口頭発表

2025年11月2日(日) 14:00 ~ 15:20 | D会場(共通教育棟 A21番教室)

## [D7] 防災３

司会：上杉 昌也

14:00 ~ 14:20

### [D7-01] 災害時避難の意思決定を理解するためのGISと脳神経科学の統合（１）－VR空間上での津波避難の事例－

*橋本 雄一[1]、塩﨑 大輔[2]、三浦 直樹[3]、榊 浩平[4]、白濱 幸弘[4]、杉浦 元亮[4] (1. 北海道大学、2. 星槎道都大学、3. 東北工業大学、4. 東北大学)

14:20 ~ 14:40

### [D7-02] 災害時避難の意思決定を理解するためのGISと脳神経科学の統合（Ⅱ）－VR及びfMRIを用いた避難行動中の脳神経活動に関する空間分析－

*塩﨑 大輔[1]、橋本 雄一[2]、三浦 直樹[3]、榊 浩平[4]、白濱 幸弘[4] (1. 星槎道都大学、2. 北海道大学、3. 東北工業大学、4. 東北大学)

14:40 ~ 15:00

### [D7-03] 動画像の手法を用いた携帯電話人口統計の異常検知の試み 平成３０年北海道胆振東部地震および令和６年能登半島地震を事例に

*小野塚 仁海[1] (1. 北海道立総合研究機構)

15:00 ~ 15:20

### [D7-04] 大規模災害時における土木施設の通行可否情報の情報収集・共有の仕組みの構築

*林 大貴[1]、土屋 奏[1]、島田 徹[1]、工藤 大典[1]、玉川 絢登[1]、廣木 雪乃[1]、横山 暢広[1]、竹島 彰子[1]、山上 綾太[1]、吉川 卓郎[1]、小山 のの[1]、鈴木 達朗[1]、吉田 智樹[1]、吉田 考太郎[1]、吉岡 小百合[1]、大見 明弘[2]、神谷 友子[2] (1. 国際航業株式会社、2. 愛知県建設局土木部建設企画課)

©一般社団法人地理情報システム学会

# 災害時避難の意思決定を理解するための GIS と脳神経科学の統合（１）
## －VR 空間上での津波避難の事例－

**橋本雄一*・塩崎大輔**・三浦直樹***・榊浩平****・白濱幸弘****・杉浦元亮****

# Integrating GIS and Neuroscience to Understand Evacuation Decisions During Disasters (1)
## - A Case Study of Tsunami Evacuation in Virtual Reality -

Yuichi HASHIMOTO*, Daisuke SHIOZAKI**, Naoki MIURA***,
Kohei SAKAKI****, Sachihiro SHIRAHAMA****, Motoaki SUGIURA****

**Abstract:** This study integrated geographic information science (GIS) and neuroscience to investigate cognitive mechanisms underlying evacuation decision-making. Participants attempted to evacuate in a virtual space, and their neural activity was visualized using GIS-based technology. Results revealed significant differences in spatial cognition-related brain activation between individuals who evacuated successfully and those who did not. From a neuroscientific perspective, the findings emphasize the importance of evacuation strategies that involve not only moving away from the coast but also seeking higher ground. These insights highlight the need to incorporate such behaviorally informed strategies into disaster prevention literacy education and training programs.

**Keywords:** 機能的磁気共鳴画像法（fMRI），仮想現実（VR），地理情報システム（GIS），津波避難（Tsunami evacuation），脳神経活動（Cranial nerve activity）

## １．はじめに

防災リテラシー向上のため災害時避難に関する多くの研究が行われてきた（橋本編，2023）．その中で，Lindell and Perry（2012）が指摘するように，避難行動の意思決定を解明することは重要な課題である．これまで行動に関する意思決定の研究では，地理学や地理情報科学と，脳神経科学とで異なるアプローチがとられてきた．Downs（1970）の模式図を用いると（図 1），地理学や地理情報科学では右側の環境が対象とされ，たとえば Shiozaki and Hashimoto（2024）では，観察された現実世界での避難移動に対し，聞き取り調査やアンケート調査などで意思決定を明らかにする研究等が行われた．それに対して，脳神経科学では図左側の個人が対象とされ，Takubo ほか（2024）のように，テキストによる状況説明で脳神経活動を観察することにより意思決定を解明する試みが行われた．これら 2 つの立場は，お互いを補完し合うものであるが，技術的な問題などにより十分な研究が行われてきたとは言えない．

そこで本研究は，これら 2 種類のアプローチを融合させ，現実世界の避難行動における意思決定を，脳神経活動から明らかにすることを目的とする．さらに，結果として得られた知識を防災リテラシー教育に結び付けるための検討を行う．ただし，fMRI（機能的磁気共鳴画像法）

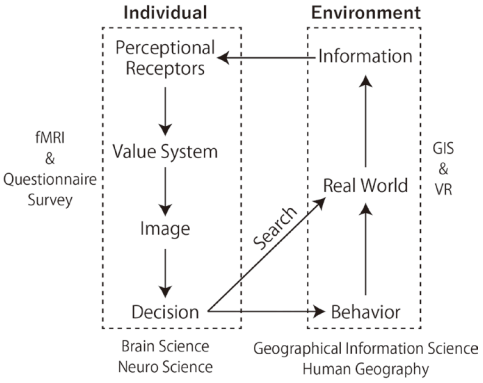



図 1　本研究における空間認識

Downs（1970）により作成．

を用いる脳神経活動の観測は実験施設内でしか行えないため，現実世界に準ずるものとして VR 空間での避難を研究対象とする．

研究方法は以下の通りである（図 2）．まず，塩崎・橋本（2018）で構築した VR 空間での疑似津波避難訓練システムを参考に，fMRI に対応した新たなシステムを構築する．次に，このシステムで被験者に疑似避難を行ってもらい，その際の脳神経活動データを収集する．なお，脳神経活動の測定実験に関しては，東北大学スマート・エイジング学際重点研究センターMRI 研究倫理委員会に研究計画書及び実験概要書を提出し，認可を得て実施さ

*　正会員　北海道大学 大学院文学研究院（Hokkaido University）
〒060-0810　北海道札幌市北区北 10 条西 7 丁目　E-mail：you@let.hokudai.ac.jp
**　正会員　星槎道都大学（Seisa Dohto University）
***　非会員　東北工業大学（Tohoku Institute of Technology）
****　非会員　東北大学（Tohoku University）

れた．さらに，撮像されたスキャンデータに対し，Statistical Parametric Mapping（SPM12）を用いて脳機能画像解析を行う．続いて，そのデータに関し，VR 空間上の位置データを付加し，避難成功者と失敗者に分けて空間分析を行うことで，脳神経活動の空間特性の差異を把握する．最後に，得られた結果を防災リテラシー向上のための教育に結び付けるための検討を行う．

## ２．VR 疑似避難訓練システムの構築

本研究では，被験者に VR の仮想空間で避難を行ってもらうため，塩﨑・橋本（2018）を参考に新たな VR 疑似避難訓練システム（VET システム）を構築する．実験のフェーズ 1 で被験者は，訓練内容と VR 空間内での自分の置かれた状況の説明を受ける．フェーズ 2 では，VR 空間内では地震が発生し，大津波警報が音声で流れる．フェーズ 3 で，被験者は VR 空間上で避難移動を行う．

このシステムでは，停止地点であるノードと，それらを繋ぐリンクが設定されている（図 2）．ノード接続情報から進行可能な方向に経路選択アイコンが表示されるため，被験者は．このアイコンを選択して次のノードに移動する．なお，各ノードにおける景観は 360 度画像で表現されるため，被験者は任意の方向を見てから避難経路の選択を行える．

この実験の対象地域は，北海道函館市の観光名所であり，函館港付近に位置する金森倉庫の周辺である．この付近は，2021 年に公表された日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震による津波浸水想定によると 5～10m の津波が到来する危険性がある（図 3）．実験では，疑似避難訓練では被験者が，金森倉庫を出発して津波浸水領域外に到達すると終了となる（図 4）．




図 2　開発中の VET システムにおけるノードとリンク

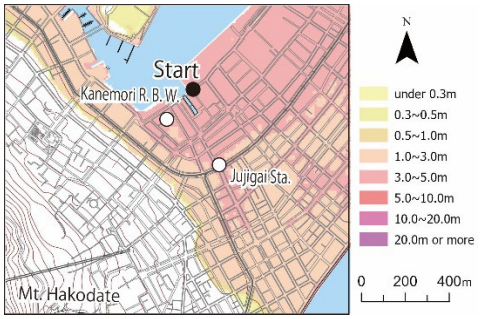



図 3　研究対象地域の津波浸水想定

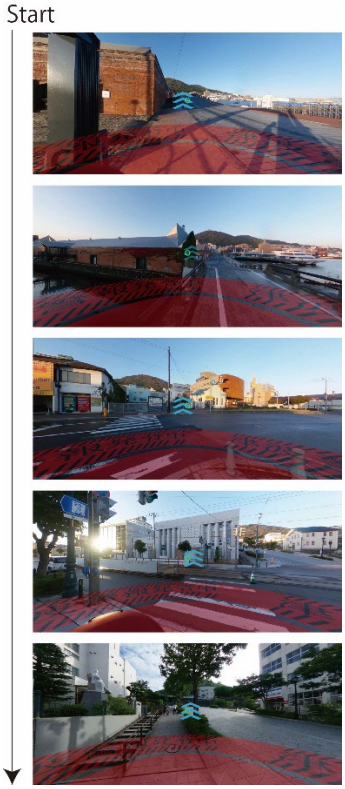



図 4　VR 空間上での避難移動

## ３．fMRI での脳神経活動の解析

本研究は，VET システムでの避難中において，避難方向を決定する際の脳神経活動を fMRI で把握する．その際に，fMRI での撮像に避難行動ログを一致させるため，撮像と操作のタイミングも記録する．なお，イベントの開始や終了に関しては，fMRI の信号を基に自動で制御するようにし，被験者はフェーズ 3 の疑似避難行動時の視点切り替えと移動操作のみを行うようにする．

