

パターンタスクを用いた他者意図推定を行う エージェントモデルの構築

○糸田孝太 (慶應義塾大学) 渡邊紀文 (武蔵野大学) 武藤佳恭 (慶應義塾大学)

Construction of Agent Model including Intention Estimation of Others using Pattern Task

*K. Itoda (Keio University), N. Watanabe (Musashino University)
and Y. Takefuji (Keio University)

Abstract— Understanding of human flexible cooperative behavior in groups is important for constructing intelligent systems cooperate with human. In group behavior, top-down action selection based on sharing the participants' intention and bottom-down intention adjustment based on estimated intention from each behavior are considered to be done. To construct agent models realizing such process, we have analyzed the timing of dynamical change of intention and strategies of adjusting each intention in the group using pattern task which abstracting the group behavior including cooperative selection of intention and action for achieving the particular goal. In this research, we construct an agent model based on the analysis results and verify the action selection process using model simulations.

Key Words:

Pattern Task, Cooperative Group Behavior, Intention Estimation of Others, Agent Model, Simulation

1 はじめに

集団における柔軟な協調行動の理解は、人と協調する知能システムや社会的エージェントの構築において重要である。我々が普段行っている集団における行動やスポーツなどの競技に見られる協調行動では、集団の意図の共有によるトップダウンと、それぞれの行動に基づき状況に応じて動的にお互いの意図を推定しそれを調整するというボトムアップの行動決定の過程が行われていると考えられる。

本研究はこれまでに、そのような他者間での知的なインタラクションにおける集団行動の行動決定過程を明らかにする事を目的とし、集団行動で注目する他者の選択や他者と自己の意図の調整の仕組みに着目した協調課題パターンタスクを用いた人の小集団を対象とした行動実験とその分析を行ってきた。本研究では、それらの分析を通じて得られた意図調整の変化と行動選択の戦略を通じてエージェントモデルの構築を行い、それぞれの条件をもとにしたエージェントシミュレーションを行う事で意思決定の過程を分析する。

2 研究背景

我々は社会における様々な場面で他者と競合し、協力するなどの複雑な相互作用を行っており、いくつかの研究がその過程の解明やモデル化を行なっている。他者との相互作用をモデル化した研究として、Bratmanの「意図の理論」に基づく信念 (B)、願望 (D)、意図 (I) のBDIモデル^{1, 2, 5)}、Baker, TenenbaumらによるBayesian Theory of Mind^{3, 4)}、さらに横山らによる対人インタラクションにおけるメタ戦略の研究がある^{6, 7)}。

BDIモデル^{1, 2, 5)}では、人は周囲の環境に関する自分の信念に基づき自分の目標を定め、その目標を達成する手段を選んでそれを実行する意図を形成し、その意図に沿って行動すると定めている。ここで他者が介入することで、我々は自分の信念と他者の意図に基づい

て新たな目標を設定し、その目標を達成するための別の手段を選択して、それを実行するための新たな意図を形成する。このように人の意図は環境により自分の信念に基づいて決定される側面と、自己の内部モデルに基づいて他者の意図を推定し、その両者のバランスをとって決定するという側面があると考えられる。また他者の意図を推定する人の能力は心の理論として重要であると考えられているが、Bayesian Theory of MindとしてBaker, Tenenbaumらが提唱しているモデルでは人の意図の推定がマルコフ決定過程を基礎とした確率モデルに似た振る舞いを示すことを述べている。更に他者が複数存在する集団の場合、我々はそれぞれの意図を共有し共通の行動を形成するための「共有概念」を持つと考えられる。例えば人の優れた協調行動として実現されているサッカーでは、選手それぞれが異なる環境情報を取得した際にも、共通の目標を設定し、それを達成するための手段を瞬時に設定してそれを実現するための意図を形成することができる。このような共有概念に関与する他者の選択、さらにそこから生成される行動をモデルとして示すことが、他者との相互作用の理解に重要であると考えられる。

