

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）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応用研究
（英文）Applied research on overcoming social vulnerability to disasters through the comprehensive use of geospatial information

(3) 関連の深い建議の項目：

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究
(3) 千島海溝沿いの巨大地震

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）

ア. プレート境界巨大地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震の災害誘因の事前評価手法の高度化

イ. 津波の事前評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(5) 本課題の5か年の到達目標：

本研究は、地理空間情報、GIS、衛星測位だけでなく、現在社会的に推進されつつあるDXに対応させるため現代的ICT技術であるVRやARなども統合し、避難行動に関するマイクロジオデータ等を収集して、防災・減災に関して社会的有効性の高い統合情報システムと活用方法の開発を行う。それにより、開発と災害リスクの関係について分析を行い、「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」について、人文社会科学と自然科学の両方の立場から議論を行う。

さらに期間中には、防災リテラシー向上のための防災教育に関する研究を行う。令和4年度から高校では「地理総合」が必修科目となり、その中では地図/GIS教育および防災教育が行われる。この「地理総合」を核として、小学校から大学まで一貫した防災教育を展開する可能性を視野に入れ、地理空間情報を活用した防災リテラシー向上のための教育に関する研究を行う。特に、地理空間情報やGISを援用して災害に関する「教材の現地化」を進めることにより、防災リテラシーと地図リテラシーを同時に向上させるための手法開発などを行い、「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」克服のための可能性を探る。

本研究は、地震本部により発生が切迫している日本海溝・千島海溝周辺の超巨大地震による津波を想定し、北海道太平洋沿岸（釧路市、函館市、苫小牧市など）の積雪寒冷地を主なフィールドとして研究を進める。これらのフィールドは、道路の凍結や、堆積した雪による歩道の幅員減少など、冬季（積雪期）に避難移動を困難にする要素が増加する。このような状況を想定し、本研究は積雪寒冷地における生活環境の季節差に注目して研究を行う。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

2024年度：GIS・衛星測位・地理空間情報を統合した基盤システム開発

日本海溝・千島海溝周辺の超巨大地震による津波を想定し、北海道太平洋沿岸地域を対象として、災害の人文社会学的研究のための地理空間情報、GIS、衛星測位を統合した基盤システムを開発する。日本の準天頂衛星システムが2017年度に衛星4機体制となったことで、衛星測位で取得できる位置データや標高データの精度が大幅に向上した。そこで、この測位データの最適な使用環境を考慮してシステムを構築した上で、準天頂衛星システム以外にも様々な方法で取得できるジオマイクロデータ（高精度で高精細な地理空間データ）の活用方法の開発と実証実験を行い、さらに従来の空間分析手法の改良などを行う。

当年度では2020年国勢調査小地域統計など最新の人口や土地利用を収集し、これまでに収集したデータと融合させて、分析に用いる時空間データベースの作成を行う。

2025年度：津波想定域の可視化技術および避難困難地域の抽出法の開発

北海道から公表されている津波浸水想定GISデータなどの地理空間情報のGeo-visualizationを行った上で、低コストのハザードマップ作成技術を開発し、自治体や学校などの教育機関に提供する。また、津波浸水による津波被害に関する分析、避難施設と避難困難地域（津波到達までに避難場所に到達できない地域）に関する分析、住民の避難行動に関する分析などを行う。その際には国土院の数値標高モデルなどを利用し、積雪時や路面凍結時における避難路の傾斜に応じた歩行速度低下を考慮した分析手法を開発する。

2026年度：津波避難支援システム開発と積雪期の避難障害に関する空間分析

積雪寒冷地である北海道沿岸の事例市町村を選定し、避難訓練などで得られる集団の避難移動履歴データを収集し、それを津波浸水想定GISデータと重ね合わせることで津波避難ナビなどのシステムを開発する。これを用いて集団津波避難移動データの可視化を行い、非積雪期と積雪期における避難の障害を特定し、歩行速度低下の要因について分析する。積雪期と非積雪期で結果を比較することにより、積雪の有無による避難行動の障害の相違を明確化する。この分析では、生活レベルのミクロな視点で「災害に対する社会的脆弱性」を検討する。

2027年度：津波集団避難実験と複合災害時避難研究への展開

津波を中心とする複合災害を想定し「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」に注目して分析を行う。集団避難のGPSログと津波浸水想定などの重ね合わせたデータに関する分析手法を複合災害にも適用できるように高度化し、多彩な状況に対応した分析を行えるようにする。津波避難ビルの階段上昇シミュレーションなどを行い、水平避難だけでなく垂直避難に関する分析も行うことで、津波避難ビルの課題抽出を行う。夜間の積雪時や、ブラックアウト発生時など特殊な環境での避難移動履歴データを収集するために、VRを用いた避難実験システムを構築する。これを用いて、避難移動に関して現実空間の模擬避難実験と仮想空間の避難シミュレーションを統合して研究を進める。また、避難者の意思決定についてはファジーAHPなどの手法を用いて分析する。

