

多様性が導く集合知：集団意思決定の視点に基づく理論的分析

Wisdom of crowd from diversity : Theoretical analyses from collective decision making.

藤崎 樹, 本田 秀仁, 植田 一博[†]
Itsuki Fujisaki, Hidehito Honda, Kazuhiro Ueda

[†] 東京大学大学院総合文化研究科
Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo
bpmx3ngi@gmail.com, hitohonda.02@gmail.com, ueda@gregorio.c.u-tokyo.ac.jp

Abstract

In recent years, "diverse" adaptive heuristics has been proposed. They simultaneously produce biases in some questions. Therefore, when these heuristics are used in collective decision making, these questions impair the wisdom-of-crowds effect. To improve this, in this study, we hypothesized that diversity of inference strategies among group members enhances the wisdom-of-crowds effect. In a simulation study, based on individual inference data, we conducted collective decision making manipulating the diversity. The result revealed that some biases were cancelled out in the condition in which the diversity is high, resulting in successful wisdom-of-crowds effect.

Keywords — Heuristics, Wisdom of crowds, Collective decision making, Adaptive inference

1. はじめに

判断・意思決定研究は、これまで、ヒトが“多様な”ヒューリスティックを利用していることを示してきた。たとえば、Goldstein & Gigerenzer[1]は再認ヒューリスティック (Recognition heuristic, 以下 RH) を提唱している。RH とは、二者択一課題においては以下のように書き下される推論ストラテジーである：「2つの選択肢のうち、一方を再認することができ他方が再認できなかった場合、再認できたほうの選択肢に基準に関して高い値を割り当てる」。さらに最近では、ヒトは再認の際の流暢性 (fluency) や、選択肢に対する馴染み深さ (familiarity) などの主観的な経験を判断の際に利用しているという想定のもと、「記憶に基づく単純なヒューリスティック (memory-based simple heuristic)」が複数提案されている (fluency heuristic[2], 以下 FL ; familiarity heuristic[3], 以下 FA ; 詳細は表 1)。

これらのヒューリスティックはいずれも、推論において適応的な性質を示すことが知られている[4]。しかし同時に、正答率がチャンスレベルを下回る、バイアス[5]を生じさせる問題もいくらか生み出している。こうした問題は比較的少数ではあるものの、ヒューリス

ティックを用いた個々の推論をもとに集団意思決定が行われる局面を考えると、バイアスを生じさせる問題の多寡が集団のパフォーマンスを大きく左右することがありうる。というのも、ある問題に対し個人の正答率がチャンスレベルを上回る場合、多数決をもとに集団意思決定を行うと、正答率はグループサイズの増加に伴い1へと上昇する (いわゆる wisdom-of-crowds effect[6])。逆に、チャンスレベルを下回る場合は、正答率はグループサイズの上昇に従って0へと減少していくことが知られている[7]。すなわち、集団で複数の問題を解いていく場合、バイアスを生じさせる問題が wisdom of crowds の効果を弱めてしまう働きを持つためである。そこで本研究では、いかなる条件においてバイアスを生じさせる問題が少なく、wisdom of crowds の効果が高まるのかについて、主にこれら適応的なヒューリスティックを対象として検討を行う。

この問題に関して、筆者らはすでに以下のアプローチから検討を行っている (詳細は[8])。集団意思決定において、全メンバーは上述した3つのヒューリスティック (RH, FL, FA) を含む複数の推論ストラテジーのうち、いずれか一つ共通のものを用いて個人で意思決定を行う。この結果をもとに集団意思決定を行い、得られた正答率をストラテジー間で比較する。結果、バイアスを生じさせた問題が少ないストラテジーが、大人数での意思決定においてきわめて高い正答率を示すことを確認した。

上で述べたように、この研究では、集団の全メンバーが共通のストラテジーを用いた場合に限定して検討を行っていた。しかし他方で、集合知に関連する研究では、実に様々な研究分野 (意思決定[9][10], 問題解決[11][12], 選好予測[13], ゲーム理論[14]など) にわたって、多様性 (diversity) が集合知の質を左右する要因になりうるという指摘が繰り返されている。

表 1. 各推論ストラテジーの説明と, Honda et al.[4]での計測方法.

