

## 推論ストラテジーの多様性がもたらす集合知：計算機シミュレーションを通じた分析

藤崎樹<sup>a</sup> 本田秀仁<sup>b</sup> 植田一博<sup>c</sup>

### 要約

判断・意思決定研究はこれまで、人が多様な推論ストラテジーを用いることを明らかにしてきた。他方、これが集団での意思決定においてどのような影響を持つかに関してはほとんど議論はなされてこなかった。本研究では、多様性が集合知において重要な役割を果たすという膨大な知見に基づき、利用されるストラテジーの多様性が集合知に与える影響について検討した。実験では、個人の推論に関するデータをもとに、計算機シミュレーションを通じて集団意思決定を仮想的に実施した。その際、メンバーが利用するストラテジーの多様性を操作することで、この影響について検討した。結果、多様なストラテジーが用いられた場合に、単一の場合よりも正答率が高くなるケースがあることが明らかになった。分析の結果、多様性を持たせることで、各ストラテジーがはらむバイアスが部分的に相互に打ち消し合う格好となり、上記の結果がもたらされたことが示された。

JEL 分類番号： C69, D70, D82

キーワード：推論, 集合知, 多様性, 計算機シミュレーション

---

<sup>a</sup> 東京大学大学院総合文化研究科博士後期課程 bpmx3ngj@gmail.com

<sup>b</sup> 東京大学大学院総合文化研究科特任研究員 hitohonda.02@gmail.com

<sup>c</sup> 東京大学大学院総合文化研究科教授 ueda@gregorio.c.u-tokyo.ac.jp

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A) (課題番号 16H01725) ならびに若手研究(B) (課題番号 16K16070) の助成を受けて実施された。ここに謝意を記す。

## 1. イントロダクション

### 1.1. 推論ストラテジー

次のような二者択一の問題があったとしよう。「どちらの都市の人口が大きいと思いますか？ A.甲府市 B.北杜市」このような問題に対して、私たちはどのように推論を行っているのだろうか。一方で、人の推論はシンプルなヒューリスティック（簡便法）によって実に幅広く説明できることが示されてきた（Gigerenzer et al., 1999）。その中でも代表的な再認ヒューリスティック（Goldstein and Gigerenzer, 2002）は、二者択一課題では以下のように定義される。「もし2つの対象のうち一方を再認でき、もう一方は再認できなければ、再認できた方の対象を基準について高い値を持つと判断する。」すなわち、冒頭の問題で、A.甲府市は再認でき、B.北杜市は再認できなかった人について、再認ヒューリスティックはA.甲府市の人口が大きいと推論する。他方で、人は推論において利用可能な知識を用いるという主張も繰り返しなされてきた（Oppenheimer, 2003 など）。上記の問題では、たとえば「甲府市にはサッカーチームがある」という知識を、都市の人口を推定する際の手がかりとして利用することは充分考えられる。さらに近年では、両者を統合するものとして、人は状況に応じて多様な推論ストラテジーを使い分けるという知見が報告されている（Kahneman and Frederick, 2005 など）。その中でも、Honda et al. (2017)は、二者択一課題を対象として、人は易しい問題では知識を用いるのに対して、難しい問題ではヒューリスティックを用いて推論を行う傾向にあることを明らかにした。

以上見てきたように、個人の推論について、現在にいたるまで活発な議論が行われてきた。対照的に、そのような個人での推論が、集団での意思決定における正確性にどのような影響を与えるかに関しては、これまでほとんど検討がなされてこなかった（数少ない例外として Reimer and Katsikopoulos, 2004 など）。