2028年度：高校「地理総合」を核とした小中高大の防災リテラシー向上に関する研究

教育機関を中心に研究成果の社会的発信を行う。2022年度から高校で必修科目となった「地理総合」では、地図/GIS教育と防災教育が内容に含まれている。ここでは、この「地理総合」を核として、小学校から大学まで一貫した防災リテラシーの向上を目指して研究を進める。特に、高校「地理総合」に関しては、GISを援用して災害に関する「教材の現地化」を推進することで、防災リテラシーと地図リテラシーを同時に高め、身近で発生する可能性が高い災害について理解を深めるとともに、それへの対応について自ら検討し実行できる力を身につけることができるように、教育プログラムの提案に繋げる。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2025年度には、津波避難支援システム開発と積雪期の避難障害に関する空間分析を中心に研究を進めた。そのために本研究では、北海道太平洋沿岸の事例市町村を選定し、避難訓練などで得られる集団の避難移動履歴データを収集し、それを津波浸水想定GISデータと重ね合わせることで津波避難ナビなどのシステムを開発した。これを用いて集団津波避難移動データの可視化を行って避難の障害を特定し、歩行速度低下など避難の障害となる要因について分析した。この分析では、生活レベル

のミクロな視点で「災害に対する社会的脆弱性」を検討した。

1. 目的と方法

本研究では、これまでに防災リテラシー向上のための災害時避難に関する多くの分析を行ってきた。その中で、避難行動の意思決定を解明することは重要な課題となっている。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。図1のように、地理学や地理情報科学では右側の環境が対象とされ、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てきた。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、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てきた。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いえない。

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した。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った。ただし、fMRI（機能的磁気共鳴画像法）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した。

研究方法は以下の通りである（図2）。まず、fMRIに対応したVR空間での疑似津波避難訓練システムを構築した。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した。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った。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した。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った。

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、VR疑似避難訓練システム（VETシステム）を構築した。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た後に、音声で流れる大津波警報を聞いてから、VR空間上で避難移動を行った。

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を設定した（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した。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った。

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）。実験において被験者は、金森倉庫北側の地点から出発し、津波浸水領域外への到達を目標に避難を行った（図4）。

3. fMRIでの脳神経活動のデータ収集

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で把握することを試みた。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した。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した。

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った（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してもらった。

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状態とした。

疑似避難訓練では、570秒間の実験中に2秒間隔で撮像した。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。

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）を用いた。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した。

実験は2024年3月29日・30日に東北大学において8名の被験者により行われた。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. 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ため、解析は、この部位を事例として行った。

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化に関する空間解析を行った。

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9）。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た。

5. 防災リテラシー教育への貢献

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。このことは、防災リテラシーを従来の知識習得にとどめず、空間認知力や柔軟な意思決定といった能力として捉える重要性を示している。本研究が事例とした右上頭頂小葉の解析では、活動が維持された成功群は避難行動全体で安定した空間認知を継続し、ランドマークを手掛かりに行動できた。一方、失敗群は環境の変化により活動が低下し、迷いやすい状況に陥った。これは空間的な柔軟性を育てる訓練の必要性を示している。この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。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究は、地震調査研究推進本部により発生の切迫性が指摘されている日本海溝・千島海溝周辺の超巨大地震に伴う津波災害を想定し、人的被害の軽減に資する知見の創出を目的とした。とりわけ、地理空間情報、GIS、衛星測位といった従来の地理情報科学的手法に、VR・ARなどの現代的ICT技術を統合し、避難行動に関する高解像度のマイクロジオデータを取得・分析する枠組みを構築した点に本研究の独自性がある。

今回、GISとVR環境を基盤としてfMRIを結合させることにより、津波避難過程における脳神経活動を通じて、災害時の意思決定プロセスにアプローチした。この成果は、従来の避難研究が主として行動結果や主観的評価に依存してきたのに対し、避難判断の背後にある認知・判断メカニズムを客観的に捉える可能性を示すものであり、千島海溝地震による津波災害時の避難行動の高度化・最適化に向け

た基礎的知見として位置づけられる。

今後は、本研究で開発した統合情報システムと分析手法を発展させる。災害時の意思決定支援や避難行動誘導への応用研究から得られた知見を防災教育へと展開し、災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）の克服を目指す。特に、高等学校科目「地理総合」を核として、小学校から大学まで一貫した防災教育の枠組みを構想し、地理空間情報やGISを活用した災害教育の高度化へとつなげる。

(8) 令和7年度の成果に関連の深いもので、令和7年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

橋本雄一・塩崎大輔・三浦直樹・榑浩平・白濱幸弘・杉浦元亮，2025，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（Ⅰ）－VR空間上での津波避難の事例－，地理情報システム学会学術研究発表大会予稿集，34，D7-01.，査読無，謝辞有

