

Equilibrium Selective Role Coordination による 協調的対話管理の検討

On Cooperative Dialogue Management Using Equilibrium Selective Role Coordination

船越孝太郎^{1*} 岩橋直人²

Kotaro FUNAKOSHI¹ Naoto IWAHASHI²

¹ 京都大学 Kyoto University ² 岡山県立大学 Okayama Prefectural University

Abstract: A preliminary consideration on cooperative dialogue management using Equilibrium Selective Role Coordination (ESRC) [Iwahashi, iCAST 2019] is reported. ESRC is a decentralized control framework for cooperative multi-agents based on a hierarchical equilibrium dynamics and a meta-mutual belief structure. In this report, we propose to unite the notion of “initiative” with the notion of “role”, a key of coordination in the ESRC framework, and to verify the approach by using simulated dialogues of a simplified desert survival problem.

1 はじめに

人は見かけ以上に複雑で高度な対話を行うことができるように見える。船越らが分析した Wizard-of-Oz 対話の事例では、人間のオペレータがごく限られた発話レパートリーしかもたないロボットを操作して、戦略的な対話を行っている [1]。この事例では、修復要求の無視、長時間の沈黙、(隣接対に照らして) 非標準的な回答という一見非協力的・非協調的な振る舞いを通じて、結果的に意思疎通を成立させ対話を成功裏に前進させている。

このような対話を行えるシステムはまだ実現されていない。その理由としては、十分に高度な意図認識やユーザの状態推定をシステムが行うことができないことに加え、戦略的かつ協調的な対話管理(対話行動の選択)を行う仕組みが十分でないことが挙げられる。本稿では、後者について、Iwahashi が提案する Equilibrium Selective Role Coordination (以下 ESRC) [2, 3] に注目し、ESRC の上で戦略的かつ協調的な対話管理を実現するための検討を行う。

ESRC は、エージェント間の協力を実現する分散制御 (Decentralized control) 手法である。協力を成立させる機能は、独自のメタ相互信念構造による認知モデルと、独自の階層的均衡動力学による数理モデルを基盤とする (図 1)。既発表論文 [2, 3] では、自動運転における狭路での対面通行など、他者との相互調整を題材にその有効性を示している。

ESRC の要となる概念に「役割 (role)」がある。上記の自動運転の場面では、どちらが譲るかが役割に対応

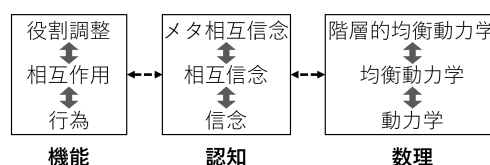


図 1: 協力の基盤となる機能階層と対応する認知と数理

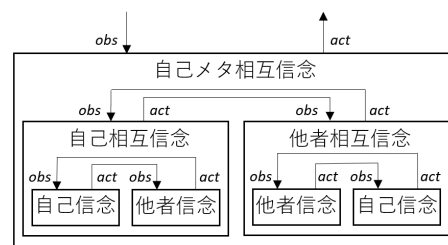


図 2: メタ相互信念

する。役割は、下位レベルの物理的運動とともに、上位レベルで制御される。本稿では、この「役割」を「主導権 (initiative)」と対応付けて、ESRC の対話制御への適用を検討する。まずは単純化したトイプロブレムでの理論的検証を目標とし、シミュレーションによる実効性・妥当性の評価を行う方法を議論する。

2 Equilibrium Selective Role Coordination (ESRC)

ESRC は、協力を成立させる機能の、独自のメタ相互信念構造による認知モデルと、独自の階層的均衡動力学による数理モデルを基盤とした、エージェント間

*連絡先: funakoshi@jp.honda-ri.com

表 1: 動的非協力ゲーム理論の位置付け ([6] より引用)

	One Player	Many Players
Static	Mathematical programming	(Static) noncooperative game theory
Dynamic	Optimal control theory	Dynamic (and/or differential) game theory

の協力を実現する分散制御 (Decentralized control) 手法である。ここでメタ相互信念は、協力において役割を調整する認知モジュールである (図 2)。