推論ストラテジー	内容
再認 ヒューリスティック モデル (RH)	2つの刺激のうち、一方が再認できもう一方が再認できなかった場合、再認できたものを基準値に関して高い値を持つと判断する。実験では、二者択一課題で用いた都市を1つずつ提示し、再認できたかを問う課題が設けられ、これにより計測された。
Fluency ヒューリスティック モデル (FL)	2つの刺激どちらも再認でき、そして一方がもう一方よりも流暢に再認できた場合、流暢に再認できたものを基準値に関して高い値を持つと判断する。再認の流暢性 (fluency) は、再認課題における反応時間の短さから操作的に定義された。
Familiarity ヒューリスティック モデル(FA)	2つの刺激のうちどちらも再認でき、そして一方がもう一方よりもなじみ深い (familiar) 場合、なじみ深いものを基準値に関して高い値を持つと判断する。実験では、二者択一課題で用いた都市を1つずつ提示し、なじみ深さを回答させる課題 (0-100評価) が設けられ、Familiarity は、ここでの評定値から操作的に定義された。
具体的な手がかりに 基づく推論モデル (Subjective Knowledge, SK)	典型的な大都市が持つ特徴 (例: サッカーチームがある)、あるいは典型的な小都市が持つ特徴 (例: 過疎化が進んでいる) などの手がかりを利用して都市の人口数を推定する。たとえば、ある都市に対し典型的な大都市が持つ特徴を多く再認できた場合、推定される人口数は多くなる。実験では、ある都市に対し参加者が再認した特徴は、人口の推定値として反映されるという仮定のもと、都市の人口数を回答させる課題が設けられた。都市のペアについて、モデルはこの推定人口数の大小をもとに予測を行う。詳細な議論は Honda et al.[4]を参照。

2. 本研究の目的

上述の多様性が集合知に与える影響に関する膨大な知見をもとに、本研究では、集団のメンバー間でのストラテジーの多様性が、集合知の効果の上昇をもたらすという仮説を立てた。というのも、あるストラテジーで生じたバイアスが、ストラテジーの多様性によって打ち消されるケースがあるからである。たとえば、ある問題の個人正答率が、参加者がストラテジーAを利用した場合は100%、ストラテジーBを利用した場合は40% (バイアス有) であったとする。この際、集団意思決定の全グループメンバーが共通のストラテジーを利用した場合 (=多様性ゼロ)、ストラテジーBではグループサイズの増加にともない正答率が0へと減少を続けることから、正答率の期待値は $(100 + 0) / 2 = 50\%$ へと収束していく。これに対し、グループメンバーが多様なストラテジーを用いる場合、たとえばメンバーの半数はストラテジーAを、もう半数はストラテジーBをそれぞれ用いるとすると、個人正答率は $(100 + 40) / 2 = 70\%$ となり、ストラテジーBのバイアスが解消される格好となる。結果、グループサイズの増加に伴って正答率は1へと上昇を続ける形になる。

本研究の目的は、実験を通じてこの可能性を検証することである。実験では、先行研究[4]で実施された行動実験から得られた個人の推論に関するデータをもと

に、計算機上で仮想的に集団意思決定を行う。その際、集団のメンバー間のストラテジーの多様性を操作することで、多様性がバイアスの解消、そして集合知の効果に与える影響について観察する。

3. 計算機シミュレーションによる検討

データ: 上で述べた筆者らが以前行った研究[8]と同様に、個人の推論に関するデータは、Honda, Matsuka & Ueda[4]から収集した。実験では、参加者107名に対し、まず二者択一課題が実施された。二者択一課題は、呈示される日本の都市のペア計210組それぞれについて、人口が多いと思う都市を回答させるというものである。また、実験ではこの二者択一課題に加えて、都市の再認、fluency, familiarity, 人口数を問う課題を実施している。Honda et al.[4]では、予測モデルとして、はじめに述べた3つのヒューリスティック (RH, FL, FA) に加え、具体的な手がかりに基づく推論 (Subjective knowledge, 以下SK) の計4つを提案している (表1)。各モデルは、これらの課題で得られたデータから、推論を予測することができる。本研究でもこれに従い、各モデルにおける予測値を算出し、この予測値を各モデルに従った場合に個人が行う推論とみなした。なお、FLとFAはともにRHを包含する(2つの都市のうち1つのみを再認できた場合は、再認で

きた方を選択する) 推論ストラテジーである。本研究は、参加者間で利用されるストラテジーの多様性が、バイアスを解消する可能性の検討に主眼を置いているため、RH は分析から除外し、参加者が利用する推論ストラテジーとして FL, FA, SK の3つを採用した。