塩崎大輔・橋本雄一・三浦直樹・榑浩平・白濱幸弘・杉浦元亮，2025，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活動に関する空間分析－，地理情報システム学会学術研究発表大会予稿集，34，D7-02.，査読無，謝辞有

三好達也・橋本雄一，2025，公開地理空間情報を利用したマルチチャンネル深層学習による土砂災害検出－平成30年北海道胆振東部地震を事例に－，地理情報システム学会学術研究発表大会予稿集，34，D5-02.，査読無，謝辞有

深田秀実・橋本雄一，2025，津波避難ビルにおける階段上昇避難シミュレーション手法に関する基礎的検討，日本危機管理防災学会2025年度研究大会予稿集，2025，85-86.，査読無，謝辞無

小野塚仁海・橋本雄一，2025，災害による都市のデイリーリズム変化の時空間的特徴，日本地理学会発表要旨集，108，77-77.，査読無，謝辞有

塩崎大輔・橋本雄一・三浦直樹・榑浩平・白濱幸弘・杉浦元亮，2025，VRとfMRIを用いた津波疑似避難に関する行動分析．情報処理学会研究報告，2025-IS-173(2)，1-5.，査読無，謝辞有

塩崎大輔・深田秀実・橋本雄一，2025，VR津波避難訓練システムを用いた港湾観光都市における率先避難と観光者の避難行動，情報処理学会研究報告，2025-IS-171(8)，1-5.，査読無，謝辞有

塚田尚幸・橋本雄一，2025，平成30年北海道胆振東部地震の復旧工事におけるワンストップ窓口の役割－札幌市里塚地区の事例－，地理学論集，100(2)，3-12，査読有，謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

橋本雄一・塩崎大輔・三浦直樹・榑浩平・白濱幸弘・杉浦元亮，2025，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（Ⅰ）－VR空間上での津波避難の事例－，第34回地理情報システム学会学術研究発表大会，D7-01.

塩崎大輔・橋本雄一・三浦直樹・榑浩平・白濱幸弘・杉浦元亮，2025，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活動に関する空間分析－，第34回地理情報システム学会学術研究発表大会，D7-02.

三好達也・橋本雄一，2025，公開地理空間情報を利用したマルチチャンネル深層学習による土砂災害検出－平成30年北海道胆振東部地震を事例に－，第34回地理情報システム学会学術研究発表大会，D5-02.

深田秀実・橋本雄一，2025，津波避難ビルにおける階段上昇避難シミュレーション手法に関する基礎的検討，日本危機管理防災学会2025年度研究大会.

小野塚仁海・橋本雄一，2025，災害による都市のデイリーリズム変化の時空間的特徴，日本地理学会2025年度秋季学術大会，413.

塩崎大輔・橋本雄一・三浦直樹・榑浩平・白濱幸弘・杉浦元亮，2025，VRとfMRIを用いた津波疑似

避難に関する行動分析. 情報処理学会第173回情報システムと社会環境研究発表会, 2025-IS-173(2).

塩崎大輔・深田秀実・橋本雄一, 2025, VR 津波避難訓練システムを用いた港湾観光都市における率先避難と観光者の避難行動, 情報処理学会第171回情報システムと社会環境研究発表会, 2025-IS-171(8).

橋本雄一, 2025, GISによる防災と地理教育(基調講演), 特定非営利活動法人Digital北海道研究会「GIS Day in はこだて 2025 Part2」.

(9) 令和7年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(10) 令和8年度実施計画の概要:

積雪寒冷地である北海道沿岸の事例市町村を選定し, 避難訓練などで得られる集団の避難移動履歴データを収集し, それを津波浸水想定GISデータと重ね合わせることでできる津波避難ナビなどのシステムを開発する。これを用いて集団津波避難移動データの可視化を行い, 非積雪期と積雪期における避難の障害を特定し, 歩行速度低下の要因について分析する。積雪期と非積雪期で結果を比較することにより, 積雪の有無による避難行動の障害の相違を明確化する。この分析では, 生活レベルのミクロな視点で「災害に対する社会的脆弱性」を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

橋本雄一(北海道大学文学研究院), 高橋浩晃(北海道大学理学研究院)
他機関との共同研究の有無: 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 北海道大学 大学院文学研究院

電話:

e-mail:

URL: <https://www.let.hokudai.ac.jp/staff/hashimoto-yuichi>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 橋本雄一

