総務省統計局（2023）令和 2 年国勢調査 町丁・字等境界データ．<https://www.e-stat.go.jp>
大規模停電の記録編集委員会（2021）大規模停電の記録：電力系統の安全とレジリエンス．オーム社．
中央防災会議（2025）南海トラフ巨大地震対策について（報告書），<https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg_02/index.html>
内閣府（2025）令和 6 年能登半島地震に係る被害状況等について，令和 7 年 5 月 13 日．<https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_57.pdf>
二神郁哉・杉本賢二（2024）複数の被害関数を用いた地震による建物被害の評価，都市防災研究論文集，11，19-24.
北陸電力（2024）停電履歴情報，<https://www.rikuden.co.jp/nw/teiden/otj010.html>

津波に対する住民の主観的な防災意識と物理的なリスクのギャップ可視化に関する研究

松本亜玖亜*・秋山祐樹・小久保賢人*****

A Study on Visualizing the Discrepancy Between Residents' Perceived Disaster Preparedness and Physical Tsunami Risk

Akua Matsumoto*, Yuki Akiyama**, Kento Kokubo***

Abstract: This study aims to visualize the gap between residents' subjective awareness of tsunamis and the objective physical risks of tsunami damage. Using the nationwide "Sumikokochi Data" survey, we quantified disaster awareness at the oaza level through the item "lack of concern about tsunamis." Physical risks were assessed by combining inundation hazard maps with building polygon data, estimating structural attributes (wooden or non-wooden) and calculating damage rates. By integrating both datasets, we analyzed Tokai and Setouchi regions. Results revealed that awareness is generally high along the Pacific coast, yet some areas remain vulnerable where risk is high but awareness low. In the Seto Inland Sea region, risk is usually lower, but local hotspots of high vulnerability were also identified. Future work will incorporate demographic attributes to achieve multi-axis evaluations and refine regional assessments for tsunami risk reduction.

Keywords: 津波（tsunami），防災意識（disaster awareness），物理的リスク（physical risk），ギャップ可視化（discrepancy visualization），地域分析（regional analysis）

１．はじめに

津波は，地震や火山活動に伴い発生し，沿岸地域に甚大な被害を引き起こす災害である．近年においても，2004 年のスマトラ島沖地震や，2011 年の東日本大震災など大規模な津波災害が発生した例が挙げられる．スマトラ島沖地震に伴う津波はインドネシアのみならず，タイやマレーシア，さらにはアフリカ大陸まで到達し，30 万人以上が犠牲となった（内閣府，2005）．また，東日本大震災では，岩手県，宮城県，福島県を中心とした太平洋沿岸に巨大な津波が襲来し，約 2 万人が犠牲となるとともに，住宅被害は全壊・半壊・一部損壊を合わせて約 115 万棟と甚大な被害となった（国土交通省，2021）．

これまでに津波被害の軽減に向けて，ハード面（例：防波堤，防潮林の増強，津波避難タワーの建設など）とソフト面（例：避難計画の高度な整備，津波の早期警報システムの導入）両面からのインフラ整備が行われてきた．しかし，上述した両災害では，近代的なインフラが整備された地域でさえ，津波による甚大な人的被害を防ぐことができず，いかに技術が進化しても，自然災害の脅威を完全には防ぎきれない現実を人類に突きつけた．これらの経験から，近代的なインフラ整備のみでは十分な防災対応ができないという教訓を得た．そのため，両災害を契機に津波による被害リスクを軽減するために，物理的なインフラの強化だけではなく，住民一人ひとりの防災意識の向上が求められるようになった（Kitagawa, 2019）．そこで，津波のリスクが高い地域における，住民の津波に対する防災意識の高さを把握することが，人的被害を最小限に抑える上で極めて重要だといえる（Puspitasari et al., 2019）．以上を踏まえると，津波による人的被害を最小限に抑えるためには，住民の防災意識の実態を把握し，それを物理的な被害リスクと照らし合わせることが不可欠である．すなわち，住民が抱く主観的な安全意識と，実際に想定される津波被害リスクとの間に存在するギャップを明らかにすることが，地域防災の脆弱性を把握する上で重要な課題となる．

そこで本研究では，全国規模の住民アンケート調査から得られたデータを用いて，津波に対する防災意識を広域的に把握するとともに，津波浸水による建物被害という定量的・物理的リスクを推定し，その両者を統合的に分析する．

*　学生会員　東京都市大学建築都市デザイン学部（Tokyo City University）
〒158-0087　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　E-mail：g2232090@tcu.ac.jp
**　正会員　東京都市大学建築都市デザイン学部（Tokyo City University）
〒158-0087　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　E-mail：akiyamay@tcu.ac.jp
*** 学生会員　東京都市大学大学院総合理工学研究科（Tokyo City University）
〒158-0087　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　E-mail：g2481618@tcu.ac.jp

そして，図 1 の象限④のように，住民の津波に対する防災意識と想定される津波被害という物理的リスクの間にギャップを有する地域を抽出し，防災上の弱点となる地域の分布を明らかにする手法を提案する．

２．手法

２．１　研究対象地域

本研究では，南海トラフ巨大地震を想定して，以下の 2 つの地域を研究対象地域と設定した．まず，太平洋に面した地域で同地震の震源域に近く，同地震に伴う津波による被害が大きくなることが予測され，住民の防災意識も比較的高いことが期待される静岡県，愛知県，三重県（以下「東海 3 県」）である．一方，震源域から遠く，太平洋に直接面しておらず，住民の防災意識が東海 3 県に比べて低いながらも，同地震に伴う津波の被害が予想されている地域である兵庫県，岡山県（以下「瀬戸内 2 県」）である．

２．２　分析用データの作成

２．２．１　津波防災意識データ

本研究では，住民の津波に対する防災意識を把握するために，大東建託株式会社によって実施された，大規模アンケート調査の結果（以下「住みここちデータ」）を使用した（大東建託，2023）．同データは，全国 47 都道府県に居住する 20 歳以上の男女を対象に実施されており，2023 年時点までに約 80 万人の回答を得ている．

住みここちデータの最大の特徴は，住民の複数の主観的な評価に基づく情報が収集されている点である．この主観的情報の中には，「津波の心配のなさ」という形で，住民の津波に対する危機意識という主観的評価が大字単位で収録されている．本研究ではこの「津波の心配のなさ」という項目から住民の津波に対する防災意識を定量化した．同データは個々の住民が津波の心配のなさに対して「大変満足している」，「満足している」，「どちらでもない」，「不満である」，「大変不満である」の 5 段階で評価を行っている．そこで，それぞれの評価を 0～4 点に定量化し，大字ごとに評価点を集計して平均値を算出することで，大字単位の住民の津波に対する防災意識の高さを定量化し，評価可能なデータを作成した．なお，中山間地域など人口が希薄で回答結果が未収録の大字は評価の対象外とした．

また，後述の津波の物理的なリスクに関するデータと空間結合を行うために，大字単位のポリゴンデータ（以下「大字ポリゴンデータ」）を整備した．大字ポリゴンデータは無償では公開されていないため，2020 年の国勢調査町丁・字等境界データ（総務省統計局，2020）をもとに大字ポリゴンデータを作成した．これにより，日本全土の住民の津波に対する防災意識の高さを大字単位で評価および可視化することが可能となった．本研究では同データを「津波防災意識データ」と呼ぶ．

