

パターンタスクを用いた他者意図推定を含む 意思決定過程のモデル分析

A Modeling Analysis of Decision Making Process with Others' Intention Inference in Pattern Task

糸田孝太^{*1} 渡邊紀文^{*2} 武藤佳恭^{*1}
Kota Itoda Norifumi Watanabe Yoshiyasu Takefuji

^{*1}慶應義塾大学 Keio University
^{*2}産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

Realizing flexible cooperative human group behavior needs top-down mutual intention sharing processes and bottom-up intention inferences from each behavior and changing his/her minds. In this study, for understanding such intelligent group interactions we propose a cooperative pattern task which focuses on the intention balancing process between self and others, and the selection of others whom to be noticed and mutual goals in dynamic situations. We analyzed subjects' behavior and selection process of each goal and others, and our results suggest that subjects' and group decision making processes are based on the optimality to reduce his/her misunderstanding of each intention.

1. はじめに

集団における柔軟な協調行動の理解は、人と協調するシステムやエージェントの構築において重要である。人の集団行動の実現のためには、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く動的な推定及び修正といったボトムアップの意思決定の制御が重要と考えられる。それら協調行動は集団競技や日常においても頻繁に見られるものの、そこで行われる集団での意図推定を含む意思決定過程は未だ明らかになっていない。本研究は、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意思決定過程を明らかにする事を目的とする。そこで集団行動で注目する他者の選択、他者と自己の意図の調整の仕組みに着目した、集団行動を二次元グリッドワールド上で行う協調課題パターンタスクを提案した。また実験から得られた結果をもとに課題内での被験者の意図の調整を定性的な戦略のモデルとして検討し、その意思決定過程を分析した。

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する。

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を行う。

3. パターンタスク

3.1 課題概要

本研究で提案す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。

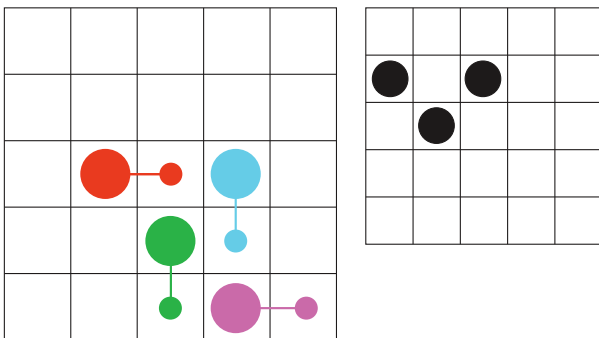


図 1: パターンタスク外観(左) 被験者が移動するグリッドワールド。大きい円で各被験者のそれぞれの位置を示し、小さい円によって一ステップ前に被験者がどこにいたのかを表示している。(右) 目標となるパターン。表示されている三点の相対的な位置関係をもとに終了判定を行う。

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。

表 1: 各ステップにおける目標パターン選択の戦略

(1) 全ステップ	a: 305, b: 121, c: 246	計 672
(2) 最初のステップ間	a: 59, b: 20, c: 169	計 248
(3) 最後のステップ間	a: 163, b: 74, c: 11	計 248
(4) 全員の目標一致前後	a: 73, b: 11, c: 68	計 152

- 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。

3.2 実験

本課題は Web アプリケーションとして実装し、各被験者は各自の PC のブラウザを使用して実験に参加する。また今回は 5x5 のグリッドワールドを用いて、五ステップで左右の端に移動することが可能であるため一試行での最大ステップ数を 5 とした。また 5 試行繰り返した後目標パターンを変更する。本課題を被験者 20 人に対し 1 から 3 種類の目標パターンで実施し、計 77 試行実施した。

4. 実験結果

4.1 被験者の選択するパターンと他者が選択したパターンとの関係性

被験者が選択するパターンと他者の選択するパターンとの関係を見るため、前後ステップでの Phase2 の選択パターンを以下の三項目に分けてそれぞれ戦略のモデルとする。

戦略 a 前ステップの自分が Phase2 で選択したパターンと同じパターンを選択する。

戦略 b 前ステップで他者が Phase2 で選択したパターンと同じパターンを選択する。

戦略 c a, b. とは異なる新規のパターンを選択する。

まず、全試行全ステップでは表 1(1) のように戦略 a が 305 回(全体の 45.39%)と最も多く、次に戦略 c が 246 回(36.61%)、戦略 b が 121 回(18.01%) という結果になった。戦略 a, b, c の変化を確認するため 2 以上のステップの試行に関して、最初のステップ間(ステップ 1 と 2)、最後のステップ間(最終ステップとその前)、全員の目標パターンが一致した前後に分けてそれぞれの回数を分析する。

まず、最初のステップ間では、表 1(2) に示すように全 248 回のうち c が 169 回(68.15%)と最も高くなり、続いて a が 59 回(23.79%)、b が 20 回(8.06%)となる。一方最後のステップ間では、表 1(3) のように順番が変わり全 248 回のうち a が 163 回(65.73%)と最も高くなり、続いて b が 74 回(29.84%)、c が 11 回(4.44%)と続く。また、全員の目標パターンが一致した前後のステップに着目すると、表 1(4) のように全 152 のうち a が 73 回(48.03%)と c が 68 回(44.74%)と同程度高くなり、b が 11 回(7.24%)と最も少なくなる。