所属: 北海道大学 大学院文学研究院

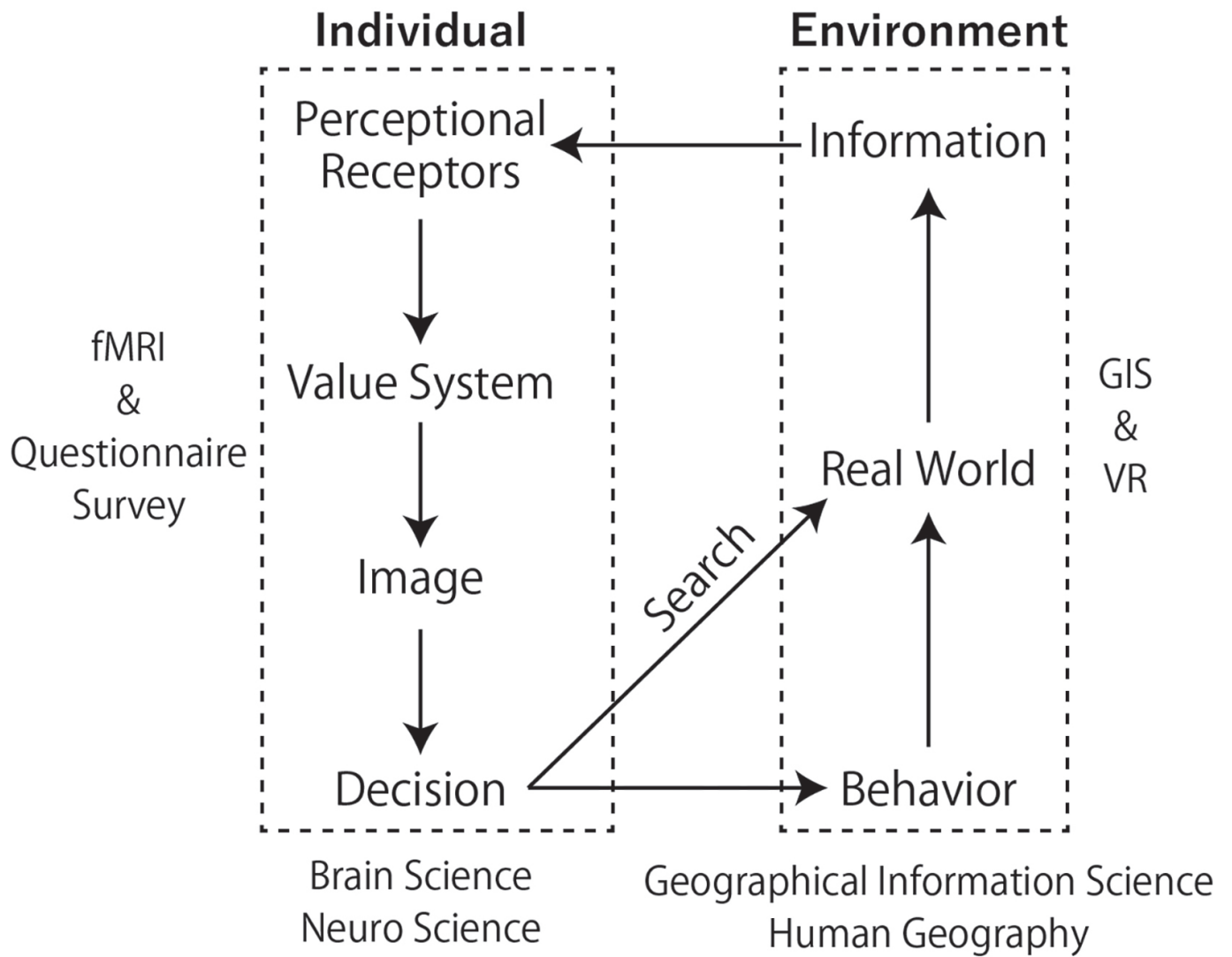


図1 本研究における空間認識



図2 開発中のVETシステムにおけるノードとリンク