測定装置に入る被験者は体が固定されており，マウス操作ができない．そこで，1～9 の数字を入力できるデバイスを用意し，これらのキーに右回転，左回転，進路決定のためのボタンを割り当てて，被験者に操作してもらう（図 5）．また，装置内にはモニターやデバイスなどを設置できないため，被験者はバイザー型の鏡で反射させたモニターを見て避難する．

fMRI を利用した脳神経活動の解析は，被験者が作業をしている状態（Task 状態）と，作業をせず安静にしてい




図 5　実験で使用したモニターとデバイス

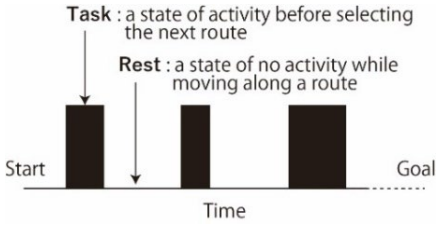



図 6　Task 状態と Rest 状態

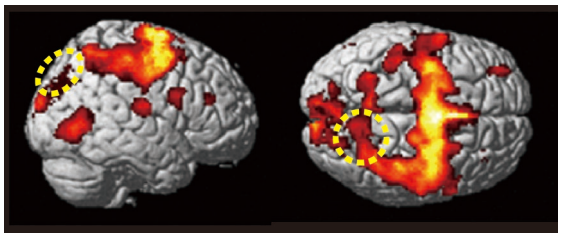


図 7　脳の活性化状態の例

破線の内側は右上頭頂小葉のおおよその位置.

る状態（Rest 状態）を比較して，活性化している脳部位を特定する（図 6）．この実験では，経路選択後にノード間を移動する動画 10 秒とブラック画面 5 秒を設定し，この 15 秒を Rest 状態とする．

疑似避難訓練では，570 秒間の実験中に 2 秒間隔で撮像する．撮像されたスキャンデータの脳機能画像解析には，Statistical Parametric Mapping（SPM12）を用いて統計モデリングと推論を行う．なお，今回はテストケースとして一般線形モデル解析（GLM 解析）を用いる．ここでは，脳神経活動に対する fMRI 信号の遅延を考慮した上で，Task 状態において Rest 状態と比べて統計的有意に活動が上昇した領域を抽出する．

実験は 2024 年 3 月 29 日・30 日に東北大学において 8 名の被験者で行われた．まず，被験者には事前に実験趣旨と実験概要，fMRI に係る重要事項を説明し，最終的に許諾を得た．さらに，システムの操作説明を行い，操作確認を行った上で実験を開始した．

実験では，函館山に向かった避難の成功者は 4 名，市街地に留まった失敗者は 4 名であった。成功者は，いずれかのタイミングで函館山を認識し，高台を目指す行動を取った．失敗者は，函館山とは逆方向に移動し，経路選択時間を要する場面が見られた．実験終了後に行った聞き取り調査とアンケート調査から，これら被験者は「津波避難ビルを探した」「途中で現在地を見失った」「さらに海から離れようとした」など成功者とは異なる意思決定が行われていた．

## ４．fMRI での脳神経活動の解析

全参加者を対象とした 1st-level 解析の結果，活性化が認められた部位には右上頭頂小葉（R.SPL）が含まれていた（図 7）。ここは空間認知や空間定位に関係する重要な部位である（Wolpert et al., 1998; Andersen and Buneo, 2002）．そこで本研究では，この部位を事例とした。

なお，得られたデータでは Rest 状態の Bold（血中酸素レベル依存性）信号の値が被験者間で異なり，単純な比較が困難であった．そのため 1 つのノードで測定された Bold 信号の最大値と最小値の差を活性化の指標として用いた（図 8）．作業では，GIS でノードごとに Bold 信号の最大値と最小値の差を入力し，脳神経活動の活性化の変

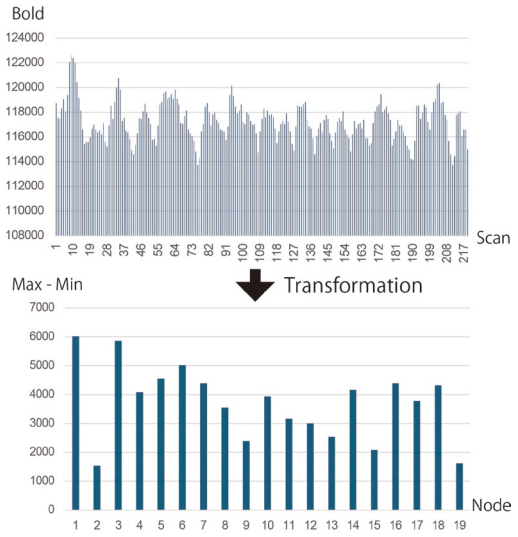



図 8　各ノードにおける Bold 信号データの変換

化に関する空間解析を行った．

まず，任意の被験者のデータに関し，逆距離加重法（IDW）で内挿を行うと，移動の前半で海から遠ざかるときには値が大きく，その後，右折して山に向かう移動では値が小さくなった（図 9）．ただし，ノードごとに，細かい脳神経活動が反映されて値の増減が著しいため，移動全体を網羅する大きな傾向の把握には不向きであった．

次に，同じ被験者に対しクリギング（Kriging）で内挿を行うと，避難移動の前半と後半おける値の差が，逆距離加重法よりも明確になり，結果の煩雑性が減少した．なお，ここではデータが小数であるため経験ベイズクリギング（EBK）を手法として採用した．

ここで被験者を成功者と失敗者の 2 グループに分け，経験ベイズクリギングにより避難移動に伴う活性化の変化傾向を見た（図 10）．その結果，成功者のグループは，スタートから終了まで高い値が維持されており，移動全体で右上頭頂小葉の活動が維持されていた．それに対して，失敗者のグループは，スタート直後には高い値を示すものの，海から離れるにつれて低下する傾向が見られた．その後，このグループでは，再び右上頭頂小葉の活動が高まり，これは聞き取り調査およびアンケート調査の結果から，自身の現在地や避難方向が分からなくなって，新たに避難先を探そうとしたものと推察される．

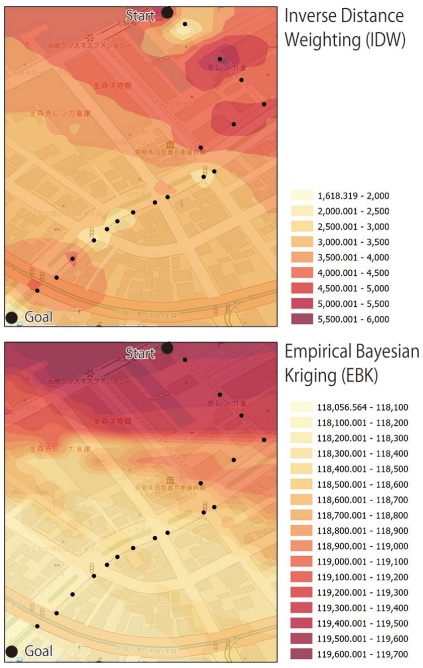



図 9　脳の活性化状態の空間分布

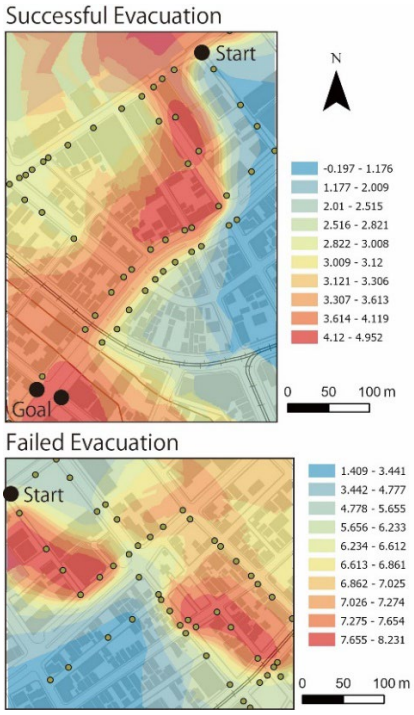



図 10　避難成功者と失敗者の脳の活性化状態

## ５．おわりに

本研究は，地理学や地理情報科学と脳神経科学のアプローチを融合させ，現実世界の避難行動における意思決定を，脳神経活動から明らかにした．そのために，本研究は，VR 空間での災害時避難移動を行い，その過程における脳神経活動のデータを収集して，GIS で結果の可視化を行った．その結果，避難の成功者と失敗者の間に，空間認知に関係する部位の活動が異なっており，「海から離れることだけでなく，標高の高い目的地を探す」という避難時の姿勢の大切さを，脳神経科学の立場からも明らかにできた．このような知見を防災リテラシー教育の指導内容や方法に結び付けることが重要である．

今回の事例とした上頭頂小葉の他にも空間認知に関する脳の部位が存在する．災害時避難における，これら部位の活動を明らかにするだけでなく，部位間での脳神経ネットワークなどについて研究を進めることにより，さらに避難時に重要となる脳神経活動を特定し，それによる知見を防災リテラシー向上のための教育に繋げたい．

## 謝辞

本研究は，文部科学省建議研究「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」，JSPS 科研費（基盤研究 B）「地理空間情報の要素技術で最適化した防災リテラシー向上のための地理教育方法論の構築」（代表者：橋本雄一，課題番号 25K00551）における成果の一部である．また本研究は，東北大学災害科学国際研究所レジリエンス共創センターの助成により一部支援されたものである．

### 参考文献

小久保美子（2018）物語を読むときの脳活動―イメージしにくい説明的な文章を読むときの脳活動とのちがいを通して―．「全国大学国語教育学会国語科教育研究：大会研究発表要旨集」，135，199-202.

