HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	多数決と集合知 : 認識論的民主主義に対する行動科学的アプローチ
Author(s)	中分, 遥
Citation	北海道大学. 博士(文学) 甲第12519号
Issue Date	2017-03-23
DOI	10.14943/doctoral.k12519
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/68541
Type	theses (doctoral)
File Information	Yo_Nakawake.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

博 士 論 文

多数決と集合知：
認識論的民主主義に対する行動科学的アプローチ

北海道大学大学院 文学研究科
人間システム科学専攻
中分　遥

目次

序文 … 2

第１章　認識論的民主主義と集合知 … 9

第２章　多数決の頑健性に対する理論的検討 I:
Hastie & Kameda (2005)のレプリケーション … 55

第３章　多数決の頑健性に対する理論的検討 II:
集団の能力分布と判断間の相関を直接操作した
コンピュータ・シミュレーション … 77

第４章　多数決の頑健性に対する実験的検討 … 100

第５章　選抜多数決の理論的検討：
フェデラリストによる選抜効果の妥当性に関して … 147

第６章　総合考察 … 185

引用文献 … 213

巻末付録

序文

0.1 導入

0.1.1　なぜ多数決を用いるのか？どのようにして正当化できるのか？

はじめに　多数決とは集団における意思決定ルールのひとつであり、2 つかそれ以上の選択肢が存在するとき最も多くの個体によって支持された選択肢を選ぶ決定ルールである（Landemore, 2012a)。多数決は現代において広く用いられており民主主義の根幹をなすものである (Novak & Elster, 2014)。Sadurski (2008) は人々が多数決を当然のこととして受け入れ、またそれを規範として認識していることを指摘している。しかし、あえて多数決を疑問視するとき、どのように多数決は正当化されうるのだろうか？これまで多数決をその手続の公平性や合理性の観点から擁護しようとする試みが行われてきたが、多数決の手続きには欠陥があることが指摘されてきた (Riker, 1982)。また政治哲学者である Risse (2004) や Saunders (2008) は多数決を擁護しようとする試みの多くが失敗してきたことを述べている。

こうした多数決の手続きにおける公平性や合理性といった観点を放棄し、多数決が生み出す結果のみに着目し、多数決がより優れた結果を生み出すという観点から多数決を擁護しようとする認識論的民主主義と呼ばれるアプローチが台頭した (epistemic democracy; Coleman & Ferejohn, 1986; Goldman, 2004; Landemore, 2012a, 2012b; List, 2012; List & Goodin, 2001; Schwartzberg, 2014)。認識論的民主主義とは多数決の「手続き」と「結果」を分離しその後者に着目することで、多数決が他の決定ルールよりも優れるという観点から民主的な決定ルールである多数決を擁護しようとするものである (List & Goodin, 2001)。では、彼らは何を根拠に数ある意思決定ルールの中から多数決が最も優れた結果を生み出すと主張しているのか。その理論的根拠となるのが集合知と呼ばれる

現象である。

集合知とは、各個人は平凡であっても凡庸な個人の判断を集約することによって非常に優れた成績をあげる現象である (Surowiecki, 2004)。Surowiecki (2004) は集合知によって集団は集団に属する専門家といった最も有能な個人よりも優れた成績をあげることを主張している。こうした集合知が多数決において生じることは Condorcet の陪審定理(1785/1994) によって示されている。Condorcet の陪審定理は多くの認識論的民主主義がその理論的妥当性を主張する上で依拠するものであり、認識論的民主主義の中核をなすものである (Anderson, 2006; Boven & Rabinowicz, 2006; Dietrich & Spierkamann, 2013; Fuerstein, 2008; Landemore, 2012a; List & Goodin, 2001; for review Schwarzberg 2016)。さらに認識論的民主主義者である Landemore (2012a) は、Condorcet の陪審定理のみならず、心理学を中心とした行動科学周辺領域の集合知に関する知見に基づき多数決がベストメンバーよりも優れることから民主主義を擁護する議論を展開している。

集合知を理論的根拠とすることに対する問題点　Landemore (2012a) がはじめとする認識論的民主主義者が主張するように集合知によって多数決は知識を持つ優れた専門家よりも優れた成績をあげるならば、認識論的民主主義は確かに説得的な議論である。しかし、本稿ではこうした認識論的民主主義には次のような問題点が存在していること指摘したい。

第 1 に、認識論的民主主義は条件付きでしか成立しない議論である可能性があるという点である。認識論的民主主義者は集合知という観点から民主主義を擁護しているが、集合知は常に成立する現象ではなく、多数決を用いることで集団が優れた成績を上げるためにはいくつかの条件が必要である。一般的に集合知研究において、個人の意見を集約するような決定ルールの成績は、個人の判断間の独立性や個人の成績分布に大きく依

存することが示されており、これは多数決に関しても同様である。そのため、集合知がこれらの条件によって制約されているように、多数決を用いることで優れた成績をあげることができる状況は限定的である可能性がある。

第 2 に、もし有能な独裁者が優れた成績を生み出すのであれば「認識論的独裁主義」が成立してしまう可能性がある。しかし、認識論的民主主義者が依拠する集合知という現象は多数決が平均的な個人を上回ることを示すものであり、集団で最も有能なベストメンバーに優れることを保障するものでは無い。この点に関しては政治科学者からも批判がなされており、Gunn (2014) は認識論的な観点から民主主義を擁護する議論に対して、少数の専門家と集合知の比較という観点が抜けていることを指摘している。また Gunn (2014) は、この議論を推し進めるために政治科学者は現実において一般的な人々が持つ知識と優れた専門家の持つ知識を比較する必要があることを指摘している。こうした、私心なき有能な聖人君主が存在するのであれば、そうした独裁者による統治は魅力的である。特に Plato が「国家」において有能な人物に政治を委ねるべきだという主張はまさにパフォーマンスの観点から論じられたものであった。近年、一定の基準を超えたものに追加で投票権を与えるべきであるという議論が政治科学において復活している (Epistocracy; Brennan, 2016; cf. Estlund, 2003; Holst, 2012)。このことを考慮するのであれば、こうした非民主的な主張に対して認識論的な観点から多数決を擁護するには、Gunn (2014) が指摘するように多数決と集団において最も優れたベストメンバーとの成績を比較すべきである。

ここで指摘したいのが、これらの 2 つの問題は独立した問題ではないという点である。多数決が理想的な成績をあげられるような環境においてベストメンバー（有能な独裁者）より優れた成績があげられたとしても現実が理想状態でない限り積極的に民主主義を

擁護する根拠にはならず、Gunn (2014) が指摘するように現実における人々の知識や能力を考慮する必要がある。

本稿の目的　認識論的民主主義者は集合知に基づき多数決を用いることを正当化している。しかし、果たして理想的な空間ではなく現実において集合知に影響する要因を考慮しても多数決はベストメンバーより優れた成績をあげるのだろうか。本研究の目的は、現実な環境下において生じ得る判断間の相関や個人の能力分布といった多数決を不利にするような要因を考慮してもなお、多数決は頑健にベストメンバーより優れているのか検討することにある。換言するならば、これまでナイーブに集合知がベストメンバーより優れることを前提とした認識論的民主主義に対し、その前提が妥当であるのか行動科学の観点から検討するものである。以下では本稿の構成を述べるとともに、その検討方法を述べる。

0.2 本稿の構成と概要

本稿の第 1 章では、本稿が扱う対象である、認識論的民主主義というアプローチについて紹介し、認識論的民主主義がその理論的根拠としている集合知という現象について説明する。そして、集合知に基づき多数決がベストメンバーより優れた成績をあげるには、個人の判断間の相関と能力分布という 2 つに要因が大きく関わっていることを指摘する。

第 2 章以降は、第 1 章で多数決・ベストメンバーの成績に影響することが示された個人の能力分布および判断間の相関という 2 つの要因を考慮に加え、理論研究・実証研究によって多数決とベストメンバーの成績を比較した。まず、理論研究として 2 つのコン

ピュータ・シミュレーションを第 2 章・第 3 章で行った。第 2 章では多数決がベストメンバーより優れるか否かは、個人の能力分布および判断間の相関に依存することを示すため、多数決がベストメンバーより頑健に優れた成績をあげることを示した Hastie & Kameda (2005) のシミュレーションに着目した。Hastie & Kameda (2005) によるシミュレーションの枠組みを用いて、個人の能力分布・判断間の相関の値を変化させてもなお多数決がベストメンバーよりも頑健に優れるのかを検討した。その結果、個人の能力分布と判断間の相関によっては、ベストメンバーが多数決よりも優れた成績を収めることが示された。しかし、Hastie & Kameda (2005) はそのシミュレーションの構造上、個人の能力分布・判断間の相関を直接操作できず、能力の分散を大きくすると判断間の相関が下がるというようにパラメータが連動して変化するシミュレーションとなっていた。そのため第 3 章では、個人の能力分布と判断間の相関を直接操作するシミュレーションを行なった。

第 3 章では、個人の能力分布（平均・分散）と判断間の相関を直接操作するようなシミュレーションを行い、平均・分散・相関の 3 つの要因によって描かれるパラメータ空間において、多数決がベストメンバーより優れる領域を検討した。その結果、多数決がベストメンバーより頑健に優れるのではなく、むしろベストメンバーより優れる状況は限定的であることが示された。

第 4 章では、実証研究を行った。実験データを用いて多数決とベストメンバーを比較することで、第 3 章で示した多数決がベストメンバーよりも優れる環境が、現実においてどの程度存在するのか検討した。その結果、多数決がベストメンバーより頑健に優れるという結果は得られなかった。このように第 2 章から第 4 章にかけて、個人の能力分布と判断間の相関を考慮に入れて検討した結果、多数決がベストメンバーよりも頑健に

優れた成績をあげるという認識論的民主主義者が前提とするような主張は支持されず、集合知の観点からそのパフォーマンスに基づき多数決を積極的に擁護するのは困難であることを指摘する。

第 4 章までの結果、多数決がベストメンバーの成績を頑健に上回ることは困難であることが示された。これまで多数決に関しては集団のメンバー全員が判断を行う単純多数決のみを射程に入れていたが、第 5 章では集団のメンバーから優れた人物を選抜し、選抜された人物のみによって多数決を行う選抜多数決に焦点を当てる。選抜多数決に着目する理由として、少数の精鋭を人民から選抜することで、より優れた政治が行えるとの観点から代表民主主義を支持するとの主張が、フェデラリストと呼ばれる一派においてなされているからである。こうした主張は Vermeule (2009) によって「選抜効果」と名付けられている。第 5 章では、フェデラリストによる選抜効果の妥当性について検証を行い、選抜効果によって選抜多数決は単純多数決よりも優れた成績をあげ、さらにはベストメンバーの成績をも頑健に上回ることができるのか検討する。

第 6 章では第 5 章までの結果を踏まえ、集合知は認識論的民主主義の理論的根拠となりうるかについて議論し、認識論的民主主義の課題とその展望について述べる。

以上が本稿における流れである。次章（第 1 章）では、本研究の背景となる認識論的民主主義についてより詳しく説明し、このアプローチが理論的根拠とする集合知のメカニズムについて述べ、本稿において検討していく個人の能力分布と判断間の相関という要因が集合知において重要であることを指摘する。

第 1 章

認識論的民主主義と集合知

1.1　本章の構成

認識論的民主主義とは、多数決が優れた成績を生み出すことから多数決を用いることを擁護するアプローチであり、その理論的根拠として集合知をあげている。しかし、集合知は現実的に生じうる幾つかの要因によって大きく損なわれるものであり、この点を考慮するならば、多数決がベストメンバーを上回る状況は限定的である可能性がある。本稿の目的は、集合知の成立に重要だが、これまで十分に検討されてこなかった判断間の相関と個人の能力分布を考慮に入れ、多数決がベストメンバーより優れた成績を上げ得るのかを再検討することである。

本章では、本稿が対象とするテーマの背景情報として、次の 3 点を述べる。第 1 に、本稿が議論の対象とする認識論的民主主義というアプローチとは何か、またそうしたアプローチがどのような経緯で生まれたのかについて述べる。第 2 に、認識論的民主主義が理論的根拠として用いる集合知という現象の発生メカニズムについて述べる。第 3 に、多数決が集合知によって優れた成績をあげるためには、個人の判断間の相関と能力分布という 2 つの要因が大きく関わっていることを示した上で、これらの要因を考慮した場合、多数決がベストメンバーよりも優れた成績をあげる状況が限定的である可能性があることを示す。

1.2　認識論的民主主義

1.2.1　はじめに

民主主義に関する数ある政治科学のアプローチの中で、本稿が認識論的民主主義に着

目する理由は、それが心理学や生物学といった行動科学の知見に関する言及がなされているためである。特に Surowiecki (2004) は、集合知によって集団が有能な個人よりも優れた成績を収めることを強く主張しており、この主張を繰り返すかのように認識論的なアプローチをとる政治科学者である Landemore (2012a) は、集合知に基づく集団が最も有能なベストメンバーよりも優れた決定を行うことを主張している。しかし、次節以降で説明するように、集合知という現象は集団がベストメンバーよりも常に優れた成績を収めることを保証するものではない。また、政治科学者である Gunn (2016) も、集合知という現象は、あくまでも集団が平均的な個人よりも優れた成績を上げることであり、優れた専門家よりも集団が優れることを示していないことを指摘している。

本節では、こうした集合知を理論的根拠として用いる認識論的民主主義というアプローチについて説明する。認識論的民主主義は、民主的な意思決定ルールである多数決を行うことで、他の意思決定ルールを用いた場合よりも結果的により優れた判断が生み出されるという観点から、多数決の行使を正当化する。では、なぜ認識論的民主主義者は、多数決を用いることの正当性をそのプロセスの公平性といった手続きではなく、意思決定の結果に求めるのか。以下ではその経緯について説明する。

1.2.2　なぜ多数決を用いることを正当化できるのか

多数決（majority rule）は、部族社会から近代社会に至るまで広く用いられている (Boehm, 1996; Novak & Elster, 2014)。現代においても、民主主義が導入されている多くの国では、議会における法律の制定、憲法の改正、あるいは地域の国家からの独立といった重要な決定において、多数決原理に基づいた決定がなされている。Sadurski (2008) は、多数決を用いていることに対して、人々はあえて意識することや疑問視することは

なく、多数決が正統性を持つことを当然とするような規範を持っていることを指摘している。また、実証研究によって、我々は幼児期（8 歳）からすでに他の集団決定ルールよりも多数決を好む傾向があることが示されている (Moessinger, 1981; Mann, Tan, MacLeon-Mogan & Dixon, 1984; 木下, 2009)。このように、我々は幼少期から、多数決を用いることが望ましいと認知しており、また実際に用いることを受容している。しかし、集団で意思決定を行う方法は複数存在するにも限らず、なぜ多数決を用いることを理知的に正当化できるのだろうか。この問いに対して、Risse (2004) は、「集団意思決定を行う際に多数決を用いることを人々は受容しているが、哲学的にこれを擁護する興味深い議論は驚くほど少ない」（筆者訳[1], p 41）ことを述べており、理知的に多数決を擁護することが困難であることを指摘している。

一見すると、多数決はその手続きの公平性という観点から容易に擁護できるように思える。しかし、実際には手続きの公平性に基づく多数決の擁護は困難である。この理由として、以下のような 2 つの理由があげられる。第 1 に、公平性を追求する決定ルールは多数決のみでないからである。Estlund (2008a) は、手続きという観点からすれば多数決は公平かもしれないが、人々が 2 つの選択肢に対してそれぞれ異なる選好を持つとき、コインやくじによって決めるという方法は典型的に公平な手続きであり、それゆえに、多数決を手続きの公平性のみに基づき擁護することは困難であると主張している。第 2

[1]原文は“Although majority rule finds ready acceptance whenever groups make decisions, there are surprisingly few philosophically interesting arguments in support of it.” (Risse, 2004, p 41)

に、Condorcet のパラドックスや Arrow の不可能定理で知られる社会的選択理論[2]における一連の研究は、多数決はその手続きにおいて民主主義が満たすべき要素や集団が持つべき性質を満たすことが不可能であると指摘している (Arrow 1951/1963; Condorcet 1785/1994)。特に、後者の知見に基づき、Riker (1982) は多数決に基づく民主主義は不可能であり誤っていると主張し、民主的な手続きは人民の意志を反映するものではないことを主張した。さらに Sunders (2010) は、多数決の正当性を擁護することに哲学的な価値はほとんど無く、多数決を擁護しようとする研究者の多くが結果的に擁護することを放棄したことを述べている[3]。

この危機に対して、手続きの公平性あるいは合理性といった問題に基づいて多数決

---

[2] 社会的選択理論とは、List (2013) によれば、個人の投票や選好をインプットとし、それらを合成させることによって得られる、集団としての決定や選好といったアウトプットに関する理論群であり、異なる投票制度によってどのように結果が異なるのか、数理的な立場から検討するものである。

Condorcet のパラドクスとは個人において選好の推移性を満たしているが、集団において判断を集約することによって推移性が満たされなくなるようなケースである。A と B と C という 3 人の候補者が存在するとき、A, B, C の順に好む太郎、B, C, A の順に好む二郎, C, A, B の順に好む三郎の 3 名がいるとする。このとき多数決を行うと B より A, C より B, C より A を好むこととなり推移性が満たされなくなる (Regenwetter, Grofman & Popova et al., 2009; cf. Condorcet, 1994/1785)。Arrow の不可能性定理とは、こうした Condorcet のパラドクスに着想を得て、選好を集約するにあたって社会的合理性や独裁の否定といった集団が満たすべき基準が同時に満たされないことを示したものであり、また選好に関する意思決定ではなく真偽に関するような集約的意思決定であっても合理性の観点から問題が生じることを List & Petit (2002) が示している (for review, List, 2013)。具体的な事例については第 6 章の 6.2.4 を参照性せよ。

[3] Saunders は多数決を擁護することの困難さに対して次のように述べている：“*So prevalent is the acceptance of the legitimacy of majority rule that it seems scarcely worth philosophical justification, yet when we look for one it is hard to find rational support for our adherence to majoritarianism—and a number of those who have considered the matter have ended up rejecting the majority principle (Guinier 1994; Hyland 1995, 85–99; Jones 1983; Risse 2004).*” (Saunders, 2010, p 215)。