また横山らは社会的ロボットの構築のため、対人インタラクションにおける能動的、受動的といったメタ戦略のモデルを提案している^{6, 7)}。相互の意図推定及び自身の意図の伝達は集団においても重要であり、さらに対一の相互の推定だけにとどまらず集団行動においてはお互いの推定に基づき複数人で同時に共有される意図を推定する戦略が存在すると考えられる。すなわち集団における自らの役割を動的に考慮しつつ、複数の他者から協調行動に関与する他者を選択し、意図の調整を行う過程が存在すると考えられる。そこで、本研究では集団行動を抽象化した協調課題としてパターンタスクを用いた被験者行動の分析とその結果をもとにしたエージェントシミュレーションを行う。

3 パターンタスク

本研究が分析に用いるパターンタスクでは同時に四人が参加をし、二次元グリッドワールドで非言語コミュニケーションのみで協調し共通の目標を達成する事を目的とする。それぞれの被験者はグリッドワールド上の円形で表現されるエージェントとして実験に参加し、各ステップにおけるお互いの行動をもとに他者の意図を推定し、目標となるパターンを形成する。目標とするパターンはエージェントの相対位置関係で表現する図形であり、4体のエージェントの内3体で構成される。そのため各被験者はパターン形成に関与するエージェントを選択して行動をする必要がある。課題は以下の五つのフェーズを各ステップごとに繰り返し、被験者が目標パターンを実現した時を一試行の完了とする。

Phase1 目標パターンを実現するために自分が注目する人(達)を選択。

Phase2 目標パターンを実現するために自分が選択する三点の座標を選択(なおここで選択する座標は目標パターンを実現するための次のステップでの座標ではなく、最終的に実現したい目標パターンの座標とする)。

Phase3 自分の行動を上下左右静止の五つの行動の中から選択。

Phase4 Phase2 で自分が注目していた人(達)が誰に着目していたかを推定しその人を選択する。なお注目していた人が複数人の場合は、それぞれの人に対して推定する。

Phase5 Phase2 で自分が注目していた人(達)が目標としたと考えられるパターンを推定し、その三点の座標を選択する。なお注目していた人が複数人の場合は、それぞれの人に対して推定する。

次の試行では同じ目標パターンを用いて初期位置を変えて実施する。複数の初期位置での試行を経たのちに、目標パターンを新しく生成し再び目標パターンに対してタスクを繰り返す。

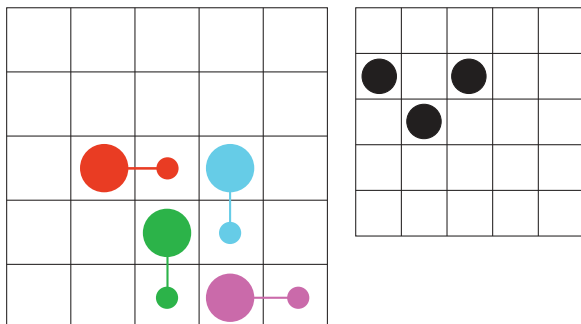


Fig. 1: パターンタスク (左) 被験者が移動するグリッドワールド。大きい円で各被験者のそれぞれの位置を示し、小さい円によって一ステップ前に被験者がどこにいたのかを表示している。(右) 目標となるパターン。表示されている三点の相対的な位置関係をもとに終了判定を行う。

課題を実行するにあたり、次の内容をルールとして設定する。

- 被験者は自分の座標など個人が特定できる情報を他の人に話してはいけない。
- 目標パターンは四人の被験者のうち三人で達成すればよい。
- 目標パターンは平衡移動した座標でも達成と認めるが、回転や反転した座標は認めない。
- Phase1 および 4 で注目する人は自分を含まなくて良い。なお目標パターンを形成するために注目する人が三人以上となった場合(例えば目標座標までの距離が全く同じ人がいた場合)は、自分が考えるよりパターン作成に関与する人三人を選択する。
- Phase2 および Phase5 の座標を選択する時に複数のパターンが考えられる場合は、最も実現性が高いパターンを一つ選び座標を入力する。
- Phase3 の行動選択では、移動は他の人と重なっても良いが、一マス分とし、斜め移動は不可とする。またフィールドはトラスではないためグリッドの上下左右は繋がってはいない。