塩﨑大輔.橋本雄一（2018）WebVR を用いた疑似津波避難訓練システムの開発．「研究報告情報システムと社会環境（IS）」,2018-IS-146(4), 2018.

橋本雄一編（2023）『「地理総合」と GIS 教育：基礎・実践・評価』，古今書院.

Andersen, R. A., and Buneo, C. A. (2002) Intentional maps in posterior parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, **25**, 189–220.

Downs, R. M. (1970) Geographic space perception: past approaches and future prospects. In Board, C., Chorley, R. J., Haggett, P. and Stoddart, D.R., eds. *Progress in Geography: International Reviews of Current Research: Volume 2*, Edward Arnold, 65-108.

Lindell, M. K. and Perry, R. W. (2012) The protective action decision model: Theoretical modifications and additional evidence. *Risk Analysis*, 32(4), 616–632.

Shiozaki,D. and Hashimoto, Y. (2024) System Development for Tsunami Evacuation Drill Using ICT and Tsunami Inundation Simulation Data. *Journal of Disaster Research*, 19(1), 72-80.

Takubo, M., Sugiura, M., Ishibashi, R., Miura, N. and Tanabe-Ishibashi, A. (2024) A Risk-Scrutinizing Attitude is Independent of Risk-Sensitive Attitude and May Hamper a Proper Protective Response: A Tsunami Simulation Experiment. Journal of Disaster Research, 19(1), 81-93.

Wolpert,D. M., Goodbody, S. J. and Husain, M. (1998) Maintaining internal representations: the role of the human superior parietal lobe. *Nature Neuroscience*, 1(6), 529–533.

# 災害時避難の意思決定を理解するための GIS と脳神経科学の統合（Ⅱ）
## －VR 及び fMRI を用いた避難行動中の脳神経活動に関する空間分析－

**塩崎大輔*・橋本雄一**・三浦直樹***・榊浩平****・白濱幸弘****・杉浦元亮****

# Integrating GIS and Neuroscience to Understand Evacuation Decisions During Disasters #2
## - Spatial Analysis of Cranial Nerve Activity During Evacuation Behavior Using VR and fMRI -

Daisuke SHIOZAKI*, Yuichi HASHIMOTO**, Naoki MIURA***,
Kohei SAKAKI****, Sachihiro SHIRAHAMA****, Motoaki SUGIURA****

**Abstract:** This study combined a VR evacuation system with fMRI to examine neural activity during simulated evacuation using geospatial analysis. Participants either completed evacuation toward Mt. Hakodate or remained in downtown areas. fMRI showed activation in the thalamus and visual cortex, but no significant group differences. Correlation analysis revealed stable amygdala–hippocampus coupling in successful participants, whereas unsuccessful participants exhibited dominant amygdala–thalamus coupling and unstable hippocampal links. Spatial analysis indicated that adaptive evacuation relied on amygdala–hippocampus–thalamus integration, while sensory-dependent networks led to indecision. These findings suggest neural mechanisms underlying disaster-related decision-making.

**Keywords:** 機能的磁気共鳴画像法（fMRI），仮想現実（VR），地理情報システム（GIS），津波避難（Tsunami evacuation），脳神経活動（Cranial nerve activity）

## １．はじめに

日本では東日本大震災以降，巨大地震やそれに伴う津波災害への危機意識が高まり，国から個人に至るまで多様な防災・減災対策が議論されてきた．2024 年 1 月 1 日の令和 5 年奥能登地震では，東日本大震災以来となる大津波警報が発表され，実際に到達した津波が能登半島に被害をもたらした．さらに 2025 年 7 月 30 日には，ロシア・カムチャッカ半島沖地震に伴う津波により，北海道から紀伊半島にかけて広範囲で津波警報が発令された．

今後も南海トラフ巨大地震や日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震による大津波が懸念されている．特に北海道の千島海溝沿いの巨大地震に関する被害想定では，最悪の場合 10 万人規模の犠牲が生じると推計されており，対策は急務となっている．

こうした状況を背景に，令和 7 年度から内閣官房では防災庁設置準備アドバイザー会議が開催され，防災庁創設に向けた議論が進められている．令和 7 年 6 月の報告書では，防災・減災分野におけるデジタル技術活用の重要性が強調され，防災教育・啓発や地域人材育成の推進に加え，実践的な行動を促すための ICT の活用が提言されている．

特に，ICT 技術を活用すれば将来の災害を想定し，避難行動をシミュレーションすることが可能となる．塩崎・橋本（2018 ほか）は VR 技術を用いて函館市の沿岸部を 360 度画像で再現し，疑似避難実験を実施した．その結果，参加者が避難開始直後に「山へ向かう」「内陸へ進む」「海から離れる」といった異なる行動を選択するなど，意思決定の違いが明らかになった．ただし，こうした意思決定がどのような仕組みで生じるのかについては，議論の余地が残されている．

こうした災害時の行動を理解するため，本研究は行動を制御する脳メカニズムに着目した．例えば，Takubo ら（2024）は津波避難シミュレーション実験を通じて，リスクを過度に吟味する態度（risk-scrutinizing attitude）が，適切な避難行動を妨げる可能性があると指摘している．このことは，避難行動の遅れを説明する心理的メカニ

* 正会員 星槎道都大学 （Seisa Dohto University）
〒061-1196 北海道北広島市中の沢 149 番地 E-mail：shiozaki-daisuke@seisa.dohto.ac.jp
** 正会員 北海道大学 大学院文学研究院（Hokkaido University）
*** 非会員 東北工業大学 （Tohoku Institute of Technology）
**** 非会員 東北大学 （Tohoku University）

ズムの一端を明らかにした.

藤見（2020）は，二重過程理論や扁桃体の役割など心理学・神経科学の知見をもとに，災害時の行動を解説し,防災教育における行動デザインの重要性を報告した．その中で VR などを用いた防災・減災に関する行動政策の効果を実験的に検証する手法の開発は,今後の大きな課題であると指摘した.

そこで本研究は，先行研究にて開発された VR 疑似避難訓練システムを機能的磁気共鳴画像法（fMRI）で使用可能とするように改修し疑似避難実験を行うことによって,疑似避難行動中の脳神経活動データを収集し，GIS を用いて分析することを目的とする.

## ２．実験方法

本研究では脳神経活動測定のために fMRI を用いる.fMRI は血中の酸素濃度酸素レベル（BOLD）を測定することで,脳神経活動を画像化する手法である．脳神経活動データの収集には fMRI の他に，脳は脳波検査（EEG）や近赤外分光法（NIRS）などが挙げられる．この EEG や NIRS はミリ秒単位でデータを収集する時間分解能力が高い利点があるが,主に大脳といった外郭部の分析に強みがある．対して fMRI は偏桃体や視床，海馬といった中枢部分の空間分解能力が高くなるが,BOLD 値の変化にタイムラグが生じるため,時間分解度は相対的に低くなる．今回は，特に空間認知にも重要な役割を果たすと考えられる,脳中枢の活動を測定するため，fMRI での解析を採用した.

この fMRI を用いて本研究は,まず fMRI に最適化されたシステムを用いて,疑似避難実験を行い,疑似避難行動中の脳活動を測定する．次に，脳活動データを解析し,疑似避難行動中に活性化した脳部位を把握する．さらに，取得された脳活動データを空間データに変換し，空間分析を試みる.

## ３．疑似避難行動結果

今回の実験では 8 名の参加者を対象とした疑似避難訓練を行い,訓練中参加者の脳神経活動を fMRI で測定する実験を行った.実験エリアは,既存研究との比較検討も考慮し,北海道函館市金森倉庫周辺とした．なお本実験は東北大学スマート・エイジング学際重点研究センターMRI 倫理委員会に研究計画書及び実験概要書を提出し,審査を経て実施された.実験に伴い,fMRI による疑似避難訓練を 570 秒間・2 秒間隔で撮像し，全参加者で問題なく取得できた.

参加者の行動ログを見ていくと，8 名中 7 名が開始地点付近で海から離れ，1 名のみが海沿いを移動する避難行動を取った.海から離れる行動を取った 7 名は，大通り交差点に出たところで，3 名が函館山方面に向かい，4 名が内陸に向かって海から離れ続ける行動を取った.大通りを函館山方面に向かうと函館山と山を登る坂を視認することができるため,この 3 名は函館山を視認してから,ほとんど迷いが見られないような早い経路選択判断を行った.

