

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K18555

研究課題名（和文）集団問題解決における協力の創発：認知心理学、社会心理学、情報学の協働による解明

研究課題名（英文）Emergency of collaboration in group problem solving

研究代表者

齋木 潤（Saiki, Jun）

京都大学・人間・環境学研究所・教授

研究者番号：60283470

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：探索行動における協力の創発のダイナミクスを検討するために共有資源管理課題を用いた実験を行った。先行研究では、協力の創発にはコミュニケーションと罰が重要であることが示唆されているが、探索行動や個人間の相互作用の詳細、また、環境ダイナミクスの自発的な学習可能性は不明である。これらを明らかにするために、この課題を1人で実施する実験、2人で実施する実験を行った結果、環境のダイナミクスは自身の行動の最適性に関するフィードバックがあれば学習可能であること、2人で課題を実施する場合、協力するというゴールが明示・共有されていればコミュニケーションなしでも最適な探索方略の学習が可能であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

共有資源管理課題を用いた研究は、個人の利益と集団の利益の調整が必要になる状況において、協力的行動が創発するための条件の理解を目指している。本研究は、現実場面でも起こりうる環境ダイナミクスを学習しなければならない状況を検討し、最適行動に関する目安をフィードバックする必要があること、協力というゴールが共有されていれば最適行動の学習にコミュニケーションが必須ではないことを明らかにした。これらの結果は、現実場面において協力的行動を導くための新たな指針に関する手掛かりを与えるものであり、協力的行動に関する学術研究、現実場面における様々な社会課題の解決の双方にとって意義のあるものである。

研究成果の概要（英文）：To understand the emergence of cooperation in search behavior, we conducted experiments using a common pool resource task. Previous studies revealed that communication and punishment are necessary to emerge cooperative behavior, but microscopic mechanisms of individual search behavior, characteristics of interaction between participants during the task, and learnability of environmental dynamics (regeneration rule of tokens) by spontaneous search behavior remain unknown. To answer these questions, the current study conducted common pool resource task with a single participant (Experiment 1) and with a pair of two participants (Experiment 2). Experiment 1 revealed that participants could learn environmental dynamics if they are provided feedback of their performance relative to the optimal score, and Experiment 2 found that when an explicit goal of cooperation is shared, optimal search strategy can be learned by a pair of participants without explicit communication.

研究分野：認知心理学

キーワード：集団問題解決 探索行動 共有資源管理課題 協力 コミュニケーション

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 社会生活の多くの場面で、人間は個人の利益と集団の利益の調整の問題に直面する。この問題に対して、公共財ゲームや共有資源管理課題を用いた多くの研究が行われてきた。進化ゲーム理論が協力行動理解の理論枠組みを提供し、社会的ジレンマを用いた広範な行動データは協力が成立するための文化・社会経済的諸条件と、協力行動に影響する個人特性の知見を蓄積して、「人間社会において協力行動が進化した理由」のような一般的な問いに対する理解は進展した。しかし、現実場面での協力行動は集団成員の感情などの内部状態、成員間の選好、外部環境の間の複雑な相互作用による集団と個人の階層的状态によって決まる。現実的課題場面における協力行動をより深く理解し、「ジレンマを克服して協力を実現する」ためには、協力的問題解決における環境 集団 個人システムの状態を決めるダイナミクス<sup>1</sup>の解明が不可欠である。