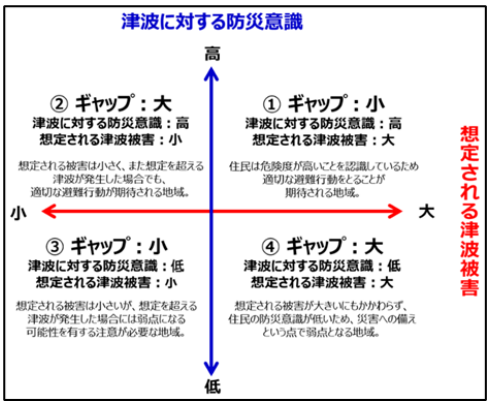


図 1　津波に対する防災意識（縦軸）と想定される津波被害（横軸）のギャップ分類

２．２．２　物理的津波リスクデータ

本研究では，まず日本の各都道府県から提供された津波シミュレーションを基に作成された津波浸水想定データ（国土交通省，2016，2022）を用いて，想定される津波の浸水域と，浸水域における最大浸水深のポリゴンデータを取得した．次に，津波浸水による建物被害を評価するため，2020 年の住宅地図（株式会社ゼンリン）から建物ポリゴンデータを取得し，建物分布を把握した．そして，これら二つのデータセットを空間的に結合することで，個々の建物に最大浸水深を付与した．なお，住宅地図には建物ごとの用途が付与されており，本研究ではその属性情報を用いて戸建て住宅のみを抽出した．分析対象を戸建て住宅に限定した理由は，第一に，戸建て住宅の数が他の用途の建物と比べて圧倒的に多いこと，第二に，実際に住民が居住する建物であること，そして第三に，津波により流失や倒壊といった甚大な被害を最も受けやすい建物用途であることによる．

続いて，Takeda et al. (2022)の手法を用いて，個々の戸建て住宅に木造・非木造の 2 クラスに分類した建物構造の推定値を付与した．なお，建物の状態について，津波によって避難が困難な状況といえる中波（柱と壁の一部は残っている）を基準に考え，木造家屋は浸水深が 1m 以上，非木造家屋は 2m 以上から中破以上の被害になることから（国土交通省，2005），最大浸水深が 1m 以上の木造住宅と，2m 以上の非木造住宅を津波による深刻な被害が想定される建物と判定した．そして，大字ごとにその大字内の建物数と被害建物数を集計し，建物被害率を算出した．

最後に，同データと大字ポリゴンデータを空間結合し，大字単位の津波によって浸水被害を受けると想定される建物割合の可視化が可能なデータを作成した．本研究では同データを「物理的津波リスクデータ」と呼ぶ．

２．２．３　津波防災意識データと物理的津波リスクデータの統合

最後に２．２．１で作成した津波防災意識データと，２．２．２で作成した物理的津波リスクデータを統合し，図 1

に示す分類ができるようにデータを整理した. 具体的には, 津波に対する防災意識の平均値が 0~2 点を「防災意識低」, 2~4 点を「防災意識高」とし, 想定される津波被害率が 0~50%を「物理的被害小」, 50~100%を「物理的被害大」として, 分析対象となる全ての大字を図 1 に示す 4 つの象限に分類した.

３．結果と考察

３.１　津波に対する防災意識の評価

図 2, 図 3 に東海 3 県と瀬戸内 2 県の大字単位の津波に対する住民の防災意識の高さを示す. 図 2 より, 東海 3 県では太平洋沿岸の地域であるほど防災意識が高く, 内陸の地域では防災意識が低くなる傾向が見られた. また, 太平洋沿岸だけではなく, 太平洋に直接面していない伊勢湾沿岸や伊勢湾から離れた内陸の地域でも防災意識が高い地域が広く分布していた. これらの地域において防災意識が高い理由として, 海抜が低い平野が内陸部まで続いていることや, 川幅が広く津波の遡上が予想される河川が分布しているという地理的特徴, また過去の伊勢湾台風 (1959 年) や木曽川流域などにおける洪水被害といった津波以外の水害について住民が認識しているためだと考えられる.

一方, 図 3 より, 瀬戸内 2 県では東海 3 県と比較して全体的に防災意識が低く, 瀬戸内海沿岸でも防災意識が最も高いクラスに分類された地域はほとんど見られなかった. また, 一部の地域では瀬戸内海沿岸であるにもかかわらず防災意識が低い地域も見られた. 防災意識が低い理由として, 瀬戸内海は内海であることから太平洋側から侵入する津波の直接的な影響が小さいと認識している住民が多いことや, 過去の津波被害の記録が少ないことなどが理由であると考えられる.

以上より, 過去に大規模な津波や水害を経験していたり, 実際に津波の影響を受けやすい地域であるほど防災意識が高いことが明らかとなった.

３.２　物理的な津波リスクの評価

図 4, 図 5 に東海 3 県と瀬戸内 2 県の大字単位の津波による建物被害率を示す. 図 4 より, 東海 3 県では被害が大きくなると想定される太平洋沿岸の地域で物理的リスクが高い地域が連続的に分布することが分かった. また, 伊勢湾周辺では内陸の地域でも物理的リスクが高い地域が見られた. これらの地域は濃尾平野や伊勢平野の低平地にあたる. また, 濃尾平野では木曽三川, 伊勢平野では鈴鹿川や櫛田川などの大河も分布し, これらの河川に沿って津波が遡上し, 内陸においても浸水が拡大することが原因であると考えられる.

一方, 図 5 より瀬戸内 2 県では瀬戸内海沿岸をはじめ, ほとんどの地域で物理的リスクが低いことが分かった. しかし, 淡路島の南あわじ市や岡山県の児島湾周辺などの一部地域では物理的リスクが高い地域が見られた. 南あわじ市は紀伊水道や鳴門海峡に面しており, 南海トラフ巨大地震による津波が太平洋から直接押し寄せる可能性が高く, 特に海岸線が複雑で入り江や湾奥部では津波の増幅や遡上効果が強く働くことが原因だと考えられる.

以上のことから, 物理的リスクは東海 3 県の太平洋沿岸の方が瀬戸内 2 県の瀬戸内海沿岸に比べて大きくなる傾向があるものの, 瀬戸内海沿岸でも物理的リスクが局所的に大きくなる地域が存在することが明らかとなった.

３.３　防災意識と物理的リスクのギャップの把握

最後に３．１と３．２で得られたデータを用いて, 図 6, 図 7 に東海 3 県と瀬戸内 2 県の防災意識と物理的リスクのギャップを図 1 に示す 4 分類で可視化した結果を示す. 図 6 より, 東海 3 県では太平洋沿岸や, 伊勢湾沿岸およびその内陸の多くの地域で①, ②に分類されることが分かった. また, 伊勢湾付近の内陸の地域においても, 防災意識が高い地域が多く, 適切な避難行動をとれる可能性が高いものと期待される地域であることが分かった. しかし, 太平洋沿岸であっても, 一部地域では③や④に分類される地域が見られた. 特に④の地域は津波のリスクが高いにもかかわらず防災意識が低いという, 発災時に最も弱点となる地域である. また, ③の地域は津波のリスクは低いと評価されているものの, 東日本大震災にみられたような, いわゆる「想定外」な規模の津波が発生した際には避難行動の遅れから被害が拡大する可能性を有する地域であるといえる.

一方, 図 7 より瀬戸内 2 県では多くの瀬戸内海沿岸地域が②に分類されていることが分かった. また, リスクが高いと想定されている南あわじ市の沿岸地域においても, 防災意識が高いことが分かった. しかし, 児島湾沿岸の一部地域では④の地域が見られ, 瀬戸内 2 県の中でも防災上最も弱点となる地域であることが明らかとなった.

以上のことから, 南海トラフ巨大地震に伴う津波被害が大きいと想定されている太平洋沿岸においても, 一部の地域では③や④に分類される防災上弱点となる地域が存在するため, 物理的インフラの強化に加えて, 過去の災害の伝承などによる住民の防災意識の向上や, 避難訓練の定期的な実施といった対策が急務であると言える. また, 比較的被害が小さいとされる瀬戸内海沿岸においても, ③や④に分類される地域が存在するため, これらの地域においても定期的に避難訓練を行うなど, 想定外の事態に備える必要がある.