それに対して，内陸部で滞留したグループは,実験時間が進むにつれて滞留時間が長くなった.この結果をもとに,函館山に向かったグループを避難成功者,市街地で滞留したグループを避難失敗者として分類し，分析を進めていく.

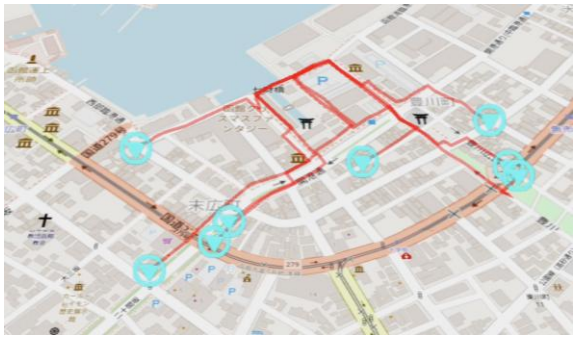


図 1　避難開始約 7 分後の疑似避難行動軌跡

## ４．疑似避難実験中の脳活動解析結果

撮像されたスキャンデータの脳機能画像解析には,Statistical Parametric Mapping（SPM12）を用いて統計モデリングと推論を行った.今回はテストケースとして一般線形モデル解析（GLM 解析）を行った，ここで得られた被験者全員のコントラスト画像を用いて，　2ndLevel－1 サンプル T 検定解析では，特に視床周辺や視覚野といった,脳中枢部の活発な活動が見られた.成功グループと失敗グループに分けて解析した 2 サンプル T 検定では，それぞれの被験者数（n＝4）が少なく，現状において有意な活動差は得られなかった.

次に，1 サンプル T 検定で活動が認められた左視床に加え,先行研究で指摘された感情を制御する偏桃体の中で右偏桃体,さらに記憶を司る海馬の中で右海馬を対象とし,相関関係から機能結合を見ていく.

被験者 8 名を成功群と失敗群に分けて脳領域間の機能的結合を比較した．その結果，群間で以下の傾向が見られた．まず，偏桃体-海馬間の結合について,成功群の全被験者で安定して正の相

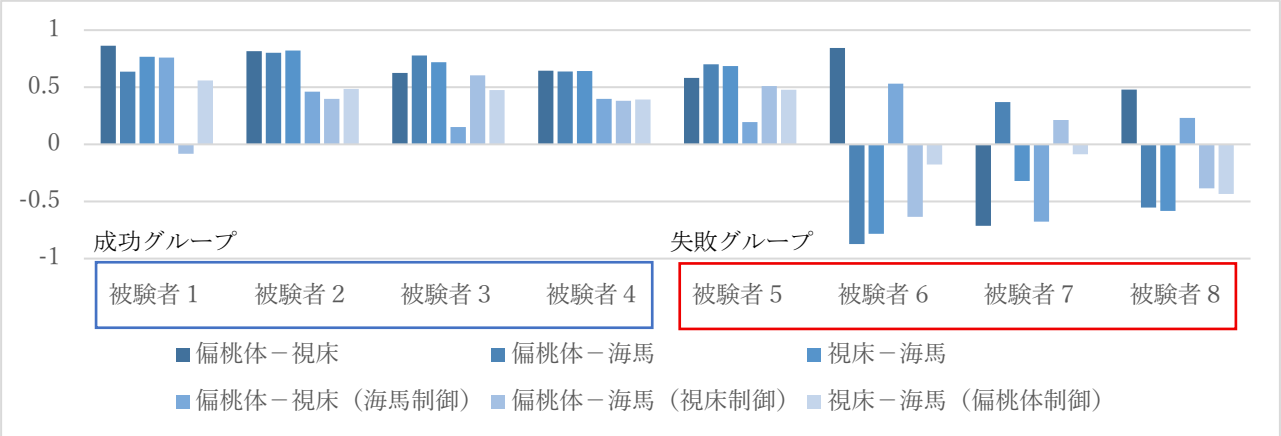



図 2　右偏桃体 - 右海馬 - 視床の相関関係

関が観察された．一方，失敗群では一部被験者で強い負の相関が見られ，群としては不安定であった．

次に，偏桃体-視床間の結合について，失敗群の全被験者で一貫して強い正の相関が観察された．一方，成功群では多くの被験者で正の相関を示したが，被験者 7 では強い負の相関が見られたため，群平均としては中程度にとどまった．

最後に，視床-海馬間の結合については，成功群で全体的に正の相関が多く観察されたのに対し，失敗群では一部被験者で強い負の相関が見られ，群としての安定性に欠けていた．

以上の結果から，成功群では偏桃体-海馬間の協調的結合が一貫して見られ，失敗群では偏桃体-視床間の結合が優勢である一方，海馬を含む結合は不安定であったという違いが傾向として見られた．これは，疑似避難行動の成否が「情動と記憶の協調」か「情動と感覚中継の優位性」によって分かれる可能性を示唆するものと考えられる．ただし，群それぞれの被験者数が少ないため，有意性に課題が残った．

## ５．脳活動データを用いた空間解析

ここでは，先に述べた 3 部位の脳活動データを地理空間データに変換し，解析を進める．VR 疑似避難訓練システムでは，各ノードに位置座標が紐づけられている．各ノードの脳活動データにこの位置情報を紐づけることによって空間解析を可能とする．

まず，各ノード情報から漁網グリッドを作成し，200m の検索半径を設定する．次に検索範囲内の脳活動データから 3 部位の偏相関を計算し，空間的に脳活動を解析する．対象とする値は，各被験者のノード毎の BOLD 値における最大値と最小値の差を取り値とした．

なお，ここで留意しなければならないのが，この空間解析については位置情報を基準として解析しており，時間同期を考慮していない．そのためここで示す偏相関は，先の章で述べたような，脳の機能結合を表現するものではなく，空間的な局所的偏相関を計算したものである．

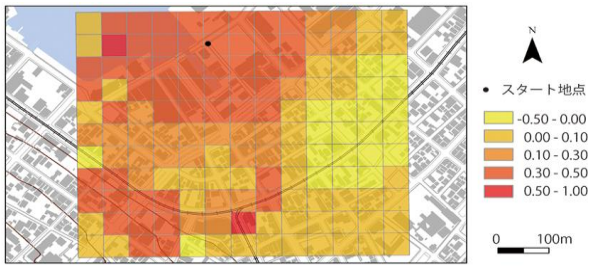
スタート地点周辺に関しては，偏桃体 - 海馬（制御変数・視床：AH_T），偏桃体 - 視床（制御変数・海馬：AT_H），海馬 - 視床（制御変数・偏桃体：HT_A），全ての偏相関において，比較的高い相関関係を示した．

これを成功・失敗グループに分けると，成功グループは AH-T が全体的に高く，AT_H 及び HT_A では，局所的に値が低くなった．この低くなっている場所は函館山とその坂が視認できる場所と一致する．

逆に失敗グループでは，全く別の傾向が見られた．AH_T は実験後半で低い値を示しており，AT_H と HT_A は実験後半に高い値となった．この後半部分とは，成功グループが海や山といった地形的特徴が見られるのに対して，失敗グループは周りを構造物に囲まれ，非常に迷いやすい場所となっている．特に偏桃体-視床や海馬-視床の直結的な依存が空間的に拡散しており，空間的に柔軟な統合の欠如，すなわち感覚依存的で画一的なネットワークが行動の失敗に結びついた可能性を示している．

## ６．おわりに

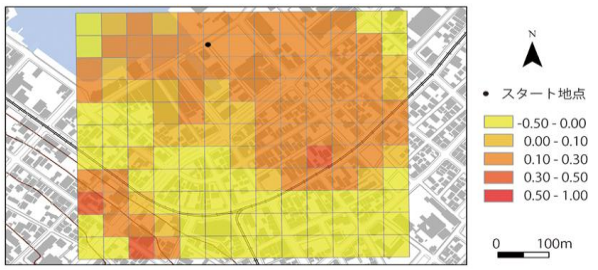
本研究は，VR 疑似避難訓練システムを fMRI で使用可能とするように改修し，疑似避難実験を行うことによって，疑似避難行動中の脳神経活動データを収集，地理空間情報と GIS を用いて分析することを目的とした．




a)　偏桃体 - 海馬（視床制御：AH_T）




b)　偏桃体 - 視床（海馬制御：AT_H）




c)　海馬 - 視床（偏桃体制御：HT_A）

図 3　被験者ノード毎の BOLD 値相関

疑似避難実験では，開始地点付近では多くの参加者が海から離れる行動を示したが，その後の分岐で一部は函館山方面を目指し，残りは市街地に滞留した．この時の脳活動を，解析した結果，全体として視床や視覚野など中枢部の活動が認められたが，群間比較では有意な差は得られなかった．

右偏桃体・右海馬・左視床の 3 領域を対象に相関を見た結果，成功群では偏桃体-海馬間の協調的結合が一貫して見られ，失敗群では偏桃体-視床間の結合が優勢である一方，海馬を含む結合は不安定であったという違いが傾向として見られた．

さらに，脳活動データを位置情報に基づいて空間解析したところ，成功グループは海馬 - 偏桃体（視床統制）が全体的に高く，偏桃体 - 視床や海馬 - 視床は局所的に低下していた．その位置は函館山や坂道の視認地点と重なり，空間的手掛かりが記憶と情動の統合を促したと考えられる．

これに対し失敗グループは，後半の市街地で海馬 - 偏桃体の結合が低下し，偏桃体 - 視床および海馬 - 視床の直結的な結合が広がっていた．つまり，感覚依存的かつ均質的なネットワークが優勢となり，地形的手掛かりを十分に利用できず，迷いや滞留につながった可能性がある．

以上のように，偏桃体・海馬・視床の統合的活動が，柔軟かつ適応的な避難行動に影響することが示唆された．本研究が行った空間統計的アプローチは，脳の機能結合そのものを直接示すものではないが，避難の成否に対応する空間局所的な依存を可視化し，防災行動における脳神経活動の理解に関する新たな知見を加えるものと思われる．今後は，脳の部位間での脳神経ネットワークについても明確化した上で，得られた知見を防災リテラシー向上に活用することが課題である．

## 謝辞

本研究は，文部科学省建議研究「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」，JSPS 科研費（基盤研究 B）「地理空間情報の要素技術で最適化した防災リテラシー向上のための地理教育方法論の構築」（代表者：橋本雄一，課題番号 25K00551）における成果の一部である．また本研究は，東北大学災害科学国際研究所レジリエンス共創センターの助成により一部支援されたものである．

## 参考文献

内閣府“日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の解説ページ”．https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/kaisetsu/index1.html (参照 2025-8-21).