非協力ゲームはゲーム理論の主流の概念で、2人以上の意思決定において各個人が独立に個々の利益のみに基づいて行動を選択する場面を指す¹。非協力ゲームは必ずしも敵対・競争を扱うものではないが、一方で、個々人の利益だけを考慮して合理的判断をすることで、非協力ゲームの理論に従う限り、しばしば全体最適ではない戦略が個々人により選択されてしまうことも知られている (いわゆる「囚人のジレンマ」問題²)。このような場合、全体最適 (パレート最適) な戦略は互いが「協力」をすることで得られる。しかし協力という選択は一般に個人の合理性のみからは導かれない。

多くの場合、協力を困難する主要因は、役割の分担の仕方が複数存在することであると言える。従来のゲーム理論では、役割を表す均衡点の選択に関する十分な理論が与えられていない。ESRC は、運動など下位信号と、役割などの上位信号の両方を、動的な非協力ゲーム理論 [6] (表 1 参照) を拡張した階層的均衡動力学で同時に制御する。具体的実装として、自己と他者のコスト関数 (最適制御により最小化したい目的関数) の重み付き和 (1) を全体の目的関数とすることで、個々人が協調的な制御を行えるようにする。

$$\alpha_t^s \cdot J_{t,t+M_p-1}^s(x_t^s, x_t^o) + (1 - \alpha_t^s) \cdot J_{t,t+M_p-1}^o(x_t^s, x_t^o) \quad (1)$$

式 (1) 中の重み α が「役割」と呼ばれるもので、端的に言えば、自己と他者、どちらのコストの削減をより重視するかを表す。優先度とも言えるだろう。ESRC では、自己が考える役割の値と他者が想定していると思う役割の値を逐次推定・調整することで、協調的な制御を実現している。また ESRC はこの「役割」をメタ相互信念の一部として扱う。

例えば、歩行者と自転車が対面しそのままではぶつ

¹非協力ゲーム・協力ゲーム [4, 5] の中に含まれるゲームの種類を区別する名称と定義は紛らわしい。(n 人) 協力ゲームは、3人以上の意思決定において「誰と誰が組むか」という提携 (coalition) の概念を導入したゲームである。そうでないゲームは非協力ゲームになる。2 人協力ゲームは、脅しと要求という 2 段階からなる交渉場面を対象とする非協力ゲームである。2 人が同じ行動を取ることにメリットがある (2 人が同じ利得表を持つ) 状況は純粋協調ゲーム (pure-collaboration game) や調整ゲーム (coordination game) と呼ばれ、これらも非協力ゲームの一種となる。

²無限繰り返しゲームに設定を変え、懲罰の仕組みを導入すれば、(結果としての) 協力が生じることは知られている [4]。

かってしまう状況が発生したとき、慣習により、歩行者が自己の α を高く、自転車が自己の α を低く設定した状態で行動を開始することができれば、歩行者はそのまま直進し、自転車が避けるという社会的に自然な協調的対面通行ができることになる。一方で、歩行者対歩行者で相互に同じような重みが想定された場合は、一定の割合で衝突コースに入ることになるが³、相手の振る舞いから「相互に同じような重み」であることを推定できる。このとき、そのままの重み設定で、衝突しないコースを取るよう制御することもできるが、自己の重みを変更することで、より協調的で安全な制御が実現できる。

現在、対話システム研究において一般的に用いられる最適制御の考えに基づく手法は、強化学習により静的な対話方策を事前に獲得し、実行時は各時点の状態に対し反応的に振る舞うものである ([7, 8] など)。これに対し ESRC では、相互信念に基づき、一定の幅の未来までの対話戦略を都度予測的に構成し、各時点での行動を選択する。その意味で探索的・熟考的な振る舞いをする。

3 ESRC に基づく対話管理の定式化

3.1 「役割」としての「主導権」

主導権 [9, 7] は、対話をすすめる上でどちらが働きかけを行うか (行えるか) を表す対話システムの設計概念で、システム主導、ユーザ主導、混合主導の 3 つが区別される。ただし、システム主導・混合主導・ユーザ主導の区別は、個々のシステムをハードに分類するものではなく、1 つのシステムであっても、ある点ではシステム主導であり、またある点ではユーザ主導である、といったことは起こりうる。また、混合主導にはレベルがあり、主導権が固定されず対話者間で調整されるものが、究極的な混合主導であるとされる [10]。

