

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 谷 賢太郎
 学位 博士 (工学)
 学位記番号 新大院博 (工) 第 426 号
 学位授与の日付 平成 27 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 災害時の避難行動に関するマルチエージェントシミュレーション

論文審査委員 主査 教授・林 豊彦
 副査 教授・木竜 徹
 副査 教授・堀 潤一
 副査 教授・中野 敬介
 副査 教授・三村 宣治
 副査 准教授・前田 義信

博士論文の要旨

災害時における避難行動は、当事者が自ら積極的に行う意味において大変重要であるが、実際には、排除体積効果や心理的パニックによってスムーズに行うことが難しい。そこでマルチエージェントシミュレーションの手法が採用される。本研究では、正方形空間の中で、少数の出口に多数のエージェントが殺到する際のエージェント同士の譲り合いの効果を検証した。相手に進路を譲れば自分の脱出が遅れることになるが、我先に出口に殺到すると衝突して脱出できない。このような社会的ジレンマのもとで、各エージェントがどの程度、相手に進路を譲ればよいかを明らかにする必要がある。

本研究では、まず二者の進路の譲り合いを状態遷移グラフから定式化し、複数の状態の時間発展を記述する線形差分方程式を導出した。これら連立方程式を解析的に解くことにより、各エージェントの譲り合い確率が $\sqrt{2}-1 \approx 0.4$ のときに全エージェントの脱出時間（避難時間）が最小になることを確かめた。実際にヒトプレイヤーがエージェントと衝突を繰り返す「進路譲り合いゲーム」をプログラムし、複数のヒトプレイヤーで検証した結果、譲り合い頻度が平均して 0.3~0.4 くらいになることが示された。

続いて、マルチエージェントによるシミュレーションを実施したところ、エージェントの譲り合い確率がおよそ 0.4 のときに全エージェントの平均避難時間が有意に最小になることが示された。これらの結果に従えば、避難者は 5 回中 2 回程度、相手に進路を譲ればよく、残りの 3 回は我先に出口を目指してよいことになる。研究開始段階では、譲り合い確率が 0.5 のときに避難時間が最小になる仮説を立てたが、理論計算とシミュレーションの双方によりこの仮説は棄却された。そして、社会的ジレンマを少し解消可能な「譲り合い確率が 0.5 より少し小さい 0.4」という結果が採択された。人々は避難の際に、確率 1/2、あるいはそれ以上で他者に進路を譲る必要はなく、確率 2/5、あるいは 1/3 程度で他者に進路をゆずればよい、あるいは、その方が全体の避難時間が小さくなるという結果は、容易に予想できないことであった。そのような新規性が電子情報通信学会論文誌の査読委員に

認められることとなり、本研究は電子情報通信学会論文誌に掲載予定である（2015年3月号。現在、印刷中）。

また、出口を複数セットすることで避難時間が短縮される自明な結果も得たが、出口の配置場所によっては、短縮割合が統計的に変動することも示唆された。現在のところ、その理由は明らかではないが、エージェントの同時衝突人数が大きく影響を与えている可能性があることを分析した。

さらに出口付近に障害物を置くと、平均避難時間が有意に短くなることも示された。このことは既に他大学の研究成果で明らかになっていることであるが、マルチエージェントシミュレーションでも障害物効果が確認された。今後の課題は、障害物を空間内に外挿するのではなく、エージェントが互いに譲り合う行動を繰り返すことで、そこにあたかも障害物があるかのように（障害物をバーチャルに内挿する、あるいは創発するように）振舞って避難時間を短縮することが可能かどうかを検証することである。そのために必要となるパラメータを明らかにすることが今後の課題である。

審査結果の要旨

平成27年2月13日16時25分より約1時間、公開発表および質疑応答を行った。発表内容は、災害時避難行動の理論分析とマルチエージェントシミュレーションである。

質問およびコメントとして、

- (1) 相手に進路を譲るか、あるいは自分が進むかは、今回の場合は無記憶だがエージェントに記憶を導入するとどうなるのか。
- (2) 出口から出た避難者が出口のすぐ外で動かずに止まってしまうことがあるが、それは考慮しないのか。
- (3) 緊急時では損得計算などせず、経験則に基づいて行動するのではないのか。
- (4) シミュレーションだけでなく実験も行っていくことが必要。そうすることで建築物の構造に対する知見が得られるのではないのか。
- (5) 3方向からの衝突の場合、理論的に解くことはできるのか。
- (6) 階段など、モデルの構造を拡張していったらどうか。

などが主査、副査から多数出された。これらの質問またはコメントに対して、本人は適宜的確な答弁をなした。

この研究成果は、査読システムのある論文誌に掲載予定（2015年3月号。現在、印刷中）であり、また、査読のある国際会議にも発表しており、研究者として十分自立できる水準に達していると考えられる。

以上により、本論文は博士（工学）の論文として十分であると認定した。