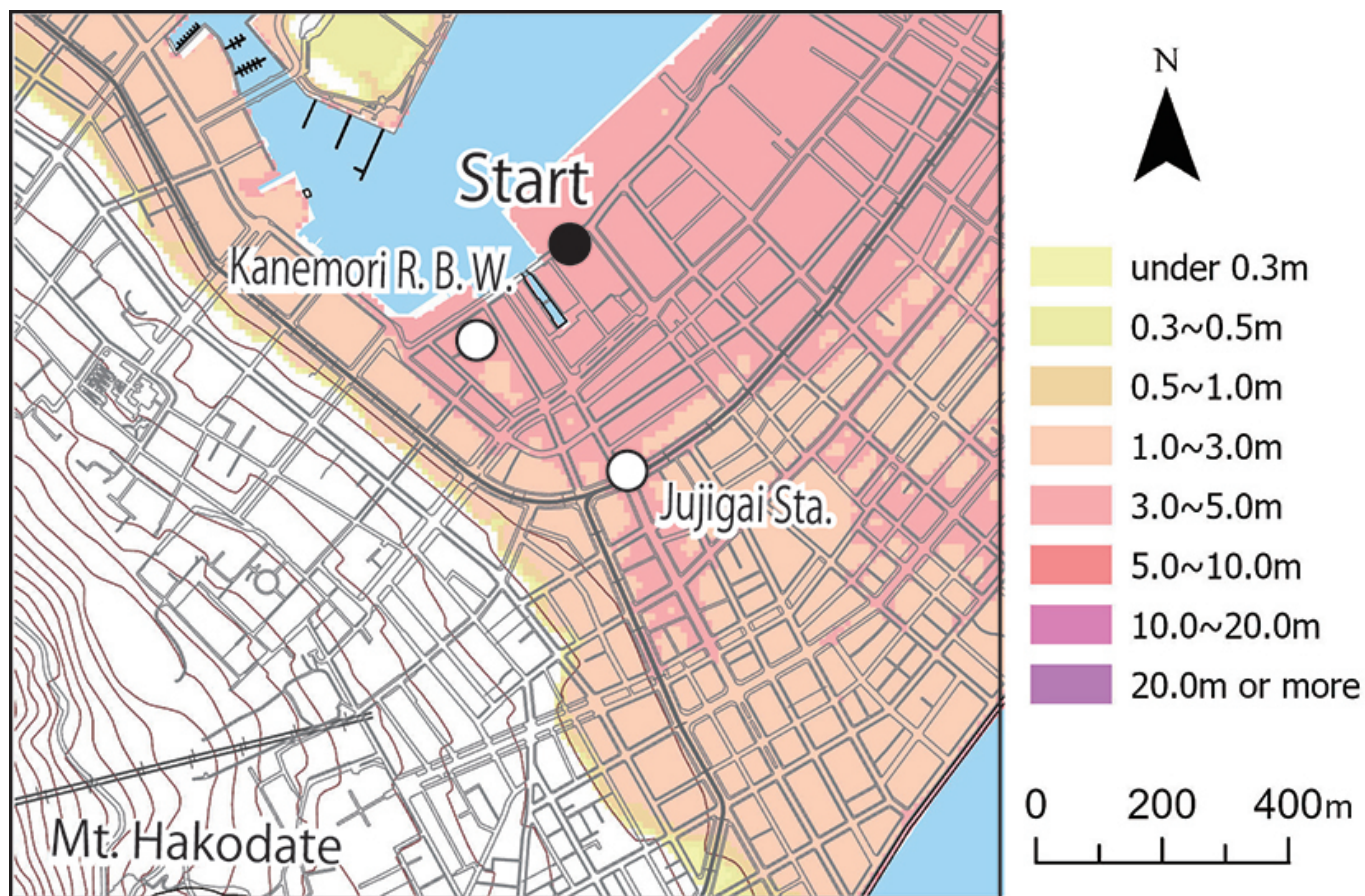


図3 研究対象地域の津波浸水想定

Start



図4 VR空間上での避難移動



図5 実験で使したモニターとデバイス