を正当化するような、手続きに関する議論を放棄し、多数決を行うことによって生み出される優れた結果という観点から民主主義の擁護を試みる、認識論的民主主義 (epistemic democracy) [4]と呼ばれるアプローチが出現した (Coleman & Ferejohn, 1986; Goldman, 2004; Landemore, 2012a, 2012b; List, 2012; List & Goodin, 2001)。

List & Goodin (2011) は、これまでの手続き的公平性や合理性に基づいて民主主義を擁護するアプローチを手続的民主主義 (procedural democracy) と呼び、認識論的民主主義 (epistemic democracy) と区別している。List and Goodin (2011) によれば、手続主義的民主主義の特徴は、「決定の手続とは独立に『良い』あるいは『正しい』結果が存在するのではなく、適切な手続を踏まえることによって『良い』あるいは『正しい』結果が構成される」という点である (List & Goodin, 2011, p281 の一部を著者によって意訳)。しかしながら、多数決が手続き的に人民の意志を反映するものではないという点が、Riker (1982) によって批判されている。

一方、認識論的民主主義とは、決定の手続きと決定の結果とを切り離し、多数決が手続きとして公平であるか、また合理的に一貫しているのかは一切問わず、多数決が他の意思決定ルールよりも優れた成績をあげることから、民主的な決定ルールとしての多数決の利用を正当化するアプローチである (Coleman & Ferejohn, 1986; List & Goodin, 2001)。認識論的民民主主義は「決定の手続とは独立に、『良い』あるいは『正しい』結果が存在する」(List & Goodin, 2001) と考えるため、たとえ Riker (1982) のような手続

[4] 本研究は epistemic democracy を認識論的民主主義と訳したが、この epistemic とはギリシャ語における知識を意味する episteme (επιστήμη)に基づくため知識民主主義と翻訳可能であるが、epistemic の直訳である“認識論的”という訳を与えられた。実際、epistemic democracy に関する論文は認識論あるいは社会的認識論に関する哲学誌 (*Epistem*) において、積極的に取りあつかわれているためこの訳は妥当であると考えた(e.g. Anderson, 2008; Estlund, 2008b; Furenstein, 2008; List, 2012; Pivato, 2012, Weymark, 2015)。

きに関する批判が存在したとしても、手続きとは独立に存在する結果的な正しさを焦点としているという点で手続き的公平性への批判を回避可能である。

認識論的民主主義の評価基準は、ある決定ルールが最終的に「良い」結果を生み出すのかという点であり、この基準に則れば「全く過ちを犯さず、常に正しい選択を行える決定ルール」が、認識論的に最も優れた集団決定ルールとなる。認識論的民主主義とは、多数決はこうした完全な決定ルールには劣るものの、不完全な決定ルールの中で最も優れた成績をあげるという点に基づいて民主的な決定ルールとしての多数決を擁護する立場である (List & Goodin, 2001)。そして、その理論的な根拠となるのが、個人の判断を集約することで優れた成績が生み出される、集合知とよばれる現象である。

多数決によって個人の判断を集約することで優れた成績が生み出されることは、18世紀の哲学者・数学者である Condorcet によって示され、その業績は Condorcet の陪審定理と呼ばれている。Condorcet の陪審定理は認識論的民主主義における理論的根拠として多くの政治科学者によって用いられている (Anderson, 2006; Bovens & Rabinowicz, 2006; Dietrich & Spierkamann, 2013; Fuerstein, 2008; Landemore, 2012a, 2012b; List & Goodin, 2001; for review Schwarzberg 2016)。また、Condorcet の陪審定理のみならず、行動科学周辺領域における集合知に関する理論研究や実証研究が、認識論的民主主義の理論的根拠として用いられている (Landemore, 2012; Stevenson, 2016)。

しかし、本稿は Condorcet の陪審定理も含め、こうした個人の判断を集約することで優れた成績を生み出される集合知という現象のみに基づき、多数決を正当化するのは困難であることを指摘する。なぜなら、以下で示すように、Condorcet の陪審定理を含め、個人の判断を集約することで優れた成績をあげることを示す集合知の理論モデルは、多数決（あるいは集団）がベストメンバーよりも優れた成績をあげることを保証するもの

ではないためである。以下では、個人の判断を集約することで優れた成績が生み出されるという集合知とよばれる現象について解説する。

1.3 集合知効果の理論的説明

1.3.1 集合知の理論的説明背景と本研究が対象とする集団意思決定状況

集合知とは何か　集合知 (wisdom of crowds / collective intelligence) とは、集団のひとりひとりは平凡であっても、集団に属する個人の判断を集約することによって非常に優れた成績をあげる現象である (Surowiecki, 2004)。集合知に関する代表的な知見として Surowiecki (2004) は Francis Galton による研究を紹介している (Galton, 1907a, 1907b)。Galton は雄牛の体重を複数の個人がそれぞれ独立に推測する実験を行い、実験によって得られた各参加者の推測した値の平均値や中央値といった代表値を取ることによって個人の判断を集約した。その結果、集約された値は、真の体重に非常に近づくことを見出した[5] (Galton, 1907a, 1907b; Hooker, 1907; Wallis, 2014)。このように、個人が独立に判断を行なった後、個人が互いに相談などのインタラクションを行わず、複数の個人の判断を統計的に集約（e.g.平均値、多数決）することで作られた「集団」は、心理学において統計化集団 (statisticized group) あるいは名義集団 (nominal group) と呼ばれている (Lorge, Fox, Davitz & Brenner, 1958)。統計化集団・名義集団に関する研究は、1920 年代

[5] Surowiecki (2004) において、Galton は平均値を求めたと報告されているが、Galton (1907a) が Nature 誌に出版された ”Vox populi” において、用いていたのは中央値（”middlemost point”）を用いている。平均値を求めることで集合知が起こることを主張したのは Hooker (1907)である。Hooker (1907) は Galton (1907a)によって報告された図表をもとに平均値を概算し、中央値よりも真値に近い（真値が 1198 ポンドであったのに対して概算された平均値は 1196 ポンド、中央値が 1207 ポンド）ことを指摘した。その後、Hooker (1907) への返信において Galton (1907b)が 1197 ポンドであることを報告している。これらの経緯については、Levy & Peart (2002)や Wallis (2014)が詳しい。

から部屋の温度や瓶の中の物体の数・重さなど、様々な対象に関して研究が行われており、個人の判断よりも統計的な判断の集約が優れた成績をあげることが社会心理学を中心に見出されてきた (Bruce, 1925; Gordon, 1924; Gurnee, 1937; Hastie, 1986; Hill, 1982; Lorge et al., 1958)。また近年では、生物学者 (Krause, James, Faria, Ruxton & Krause, 2011) や社会科学者 (Lorenz, Rauhut, Schweitzer & Helbing, 2011) によって、瓶の中のビー玉の数や移民の数を推測するといった数値を推測する課題に対して、同様の手法を用いた検討がなされてきた。

1.3.2　集合知の理論モデル

前述したように、集団に属する個人が議論などのインタラクションを介さず、個人の判断を合成することで集合知が生じるという現象は、心理学的な現象ではなく統計的な現象として解釈されている。本節では、集合知の理論モデルに基づき、集合知が生じるメカニズムについて、平均値に基づく判断を行う場合について説明し、多数決が同様の枠組みで解釈できることを述べる。

平均値による判断と集合知効果　複数の個人の意思決定の平均値に基づく判断が優れた成績を生み出すという現象は、一般に統計学において、計測に伴うランダムなノイズ（誤差）が、計測の回数を増やし、その平均値（期待値）を求めることでキャンセルアウトされる現象と同様に解釈できる。この点を解説するために、Galton (1907a, 1907b) が実験で行ったような、複数の個人が独立に牛の体重や瓶の中に入っているビー玉の数といった値を推測し、その後、個々人の推測値を集約するような場面を想定していただきたい。雄牛の体重や実際に瓶の中に入っているビー玉の数といった推測対象の真の値を t とし、個人 i の推測値を x_i、観測に伴うランダムなエラー（誤差）をϵ_iとするとき、

個人の推測値は以下のように表現される。

$$x_i = t + \epsilon_i$$

エラーϵ_iは、期待値を 0 とするランダムなノイズ（エラー）である。個人の判断が独立であり、かつ集団の人数が十分に大きいとき、中心極限定理[6]によって、「集団の平均値に基づく判断」は、「平均的個人」の判断よりも正確な判断となる (Hogarth, 1978)[7]。これが、個人の判断を集約した判断が、各個人が単独で判断を行うよりも優れた成績をあげるメカニズムである。また、集団における個人の判断の誤差項の平均値 ($\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\epsilon_i)$) は、大数の法則[8]により、集団の数が増えることによってエラーの期待値である 0 にな

---

[6]中心極限定理とは、ある平均 μ 分散 σ^2 の集団があり、その集団から N 個の標本をランダムにサンプリングするとき、N が大きくなるにつれ、その標本平均が平均 μ 分散 σ^2/N の正規分布に従うことを示す定理である (Hays, 1993)。

以下、Hogarth のモデルにおいて、どのような意味を持つのか考える。Hogarth のモデルでは、個人の推測に伴う誤差分布は平均 0 であり分散は指定がないので s^2 とする。ここで N 人の意思決定者をランダムにピックアップした場合の N 人の標本誤差は、N 人が平均値に基づき判断した場合の集団の誤差と同値である。この集団の誤差は平均 0 分散 s^2/N に従う。誤差の平均が 0 であるため分散が少ないことは、判断の精度が正確であることを意味する。よって集団の判断の分散 s^2/N は、個人の判断の分散 s^2 より、分散が小さいためより集団の判断が正確である。

[7] 「集団における推測値（個人の推測値の平均）」と真値とのずれ（差の絶対値）は、「平均的な個人の推測値」と真値とのずれよりも低くなる。集団の人数が N 人であるとき次のような式で表現できる。

$$\left| \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i) - t \right| < \left| \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - t) \right|$$

[8] 大数の法則とは、サンプル数が十分に大きいとき、標本平均が母平均に近づくことを示すものである(Hays, 1993)。

ると解釈することもできる[9]。これが、個人の判断した値による平均値（期待値）をとることによって、牛の体重やビー玉といったランダムな知覚誤差が生じる課題で、集団が優れた成績をあげるメカニズムである[10]。このように、判断を集約することによってその推測に伴う誤差が消失する現象は統計的な現象であり、集合知効果と呼ばれている(wisdom-of-crowds effect; Lorenz et al., 2011; List & Vermeule, 2014; Rauhut & Lorenz, 2011; Vul & Pashler, 2008)。

---

[9] ただし、全員に共通して真値よりも値を大きく見積もるといったバイアス（b）がある場合（下式参照）、集団平均を用いたとしても共通したバイアスが残る。

$$x_i = t + b + \epsilon_i$$

[10] また平均値による判断による集合知効果を説明するモデルとして Page (2007) による多様性予測定理(Diversity Prediction Theorem)が知られている。これは集団の推測値（集団平均）を c ($c = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i)$) とするとき、集団の成績を集団の推測値と真値の二乗差として表現するとき以下のような式で表現される。

$$(c - t)^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - t)^2 - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - c)^2$$

Page (2007)は、式の最後の項であり、個人の推測値と集団の推測値の隔たり（二乗差）を集積した項（$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - c)^2$)を多様性として表現している。上の式は、集団の成績は個人の成績（の平均値）よりも、多様性の大きさだけ優れた成績を上げると解釈される。

ただし、この多様性という概念は数理的にラベリングされた概念であり、現実の集団における多様性と同義であるとはいえないだろう。また、多様性が大きいと集団の成績が良くなるとは限らず例えば、真値が 0 のときに(-1, -1, 1, 1, 2)と判断する 5 名と、(1, 2, 500,600, 800)と判断するとき、後者の方が多様性は高いが平均に基づく判断（および中央値）は大きく真値から遠ざかっている。また、多様性という概念は、集団の判断間の相関および能力の分散という 2 つの独立した概念を含むものとしてしばしば用いられており注意が必要である(cf. Luan & Katsikopulps, 2010)。

多数決による判断と集合知効果　集合知効果は、多数決の場合でも生じることが知られている。集合知と多数決を結びつける理論モデルは、その定理を発見した Condorcet の名前を冠し、Condorcet の陪審定理と名付けられている (Black, 1958; Surowiecki, 2004; Landemore, 2012a; List & Goodin, 2001)。Condorcet の陪審定理は、次のような前提の上に成り立つ。第 1 に、2 つの選択肢があり、一方の選択肢が正しく（公共の利益となる）、もう一方の選択肢が誤りであるとする前提である。第 2 に、個人が正しい選択肢を選択する確率 (p) が 0.5 以上であるという前提である。第 3 に、個人は独立に判断を行うとする前提である。Condorcet の陪審定理は、これら 3 つの前提が満たされるとき、集団の多数決による正答率は、集団の人数が増加に伴い 1 に近づくことを示すものである[11]。

多数決の正答率P_Gは、個人の正答率を p 集団の人数を N とするとき、以下の式によって求めることができる。

$$P_G\,(p, N) = \sum_{h=(N+1)/2}^{N} \binom{N}{h} p^h (1-p)^{N-h}$$

この式は、N 人の集団の中において、正当する人数が過半数 h を超える確率を示している。図 1-1 は、この式に基づき、正答率 (p) が 0.75 の場合に、集団の人数 (N) を 2 名ずつ増やした場合の多数決の正答率 (P_G) を求めプロットしたものである。Condorcet の陪審定理で示されたように、人数が増加することによって多数決の正答率が 1 に近づくことが、図 1-1 から理解できる。

[11]前述した大数の法則により集団サイズが大きくなるにつれ正解した人物の比率が正答率 ($p > 0.5$) に近づくので、半数以上が正解するため多数決の正答率が 1 に近づくことが理解出来る。数学的な証明に関しては Grofman, Owen & Feld (1983)が詳しい。

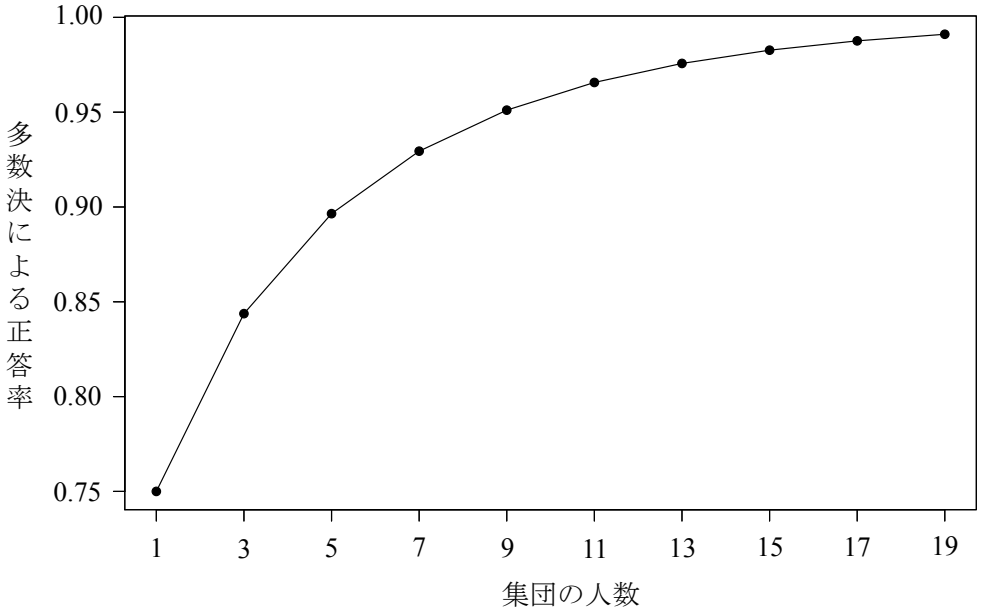


図 1-1. 集団の人数と多数決による正答率

Condorcet が陪審定理によって示した集合知メカニズムは、ノイズの混ざった信号を受信する際に、その装置を複数並立に設置し、多数決的によって処理することにより信頼性が増すメカニズム (Moore & Shannon, 1956)[12] と同一の現象（部分的に同一の数理モデルで記述される）として理解でき、多数決による集合知効果も、平均値を算出することによる集合知効果と同様にノイズをキャンセルするメカニズムとして理解できる[13]。

これらの集合知効果は、たとえ個人が平凡であっても、集合的に情報を処理することで集団として非常に優れた成績が創発されるという現象とも解釈できる。例えば、Condorcet の陪審定理に基づけば、例え各個人の正答率は 0.55 といったランダムより少

---

[12] Moore & Shannon (1956) はある回路 X に電流が流れた時に、回路 X のコイルなどによってリレーのように別の回路 Y のスイッチが入る、リレー回路における信頼性に関して、Condorcet と同様の発想でモデル化している。回路 X のコイルに電流が流れるとき、Y にスイッチが接続された状態になる確率を α（接続されてない確率を $1-\alpha$）とし、X のコイルに電流が流れていない場合において Y のスイッチが接続された状態になる確率を c (接続されていない状態 $1-c$)とし、α が 1 に近く、c が 0 に近いほどリレー回路の信頼性が高いとした。リレー回路の信頼性を高めるために、装置を並列させる場合が Condorcet の陪審定理に相当する。

また、これは同時期に心理学において提案され、その後レーダーの信頼性などの分析に使われている信号検出理論 (Tanner & Swets, 1954) における、hit (α)、 miss ($1-\alpha$)、 false alarm (c)、correct rejection ($1-c$)と同一の構造を持つ。信号検出理論の文脈において信頼性を集合知（単純多数決）によって高める理論研究としては、心理学では Sorkin, West & Robinson (1998)、生物学では Wolf, Kurves, Ward, Krause& Krause (2013)などをあげることができる。また、一個体内（ヒト）の複数の知覚に関するインプットを統合する場合においても、単純多数決のようなシンプルなモデルではないが同様のロジックに基づき理解できる(Ernst & Banks, 2002) 。Moore & Shanon (1956)に直接的に類似するモデルとして回路の並列・直列と同様のロジックで、ある提案を受理するのかといった組織の意思決定(多数支配的, 階層的)をモデル化した経済学の研究である Sah & Stiglitz (1986)をあげることができる また、このモデルの発展としてネットッワーク構造を導入した研究としては Ioannides (2012) などがある。