(2) 協力による集団問題解決を現実場面に近い環境を用いて検討するために、本研究では共有資源管理課題を用いた。この課題は、森林や漁業資源のような公共の資源管理の問題を模したもので、リアルタイムでの最適解の探索という側面を持ち、コミュニケーションが重要な役割を果たす。行動とストラテジーの対応が単純な公共財ゲームと比べて、探索行動の解析は複雑で洗練された分析を要する。共有資源管理課題に関する先行研究 (Janssen et al. 2010) ではマトリックス上に呈示されたトークンを集めてポイントを獲得する課題を 4 - 5 名のグループのオンライン実験で行った。協力者はトークンの空間分布と他の協力者の行動を見ることができた。トークンは確率的に画面上に再生され、再生確率がトークン密度に比例するため、個人得点を最大化すべくトークンを集めると資源が枯渇する。資源の枯渇を防ぐためには、集団成員間で協力してトークン獲得速度を調節する必要がある。先行研究では、課題時に成員間のコミュニケーションや罰則の効果が検討され、コミュニケーションと罰則がある場合に協力行動が促進されることが示されている。しかし、先行研究では、集団全体の総獲得トークン数の分析にとどまっておき、各参加者の課題に対するストラテジーや、参加者間の相互作用のミクロな分析は行われていない。また、トークンの再生に関する教示が明示的に行われているため、この課題状況で参加者が自発的にトークン再生の仕組みを発見し、それによって自身の行動を調整できるのかは不明である。

## 2. 研究の目的

先行研究の分析検討から、共有資源管理課題は本研究の目的である協力的問題解決における環境-集団-個人システムのダイナミクスを検討するのに適切な課題であることは分かったが、特に個人の探索行動のミクロなメカニズムについては不明な点が多いことも明らかになった。そのため、本研究では、(1) 共有資源管理課題を探索課題として捉え、単独の参加者が獲得トークン数を最大化するという目標を達成するためにどのような行動をとるのかを明らかにする、(2) 個人の行動特性を踏まえ、最小の集団である 2 人で課題を実施した場合にどのような相互作用が生じるのかを検討する、ことを目的とした。

(1) 共有資源管理課題における単一参加者の行動特性：Janssen et al. (2010) においては参加者にトークン再生ルールを教示したうえで課題に参加させており、その場合、4 - 5 人のグループではほとんどの場合最低一人は最適な戦略に気づくため、コミュニケーションを取ることを許可すると即座にグループとして最適な行動に近くなることが示されている。では、トークン再生ルールを教示しない場合、参加者は探索行動を通じて、自発的に再生ルールを発見して最適方略に到達することができるのであろうか。この問題を明らかにするために、実験 1 では共有資源管理課題を単独参加者で実施し、再生ルールの教示によって成績や探索行動がどのように変化するかを検討した。

(2) 2 人での探索における相互作用：実験 1 の結果を踏まえ、再生ルールを教示しない場合に、2 人で課題を行った場合にどのような協力行動や相互作用が生じるのかを検討した。具体的には、2 人の協力を奨励する場合 (2 人の合計トークン獲得数を最大化することをゴールとする) と 2 人の競争を奨励する場合 (個人のトークン獲得数を最大化することをゴールとする) でどのような違いが出てくるのかを検討した。特に、共有資源管理課題は競争条件においても自身のトークン獲得を単純に最大化する方略は非適応的で協力が必須なのであるが、その点に自発的に気づくことができる参加者がどのくらいいるのかに着目した。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験 1

共有資源管理課題を一人で行い、トークン再生ルールに関する知識が探索行動にいかなる影響を及ぼすかを検討した。先行研究で用いられたフィールドサイズやトークン密度は 5 人での集団課題で設定されたものであるため、まず、一連の予備実験により課題成績を適切に評価できる適度な難易度となる課題パラメータの探索を行った。その結果、13×13 のフィールドに初期トークン数を 42 個配置することにした。トークンの再生確率は周囲のトークンの密度に比例し、近傍にトークンが存在しない場所ではトークンの再生が起こらない。このため網羅的にト

ークンを獲得すると短時間で資源が枯渇する。実際には、課題開始当初はトークンを取らずに再生させ、盤上にトークンが充満したタイミングで網羅的にトークンを回収するのが最適な戦略となっている。この課題を1ラウンド240sとして8ラウンド行った。実験条件として以下の3条件を設定した。