４．おわりに

本研究では, 住民の津波に対する防災意識と, 想定される物理的津波リスクを大字単位で把握し, 両者のギャップを可視化することで, 防災上の弱点となる地域の分布を明

らかにした．この成果により，地域ごとの防災上の脆弱性を客観的に把握する手法の有効性を示すことができた．

本研究では，３．３でソフト面での対策として防災意識の向上の必要性を指摘したが，ハード面での対策として木造住宅の非木造化など物理的な耐災性向上も効果的な対策であると期待される．また，戸建て住宅は住民自身が管理する場合が多いため，住民の防災意識が向上すれば，結果的に住宅の耐震化が推進され，物理的リスクの低減にもつながり，人的被害の軽減に寄与することが期待される．

今後は，防災意識と物理的リスクの 2 軸に加え，人口属性，とりわけ高齢者や子ども，妊婦など避難行動に困難が伴うと想定される人々の分布を考慮した多次元的な評価を行う予定である．こうした要素を統合したより精緻なリスク評価を通じて，実際の津波被害において防災上の弱点となる地域をより明確に抽出することを目指す．

謝辞

本研究は大東建託株式会社との共同研究に伴い，大東建託株式会社が保有する「住みここちデータ」の提供を受けることで実現した．さらに，本研究は東大 CSIS 共同研究 No.1049 の成果の一部でもある．ここに記して謝意を表したい．

参考文献

国土交通省（2005）津波被害予測手法について．<https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/kaigandukuri/gijutsu-kondan/tsunami/shiryou01.pdf?utm_source=chatgpt.com>.

国土交通省（2021）国土交通白書 2021．<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r02/hakusho/r03/html/n1123000.html>.

内閣府（2005）1-2　インドネシア・スマトラ島沖大規模地震及びインド洋津波．<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h17/bousai2005/html/honmon/hm140102.htm>.

Kitagawa, K. (2019). Co-Constructing a Narrative of 'Never Give Up' in Preparing for a Mega-Tsunami: An Exemplar of 'All-Of-Society Engagement'? “*Geosciences*,”9(12), 486.

Puspitasari, D., Oktari, R. S., Munadi, K., & Shaw, R. (2019). Social participation and disaster risk reduction behaviors in tsunami-prone areas: A case study in Southern Thailand. “*PLOS ONE*,” 14(6), e0217326.

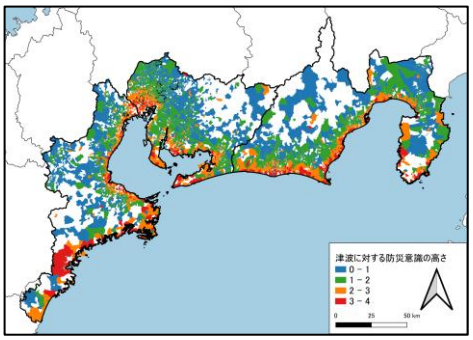


図 2　東海 3 県における住民の防災意識の高さ

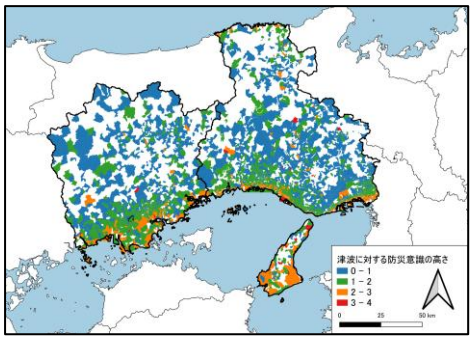


図 3　瀬戸内 2 県における住民の防災意識の高さ

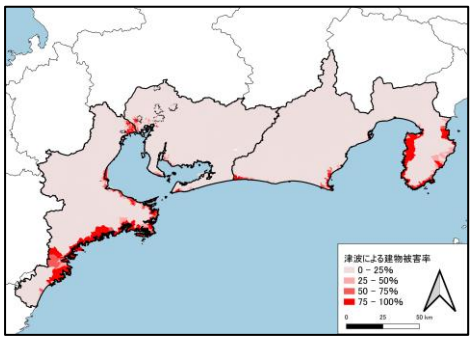


図 4　東海 3 県における建物被害率

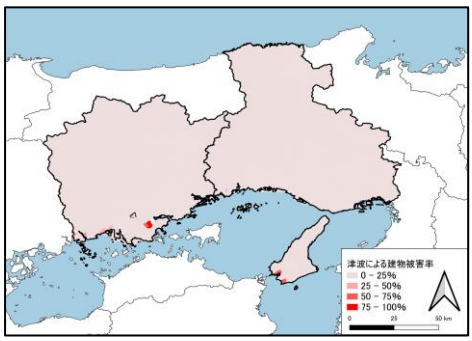


図 5　瀬戸内 2 県における建物被害率

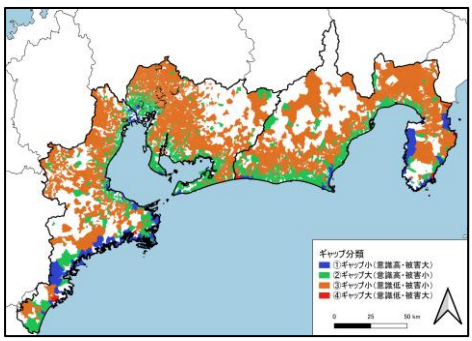


図 6　東海 3 県におけるギャップ分類

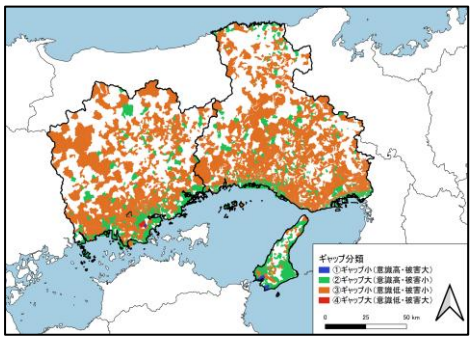


図 7　瀬戸内 2 県におけるギャップ分類

マニラ首都圏における洪水リスクが不動産賃料に与える影響の分析
― 賃料帯の異質性に着目して ―

釜谷紘生*・堤盛人**

Analysis of the Impact of Flood Risk on Real Estate Rent in Metropolitan Manila
― Focusing on Rent Bands Heterogeneity ―

Hiroki KAMATANI*, Morito TSUTSUMI**

Abstract: This study analyzed the impact of flood risk on condominium rent in the Philippines, a country highly vulnerable to natural disasters and flooding. Using quantile regression, we examined the hypothesis that "income levels correspond to property rent bands, and the impact of flood risk differs by rent bands." The results suggest that flood risk is recognized as a significant factor in rent determination for mid-rent properties. Conversely, its impact is estimated to be relatively weaker for high-rent properties. Furthermore, flood risk had no significant effect on rent for low-rent properties, many of which are in floodplains. This suggests that local residents may have become resigned to flood risks.

Keywords: 洪水リスク（Flood Risk），分位点回帰（Quantile Regression），ヘドニック・アプローチ（Hedonic Approach），空間データ（Spatial Data）

１．はじめに
１.１　フィリピンが有する災害リスク

フィリピンは，環太平洋造山帯と赤道付近に立地するその地理的要因から，大規模な自然災害が頻発している．特に，サイクロンやそれに伴う洪水はインフラや農業，脆弱なコミュニティに壊滅的な被害を与えている．例えば，2013 年の台風ヨランダは約 6300 人の死者と 2862 億フィリピンペソの経済損失をもたらした．また，2021 年の台風オデットは 200 万戸の住宅を倒壊させ，災害がもたらす建物倒壊や経済損失の甚大さが浮き彫りとなっている．

この国の災害に対する脆弱性の高さは，Bündnis Entwicklung Hilft が刊行する「World Risk Report」に掲載されている「World Risk Index（WRI）」によっても示されている．2024 年度の報告書によると，フィリピンは世界で最も高い WRI を記録する災害に脆弱な国と評価されており，中でも洪水は極めて高いリスク要因となっている．WRI を構成する指標の「Exposure（災害にさらされる度合い）」を見ると，サイクロン（台風）と沿岸洪水がそれぞれ 89.72 と 51.51 という高い値を示し，台風や洪水への脆弱性が際立っていることがわかる．