[13] 個人の正答率を p 、個人の推測に伴うランダムな誤差を ϵ とし（ただし、$\epsilon > 0.5$）、個人の正答率を $p = 1-\epsilon$（ただし、$\epsilon > 0.5$）として表現するのであれば、集団のサイズが十分に大きいとき、多数決によってランダムに伴う誤差 ϵ が消失すると解釈できる。

し高い程度であっても、集団サイズが大きくなるにつれその正答率は 1 に近づき、滅多に過ちを起こさない非常に優れた判断が可能になる。Condorcet の陪審定理は、集約によって優れた成績が生み出される仕組みを見出す理論モデルとして (Fific & Gigerenzer, 2014; Kameda et al., 2010; List, 2004; Surowiecki, 2004; Wolf et al., 2013)、また認識論的民主主義の理論的根拠としてあげられる (Anderson, 2006; Boven & Rabinowicz, 2006; Dietrich & Spierkamann, 2013; Fuerstein, 2008; Landemore, 2012a; List & Goodin, 2001)。

集合知に関する理論モデルとベストメンバー　本節では、Hogarth による理論モデル、Condorcet の陪審定理を紹介し、平均値による推測あるいは多数決を行い個人の判断を集約することによって、個人の推測に伴う誤差が消失（エラーキャンセル）することで優れた成績を上げることができることを説明し、こうしたエラーキャンセル効果が集合知効果 (wisdom-of-crowds effect; Lorenz et al., 2011; List & Vermeule, 2014; Rauhut & Lorenz, 2011; Vul & Pashler, 2008) と呼ばれていることを示した。

しかし、ここで指摘したいのが、Surowiecki (2004) が集合知に基づく意思決定が頑健に優れた成績をあげることを主張する一方で、集合知効果を統計的に説明する Hogarth (1978) の理論モデルおよび Condorcet の陪審定理は、集約に基づく決定がベストメンバーより優れることを保証するものではないという点である。Hogarth (1978) の理論モデルは、「集団の平均値に基づく判断」は「平均的個人」の判断よりも優れることを示すものであり、ベストメンバーよりも常に優れることを示すモデルではない。また、Condorcet の陪審定理に関しても、個人の能力が均一であるという前提のもとで、多数決の意思決定 (P_G) が個人の正答率 (p) よりも高いことを示すモデルであり、個人の能力が異なるような状況において多数決がベストメンバーよりも優れた成績をあげることを保証するものではない。

また、Hogarth (1978) の理論モデルおよび Condorcet の陪審定理は共に、集合知の成立に大きく関わる個人の能力分布や判断間の相関といった要因については考慮しておらず、理想的な状態の下での個人の判断の集約が、集合知効果を生ずるとするものである。しかし、現実における意思決定場面においては、例えば Condorcet の陪審定理が想定するような個人の能力が均一であり、個人の判断が統計的に無相関であるという前提は非現実的である。次節では、こうした個人の能力分布や判断間の相関という要因が多数決およびベストメンバーに与える影響についてレビューする。

1.4 集合知の成立条件：ベストメンンバーとの比較において

1.4.1 集合知に与える二つの要因：判断間の相関と個人の能力分布

前節では、平均値にもとづく判断や多数決が優れた成績を生み出すという集合知と呼ばれる現象が、個人の推測に伴う誤差の統計的なエラーキャンセルによって生じることを説明した。しかし本節では、平均値に基づく判断や多数決は常に集合知によって優れた成績をあげるとは限らず、その成績は判断間の相関と個人の能力分布に大きく依存することを指摘する。これによって、集約に基づく判断（平均値・多数決）がベストメンバーより優れた成績をあげ得るかは、これらの要因に大きく依存することを示す。以下では集合知の成績に影響を及ぼす要因である、個人の判断間の相関と能力分布についてそれぞれ焦点を当てる。

1.4.2 集合知が対象とする集団意思決定状況

判断間の相関・能力分布についての説明をする前に、本稿においてなぜ個人の判断を

集約する場面で討論といった相互作用を想定せずに機械的に集約する状況を想定するのか説明する。それは、本稿の主たる関心が、多数決によって生み出される集合知のパフォーマンスを検討することにあるためである。

認識論的民主主義がその理論的根拠として用いている Condorcet の陪審定理は、前節で述べたように統計的な現象であり、また Landemore (2012a)が集合知の実証研究として言及している Galton (1907a, 1907b)の集合知が生み出されるという結果も統計的な現象である。このように、集約によって集団が優れた成績をあげる集合知と呼ばれる現象は、討論によって個人の意見が変容することで集団がより優れた判断を行うようになるといった心理的なプロセスを媒介するものでは無い。集合知とは、統計学において観測数を増やし観測された値を機械的に集約することで、観測に伴うランダムな誤差がキャンセルアウトされるのと同様に、判断を行う個人の数を増やし判断を機械的に集約することで判断に伴うランダムな誤差（エラー）がキャンセルアウトされる統計的な現象である(Stroop, 1932; Lorenz et al, 2011)[14]。

このように、本稿では個人の判断を機械的に集約する場面を想定するが、例えば多数決を行う場面において、投票に先立ち、他者と相談することやメディアなどの社会的影響を受け個人の判断が投票を行う前に変容するような場合が考えられる。一方で、個人が全く他者からの影響を受けずに自ら熟考して投票をする場面も考えられる。本研究は、こうした社会的影響の有無の違いはあれど最終的に判断を機械的に集約する場面を想定する。

また、判断を投票などで機械的に集約せずに、話し合いによって全員の意見が一致す

[14] 第 3 章でも触れるが、Stroop (1932)は単一の個人においても複数回決定を行うことでノイズがキャンセルされることから、（今日では）集合知効果と呼ばれる現象は集団化による特性というよりも統計的な効果に過ぎないという点を批判的に論じている。

るまで討論をすることで判断を集約する方法が考えられる。こうした話し合いによって、判断を集約する場面に関しては、社会心理学において実験的に検討されている。こうした場面を取り扱かった研究については、Brown (1988)、亀田（1997）、Cass & Sunstein (2015)などを参照せよ[15]。

1.4.3　判断間の相関

「判断の独立性」と判断間の相関　判断の集約が高いパフォーマンスをあげると主張する Surowiecki (2004) においても、集合知の成立条件として個人の判断の独立性があげられており、個人が他者の意見を参照するのではなく独立に考え決定を行うことが重要であることが指摘されている。この点は、Condorcet の陪審定理が、個人が互いに相談せずに独立に決定することをその前提に含めているように、集合知の成立において重要である。集団に属する個人が他者と相談したり、他者の判断を参照したりすることは、集合知の文脈においては社会的影響と呼ばれ、こうした社会的影響によって個人の判断の独立性が損なわれることで、集合知効果が限定的になり集団全体としてのパフォーマ

---

15 話し合いで判断を集約することで多数決よりも優れた決定を行うことができると一般に考えられがちである。しかし、社会心理学で行われてきた知見に基づけば、討論が必ずしも優れた成績をあげるものではなく、むしろ問題を引き起こす場合があることが知られている。例えば、Janis (1982)は「集団思考 (group think)」として、集団は討論をすることで失敗するケースについて、数多くの例をあげている(for review, Paulus,1998)。集団が討論において失敗する原因として、他者からの評価を気にすることで自らの意見を述べない場合があることや(cf. Noelle-Neumann, 1974)、一方で自信過剰になり（実際は他者より優れていない場合においても）他者よりも優れていると考え他者の主張を受け入れないようなバイアスがあること(overconfidence; Moore & Healy, 2008)、討論をすることでより過激な意見を持つようになること (e.g. 政治的問題など) が挙げられる(group polarization; Myers & Lamm, 1976)。これら集団の討論が失敗する原因に関しては、Sunstein & Hastie (2008)が詳しい。
　また、本研究が想定するような客観的な解が存在する場合に関しても、多くの研究では平均的な個人の能力と比べて同等かわずかに上昇する程度であり、ベストメンバーの成績に劣ることが示されている(for review, Gigone & Hastie, 1997)。また討論を行ったとしても結果的に最も高い成績を挙げた人物に集団が従うケースが少ないことが示されている(for review, Sunstein & Hastie, 2015)。

ンスが劣化することが実証的・理論的に示されている (Owen, 1986; Lorenz et al., 2011)。

このように、社会的影響は個人の成績を劣化させるため、いかに他者の意見に影響されず個人が独立に熟考した判断を行うかが、集合知を生み出す鍵であると主張される (Surowiecki, 2008; Lorenz et al., 2011)。しかし、Ladha (1992) は、個人の独立性という概念の曖昧性を主張している。Ladha (1992) は、例えば陪審場面において、例え個人が独立に判断を行なったとしても、個人が共通の証拠に基づいて判断するのであれば、個々人の判断間に相関が生じることを指摘した。また、他の例で考えると、明日の天気を予測する際に、人々が共通して今日の星空に基づいて判断を下した場合、同様に判断間の相関が生じるであろう。このように、たとえ個人が独立に判断していたとしても、共通の判断基準や思考過程といった何らかの要因が意思決定者に共通の影響を与えるのであれば、個人の判断間に相関が生じうる。そして、こうした相関は判断間の相関を高め、集合知による集団の成績は劣化する (Ladha; 1992; Dietrich, 2008; Dietrich & List, 2013)。

以下では、次の点について詳しく説明する。第 1 に、個人が社会的影響を受けることで集団の成績が劣化することを示す実証研究・理論研究について、前節で用いた Hogarth (1978) の理論モデルおよび Condorcet の陪審定理を用いて説明する。第 2 に、例え個人が独立に判断を行なったとしても、判断間に相関が生じている場合には多数決の成績が劣化することを思考実験によってデモンストレートする。このデモンストレーションによって、たとえ個人が独立に判断を行なったとしても、判断間に何らかの理由で相関が生じている場合、多数決の成績が劣化しベストメンバーよりも不利になることを示す。

社会的影響が集合知に与える影響　判断の独立性をその前提条件とするように、集合知を成立させるためには互いに相談せず独立に判断することがその前提条件である。しかしながら、現実において我々は他者から様々な社会的影響を受けることが社会心理学

では見出されてきた (Asch, 1955; Cialdini & Goldstein, 2004; Claidiére, Bowler & Whiten, 2012; Festinger, 1954; Zajonce, 1965)。こうした社会的影響が人々の意思決定に大きく影響を与えることを示したのが Asch (1955) の同調実験である。Asch (1955) は解が明らかな課題であっても人々がしばしば他者の影響を受けることを示した。こうした他者の決定情報を参照し自らの判断を修正することは、個人レベルでは合理的だが、集団レベルでは非合理的な結果を生み出す情報カスケード[16]と呼ばれる現象が知れている (Anderson & Holt 1997; Bikhchandani, Hirshleifer, & Welch, 1992, Banerjee, 2002; Hung & Plott, 2001)。同様に、集合知の文脈においても、他者の情報を参照することで個人レベルにおいては成績を高めるが、集団の多様性が損なわれることが示されている (King, Cheng, Starke, & Myatt, 2012; Lorenz et al. 2011)。Lorenz et al. (2011) は、「スイスの人口密度」や「チューリッヒへの移民の数」などを自らが持つ知識に基づき推測する課題を

[16]情報カスケードの説明として Banerjee (2002) が用いた例を紹介する。この例では、A と B という 2 つのレストランがあり、100 人の客がどちらかのレストランの前に並び、どちらか良いと思う方を順番に選んで入るという状況を設定している。客は私的情報と公的情報の 2 つの情報によってどちらが優れているのか判断するとする。私的情報とは客が独自に得たどちらのレストランが優れているのかを示す情報である。各客が持つ私的情報は全て同等の価値があるとする。客は基本的には私的情報を用いて判断するが、A・B を支持する私的情報の数が同じときは、公的情報を用いて判断する。この公的情報とは、事前の調査によって、「A の方が良い確率は 51%、B の方が良い確率は 49%である」という情報で、客全員が共通にもっているものである（つまり、客が公的情報によって判断する場合、全員 A を選択する）。ここで 100 人のうち、99 人は B が優れているという私的情報を持ち、1 人は A が優れているという情報を持つとする。1 人目の客は A が優れるという私的情報にもとづき A を選択したとする。すると、2 人目の客は自らの持つ私的情報では B が良いとするが、1 つ前の客は A が良いと判断しているという私的情報が加わることで、自分（2 人目）と 1 人目の同価値である私的情報[16]は相殺される（自他問わず、私的情報は同価値）。この結果、公的情報によって A を選択することが個人にとって合理的となる。3 人目以降は、B が優れているという私的情報を持っていたとしても、それ以前の 2 人の客は A が良いと判断したため、A を選択することが合理的となる。これが 3 人目以降 100 人まで連鎖される。すると、99 人は B が優れているとする私的情報を持つにも関わらず、100 人全員が A を選択するという非合理的な結果が生まれることになる。

用いて、社会的影響が集合知効果に及ぼす影響を検討した。実験は 12 名の集団で行われ、参加者は各課題に対して複数回意思決定を行う。実験条件として集団内の他者の情報を参照できない無情報条件と他者情報として集団メンバーの平均値のみが与えられる条件とメンバー全員の情報が与えられる条件が設定された。実験の結果、無情報条件では試行を重ねても集合知効果が見られるが、2 つの他者情報参照条件では個人の成績は上がるものの (cf. Farrell, 2011) 集合知効果が損なわれ集団レベルの成績（集団の推測値の算術平均および幾何平均の真値との差の絶対値）が下がることが示された。

社会的影響が集合知に与える影響：平均値に基づく判断　Lorenz et al. (2011) は個人が社会的影響を受けることにより集合知効果が損なわれることは、統計的な現象として解釈できる。この点について、平均値に基づく判断を行うことで集合知効果が生まれることを示した、Hogarth (1978) の理論モデルで用いられた式を元に解説する。次のような単純な例を考えていただきたい。

個人はビー玉の数や雄牛の体重といった値を推測するような Lorenz et al. (2011) や Galton (1907ab) が行ったような課題に取り組むとする。そして、Hogarth (1978) の理論モデルが想定したように、個人は自ら独立に判断を行い、その後で個人の判断の平均値を取り集約するような場面を想定する。しかし、ここで社会的影響が集合知に与える影響を考察するために、以下のようなプロセスを設定として新たに導入する。それは、個人がそれぞれ独立に判断を行なった後で、集団からランダムに選ばれた 1 名の判断が公開され（この 1 名をリーダーと呼ぶことにする）、他の人物はそのリーダーの意見を参考にして最終的な判断を行い、このリーダーに影響を受けた最終的な判断の平均値を集

団の判断とするという設定である (cf. Owen, 1986)[17]。

以下では、集団に属するメンバーは自ら推測を行った後、リーダーの推測値に合わせ自らの推測値を比率 α に応じて修正するとする。リーダーの推測値を x_0 とすると、このリーダーの判断は、真値とリーダーが持つ固有のエラー（ϵ_0）に分解して以下のように表現することができる。

$$x_0 = t + \epsilon_0$$

次に、他のメンバーはリーダーの推測に影響を受け、リーダーの推測値 $(x_0 = t + \epsilon_0)$ に α の重み付けし、自分が最初に判断した推測値 $(x_i = t + \epsilon_i)$ に $1 - \alpha$ の重み付けし、合成した値である最終的な推測値を$\acute{x}_i$とするとき以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} \acute{x}_i &= \alpha(t + \epsilon_0) + (1 - \alpha)(t + \epsilon_i) \\ &= t + \alpha\epsilon_0 + (1 - \alpha)\epsilon_i \end{aligned}$$

ここで他のメンバーが集団で平均値にもとづき意思決定を行うケースを考えると、集団サイズが大きくなることによりランダムノイズである $(1 - \alpha)\,\epsilon_i$ はキャンセルアウトされるが、真値と同様に全ての個人において共通である$\alpha\epsilon_0$がバイアスとして残る。そのため、たとえ集団の数を増やしたとしても $\alpha\epsilon_0$ だけ集団の推測値と真値の差が生まれることが理解できる。また、αを個人のリーダーへの同調度合いと捉えると、個人が全く同調しない場合 $(\alpha = 0)$ においては $\alpha\epsilon_0$ の値が 0 となるため、集団の判断は真値と一致するが、社会的な影響を受ける度合いが高まるにつれて集団の判断と真値との差が

[17] このモデルは、後述する多数決に関する Owen (1986) のモデルを（著者によって）連続変量に置き変えたものである。多数決に関するオリジナルのモデルに比べ容易に理解できるため、オリジナルのモデルよりも先に紹介した。

大きくなることが理解できる[18]。

社会的影響が集合知に与える影響 : 多数決に基づく判断　判断の独立性が社会的影響によって損なわれることで集団のパフォーマンスが損なわれることを前節では説明したが、多数決においても同様の現象が起こることが理論的に示されている。前述の連続変量を平均値に基づき集団が推測する場合における社会的影響を考慮したモデルは、Owen (1986) の多数決に関するモデルを連続変量に置きかえた場合のモデルであった。オリジナルの Owen (1986) は個人が社会的影響を受けることによって多数決の成績が劣化することを示した。Owen (1986) のモデルでは、N 人からなる集団において個人が独立に投票するときの能力（正答率）は p であり、確率 α でリーダーの判断（リーダーの能力は他の個人と同様で、リーダーの正答率も p) に同調するという設定であった (つまり個人は $1-\alpha$ で独立に判断を行う)。このとき、集団サイズ N が十分に大きく、かつ α が十分に p より小さいとき、社会的影響のない理想的な状態での多数決の正答率を P_N ときと比較し、社会的な影響を受ける場合の集団の正答率（P'_N）を次のような値として近似できる (Owen, 1986)。

$$\frac{\alpha + (1-\alpha)P_N}{1+\alpha}$$

以下では具体的な数値を変数に当てはめてみる。集団の正答率（P_N）が 0.9 の場合を考えてみると、$\alpha = 0$ の場合は社会的影響が全くないので当然 P'_N は 0.9 から変化しないが、$\alpha = 0.1$ のとき P'_N は 0.823、$\alpha = 0.2$ とき P'_N は 0.777 となり、社会的な影響を受ける（α が高まる）ことで多数決の成績が劣化することが理解できる。このように、個