### 1.2. 集団意思決定

集団での意思決定において、グループメンバーがどの推論ストラテジーを用いた場合にもっともよい集合知（the wisdom of crowds; Surowiecki, 2004）が生み出されるのだろうか。一見、個人で高い正答率を記録したストラテジーが集団でも高いパフォーマンスをもたらすように思えるが、藤崎・本田・植田（2017）は、必ずしもそうとは限らないことを計算機シミュレーションによって示している。この研究では、まず、行動実験を通じて得られた個人の推論に関するデータ（Honda et al., 2017 から収集）を基に、合計4つの推論ストラテジーについて、各人がこれらを用いた際の推論結果を予測した（「2.3. 計算機シミュレーション」も参照）。次に、この個人での推論結果をもとに、グループメンバーがあ

る共通のストラテジーを用いて集団意思決定を行った場合の正答率を計算機シミュレーションによって仮想的に算出し、ストラテジー間で正答率を比較した。結果、ストラテジーがもたらす相対的な正確性が、個人と集団とでは異なるケースがあることが明らかになった。たとえば、個人の意思決定では相対的に低い正答率を記録していたあるストラテジー（ストラテジーa とする）が、100 人などの大人数では正答率をもっとも高くなるケースが観察された。

この結果は以下のメカニズムでもたらされた。上の研究で扱われたストラテジーはいずれも、全体的には正しい推論をもたらす傾向にある（平均正答率が、チャンスレベルである 50%を上回る）という意味において適応的な性質を持つものであった。しかし同時に、一部の問題では正答率がチャンスレベルを下回っていた（バイアス, Kahneman, 2011）。こうした問題はごく一部ではあるものの、集団意思決定においてはこのケースの多寡が強い影響をもつ。というのも、このケースに対して多数決ルール (Hastie and Kameda, 2005 など) を適用して集団意思決定を行う場合、グループサイズを大きくしていくにつれ正答率は 0 へと減少していき (Condorcet, 1785/1994), 集合知の効果を大きく弱めるからである。上で挙げたストラテジーa は、個人の意思決定における正答率が相対的に低かった一方、同時にバイアスが極めて弱い性質も持っていた (問題の正答率が 0.55 – 0.60 あたりに集中していた)。大人数での意思決定では後者の性質が強調される形になり、極めて高い正答率をもたらされたのである。

### 1.3. 多様性

上で述べたように、藤崎・本田・植田 (2017) では、集団意思決定を行うグループメンバー全員が共通のストラテジーを利用したケースのみを分析対象としており、グループメンバー間で多様なストラテジーが用いられた場合については検討がなされていない。他方、集合知に関する研究ではこれまで、意思決定 (Lorenz et al., 2011 など) をはじめとして、問題解決 (Hong and Page, 2004 など) やゲーム理論 (Mann and Helbing, 2017 など) など様々な分野にわたって、「多様性 (diversity)」が集合知の質を左右することがあるという報告がなされている。この点を踏まえると、ストラテジーの多様性が集団意思決定に与える影響について検討することは極めて重要であると捉えられる。

そこで本研究では、藤崎・本田・植田 (2017) と同様に、行動実験で得られた個人の推論に関するデータを基に、計算機上で集団意思決定を仮想的に行った。その際、グループメンバーが用いる推論ストラテジーを操作し、正答率の変化を観察することを通じて、グループメンバー間のストラテジーの多様性が集合知に与える影響を分析した。

## 2. 方法

### 2.1. 推論ストラテジー

Honda et al. (2017)では、複数の推論ストラテジーのモデルを比較した上で、難しい問題に対しては familiarity ヒューリスティックモデル (Honda, et al., 2011; 以下 FA) が、易しい問題に対しては知識に基づく推論モデル (SK) が人の推論をもっともよく説明することを明らかにしている。この点を踏まえ、本研究では参加者が用いる推論ストラテジーを FA, SK に限定して検討を行った。なお、両ストラテジーはそれぞれ以下のように定義されている。

**Familiarity ヒューリスティック (FA)** : 2つの対象について、2つとも再認でき、そして一方がもう一方よりなじみがある (**familiar**) 場合、なじみがあるものを基準値について高い値を持つと判断する<sup>1</sup>。