１.２　ASEAN 生活者の意識・行動変化

ASEAN（東南アジア諸国連合）は目覚ましい経済成長を遂げており，2025 年に名目 GDP が 4 兆 3830 億ドルに達し，インドに匹敵する経済規模となる．特にフィリピンはインドネシアに次ぐ経済力を持ち，予測される GDP 成長率でも ASEAN 最大の 6.1%を記録するなど，その成長をけん引している（International Monetary Fund, 2024）．

こうした経済成長は，ASEAN の生活者の意識や行動にも変化をもたらしている．博報堂の調査によれば，富裕層と中間層の間に位置する新興富裕層は，「モノの機能性の重視」「資産形成への関心」「高い情報収集能力」といった特徴を有することが示された（博報堂生活総合研究所アセアン，2023）．

これらの特徴を鑑みると，ASEAN 住民の中でも，所得階層が上がるにつれて，単なる消費行動だけでなく，災害をはじめとする様々なリスクに対する関心も高まっているのではないかと考えられる．これは，経済的な安定を得た層が，資産保全や将来への備えといったより高次の欲求を持つようになったことの表れであり，リスク管理に対する意識が社会全体に広がりつつある可能性を示唆している．

そこで本研究では，博報堂の調査で示唆された「所得階層によってリスクに対する関心が異なる」という知見と，「所得階層と不動産の賃料帯が対応し，賃料帯によって洪水リスクの影響が異なる」という仮説に基づき，フィリピンのマニラ首都圏を対象として，洪水リスクが不

*　学生会員　筑波大学大学院システム情報工学研究群
（University of Tsukuba, Degree Programs in Systems and Information Engineering）
〒305-8573　茨城県つくば市天王台一丁目 1-1　E-mail：s2420422@u.tsukuba.ac.jp
**　正会員　筑波大学システム情報系（University of Tsukuba, Institute of Systems and Information Engineering）

動産賃料に与える影響を定量的に分析する．これにより，洪水リスクに対する地域住民のリスク認識を評価し，防災対策の推進といった政策提言の判断材料となることを目指す．

２．災害リスクと不動産価格に関する既往研究

災害リスクが不動産価格に与える影響に関する定量的な分析は，古くから行われている．Brookshire et al.(1985)は，カリフォルニア州のロサンゼルス郡とサンフランシスコ・ベイエリアを対象に，地震リスクが住宅価格に与える影響をヘドニック価格モデルを用いて分析した．その結果，活断層帯内の住宅は，それ以外の同等な住宅に比べて価格が低いことがわかった．この価格差は，地震発生確率と想定される被害額に基づいて計算された，合理的な期待効用理論と整合していることを示唆した．Bin and Polasky (2004)は，ノースカロライナ州ピット郡を対象に，ハリケーン・フロイドによる洪水災害が不動産価値に与える影響をヘドニック価格関数を用いて分析した．ハリケーン前後の住宅価格を比較した結果，洪水地域内の住宅は，ハリケーン後に価格割引が 2 倍以上に拡大した．これは，人々が洪水リスクを過小評価していたが，大規模な災害を経験したことで，その認識が強化された可能性を示している．

また，日本国内を対象とした研究も広く行われている．Naoi et al.(2009)は，日本全国を対象に，大規模地震が住宅賃料および自己評価住宅価値に与える影響を，全国世帯パネルデータとヘドニック価格モデルを用いて分析した．大規模地震発生後に，近隣地域で地震リスクが高い地域の住宅価格が有意に下落することを発見した．この結果は，家主や賃借人が地震リスクを過小評価しているが，大規模地震を経験することでその認識が劇的に変化したことを示唆している．井上ら(2016)は，東京都の神田川流域を対象に，水害危険性が取引地価に与える影響を，取引価格データと変化時点推定手法を用いて分析した．その結果，2011 年 3 月の東日本大震災を境に，これまで水害リスクが強く意識されていなかった内水氾濫履歴地域において，地価の大幅な下落が確認された．これは，大震災をきっかけに人々の防災意識が高まり，水害リスク認識が変化した可能性が考えられる．

しかしながら，これらの既往研究は先進国を対象とした事例が多く，実際に災害に対して脆弱な新興国や後進国では，研究が十分に行われていない（清水・馬場, 2021）．洪水被害に対して特に脆弱なのは，東アジア・太平洋地域，南アジア，サハラ以南のアフリカであり（Rentschler and Salhab，2020），こうした地域における研究蓄積が望ましい．

３．研究手法

本研究では，フィリピンに立地するコンドミニアムを対象に，洪水リスク指標の不動産賃料への影響を分析する．対象地域は，マニラ首都圏とする．使用する不動産データは，フィリピンの大手不動産プラットフォーム「Dot Property」から情報を取得する，洪水データは，フィリピンの環境天然資源省傘下政府機関である「MINES AND GEOSCIENCES BEREAU（MGB）」が公表している「MGB’s Geohazard Maps」のリスク値を用いる．データの内容や整理手順は，第 4 章で詳述する．

研究手法としては，不動産の賃料帯ごとにおける洪水リスクの影響を分析することから，回帰係数を被説明変数の分布の位置によって推定できる分位点回帰（Koenker and Bassett，1978）を用いる．分位点回帰の基本形は，次式で与えられる．

$$Y_i = \beta_{0,\tau} + \sum_{k=1}^{n} \beta_{k,\tau} X_{ik} + \varepsilon_{i,\tau} \tag{1}$$

$$\hat{\beta}_{k,\tau} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{n} \rho_\tau\left(y_i - x_{ik}\beta_{k,\tau}\right) \tag{2}$$

$$\rho_\tau(u_i) = \begin{cases} (\tau - 1)u_i & u_i \le 0 \\ \tau u_i & u_i > 0 \end{cases} \tag{3}$$

ここで，Y_iはi番目の観測値における被説明変数の値，X_{ik}はi番目の観測値のk番目の説明変数の値，$\beta_{0,\tau}$は分位点τにおける切片，$\beta_{k,\tau}$は分位点τにおけるk番目の説明変数の回帰係数，$\varepsilon_{i,\tau}$はi番目の観測値の誤差項，u_iは残差である．式(3)で表されるチェック関数は，正の残差と負の残差に異なる重みを与え，外れ値の影響を軽減する役割を果たす．

４．分位点回帰を用いたヘドニック分析

４.１　ヘドニック分析の方針

研究に用いる不動産データとして，「Dot Property」に掲載されているコンドミニアムの賃料（(PP/m^2)，PP は Philipine Peso，自然対数値） [Rent] を用いる．外れ値の処理として，単位面積当たりの賃料の桁数が．他の物件データと不連続になっている場合は，データセットから除外した．「Dot Property」に掲載されている物件は，部屋の情報が記載されている「Key features」，建物の設備が記載されている「Facilities」の情報が付随しており，スクレイピングを用いて各部屋の情報を取得する．

災害リスクを表す説明変数には，4.2.で詳述する洪水リスクを用いる．災害リスク以外の説明変数として，部屋ごとの変数として床面積(m^2) [Area] ，居室数 [Bedroom] ，浴室数 [Bathroom] を使用する．また，建物全体の変数として電気設備の有無 [Electricity] ，インターネット接続の有無 [Internet] ，セキュリティの有無（Facilities で Security，24-hour security のどちらかを有するか） [SecurityInt] を示すダミー変数を用いる．取得し

たデータのうち，これらの変数が一つでも欠けている場合は，データセットから除外した．また，物件が立地する地域の特性を考慮するため，CBD であるマカティ市の重心からの距離(km) [MakatiDistance] ，最寄りの学校（小学校，中学校，高校）までの距離(km) [SchoolDistance] ，および人口密度((人/㎢), 自然対数値） [PopulationDensity] を用いる．人口密度はメッシュでデータが格納されており，各物件の座標を GIS 上で表示し，その座標が含まれるメッシュの値を紐づける．