教示条件：トークンの再生ルールを具体的に教示する。

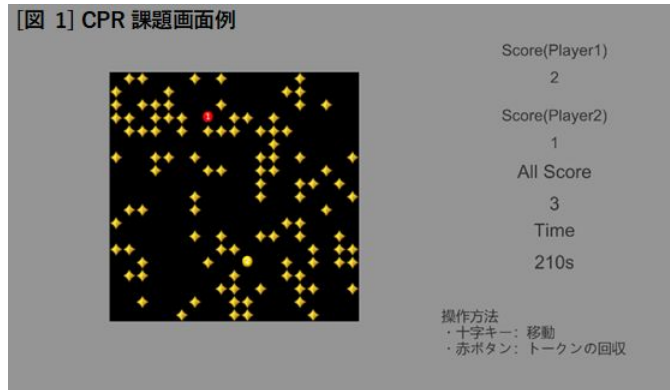
スコア目安教示条件：開始時に1ラウンドで獲得できる最高スコア（139ポイント）を教示する。

教示なし条件：再生ルールやスコア目安の教示をしない。

各条件10名、計30名が実験に参加した。

## (2) 実験2

実験1の結果を踏まえ、自発的な最適戦略の発見がある程度可能なスコア目安教示条件を用いて、2人で課題を行ったときの相互作用の様態を検討した。これまでの実験から参加者のスコアはほぼ盤面のセル数に比例することがわかっているので、実験1のセル数をほぼ2倍にした19×19のフィールド、初期トークン数を90個とし、その他の実験パラメータは実験1と同じものを用いた。図1に実験画面の例を示す。2人で同時に課題を遂行し、各



参加者は盤面のトークンの状況と2人の参加者の盤面上の位置を見ることができる。参加者間のコミュニケーションは禁止し、自身のストラテジーなどを相手に伝えないように教示した。実験条件としては、以下の2つを設定した。

協調条件：2人の合計トークン獲得数を最大化するように教示した。スコア目安として、各ラウンドで200ポイント以上を獲得するように教示し、これに達しなかった場合はスコアがゼロになると教示した。

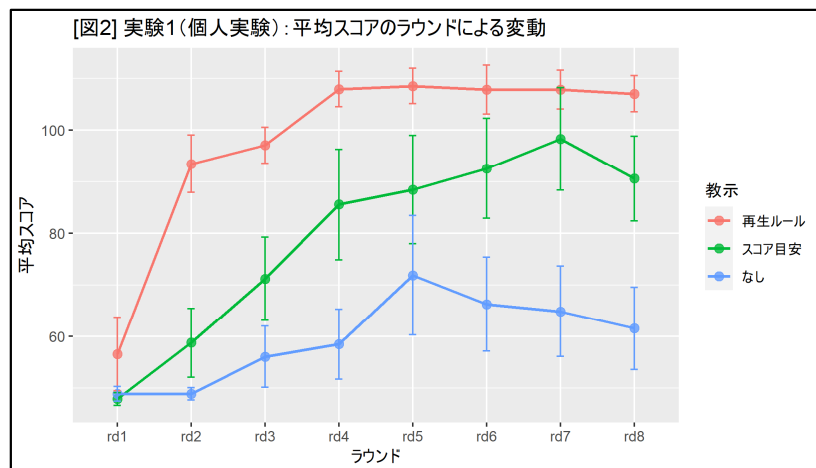
競合条件：相手のスコアを上回ることがゴールであると教示した。また、スコア目安として、各個人が100ポイント以上獲得する必要があると教示し、いずれかがこれを下回った場合は2人ともそのラウンドのポイントがゼロになると教示した。

各条件10ペア（20名）、計40名が実験に参加した。

## 4. 研究成果

### (1) 実験1

図2に各教示条件におけるトークン獲得数のラウンドごとの変化を示した。トークン獲得数は、教示条件、スコア目安条件、教示なし条件の順に低下していることが見て取れるが、グラフを見ると、教示なし条件では、ラウンドを経過してもほとんどトークン獲得