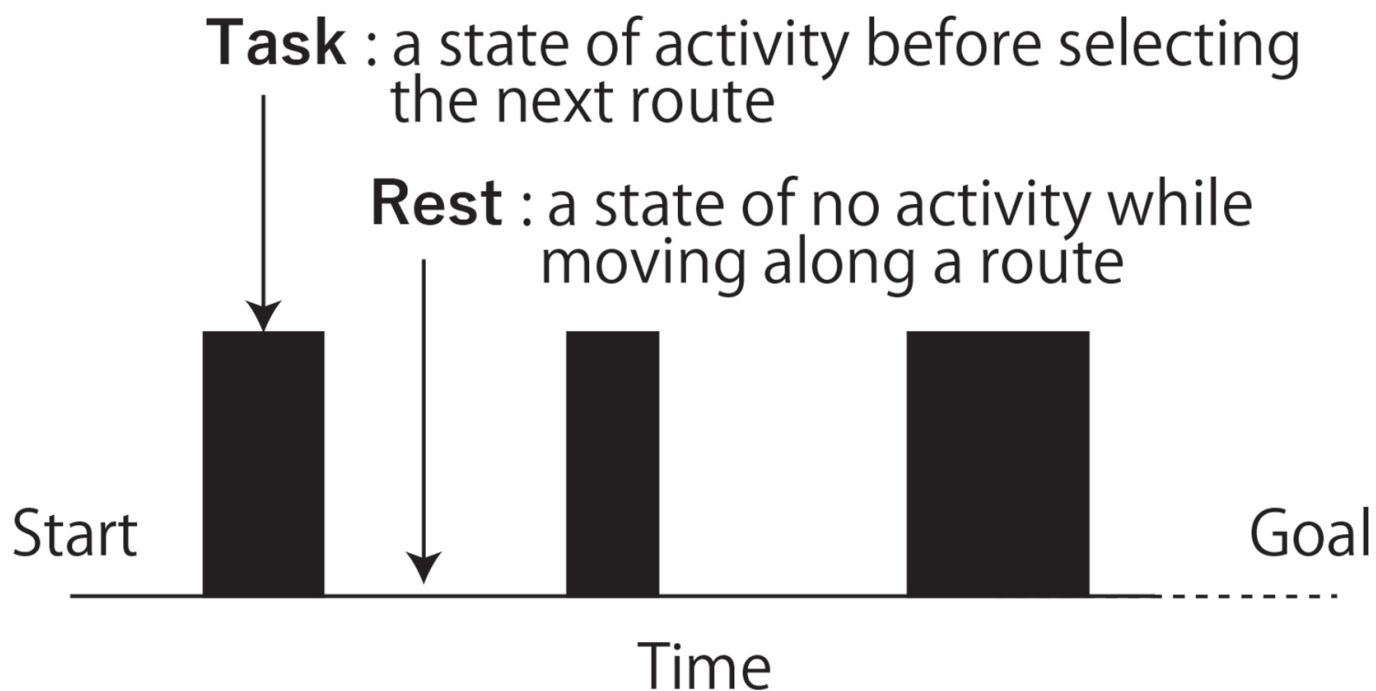


図6 Task状態とRest状態

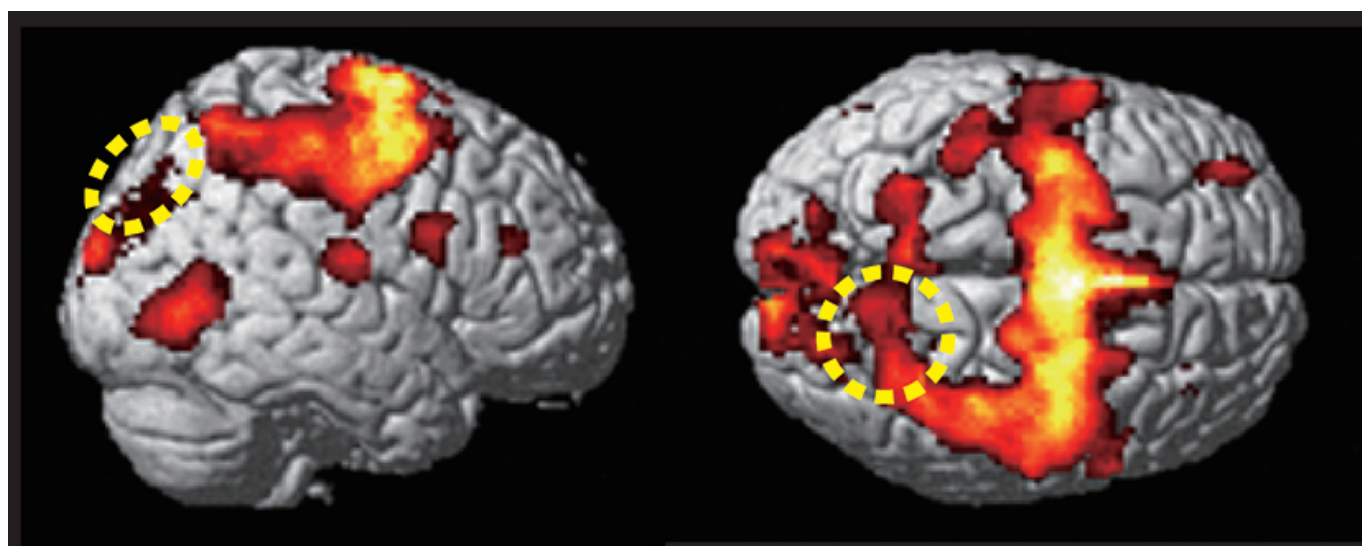


