

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19929

研究課題名（和文）社会ネットワーク上の意思表示タイミングに着目した集団意思決定の実証的・理論的研究

研究課題名（英文）Theoretical and empirical study of collective decision-making focusing on the timing of opinion statements in social networks

研究代表者

伊藤 真利子 (Ito, Mariko)

東京大学・生産技術研究所・特任助教

研究者番号：80838847

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、集団意思決定における人々の意思表示タイミングと意思決定の正確さの関係を解明することを目的として、実証・理論分析を行なった。実証分析では、集団における意思表示時刻分布の不均一性が集団正答率と関係していることを見つけた。また理論研究では、正解を導き出せる能力が互いに異なる人々の逐次的意思決定において、各個人が他者の意見を取り入れて自身の正確さを最大化させるためのアルゴリズムを構築した。本理論解析を通して、集団が集合知の効果を獲得するのに著しく寄与する casting voter の存在について提案することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、より正確な集団意思決定を生み出すメカニズムの解明に貢献できると期待する。集団意思決定研究における大きな問題の一つは、人々の社会的相互作用が引き起こす意見間の相関が集団意思決定の質に悪影響を与えることである。近年、社会的相互作用下での各個人の最適意思決定や意見集約方法について盛んに議論されている。本研究では、人々の意思表示タイミングが、意見間の相関関係や集団意思決定の正確さに多大に影響を与えることを示すことができた。

研究成果の概要（英文）：We have empirically and theoretically investigated the relationship between the timing of individuals' decision-making and the accuracy of both individuals and the group. Through empirical analyses, we found that heterogeneity in the temporal distribution of opinion statements is associated with group accuracy. Additionally, we theoretically studied the sequential decision-making of individuals with varying abilities to independently find the correct answer. We successfully derived an algorithm for each individual to maximize their decision accuracy and identified the existence of "casting voters," who contribute significantly to the group's collective intelligence.

研究分野：数理生物学，社会経済データ解析

キーワード：集団意思決定 集合知 逐次的意思決定 複雑ネットワーク 点過程

## 1. 研究開始当初の背景

集団意思決定の正確さは、民主制等社会システムのあり方、デマの拡散、将来予測のための意見集約法などの幅広いテーマと関連する研究課題である (Ladha, 1992; Bikhchandani et al., 1992; Aspinall, 2010). 集団意思決定の正確さに関する基礎研究では、多くの一般人の意見集約が専門家の意見の正確さをも上回り得るという集合知の現象が知られている (Krause et al., 2010). 一方で、多くの人たちが誤った意思決定をしてしまう誤情報カスケードや衆愚に陥る危険性も指摘されている (Bikhchandani et al., 1992). これらの先行研究で特に注目されている問題は、人々の情報のやり取りが集団意思決定の正確さにどのように影響を与えるかであり、理論・実証双方で盛んに検証されている。

集団意思決定における個人や集団の意思決定の正確さを議論する際には、逐次的意思決定モデルが頻繁に用いられる。逐次的意思決定モデルでは、各個人が順番に、過去の他者の意見を観察した上で意思決定・表明をしていくことを仮定する。このモデルに基づいた理論・実証研究においては、個人間に違いがないと仮定されるか、個人間に差異があったとしても各個人が意思決定する順番は研究者により恣意的に与えられることがほとんどである (McElreath et al., 2008; Egulúz et al., 2015; King et al., 2012). しかし、ある個人がいつ意思決定・表明するかは、その個人の課題に対する自信等により内的に決まり得るものであり (Ratcliff 1978)、さらに、ある正確さをもった個人の意思決定・表明タイミングは他者や集団の意思決定に大きな影響を与える。しかし、集団において、各個人がどのように意思決定・表明タイミングを調整するかについては、実証・理論研究ともに乏しい状態である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、集団意思決定における人々の意思表明タイミングの特徴と意思決定の正確さの関係を解明することである。集団意思決定において、どのような特徴 (正確さ、他者への追従度合い等) をもった個人がいつ意思決定・表明をするかは、集団意思決定の質に大きな影響を与えると予想される。そこで、本研究では多様な特徴をもつ個人々の意思決定・表明タイミングに着目する。実験データや社会経済データの分析を通して、実社会における人々の意思表明タイミングのパターンをとらえることを目指す。また、実データ分析で得られた知見をもとに集団意思決定の理論構築を行うことで、人の意思表明タイミングと集団意思決定の正確さをつなぐメカニズムを明らかにする。