4.2　用いる災害リスクデータ

洪水リスクの指標には，「MINES AND GEOSCIENCES BEREAU（MGB）」が公表している「MGB's Geohazard Maps」のリスク値を用いる．「MGB's Geohazard Maps」では洪水および土砂崩れのリスクを確認することができる．図 1 に，洪水リスク値の分布を示す．

「MGB's Geohazard Maps」の洪水リスクは，想定される浸水深と洪水発生期間に基づき，「想定浸水深が 0.5 未満，かつ（もしくは）洪水発生期間が 1 日間未満（1)」「想定浸水深が 0.5~1.0m，かつ（もしくは）洪水発生期間が 1~3 日間（2)」「想定浸水深が 1.0~2.0m，かつ（もしくは）洪水発生期間が 3 日を超える（3)」「想定浸水深が 2.0m を超える，かつ（もしくは）洪水発生期間が 3 日を超える(4)」という 4 つのカテゴリに分類される．不動産データとの対応付けは，人口密度と同様，物件の座標が含まれる洪水リスクメッシュの値を紐づける．Model1 では，各カテゴリを [FloodRisk1] ， [FloodRisk2] ， [FloodRisk3] ，[FloodRisk4] としてダミー変数に処理する．なお，洪水リスクのメッシュが存在しないエリアの物件データは，データセットから除外した．4.1.で詳述した変数も含め，処理を行ったデータの要約統計量を表 1 に示す．

表 1　データの要約統計量

	Mean	Stdev	Min	Max
Rent	2.90	0.16	1.85	3.96
Area	82.23	70.21	12.00	700.00
Bedroom	1.78	0.76	1.00	6.00
Bathroom	1.63	0.83	1.00	7.00
Electricity	0.17	0.37	0.00	1.00
Internet	0.25	0.43	0.00	1.00
SecurityInt	0.82	0.39	0.00	1.00
MakatiDistance	6.03	3.77	0.47	22.52
SchoolDistance	0.45	0.35	0.01	2.29
PopulationDensity	4.03	0.43	3.03	5.03
FloodRisk1	0.82	0.38	0.00	1.00
FloodRisk2	0.12	0.33	0.00	1.00
FloodRisk3	0.03	0.16	0.00	1.00
FloodRisk4	0.03	0.16	0.00	1.00
FloodRiskInt	0.18	0.38	0.00	1.00

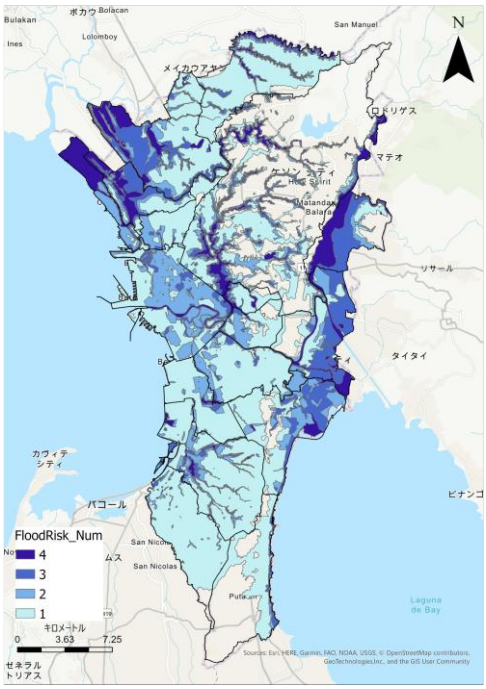


図 1　洪水リスクのハザードマップ

4.3　分析結果

Model1 の推定結果を表 2 に示す．まず， [FloodRisk2] はτ=0.10 を除き，有意な負の係数となった．特に，τ=0.10 で最も変動幅が大きい−0.063 となり，中間層のコンドミニアム購入者層において，洪水リスクが賃料決定の重要な要因として認識されていることを示唆している．しかし， [FloodRisk3] や [FloodRisk4] では，多くの分位点で有意な数値は得られず，一部では有意な正の係数を示すなど，不安定な結果となった．この原因として水辺へのアクセス性といった交絡因子の存在が考えられる．また，カテゴリの（3）や（4）に属する物件は全体の 5%ほどであり，データの偏りから係数の推定が不安定になっている可能性が考えられる．これを踏まえて，洪水リスクのカテゴリ（1）を除く 3 つを [FloodRiskInt] とし，Model2 として分析を行った．表 3 に示す Model2 の結果を見ると，こちらもτ=0.50 で最も変動幅が大きくなり，高賃料帯（τ=0.75，0.90）で係数の絶対値は低下するが，物件の価値を潜在的に押し下げていることを示唆している．また，Model1 の [FloodRisk4] を除いて，洪水リスクの回帰係数は， τ=0.10 で有意とならなかった．低賃料帯の物件（τ=0.10）は，パシッグ川やマリキナ川沿いの氾濫原に集中しており，これらの地域は，度重なる洪水により住居が頻繁に損壊する被害に見舞われている．このことから，住民の間には洪水被害への諦観が存在し，それが不動産の賃料決定要因として考慮されていない可能性が考えられる．

Model1 において，他の説明変数を見ると，インターネットの有無 [Internet] がどの分位点においても，有意に正の係数が推定された．これは，インターネットが単なる娯楽ではなく不可欠なインフラとして認識されていることが考えられる．

また，セキュリティ [SecurityInt] は物件賃料に複雑な影響を与えており，特に低賃料帯の物件では係数が有意にプラスである一方，高賃料帯ではその影響が弱まる．治安の悪いエリアに位置する低賃料帯の物件において，住民が安全性を強く重視する一方で，高賃料帯の物件はもともとセキュリティが確保されている環境にあるため，追加的な価値として認識されにくいことが考えられる．

人口密度 [PopulationDensity] は，全ての分位点で負の相関を示し，変数選定の参考とした既往研究（Dan et al., 2020）とは真逆の結果となった．都市化の進行が必ずしもプラスに作用するわけではなく，交通渋滞や生活環境の質の低下といった都市の負の側面が，より広々とした快適な居住空間を求める住民の志向と相まって，不動産の価値を押し下げている可能性を示唆している．

５．まとめ

本研究では，所得階層によって洪水リスクへの認識が異なる可能性を考慮し，賃料帯の異質性に着目して，マニラ首都圏における洪水リスク指標のコンドミニアムの賃料への影響を分析した．分析結果から，中賃料帯の物件では，洪水リスクが賃料決定の重要な要因として認識されていることが示唆された一方，高賃料帯の物件ではその影響が比較的弱まると推定された．氾濫原に多く立地する低賃料帯の物件では，洪水リスクが賃料に有意な影響を持たず，洪水に対する諦観が存在する可能性が考えられる．また，今回の分析では，交絡因子の存在やデータの偏りにより，解析が不安定になった可能性がある．今後はこれらの要因を考慮に入れつつ，説明変数の再考を行っていく予定である．

謝辞

本稿の執筆にあたり，洪水リスクのデータを提供していただいた MGB に深く謝意を表する．

参考文献

博報堂（2023）博報堂生活総合研究所アセアン「アセアン生活者研究 2023」を発表．＜https://www.hakuhodo.co.jp/news/newsrelease/104525/>.

井上亮・永吉真也・小森大輔（2016）水害危険性が地価に与える影響の変化時点推定―地域の水害危険性認識変容の把握に向けて―，土木学会論文集 B1（水工学），**72**（4），I_1309-I_1314

清水勇蔵・馬場弘樹（2021）気候変動と不動産取引―不動産価格に対する洪水のインパクト，日本不動産学会誌，**35**（1），112-117.

International Monetary Fund（2024）World Economic Outlook Database．<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2024/April>.

WeltRisikoBericht(2024)『World Risk Report 2024』

Brookshire, D. S., M. A. Thayer, J. Tschihart, and W. D. Schulze. (1985). A test of the expected utility model: Evidence from earthquake risks. Journal of Political Economy, **93**, 369-389.

Bin, O., & Polasky, S. (2004). Effects of Flood Hazards on Property Values: Evidence before and after Hurricane Floyd. Land Economics, **80**（4）, 490-500.