図7 脳の活性化状態の例

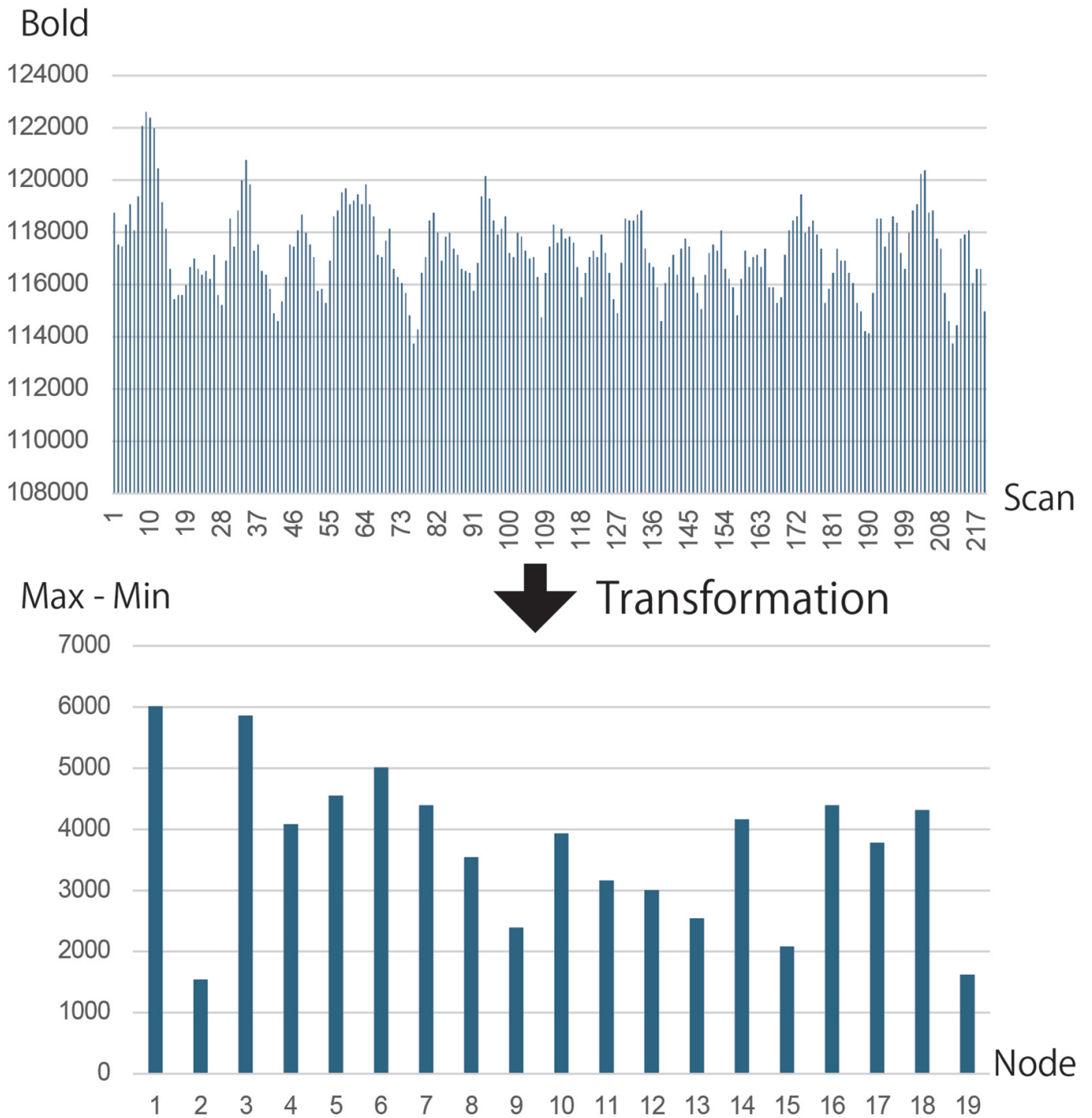
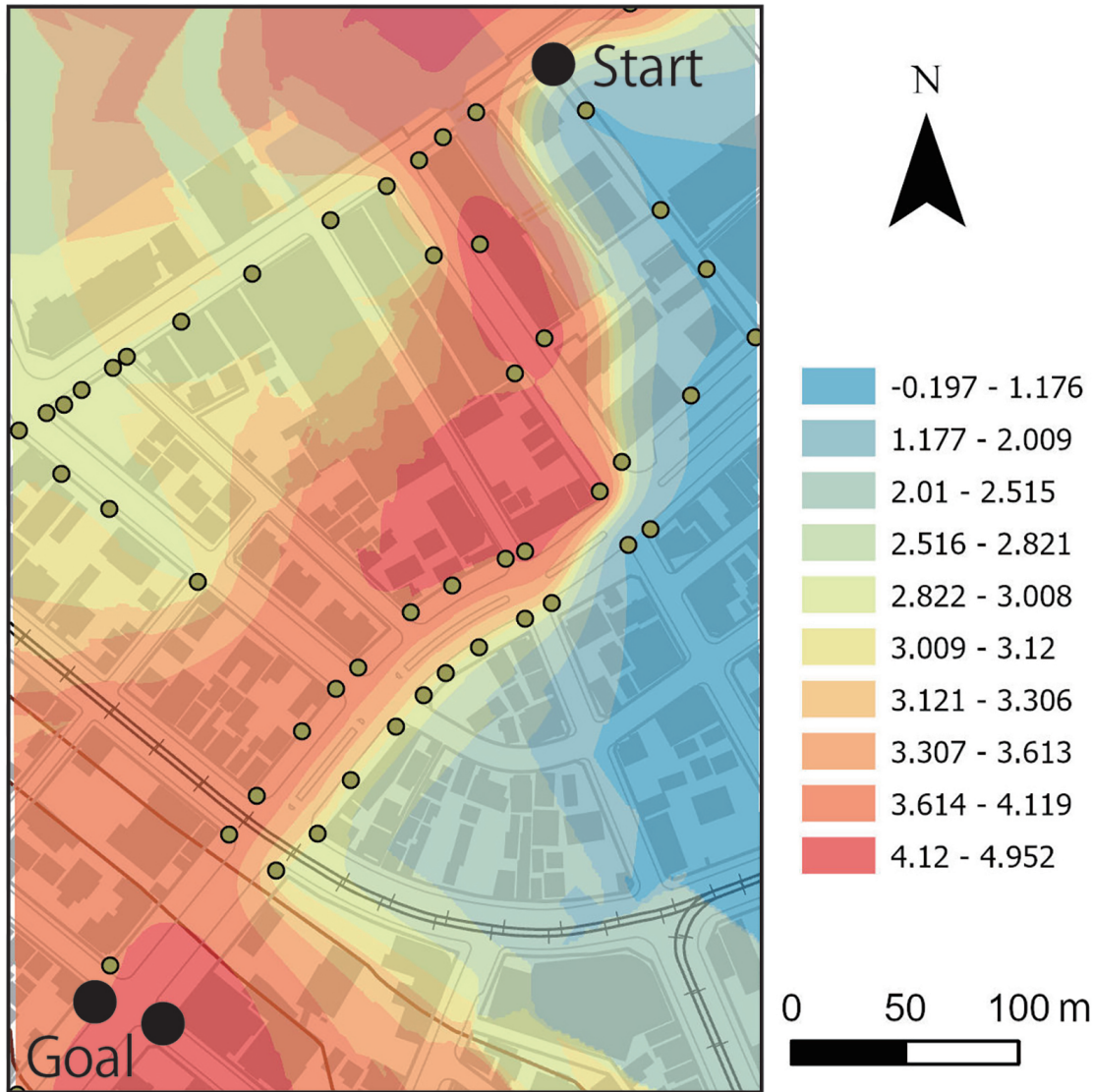