内閣官房“防災庁設置準備アドバイザー会議　報告書”．https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/bousaichou_preparation/pdf/adobaizakaigi_houkoku.pdf (参照 2025-8-21).

塩﨑大輔・橋本雄一（2018）WebVR を用いた疑似避難訓練システムの開発．「情報処理学会情報システムと社会環境研究会研究報告」，IS-146(4)，pp.1-6.

藤見俊夫（2020）心や脳のメカニズムを防災行動につなげるアイデア．「消防防災の科学」，139 号, pp.2–7.

Takubo, M., Sugiura, M., Ishibashi, R., Miura, N. and Tanabe-Ishibashi, A. (2024) A Risk-Scrutinizing Attitude is Independent of Risk-Sensitive Attitude and May Hamper a Proper Protective Response: A Tsunami Simulation Experiment. Journal of Disaster Research, 19(1), pp.81-93.

# 動画像の手法を用いた携帯電話人口統計の異常検知の試み
## 平成３０年北海道胆振東部地震および令和６年能登半島地震を事例に

**小野塚仁海***

# Anomaly Detection in Mobile Location Statistics Applying Motion Image Technique
Case Studies of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake and the 2024 Noto Earthquake

Masami Onozuka*

**Abstract:** This study explores the application of Cubic Higher-Order Local Auto-Correlation (CHLAC), a video analysis technique, to detect anomalies in mobile location statistics during disasters. The structural similarities between spatiotemporal population distribution and moving images allowed CHLAC to be applied to mobile phone location statistics with only slight modifications. The method was tested on data from the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake and the 2024 Noto Earthquake. While clear anomalies were detected in the former case, results were less effective in the latter. The mask pattern in CHLAC was suited for detecting motion in moving images, so it was thought that the feature space could not adequately represent events with spatial extents. Findings suggest the possibility of applying methodologies from other fields with structurally similarity to enhance analytical techniques for mobile location statistics.

**Keywords:** 携帯電話人口統計（Mobile location statistics），立体高次局所自己相関（Cubic Higher-Order Local Auto-Correlation），異常検知（Anomaly detection），平成３０年北海道胆振東部地震（2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake），令和６年能登半島地震（2024 Noto Earthquake）

## １．はじめに
### １．１　研究の背景
携帯電話人口統計は，スマートフォンの位置情報等を収集，集計し，高い時空間解像度で人口分布を把握するものである．これらのデータは，従来の人口統計データと比較して時間解像度が非常に高いうえ，災害などの事後に，さかのぼってデータの取得が可能であるため，防災研究に有用であると考えられている．そのため近年，災害時に見られる特徴的な人口分布変化の検出を通じて，異常な群衆の検出や災害の特徴の把握を試みる研究が行われている．一方で，携帯電話人口統計に現れる災害の影響について分析するための手法は，いまだ発展途上であり，これらのデータの特性を踏まえ，適用可能な手法が探索されている．

例えば，奥村（2015）では，携帯電話人口統計を，各メッシュについて多数の時刻の人口データを持つ多変量データとして捉え，これに因子分析を行うことで，災害による影響の空間パターンや時間経過を明らかにしている．また，宇田川（2021）では，各メッシュにおける人口の経時変化を時系列データとして扱い，時系列モデルを適用することで，災害リスク範囲内における人口動態の把握を試みている．これらのように，携帯電話人口統計の活用のため，様々な手法の適用が行われている．しかし，従来適用されてきた手法は，各統計区のデータを個別のものとして捉えるものであり，位置情報の紐づく地理空間情報であることを生かしたものは少ない．地理空間ビッグデータである携帯電話人口統計の特性を生かした活用のためには，データの地理空間的な構造を考慮できる手法を導入する必要があると考えられる．

携帯電話人口統計への新たな分析手法の導入のためには，従来の手法を地理空間的な構造に対応するよう拡張することの他，データや対象とする事象の構造に共通性のある分野から手法を導入することが考えられる．そこで本研究は，データの構造に携帯電話人口統計との共通性がある「動画像」の手法を応用することで，災害時の人口時空間分布に見られる異常を検出することを目的とする．

### １．２　研究の方法
本研究では，携帯電話人口統計と動画像について，その構造に共通性があることを示した上で，動画像の物体・動作の異常検出手法である「立体高次局所自己相関（CHLAC）」を実際の災害事例のデータに適用し，課題を整理する．重ねて，同様の手法を別の災害事例のデータに適用し，その結果を踏まえ手法の有効性について検討する．

*　学生会員　北海道立総合研究機構（Hokkaido Research Organization）
〒078-8801　北海道旭川市緑が丘東１条３丁目 1-20　Tel：0166-73-4268

## ２．動画像の手法の携帯電話人口統計への適用

### ２．１　動画像と携帯電話人口統計の共通性

動画像は，その表示領域を，画像記録の最小単位であるピクセルを縦横に並べることで構成し，これらの値がフレームごとに変化することで表現されている．各ピクセルには，グレースケールの場合１つ，カラーの場合３つの数値が格納される．一方、携帯電話人口統計は多くの場合，基準地域メッシュや分割地域メッシュ単位で集計され，時刻や時間帯，日別の滞在人口等が提供される．性別や年齢，居住市町村等の属性ごとに集計されたものが提供される場合もある．このことから，動画像と携帯電話人口統計は，対象となる面的な領域を方形に区切り，各領域について１ないし複数の数値が格納され，時間軸に沿って各値が変化していく構造を持っているという点で構造的な共通性があると言える．そのため，動画像の分析手法を携帯電話人口統計に適用することが可能であると考えられる．

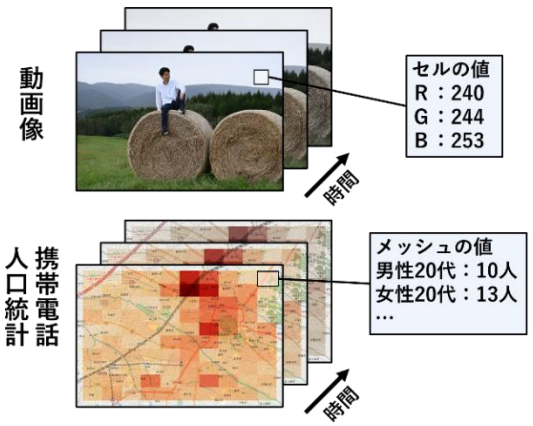



図１　動画像と携帯電話人口統計の共通性

### ２．２　CHLAC について

立体高次局所自己相関（CHLAC）は，２次元の画像データにおける物体検出や異常検知に用いられる高次局所自己相関（HLAC）の考え方を，３次元の動画像に拡張したものである．この手法は，動画内の各フレームの特徴量計算が容易であり，また汎用性が非常に高いと考えられている（太田 2012）．そこで本研究では，この CHLAC を携帯電話人口統計に適用することで，災害等による異常の検知を試みる．

HLAC は，２値化した画像データについて，マスクパターンと呼ばれる３セル×３セル（9 ピクセル）以上の大きさの多数のパターンとそれぞれ一致する箇所を数え上げることで，画像を特徴空間に埋め込み，クラス分類や異常検知を行う手法である．

HLAC におけるマスクパターンには，パターンの中央のセルに加え，隣接する８個のセルのうち１個か２個のセルを埋めたものが用いられる（図２）．この際，平行移動すると一致するマスクパターンは統合される．例えば，中央と右上のセルによるマスクパターンと，中央と左下のセルによるマスクパターンは等価であるため，どちらか片方のみが用いられる．その結果，HLAC では典型的には 25 個のマスクパターンが用いられる．

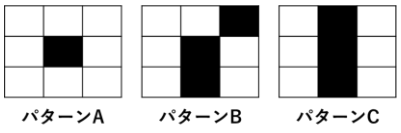



図２　HLAC で用いられるマスクパターンの例

CHLAC では HLAC と同様に，２値化した動画像データに対して，３セル×３セル×３セル（27 ボクセル）のマスクパターン（図３）を用い，動画像の各フレームを特徴空間に埋め込む．中央のセルと隣接するセルが 26 個となるため，パターン数も大幅に増え，251 個のマスクパターンが用いられる．２値化の方法としては，フレーム差分が用いられる．CHLAC を用いることで，動作の種類や動作する物体の差違を検出することができる．