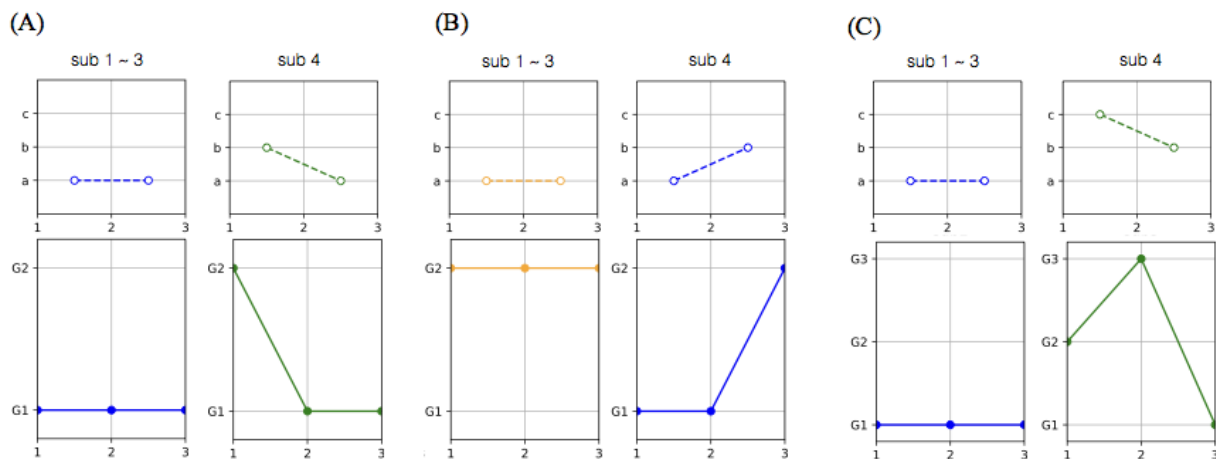


図 2: 各被験者の意図の変化の分類 (上: 被験者の戦略の時間変化, 下: 各被験者の phase2 で入力した目標パターン. 試行中で異なるパターンには G1, G2, ... と異なるインデックスを用いて示している)

なお全 77 試行中で、Phase2 で選択したパターンが被験者全員で一致した後にパターンが不一致となる試行は 1 試行のみであり、それ以外の場合ではその後のステップでも継続して Phase2 で選択するパターンが一致する事が分かった。

4.2 パターンを選択する戦略の時間変化に関する分析

また試行の中でどのように a, b, c の戦略を切り替えているのかという意思決定過程をより詳しく分析するため、2 ステップ以上の試行に限定し、戦略の切り替えに関する時間変化を分析する。今回行った全 77 試行の内、1 試行の中で全員が誤ったパターンの入力をしていない (入力した三座標の相対位置が目標として表示されているパターンと一致している)、三点以上の座標を入力していない、また目標パターンを達成している試行のみに絞った 12 試行を対象に戦略の変化を分類したところ、図 2 に示すような三つに分けられた。

図 2(A) は被験者四人の内一人が戦略を b から a に変更し、他の三人が同じ目標パターンを選択し続ける a をとっている。このような最初に自らの目標パターンを変更し残りの三人のパターンに合わせる事で課題を達成している例である。また図 2(B) は三人が同じ目標パターンを選択し続ける事は図 2(A) と同様であるが、被験者の一人が最終ステップで目標を切り替えて課題の達成に至る例である。最後に、図 2(C) は序盤で被験者の一人が新しい目標パターンを選択する c の戦略を取り、最終的に他者に合わせるといった図 2(B) と同じような傾向を持つ。またそれ以外の試行はこの (A)(B)(C) の戦略の切り替えの組み合わせによっておおよそ説明できる事がわかった。

5. 考察

5.1 被験者の選択するパターンと他者が選択したパターンとの関係性

4.1 では、2 ステップ以上の試行に関して、ステップ前後の Phase2 におけるパターンの選択における戦略を試行開始前後、終了前後、パターンの一致前後にわたって分析した。表 1(2) のように最初のステップ間 (第一ステップ, 第二ステップ) では戦略 c (前のステップの自分及び他者とは異なる新規のパターンを選択する) が最も高かったが、これは初期状態では次に他者がどのように動かわからないため、多くの場合で被験者が最初に決めたパターン通りにはいかず、新しくパターンを選択