図8 各ノードにおけるBold信号データの変換

Successful Evacuation



Failed Evacuation

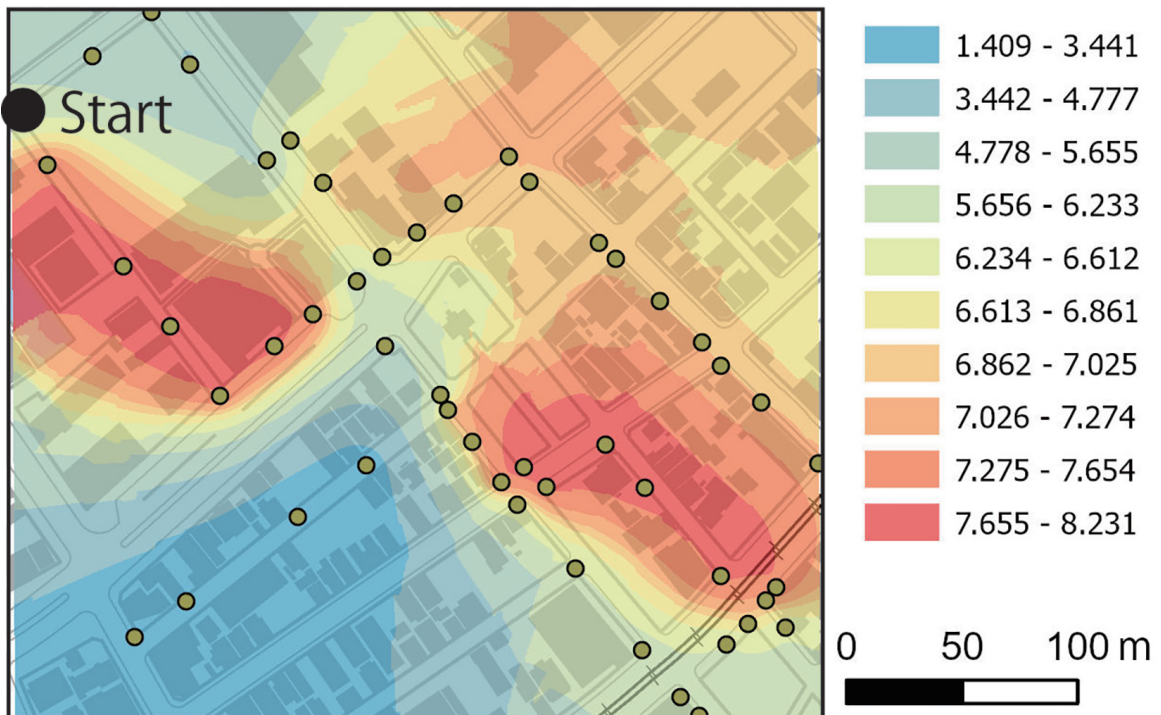


図9 避難成功者と失敗者の脳活性化状態