数が上昇していないことがわかる。この課題ではラウンド1では常にトークンは枯渇してしまうため、教示なし条件では、トークンが枯渇するという状態がほとんどの参加者でラウンド8の終了時まで継続することを意味している。実際、ある程度の成績上昇を示したのは10名中3名のみであった。言い換えると、トークン再生ルールに関する教示が与えられない場合、多くの参加者は自身のトークン獲得行動を修正する必要性に気づかなかったことを意味している。

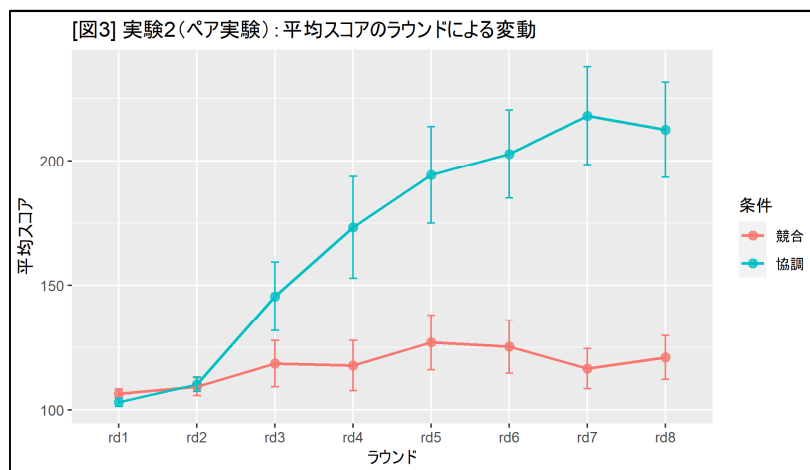
これに対し、スコア目安条件では、再生ルールの教示はないにもかかわらず、全体としてスコアが上昇している。個人スコアを調べると、10名の参加者のうち8名は再生ルールに気づいたことを示す成績上昇を示している。つまり、全ての参加者ではないものの、この課題におけるスコア目安を提示することにより、初期の盤面が枯渇するスコアが改良可能であることに気づいて再生ルールを発見する参加者が多くなるということである。スコア目安条件の結果は、再生ルールを具体的に教示しなくても、自身のスコアの位置づけを教示することにより改善の必要に気づき自発的にルール発見に至ることを示唆している。

教示条件では、全ての被験者がスコアの上昇を示し、ほとんどの参加者が最適に近いスコアを獲得することに成功している。つまり、トークン再生ルールを知っていれば、最適な探索行

動を発見することは難しくないことを示している。

## (2) 実験2

図3に協調、競合条件におけるトークン獲得数のラウンドごとの変化を示した。明らかに協調条件のスコアが競合条件に比べて大幅に高く、2人の合計スコアを最大がするというゴールの設定がスコア改善にとって重要であることが示された。個別のペアの行動を分析すると、競合条件においては、10ペア



ペア中7ペアで1ラウンドから8ラウンドまでほぼスコアの改善がみられず、残り2ペアではスコアは上昇したものの、ラウンド中にトークンが枯渇する状況は最後まで継続、1ペアのみでかろうじてトークンを枯渇させずにラウンドを終了させることができたという結果であった。

対照的に協調条件では、スコアの改善がみられなかったのは10ペア中2ペアのみで、6ペアについては、最終ラウンドまでに「トークン数が最大化するまで収集せずに一気にトークンを回収する」という最適方略の明示的な利用に至っている。この結果は、実験1のスコア目安条件と比較すると興味深い。実験1のスコア目安条件と、実験2の協調条件は、トークン再生ルールを教示しない点、スコア目安を教示する点など類似する点が多いが、2人で課題を行った実験2では、6ペアが最適戦略に到達したのに対し、1人で課題を行った実験1では、最適戦略を明示的に利用しているとみなせるのは2名のみであった。注目すべきは、本研究では、実験2においてコミュニケーションを禁止している点で、明示的なコミュニケーションを取らずとも、2人の合計スコアを最大化するという協力を促すゴールを設定することにより最適な行動戦略の発見が促されることが示唆される。実験2において最適戦略の発見が促されたという本研究の結果が、2人で課題を行うことに固有の効果であるのかを明らかにすることは興味深い今後の課題である。