## 3. 研究の方法

上述の目的に向け、実験データ等を用いた実証分析と、集団意思決定モデルの構築及び理論解析を行った。

### (1) 実験データを用いた意思表明時刻分布の分析

集団意思決定において各個人が自由に意思表明タイミングを決定できる場合、そのタイミングは自身の意思決定に対する確信度合いや先行して意思表明した他者の意見に依存すると考えられる (Ratcliff, 1978; Kiani & Shadlen, 2009; Tump et al., 2020). そこで逆に、集団意思決定における不均一な意思表明時刻分布の特徴が、集団意思決定の正確さと関係するのではないかと考えた。本研究では、集団意思決定実験における各個人の意思表明時刻を記録した先行研究 (Kurvers et al., 2015) のデータを分析した。また、イベントが起きた時刻の系列である点過程時系列の解析手法を取り入れて、意思表明時刻分布 (つまり、意思表明点過程時系列) の特徴を定量化し集団正答率との関係を調べた。

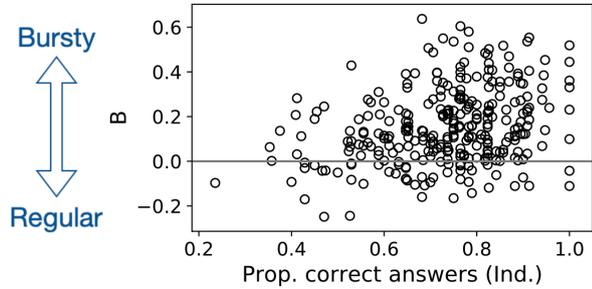
### (2) 逐次的意思決定における意思決定の順番と集合知の理論解析

上述(1)のように各個人が自身のタイミングで意思表明をしていくと、人々が順番に意思決定をしていく逐次的意思決定の列が構成される。この順番を決定する要因として、正確に意思決定できる能力や確信度の不均一性に関する個人間の不均一性が考えられる。しかし、不均一な特徴をもった人々の逐次的意思決定については、数理解析が複雑になってしまうため、これまで十分な理論的考察が行われてこなかった。そこで本研究では、独立に意思決定した際の正答率(能力)が互いに異なる人々の逐次的意思決定について、理論解析を行なった。この逐次的意思決定においては、各個人は先行して意思決定した個人の意見を観察することができ、それらを取り入れることで自身の意思決定の正確さ(パフォーマンス)を向上し得るとした。これらの仮定のもとで、各個人が自身のパフォーマンスを最大化させるために先行者の意見にかけるべき最適重みを理論的に導出した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験データを用いた意思表示時刻分布の分析

集団意思決定における意思表示時刻分布を、点過程の特徴量に着目して定量化したところ、集団正答率（集団内で正しい意見を表明した個人の割合）とバースト性（Burstiness）の間に関係が見られた。バーストとは、短時間に多くのイベントが起こる一方で長い時間全くイベントが起こらないような現象のことを指す。「研究の方法」で述べた先行研究における、11 グループによる総計 308 の集団意思決定列における各個人の意思表示時刻を分析した結果、意思表示の起き方のバースト度合いが強いほど、その集団内で集団正答率が高い傾向にあることがわかった。さらに、集団意思決定前後で各個人がどのように意見を変化させたかに着目して分析を進めたところ、課題に対する強い自信をもつ個人が集団に多く含まれる場合、短時間に意思表示が集中するような表明クラスタが出現しやすくなること示唆された。このことから、自信がある人々の集団意思決定では、自信と正確さの正の関係性により自然と集団正答率が高くなり得るが、そのような集団意思決定はバースト度合いの強さを目印として見つけ出せる可能性がある。このバースト性と集団正答率の関係を説明するための数理モデルを構築し、現在解析を進めている。本研究結果については、数理モデルを用いた理論的考察と合わせて国際学術誌に報告できるよう準備中である。



Kendall's  $\tau = 0.19, p < 0.01$

図 1 集団における意思表示時刻分布のバースト性と正答率の関係。

##### (2) 逐次的意思決定における意思決定の順番と集合知の理論解析

能力が互いに異なる人々の逐次的意思決定モデルを理論解析し、各個人の意思決定の正確さを最大化させる意見集約方法を導出した。本研究の逐次的意思決定モデルでは、各個人は先行して意思決定した人々の意見を取り入れることで自身のパフォーマンスを向上し得るとしている。したがって、人々が順次意思決定していく中で意見同士は自然と相関し合っていく。集合知の理論研究では、独立な意見の重み付け集約について、集約結果の正答率を最大化させるための最適重み付け方法が広く知られている (Nitzan & Paroush, 1982; Marshall et al. 2017)。しかし本研究のように複雑に相関し合った意見に対する最適重みはこれまでに議論されておらず、今回新しく導出を試みた。その結果、能力が高いことから自身の最適戦略として先行者の意見を取り入れなかった個人 (casting voter) の意見のみに重みをかけることが、後に意思決定する各個人にとっての最適重み付け戦略になることを数学的に示すことができた。また、先行者の能力と意見分布に基づいて、先行者の中から casting voter を見つけ出すアルゴリズムを構築した。さらに、本理論に基づいて「能力が高い人がより早く意思決定をするほど、後に意思決定する人のパフォーマンスが落ちてしまう」という反直感的な現象が起き得ることを提案した (Ito & Sasaki, 2023)。本研究結果は、集団が集合知の効果を獲得するのに著しく寄与する casting voter の存在を示し、その検出方法を提案したという点で、集団意思決定研究の進展に貢献できると考えられる。

```

1:  $S = \{1\}, T = \emptyset, R = \emptyset$ 
2: for  $2 \leq n \leq N$  do
3:   if  $\sum_{m \in S} r_m^* - \sum_{m \in T} r_m^* > r_n^*$  then
4:      $R \leftarrow R \cup \{n\}, Y_n = s$ 
5:   else if  $\sum_{m \in T} r_m^* - \sum_{m \in S} r_m^* > r_n^*$  then
6:      $R \leftarrow R \cup \{n\}, Y_n = t$ 
7:   else if  $|\sum_{m \in S_{n-1}} r_m^* - \sum_{m \in T_{n-1}} r_m^*| < r_n^*$  then
8:     if  $X_n = s$  then
9:        $S \leftarrow S \cup \{n\}, Y_n = s$ 
10:    else
11:       $T \leftarrow T \cup \{n\}, Y_n = t$ 
12:    end if
13:  end if
14:   $S_n = S, T_n = T, R_n = R$ 
15: end for