し直す必要があるため、c が多くなったと考えられる。一方最後のステップでは戦略 a (自分の直前に選んだパターンと同じパターンを選択する) が最も多く、続いて戦略 b (他者のパターンを選択する) という結果であった。これは課題を達成する時点ではそれぞれが目標とするパターンがお互いに共有されてきており、自分の選択したパターンもしくは他者の設定したパターンにほぼ選択すべきパターンが絞られるためと考えられる。そのため、c のように新規パターンを想定する事はこの時点では多くないと考えられる。また、Phase2 での選択するパターンが全被験者で一致するステップ前後では、a, c が高く b が最も低くなる結果となった。これは、まず c についてはその状況における最適パターンとして新規パターンを選んだ時に、偶然全員が一致したような場合が当てはまると考えられる。一方、b が a, c より少ないのは、他の全員が一致した後で、残りの一人二人が自分の意図を変更するような場面に相当すると考えられる。仮に全被験者が a の場合はその前の時点で Phase2 の一致がなくてはならないため、一致する時点では必ず b または c の被験者が存在する事になる。別々の意図を持つ被験者が多ければ多いほど意図の食い違いが発生し課題の達成が困難になる。b が少ない事からほぼ全ての被験者が自分の意図を変更して同時に Phase2 の一致が起こる事は考えづらい。

この事を示唆する一つの例として、目標達成時の移動人数があげられる。もし最後の一人や二人に自身の目標パターンを変更する人を絞りこむような方策が存在するのであれば、目標パターンを達成する時点で一人や二人を除く多くの被験者はすでに目標を達成し、残りの被験者を待つような行動が見られると考えられる。目標パターンへの関与を否定するために離れる行動をとる被験者も含まれるため、最終の目標パターンに最短で近づく事のできる被験者の中に絞り分析を行ったところ、目標を達成した 73 試行中で同時に動いた人数が 1 人である場合が 36 試行、2 人である場合が 20 試行、3 人が 16 試行、4 人が 1 試行という結果となった。この結果から、残り一人二人に動くべき被験者を絞り込む事で意図の食い違いを避けるような全体的な方策が取られる事が示唆される。

5.2 課題における意図の調整

4.2 では試行中の戦略の切り替えが大きく三つに分類できるという結果を得た。まず一つ目は一人が他の被験者の目標に合

わせて意図を調整し、その後全体の合意が取れた状態で目標パターンを達成していると考えられる。これは序盤から他者の意図に合わせ、その後同じ意図を全員が継続して維持して目的の達成まで及ぶという場合に該当する。二つ目は他の三人が継続して同じ意図をもとに行動し、最後に一人が意図を調整する事で目的を実現するような場合に該当する。これは5.1で考察したように、同時に意図の調整をする人数を一人に絞り込む事で、お互いの意図の食い違いを防ぐような意図の共有が取られる事が考えられる。それにより最終的に一人が他の全員の意図に合わせる事で図2(B)のように課題を達成している。一方で、同時に意図を変更するような試行では最終的に二つの目標が集団の中で現れ全体での合意に至らず課題が達成できないような場合も見られた。三つ目は最初に新規パターンを想定し、その後最終ステップで他者に合わせて終了するような場合に該当する。最終的に他の三人の意図に合わせる事は図2(B)と同様の結果であると考えられる。すなわち、序盤において各々の状態から考えられる目標をお互いに推定し合い、必要に応じて新しいパターンを設定、その後状況に合わせて他者の目標に合わせる事や自らの目標を継続する事を選択していると考えられる。各状況から少ないステップで実現できる目標パターンは複数考えられるが、特に少ないステップ数で目標に到達できる試行は、図2(A)のような早い段階で他者に合わせる戦略を取る事で合意が取れるような場合であった。これは他の三人の意図の推定と調整の早さが早期の目標パターンの達成に関係していると考えられる。特に全員が協調する事を促す課題の性質上、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事が重要である。すなわち、意図の調整として基本的に他者の意図に合わせて最適解を探し、全体で共通の意図に到達するような意思決定過程が行われていると考えられる。

6. おわりに

人の協調行動における意思決定過程の分析のため、集団行動を抽象化したパターンタスクを用いて被験者の行動を分析した。結果として、まず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。そしてその過程を詳細に見るため選択するパターンを自分が選択したパターンを継続、他者のパターンを選択、新規パターンを選択の3つの戦略のモデルに基づいて分析をしたところ、四人の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った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たが、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。この事から他者に合わせるような早い段階での意図の調整で、共有した意図の獲得に成功する事によって課題の達成が早まり、その調整がうまくいかず意図の共有に失敗した場合には意図のすれ違いが生じる事によって課題の実達成遅れる事や達成できない事がわかった。

今後はさらに実験を行うことでデータを増やすこと及び、実験のPhase5での注目している他者の選択とその他者がどの被験者を選択していたかといった関係なども分析する。これにより、意図の共有が試行中どのように行われまた被験者の行動に

影響を与えているのかを検証していく。さらに各状況から到達できる最適パターンが複数ある場合など、最適行動のみでは説明できないような場合を考慮し、実験設定や課題の条件の見直しも同時に行なっていく。また今回得られた仮説に基づき集団における意思決定の計算モデルを構築し、集団行動をシミュレーションする事で仮説の検証を行っていく。

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 understanding 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).