多様性の条件：ストラテジーの多様性について、本研究では以下の3つの条件を設けた。集団の最小構成人数6人(シミュレーションの手続き参照)について、

- ① 多様性ゼロ：全員がどれか一つ共通のストラテジーを利用，以下“6x”と表記。
- ② 多様性中：3人があるストラテジーを利用し，残りの3人が別のストラテジーを利用，以下“3x3y”。
- ③ 多様性最大：2人が FL を，別の2人が FA を，残りの2人が SK を利用，以下“2x2y2z”。

シミュレーションの手続き：1回のシミュレーションは以下のような手続きで行われた(図1参照)。①まず，全実験参加者107名のうち，グループサイズぶんの参加者がランダムに選ばれる。②次に，選ばれた参加者について，条件に応じてストラテジーが割り振られる。たとえば，グループサイズが90，多様性の条件が2x2y2zの場合，集団のメンバーのうち30人はFLを，もう30人はFAを，残りの30人はSKを利用して推論を行う形になる。この際，誰がどのストラテジーを利用するかに関してはランダムに割り振りがなされる。③そして，各メンバーは，全210問について，割り振られたストラテジーに従い独立に推論を行う。④最後に，この推論の結果をもとに，各問題について集団意思決定がなされ，⑤1回のシミュレーションは完了となる。グループサイズは6, 12, 30, 60, 90の5段階が用意され，各条件の各グループサイズについて，それぞれ1000回ずつシミュレーションが行われる。なお，各条件における参加者個人での推論を「グループサイズ=1の場合の集団意思決定」とし，正答率の期待値を推論成績としてあわせて記録する。各個人の正答率の期待値は，全条件で (FL + FA + SK) / 3 という形で求められるため(正答率の計算方法も参照)，グループサイズ=1の場合の正答率はすべての条件で同じ値をとる。また，同課題を用いた先行研究[4][8]では，都市のペア全210組について，難しいペア105組(2つの都市の人口の差が大きい15都市からなるリストから構成されたもの)と易しいペア105組(2つの都市の人口の差が小さい15都市からなるリストから構成されたもの)とを分けて分析を行い，このペアの難易度に応じて異なる結果が見られることを報告している。

しかし本研究では，結果の定性的な側面については難易度による違いが観察されなかったため，両者を区別せず結果を記録した。

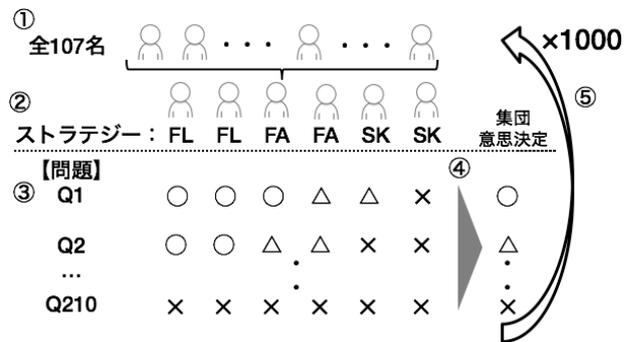


図1. シミュレーションの概略図。各番号は、①グループメンバーの選出②ストラテジーの割り振り③個人での意思決定④集団での意思決定⑤1回のシミュレーションの完了をそれぞれ表している。図は，グループサイズ=6，多様性2x2y2z条件の場合を表している。なお，意思決定における○は正解を，×は不正解を，△は「推論ストラテジーを利用できず(集団意思決定の行われ方参照)」にそれぞれ対応している。また，集団の意思決定で結果が△の場合，50%の確率で正解すると仮定した。

集団意思決定の行われ方：個人による推論は，正解・不正解・ストラテジーを利用できずのうちいずれかの結果をとる。この「ストラテジーを利用できず」であったグループメンバーがいかなる形で集団意思決定に参加するかに関して，筆者らは以前に，二通りの状況を想定できるという議論を行っている[8]。第一に，推論ストラテジーを利用できないメンバーは，2つの選択肢をランダムで選ぶ，すなわち1/2の確率で正解を，1/2の確率で不正解を選び集団意思決定に加わるというケースが考えられる。しかし他方で，集団意思決定においてヒューリスティックが果たす機能を検討した先行研究[15]において，ヒューリスティックを利用できたメンバーは，利用できなかったメンバーに比べて意思決定の際に強い影響力を持つという知見が報告されている。ヒューリスティックを利用できたことが集団意思決定において持つこうした「影響の強さ」を考慮にいれると，第二に，推論ストラテジーを利用できないメンバーは，集団意思決定に加わらないというケースも想定できる。以前の研究で，筆者らは両者を分けて分析し，状況によって異なる結果が得られることを観察している。しかし本研究では，どちらの状況に