```

図 2 先行者の中から casting voter を見つけ出すアルゴリズム。

さらに、当初予期していなかった社会経済データを共有頂く機会があり、そのデータを用いた実証分析により、次に示すような新たな知見を得ることができた。

##### (3) 社会経済データを用いたマスメディアに対する反応の異質性に関する分析

TV データや視聴率データ、購買データを用いて、TV コマーシャルに対する顧客の反応の強弱や商品購入という意思決定のタイミングについて分析した。集団意思決定の先行研究では、マスメディアの存在により人々の意見同士の相関が強くなってしまったり、意見間相関の強さが集団意思決定の質に多大に影響を与えることが示されている。本研究では、TV コマーシャルのカテゴリや顧客の属性ごとに TV コマーシャル視聴頻度と購買頻度に関する時系列を構築し、それらの時系列解析によって、TV コマーシャルの放送から購買につながるまでの時間遅れや TV コ

マーシャルが顧客の購買に与える影響の強弱を定量化した。この分析により、マス広告の影響力が、宣伝商品やTV コマーシャルのイメージといった発信内容と情報の受け手の属性に明確に依存することを実証的に示すことができた (Horikomi, Ito et al., 2023; Ito & Ohnishi, 2021)。今後の集団意思決定の理論研究においても、個々人がマスメディアから受ける影響力や影響を受けるまでの時間遅れの多様性を考慮する必要があるのではないかという着想を得ることができた。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Horikomi Taizo, Ito Mariko I., Ohnishi Takaaki	4. 巻 16
2. 論文標題 ID-POS Data Analysis Using TV Commercial Viewership Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Review of Socionetwork Strategies	6. 最初と最後の頁 431 ~ 451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12626-022-00116-w	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 Ito Mariko I., Sasaki Akira	4. 巻 18
2. 論文標題 Casting votes of antecedents play a key role in successful sequential decision-making	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0282062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0282062	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 -
1. 著者名 Mariko I. Ito, Takaaki Ohnishi	4. 巻 6
2. 論文標題 Co-occurrence network of TV advertisements revealing Japanese lifestyle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Network Science	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41109-021-00393-4	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 -
1. 著者名 Mariko I. Ito, Takaaki Ohnishi	4. 巻 943
2. 論文標題 Uncovering the Image Structure of Japanese TV Commercials Through a Co-occurrence Network Representation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 In: Benito R.M., Cherifi C., Cherifi H., Moro E., Rocha L.M., Sales-Pardo M. (eds) Complex Networks & Their Applications IX. COMPLEX NETWORKS 2020.	6. 最初と最後の頁 273-283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-65347-7_23	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 伊藤真利子, 佐々木顕
2. 発表標題 キャストイングポートが最適な逐次意思決定の鍵を握る
3. 学会等名 第32回日本数理生物学会大会（2022年度年会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤真利子, 大西立顕
2. 発表標題 共起ネットワークを用いたCMのイメージ構造の分析
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mariko Ito
2. 発表標題 Individuals' timings of decision-making and group performance
3. 学会等名 APS March meeting 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mariko Ito
2. 発表標題 Burstiness and accuracy of collective decision-making
3. 学会等名 DPG Spring Meeting（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤真利子
2. 発表標題 意思表示間隔と意思決定の正確さ
3. 学会等名 2020年度 日本数理生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mariko Ito, Akira Sasaki
2. 発表標題 Casting votes in sequential decision-making
3. 学会等名 6th ESLR Workshop 2023, Max Planck Institute for Human Development (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mariko Ito
2. 発表標題 Characteristics in point process of collective decision-making and group performance
3. 学会等名 The 23rd Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS), Santiago, Chile (国際学会)
4. 発表年 2023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
---------	---------