18 ただし、成績が劣化するのは、平均値に基づき判断する集団レベルに関するものである。個人レベルにおいては、ランダムに選抜されたリーダーの意見を参照することで成績が上昇する (能力が同じであるのであれば、$\alpha = 0.5$ の場合に個人レベルの成績が最適になる; cf. 中心極限定理)。

人の多数決の成績が劣化するのは、他者の意見に同調することによって判断間の相関が生じるため、個人の判断に生じるエラーが独立で無くなるため、集約によるエラーキャンセル効果が期待できなくなるためである。

Owen (1986) の理論モデルは社会的影響を受けることで、個人に判断間の相関が生まれるような場合を設定したが、社会的な影響に関わらず一般的に個人間の判断間に相関が生じる場合（例えば、個人が同じ手がかりや証拠に基づき判断を行っている場合）、多数決の正答率が劣化することが Condorcet の陪審定理を拡張した多くの理論研究によって示されている (Berg 1993; Berend & Sapir, 2007; Boland, 1996; Boland, Proschan & Tong, 1989; Dietrich & List, 2004; Kao & Couzin, 2014; Ladha, 1992; Ladha, 1995; Nitzan & Paroush, 1984)[19]。

相関 : 多数決とベストメンバーの比較　相関が多数決の成績を劣化させ不利にすることを示したが、以下ではこの点について、思考実験を行うことで改めてデモンストレートする。また、この思考実験は、多数決の成績のみに焦点を当てるのではなく、相関によって変化する多数決の成績をベストメンバーの成績と比較することによって、判断間の相関が大きくなると多数決の成績はベストメンバーの成績に劣る場合があることをデモンストレートする。

思考実験として、A, B, C, D, E という 5 人が、2 つの選択肢から 1 つを選択する課題を 10 試行に渡って行う場面を考える（cf. 表 1-1）。正答を見出す確率 (p) はメンバーごとに異なっているが、0.5 を上回っているとする。この 5 人集団が、各試行において、多数決あるいはベストメンバー（i.e., 正答率が最大の個人）のいずれかに従って集団と

[19] ただし、社会的な影響を受けても個人の判断間の相関が下がらないケースが例外的に存在する場合が理論的に存在することが Estlund (1994) によって指摘されている。

して判断を下すものとする。このときに個人の正答率を変化させず、判断間の相関のみを操作した 2 つのケースについて比較する。

判断間の相関が低い場合では（cf. 表 1-1A）多数決に従った場合の正答率は 0.9 であり、ベストメンバーに従った場合の正答率（0.8）を上回っている。一方で、判断間の相関が高い場合では（cf. 表 1-1B）各メンバーの正答率は先ほど（表 1-1A）と全く同じであるにも関わらず、多数決の正答率（0.6）がベストメンバーの正答率（0.8）を下回っている。この思考実験から、相関の大きさが多数決とベストメンバーの比較の際において重要な要因であることが理解できる。

この思考実験で変化させた相関とは、意思決定の結果、判断間に生じた相関である。こうした判断間の相関は、どのような理由に基づいて生じたのかに関わらず、表 1-1B のような状態が決定の結果生じたのであれば、多数決の成績を劣化させるものである。例えば、判断の相関が生じる場合としては、テストにおいて誰かの答案を部分的に移しとるといったことにより他者の影響を受けることがあるだろう。一方で、テストにおいて簡単な問題は多くの人が正解するが、難しい問題は多くの人が間違えるというように、例え個人が独立に判断を行なっていたとしても、表 1-1B のような判断間の相関が生じる場合もあるだろう。あるいは、個人が同じ手がかりに基づき判断した場合においても、判断間の相関は生じえる (Dietrich & List, 2012)。このように、たとえ個人が独立に判断を行なったとしても現実において何らかの理由で相関が生じているのであれば、多数決はベストメンバーよりも大きく不利になると考えられる。

表 1-1. 個人の意思決定図式と多数決

A

相関が低い場合の多数決

	試行数										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*p*
A	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0.8
B	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0.7
C	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0.7
D	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0.6
E	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0.6
多数決	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0.9

B

相関が高い場合の多数決

	試行数										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*p*
A	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.8
B	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0.7
C	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0.7
D	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.6
E	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.6
多数決	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.6

注．表内の値（試行数および正答率（*p*）は除く）は、それぞれ各個人が正答であったか不正答であったかを示す（1: 正答，0: 不正答）。*p* は 10 試行における平均正答率を示している。A は相関が低い場合、B は相関が高い場合である。

1.4.4　集団内の個人の能力分布

能力分布と集合知　前節では判断の相関（あるいは判断の独立性）が多数決の成績を

含めた集合知の成績に影響を与え、多数決とベストメンバーの成績に影響を与えることを示した。集合知の成績に影響を与えるもう一つの重要な要素は個人の能力分布（成績分布）である。我々が判断や課題・テストを行うときに、集団全員の能力が完全に等しいというケースは非常に稀である。現実においては、少なからず能力の差は存在し、そうした差が判断結果や課題やテストの成績に分散をもたらすものである。

個人の能力分布は集合知において重要な概念である。Krause et al. (2011) は、瓶の中のビー玉を推測する課題と数学に関する課題と確率に関する課題（ドイツの宝くじに当たる確率とコインが何枚連続で表になる確率が同じか）を用いて集合知効果を検討した。結果、検定の結果どちらの課題も正規分布として見做されなかったが、ビー玉を推測する課題における個人の推測値の分布（能力分布）は真値を中心として対称性が見られる分布であった。ビー玉課題においては集団の平均値および中央値にもとづく判断の結果、集合知効果が見られた。これは誤差の分布が、ある程度真値を中心としていたためであると考えらえる。一方、確率に関する課題では、推測値の分布（能力分布）は正規分布から大きく逸脱しており、また分布の対称性も非常に低いものであった。この課題では、集団の平均値・中央値ともに、大きく真値から逸脱する結果であった。

多数決と能力分布　多数決においても個人の成績分布は重要である。Condorcet の陪審定理は、個人の能力が全て同じであるという前提を置いていたが、この前提は非現実な前提であるといえるだろう。Grofman, Owen & Feld (1989) はこの前提を緩和しており、能力分布 (p_i) が左右対称である時、オリジナルの Condorcet の陪審定理の p を能力の平均値 ($\bar{p}$)と置き換えても同様の結果が得られることを示した。さらに、Owen, Grofman & Feld (1989) は分布の形状に関係なく平均正答率$\bar{p}$が 0.5 より高いとき、集団サイズが

無限に近づくにつれ、多数決の正答率が 1 に収束することを示した。同様に、Condorcet の陪審定理の集団の均質性を緩和した研究は複数行われている (Boland, 1989; Dietrich, 2008; Kanazawa, 1986)。これらは多数決のみに着目した理論モデルであったが、多数決をそれ以外の決定ルールと比較するとき、集団の能力が同質でない場合は多数決よりもベストメンバーに従うような決定ルールの方が優れることが指摘されている (Ben-Yashar Nitzan, 1997; Conradt & List, 2009; Grofman, 1978)。この点に関して、以下 Conradt & List (2009) が用いた例を用いて説明する。

Conradt & List (2009) は確率モデルに具体的な数値を当てはめ集団の個人の能力が等しい場合と異なる場合について多数決と個人のどちらが優れるのか検討している[20]。この例においては、次の様な状況を設定している。A, B という 2 つの選択肢が存在し、片方の選択肢がより優れているとする。そして、5 人からなる集団があり、個人が独立に判断した場合 0.75 の確率で優れた選択肢を選ぶことができるとする。この 5 人のうち、1 人の意見に従って意思決定を行った場合、この集団は 0.75 の確率でより優れた選択肢を選択できる。一方、もし、集団が全てのメンバーの決定を平等に扱うような多数決によって意思決定を行なうならば、下の様な計算により 0.90 の確率で優れた選択肢を選択でき、一人の意見に従って意思決定した場合より 0.15 ポイント選択の精度が向上することが理解できる。

$$\sum_{i=3}^{5} \binom{5}{i} 0.75^{i} \cdot 0.25^{5-i} \approx 0.90$$

次に、Conradt & List (2009) は個人が優れた選択肢を選ぶ確率が異なっている状況を考察している。5 人のうち 1 人が 0.75 の確率で優れた選択肢を選択でき、残りの 4 人が

[20] Conradt & List (2009) はこれ以外にも、多数決における各メンバーの票の重みが異なるときも検討している (cf. Ben-Yashar Nitzan, 1997)。

0.60 の確率で優れた選択肢を選択できるとする。この場合下の様な式により 0.73 の確率で多数決は優れた選択肢を選択できる（0.75 で正答できる個人が正答する場合は、他の 4 人のうち 2 名以上が正答する必要があり、0.75 で正答できる個人が不正答である場合（確率は 0.25）は、他の 3 名が正答する必要がある）。

$$0.75 \cdot \sum_{i=2}^{4} \binom{4}{i} 0.60^{i} \cdot 0.40^{5-i} \ + 025 \cdot \sum_{i=3}^{4} \binom{4}{i} 0.60^{i} \cdot 0.40^{5-i} \ \approx \ 0.73$$

しかし、この確率は最も優れた個人に従って決定した場合である 0.75 を下回る。このように個人の能力分布が同質でない場合においてはベストメンバーが多数決よりも優れるケースがあることが理解できる。

能力分布：平均と分散　前述では、集団における個人の成績分布によっては多数決よりもベストメンバーが優れる場合があることを説明した。分布を記述する際には、平均と分散という 2 点が用いられることが多いが、以下では平均・分散がそれぞれ多数決とベストメンバーの成績に与える影響に関して考察する。

平均　Condorcet の陪審定理（あるいはその拡張定理）が個人の正答率が 0.5 より高いことを前提としているように、個人の平均正答率は多数決にとって重要な要素である（cf. Miller, 1996）。例えば、集団サイズが $N = 5$、個人の正答率がそれぞれ $p = 0.55$ であるとき多数決の正答率は $P_5 = 0.59$ となり、多数決の正答率は個人の正答率に比べて 0.04 上昇する。一方、$p = 0.75$ となるとき多数決の正答率は $P_5 = 0.90$ となり、多数決の正答率は個人の正答率に比べて 0.15 上昇する。このように、個人の平均正当率がランダムである 0.5 に近いときには、多数決による集合知効果はあまり見込めずベストメンバーよりも成績が不利になることが予想される。

分散　分散は多数決の成績に影響を与える要素の一つであり、分散が大きいときに多数決の成績は大きくなる場合がある (Kanazawa, 1998)。例えば、平均正答率が 0.70 である 3 人による多数決を考えてみる。例えば、分散の値が小さく 3 人の正答率がそれぞれ 0.71, 0.70, 0.69 の場合において多数決の正答率は 0.77 となる[21]。一方、分散の値が先ほどよりも大きい 0.89, 0.70, 0.51 の場合、多数決の正答率は 0.80 となる。さらに分散が高いケースとして 0.95, 0.95, 0.20 の場合、多数決の正答率は 0.92 となる。このように、集団の能力の分散が大きくなるにつれ多数決の正答率が大きくなることが理解できる。

しかし、こうした分散の大きさに対してより大きな影響を受けるのがベストメンバーの成績である。先ほどの分散が低い場合（正答率がそれぞれ 0.71, 0.70, 0.69）においてはベストメンバーの成績は平均正答率とほとんど変わらない 0.71 であり、多数決は正答率が 0.77 であるためベストメンバーの成績を上回っている。一方、分散が大きい場合（正答率がそれぞれ 0.89, 0.70, 0.51）、ベストメンバーの成績は 0.89 であり、多数決は正答率が 0.80 であるためベストメンバーの成績を下回っている。また、さらに分散が高い場合（正答率がそれぞれ 0.95, 0.95, 0.20）も同様に、ベストメンバーの成績は 0.95 であり、多数決は正答率が 0.92 であるためベストメンバーの成績を下回っている。このように、分散が大きくなるにつれて多数決の正答率が高まるが、分散が高まるということはメンバー間の成績に格差が生まれるということを意味する。ベストメンバーは多数決以上に分散による恩恵を受けるため、分散が高まるにつれてベストメンバーが多数決よりも相対的に有利になることが理解できる。

---

[21] 3 人の場合において、個人の正答率をそれぞれ $p_1,\ p_2, p_3$とすると多数決の正答率は次のような計算で求まる。

$$p_1 \times p_2 \times p_3 \ + \ (1-p_1) \times p_2 \times p_3 \ + \ p_1 \times (1-p_2) \times p_3 \ + \ p_1 \times p_2 \times (1-p_3)$$

1.5 考察

本章では、次の 3 つの点について議論した。第 1 に、認識論的民主主義とよばれるアプローチがどのような背景で生じたのか説明し、認識論的民主主義者が政治科学のみならず行動科学周辺における集合知に関する理論研究・実証研究に言及していることについて述べた。第 2 に、認識論的民主主義がその理論的根拠として用いている、集合知という現象が統計的なメカニズムであることを理論モデルに基づいて説明した。そして、これらの理論モデルは、集合知が平均的な個人より優れた成績をあげることを示すものであり、多数決がベストメンバーより優れた成績をあげるものではないことを示した。第 3 に、集合知は常に成立するものではなく、現実的に生じうる個人の判断間や能力分布においては多数決はベストメンバーより成績が劣ることを示した。

次章以降は、本章でその重要性を指摘した、個人の能力分布・個人の判断間の相関という要因を考慮し、多数決とベストメンバーの比較を理論研究・実証研究によって行う。第 2 章では、多数決とベストメンバーを比較し、多数決がベストメンバーより優れた成績をあげることを示した Hastie & Kameda (2005) に着目する。彼らのシミュレーションは、個人の能力の分散があり、かつ判断間の相関が存在するような場面において、多数決とベストメンバーの成績を比較した先駆的なシミュレーションであるが、個人の能力分布や判断間の相関といった本章でその重要性を指摘した要因については十分に検討していなかった。次章では、Hastie & Kameda (2005) のシミュレーションに個人の能力分布や判断間の相関が変化するような操作を加えることによって、ベストメンバーが多数決よりも優れるような状況が生じるのか検討する。

1.A 付録：認識論的民主主義の系譜

1.A.1　認識論的民主主義の歴史的議論に着目する理由

第 1 章の冒頭で述べたように、認識論的民主主義とは手続き的観点から多数決を批判する議論に対して、意思決定の結果に着目するアプローチである。このアプローチは 20 世紀以降展開したものであるが、その理論的根拠として用いられているのは 18 世紀に発見された Condorcet の陪審定理である (for review, Schwartzberg, 2014)。Condorcet は、多数決によって集合知がもたらされることを示す、数理的な理論モデルに基づきパフォーマンスの観点から政治形態を考察した初の試みであり、こうした数理的なアプローチは今日の認識論的民主主義に継承されている (e.g. List & Goodin, 2001)。

ただし、Landemore (2012a) は、Condorcet のように集合知が存在することを理論的に示したわけではないが、集合知のような発想に基づき民主主義を擁護しようとする発想は西洋史に古くから受け継がれていることを指摘している。本節では、Landemore (2012a) による西洋思想史における認識論的民主主義のプロトタイプとなるような展開について紹介する。

これに着目する理由として、次の 2 つの理由を挙げる。第一に、認識論的民主主義は 20 世紀以降に始まったアプローチではあるが、多数決をパフォーマンスの観点から擁護できるのかというテーマは歴史的に古くから存在しており、パフォーマンスの観点から多数による意思決定を正当化できるのかという問題は検討に値する問題であるという点である。

第二に、認識論的民主主義は、多数決が有能な人物よりも優れることを主張しているが、集合知は集団が平均的な能力を持つ個人よりも優れることを示すものであり、ベストメンバーよりも優れることを保証するものではない。この点に関しては、政治科学者

の Gunn (2014) も認識論的民主主義に対して、多数と有能な個人との比較が重要であることを指摘している。こうした多数決と有能な個人の比較の重要性は、Landemore (2012a) が紹介する認識論的民主主義のプロトタイプとなる哲学者・思想家達が、「多数とランダムに選ばれた個人」ではなく、「多数と有能な個人」（あるいは権力を持った個人[22]）を比較していることからも確認できることを主張するためである。

1.A.2　古代ギリシャから啓蒙主義まで

Landemore (2012a) は西洋思想史において集合知の観点から民主主義について議論するという発想は古代ギリシャ時代まで遡ることができることを述べており、その系譜を紹介している。古代ギリシャにおいては各ポリス（国家）において政治形態が異なっており、特に当時ポリス間に競争が存在していたこと (Ober, 2008) を考慮するのであれば、どのような政治形態が優れるのかパフォーマンスの観点から比較するという試みが行われたのは自然であるように思える。実際に、Waldron (1956) が当時民主主義を導入したアテネにおいては、Plato が主張した少数の有能な人物による政治 (epistocracy) に対して、民主主義を擁護するのが重要な問題であったことを指摘している。西洋思想史の古典的作品に関しては複数の解釈が可能であるが、本研究においては多数決を集合知の観点から理解することを試みるアプローチに主眼を置いているため、以下では認識論的民主主義者による解釈のみを取り扱う[23]。

---

22 君主といった権力を持つ人物が高い能力を持つとは限らないが、何らかの基準によって人々から選抜された場合はある種のベストメンバーとみなすこともできるだろう。

23 本稿では認識論的な観点から多数決および民主主義に関する歴史的な議論を紹介しているが、主に社会的選択理論を軸として手続き的な観点からこれを行っているものとしては、Szpiro (2010) などがある。

ソフィストと民主主義　民主主義の起源をギリシャのソフィストである Protagoras に遡るという指摘が存在している (Adkins 1973; 加藤 1999; Landemore 2012a)。Protagoras は、万人に「平等な発言権 (isegoria)」を正当化したことで知られているが、Landemore (2012a) はこの正当化の過程を集合知の観点から再解釈できることを指摘している。Protagoras の一連の主張は、Plato の「プラタゴラス」の第 III 章にて、政治に必要となる技術を教育可能であるのかと言う点に関する Socrates との議論の中で展開される[24]。ソフィストは知識や技術を教えることを職業とし、Protagoras はこうしたソフィストの中でも政治に必要となる技術を教えることができると宣伝している。これに対する Socrates の次のような発言が認識論的民主主義を考えるうえで示唆的である。Socrates は Protagoras に対して