4 行動分析

3章の協調課題を用いた行動実験より、被験者が想定するパターンと他者のパターンとの関係について、序盤で各被験者は新規パターンを想定しているが、全員の意図が一致をする時には一部の被験者が自身の目標パターンを変更し、最終的には全員一致した状態でそれぞれのパターンを継続して推定するという結果が得られた。具体的には被験者が選択するパターンと他者が選択したパターンに次の3つの関係がみられた。

選択 a 前ステップの自分が選択したパターンと同じパターンを選択する。

選択 b 前ステップで他者が選択したパターンと同じパターンを選択する。

選択 c a., b. とは異なる新規のパターンを選択する。

これらの3つの選択に基づいて、被験者のパターン選択過程を分析したところ、タスク初期では選択cの新規のパターンを選択し、その後は被験者のうち一人が他の被験者が選択しているパターンに合わせるという戦略の変化が見られた。このような戦略の変化は試行前半で共通合意に至る場合と、後半で一致する場合に分けられ、少ないステップ数で目的パターンを達成できている多くの場合では、序盤に他者に合わせる事が多く見られた。この結果より、全員が協調する事を促す本パターンタスクにおいては、お互いの意図をできるだけ分かりやすい形で他者に提示し、各状況において最も全体の到達ステップが短くなるような目標パターンを選択する。更に選択可能なパターンの中から多数決をとり、多くの被験者が取っているパターンを優先して選択するという行動戦略が考えられる。この結果から得られた集団での行動戦略を元に、エージェントモデルを構築する。

5 エージェントシミュレーション

4章の結果をもとにエージェントモデルの構築を行い、シミュレーションを行う。シミュレーションにおいては、課題における Phase1 から5の他者の意図する目標パターンの推定を含む意思決定過程を各ステップにおいて最短で到達できる目標パターンの集合と初期ステップ以降に他者の行動をもとにして推定される目標パターン集合との比較を行い、多数決によって目標を絞り込む過程を実装する。

各エージェントの意思決定は初期ステップにおいては最短となる目標パターン (Phase2), そしてそれを構成する三人のエージェントを決定する注目他者の集合 (Phase1), そしてそれぞれの目標地点に対応するエージェントの行動 (Phase3) の木構造から決定される。Phase4 と Phase5 に対応する注目する他者と他者の目標パターンは、他者エージェントの番号とその行動からこの木構造をもとに注目他者と目標パターンを逆推定する事で決定され、初期ステップ以降の行動決定はこれに基づいて推定された目標パターンと初期ステップと同様に決定した自身の目標パターン及び自身の前ステップにおける目標パターンを用いて決定される。

実験より、被験者の意思決定過程には各ステップにおける最短ステップの中でお互いの目標に早く到達するための多数決ベースの決定が取られていると考えられ、かつそれは Phase4, 5 において本人が注目する他者に関する他者の意図の推定に基づく。また最短ステップで到達できる目標パターンの集合の中からパターンを選択する際には、自身を含む選択を優先的に選択する事や、自身を含む含まないに関係なくランダムに選択を行っていきその後他者の目標パターンを推定し調整していくと考えられる。そこでシミュレーションの条件を以下に設定した:

ランダム選択 四体のエージェントから最短経路で到達するパターンに関与するエージェント三体をランダムに選択し、自身が入っていない場合はランダムな方向へ移動

自己優先選択 最短経路で到達するパターンの中から、自分が含まれているパターンを優先して選択

他者エージェントの推定 他者エージェントの1ステップ前の行動から目標とするパターンを推定し、それらの中から最も多く選択されているパターンを選択

エージェントシミュレーションでは初期位置と初期目標パターンを100回づつランダムに用意し、それぞれの目標パターン到達ステップ数を「ランダム選択」と「自己優先選択」行動選択と、「他者エージェントの推定」の有無の組み合わせ条件によって比較した。ステップ数を比較した結果を図2に示す。