ある話者 A が完全に主導権を取るということは、その対話者 B の発言が話者 A のその場の求めに直接関わらない場合が無視されることを意味する。例えば完全にシステム主導な対話を行うシステムが「年齢と性別を伺います。まず年齢を教えてください。」というような発言をして、ユーザが「35 歳、男です」と答えた場合、「男です」というユーザが付加した (つまりユーザが授受を主導した) 情報は無視され、改めてシステムから「次に性別を教えてください。」と尋ねられることになる。このようなシステムは、ESRC における重み α^s が 1 である、つまり自己のコスト低減だけを考慮する、完全に自己の都合だけで動くシステムと対応付けることができそうに思える。また冒頭で取り上げた「修復要求の無視」のような事象も、修復要求に応じた場合

³お互いに道を譲ろうとして逆に相手の進路を塞いでしまうことを繰り返すことは現実によくある。

のリスク評価（単に言い直しても問題解決に効果がない）に基づき、一時的に自己の優先度を高めることによって半ば強引に主導権を取り全体としての最適解を求めた、と解釈することができる。このことから、以降では仮説的に「主導権」と「役割」の概念を対応付けた上で、ESRCによる対話管理を検討する。

3.2 Desert Survival Problem

ESRCによる対話管理を検討するにあたり、なにかしら取り掛かりとなる対話の状況を定める必要がある。しかしながら、冒頭の Wizard-of-Oz 対話などは、システムの行動空間は狭いが、ユーザの行動空間は広く、状態空間の定義も自明ではない。システムとユーザが非対称である点も、実装には不都合である。そこでまずはもっと簡略化されており、かつ参加者間で対称的な対話を素材として検討を行いたい。そのような対話として、本稿では Desert Survival Problem [11, 12] を取り上げる。

Desert Survival Problem（以下 DSP）は、様々な社会的インタラクション研究に用いらてきた。砂漠に行く際の持ち物（アイテム。例えば、水、ガソリンなど）を決めるという設定で、対話の参加者は、リスト中のアイテムの重要性について意見を述べ合いながら、アイテムの優先順位について合意形成をする課題である。

お互いが利得を最大化するように交渉するという点で、ゲーム理論との馴染みがよい。また、自分が価値をおくものと他者が価値をおくものとが違い、その違いが事前に共有されていないということから、相互信念の対話中の動的な調整・適応が必要となる点で、ESRCが扱おうとする問題の核心に含まれる課題と考えた。

3.3 簡易版 Desert Survival Problem

DSPは相当に限定された対話であるものの、それでも意見の表明やその解釈、合意の認識などを、忠実に再現することは容易ではない。

そこで以下のように変更を加え、更に単純化した簡易版 Desert Survival Problem（簡易 DSP）を用いて検討をすすめる。

課題設定の単純化 「N個のアイテムの順序付け」ではなく「N個のアイテムの中から持っていくものをM個決める」というタスクにする。順序付けの場合は達成された順序と期待した順序の違いから利得を計算する方法を定義する必要があるが、変更後は、「希望したK個のアイテムの中でいくつが最終的なリストに含まれるか」に基づく、より解釈しやすい利得を定義できる。

行動空間の単純化 各人は各時点において、以下の3種類の行動だけをとれるものとする。

Push-item i: アイテム i を推挙する。相手の推挙後に同じものを推挙する場合は同意行為とみなせる。

Pull-item i: アイテム i を拒否する。自分の推挙したものを拒否する行為は推挙の取り下げとみなせる。

Silence: 沈黙（何も行わない）

決定（合意）の単純化 どの時点で持っていくアイテムについての決定がなされたことになるのかを単純化するために、各アイテムにつき、

「Push-item の回数 - Pull-item の回数」
が、 T 回を超えた時点

で、持ち物リストに含められることにする。順序付け問題から選択問題への変更と、選択決定となる基準の明確化により、課題終了が確定的になる。

3.4 定式化

ESRCを用いた制御のためには、行動空間 U 、状態空間 X および行動に基づいて状態空間を更新するシステム関数 f 、状態空間に基づいて行動系列を評価するためのコスト関数 J を定める必要がある。行動空間は前述のように $U = \{\text{Push-item}, \text{Pull-item}, \text{Silence}\}$ である。ここでは残りの状態空間とコスト関数を検討するが、どのようなコストを考えるかで状態空間に記述する情報が決まってくるため、まずコスト関数の検討から入る。