**知識に基づく推論 (SK)** : 典型的な大都市が持っている特徴 (例: サッカーチームがある)、あるいは典型的な小都市が持っている特徴 (例: 過疎化が進んでいる) などの知識を利用して都市の人口数を推定する。

### 2.2. 個人の推論データ

実験では、まず、個人の推論に関するデータを上記の先行研究から収集した。先行研究では、全 107 名の参加者に対し、まず、冒頭に挙げたような二者択一の都市の人口推定課題を実施した。課題では、難しい問題・易しい問題各 105 ペア ( $15 \times 14 / 2$ ) から構成された 2 つのリスト (以下、順に **Difficult list**, **Easy list**) が用いられた。続いて、二者択一課題で用いられた全 30 都市一つ一つについて、familiarity を 100 段階で回答させる課題、都市の人口数を推定する課題などが行われた。ここで得られたデータから、二者択一課題の各問題について、参加者が FA, SK のそれぞれを用いた場合の推論結果を予測することができる。

---

<sup>1</sup> Familiarity ヒューリスティックモデルは、一方のみを再認できた場合、再認できたものを基準値について高い値を持つと判断する。この点で、再認ヒューリスティックモデルを包含するものとして捉えられる。

### 2.3. 計算機シミュレーション

上記の手続きで得られた個人の推論に関するデータをもとに、計算機上で集団意思決定を仮想的に実施した。シミュレーションは以下のステップを通じて行われた（図1参照）。

**ステップ1：**グループサイズに応じて、グループメンバーが全参加者107名からランダムに選出される。

**ステップ2：**条件に応じて、推論ストラテジーがランダムに割り振られる。

**ステップ3・4：**各グループメンバーが、割り振られたストラテジーを利用して Difficult list, Easy list 全210問について個人で推論を行う。

**ステップ5：**個人の推論結果をもとに、多数決ルールにより集団意思決定が行われる。

**ステップ6：**ステップ1に戻る。ステップ1-5は各条件での各グループサイズについてそれぞれ1000回ずつ行われ、正答率が記録される。

グループサイズとしては、6, 12, 30, 60, 90人の5段階が設定された。また、ストラテジーの条件としては、グループのうちFAを利用するメンバーの割合（FA率）として、0, 1/6, 2/6, 3/6, 4/6, 5/6, 1の7段階が設けられた。FAを利用するメンバー以外は全員SKを用いて推論を行う。たとえば、グループサイズが90, FA率が2/6の場合、グループメンバーのうち30人はFAを、それ以外の60人はSKを利用する。

なお、図1にもある通り、個人の推論は、正解（○）・不正解（×）・ストラテジーを利用できず（△）のいずれかの結果をとる。ストラテジーを利用できなかったメンバーについては、藤崎・本田・植田（2017）での議論に基づき、集団意思決定に加わらないと仮定してシミュレーションを行った<sup>2</sup>。また、正解・不正解のメンバーが同数の場合（図1ステップ3のQ2, 集団意思決定の△）、ランダムに選択がなされると仮定した。

