

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14844

研究課題名（和文）量子コンピューティングによる他者相互作用型の行動モデルの発展

研究課題名（英文）Development of interaction-based behavioral model using quantum computing technique

研究代表者

浦田 淳司 (Urata, Junji)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号：70771286

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：相互作用モデル下のシミュレーション実行を、多体の同時選択問題として算出するための方法を構築した。シミュレーションの実行計算を行う際に、同時選択問題と見立てると、選択候補数が組み合わせ爆発するという課題があったが、量子コンピュータへの適用を可能とするQUBO型への式変換を行い、量子計算によって求解することを可能とした。量子コンピュータにおける数値計算では、意思決定者数が100の場合でもms単位での計算が可能であり、シミュレーション計算コストは限りなく縮減することに成功した。また、全列挙計算可能な規模で得た厳密解との比較を行い、提案アルゴリズムは厳密解を得ていることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

相互作用下の同時選択問題をごく短時間で解くアルゴリズムは、多くの予測シミュレーションに実装される可能性がある。これまで、同時選択問題を解けないため、エージェントの相互作用を逐次手番型で解くという工夫がほとんどのシミュレーションで実装されていたが、置き換えることが可能になる。逐次手番型であれば解くことはできても、エージェント数分の繰り返し計算が必要であり、計算コストの縮減には限界があり、エージェント群に働きかける政策最適化などの計算には限界があったが、本研究により解決可能となる。例えば、自動運転・手動運転の混在時の最適な自動運転車の制御などにも適用可能と考える。

研究成果の概要（英文）：We developed a method for computing simulation runs under the interaction model as a n-body simultaneous choice problem. The problem was that the number of candidate alternatives explodes in combination when the simulation execution is considered as a simultaneous choice problem, but we transformed the equation to a QUBO-type equation that can be applied to a quantum computer and made it possible to solve the problem by quantum computation. Numerical calculations on a quantum computer can be performed in ms even when the number of decision makers is 100, and the cost of simulation calculation has been successfully reduced to the limit. We also compared the exact solution obtained with the exact solution obtained on a scale that allows full enumeration calculations, and confirmed that the proposed algorithm obtained an exact solution.

研究分野：交通工学

キーワード：行動モデル 相互作用 量子コンピューティング

1. 研究開始当初の背景

シミュレーション技術や ICT の高性能化により、ミクロな行動の予測・マネジメントの可能性は高まっている。しかし、他者との相互作用はミクロな行動の意思決定に大きく影響するにも関わらず、行動予測にはほとんど導入されていない。これは多体問題における計算複雑性の課題のためである。他者の行動を既知とした影響評価であれば、一方向の相互作用のみを考慮すればよい。しかしながら、他者も相互作用により影響を受け、その他者からの影響を最反映するといった双方向の相互作用の評価は難しい。1 対 1 の相互作用がネットワーク上で伝播するため、エージェント群の選択確率は互いに相関するからである(図 1)。この相互作用の伝播を評価を要するため、全員の最尤な行動の決定には、(選択枝数)^エ(エージェント数)の組合せから選ぶ必要があり、NP-hard となる。このため、相互作用を考慮した予測シミュレーションやその予測の下での最適制御は困難となる。