3.4.1 コスト関数

3.1 節の予備的な考察では、対話システムが役割重み $\alpha = 1$ をとることを、完全なシステム主導と対応付けて考えた。しかし、このような対応関係が生じるかどうかは、結局のところコスト関数の設計に依存する。ユーザの質問を無視して話すことがシステムのコスト低下になるなら、ユーザの発話を無視して話すことになる。一方で、発話すること自体がコストと考えるならば（課題指向対話における一般的な対話方策強化学習の報酬設定）、コスト低減のためにシステムは黙り続ける動機を持つことになる⁴。

ESRCに基づく対話が、人間の行うような自然な対話に近づくためには、コスト関数が以下のような制約成分を包含する必要があると考える。

⁴一般的な対話システムの設計では「黙る」という行為が選択肢に無いため、発話することにコスト（負の報酬）を設定しても必ず何かしら発話することになる。[7]はシステムの沈黙も考慮しており、課題指向対話でもないため毎回の発話に負の報酬を与えることはしていない。

対話コスト 対話を円滑に進める効用を持つ。黙り続けられないこと、同時に発話しないこと、を担保する。ここで、各発話長はランダムなばらつきを持つものとする。そして、自分自身の発話終了時刻は確定的に知ることができるが、相手の発話終了時刻は確率的な予測としてしかわからないものとする。これによって、聞き手側が発話衝突リスクを下げるためには一定の交替潜時を設ける必要が生じ、それにより話し手側はターンを譲らずに続けて話し続ける戦略も取ることができると予想される。また伝達情報量も発話の長さの関数として組み入れることができるだろう。

課題コスト 課題（アイテムリストの完成）を進捗させる効用を持つ。Push-item・Pull-itemの応酬により押し問答状態となることを回避できると予想される。

満足度コスト 自分の望む結果を得る効用を持つ。現在決まっているリストと自分の理想のリストとの一致率で評価できる。

社会性コスト 一般に対人関係では相手のことを尊重することが求められ、自我を通すだけでは社会性が低いと評価される。そのような「社会性を高める」ための制約が必要であり、またそのような制約によって、より戦略的な対話が生まれると予想する。例えば、カメレオン効果や承認欲求と言った人間の性質から、一般に同意は相手の心象を改善させると考えられる。実際にこのような考え方に基づいた協力的行動の説明が行動ゲーム理論の分野でも試みられている [13, 14]。DSPの場面では、このような現象は、相手がPush-itemしたものを直後にPull-itemすることで社会的コストが低下するように実装することでモデル化できるだろう。一方で、否定は相手の心象を悪化させると考えられるが、これは相手がPush-itemしたものを直後にPull-itemする行為にコストを与えることでモデル化できるだろう。

また、相手が譲ったと思うと、相手の心象が良くなり、ひいては相手に譲るといふ振る舞いも、人間には見られる。相手が譲歩したと思うかどうかは、相手の価値観に対する信念に基づいて主観的に判断されることになる⁵。従って、相手が自分の価値観をどう思っているかを考えることにより、相手の譲歩を引き出せる可能性が高まることを期待して、譲歩に見える行動を戦略的に選択することも可能になると思われる。

3.4.2 状態空間

3.4.1節で述べたコスト関数を設計・実装するためには、以下のような状態空間が必要になると考えられる。

⁵現実には譲ったのかどうかを直接対話で確認することもありうるが、ここではそのような可能性までは考慮しない。

状態は各話者毎にベクトルとして表現する。

- Silenceを連続して取り続けている時間 (tick数)。これが0であれば、現在Push-itemまたはPull-itemで発話中であることを示す。
- 最後の行動。行動種類別のone-hotベクトル。初期状態および発話中の場合は全て0とする。
- 最後にPush-itemまたはPull-itemしたアイテム。アイテムごとのone-hotベクトル。初期状態では全て0。
- アイテム毎のPush-itemとPull-itemの回数。相手側の回数と足し合わせることで、アイテムリストの決定状態が定まる。