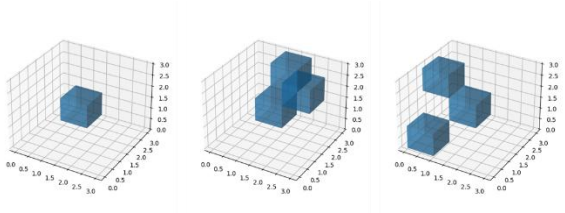


図３　CHLAC で用いるマスクパターンの例

### ２．３　CHLAC の携帯電話人口統計への適用

データの構造の共通性から，動画像の手法はほとんど変更をせず携帯電話人口統計に適用することが可能である．しかし，携帯電話人口統計の特徴や研究の特性を考慮し，本研究では「二値化の方法」と「異常度の算出」，「集計の単位」に以下の変更を加えた．

**二値化の方法**

通常の CHLAC では前後のフレームにおける明度等の値の差（フレーム差分）に一定の閾値を設け，２値化を行っている．携帯電話人口統計に適用した場合，前の時刻との人口差に閾値を設け２値化を行うことになる．この場合，人口密度の違いによって，閾値を容易に超えるメッシュと，閾値を超える変化が非常にまれにであるメッシュが現れ，限られたメッシュの動向のみで特徴量が計算されることになってしまう．そのため本研究では，メッシュごとに値を正規化し，偏差平方が $\sigma^2$ 以上であるとき１，それ以外の場合に０とする２値化を行った．

**集計の単位**

携帯電話人口統計には，都市の通勤・通学等に由来する１日単位での人口変動が含まれている．CHLAC で通常行われるように各時刻の人口分布について特徴量，異常度等を計算する場合，１日単位の変化による影響が強く

現れるおそれがある. その影響を除くため, 本研究では, 特徴量の算出にあたって，単一の時刻ではなく１日を単位とした.

**異常度の算出**

通常のCHLACを用いた異常検出やクラス分類では,「平常時」や「特定の動作」が含まれる動画像を学習データとし，これらから抽出された特徴量をもとに部分空間を計算し，さらにこれらの部分空間と，読み込まれた各フレームの特徴量の距離を計算している.

携帯電話人口統計においても,「平常時」や「平日/休日」などのデータを学習データとして部分空間を計算することが考えられるが，本研究では用いることができるデータの量に限りがあるため，発災前後を含めたデータセットの全体を用いて部分空間を計算した．また，部分空間から，各日における特徴ベクトルまでの距離を，ある日における人口時空間分布の異常度とした.

表１　本研究で用いた手法と一般的な手法の差違

| | 一般的な手法 | 本研究 |
|---|---|---|
| 使用するデータ | 動画像 | 携帯電話人口統計 |
| 二値化の方法 | フレーム差分 | メッシュごとに算出した平均値からの偏差 |
| 集計の単位 | １フレームごと | １日ごと（24 フレーム） |
| 異常度の算出 | 部分空間法「通常動作」等の学習データから得られる部分空間からの距離 | 部分空間法データセット全体から得られる部分空間からの距離 |

## ３．平成３０年北海道胆振東部地震を事例とした異常検出の試行

### ３．１　用いたデータ

前章で行った CHLAC の携帯電話人口統計への適用をもとに, 平成 30 年北海道胆振東部地震発災前後における札幌市中心部の携帯電話人口統計データから，発災前後に見られた人口分布異常の検出を試行する.

データはモバイル空間統計を使用する．胆振東部地震の事例では，表２の内容について，札幌の中心市街部の東西約 20 ㎞，南北約 10 ㎞の範囲を対象，500ｍメッシュ単位で人口分布データを取得した．なお，同様のデータを用いた小野塚･橋本(2023)では, 発災当日 (9 月 6 日) および翌日の人口時空間分布が，期間中の他の日付とは大きく異なっていたことが示されている.

表２　取得したデータの内容

| 属性 | 内容 |
|---|---|
| メッシュ | 500m メッシュ 800 か所 |
| 期間 | 2018 年 8 月 20 日から 9 月 14 日（26 日間） |
| 時間解像度 | 1 時間 |

### ３．２　計算結果

前記のデータに対して CHLAC を用いた異常度算出を適用した結果を図４に示す.

発災当日および翌日の異常度が突出して高く，本事例においては CHLAC を用いることで異常な人口時空間分布が現れたタイミングを検出することができたと考えられる.

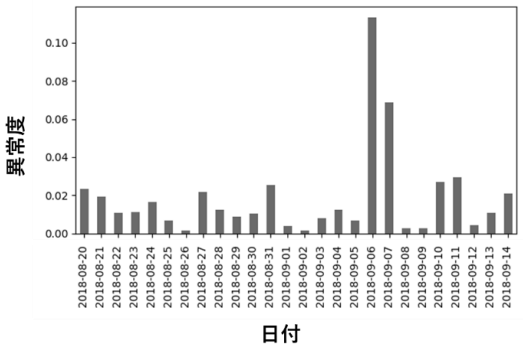



図４　CHLAC を用いた胆振東部地震発災前後の札幌における人口分布の異常検出

表３　データセット全体に対する各マスクパターンの出現数

| パターン番号 | 出現数 |
|---|---|
| 1 | 635 |
| 14 | 324 |
| 213 | 369 |
| その他 | 2166 |
| 合計 | 3494 |

パターン番号は Kobayashi& Otsu(2009)による

一方，データセット全体における各マスクパターンの出現数（表３）に着目すると，出現頻度上位３つのパターンで全体の 44%を占めていることがわかる．これらのパターンは，中心のセルのみのパターン（パターン番号１), および中心のセルと時間的に前後に隣接するセルのみからなるパターン（同 14,213）であり，人口分布の異常の空間的広がりをとらえたものではない.

通常の CHLAC のマスクパターンは，動作の「動き」を検出するのに適したパターンとなっているため，面的

に現れる変化を検出するためには，異なるマスクパターンを使用する必要があると考えられる．

## ４．令和６年能登半島地震の事例による試行

前章では，平成３０年胆振東部地震発災前後の札幌における携帯電話人口統計に CHLAC を用いた異常度算出を適用することで，発災当日・翌日に見られる人口分布の異常を検出することができた．そこで本章では，他事例にも同様の手法を用いることで異常を検出できるか，令和 6 年能登半島地震発災前後の金沢を事例に試行した．

使用したデータはモバイル空間統計によるものであり，取得した内容は表４の通りである．

表４　取得したデータの内容

| 属性 | 内容 |
|---|---|
| メッシュ | 500m メッシュ 100 か所 |
| 期間 | 2023 年 12 月 26 日から<br>2024 年 1 月 14 日（20 日間） |
| 時間解像度 | 1 時間 |

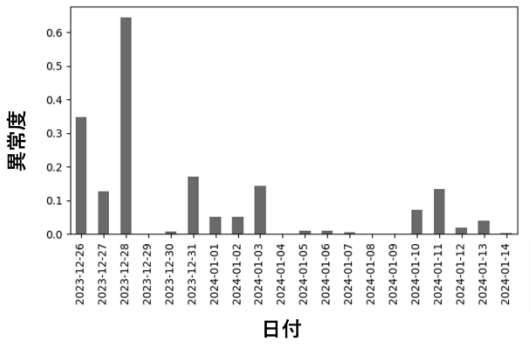



図５　CHLAC を用いた令和 6 年能登半島地震前後の金沢における人口分布の異常検出

前記のデータに対して CHLAC を用いた異常度算出を適用した結果を図５に示す．発災日や他のイベント日とは異なる 12 月 28 日の異常度が突出して高くなっていることがわかる．また，他の日付においても，異常度が高くなる日とそうでない日についての解釈が難しくなった．このことから，本事例においては CHLAC を用い異常な人口時空間分布が現れたタイミングを検出することはできなかったと考えられる．

本事例は元旦おける発災であり，対象期間が年末年始にあたることから，期間中の人口分布パターンの規則性が低くなり，災害の影響による相対的に小さくなった可能性が考えられる．また，本事例においては，各マスクパターンの出現頻度が低く（全期間を通じ，全パターン合計 191 回），今回用いた特徴量空間では，本事例の人口時空間分布の特徴を十分に捉えることができなかったことも考えられる．

## ５．おわりに

本研究は，動画像と携帯電話人口統計データの構造に共通性があることに着目し，動画像の手法である CHLAC を用いた異常度算出を携帯電話人口統計データに適用することで，災害による人口分布の異常を検出することを試みた．その結果，平成３０年北海道胆振東部地震の事例では，発災当日・翌日に見られる人口分布の異常を検出することができたが，令和 6 年能登半島地震の事例では検出できなかった．その背景として，各事例の特性のほか，通常の CHLAC で用いられる特徴量空間が，面的に現れる変化に十分対応できなかったことが考えられた．

本研究を通じ，携帯電話人口統計データの分析手法の発展のために，データや事象の構造に共通性のある他分野の手法を応用する可能性が示された．今後，動画像以外の携帯電話人口統計データと共通する構造を持つデータや分野を探索することで，有用な手法を導入することが考えられる．

## 謝辞

本研究は建議研究「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第二次）」の課題研究「地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究」（代表者：橋本雄一，課題番号：HKD07）および JSPS 科研費（基盤研究 C）22K0104002，24K04408 における成果の一部である．

### 参考文献

奥村誠. (2015). 都市内災害復旧過程の時空間パターンの把握 携帯電話位置情報集計データの活用. 都市計画論文集, 50(3), 402-408.