においても定性的な結果に違いが見られなかったため、ヒューリスティックの性質を充分反映したと捉えられる第二のケースについてのみ検討を行った。なお、集団意思決定のルールとしては、シンプルでありながら優れたパフォーマンスを示すことが知られている多数決ルール[16]を採用し、集団意思決定に加わったグループメンバーに対して適応した。

正答率の計算方法：各条件における正答率は、正答率の期待値として計算された。たとえば 6x 条件では、全グループメンバーがそれぞれ FL, FA, SK のいずれか一つ共通のストラテジーを用いた場合の正答率の和を求め、これを3で割ることによって算出された。

4. 結果・考察

シミュレーションの結果について、問題をまとめ、グループサイズの増加に伴う正答率の推移を示したものが図2である。図2より、仮説通りストラテジーの多様性が高いほど集団意思決定での正答率が上昇することが明らかになった。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解明するため、次に問題ごとの分析を行った。分析では、簡単のため正答率に大きな差がみられた 6x と 2x2y2z の2条件をとりあげた。まず、グループサイズ最大(=90人)において、2x2y2z が 6x よりも 0.1 以上正答率が高かったものを「正確になった問題」として抽出した。この設定は、正答率の上昇がほとんど誤差レベルと捉えられる問題を分析から除外するためである。結果、正確になった問題として210問中32問が抽出された。次に、これらの問題について、3つのストラテジーそれぞれの正答率の推移を 6x と 2x2y2z とあわせて記録した。これにより得られた結果の典型的な例を図3に示す。図3の問題では、個人正答率が2つのストラテジー(図では FA, SK)で 0.5 を上回り、グループサイズが大きくなるにつれ正答率は1へと上昇していく。これに対し、残りの1つのストラテジー (FL) はバイアスが生じており、正答率は0へと減少を続ける。6x ではこの正答率が減少するストラテジーが影響する格好となり、正答率は 0.7 程度で頭打ちとなってしまう。これに対し、2x2y2z では、仮説どおり1つのストラテジーで生じたバイアスが解消される格好となり、正答率が1へと上昇を続けていることが見て取れる。なお、こうした「1つのストラテジーのみでバイアスが生じた」ケースは約 72%, 全 32 問のうち 23 問を占めていた。