結果として、「ランダム選択」を行う場合には (1-a) の「ランダム選択」+「他者意図の推定無し」より (1-b) の「ランダム選択」+「他者意図の推定有り」の方がステップ数が少なくなり、「自己優先選択」の場合には (1-c) の「自己優先選択」+「他者意図の推定無し」より (1-d) の「ランダム選択」+「他者意図の推定有り」の到達ステップ数が少なくなるという結果を得た。実際

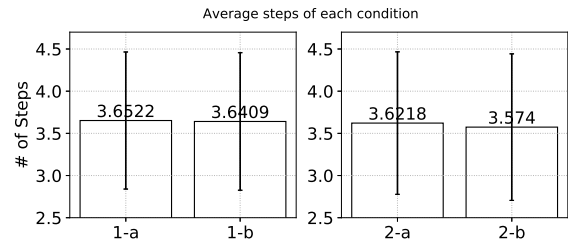


Fig. 2: 目標パターン等アツツのステップ数の比較, (1-a) ランダム選択+他者意図の推定無し (1-b) ランダム選択+他者意図の推定有り (1-c) 自己優先選択+他者意図の推定無し (1-d) 自己優先選択+他者意図の推定有り

の被験者行動としては、初期のステップにおいては各々位置から目標パターンへ到達するための最短ステップの可能性を計算しそれをもとに意思決定を行い、続くステップから他者の行動をもとに目標パターンを推定し調整する過程となる事から今回の結果は実際の被験者が取りうる行動に近い結果となっていると考えられる。一方で特に「他者意図の推定」を行う場合には該当エージェントとその行動から目標パターンを推定するため、そのエージェントが含まれている目標パターンを優先的に選択するため、「自己優先選択」を他者の目標選択として仮定する事になるため到達ステップ数は大幅に減ると考えられたが、結果としてそれぞれの条件における差異はそれほど大きくない結果となった。これは多数決が複数存在した場合に、その中からランダムに選択が行われる事が影響していると考えられる。

6 おわりに

本研究では協調的な集団行動における意思決定過程を明らかにするために、協調課題パターンタスクの行動実験に基づくエージェントシミュレーションを行なった。シミュレーションにおいては、実際課題における Phase1 から5の過程をエージェントの最短目標パターンの推定と他者の目標パターンの逆推定に基づく調整として実装し、条件として「ランダム選択」、「自己優先選択」、「他者エージェントの推定」の三つの戦略を持つエージェントモデルを作成し、目標到達ステップ数の分析を行なった。シミュレーション結果より、「自己優先」及び「他者エージェントの推定」の両戦略を持つエージェントが最も早く目標パターンに到達することができ、人間の行動実験と同様の結果が得られた。ただし本結果の各条件毎の差異は想定していた結果よりも小さいため、今後各ステップでの人間の行動選択との比較など詳細な分析が必要である。また特に被験者行動の中には、他者を明示的に誘導するような行動として特定の位置から想定される目標パターンの中から行動を通じて不確実性を現象させるような行動がありうる事から、エージェントモデルとしても他者視点における自己行動の不確実性の推定を含めたモデル化を行なっていく。

参考文献

- 1) マイケル・E・ブラットマン, 意図と行為—合理性, 計画, 実践的推論, 産業図書 (1994).
- 2) G. Weiss, Multiagent Systems, second edition, MIT press (2013).
- 3) C. L. Baker, R. Saxe, J. B. Tenenbaum, "Action un-

derstanding as inverse planning”, *Cognition*, pp.329-349(2009).

- 4) C. L. Baker, J. B. Tenenbaum, ”Modeling human plan recognition using Bayesian theory of mind”, in G. Sukthankar, C. Geib, H. Bui, D. Pynadath, R. P. Goldman, editors, ”Plan, Activity, and Intention Recognition”, *Theory and practice*(2014).
- 5) 東条敏, 言語・知識・信念の論理, オーム社 (2006).
- 6) 横山絢美, 大森隆司, ”協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析”, *電子情報通信学会論文誌*, vol. J92-A, No.11, pp.734-742(2009).
- 7) 横山絢美, 大森隆司, 阿部香澄, 長井隆行, ”他者の状態推定に基づく対人インタラクションロボットの行動戦略”, 2011 年度日本認知科学会第 28 回大会 (2011).