> アテネ人が民会に集まる時　・・・(中略)・・・　建築物に関する助言者として建築家を招聘するのです。造船の場合であれば船大工を招聘します。その他にも、彼らが学んだり教えたりすることができるとみなす事柄であれば、すべて同様にします。誰か他の人が彼らに助言を試みても、彼がその人を専門家と認めない限り、彼らは何も受け入れません。・・・(中略)・・・　ところが、国家政策について何かを審議しなければならない時には、誰もが同じように立ちあがり、そうした問題について彼ら助言するので。その人が大工でも、鍛冶屋でも靴職人でも、また裕福でも貧しくても、家柄が良くても悪くても同じです。(Plato, 319 C-D, 中澤訳 2010, pp. 54 – 55; 著者によって一部省略)

と述べ、このように政治について教育を受けたことがなくとも発言を許されることからこうした政治に必要となる徳は伝達できないことを主張した。

---

[24] Protagoras と Socrates による民主主義に関する議論についての解説は Adkin (1973) が詳しい。

これに対して、Protagoras は全ての人に対してゼウスが政治に関する徳を与えたという神話に基づき反論した。この神話において、ゼウスは医術といった専門的な技術は一部の人にしか与えられていないが、国家において秩序を維持するための謙譲心や道義心は一部の人のみに与えても機能せず全ての人に与えることによって機能するため、全ての人に与えるように述べた (Plato,1979 中澤訳 2010)。Protagoras はこのように政治に必要となる徳は全ての人に与えられたため政治における発言の平等権が認められると述べ、またこうした徳はさらに教育によって高められることを主張した (Plato,1979 中澤訳 2010)。ただし、この Protagoras による主張は Landemore (2012a) が指摘するように、政治に必要となる知識は人々に分配されており集合的に機能するという点では認識論的民主主義的議論であるが、政治に必要な知識に関しては技術・徳といった不明瞭な定義を与えている点において未熟であることを指摘している[25]。また、この点に関して Adkin (1973) は「Protagoras が協調性に関して秀でていること (co-operative excellence) と行政に関する (administrative) 技術を混同している」(Adkin, 1973, p7) ことを述べている。このように Protagoras の主張は、知識に基づく認識論的観点の萌芽を見出すことができるものの、意思決定のパフォーマンスに結びつく知識（あるいは技術）と徳とが混在しており認識論的民主主義と呼ぶには不十分であるだろう。Protagoras は専門的な知識を持つ人物と一般的な民衆を対峙させているが、これに関してより認識論的な観点から議論を展開したのが、Aristotle である。

多数知の理論：パフォーマンスの観点から政治形態を比較する Estlund (2003) は優

[25] Landemore (2012a)においては、この Socrates に対する Protagoras の反論は、政治的な決定に関しては事前に誰が優れた専門家を見定めることができないからという観点から理解できることを述べている。この優れたメンバーを見定めるという観点は第 3 章以降とり扱う。

れた人物によって政治がなされるべきであるとする Plato と民主的な Aristotle の主張を対比させている。Plato は「国家論」において優れた人物によって政治を行うべきであることを主張したが、その理由は認識論的な観点に基づくものであった。一方で、Aristotle もまた認識論的に民主主義を擁護した人物であると解釈できる (Waldron, 1995)。Aristotle による認識論的な観点から民主主義を擁護しようとする試みは、特に「政治学」の第 3 巻 11 章における「最優秀者であるが少数に限られるよりも、むしろ多数者が主権を持つべきであるという見解」(Aristotle, 1957, 1281b 牛田訳, 2001, p 143) という記述に見出すことができる。Waldron (1995) は集合的に優れた判断を行うことができるとする Aristotle の「政治学」において展開される主張を「doctrine of wisdom of multitude（多数知理論; DWM）」[26]と名付けており、この主張は持ち寄り会食 (potluck dinner) に関する次のような文に見ることができることを述べている[27]。

> 多数者は、そのひとりひとりがすぐれた人とは言えないけれども、それも全員が集まれば、かの少数者よりは —— 個人としてではなく、全体として —— 勝ることがあってもよいからである。たとえて言えば、全員の各自が持ち寄った会食が一人の出費でまかなわれた会食よりも勝るようなものである。つまり、大勢であれば、それぞれが徳と思慮の一部を分けもち、全員が集まれば、その集団があたかも多くの手足や感覚をもつ一人の人間のようになり、性格や思考に関しても同様に一体となることがあってもよい。また、多数者が音楽の作品や詩人の作品をよりよく判断できるのも、その点である。それぞれが判定

---

26 なお、心理学（集団意思決定）において Waldron (1995)の強い多数知理論と弱い多数知理論に似た概念として、Larson (2007)による強いシナジーと弱いシナジーをあげることができる (cf. 第三章)

27 ただし Waldron (1995)は、こうした Aristotle による主張を整理するのは、どのような政治制度が優れるのかといった制度設計的な目的を持たず、Aristotle の主張を理解するためであると述べている。

する部分はそれぞれ異なるが、全員が全体を判定するからである。(Aristotle, 1957, 1281b 牛田訳, 2001, pp 144)

Waldron (1995) はこの Aristotle の多数知理論 (DWM) には 2 つのレベルがあると理解できることを述べている。弱い多数知理論（Waldron は DWM_1 と名付けている）として、集合体となった人々 (the people acting as body) が知識・経験・洞察をプールすることで有能な個人よりも優れた判断ができるとし、これは多数による統治 (rule of many) を意味する民主制 (democracy) と一人による統治 (rule of one)を意味する独裁制 (kingship) に対応することを述べている[28]。一方、強い多数知理論（Waldron は DWM_2 と名付けている）として、集合体となった人々は、集合体の一部である少数の有能な人々による集合体よりも優れると主張し、これは多数による統治である民主制と少数による統治である (rule of few) 貴族制 (oligarchy) に対応することを述べている。Waldron (1995) は当時のアテネにとっては、貴族制に対して民主制を擁護することが重要であったが、民主制と同様に貴族制も多数理論による恩恵を受けてしまうことから、民主制に対する独裁制の優位性のみを射程とする弱い多数知理論のみに焦点を当てている。

こうした、Waldron (1995) によって多数知理論として整理された Aristotle の主張は個人が平凡であっても判断を合成することでベストメンバーよりも優れた成績を示すという点で、集合知に基づき民主主義を擁護する議論であり、認識論的民主主義の先駆けと呼べるだろう。ただし、Estlund (2003) は、Aristotle による議論に対して Condorcet の陪審定理といった「平凡な個人の意見を集約することで生まれる集合知」として解釈するのではなく、「集団で議論を行うことで集団の中に存在する多様な知恵を持つ専門家

---

28 英語の原文は以下のような文章である “DWM_1: *The people acting as a body are capable of making better decisions, by pooling their knowledge, experience, and insight, than any individual member of the body, however excellent, is capable of making on his own*.” (Waldron, 1995, p 564)

の意見を集約できる」ことから民主主義を擁護する議論であると解釈すべきであることを指摘している。こうした専門家の意見を集約するシステムとしての Aristotle の主張を Ober (2013) は、REA（relative expertise aggregation; 関連する専門性の合成）と名付けている。前述の Waldron (1995) が用いた持ち寄り夕食会の Aristotle の記述には続きがあり、Aristotle は以下のように述べている。

> たとえて言えば、美しい人が美しくない人と異なると言われたり、芸術作品が実物よりすぐれていると言われるのは、［芸術作品の場合］ばらばらに散った一部が一つの［全体として美しい］ものにまとめられているからである —— その部分を離して観るなら、この描かれた眼よりもこの人のほうが美しいとか、他の描かれた部分より他の人の部分の方が美しいと言えるにしても。(Aristotle, 1957, 1281b 牛田訳, 2001, pp 144；角括弧[ ]は翻訳者による)

Ober (2013) によれば、この主張は芸術に関して描かれた Aristotle の「詩学（Poetics）」に基づき補完的に解釈できる。Aristotle は「詩学」において、優れた悲劇は 6 つの領域（筋 (plot)・性格 (character)・知性 (intellect)・語法 (diction)・歌曲 (song)・視覚的要素 (spectacle)）全てにおいて適切に合成される必要がある点に言及している。この観点から Aristotle の主張は、平凡な個人の意見を集約するような集合知（ノイズキャンセル効果）として解釈するよりは、集団における異なる分野の専門家の意見を合成することに

よって集団として優れた判断が可能になることだと解釈できる (Ober, 2013)[29]。

これらの点を考えると、Aristotle の主張を Waldron (1995) や Landemore (2012a) が主張するような、平凡な個人の意見を集約することで優れた判断が創発するという集合知的な解釈の他に、Ober (2013) の述べるような専門家の意見の集約という観点から解釈も可能である。ただし、両者はともにパフォーマンスの観点から民主制を擁護する議論を展開しているという点において、認識論的民主主義の先駆けとなる議論がギリシャ時代において行われていたと解釈できる。また、Aristotle が「最優秀者であるが少数に限られるよりも、むしろ多数者が主権を持つべきである」(Aristotle, 1281b, 牛田訳, 2001, p 143) と主張するように、これらの認識論的議論には、少数の最優秀者に対して多数派を擁護することが念頭にあったと言えるだろう。

人民の声は神の声　Machiavelli は近代政治理論の礎を作った人物であるといわれているが、心理学においては Machiavelli の名は「マキャベリ的知能」(Bryne & Whiten, 1988)、あるいはパーソナリティーにおける「マキャベリアニズム」[30] (Machiavellianism; Christie & Geis, 1970) といった用語で知られている。これらは両者ともに自らの利益や目的の

---

[29] Ober (2013) は投票を行う前に専門家が意見した後に人民が投票する決定方法を提案しているが、この点に関して考察を行う。単純な例として、単一の専門家の意見を集団が共有し意思決定を行う場合、それは手続き的には民主的であるが本質的にベストメンバーによる決定と同様である。少数の専門家から人々がそれぞれ等しい割合で影響を受けた場合は、選抜多数決（第 5 章）と同様である。また、人々が単一の専門家に影響されるのではなく、それぞれが複数の専門家の妥当性を重み付けし判断すると考えると、理論的には第 2 章による Hastie & Kameda (2005) のシミュレーションと同じ設定となる。このシミュレーションでは多数決による集合知効果が起こるため、Ober は Condorcet の陪審定理と異なると主張するもののメカニズム的にはノイズキャンセル機能として扱うことができる（つまり、最終的に投票を行なっているので集合知が扱うような集約メカニズムとして、考えることもできる。この点に関しては第 1 章 1.4 を参照されたい）。

[30] パーソナリティー傾向としての Machiavelli の名を冠してマキャベリアニズムは、ナルシシズム (narcissism)、サイコパシー (psychopathy) と並び反社会的なパーソナリティーとされている。

ために他者を欺き操作するといった文脈で用いられ、Machavelli が「君主論」において君主が手段を選ばず目的のために人民や他者を操作することを肯定しているといった解釈にもとづくものである (cf. Bryne & Whiten, 1988; Christie & Geis, 1970)。しかし、Machiavelli は Rousseau が「マキャベェッリは国王に教訓を与えるふりをしながら、人民に大切な教訓を与えたのである。マキャベェッリの『君主論』は共和主義の宝典なのだ」（Rousseau, 1762, 中山訳, 2013, p148）と述べるように、実際には共和主義者であったとされており、共和主義的を擁護する主張は「ディスコルシ (Discorsi)」において展開されている。Landemore (2012a) は、Machiavelli が「ディスコルシ」において、集合知的な観点から君主よりも民衆が優れた決定を行うことを展開していることを指摘している。認識的民主主義に通ずる議論は主に「ディスコルシ」の第 1 巻 58 章にて展開している (Landemore, 2012a)。

まず、Machiavelli は民衆が過ちを犯しやすいという Titus Livius の主張に対して「民衆の持つ性格が、君主の性格に比べて罪が重いわけではない。なぜなら、あとさきのことを考えもせずに過ちを犯してしまう点では両者は五分と五分であるからだ。」と述べ、そして「人民と君主とかの差別をつけずに、両者共通の欠陥をあげつらうのが、理に適ったやり方というべきである。」（Machiavelli, 1-58, 永井訳, 2011, p 254）と続け、君主と人民の持つ欠陥は共通の性質を持ち、両者を評価する際には共通の基盤によって評価すべきであることを述べている。この点に関しては、共通のパフォーマンスという観点から政治形態を比較する認識論的民主主義の立場と一致している。

さらに、Machiavelli は民衆が君主より優れる点を「人民の声は神の声 (Vox populi vox dei)」という格言に触れ述べている。

人民は君主と比べそれほど恩知らずのものでもないとここでは答えたい。その上、慎重さ

や落ち着きの点でも、人民は君主に比べて一日の長があるばかりではなく、判断力でもより優れたものを持っていることを指摘しておきたい。

したがって、民の声は神の声に似ると言われているのも、まんざらいわれのないことではない。それというのも、世論というものは、不可思議きわまる力を発揮して先を見通す働きをやってのけるからだ。それはまるで、何か隠された神通力のようなもので、未来の吉凶をぴたりと嗅ぎわけてしまう。また人民が物事を判断する能力についても、彼ら人民は、力量相伯仲しながら意見のまったく対立する二人の客論の所論に耳を傾ける場合、世論が優れた意見を受け入れなかったり、自分が耳にする真理を評価しないことは極めて稀である。（Machiavelli, 1-58, 永井訳, 2011, pp 255 – 256）

このように、Machiavelli は、民衆が君主よりも優れた判断力や将来を予測する力を持つことを指摘している。こうした Machiavelli の指摘は、集合知によって将来をより正確に推測できることを示した研究と結論のみに着目するのであれば類似していると言えるだろう。ただし、Machiavelli の指摘は、Aristotle と同様に集合知的な現象について言及しているが、そのメカニズムに関しては、Machiavelli が「神通力」と述べているにとどまり、理論的な説明には至っていない。

1.A.3 Rousseau の一般意志

Rousseau は、「社会契約論」において民主主義を擁護するような、一般意志という概念を導入した。Landemore (2012a) は、Rousseau による一般意志は手続き主義的に解釈されることが多いが[31]、認識論的な観点から解釈できることを指摘している。Rousseau がこれまで本節で紹介した思想家と大きく異なる点は、数学的な概念を導入しようと試

[31] 例えば Runciman & Sen (1965) はルソーの「一般意志」に関してゲーム理論的な解釈をしている。

みている点である。これは「社会契約論」における、一般意志に関する以下のような文章に見ることができる。

> 一般意志は、全体意志とは異なるものであることが多い。一般意志は共同の利益だけを目的とするが、全体意志は私的な利益を目指すものに過ぎず、たんに全員の個別意志が一位したにすぎない。あるいはこれらの個別意志から、［一般意志との違いである］過不足分を相殺すると、差の総和が残るが、これが一般意志である。(Rousseau, 2-3, 1762, 中山訳, 2008)

Rousseau は「社会契約論」において数理モデルに基づき議論を行ってはいないが、一般意志を数理的に表現しようとするような試みを見ることができる。この点に関しては、次節で述べるように啓蒙主義の時代に活躍した Rousseau は、Condorcet と同様に、当時急速に発展した自然科学・数学の影響を少なからず受けている可能性が考えられるだろう。

Rousseau の一般意志を Condorcet の陪審定理に関連づける研究として、Grofman & Feld (1988) が知られている。Grofman & Feld (1988) は、Condorcet の陪審定理と Rousseau による一般意志との関連点を挙げ、Condorcet の陪審定理は Rousseau の一般意志を数理的に発展させたものであることを主張している。Grofman & Feld (1988) によれば、Rousseau による一般意志に関する理論は次のような 3 点に集約できるという:①人々には集団全員の共通の関心となる共益 (common good) が存在しているが、②人々が常に正しく共益を認識できるとは限らず共益に即した投票を行うとは限らないとするとき、③人々が人民集会において共益に関して個人内で熟慮した上で投票することが共益を達成する上で最も確かな手段である。Grofman & Feld (1988) は、これらの 3 点が、Condorcet の陪審定理の核となる点と概念的に共通していることを主張している：①公

共の利益となるような優れた選択肢が存在しており、②個人が常に優れた選択肢を選ぶかは確率 p によって定まっている（常に優れた選択肢を見出すわけではない）とき、③N 人からなる集団が討議せず互いに独立に選択する。Grofman & Feld (1988) の解釈に従えば、Rousseau の一般意志と Condorcet の陪審定理は、ともに「集団にとって共益となるような結果が、独立に決定・投票をおこなう個人から集合的に創発する」という点で共通している。ゆえに、Rousseau は Condorcet のように数理的な分析は行っていないものの、Condorcet の陪審定理の核となる概念を導入したと解釈できるだろう。では、Condorcet は Rousseau を含めこれまでの思想家と異なり、なぜ数学を用いて論証するに至ったのか、以下では Condorcet（および Rousseau）が活躍した時代背景も含め考察する。

1.A.4　啓蒙主義と Condorcet の社会数学

自然科学と合理的思考の隆興　Condorcet が活躍した 18 世紀は、啓蒙主義が隆興した時代である。この時代は、民主主義に対する意識が高まるとともに、自然科学や数学が急速に発展した。同時代において、確率論を用いて神を信じることの合理性の観点から説明を試みる「Pascal の賭け」や[32] 意思決定をより合理的に行おうとする「Franklin の

[32] Pascal の賭けとは神を信じることを期待値の観点から議論するものである。A:神が存在することによって得られる利益は無限大（永遠の救済）であり、その確率がどんなに小さいものであっても神を信じることにより期待値は無限大である。B:神が存在しなかった場合に神を信じることで失う損失が有限である。A と B を比較するとき無限大の利益が得られる A を選択するのが合理的となるとする議論である (Gigerenzer & Todd, 1999)。

功罪表」[33] といった研究がなされるなど、数学・合理性といった観点から人々の信仰や意思決定を議論するような試みが出現した (Gigerenzer & Todd, 1999)[34]。こうした個人のレベルにおける意思決定に関する議論にとどまらず、Spinoza が合理性の観点から民主主義を議論するように集団での意思決定へと合理性の適用対象は拡張された (Landemore, 2012a)。こうした時代背景を考慮するのであれば、民主主義に対する意識が高まり、自然科学が隆興し数学的な方法論が整備された時代において、数学者でもあった Condorcet が数理的な観点から民主主義を集団意志決定問題としアプローチしたのは自然であったと言えるだろう。