Michio, Naoi., Miki, Seko., & K.Sumita., (2009). Earthquake risk and housing prices in Japan: Evidence before and after massive earthquakes, Regional Science and Urban Economics, **39**, 658-669.

Rentschler, Jun., & Salhab, Melda.,(2020).People in Harm's Way: Flood Exposure and Poverty in 189 Countries, World Bank Group Policy Research Working Paper 9447.

Christopher Dann., Jakub Grohmann., Amy Ho., Sherman Khoo., Anna Kim., and Swapnil Lal., (2020), The Hedonic House Price Model in a Development Context – Evidence from the National Capital Region of the Philippines, 2000 – 2010, Rationale, Working Paper Series, **1**, 23-58.

表 2　Model1 の分析結果

	$\tau=0.10$		$\tau=0.25$		$\tau=0.50$		$\tau=0.75$		$\tau=0.90$	
	Coef	t-value	Coef	t-value	Coef	t-value	Coef	t-value	Coef	t-value
(Intercept)	3.231***	91.59	3.290***	124.66	3.215***	111.79	3.202***	300.13	3.331***	104.06
Area	−0.000**	−3.21	−0.000	−0.61	−0.000	−1.87	0.000***	5.10	0.000***	4.07
Bedroom	−0.044***	−8.06	−0.053***	−9.50	−0.041***	−7.14	−0.063***	−33.77	−0.057***	−8.18
Bathroom	0.001	0.27	0.013	1.72	0.041***	5.56	0.067***	37.27	0.049***	7.85
Electricity	−0.059***	−10.00	−0.060***	−8.08	−0.047***	−6.84	−0.052***	−7.67	−0.014	−1.18
Internet	0.067***	6.98	0.072***	12.10	0.078***	12.24	0.073***	26.43	0.029***	4.35
SecurityInt	0.034**	3.18	0.005	0.60	−0.027***	−3.62	0.001	0.13	−0.009	−0.75
MakatiDistance	−0.009***	−13.08	−0.007***	−6.99	−0.005***	−6.04	−0.002***	−8.97	−0.000	−0.15
SchoolDistance	−0.022	−1.95	−0.035***	−5.02	−0.054***	−6.06	−0.043***	−14.01	−0.046***	−3.55
PopulationDensity	−0.095***	−12.20	−0.088***	−14.48	−0.052***	−8.01	−0.047***	−24.50	−0.061***	−8.57
FloodRisk1	base		base		base		base		base	
FloodRisk2	−0.016	−1.10	−0.039***	−5.34	−0.063***	−6.13	−0.041***	−4.59	−0.031***	−4.01
FloodRisk3	0.002	0.10	0.020**	3.07	−0.017	−1.01	−0.014	−1.64	−0.023	−1.21
FloodRisk4	0.062*	2.27	0.014	1.45	0.002	0.09	0.017***	3.60	0.001	0.02
Num. Obs.	4381									

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

表 3　Model2 の分析結果（洪水リスク以外の説明変数は省略）

	$\tau=0.10$		$\tau=0.25$		$\tau=0.50$		$\tau=0.75$		$\tau=0.90$	
	Coeff	t-value	Coeff	t-value	Coeff	t-value	Coeff	t-value	Coeff	t-value
FloodRisk1	base		base		base		base		base	
FloodRiskInt	−0.005	−0.69	−0.028***	−4.37	−0.046***	−5.03	−0.022***	−3.12	−0.026***	−4.23
Num. Obs.	4381									

観測衛星による大地震時の市街地被害解析ガイドライン案の検討

阪田　知彦*

Study on Draft Guidelines for Analyzing Build-up Area Damage in Post-Earthquake based on Observation Satellites Data

Tomohiko SAKATA*

Abstract: This paper reports about the study of draft guidelines for analyzing build-up area damage in post-earthquakes based on observation satellites data, which was carried out as part of the development of technology to rapidly grasp built-up area damage in post-earthquakes.
The draft guidelines include the following content: a. Clarification of reference situations, b. Overview of building damage surveys and observation satellite timeline, c. Examples of the use of observation satellites during earthquakes, d. Satellite data analysis methods and case studies.

Keywords: 観測衛星（Observation Satellites），市街地被害（Build-up Area Damage），ガイドライン案（Draft Guidelines），大地震後（Post-Earthquake）

１．はじめに

本稿は，大地震時の面的な市街地被害を迅速に把握するための技術開発の一環で実施した，観測衛星による大地震時の市街地被害解析ガイドライン案の検討についての報告である．

なお，本稿の内容は，著者の前所属組織（国立研究開発法人建築研究所）での取り組みであり，現所属組織の見解を述べるものではない．

１．１　経緯

空間情報としての市街地被害情報は，様々な災害対応において，参照するだけでなく，意思決定に資する重要な情報であることは疑いの余地はないだろう．

その中でも，観測衛星データによる市街地被害の把握については，研究レベルでは様々あるものの，それらを実際に稼働させている事例は少ない．その理由は定かではないが，筆者がこの取り組みを始める時（約 8 年前）に考えていたのは次の 2 点である．一つは，市街地被害の大きな要素である建物の被害状況を把握すること（図-1）は，従来であれば現地調査による方法か，航空機やヘリからの空撮画像の利用が現実的であった．しかし，観測衛星データの分解能等の向上され始めてきたことや，砂防や河川分野等では，観測衛星データの活用に向けた技術開発は先んじて始まっていたことなどを考えると，市街地被害においてもこうした検討が必要だと考えていた．もう一つは，一般論として，特に計算量の問題から，市街地に対しての観測衛星データの解析のハードルが高いことが課題であった．もちろん，従来よりも計算機の環境が飛躍的に向上し，またデータ入手も，クラウド等を介して格段に早くなりつつあったことから，こうした動向をうまく取り入れられないかと考えていた．

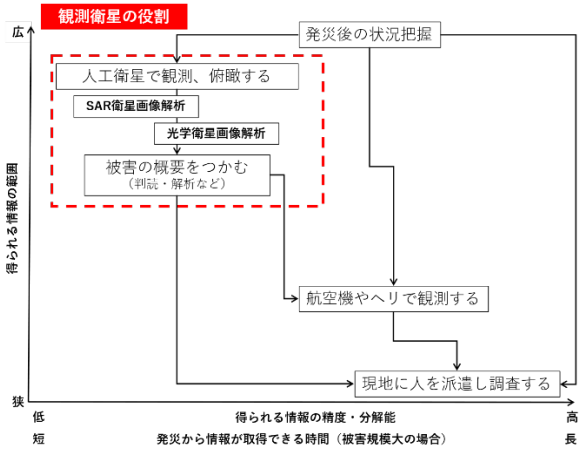


図-1　市街地被害の把握における観測衛星データの立ち位置のイメージ

著者は，2018 年度から 2022 年度まで SIP2 期[注 1)] に，2023 年度と 2024 年度に BRIDGE [注 2)] に参画し，観測衛星データを活用した市街地被害解析システムの開発に従事した．本稿で報告する市街地被害解析ガイドライン案は，BRIDGE の一環で実施した成果の一部である．

*　正会員　　国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部（研究実施時：国立研究開発法人建築研究所）
（Urban Planning Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT）
〒305-0802　茨城県つくば市立原 1 番地　E-mail：sakata-t92ta@mlit.go.jp

1.2　検討体制

ガイドライン案の検討には，国立研究開発法人建築研究所に観測衛星データによる地震被害解析ガイドライン策定検討会[注3)]を設置し，4回に渡って議論を行った．

2．ガイドライン案の内容

ここでは，ガイドライン案に盛り込んだ内容について概説する．ガイドライン案の目次を図-2に示す．

2.1　想定した利用場面について

利用場面の想定は，2種類を検討した．まず1つは，災害後の時間経過と対応フェーズによる利用場面（図-2）である．ここでは，発災後24時間以内，72時間以内，2週間以内，一ヶ月以内，1年以内として，それぞれで行われる災害対応を整理した上で，それぞれにおいて利用が想定される災害把握方法を整理した．もちろん，災害の規模，発災のタイミング（昼間夜間）等により，この区分通りに進む訳ではないものの，一つの目安としては利用できると考えられる．