最後に、関連する先行研究と本研究との差異につい

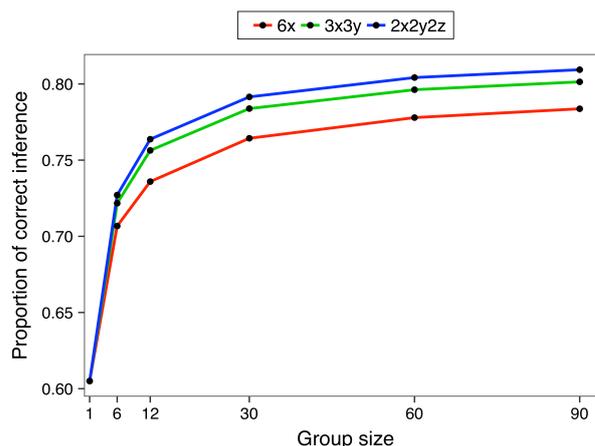


図 2. グループサイズを変化させた際の正答率 (Proportion of correct inference)の推移。

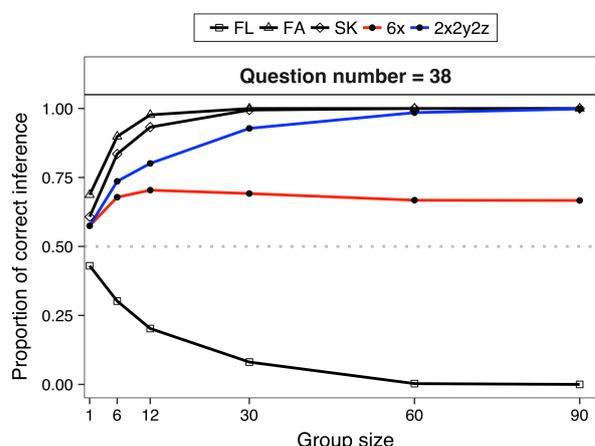


図 3. 正確になった問題の典型例。図では、問題番号 38 番における、グループサイズの増加に伴う正答率の推移を示している。各黒線は1つのストラテジーを表す。

て述べる。はじめに述べたように、多様性が集合知の質を左右するという報告が、意思決定分野においても複数なされてきた。しかし先行研究の多く ([9][17] など) は実験課題として数値推定課題を扱っており、そこでは意見の多様性を反映したと捉えられる推定値の多様性 (ばらつき)の度合いが検討の対象になっていた。例外的に、Luan, Katsikopoulos & Reimer[10] は本研究と同じく二者択一課題を扱い、さらにヒトや動物が用いる適応的なヒューリスティック (Take-the-best heuristic[18]など) を題材としており、多様性が集合知の効果を高めるケースについて、計算機シミュレーションの結果に基づき議論を行っている。しかしこの研究では、多様性は、グループサイズや学習フェーズにおけるサンプル数などの操作によってもたらされる、グループ内で探索されるキューの多様性として定義されており、集団のメンバーはあくまで共

通のヒューリスティックを用いている。多様性をグループ内で用いられる適応的な推論ストラテジーの多様性として捉え、これが集合知に与える影響について検討した研究は筆者の知る限り存在しない。よって本研究は、これまで様々な角度から議論されてきた集合知と多様性との関係について、新たな角度から光を投げかけるものであると言える。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金、基盤研究A(課題番号16H01725)、若手研究B(課題番号16K16070)による支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] Goldstein, D. G., & Gigerenzer, G. (2002). Models of ecological rationality: the recognition heuristic. *Psychological review*, *109*(1), 75-90.
- [2] Hertwig, R., Herzog, S. M., Schooler, L. J., & Reimer, T. (2008). Fluency heuristic: a model of how the mind exploits a by-product of information retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, *34*(5), 1191-1206.
- [3] Honda, H., Abe, K., Matsuka, T., & Yamagishi, K. (2011). The role of familiarity in binary choice inferences. *Memory & cognition*, *39*(5), 851-863.
- [4] Honda, H., Matsuka, T., & Ueda, K. (2017). Memory-based Simple Heuristics as Attribute Substitution: Competitive Tests of Binary Choice Inference Models. *Cognitive Science*, *41*(S5), 1093-1118.
- [5] Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.
- [6] Surowiecki, J. (2004). *The wisdom of crowds*. New York, NY: Doubleday.
- [7] Condorcet, M. (1785/1994). *Éssai su l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix* (trans. McLean & Hewitt). Aldershot: Edward Elgar.
- [8] 藤崎樹・本田秀仁・植田一博. (採録決定). 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*.
- [9] Lorenz, J., Rauhut, H., Schweitzer, F., & Helbing, D. (2011). How social influence can undermine the wisdom of crowd effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(22), 9020-9025.
- [10] Luan, S., Katsikopoulos, K. V., & Reimer, T. (2012). When does diversity trump ability (and vice versa) in group decision making? A simulation study. *PLoS ONE*, *7*e31043.
- [11] Hong, L., & 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.
- [12] Liker, A., & Bokony, V. (2009). Larger groups are more successful in innovative problem solving in house sparrows. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(19), 7893-7898.
- [13] Müller-Trede, J., Choshen-Hillel, S., Barneron, M., & Yaniv, I. (in press). The wisdom of crowds in matters of taste. *Management Science*.
- [14] Mann, R. P., & Helbing, D. (in press). Optimal incentives for collective intelligence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201618722.
- [15] Reimer, T., & Katsikopoulos, K. V. (2004). The use of recognition in group decision-making. *Cognitive Science*, *28*(6), 1009-1029.
- [16] Hastie, R., & Kameda, T. (2005). The robust beauty of majority rules in group decisions. *Psychological review*, *112*(2), 494-508.
- [17] Krause, S., James, R., Faria, J. J., Ruxton, G. D., & Krause, J. (2011). Swarm intelligence in humans: diversity can trump ability. *Animal Behaviour*, *81*(5), 941-948.
- [18] Gigerenzer, G., & Todd, P. M., & the ABC Research group (1999). *Simple heuristics that make us smart*. Oxford University Press, USA.