Condorcet の社会数学　Condorcet はこうした時代を背景にし、数理にもとづき社会の現象を理解する「社会数学」という構想を立てた。隠岐 (2012) によれば、Condorcet は「社会数学」において、人間が社会生態学的環境（e.g. 制度・天候）から受ける影響や精神の働きに関して大量観察し、それを数学的な分析するといった今日における社会学・心理学・人類学に相当するような構想や、国家の経済活動を個人の意思決定の集合と捉えるようなマイクローマクロ[35] 関連に基づく社会理論、今日での会計学・人口学・

---

[33] Franklin の功罪表に基づく決定とは、ある決断をするにあたって（e.g.結婚すべきか否か、引っ越すべきか否か）、その決断を行ううえで理由となる長所と短所を複数列挙し、それらの重要度を評価することで決定する方法である。具体的には、ある決断をする上で「長所」と「短所」について熟考し、思いあたる点について「長所」と「短所」に分けてリストアップする。次に、リストアップされたものについて、それぞれ重要度を評価する。そしてリストの中で、「長所」と「短所」で同じ重要度のものがあれば消していく（重要度 3 の長所を消すには、重要度 1 の短所と重要度 2 の短所を消す必要がある）。こうして、決していった結果、長所が残った（あるいは短所が残らなかった）選択肢を選択するとい方法である (Gigerenzer & Todd, 1999)。

[34] こうした古典的合理性と意思決定の関連については第 2 章 2.1 を参照せよ。

[35] なお、隠岐（2012）はこうしたマイクロなメカニズムからマクロ現象を説明するという Condorcet の試みには、当時の水力学の発展が関係していることを指摘している。

経済学に含まれるトピックに関して数学的に分析するような学問を打ち立てることを構想していたという。隠岐 (2012) はこうした「社会数学」の中で、特にユニークな点として次のように述べている：

> ある命題が真であると判断することの『信念の根拠』(motif de croire)の蓋然性が確率計算により測れると仮定したことである。そして、あらゆる意思決定の事例、例えば数学の証明の真偽を判断することから、裁判において証言を聞いて意見を形成することまでが考察の対象とされ、そこでの『信念の根拠』が数学的に評価できるものある（隠岐, 2012, p186）

こうした「信念の根拠」を多数決に応用したのが陪審定理であった (cf. 隠岐, 2012; 沢田, 2004)。Condorcet による陪審定理は、19 世紀に入ってから再発見されて以来、認識論的民主主義の理論的根拠となり、また集合知の理論的メカニズムの一つとして言及されている。

1.A.5　認識論的民主主義の系譜の結び

本節では、Landemore (2012a) が認識論的民主主義の系譜として展開している思想家のうち古代ギリシャから現代において集合知の理論的根拠となっている Condorcet の陪審定理が見出されるまでの一部を紹介した。多数決を数理的な観点から優れたパフォーマンスを生み出すことを指摘したのは Condorcet であるが、こうしたパフォーマンスの観点から多数決を擁護するというアプローチは古代ギリシャから存在するものであり、多数決を認識論的な観点から擁護できるのかという問題は、西洋思想史において古くから問われてきた重要な問題であることを確認した。

また、こうした思想史において「民衆と有能者」・「民衆と君主」といった対比が見ら

れ、特に Machiavelli は君主と民衆のパフォーマンスを同じ尺度で測る必要性を主張していることを確認した。これらを考慮するのであれば Gunn (2014) が、指摘するように多数決と比較すべきは、平均的な能力を持つ人物ではなく、有能な人物あるいは君主といった独裁者であるはずである。

第 2 章

多数決の頑健性に対する理論的検証 I: Hastie & Kameda (2005)の再検討

2.1 序論

2.1.1　本章の概要

第 1 章では、認識論的民主主義がその理論的根拠としている集合知の発生するメカニズムを説明し、多数決が優れた成績を上げることに関して Condorcet の陪審定理を用いて説明した。このモデルは、多数決を用いることでより優れた意思決定が可能となる観点から民主主義を擁護する認識論的民主主義において核となる理論であり (for review, Schwartzberg, 2014)、また政治学のみならず心理学および生物学周辺領域おいて集合知の理論モデルとして扱われている (Conradt & List, 2009)。しかし、Condorcet の陪審定理は個人の成績が均一であるとする前提、判断間の相関を考慮しないという前提が含まれており、過度に抽象化されたモデルであったため、その後、複数の研究によって拡張されてきた。第 1 章では、集合知によって集団が優れた成績を上げるためには、個人の能力分布と判断間の相関が重要であることを複数の理論研究・実証研究によって指摘し、多数決においてもこれら 2 つの要因が重要であることが Condorcet の陪審定理の拡張モデルを用いて説明した。

一方、こうした集団決定ルールを比較する理論研究として Condorcet の陪審定理のみではなく、行動科学において多数決ルールとベストメンバールールを直接的に比較し多数決が頑健にベストメンバーより優れた成績をあげることを示した Hastie & Kameda (2005) によるシミュレーション研究をあげることができる。Hastie & Kameda (2005) は Condorcet の陪審定理と異なり、適応的意思決定という観点からエージェントの意思決定過程と意思決定を行う対象としての環境を相互にモデル化し、生態環境における集団決定ルールの成績を比較した研究である。Hastie & Kameda (2005) は多数決がベストメ

ンバーより頑健に優れた成績をあげることを述べているが、以下の問題点があることを指摘したい。それは、第 1 章で整理した集団決定ルールの成績に大きく影響を与える集団成員の能力分布と判断間の相関を規定するシミュレーションにおけるパラメータが固定されていたという点である。

本研究の目的は、Hastie & Kameda (2005) において集団意思決定ルールの成績に大きく影響を与える集団能力分布と判断間の相関という 2 つの要因の値を規定するパラメータを現実的な範囲で操作したとしてもなお、多数決が頑健にベストメンバーより優れた成績をあげるのか検証する。本章では、まず Hastie & Kameda (2005) が用いた適応的意思決定と呼ばれる概念について解説する。次に、Hastie & Kameda (2005) のシミュレーション・モデルの概要を説明する。そしてこのモデルを拡張し、能力分布と判断間の相関という 2 つの要因を操作してもなお多数決がベストメンバーより頑健に優れた成績を上げるか検討する。

2.1.2　適応的意思決定：不確実な環境下において

制約下における意思決定　前章で紹介した Condorcet の陪審定理は個人が判断を行う過程を捨象し、個人がその過程に関わらずある確率 p で真なる選択肢を選び出せるという前提を置く抽象的な数理モデルであった。しかし、現実における行動および知覚は多くの行動科学者らが指摘するように環境という制約を逃れることはできず、個人が環境から情報を取得し意思決定を行う必要がある (Brunswick, 1947; Brunswick 1955; Gibson,

1979, Piaget, 1970; Uexkü ll & Kriszat, 1993)[36]。適応的意思決定とは、こうした環境に適応する個体という観点から個人の意思決定を評価するアプローチである (Gigerzner, Todd & the ABC research group, 2012[37])。こうした、個体と環境の相互作用を検討する適応的意思決定の一つの理論的枠組みが Hastie & Kameda (2005) がシミュレーションに導入したレンズモデルである。

確率論的機能主義　Brunswick によるレンズモデルは確率論的機能主義というアプローチに基づいている (Brunswick, 1955)。Pleskac & Hertwig (2014) によればこのアプローチは機能主義と確率論的推論という 2 つの特徴を持つ。第一の特徴は、行動や知覚は行動および知覚すること自体が目標なのではなく、食料の探索や危険の回避といった特定

---

36 Piaget (1970) は知識とは個体が環境に対して能動的に働きかけることによって獲得することで構成されることを主張しており、また Uexküll & Kriszat (1970/1998) は、生物がそれぞれその生物が適応する環境に適した知覚システムを持つことを指摘した。これらは、知識獲得における個体と環境の相互作用の重要性を指摘するものである (von Glasersfeld, 1995)。

37 古典的に合理的な意思決定とは第 1 章で紹介した Franklin の功罪表に現れるようにできる限り多くの情報を用いて、選択できる行動を全て列挙し、それらを計算することによって最適な意思決定を行うことであると考えられており、無限の計算能力を持つような個体を想定していた (Gigerenzer & Todd, 1999)。しかし、Simon (1976) は古典的な合理性を批判し、限定合理性という概念を提唱した。限定合理性において想定する個人と無限の計算能力を持つのではなく、知識・価値づけ・行動の 3 点から制約を受けるような個人を想定した。Gigerenzer & Todd (1999) は、Simon (1976) による限定合理性の概念を継承し、知識・価値付け・行動の観点から制限されるという観点から人々が現実において用いている意思決定ヒューリスティック（Franklin の功罪表とは対照的に一つの手がかりのみによって意思決定を行うといった人々が現実において用いる簡便な意思決定方略）のパフォーマンスを評価した。その結果、人間の行動は古典的な合理性の観点から考慮するのならば最適ではないが、多くの課題において十分に高いパフォーマンスを示すことを実験的に示した。そして、人間が認知能力の限界や時間の制約がある限定された存在であることを加味すれば、人間の行動は最適な基準から逸脱するものの、その人間を取り巻く環境においては十分に目標を達成しているため生態学的には合理的であることを指摘した。適応的意思決定とは、このような個体が適応する生体環境から意思決定の生態学的合理性を評価するアプローチである。

の適応的な目標を果たすために機能すると考える点である (Brunswick, 1955, Pleskac & Hertwig, 2014)。第二の特徴は、適応的な行動や判断を行うための基準となるような情報（e.g, 餌が存在する場所や付近の捕食者の数や捕食者との距離）を生物は直接的に得ることはできず近接した手がかりに基づき確率論的に推論を行うという点である (Brunswick, 1955, Pleskac & Hertwig, 2014; Reichenbach, 1938)。Brunswick によるレンズモデルはこうした確率論的機能主義の観点から、人間を含む生物の知覚・行動をモデル化したものである。

レンズモデル　Brunswick のレンズモデルは知覚・行動に関する一般的なモデルであり、現実環境における意思決定の成績を検討する研究者を中心に広く用いられているモデルであり (Cooper & Werner, 1990; Dhami, Hertwig & Hoffrage, 2004; Hammond, 1955; Hursh, Hammond & Todd, 1964; Karelaia & Horgarth, 2008)、意思決定におけるレンズモデルは図 2-1 で示されるような図によって表現される。

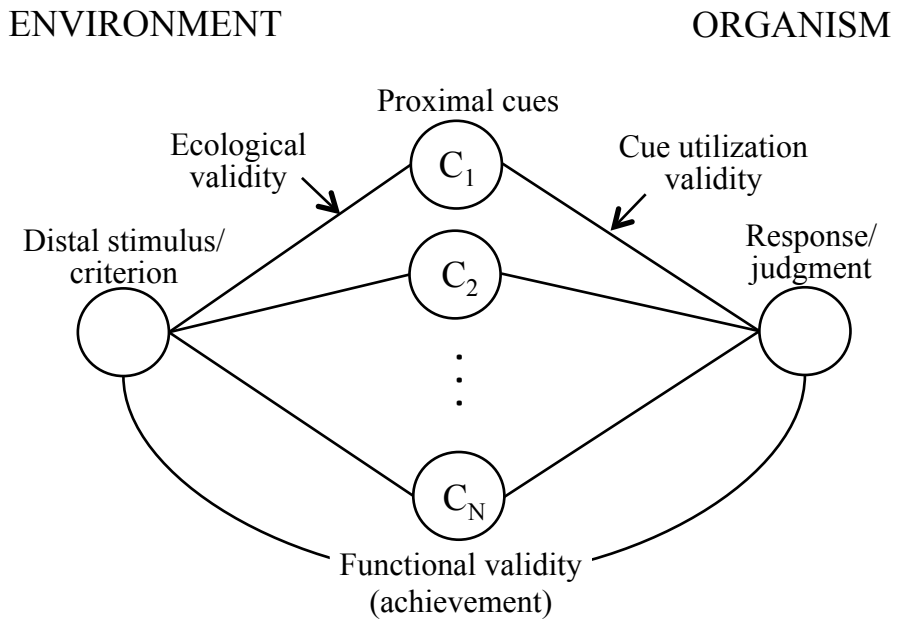


図 2-1. 意思決定におけるレンズモデル。図は Brunswick (1955), Dhami, Hertwig & Hoffrage (2004) を参照し作成。

このレンズモデルにおいて生物（organism）が適応的な行動や判断を行うための基準となるような情報（criterion）は、生物が直接アクセスできない遠方の刺激（distal stimulus）として表現される (Brunswick, 1940; Brunswick, 1955)。こうした遠方にある刺激に対し生物は複数のアクセス可能な近接する手がかり (proximal cues) に基づいて反応すると考えるモデルである (Brunswick, 1940; Brunswick, 1955)。例えば、ある狩人がある場所において狩りを行うか否かを、その場所で得られる獲物の数に基づき判断するような場面においては、判断と基準と手がかりは次のように表現される。この例において判断の基準となる遠方の刺激はその狩場に存在する獲物の数である。また、狩人は得られる獲物の数を直接的に知覚できず、入手できる獲物の足跡や糞の数に基づき得られる獲物の数を推測したとすると、この例における近接した手がかりは糞の数や足跡の数である。

エージェントは近接する手がかりを複数使ったとしても常に正しい推測ができるとは限らない。そのため、レンズモデルにおける各手がかりは統計的に関連し確率的に予測できるとされており、遠方の基準 (distal stimulus) と近接的な手がかり(proximal cues)の統計的関連性は生態学的妥当性 (ecological validity[38]) と呼ばれている (Brunswick, 1943; Brunswick, 1955)。理想的にはこうした手がかりをその生態学的妥当性に応じて組

---

38 現代では生態学的妥当性（ecological validity)という言葉は、実験実で観察されたデータがどの程度実験室外において一般化可能であるかという意味で用いられていることがあるが、Hammond (1988) によれば、これは本来 Brunswick が用いた用法とは異なっている (Hammond, 1998)。現代使われている「生態学的妥当性」を指し示している意味として Brunswick は代表性のある実験計画 (representative design) という単語を用いており、実験で用いる刺激がその生物がその生態環境で接する刺激から偏りなくサンプリングされているというように、実験環境がその生物の適応環境に合致したような実験計画を指す (cf. Brunswick, 1943; Brunswick, 1955)。この概念に関しては第 4 章において取り上げている。

み合わせて利用 (utilize) するのが（最も functional validity を高めるという点で）最適であるが、手がかりの妥当性に関しても直接知覚できないため学習などによって推測する必要性が存在する (Dhami, Hertwig, Hoffrage, 2004; Dieckmann & Todd, 2012)。つまり、レンズモデルとは、生物が目的を達成 (achievement) する上で優れた判断を行うか否かは、手がかりの生態学的妥当性 (ecological validity) と生物がどのように手がかりを用いるか (utilization) という 2 点によって定まるとするモデルである。

2.1.3 Hastie & Kameda のシミュレーション

Hastie & Kameda (2005) は、レンズモデルによって個人が不確実な環境において意思決定する過程をモデル化し、こうした意思決定を行う個人（エージェント）によって形成される集団が集団決定ルールを用いた場合の成績をコンピュータ・シミュレーションで検討した。彼らのシミュレーションにおいては利得の異なる選択肢が複数存在しており、各選択肢から得られる利得を近接した手がかりによってエージェントに推測させる設定をとっていた。エージェントはこうした手がかりを用いて最も高い利得を推測し、こうしたエージェントからなる集団が集合的に決定するという設定であった。

前章の Condorcet の陪審定理が明らかにしたように、集団決定ルールの成績はその集団に属する個人の能力分布や判断間の相関に大きく依存する。Hastie & Kameda (2005) は、こうした意思決定の個人差を生み出す次のような 2 つの設定が導入されていた。それは、エージェントが手がかりを用いる際の意思決定戦略が異なるという設定と知覚エラーが導入されているという設定である。以下ではこの 2 点について説明する。

個人の意思決定戦略　前節で説明した通り、レンズモデルにおいて個人は近接した手がかりを推測された生態学的妥当性に応じて用いる。こうした手がかりの真の生態学的妥当性はエージェントを超えて一定であるため、生態学的妥当性に応じて手がかりを重

み付けして意思決定を行なったときに最も高い成績が得られることが期待される。しかし、エージェントはこの手がかりの生態学的妥当性を正しく知覚することはできず、各自で重み付けが異なる。Hastie & Kameda (2005) ではこうした重み付けがランダムに定まることによって、あるエージェントにとっては生態学的妥当性が高く有用であると評価されている手がかりが他のエージェントにとっては有用性が低いと評価されるような設定が行われていた。

知覚エラー　前述のように各エージェントによって手がかりの主観的評価は異なるといった設定がなされていたが、さらに Hastie & Kameda (2005) においては知覚エラーという概念が導入されていた。この知覚エラーとは、たとえば手がかりとなる足跡の数を知覚する際に見る角度や障害物の有無によって個体間によって見え方が異なるというように、手がかりの真の値を知覚する際にエラーが含まれているという設定である。

このように、レンズモデルの枠組みにおいて、Hastie & Kameda (2005) はエージェント間で手がかりの重み付けが異なるという点（個人の意思決定戦略が異なる）に加えエージェント間で手がかりの見え方が異なる（知覚エラーが導入されている）という 2 つの点でエージェント間の判断に個体差が生まれるような設定がなされていた。

2.1.4　シミュレーション変更箇所とその目的

Hastie & Kameda (2005) において知覚エラーというパラメータが導入されていた。このパラメータが大きくなると、個人によって手がかりの見え方が異なるため判断の相関が小さくなり、相関という観点から多数決が有利になるような仕組みが導入されていた。一方、知覚エラーの大きさは個人の成績分布にも影響を与える。知覚エラーが大きくなると個人の平均正答率が下がるため、平均値という観点では多数決は不利になる。また

個人の決定の分散が大きくなるため平均的な能力を持つメンバーとベストメンバーの成績の差が大きくなり多数決がベストメンバーに対して相対的に不利になるとも考えらえる。このように知覚エラーは個人の成績分布・判断間の相関といった決定ルールに影響を与えるパラメータであるにも関わらず、このパラメータが Hastie & Kameda (2005) においては固定されていた。本研究の目的は、集団決定ルールに影響を与えると考えられる知覚エラーを変化させたとしても多数決ルールはベストメンバールールよりも頑健に優れた成績をあげるのか検討することである。