以上が自己と他者の両方から観測可能な状態で、以下は自己のみが参照できる内部状態である。

- 相手に対する心象度。
- アイテム毎の自分の選好度 (固定の重み)。
- アイテム毎の相手の選好度 (推定により調整)。

3.4.3 システム関数

システム関数は、基本的にはそれぞれが選択した行為に基づいて状態を更新するだけであるが、相手に対する心象度の更新や相手の選好度の推定方法をどのように実装するかは自明ではない。これらについては社会性コスト成分と併せ、行動学や心理学の文献から妥当なモデルを検討し、実装する必要がある。

4 評価方法の検討

3節で述べたモデルを実装して動作させることができたとして、どのようにモデルの妥当性や手法の有効性を評価するかが重要な課題となる。ここでは、考えられるいくつかの評価方法について述べる。

4.1 シミュレーションによる検証

コスト関数の要素の切除テスト 2者による対話をシミュレーションする際に、コスト関数の各要素 (対話コスト・課題コスト・満足度コスト・社会性コストおよび各コストの部分要素) をモデルから除くことで、対話がどのように変化するかを確認することができる。これにより、各要素の必要性・有効性を確認できる。

α の推定・選択の切除テスト α をランダムに設定した状態から対話シミュレーションを始め、その後の推定・再選択の仕組みの有無により対話がどのように変化するかを観察することで、ESRCが提示する理論的枠組みの対話への有効性を確認できる。

人間同士の対話との違いの確認 Web インターフェースを通じて、不特定多数の人間同士で簡易 DSP 対話を行わせデータを収集する。そのデータと比較して、シミュレーションがどれくらい近い振る舞いを生成するかを確認する。

4.2 対人対話による評定

前述の Web インターフェースを通じて、人とシステムに簡易 DSP 対話を行わせ、システムの印象評定を行わせる。これにより、異なる社会性コストモデル、異なるパラメータ設定の良し悪しを評価することができる。

5 主導権の多層化

前節までの議論では、主導権を単一の変数で表現される概念として考えてきたが、課題指向対話システムにおいて、対話主導権と課題主導権を区別して考えられることが指摘されている [9]。

また、一般的に対話システムという文脈では、意思決定の主体はユーザでありシステムはその補佐をする役割である、ということが暗黙のうちに想定されてしまっている。しかし、人間同士の対話では、意思決定の主体性は必ずしも対話者の片方だけにあるのではない。また対話システムであっても、介護支援など説得が必要な場面では、意思決定の主体性をシステム側に置くことが望ましい（病気の治療のためシステムがユーザに薬を飲むように説得する場面など）。この意思決定の主体性も、主導権の一種（意思決定主導権と呼ぶことにする）と考えることができる。

これらの主導権を別々に調整できることは、様々な対話場面に対応するために重要となるであろう。例えば大学教授と学部・修士・博士と異なる研究能力を持つ学生との研究に関する会話を考えたとき、全く分野の勝手がわからない学部生が相手ならば、対話・課題・意思決定の全ての主導権を教授が取るのが普通であろう。修士過程に進み研究報告の仕方などがわかってくれば、基本的な対話の主導権は学生に譲り、一方で課題（議論するトピックの選択）と意思決定の主導権は教授が取るのが自然であろう。さらに博士過程に進み研究課題を自律的に考えられる段階になれば、対話と課題の主導権は学生がとり、意思決定主導権だけを教授が握る（あるいは意思決定主導権も学生に渡す）というのが自然となる。

それぞれの主導権に異なる α パラメータを用意し、各 α パラメータが関与するコスト成分を振り分けることで、このような対話を実現できるだろう。基本的には、対話コストを対話主導権に、課題コストを課題主導権に、満足度コストを意思決定主導権に対応させることで、3つの主導権の違いに対応できると予想する

が、社会性コストをどのように扱うかについてはさらなる検討を要する。

6 関連研究

言語および対話をゲーム理論の観点から分析する研究の多くは、意味の調整ゲームとして問題を捉えている [15, 16, 17]。

一方でゲーム理論を基礎にした対話システム・エージェントに関する技術研究は、もう少し広がりを持つ。Cadilhac ら [18] は、対話行動そのものをゲーム理論で扱うのではなく、対話の結果として行われる取引を、ゲーム理論を考慮した手法で予測している。CP-nets という枠組みを用いて、参加者のアイテムに対する選好モデルを対話に沿って構築する方法は、DSP にも適用できるかもしれない。