相互作用は①→②→③→④と伝播し、エージェント A に再び影響する

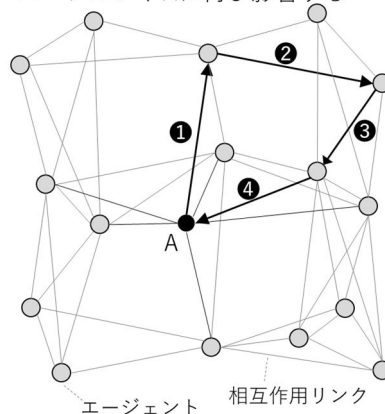


図1 相互作用のネットワーク上の伝播

例えば、相互作用の影響が大きい交通・行動現象として、避難行動と車両挙動がある。災害時の避難行動は、経験や情報の不足のため、他者の行動を参考にした行動がとられやすい。また、率先避難や共同避難は他者との相互作用を前提とした避難促進施策であり、施策評価には相互作用の考慮が必須である。多人数の人的ネットワークにおける相互作用評価が可能となれば、望ましい避難マネジメント施策検討に繋がる。車両のレーン・加減速選択は、周辺他車両等の状況を基に行われ、他車からの影響が常に存在する。既往の車両挙動シミュレーションは数多くあるが、自動運転挙動の最適化に向け、高効率・高性能の車両制御・予測が必要である。しかし、その主要技術である Motion Planning において、リアルタイム計算の問題のため、他車挙動を組み込んだモデルはほぼない。この問題を解決した相互作用評価ができれば、他車を考慮した挙動制御に繋がる。

2. 研究の目的

二者間の相互作用はさらに他者との相互作用へと広がっていき、その伝播も含めた評価が必要となる。しかし、この相互作用の伝播は多体問題であり、シミュレーション計算が不可能である。既存研究では、ルールベースや(自分からの影響の反映がない)一方向の相互作用といった簡易な形式でしか、評価されていない。対して、本研究では、量子計算によって相互作用の評価が可能となる計算アルゴリズムを開発することを目指す。

動的でミクロな現象では、均衡下における安定的な意思決定とは異なり、周辺他者からの行動選択への影響が強くなる。その相互作用を高精度かつ低計算負荷で捉えることができれば、相互作用のある現象を高速再現することができ、同時に多体問題を下位問題として再現した上で、上位問題で制御・マネジメントの検討が可能となる。また、量子計算の適用先は限られているが、多体問題という多くの現象で現れる問題解決に量子計算が貢献することを示せば、適用先の拡大につながる。

3. 研究の方法

量子コンピュータが組合せ最適化を解く際には、イジングモデルの形への定式化が必要となる。そこで、基とする相互作用を考慮した行動選択モデルをイジングモデル型に再定式化する。イジングモデル型とするためには、基モデルの近似変形が必要となる。近似変形については、情報統計力学における確率伝搬法を応用して行う。この方法では、各エージェントの選択確立を得ることができる。また、量子計算の適用のため、同時選択式のイジングモデル型への再定式化を行う。この定式化によって、ミクロな相互作用の影響下での意思決定主体群の最適行動選択結果を量子計算によって算出可能とする。次に、構築したモデルの解の精度および計算コストを従来モデル・近似モデル、量子モデルの間で比較する。比較により、量子計算の計算コスト面での有用性を示し、また解精度の確認を行う。特に、提案モデルは近似計算であり、解の精度が求められる。

4. 研究成果

研究方法で示したように、多体の同時選択確率式を、近似モデル(個別の選択確率の近似解を示す)と量子モデル(同時選択確率式の最大確率を示す選択結果ベクトルを得る)の二つの式変形を行った。ベースとする基モデルは、計量経済分野で伝統的なモデルである Local Interaction model (Brock and Durlauf (2001)) とし、式変形を行った。

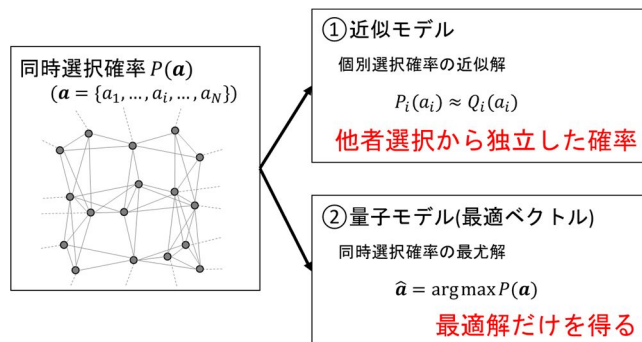


図2 再定式化したモデルの概要・特徴の整理

まず、基モデルと比較して、近似モデルの解の比較した結果を図3に示す。縦軸が近似モデルによって算出した確率、横軸が基モデルによって算出した確率であり、45度線上に点があるほど、近似精度がよいことを示す。5エージェントであれば十分な精度があるが、10エージェントとなると近似にばらつきがあることがわかった。