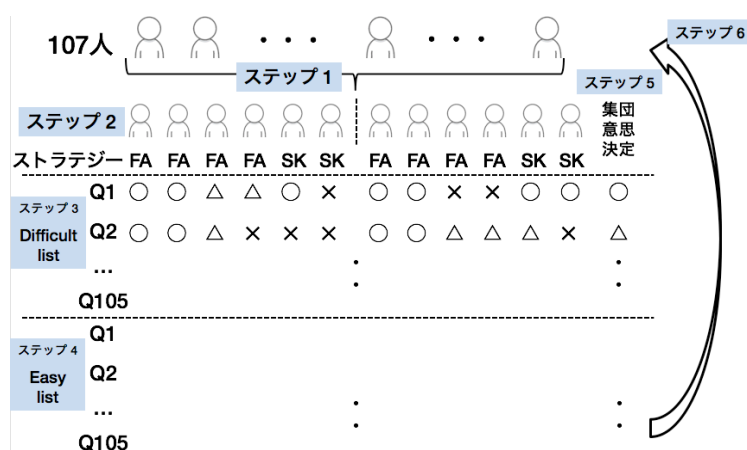


図1. 計算機シミュレーションの概要。図はグループサイズ12, FA率4/6の場合。

<sup>2</sup> なお筆者は、ストラテジーを利用できなかった参加者に関して、「ランダムに選択したうえで集団意思決定に加わる」という条件でもシミュレーションを行っているが、以下で述べるものと定性的には同じ結果が得られた。

### 3. 結果・考察

シミュレーションで得られた集団意思決定の結果について、条件ごとの正答率を **Difficult list** と **Easy list** に分けて示した (図 2). 図 2 では、**FA**, **SK** を用いた場合の、個人での正答率もあわせて破線で表示している. この結果は以下の 3 点にまとめられる. まず、いずれの場合でも、個人に対し集団での意思決定の正答率が上昇する、という集合知が確認された. 次に、**Difficult list** では、個人では **FA** が **SK** に比べ正答率が高いのに対し、大人数では **FA** 率を増していくにつれて正答率は単調に減少していくことが観察された. そしてもっとも重要な結果として、**Easy list** において、**FA**, **SK** いずれかのみが用いられた場合に対し、多様な戦略が使われた場合の方が、正答率が高くなるケースがあることが明らかになった (例: グループサイズ 90 では **FA** 率  $1/6 \sim 3/6$  が該当).

この結果がいかなるメカニズムによってもたらされたのかを検討するため、続いて、各問題の正答率に関する散布図を作成することで、より詳細な分析を行った (図 3). 図 3 における各グラフでは、横軸が **FA**、縦軸が **SK** での、個人での平均正答率を表している. 図の各点は 1 つの問題を示しており、両者の値に応じてプロットがなされている. また、各点の色は、グループサイズが最大 (= 90) のときに、単一の戦略が用いられた場合に比べて、多様な戦略が利用された場合 (簡単のため **FA** 率  $3/6$ , すなわち半分のグループメンバーが **FA** を、もう半分が **SK** を利用したケースのみを検討、以下「多様性あり条件」と表記) にどの程度正答率が上昇したかを表している (紫に近いほど上昇率が高く、赤に近いほど下降率が高い). 左側の縦 2 つのグラフは単一の戦略として **FA** が、右側の縦 2 つのグラフは **SK** がそれぞれ利用された場合を示している (以下、順に「**FA** のみ」「**SK** のみ」). **Easy list** では、① **FA** のみに対しては、 $FA < 0.5, SK > 0.5, FA + SK > 1$  の、② **SK** のみに対しては  $FA > 0.5, SK < 0.5, FA + SK > 1$  の領域に、多様性あり条件の正答率が大きく勝っていることを示す紫色のプロットが集中していることがわかる. ①では **FA** の、②では **SK** の個人による平均正答率が 0.5 を下回っているため、この戦略のみで集団意思決定を行う場合、グループサイズを大きくしていくほど正答率は 0 へと減少していく. これに対し、半数の参加者がもう一方の戦略を用いる多様性あり条件では、 $FA + SK > 1$  であることから、個人での平均正答率についての期待値が 0.5 を超え、各戦略のバイアスが解消された格好となる. その結果、グループサイズの増加とともに正答率は上昇していく.

このように、多様性をもたせることで、各戦略がはらむバイアスが部分的に相互に打ち消しあう格好となり、もっとも高い正答率を記録するケースが存在することが明らかになった.