また，利用場面の想定のもう1つは，ニーズからの整理を行った．ここでは，それぞれをストーリーと呼び，過去の災害時での類似の情報を要した場面を次のように整理した．

ストーリー1：発災後に，災害対応業務において市街地の被害状況を把握したい．シミュレーションではなく，観測されたデータからの解析プロダクトがほしい．今のタイミングだと，どのようなデータソースでどのような解析結果が入手可能なのかを知りたい．

ストーリー2：発災後に，とある衛星が被害状況を撮影したと聞いた．この撮影されたデータを元にどうやって解析するのか知りたい．

ストーリー3：（ストーリー1のサブストーリー）新規に衛星にどうやって撮影してもらえばよいか，またそれをどうやって解析してもらえばよいかを知りたい．

ストーリー4：ある被害状況の解析結果だということで情報共有があったが，これは一体どういうデータをどうやって解析したものかを知りたい．さらに，これは現時点でベストな解析結果なのかを知りたい．

ストーリー5：複数の被害状況の解析結果だということで状況共有があったが，一見すると被害状況に違いがあるように見える．どちらを信頼すればよいのかを知りたい．

- 本ガイドラインの使い方
- ガイドラインが想定する利用者
- 観測衛星解析結果の被害調査における位置付け
- 観測衛星の役割
- 建物被害調査の全体像と観測衛星のタイムライン
- 地震時の観測衛星利用事例（観測事例、能登半島地震での事例）
- 衛星データの解析手法について
- 建築研究所システムを用いた被害解析事例
- 建築研究所システムによらない被害解析事例

図-2　ガイドライン案の目次

2.2　作業レベルでの整理

続いて，先に整理した利用場面ごとに，そこでのデータ取得（観測）から，解析，出力，提供までの一連の作業の流れを整理した（図-4）．災害後の作業の流れは，災害

	災害対応フェーズ※1	想定される災害対応活動	活動に必要な情報収集活動	利用できる情報	衛星観測等
1	概ね災害発生後24時間以内 （初動体制を確立する時期）	**・災害救助法の協議**（住家被害（1～3号基準）による判断） 被災地域・被災建築物の把握 指定避難所、医療救護活動拠点、活動拠点設置予定施設、救援物資集積場所の被災状況把握 被災建築物応急危険度判定開始	被害概要把握のための情報収集	リアルタイム地震被害推定情報：防災科学研究所 メディア、SNSなど 被害報告（住民・消防・警察） 被災地域における交通規制情報 ALOS-2，-4 緊急観測画像解析結果（街区レベルの被災度区分情報）	利用可能衛星に関する情報収集（日本版災害チャータ(BRIDGE)） 緊急観測要請・観測(ALOS-2，-4)、Sentinel-1 ※JAXA協定機関を通じて
2	概ね災害発生後72時間以内 （災害応急対策）	**・二次災害の防止対策** 被災建物応急判定実施計画策定・実施 住宅等被害認定調査の調査方針・実施体制を確立 住宅等被害認定調査開始 被災宅地応急危険度判定開始	被害概要把握のための情報収集（街区単位の被害程度の把握） 被害詳細把握のための情報収集（家屋単位の被害程度の把握）	被害報告（住民・消防・警察） メディア、SNSなど 建物応急判定報告 ALOS-2，-4 緊急観測画像解析結果（街区レベルの被災度区分情報） 高分解能光学衛星解析結果（建物ごとの被災度区分情報）	利用可能衛星に関する情報収集（日本版災害チャータ(BRIDGE)） 広域撮像合成開口レーダ衛星（ALOS-2，-4，Sentinel-1） 高分解能光学衛星（1m以下）（マルチスペクトル）
3	概ね災害発生後2週間以内 （復旧対策）	**・住宅等被害認定** 被災建物応急判定一巡目終了、応援要請の要否判断 住宅等被害認定調査実施 建築基準法84条（被災市街地における建築制限）指定	被害詳細把握のための情報収集（家屋単位の被害程度の把握）	建物応急判定実施結果（一巡目） 高分解能光学衛星解析結果（建物ごとの被災度区分情報） 罹災者からの被害認定申請	高分解能光学衛星（1m以下）（マルチスペクトル）
4	概ね災害発生後1ヶ月以内 （復興対策）	**・応急住宅対策** 被害家屋の片付け、瓦礫の運搬 建築基準法84条期間延長および被災市街地復興推進地域指定の検討	被災戸数の確定	現地調査、ドローン等調査結果	衛星から現地調査、ドローン等の対地高度の低い位置からの調査に移行
※	概ね1年以内	災害対応の検証、地域防災計画、アクションプランの改訂（将来の災害に備えた活動）			

※1 復旧・復興ハンドブック - 内閣府 令和3年3月、基礎自治体の地域防災計画　　ガイドラインの範囲

図-3　利用場面の整理

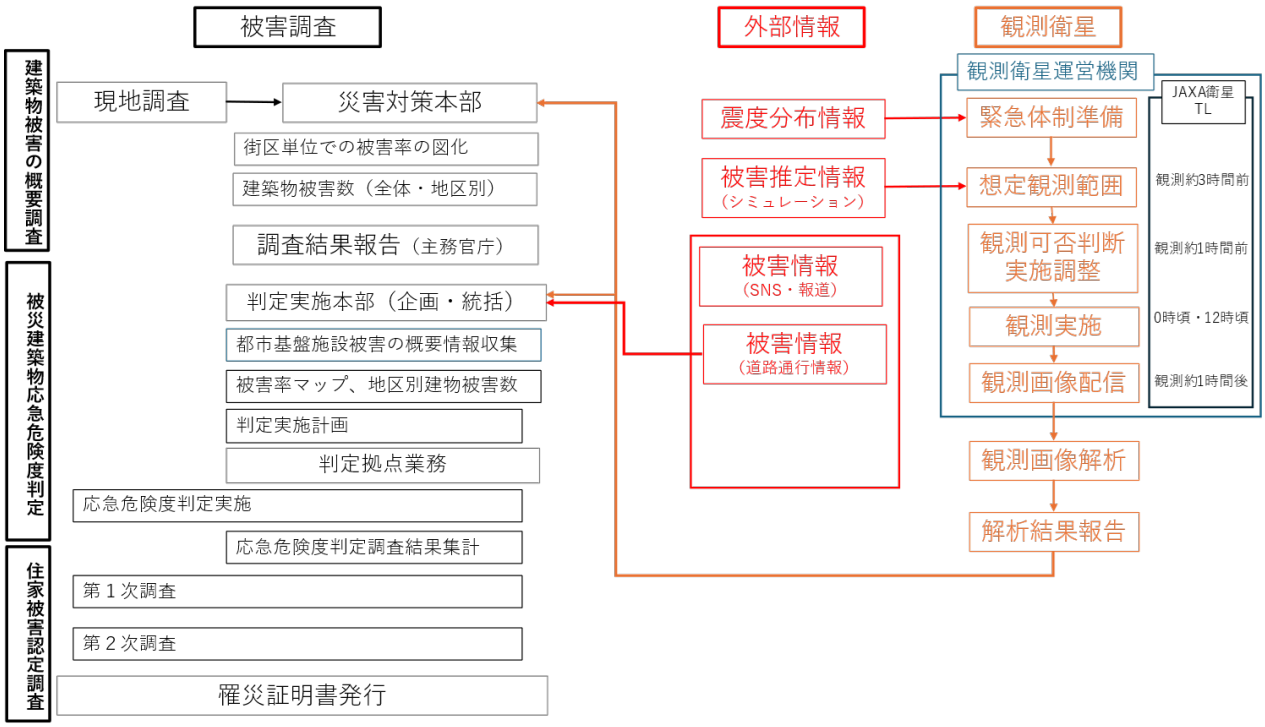
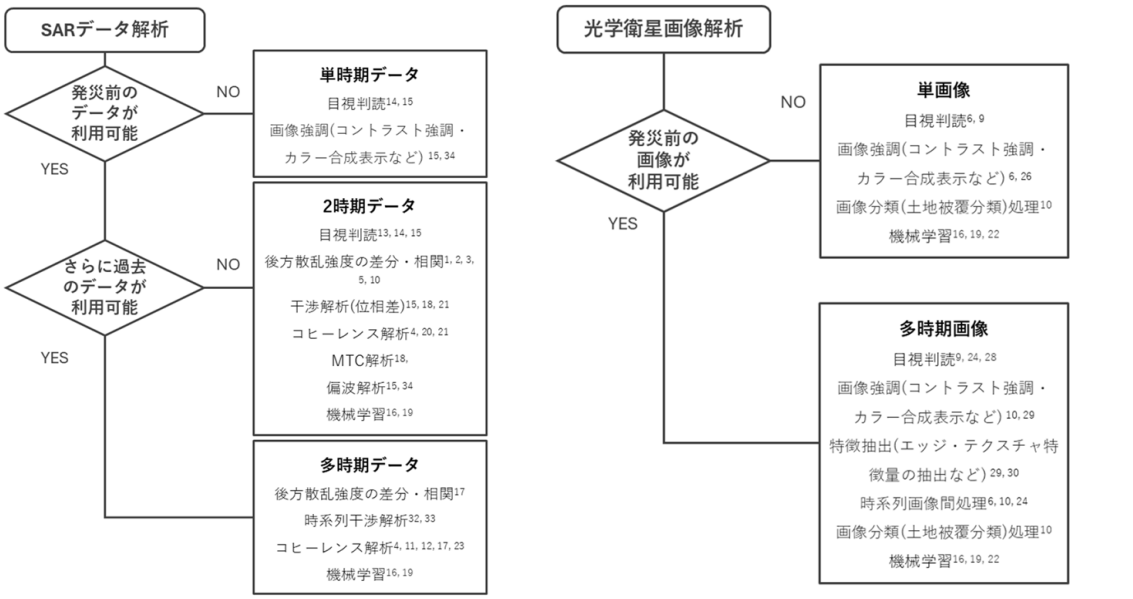