Barlier ら [19] は、(PO)MDP による対話モデリングの問題点（静的で協力的な環境（ユーザ）を仮定すること）を指摘し、代わりに確率的ゲーム (stochastic game) を対話のモデルとして用いることを提案している。それにより、ユーザからシステムへの適応（つまり動的な環境）やユーザとシステムの間に関心・動機の違いがある状況（必ずしも協力的ではない）を取り扱えるとしている。本稿の検討では参加者のモデルがコスト関数とシステム関数の形で与えられており、それをもとに最適な戦略を都度求めるが、彼らの手法では強化学習によって即応的な戦略を学習する。あらゆる場面でモデルが事前に与えられると仮定すること、また確定的に行動できると仮定することは現実的ではないので、ESRC に基づくアプローチもいずれ POMDP のように不確実性を取り扱い、学習あるいはシステム同定する仕組みを取り込んで発展させる必要がある。

Janzen ら [20] は、特に Barlier らが指摘する問題点の後者に関して、心理的ゲーム (psychological game) [21, 22, 14] に基づく発話生成（内容計画）手法を提案している。心理的ゲームは、怒りや驚きといった信念に基づく感情を効用の一部として考慮するゲーム理論のモデルである。ESRC も心理的ゲームとの関係性・位置付けを明らかにする必要がある。

Kleimane-Winer ら [23] は、式 (1) と同様に自己と他者の効用関数の重み付け和を考慮しながら、集団内の協力 (cooperation) ・競争 (competition) の調整 (coordination) とそのもとの協調的なプランニングの枠組みを提案している。しかし彼らの枠組みでは、重みの調整の重要性については一切言及されていない。

自己と他者の利得を重み付けによって統合することを「協力」として定義するアプローチは行動ゲーム理論でも提案されている [24]。Colman [14] によれば、このアプローチは心理的ゲーム理論における team reasoning と似ているが、team reasoning と等価ではなく説明能

力に劣る。この点について ESRC にどのような理論上・実際上の影響があるのか今後検討する必要がある。

7 おわりに

本研究は協調的知能 [25] の実現に向けた研究プログラムの一部をなすものである。本研究の発端となった前回の発表 [1] では、主に発話のタイミングに焦点を当て、状況とユーザへのシステムのエンゲージメントの表出を改善することが、協調的対話システムの実現にとって重要であることを主張した。

一方で、冒頭で取り上げた事例のような高度な対話を実現することについては、現時点での技術水準では容易ではないとしていた。本発表で検討した Equilibrium Selective Role Coordination は、この研究課題に対して、解決の道筋をつけるものになると期待している。もちろん、本発表で検討したトイプロブレム (簡易 DSP) でシミュレーション研究を進めて良い結果が得られたとしても、様々な対話場面での多様で広大な行動空間や状態空間・システム関数の同定にどのように対応するかという問題が残っており、すぐに実用化できるわけではないが、数理理論と認知科学・行動科学に裏付けられた対話システム研究の新たな流れを作ることができるかもしれない。

本稿で検討したアプローチの一つの大きな特徴は、通常、発話の単位で行われる対話制御を、離散化してはいるものの、運動制御や音声合成のように実時間軸上で行う点にある。人間は発声だけに限らず、様々な非言語的要素をリアルタイムに調整しながら、対話を行っている。本アプローチを発展させることで、非言語情報の表出から、相槌・話者交替、発話内容の選択までを一つの制御理論で包括的に扱える可能性もある。システム開発という実際的な観点からはそのようなアプローチが最適解である保証はないが、それでも対話の理論研究としては非常に魅力的である。

謝辞

本研究の一部は (株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン (HRI-JP) の資金提供により設置された京都大学・HRI-JP 協調的知能共同研究講座においてなされた。本研究は、JST, CREST, JPMJCR15E3, JSPS 科研費 18K11359、岡山県立大学重点領域研究助成の支援を受けた。本研究の評価方法の議論に協力いただいた中野幹夫氏に感謝する。