2.2 シミュレーションの方法

2.2.1 シミュレーションの概要

シミュレーションの手続きは Hastie & Kameda (2005) に従う。Hastie & Kameda (2005) におけるシミュレーションは環境とエージェントの 2 つの要素からなる。環境とは利得の異なる選択肢群であり、これらの選択肢は食料探索における複数の狩場や複数の投資先を表現している。エージェントはこうした利得が異なる選択肢から最大の利益をあげると推測されるものを選択するが、狩人が最適な狩場を常に推測できないように、エージェントは各選択肢から得られる利得を直接的に知覚できず統計的に関連した手がかりに基づき各選択肢の利得を推測する。エージェントはこうした複数の選択肢の中から最も利得が高いと推測された選択肢を選ぶ決定を 100 試行に渡って行なった。集団意思決定ルールの評価は、こうしたエージェントが集団で意思決定を行うとして各集団意思決定ルールを用いた場合の成績を算出した。以下では、シミュレーションにおける環境構造とエージェントについて解説し、次に集団決定ルールとその評価方法について解説する。

2.2.2　環境構造

選択肢　Hastie & Kameda (2005) は環境として 10 個の異なる選択肢を設定した（e.g, 各狩場から得られる獲物の数）。各選択肢に対してそれぞれ、選択することで得られる利得が正規分布によって与えられた。各選択肢から得られる利得 Q_j は平均 0 標準偏差 30 の正規分布からランダムに抽出した値が割り振られた。この過程は、下の式によって表現される。

$$Q_j \sim N\ (0, 30^2)$$

$$j\ \in \{1,2, \ldots ,10\}$$

手がかり　エージェントは各選択肢の持つ真の値 (Q_j) を直接的に知覚できず、真の値と統計的に関連した妥当性の異なる 3 つの手がかり（e.g, 獲物の足跡）を参照する。これらの手がかりは各選択肢に割り振られた真の値 (Q_j) に対し、さらに統計的なエラーが加わることによって表現されている。3 つの手がかりの値 (C_1, C_2, C_3) は、各選択肢が持つ真の値である Q_j にそれぞれ異なる分散（それぞれ、$10^2, 20^2, 30^2$）の正規分布より無作為に抽出されたエラーが加算されることで定められた[39]。1 つめの手がかりに与えられるエラーを Error_{C1} と表現すると、C_1 の値は下のような式で表現される。

$$C_{\ 1}\ =\ Q_j +\ Error_{C1}$$

$$Error_{C1} \sim N\ (0, 10^2)$$

2.2.3　エージェント

個人の意思決定方略　各エージェントは 3 つの手がかりにそれぞれ異なる重み付けをす

---

[39] Hastie & Kameda (2005) においては、各手がかりの値に加算される標準偏差の値は 10, 30, 50 として報告されているが、標準偏差 10, 20, 30 の誤表記であると著者は考えている。その理由として、標準偏差 10, 20, 30 で追試した際に Hastie & Kameda (2005) の研究結果が再現された点と、その後 Hastie & Kameda (2005) を発展させ展開された Kameda, Hastie, Tsukasaki & Berg (2010) において標準偏差が 10, 20, 30 として報告されているためである。そのため、本稿では Hastie & Kameda (2005) が標準偏差 10, 20, 30 で行われたものとして議論する。

る。つまり、あるエージェントによっては１つ目の手がかりに高い重み付けをするが、別のエージェントは低い重み付けをするというようにエージェントによって手がかりの使い方が異なる設定になっている。ただし、後述するようにエージェントによって手がかりの値の見え方は異なっている。エージェントは 3 つの手がかりを選択肢 j に対する、手がかり１の真の値 C_1 に対して、参加者 k にとっての観測値（主観的な見え方）を C_{1k}'とすると、推測された選択肢の値 (Q_j) は下のような式によって表現される。

$$推測された Q_j = w_1 C_{1j}' + w_2 C_{1j}' w_3 C_{1j}'$$

なお、重み付けは合計の値が 1 になるようにランダムになるように与えられた。各エージェントは、こうして推測された選択肢の利得の値（Q_j）の中で、最も値が高いものを選択する。この 3 つの手がかりの重み付けについて括弧を用いて(w_1, w_2, w_3)と表現するとき、(0.33, 0.33, 0.33) であれば、Dawes' Rule に相当し (1, 0, 0) というように 1 つの手がかりのみに重み付けを与える場合は Take the Best に相当する。また、こうした複数の手がかりに対して重み付けを与えて加算された値に基づき意思決定を行う方略は Weighted Additive と呼ばれる決定方略に相当する。

知覚エラー　各手がかりの真の値は全エージェントにとって共通の値であるが、エージェントが手がかりを知覚する際にそれぞれの手がかりに対して知覚エラーが付与される。各手がかりの真の値に対して、エージェントごとにそれぞれ N (0, σ^2) から抽出された知覚エラーの値が抽出され加算された。なお、Hastie & Kameda (2005) において、知覚エラーの標準偏差が 20 として固定されていたが、本研究においてはこの σ の値を操作した。

2.2.4　集団決定ルールの評価

上記のような環境において意思決定するエージェントが集団を形成した場合において、

多数決ルールとベストメンバールールを用いた場合の成績を評価する。シミュレーションによってエージェントはそれぞれ独立に 100 試行の決定を行い、集団決定ルールの評価はそれらのエージェントが集団に所属し各集団決定ルールを用いた場合の成績を算出した。そのため、エージェントはそれぞれ定まった意思決定方略（手がかりの重み付け）に基づき 100 試行の決定を行い、多数派やベストメンバーの決定方略によって自らの重み付けを変更するといった設定はなされていない。以下では、それぞれの集団決定ルールの説明と集団決定ルールの評価方法を説明する。

集団決定ルールの定義　Hastie & Kameda (2005) は多数決ルールとベストメンバールールを含む 9 つのルールについて検討を行ったが[40]、本研究の目的は多数決ルールとベストメンバールールを比較する点にあるため、主にこの 2 つのみに着目する。ただし、先行研究におけるシミュレーション結果が再現できるか確認するため、エージェントの個人レベルでの平均正答率と同義であるランダムメンバーに関しても算出を行う。各集団決定ルールに関しては以下のように定義する。

多数決ルール　集団が多数決によって決定するルールである。各試行において集団のメンバーが最も多く選んだ選択肢を集団の多数派が支持する選択肢として選択する。この過程は、各個人が最も利得が高いと推測される選択肢に 1 票ずつ投票し、最も多くの票が集まった選択肢を集団が選択する過程と同義である。各メンバーの票（各メンバーの個人での決定）はその能力に関わらず等しく扱われ、投票されなかった選択肢（各メンバーが選択しなかった選択肢）はエージェントにとって 2 番目に優れた選択肢であると推測された

[40] Hastie & Kameda (2005) は多数決ルールとベストメンバールールの他に、より複雑な集約ルールを検討している。ここでは各集団決定ルールの詳細の説明は省くが、彼らが検討した集約ルールには、集団の各メンバーの推測値の平均値や代表値に基づく判断やより複雑な投票過程を用いる Borda 投票方式や Condorcet 勝者となる選択肢を選ぶ方法などがある。

としてもそれ以外の票が入らなかった選択肢と同様に扱われた。

ベストメンバールール　全試行において集団の中で最も高い成績をあげた人物をベストメンバーとし、全試行に渡ってベストメンバーが独裁的に決定するルールである。各試行において、全試行で最も優れた成績を収めたメンバーの選択に他のメンバーが従うとした。ベストメンバーは全試行の成績に基づき決定されるため、試行全体の中で変化することはない。ベストメンバールールを用いた集団の成績は、集団で最も高い成績をあげた個人の成績と同じ値となる。

ランダムメンバールール　全試行において集団の中でランダムに選ばれた 1 名が独裁的に選択肢を決定するルールである。ベストメンバールールと同様に試行全体の中でメンバーが変化することはない。ランダムメンバーは集団決定ルールのひとつであるが、その機会損失の期待値とエージェントが独立に意思決定した場合の機会損失の期待値は一致する。

集団決定ルールの評価　集団決定ルールの評価として機会損失 (Opportunity Loss) を用いた。各試行において集団が選択した選択肢と最も高い利益が得られる選択肢の差を機会損失の値とした（最も高い Q − 選択された Q)。集団は n 名からなる 1000 集団が作成された。各集団が 100 試行に渡って多数決ルール・ベストメンバールールを用いた場合の機会損失の平均値を算出した。ベストメンバーを定めるために各エージェントの成績を求める場合も集団と同じ方法によって成績が求められた。

2.2.5　本研究のおける目的と変更箇所の確認

本研究の目的は、個人の成績分布および判断間の相関に大きく影響を与えるだろうと予測される知覚エラーのパラメータ σ を変化させることで多数決およびベストメンバーの成績が変化したとしても、多数決がベストメンバーよりも頑健に優れた成績を上げるかを検

討することである。そのため Hastie & Kameda (2005) において知覚エラーの値が $N(0, 20^2)$ の正規分布から値を定めていたのに対し、本研究ではこの正規分布の標準偏差の値を σ としパラメータとして 0 から 40 まで変化させた。

2.3 シミュレーションの結果

2.3.1 先行研究の結果の再現

本研究がオリジナルの研究である Hastie & Kameda (2005) で報告されている結果を再現できているかを確認するため、Hastie & Kameda (2005) において報告された結果と本研究結果を比較する。そのため、本研究のシミュレーションにおいて Hastie & Kameda (2005) と同様に知覚エラーの大きさに固定した場合 ($\sigma = 20$) とオリジナルの Hastie & Kameda (2005) の結果を比較しその再現性を確認する。

Table 1 は Hastie & Kameda (2005) および本研究における、多数決ルール・ベストメンバールール・ランダムメンバールールの 100 試行における平均機会損失を示したものであり、Hastie & Kameda (2005) で報告されている名義集団が 5 名の場合と 12 名の場合の結果を示したものである。名義集団が 12 名の場合、Hastie & Kameda (2005) で報告されている小数点第 2 桁までのランダムメンバールールの機会損失と本研究で得られた結果はともに -7.09 で一致している。また多数決ルール・ベストメンバールールに関してもそれぞれ 0.01 の差である（Hastie & Kameda (2005) において多数決ルールの成績が -4.15 であったのに対して本研究での多数決ルールの成績は -4.16 であり、Hastie & Kameda (2005) におけるベストメンバールールの成績は -4.76 であるのに対して本研究におけるベストメンバールールの成績は -4.77 であった）。一方、名義集団が 5 名の場

合においては、Hastie & Kameda (2005) と本研究における各戦略の平均機会損失の差は多数決ルールにおいて 0.14（Hastie & Kameda (2005) では -4.80 であったのに対して本研究では-4.94）、ベストメンバーにおいて 0.04（Hastie & Kameda (2005) で -5.29 であったのに対して、本研究では 0.04）、ランダムメンバールールにおいては 0.09 であった（Hastie & Kameda (2005) で -7.00 であったのに対して 本研究では -7.09）であった。

ただし、この差は次のような理由においてシミュレーション上での乱数発生に伴う誤差であると考えられる。ランダムメンバーの成績は集団からランダムに選ばれたメンバーの成績であり集団サイズに影響されず、この値はシミュレーションの回数を増やせば名義集団のサイズに関わらず単独で決定した場合のエージェントの成績と一致するはずである。しかし Hastie & Kameda (2005) においては名義集団のサイズに関わらず一致するはずであるランダムメンバーの機会損失が名義集団のサイズによって異なっており（N = 5 の場合と N = 11 の場合で 0.09 の差がある）、これらの差はシミュレーションの乱数発生などによる誤差によって生じるものだと考えらえる。そのため、本研究と Hastie & Kameda (2005) によるランダムメンバーの成績の差もこうした乱数発生に伴う誤差であると考えられる。また、ランダムメンバーの成績が異なるということは個人レベルの成績で誤差が生じていることを意味するため、個人レベルの判断を集約する集団決定ルール（多数決ルール・ベストメンバールール）の成績にも誤差が生じたと考えらえる。以上の点から、Hastie & Kameda (2005) との差は誤差の範囲内であり、結果が再現されたと解釈する。

表 2-1. Hastie & Kameda (2005) および本研究のレプリケーションにおける、各集団決定ルールの平均機会損失

	多数決	ベストメンバー	ランダムメンバー
N = 5			
Hastie & Kameda (2005)	-4.80	-5.29	-7.00
本研究（レプリケーション）	-4.94	-5.32	-7.09
N = 12			
Hastie & Kameda (2005)	-4.15	-4.76	-7.09
本研究（レプリケーション）	-4.16	-4.77	-7.09

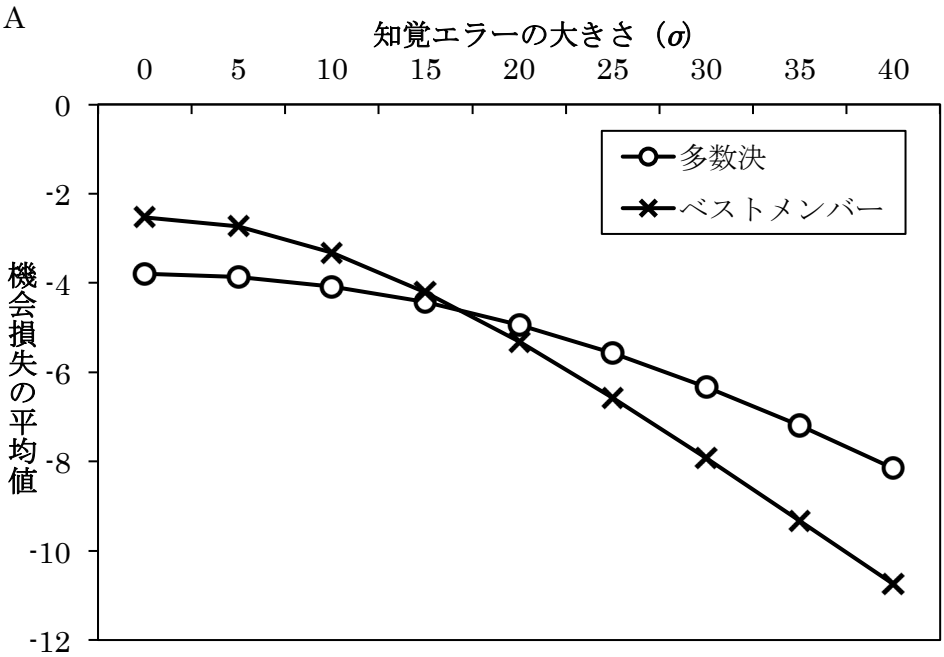
注） *N* は名義集団の数、各数値は機会損失の大きさを示す

2.3.2 知覚エラーの操作

本研究のシミュレーションにおいて、知覚エラーの大きさを定めるパラメータである σ の値を Hastie & Kameda (2005) において設定（固定）された値と同じ値である 20 に設定した際にその結果が再現され本シミュレーションの妥当性が確認されたため、σ の値を変化させた場合の結果について報告する。図 2-2 に、Hastie & Kameda (2005) で報告されている手がかりに負荷される誤差の標準偏差が 10, 20, 30 の場合（表 2-1 で行ったパラメータ設定である）において σ の値を変化させた場合の多数決ルール・ベストメンバールールの平均機会損失を示した。図 2-2 の A は集団が 5 名である場合、B は集団が 12 名である場合の結果である。名義集団が 5 名である場合において、σ の値が 40 から Hastie & Kameda (2005) に報告されている 20 までは多数決がベストメンバーより優れた成績をあげているが、σ の値が 15 より小さくなるとベストメンバーが多数決よりも優れた成績をあげることが見出された (cf. 図 2-2A)。この傾向は、集団のサイズを 12 名に変化させた場合においてもみられ、σ の値が 15 より小さいケースにおいてベストメンバーの成績が多数決の成績を上回ることが示された (cf. 図 2-2B)。知覚エラーが

大きい場合において、多数決の成績がベストメンバーの成績よりも有利であるが、知覚エラーが小さい場合においてはベストメンバーの成績がベストメンバーの成績が多数決の成績を上回ることが示された[41]。

[41] また、手がかりに加算されるエラーの標準偏差の値を 10, 20, 30 から 10, 30, 50 に変化させた場合についてもシミュレーションを行い、その結果を図 2-3 に示した。その結果、同様に知覚エラーの値 (σ) が大きくなるにつれてベストメンバーが有利になる結果が得られたなお、Hastie & Kameda (2005) で設定された知覚エラーのパラメータ ($\sigma = 20$)を用いた場合、ベストメンバーは多数決より優れた結果をあげた。



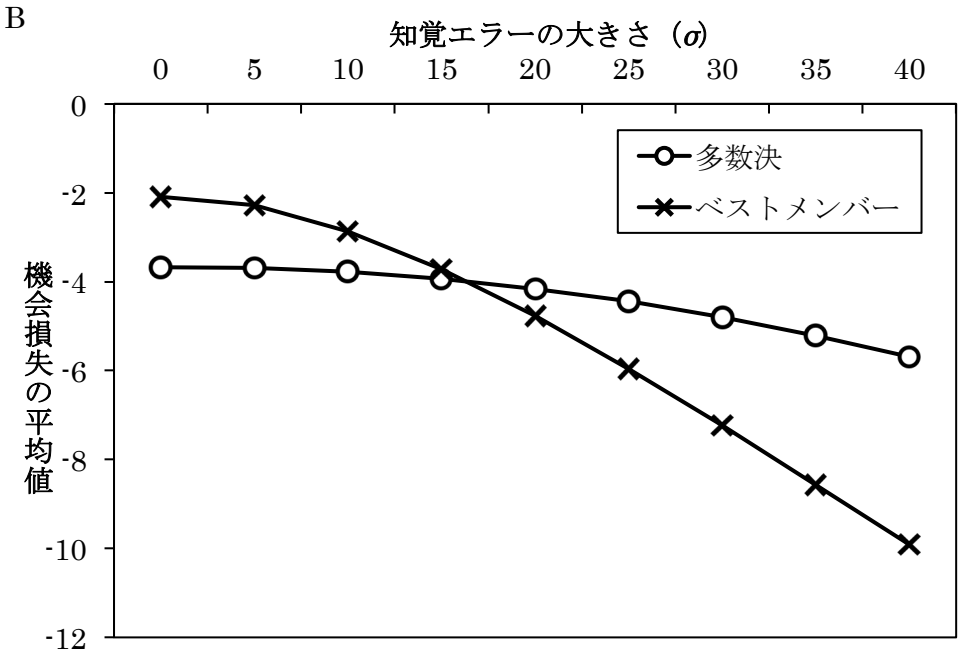


図 2-2. 知覚エラーの大きさ（σ）を変化させた場合の多数決ルールとベストメンバールールの平均機会損失。A は集団のメンバーが 5 名、B は集団のメンバー12 名であるときの結果を示す。手がかりに加算されるエラーの標準偏差の値は 10, 20, 30。