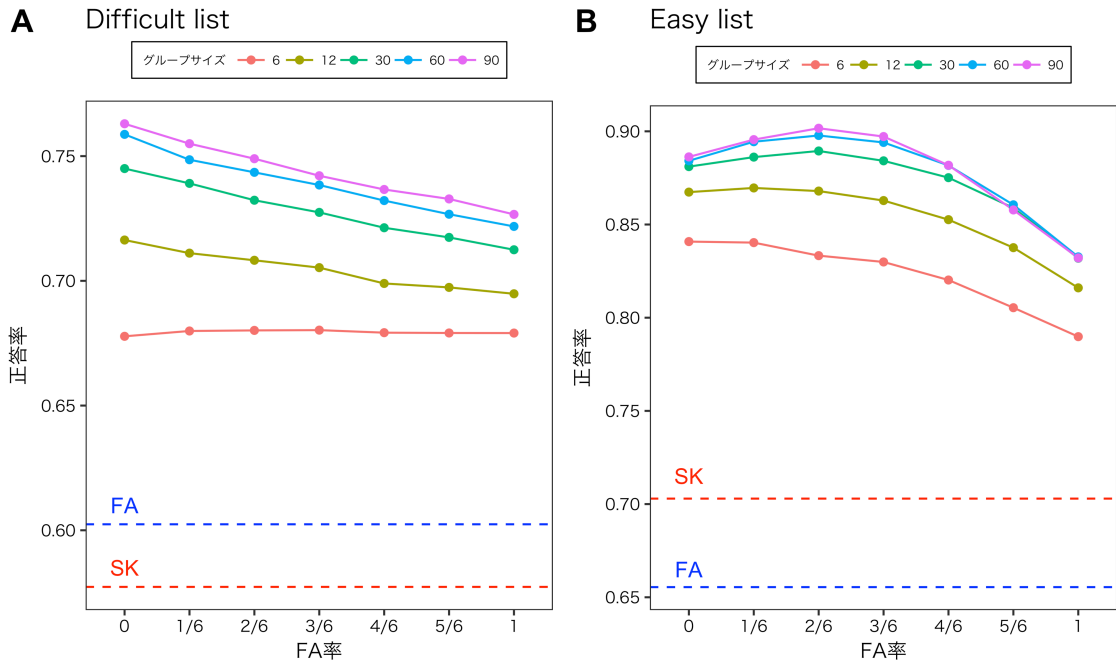


図2. 集団意思決定の結果. FA, SK での個人での正答率もあわせて破線で表示した.

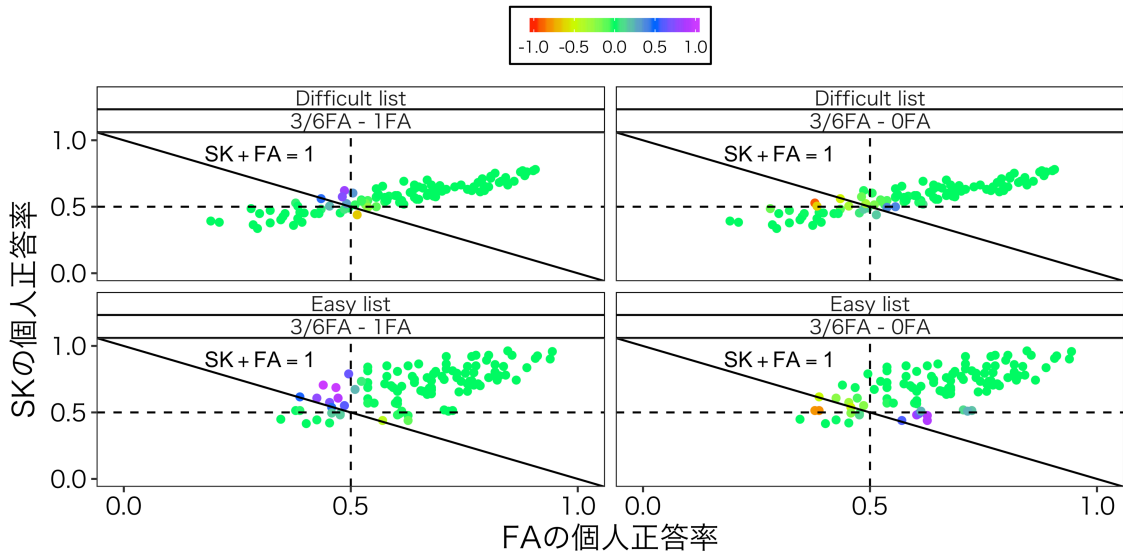


図3. 各問題の正答率に関する散布図.