図-4　作業レベルの整理（一例）



※日本リモートセンシング学会（2025）を参考に作成
※図中右肩数字は既往研究の引用番号を示しているが，本稿では紙幅の関係で省略する．

図-5　解析手法の整理（解析手法の選択フロー）

の規模や発災時刻などにより変化するため，それに観測衛星の撮影タイミングからデータ受信までのリードタイムを勘案して，どの作業タイミングで解析結果を渡せるかを見極めることが重要である．これまでは，経験則などによる高度な判断を要すると捉えられてきたが，この整理を通じて，こうした判断への足がかりができたと考えている．

2.3　解析手法の整理

次に，観測衛星データを解析する手法について整理した（図-5）．基本的には，発災後の被害状況を撮影した衛星データがあったとして，発災前の衛星データが利用可能かと発災前の複数時点のデータが活用可能かという視点で判断フローを試作した．もちろん，これ以外のフローも考えられるが，まずは手始めにどの手法を選択すべ

きかを判断できる仕組みを取り入れ，それに各手法の解説へのポインターを設けることで，参照までの手間を少なくすることができた．ここで取り上げた手法は，建築研究所で構築した解析システムで利用している解析手法（SAR は，3 時期コヒーレンス解析，可視光データは AI による被害解析を実装：図-6）に加え，これらに拠らない解析手法についても取り上げている．これにより，その時に入手できているデータで市街地被害を解析することへのハードルを下げることができ，より迅速な市街地把握につながるような仕組みになっている．

3. まとめ

以上，大地震時の市街地被害を迅速に把握するための技術開発の一環で実施した，観測衛星による大地震時の市街地被害解析ガイドライン案の検討について，その概要を報告した．目下，国立研究開発法人建築研究所 Web ページでの公表に向けて，所内手続き等を行っている途上である，今後も内容の精査や，最新の技術動向についての追記等を考えている．特に，小型 SAR 衛星については，このガイドライン案では具体的な解析手法まで記載しなかったため，今後の動向を踏まえた改訂が必要であると考えている．これらについては機会を改めたい．

謝辞

本研究は，SIP2 期[注 1)] と BRIDGE [注 2)] により実施した．また，ガイドライン案の検討においては，一般財団法人リモート・センシング技術センターにご尽力いただいた．記して謝意を表する．

注釈

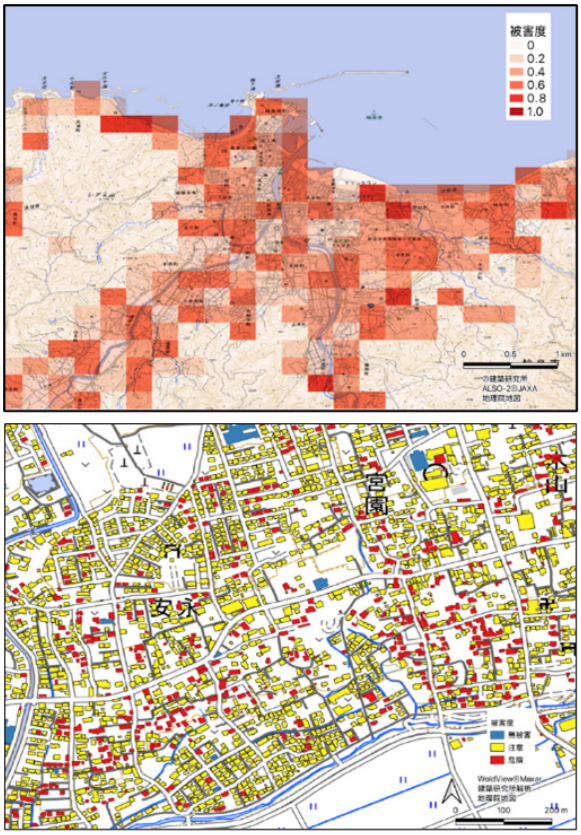
注 1）内閣府 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」-Ⅱ「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発（主機関：国立研究開発法人防災科学技術研究所）」-国立研究開発法人建築研究所担当課題「建築物被害状況解析システム開発」，2018 年 11 月 - 2023 年 3 月．

注 2）内閣府 研究開発と Society5.0 との橋渡しプログラム（BRIDGE）住宅・社会資本分野における人工衛星等を活用した リモートセンシング技術の社会実装（代表機関：国土交通省国土技術政策総合研究所）－「⑦市街地・ 建築分野」，2023 年 9 月 - 2025 年 3 月．

注 3）検討会のメンバーは表 1 の通り．なお，本稿に記載の言説は，あくまでも著者の見解を示すものであり，検討会メンバーの見解と異なる場合があり得る．

参考文献

日本リモートセンシング学会（2025）基礎からわかるリモートセンシング 第 2 版，理工図書株式会社．



上図：SAR による 3 時期コヒーレンス解析のメッシュ表現
下図：高分解能可視光データによる AI 解析の個別建物での表現

図-6 建築研究所で構築した被害解析システムによる出力例

表-1 観測衛星データによる地震被害解析ガイドライン策定検討会メンバー

氏名（敬称略）	所属・役職等
小林 祐司	大分大学理工学部長・工学研究科長
杉田 暁	中部大学 中部高等学術研究所 国際 GIS センター准教授
寺木 彰浩	千葉工業大学 創造工学部 都市環境工学科 教授
畑山 満則	京都大学巨大災害研究センター ・ 災害情報システム研究領域 教授
平山 英	大阪府都市整備部 事業調整室都市防災課 課長補佐
本田 謙一	国際航業株式会社 事業統括本部 RS・ソリューション部リモートセンシンググループ 担当課長
岩見 達也	国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部都市防災研究室長