宇田川真之. (2021). 人流データを用いた警戒期における大規模避難状況の推計~ 令和 2 年台風第 10 号襲来時の事例からの試み~. 災害情報, 19(2), 133-143.

太田雅仁，北野祐介，木村祐太，竹村裕, & 溝口博. (2012, May). 1P1-Q03 Open-RTM による CHLAC を用いた人物検出機能のモジュール化 (RT ミドルウェアとオープンシステム). In ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2012 (pp. _1P1-Q03_1). 一般社団法人 日本機械学会.

小野塚仁海，橋本雄一. (2023). 携帯電話データを用いた災害発生直後の都市における人口分布に関する地理学的研究. 地理情報システム学会講演論文集, 32.

Kobayashi, T., & Otsu, N. (2009). Three-way auto-correlation approach to motion recognition. *Pattern Recognition Letters*, *30*(3), 212-221.

# 大規模災害時における土木施設の通行可否情報の情報収集・共有の仕組みの構築

**林 大貴*・土屋 奏**・島田 徹**・工藤 大典**・玉川 絢登**・廣木 雪乃**・横山 暢広**
竹島 彰子**・吉岡 小百合**・山上 綾太**・吉川 卓郎**・小山 のの**・鈴木 達朗**・吉田 智樹**・
吉田 考太郎**・大見 明弘***・神谷 友子*****

# Establishing a system for collecting and sharing information on whether infrastructures are passable during large-scale disasters

Daiki Hayashi*, So Tsuchiya**,Toru Shimada**, Daisuke Kudo**, Kento Tamagawa**, Yukino Hiroki**, Nobuhiro Yokoyama**, Akiko Takeshima**, Sayuri Yoshioka**, Ryota Yamagami**, Takuro Yoshikawa**, Nono Koyama**, Tatsuro Suzuki **, Tomoki Yosida**, Kotaro Yoshida**, Akihiro Omi***, Yuuko Kamiya***

**Abstract:** In preparation for disasters such as the Nankai Trough earthquake, Aichi Prefecture Government has established Aichi Prefecture Infrastructures Damage Information Sharing System (hereinafter referred to as the "System"), which allows the registration and sharing of damage information on infrastructures managed by the prefecture in the event of a disaster, in order to carry out administrative work quickly and reliably in the event of a disaster. This paper describes the function that was developed at that time to automatically represent passable and impassable sections, and the data preparation that is compatible with this function. We have set certain rules for the automatic display of sections that are passable or impassable based on damage information entered by contracted companies on their smartphones. Next, we structured the paper drawings showing the areas (routes) that contracted contractors should cover in order to convert them into GIS data. However, since there was a possibility of a discrepancy between the sections that were actually impassable and the sections that were passable according to the system, the data was split up for each intersection. This process reduces discrepancies, making it possible to improve the accuracy of considering detours and routes that should be prioritized for road clearance. We believe that this system needs to be further refined by utilizing it in actual disasters and disaster prevention drills.

**Keywords:** システム構築（establishing a system），土木施設（infrastructures），大規模災害（large-scale disasters），通行可否情報（information on whether infrastructures are passable）

## １．はじめに

愛知県では，南海トラフ巨大地震や頻発・激甚化する風水害などに対し，発災時における迅速かつ確実な災害対応が課題の一つとなっている．一方，災害対応を担う自治体職員および建設業従事者の減少や熟練技術者の離職が顕著であり，災害など突発的な業務量増加が想定される局面では，特に深刻な人手不足と作業遅延が想定され，大きな課題と言える．

そこで，愛知県では災害発生時に県管理の土木施設の被害状況を登録・共有することができるあいち土木被害情報共有システム（以下，本システム）を構築した．被害情報の収集は，事前に防災安全協定を締結している県内建設業者（以下、協定業者）が行うことになっていて，協定業者がシステムに直接入力できる仕組みとした．

このシステムは，土木施設の被害状況を集約するシステムであるが，他方では発災直後の混乱した状況において，被災者救助や救援物資輸送などの最適ルートを選定するための情報を提供する役割も担う．また，状況に応じて，優先して道路啓開を行う区間などの選定も求められる．

このため，県管理の道路施設の被害情報を表示するだけではなく，どの路線が通行可能なのかといった通行可否情報やその区間も自動的に表示し，システム利用者に対して見える化することが求められた．

* 正会員国際航業株式会社（Kokusai Kogyo Co., Ltd.）
〒169-0074 東京都新宿区北新宿 2 丁目 21 番 1 号 E-mail：daiki_hayashi@kk-grp.jp
** 非会員国際航業株式会社（Kokusai Kogyo Co., Ltd.）
*** 非会員愛知県建設局土木部建設企画課（Aichi Prefectural Government, Bureau of Construction, Publics Works Department, Planning Division）

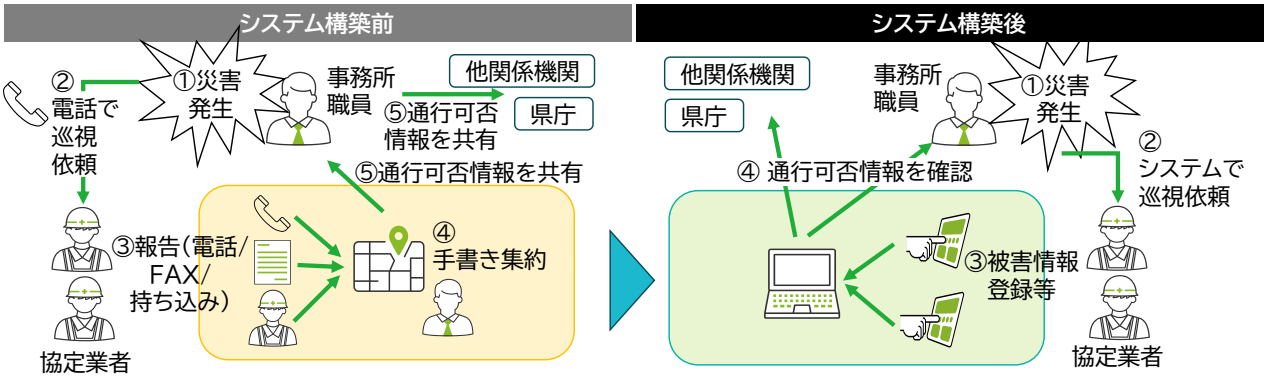



図 1　システム構築前後の業務フロー

本システムの導入以前には，県と協定業者は各業者が協定で取り決められた対応すべき範囲（路線）を紙図面（以下、工区割図）を用いて共有していた．今回システム化によって，通行可否情報を自動で表示することを可能にするため，紙図面で示されていた路線を細分化し，システムに適合したデータとして整備することが必要となった．本稿では，上記のデータ整備について示す．

## 2．通行可否情報を共有するシステムの設計

本システムの設計にあたり，災害発生時の愛知県の初動対応について，ヒアリングや既存の要領の調査を行い，業務フローの整理を行った．それを踏まえて作成した本システム構築前後の業務もしくはシステムフローのイメージを図 1 に示す．

本システム構築前の既存の業務では，下記の流れで業務を行っていた．

①災害発生や災害発生の恐れがあると判断

②建設事務所職員が防災安全協定業者に電話により巡視依頼を実施

③協定業者は電話・FAX・持ち込みなどにより通行可否情報等を連絡

④建設事務所職員は協定業者から受けた通行可否情報等を紙図面や帳票様式に記載

⑤紙図面や帳票様式を基に愛知県庁や国等の他関係機関へと通行可否情報等を共有

本システム構築後は既存の業務や要領を踏まえて，下記の流れでシステムの操作を行うこととした．

①災害発生や災害発生の恐れがあると判断

②建設事務所職員が PC 等を用いてシステム上で対象の土木施設に対して巡視依頼を一斉に実施

③協定業者はスマートフォン等を用いてシステム上で巡視開始・終了を登録および被害情報・通行可否情報を登録

④建設事務所職員や愛知県庁，市町村等の他関係機関は PC 等を用いてシステム上で被害情報・通行可否情報，




図 2　ダッシュボード画面

それと連動した通行可否区間を確認

この業務フローに則り，本システムを運用することで，既存の要領に近しい形でシステム運用が実現される．そのため，システム利用のハードルを下げ，かつ被害情報・通行可否情報の迅速かつ効率的な把握と共有に寄与する．

## 3．通行可否情報を表現するための仕組み

### 3.1　構築したシステム画面

2．で示したシステム設計に基づき，実際に開発した被害情報，通行可否情報，および災害対応の概観を表示するダッシュボード画面は図 2，被害情報を登録する画面は図 3 の通りである．

ダッシュボード画面を確認することで，被害情報や通行可否区間の位置情報を網羅的に確認でき，また，巡視の実施状況や被害情報に関する復旧状況の概観を確認できるようにした．これにより今まで愛知県庁内外で報告する際に求められていた被災状況や復旧状況の概要について，本ダッシュボード画面を活用することができ，報告作業時間の短縮につながる．

次に被害情報の登録画面について，操作や登録項目数が増えると，煩雑になり，結果としてシステムで登録せずに電話連絡するケースや会社に持ち帰ってシステムに登録するといったケースが予想された．