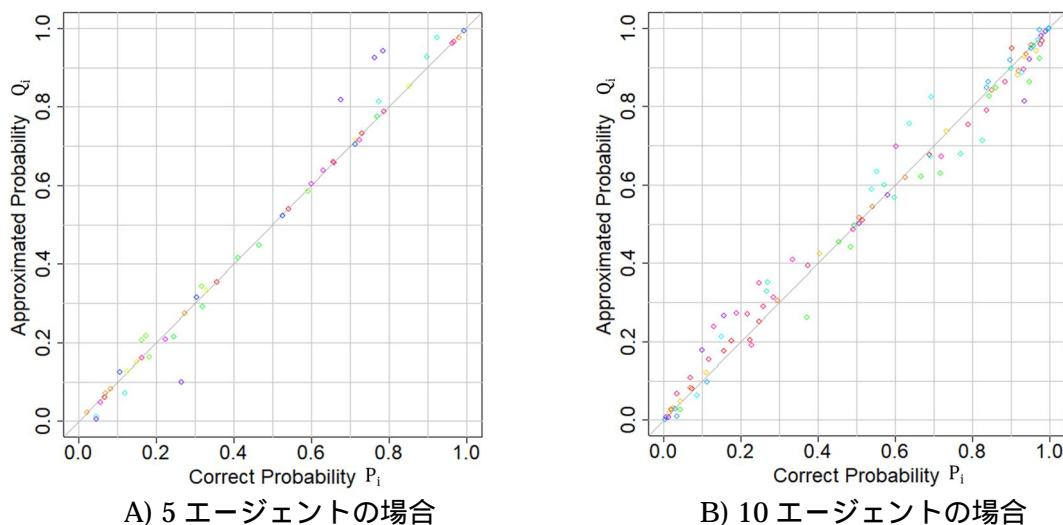


図3 近似モデルの解の精度

量子計算が可能なイジングモデル型に式変換を行い、D:WAVE Leapにより、量子計算を実行し、解の精度および計算時間の確認を行った。まず、解の精度については、全列挙ソルバー (python package: dimod) の厳密解と比較したところ、すべてのケースで、同時選択確率が最大となる選択結果の組み合わせを量子モデルで得られていることが分かった。ただし、全列挙型の計算方法は計算コストが高く、20ノードまでのケースでのみの確認である。次に、ノード数別の計算時間を表1に示す。100エージェントのケースであっても、15ms程度のごく短時間で計算できており、多体の同時選択問題において、量子計算を用いることで、同時選択確率を最大にする選択結果ベクトルをごく短時間で得られることを示すことができた。

表1 量子モデルのエージェント数別の計算時間

ノード数	時間(ms)	#sample
5	8.41	100
10	8.55	100
20	9.45	100
40	12.85	100
100	14.25	100

Brock, W. A., Durlauf, S. N.: Interactions-based models, Handbook of econometrics, Vol. 5, pp. 3297-3380, 2001.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Urata Junji, Hato Eiji	4. 巻 125
2. 論文標題 Dynamics of local interactions and evacuation behaviors in a social network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transportation Research Part C: Emerging Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.trc.2021.103056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 浦田淳司
2. 発表標題 相互作用を考慮した同時行動選択の量子計算 による決定方法の提案
3. 学会等名 第63回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junji Urata
2. 発表標題 Solving a Simultaneous Behavioral Decision Problem During Interactions Using Quantum Optimization
3. 学会等名 The 11th Triennial Symposium on Transportation Analysis (TRISTAN XI) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------