#### 4. 結論

判断・意思決定研究はこれまで、人が多様な推論ストラテジーを用い得ることを明らかにしてきた。しかし他方で、これが集団での意思決定においてどのような影響を持つかに関してはこれまでほとんど議論がなされてこなかった。本研究では、多様性が集合知において重要な役割を担うという膨大な知見に基づき、ストラテジーの多様性が集団意思決定にもたらす影響について検討を行った。実験では、個人の推論を十分に説明するという知見が報告されている2つの推論ストラテジーを対象として、個人の推論に関するデータをもとに、計算機シミュレーションを通じて集団意思決定を仮想的に行った。その際、グループメンバーが利用するストラテジーの多様性を操作した。結果、多様性を持たせた条件で、どの単一のストラテジーが用いられた場合よりも正答率が高くなるケースがあることが明らかになった。詳細な分析の結果、多様性を持たせることで、各ストラテジーがはらむバイアスが部分的に相互に打ち消しあう格好となり、上記の結果がもたらされたことが示された。

#### 引用文献

- Condorcet, M., 1785/1994. *Éssai su l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*. McLean and Hewitt trans., Aldershot: Edward Elgar.
- 藤崎樹・本田秀仁・植田一博, 2017. ヒューリスティックの集合知：集団意思決定の視点に基づく適応性の理論的分析. 認知科学 採録決定.
- Gigerenzer, G., Todd, P. M. and the ABC Research group, 1999. *Simple Heuristics That Make Us Smart*. Oxford University Press, USA.
- Goldstein, D. G. and Gigerenzer, G., 2002. Models of ecological rationality: the recognition heuristic. *Psychological review* 109(1), 75-90.
- Hastie, R. and Kameda, T., 2005. The robust beauty of majority rules in group decisions. *Psychological review* 112(2), 494-508.
- Honda, H., Abe, K., Matsuka, T. and Yamagishi, K., 2011. The role of familiarity in binary choice inferences. *Memory & cognition* 39(5), 851-863.
- Honda, H., Matsuka, T. and Ueda, K., 2017. Memory-based Simple Heuristics as Attribute Substitution: Competitive Tests of Binary Choice Inference Models. *Cognitive Science* 41(S5), 1093-1118.
- Hong, L. and Page, S. E., 2004. Groups of diverse problem solvers can outperform groups of high-ability problem solvers. *Proceedings of the National Academy of*



- Sciences 101(46), 16385–16389.
- Kahneman, D. and Frederick, S. 2005, A model of heuristic judgment. K. J. Holyoak and R. G. Morrison ed., *Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*. New York: Cambridge University Press.
- Kahneman, D., 2011. *Thinking, Fast and Slow*. Macmillan.
- Lorenz, J., Rauhut, H., Schweitzer, F. and Helbing, D, 2011. How social influence can undermine the wisdom of crowd effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(22), 9020–9025.
- Mann, R. P. and Helbing, D, 2017. Optimal incentives for collective intelligence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201618722.
- Oppenheimer, D. M., 2003. Not so fast! (and not so frugal!): Rethinking the recognition heuristic. *Cognition* 90(1), B1–B9.
- Reimer, T. and Katsikopoulos, K. V, 2004. The use of recognition in group decision-making. *Cognitive Science* 28(6), 1009-1029.
- Surowiecki, J., 2004. *The Wisdom of Crowds*. New York, NY: Doubleday.