参考文献

- [1] 船越孝太郎, 小室允人. Wizard-of-oz 対話におけるオペレータの操作戦術の分析に基づく協調的対話システムデザインの検討. 人工知能学会 第 83 回言語・音声理解と対話処理研究会, 第 B803 巻, pp. 86–93, 2019.
- [2] Naoto Iwahashi. Intelligence in loop. In JSAI 86th SIG-SLUD, Vol. B901, pp. 5–6, 2019.
- [3] Naoto Iwahashi. Equilibrium selective role coordination for autonomous driving. In Proc. 2019 IEEE 10th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), 2019.
- [4] 中山幹夫. はじめてのゲーム理論. 有斐閣ブックス, 1997.
- [5] 渡辺隆裕. ゼミナール ゲーム理論入門. 日本経済新聞出版社, 2008.
- [6] Tamer Basar and Geert Jan Olsder. Dynamic Noncooperative Game Theory. Academic Press, 1982.
- [7] 高橋ともみ, 田中一晶, 岡夏樹. プレイヤ適応型混合主導による NPC との対話意欲の維持. 人工知能学会論文誌, Vol. 35, No. 1, pp. DSI-A_1–10, 2020.
- [8] 勝見久史, 吉野幸一郎, 平岡拓也, 秋元康佑, 山本風人, 本浦庄太, 定政邦彦, 中村哲. 論証対話システムにおける情報探索対話戦略の最適化. 人工知能学会論文誌, Vol. 35, No. 1, pp. DSI-D_1–12, 2020.
- [9] 中野幹生, 駒谷和範, 船越孝太郎, 中野有紀子. 対話システム. コロナ社, 2015.
- [10] James F. Allen, Curry I. Guinn, and Eric Horvitz. Mixed-initiative interaction. IEEE Intelligent Systems, Vol. 14, No. 5, pp. 14–23, October 1999.
- [11] Youngme Moon. The effects of distance in local versus remote human-computer interaction. In Proc. CHI, pp. 103–108, 1998.
- [12] Galè M. Lucas, Jill Boberg, David Traum, Ron Artstein, Jon Gratch, Alesia Gainer, Emmanuel Johnson, Anton Leuski, and Mikio Nakano. The role of social dialogue and errors in robots. In Proc. HAI, pp. 431–433, 2017.
- [13] Matthew Rabin. Incorporating fairness into game theory and economics. American Economic Review, Vol. 83, pp. 1281–1302, 1993.
- [14] Andrew M. Colman. Cooperation, psychological game theory, and limitations of rationality in social interaction. Behavioral and Brain Sciences, Vol. 26, pp. 139–198, 2003.
- [15] David Lewis. Convention. Harvard University Press, 1969.
- [16] Koichi Hashida, Katashi Nagao, and Takashi Miyata. A game-theoretic account of collaboration in communication. In Proc. ICMS, pp. 140–147, 1995.
- [17] Robin Clark. Meaningful games. MIT Press, 2012.
- [18] Anaïs Cadilhac, Nicholas Asher, Farah Benamara, and Alex Lascarides. Grounding strategic conversation: Using negotiation dialogues to predict trades in a win-lose game. In Proc. EMNLP, pp. 357–368, 2013.
- [19] Merwan Barlier, Julien Perolat, Romain Laroche, and Olivier Pietquin. Human-machine dialogue as a stochastic game. In Proc. SIGDIAL 2015 conference, pp. 2–11, 2015.
- [20] Sabine Jänzen, Wolfgang Maaß, and Tobias Kowatsch. Finding the middle ground - a model for planning satisficing answers. In Proc. ACL, pp. 7–12, 2016.
- [21] John Geanakoplos, D. Pearce, and E. Stacchetti. Psychological games and sequential rationality. Games and Economic Behavior, Vol. 1, No. 1, pp. 60–80, 1989.
- [22] Pierpaolo Battigalli and Martin Dufwenberg. Dynamic psychological games. Journal of Economic Theory, Vol. 144, pp. 1–35, 2009.
- [23] Max Kleiman-Weine, Mark K. Ho, Joseph L. Austerweil, L. Michael Litman, and Joshua B. Tenenbaum. Coordinate to cooperate or compete: Abstract goals and joint intentions in social interaction. In Proc. CogSci, 2016.
- [24] Paul A. M. Van Lange. The pursuit of joint outcomes and equality in outcomes: An integrative model of social value orientation. Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 77, pp. 337–349, 1999.
- [25] 船越孝太郎, 島崎秀昭, 熊田孝恒, 辻野広司. 協調的知能研究のためのパーソナルパートナーエージェントの検討. FIT2018 第 17 回情報科学技術フォーラム論文集, 第 2 巻, pp. 295–298, 2018.