コミュニケーションがなくても、最適な協力的行動を発見できるという協調条件の結果に対し、競合条件の結果は、コミュニケーションの必要性を示唆している。競合条件の複数のペアにおいて、1人が枯渇を防ぐためにトークン収集のペースを抑える必要に気づき、自身は収集行動を抑制したにもかかわらずそれを相手に伝えることができず、ペアとしての成績を向上できなかった。実験後の内観報告において、これら再生ルールに気づいた参加者はコミュニケーションが取れなかったことの限界を明示的に述べていた。この結果は、共有資源管理課題のような課題状況で、競合的な目標が設定されている場合には協力的行動を達成するために明示的なコミュニケーションが重要であることを示唆しており、現実場面との関連を考慮しても興味深い知見と考えられる。

これまでに、実験1、実験2とも参加者のトークン獲得行動の全体的なスコア、及びトークン獲得行動の時間的変化の分析を進めてきた。こうした分析に加えて、フィールド上で空間的にどのようにトークンを収集していくかというトークン獲得行動の時空間的なダイナミクスの分析が今後の課題として残っている。特に2人で課題を行った実験2において、時空間的な探索パターンが2人の参加者の間でどのような影響関係を持っていたのかは重要な観点と言える。今後こうした追加分析も進めながら、共有資源管理課題における人間の探索行動の時空間的なダイナミクス、及び協力的行動の創発のメカニズムをさらに探っていきたい。

## <引用文献>

Janssen, M.A., Holahan, R., Lee, A., & Ostrom, E. (2010). Lab experiments for the study of social-ecological systems. *Science*, 328, 613-617.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Uchida, Y., Nakayama, M., & Bowen, K. S.	4. 巻 31
2. 論文標題 Interdependence of Emotion: Conceptualization, Evidence, and Social Implications From Cultural Psychology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Current Directions in Psychological Science	6. 最初と最後の頁 451-456
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/09637214221109584	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 内田由紀子	4. 巻 535
2. 論文標題 日本の「地域の幸福」と「組織の幸福」	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日経研月報	6. 最初と最後の頁 12-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hagihara Hiromichi, Yamamoto Hiroki, Moriguchi Yusuke, Sakagami Masa-aki	4. 巻 226
2. 論文標題 When “shoe” becomes free from “putting on”: The link between early meanings of object words and object-specific actions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cognition	6. 最初と最後の頁 105177 ~ 105177
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cognition.2022.105177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 内田由紀子	4. 巻 11
2. 論文標題 社員の多様性に向き合う経営とウェルビーイング	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 商工金融	6. 最初と最後の頁 36-37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	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 0件）

1. 発表者名 濱田大佐
2. 発表標題 複雑な情報統合における群衆の智慧と集団意思決定
3. 学会等名 第20回日本心理学会「注意と認知」研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阪上雅昭, 水谷天智, 萩原広道, 山本寛樹, 浅井怜斗
2. 発表標題 ダイナミックシステムアプローチと乳幼児の語彙発達
3. 学会等名 一般社団法人 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

齋木研究室ホームページ <a href="http://www.cv.jinkan.kyoto-u.ac.jp/site/">http://www.cv.jinkan.kyoto-u.ac.jp/site/</a>
--

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
研究 分担者	内田 由紀子  (Uchida Yukiko)  (60411831)	京都大学・こころの未来研究センター・教授   (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	阪上 雅昭  (Sakagami Masaaki)  (70202083)	京都大学・人間・環境学研究科・教授     (14301)	

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