

論文の内容の要旨

論文題目 避難時の他者同調作用に着目した交通流の動的制御

氏 名 浦田淳司

避難計画の目標は、全員が被災しないことであり、これは住民と計画者の両者に共通する。特に、東日本大震災以降、この目標のためにはインフラ整備に加えて、住民避難の必要性が指摘されている。一方で、リスク認知、避難方法や他者支援といった問題が複雑に絡む中で、いかに早期避難を達成するかは明らかではない。

日本で多く生じる数時間以内の避難猶予時間の災害からの避難において、全員への避難指示の伝達は困難である。同時に、事前計画を地域の全員が知ることも現実的には難しい。そうした中で、こうした災害からの避難を考える上では、住民の避難行動選択を前提とした制御を導入する必要がある。そこで、本研究では、避難猶予時間が短い災害からの避難に焦点をあて、現実に即した避難行動を考慮した上で、避難最適を達成するための方策に関する知見を蓄積することを目的とする。そのための理論モデルの構築と、モデルを用いた評価を行う。

現実に即した避難行動のモデル化において、稀少事象であるために経験が少なく、非常時に限られた時間しかないために情報が十分でない災害時行動を表す行動原理を導入する。具体には、将来リスクを考慮した避難意思決定、他者との協調行動形成、他者避難の影響を受けた避難意思決定の3つである。災害避難は将来のリスクを回避するための行動選択であり、将来状態の想定が重要となる。同時に、経験不足などから個人での意思決定の不安があるため、他者の行動に同調した行動が生まれる。

最適制御の導入にあたっては、一部の空間利用者に対する交差点制御を検討する。一部のネットワーク上で、その部分のネットワークを利用する避難者を制御することは、全員への伝達に比べれば伝達コストは小さい。また、その空間以外での行動は避難者の

選択に委ねられる。また、制御にあたっては、他者同調による避難の一つである共同避難に着目する。東日本大震災においても、世帯内のピックアップ行動に代表されるように、多くの共同避難行動が行われた。ただし、こうした行動は災害時要援護者の避難の支援ができるといった正の効果がある一方で、避難以外の移動の発生による混雑や避難遅れといった負の側面もある。こうした正負の影響を踏まえ、共同避難の効果を最大化するための最適制御方策を検討する。

第1章では、本研究の背景および目的について述べる。

第2章では、本研究が取り扱う避難開始選択モデル、動的離散選択モデル、他者の影響を評価する相互作用モデルについて既往研究を整理する。また、災害時の最適制御に関しては、制御方策の整理、制御変数と目的関数の整理を行った上で、動的交通流の最適制御に関する研究について整理する。

第3章では、将来効用の完全合理性を緩和した動的避難開始選択モデルの構築とモデルを用いた実証分析を行う。避難行動は将来に被るリスクを回避するための行動であり、将来効用を考慮した意思決定が必要である。一方で、災害時は稀少事象であり、将来に関する情報を十分にもてないため、完全合理的な将来効用を持つことは不可能である。そこで完全合理性を緩和した将来効用をもつと仮定し、動的離散選択モデルを構築する。完全合理性の緩和にあたって、従来の期待価値関数の等式制約を領域制約として定式化する。緩和型の動的離散選択モデルの実証パラメータの推定は、MPEC型の解法を用いることで求解可能となる。また、MPECの求解には逐次二次計画法を適用する。対象とする問題は、パラメータ数が多く、非線形制約を持つ問題であるため、局所解に陥りやすい。その回避のためのヒューリスティクスを導入する。2011年陸前高田市東日本大震災避難行動データを用いた実証分析により、災害時行動は完全合理的な期待価値を持つ行動選択が行われていないことを示す。算出した期待価値の分布についての分析を行い、個人属性や時空間特性による期待価値のバラつきを明らかにする。

第4章では、他者同調ネットワークを考慮した避難開始選択の動的推移の実証分析を行う。分析のため、他者同調を考慮した避難開始選択モデルと他者同調ネットワーク形成モデルを構築する。構築した二つのモデルについて実証分析を行い、得られたパラメータを用いたシミュレーションにより、避難勧告や率先避難の影響を評価する。まず、他者同調を考慮した避難開始選択モデルとして、人的ネットワーク上でのローカルインタラクションモデルを適用する。他者同調の重みの構造化により、二者関係に応じた影響度合の違いを評価する。重みの構造化に着目した数値計算により、災害弱者の未避難によりネットワーク全体の避難が遅れる多数派同調の負の影響を再現性などを確認する。また、2004年新居浜市豪雨災害避難行動データを用いた実証分析により、世帯属性や同調する他者との属性差による避難開始選択への影響を明らかにする。擬似最尤推定法を用いた重みの推定により、実際に災害弱者世帯の未避難状態が健常者世帯の避難選択確率を低下させることを示す。次に、二者間と空間特性を考慮した他者同調ネットワ

ーク形成モデルを構築する。ここでは、他者との同調は、協調行動を形成した相手と生じると想定し、二者間の協調行動形成有無を評価する。また、二者間の協調行動形成有無は、集団内他者の行動に影響を受けると仮定し、集団全体におけるネットワーク形成モデルを導入する。二者間特性の考慮にあたっては、不平等回避型の効用関数を用いる。空間特性は、空間的に近い二者ペアは周辺他者による影響等に起因する誤差項の相関により表現する。このモデルを用いた実証分析により、二者間の協調行動形成は、距離や住宅密度等の空間的要因や二者間の属性差といった社会的要因が影響することを示す。最後に、ネットワーク形成モデルと避難開始選択モデルを合わせたシミュレーション評価により、ネットワークの動的推移の確率と世帯の避難確率の推移を合わせて評価する。これにより、同調ネットワーク形成による負の効果や率先避難の伝播特性を明らかにする。

第5章では、共同避難による避難促進の効果を最大化するための動的制御方策の評価を行う。共同避難により避難確率の低い人の避難促進という正の影響がある一方で、共同避難のための移動の長期化や混雑によりリスク増大や避難完了が遅れるという負の影響がある。負の影響を抑え、正の影響を最大限活かすために、適したタイミングで共同避難移動を停止する制御方策が必要となる。また、その制御方策は限られた時間での求解が必要であり、演繹的な解法を持つことが望ましい。まず、制御方策を検討するための目的関数の特徴についての整理する。その上で、避難完了時刻を最小化する動的流入制御方策と総被災リスクを最小化する共同避難制御方策について評価する。評価にあたり、1交差点の単純なネットワークにおける基本的特性を示す。最適制御理論を用いることで、避難完了時刻最小化のための合流部の動的制御の解の領域を得る。解の領域により、固定型制御に比べて動的制御による優位性を示す。共同避難交通の動的制御では、リスクが単調増加する等の仮定の下で、動的最適制御の解は共同避難の通行をあるタイミングで停止する問題となることを示す。最後に数値計算により、総被災リスク最小化と避難完了時刻最小化の二つの目的関数について、最適共同避難制御の特性を示す。ここで提案した二つの制御の型は、個人意思決定による行動が許容される範囲を示した上で、それを超える交通流に対する制御を行うという型である。これにより、全員制御が困難な状況の下での空間制御による最適避難の達成を図っている。

最後に第6章では、本論文で得られた知見を整理し、今後の展望と課題について述べる。