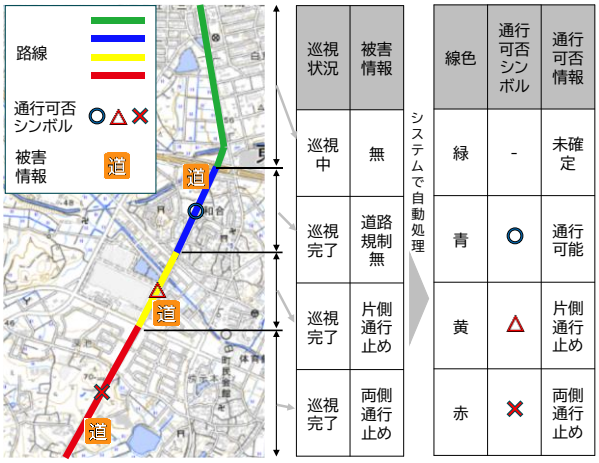

図 3　被害情報・通行可否情報登録画面

そのため，システム上で一元的に一次情報を迅速に収集するため，現場で登録する操作を極力少なくする方針とした．

まず協定の区間ごとに報告ボタンを配置し，これを押すことで該当の区間に関する被害情報を登録する画面に遷移する仕組みとした．登録画面ではまず写真を撮影し，続いてその写真に付与される EXIF 情報から被害箇所を自動でプロットされるようにした．最後に通行可否に関する情報やその他被害に関する情報を登録する仕組みとした．これらの仕組みにより厳密にどの区間で被害が発生したかを管理しながら，迅速に被害情報を収集できるため，災害対応の迅速化につながる．

### 3.2　通行可否区間の自動表現のルール

被害情報を入力する画面に合わせ，通行可否情報の表現に関する機能を実装した．先述した通り，現場で登録する操作を極力少なくする方針のため，被害情報に入力する通行可否情報と合わせて，自動で通行可否区間を表現する仕組みを実装した．具体的なその自動表現のルールは図 4 の通りである．




| 巡視状況 | 被害情報 |
|---|---|
| 巡視中 | 無 |
| 巡視完了 | 道路規制無 |
| 巡視完了 | 片側通行止め |
| 巡視完了 | 両側通行止め |

| 線色 | 通行可否シンボル | 通行可否情報 |
|---|---|---|
| 緑 | - | 未確定 |
| 青 | ○ | 通行可能 |
| 黄 | △ | 片側通行止め |
| 赤 | × | 両側通行止め |

図 4　通行可否区間の自動表現のルール

まず，防災安全協定業者が防災安全協定の範囲として設定された巡視の最小単位区間ごとで巡視を開始し，関連する被害が無いまたは被害はあるが車両通行可能な状態で巡視完了すると，当該の区間は通行可能と判断する仕組みとした．

また，区間内に 1 つでも通行不可もしくは片側通行止めの情報が登録された場合，当該の区間は通行不可もしくは片側通行止めと表現するようにした．

この自動表現のルールを採用することで，簡単な操作だけで，一次情報としてある程度の精度をもってその影響範囲と通行可能区間を明示できるようにした．

## 4．被害情報に連動して通行可否情報を設定するためのデータ作成

### 4.1　工区割図のデータ構造化

先述した通り，県と協定業者は各業者が協定で取り決められた対応すべき範囲（路線）を紙図面（工区割図）で取り決めをしていた．それを本システムの通行可否情報やその区間を表現するマスターデータとして下記の通りに構造化して整理した．

- ●事務所情報（建設事務所・港務所）
  - └　事務所範囲を示した情報
- ●工区情報
  - └　事務所を複数個所に分割した情報
- ●ブロック情報
  - └　工区を業者担当単位に分割した情報
- ●巡視最小単位の情報（以下，ブロック詳細）
  - └　協定業者が巡視を行う最小単位．

整理にあたり，巡視最小単位の情報に，起終点情報や路線情報，施設情報などの属性として巡視管理上，必要な情報を付与した．なお，実際の工区割図と構造化して整理した情報との対応関係は図 5 の通りである．

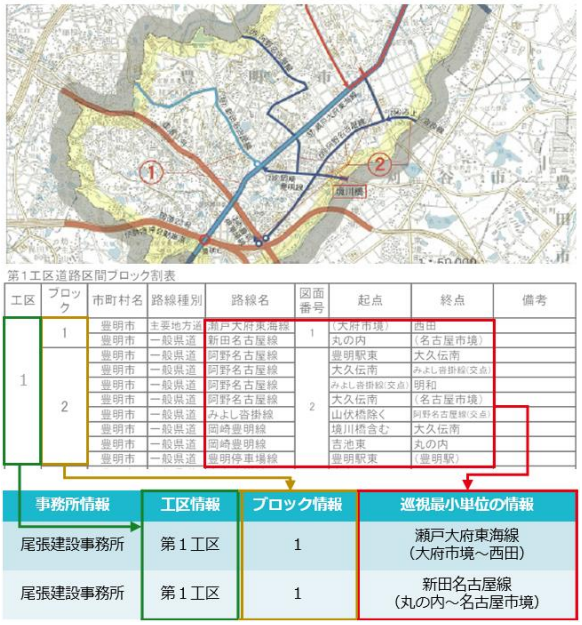



図 5　工区割図（上段：工区割図、中段：付随する工区表）と構造化した情報（下段）との対応関係

## 4.2　工区割図のデータ分割

3.2 で述べた通り，本システムではブロック詳細単位で通行可否区間を表現する設計となっている．そこで，4.1 で整理した工区割図から作成する GIS データのブロック詳細の区間を確認すると，既存の工区割図で表現されたブロック詳細の区間が長い場合，実際に車両通行ができない区間とシステム上の表現される区間との間に乖離が生まれる可能性が生じた．システム上で表現した通行可否区間をもとに迂回路の検討や最優先に道路啓開するルートの検討を行うため，その判断を正確に行えないリスクも生じる．

上記により，県道や国道の交差点単位でデータを分割処理を行い，実際の通行可否区間に近しい区間でシステム上で表現できるようにした．具体的には下記の手順で分割処理と属性追加作業を行った．分割前後の GIS データのイメージは図 6 の通り．

①　既存の工区割図通りに作成したブロック詳細の起点と終点およびブロック詳細同士もしくは国道と交差画面上ではする箇所に分割するためのポイントを作成

②　①で作成したポイントの内，立体交差等により実際には交差点ではない箇所を確認し，ポイントを削除

③　ポイントから 3 メートルのバッファを生じさせて，それと重なるブロック詳細のデータを消去し分割

④　分割されたブロック詳細の起点，終点情報を下記のルールにより追加（図 3）

④-1　元のブロック詳細の起点と終点情報を追加

④-2　他のブロック詳細の起点と終点情報を追加

④-3　道路情報便覧表示システムから交差点名称を追加

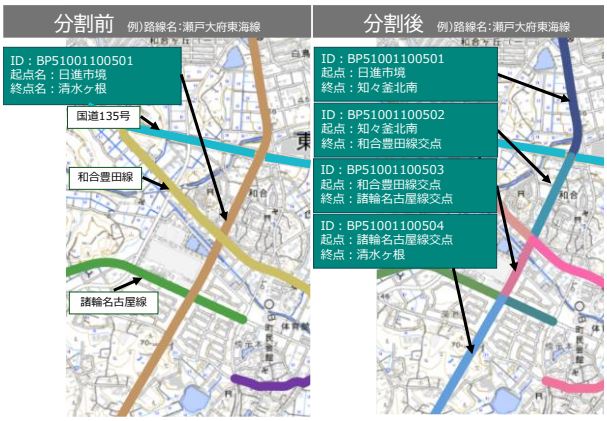



図 6　分割前後の GIS データのイメージ

④-4　「他ブロック詳細の路線名＋交点」を交差点名称として追加

⑤　ID の再設定

本分割作業を行うことにより，実際に車両通行ができない区間とシステム上の表現される区間との乖離が少なくなり，正確な通行可否区間の情報の共有が達成できると考えられる．さらに迂回路や最優先に道路啓開するルートの検討の精度を高めることにも寄与したと考える．

## 5．今後の課題

既存の工区割図と工区表をそのまま GIS データ化するのではなく，構造化と分割作業を行うことでシステムに求められた要件や機能を達成するためのデータ整備を行うことができた．

一方で，整備した工区割図のデータについて，道路の供用・廃止等や協定の変更に合わせて，データ更新を効率的に行っていく必要がある．さらに，作成したデータの属性情報や分割した区間について，協定や工区割図にフィードバックして，今後のデータ更新の際に漏れや誤りが生じないようにしておく必要がある．

また，今回は国道・県道のみを対象としてデータ分割を行ったが，主要市町村道や防災拠点等の災害時の応急復旧活動の業務を加味したデータ最適化が必要である．

## 6．おわりに

本システムを構築することで愛知県における初動対応の迅速化と効率化がより進んだと考える．

一方で本システムの本運用開始が 2025 年 6 月であり，本稿を作成している 2025 年 8 月時点では．愛知県内において大きな災害が発生しておらず，災害発生時での本システムが利用された実績がない．そのため，防災訓練のような実際の災害に近い訓練において本システムを活用し，その結果を踏まえて，さらなるシステムやそのデータのブラッシュアップを行っていく必要があると考える．