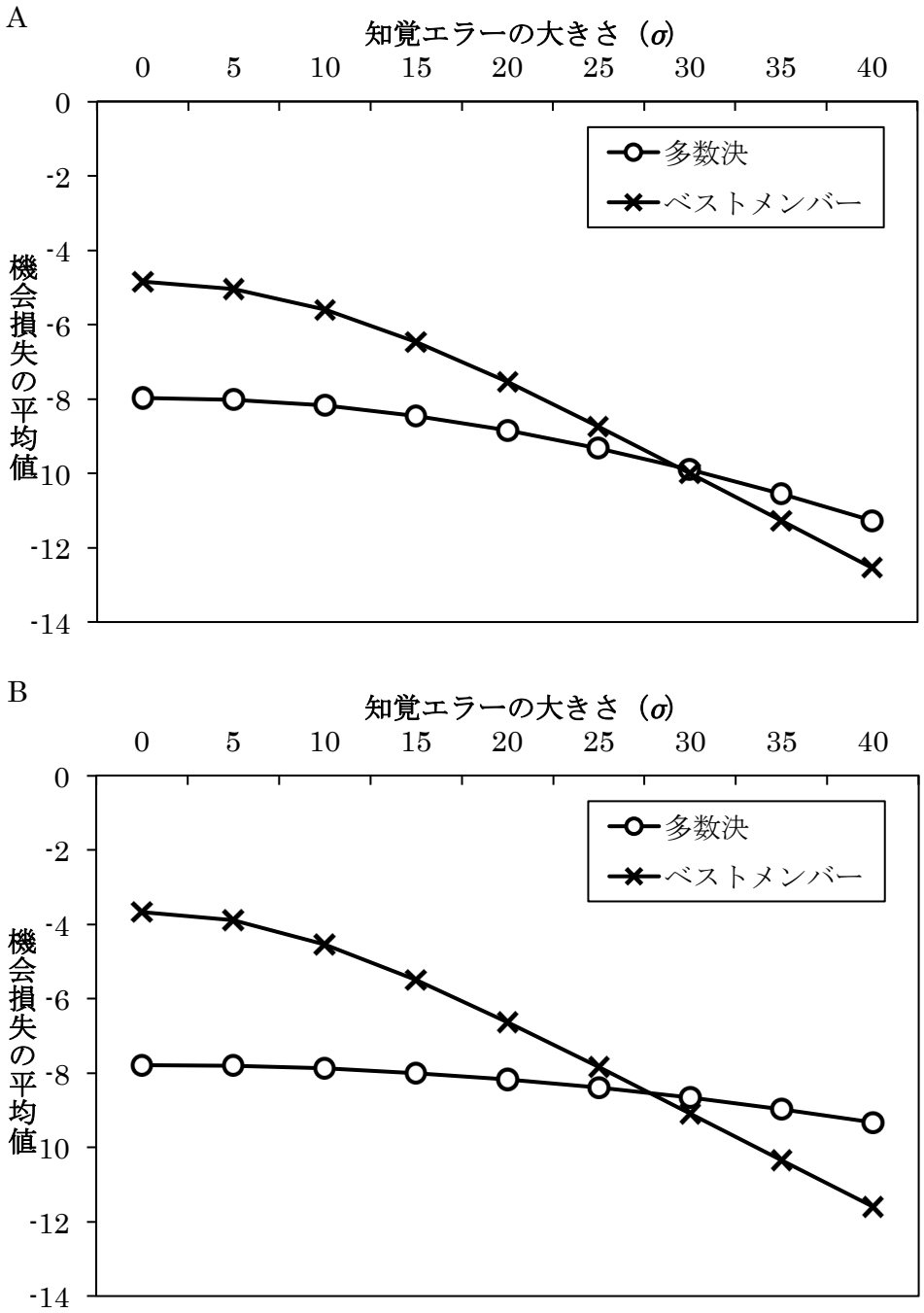


図 2-3.　手がかりに加算されるエラーの標準偏差の値が 10, 30, 50 における知覚エラーの大きさ (σ) を変化させた場合の多数決ルールおよびベストメンバールールの平均機会損失。A は集団のメンバーが 5 名、B は集団のメンバーが 11 名の場合を示す。

2.4 考察

2.4.1　結果の考察

本研究では Hastie & Kameda (2005) の多数決ルールがベストメンバールールよりも優れた成績を示すという知見に対して、シミュレーションにおける個人の能力差・および判断間の相関を定めるパラメータの一つである知覚エラーを操作しても多数決ルールはベストメンバールールよりも頑健に優れた成績をあげるのか検討した。シミュレーションの結果、知覚エラーが大きくなるとベストメンバールールが多数決ルールの成績を上回ることが示された。この結果から、多数決ルールがベストメンバーを上回るという現象はレンズモデルのような人々が直接アクセス可能な手がかりを用いて推論を行うような場面において頑健に見られるのではなくパラメータに依存すると解釈できる。

本研究においては、個人の判断間の相関や能力分布が多数決およびベストメンバーの成績に与える影響を検討するために、知覚エラーの標準偏差の値をシステマティックに変化させたが、それ以外にも複数の点に対して変更を加えることができる。例えば、全てのエージェントにおいて知覚エラーは同じ正規分布から抽出されたノイズが付加されるという設定であるが、各個人で視力が異なるようにエージェントごとに異なる分散を持つ正規分布からエラーが抽出されるといった変更点を加えることができる。この設定は現実において知覚能力に個人差があることを考慮するならば妥当な解釈だと考えられ、こうした知覚エラーの個人差によって能力差が大きくなる状況ではより有能な人物の意見に従うことで優れた決定ができると考えらえる (Bahrami, Olsen & Lanthan et al., 2010)。

また、Hastie & Kameda (2005) においては個人が手がかりを用いる際にランダムに定められた重み付けをするような決定方略を用いると想定していたが、人々は実験において Dawes' Rule（全ての手がかりに対して平等に重みづけを行う決定方略）、あるいは情報にコストがかかる際には Take the Best（最も妥当性が高い手がかりの一つのみに基づく決定方略）を用いることが知られており、こうした個人の用いる意思決定方略により集団決定ルールの成績が変化することはコンピュータ・シミュレーションによって示されている[42] (Luan & Katsikopoulos, 2010)。

また、Hastie & Kameda (2005) が分析を行っているように、情報が不完全であり選択肢あるいは手がかりの一部の情報が入手できないような設定を行うことも可能である。こうした選択肢に関する情報が不完全である場合は多数決がベストメンバーよりも有利となるが、たとえ多数決が優れる結果となったとしても、その結果は手がかりの妥当性やその情報がどの程度確率的に入手できるかといったパラメータに依存し、また前述したような知覚エラーや個人の意思決定ルールの影響を受ける（また、情報の入手量に個体差が生じると考えることもできる）。以上の点で示したように、Hastie & Kameda (2005) のシミュレーションでは設定可能なパラメータが複数存在し非常に自由度が高く、パラメータの値によって多数決ルール・ベストメンバールールの成績が変化するため多数決ルールが頑健にベストメンバールールよりも優れた成績をあげるという主張を展開するのは困難であると言えるだろう。

2.4.2 どのような環境において多数決が優れるのか

[42] 例えば集団のすべての個人が最も優れた手がかりのみに基づいて判断する場合、集団における個人の判断間の相関が高まるため集合知が生じにくくなる。

Hastie & Kameda (2005) のシミュレーションのレプリケーションによって個人の能力分布および判断間の相関に関連するパラメータをシステマティックに操作したところ、多数決はベストメンバーよりも頑健に優れた成績をあげるのではなく、その成績はパラメータによって大きく依存することが示された。しかし、Hastie & Kameda (2005) のシミュレーションパラダイムでは、知覚エラーを操作することで、間接的にしか個人の能力分布（平均・分散）や判断間の相関を操作できず、知覚エラーを操作することで平均・分散・相関の 3 つのパラメータが連動して変化するため各要因がどのように多数決・ベストメンバーの成績に影響を与えるのか検討することができなかった。そのため第 3 章では、平均・分散・相関の 3 つのパラメータを直接操作可能なコンピュータ・シミュレーションを行う。

第 3 章

多数決の頑健性に対する理論的検証 II:
集団の能力分布と判断間の相関を直接操作した
コンピュータ・シミュレーション

3.1 序論

3.1.1　概要

集合知とは各個人の能力は平凡であっても、そうした個人の意見や判断を集約することで、非常に優れた成績をあげる現象である。これまで、多数決もこうした集合知によって優れた成績をあげると主張されてきた。第 1 章では、認識論的民主主義というアプローチについて述べ、集合知の実証研究および理論研究が、その理論的根拠として用いられていることを説明した。さらに第 1 章では、集合知に関する実証研究や多数決に関する理論研究を通して、多数決は判断間の相関によって大きく成績が劣化してしまう性質を持ち、常に優れた成績を叩きだすものではなく、集団の成績分布によってはベストメンバーに対して成績が劣る場合があることを指摘した。これを踏まえ第 2 章では、Hastie & Kameda (2005) のレプリケーションを通して、判断間の相関や集団の能力分布に影響するパラメータを操作することで、ベストメンバーが多数決より優れた成績をあげる環境が多く存在することを示し、多数決の成績の優位性が必ずしも頑健ではないことを示した。

ただし、第 2 章で行った Hastie & Kameda (2005) のレプリケーション研究においては、判断間の相関や能力分布といった、多数決およびベストメンバーの成績に直接影響を与える要因の操作が、手がかりの重み付けの大きさや知覚エラーの大きさといった、間接的なパラメータを介してのみ可能であるという制約があった。さらに、間接的なパラメータを操作すると、関心の対象である判断間の相関と集団の成績分布が連動して変化するため、これら直接的な要因が個々に与える影響過程を明らかにするのが困難であった。この問題を対処するため、本章（第 3 章）では判断間の相関と集団の成績分布を直接操

作可能なコンピュータ・シミュレーションを新たに実施した。そして、新たにデザインされたシミュレーションにおいて、多数決とベストメンバーの成績に直接影響を与える3つの要因、すなわち能力分布の平均と分散、判断間の相関によって規定されるパラメータ空間における、多数決がベストメンバーを上回る領域を探索する。

また、本章では、新たなシミュレーションのデザインのみならず、ベストメンバーに関する新たな定義を導入する。これまで、集団（多数決・平均に基づく判断）とベストメンバーを比較する研究の多くは、集団において最も優れた成績をあげた人物をベストメンバーと定義していた (Lorge, Fox, Daviz and Brenner, 1958; Gigone & Hastie, 1997 for review)。しかし、そもそも最も優れた成績をあげた個人が既知であるという設定自体が非現実的である。そのため、本章では、ベストメンバーが誰であるのかを集団に所属するメンバーが情報を用いて推測するような状況を設定することで、優れたメンバーの選抜過程に不確実性を導入する。本研究では、こうしたベストメンバーの推測に不確実性が伴う場面において、どのようなパラメータ空間において多数決がベストメンバーよりも優れるのか検討する。

以下では、まず導入として、先行研究において、なぜ先行研究が、全試行でもっとも優れた成績をあげた人物をベストメンバーとする非現実的な定義おいていたかについて説明する。その上で、本章で検討する、新たなベストメンバーの定義を説明する。

3.1.2 ベストメンバーの定義に関して

集団意思決定研究におけるベストメンバーの位置付け　全試行で最も成績の高い人物をベストメンバーとする定義は、Hastie & Kameda (2005) のみならず、意思決定研究において広く用いられてきたものである (Lorge et al., 1958; Gigone & Hastie, 1997 for

review)。こうしたベストメンバーの定義が広汎に用いられてきたのは、多数決や討論を介して決定を行う集団の成績を測る尺度の一つとして、ベストメンバーの成績が算出されていたためであり (Lorge et al., 1958)、人々が「優れたメンバーに従うことで得られる成績」には関心が無かったためであると考えられる。以下では、集団意思決定研究においてベストメンバーが集団の成績を測定する尺度として用いられるようになった経緯について説明したい。

近年の集団意思決定における研究の多くは、個人の意思決定の集約によって統計的な誤差がキャンセルされた結果得られる高いパフォーマンスを、集合知効果と呼ぶ (e.g Lorenz, Rauhut, Schweitzer, & Helbing, 2011; Iyer & Graham, 2012)。だが、こうした個人の判断を統計的に合成することで集団の成績が向上する現象については、すでに 1920 年代から 30 年代にかけ、心理学者によって数多くの実験研究がなされてきた (for review, Lorge et al., 1958)。しかし、こうした研究は、「集団が優れた成績をあげるという結果は統計的な現象であり、心理学が主たる関心とする集団過程の心理的側面に言及していない」として、同時期に活躍する心理学者からの批判に晒されていた (Stroop 1932; Peterson, 1938; Lorge et al., 1958)。特に、Stroop (1932) は、同じ個人に複数回意思決定を行わせた上で、同一個人の複数回の意思決定を、あたかも別の個人によって行われたかのように扱い、先行研究と同じように名義集団を形成したところ、成績が向上することを示した。そしてこの結果を踏まえ、統計的に個人の判断を合成することで作成された集団の成績が向上するという結果は、複数回データをサンプリングすることで誤差が消失するという統計的に自明な結果をデモンストレートしたにすぎず、集団意思決定に関

する心理的側面に関して言及するものではないと批判した[43]。

こうした批判を受け、集団意思決定に関する研究は集団の判断を統計的に合成するのではなく、実際の討論を経て生み出されるパフォーマンスに焦点を移すようになり、相互作用を行った集団のパフォーマンスを評価する一つの基準として、ベストメンバーが用いられようになった (Lorge et al., 1958; Hastie, 1986)。こうした視点は、Larson (2007) による「集団シナジー (Group Synergy；相乗効果とも訳される) 」の定義に観ることができる。彼は、集団が相互作用することによって生ずる、個人では生み出し得ないパフォーマンスをシナジーとして定義したが、これには以下の 2 つのレベルがある。Larson (2007) は、第 1 のレベルとして、集団が相互作用により平均的な個人のパフォーマンスを上回る場合を弱いシナジー (weak synergy) と定義し、第 2 のレベルとして、相互作用により集団の成績が最も優れた人物の成績を上回った場合を強いシナジー (strong synergy) として定義した。こうした定義の背景には、もし個人が集団と同程度のパフォーマンスを生み出せるのであれば、集団の相互作用に伴うコスト（時間的・人的）を鑑みた場合、集団意思決定はあまり有益ではないとする観点が存在していたためだと考えらえる (Gigone & Hastie, 1997)。

---

[43]同じ個人が複数試行意思決定を行うことで、集合知と同様にエラーキャンセル効果が生まれる現象は、その後多くの実験研究によって検討されている (Ariely et al., 2000; Herzog & Hertwig, 2009; Rauhut & Lorenz, 2011; Vul & Pashler, 2008)。こうした現象は、一人の精神による集合知 (wisdom of crowds in one mind; Herzog & Hertwig, 2009; Rauhut & Lorenz, 2011) として再定義（あるいは再発見）されており、「たった一人で判断する場合であっても、集合知と同ように優れた結果が生じ得る」という全く異なるメッセージが発信されている。ただし、これらの実験研究は、質問に関して即座に回答し、その後再び回答することを知らされず時間差を置いて判断させる実験研究 (Vul & Pashler, 2008)、実験結果を数理モデルに基づき分析することによって、集合知研究において個人の判断が集団の判断の分布からランダムに抽出されるのとは異なり、個人は、個人の“内的分布”からの独立なランダムサンプリングではないことを示す研究 (Rauhut & Lorenz, 2011) など、その方法論や分析方法が洗練されているという点で Stroop (1932) の研究とは一線を画している。

こうしたベストメンバーの定義は、「いかなる個人も生み出しえない優れたパフォーマンスが、集団内の相互作用によって創発するのか」という問いに対して重要であるように思える。しかし一方で、Gigone & Hastie (1997) が指摘するように、現実的に推測が不可能であるベストメンバーの成績と集団の成績との比較は、たとえベストメンバーを集団の成績を測る尺度と見做したとしても、その見立て自体にどのような価値があるのか明白でないといった批判がなされている。

現実的なベストメンバーの選出の必要性　前述したように、集団で最も優れたメンバーをベストメンバーとする定義は先行研究において一般的であった。しかし本研究では、新たなベストメンバーの定義を導入する。その理由は、本研究の目的が、Condorcet の陪審定理が想定するような、理想的な状態における多数決とベストメンバーとの比較にあるのではなく、現実的な制約の下での多数決とベストメンバーの比較にあるためである。現実的な環境下においては、誰が将来最も優れた成績をあげるのかは明白ではなく、能力の低い人物を誤ってベストメンバーとして選択するといったエラーを考慮する必要がある。そのため本研究は、集団が個々のメンバーの能力を推測しベストメンバーを選抜する過程に不確実性が伴うという前提を置く。以下では、現実的なベストメンバーの選抜方法について議論する[44]ことで、どのようにこうした選抜に伴う不確実性をシミュレーションに導入すべきか議論する。

ベストメンバーの選出方法に関して　前述のようなベストメンバーの定義がなされてきた経緯もあり、どのように集団内で最も優れた成績をもつ個人を見出すかという問

[44] 社会において一定の基準に従い、ある分野において優れる能力を持つも者に意見を仰ぐような事例は数多く見られる。こうした「社会において人々がどのようにしてある人物を専門家として認定するのか」や「なぜ知識をもたない人物が専門家の知識に対して信頼できるのか」といった問題は、近年認識論において提起されており、この問い自体が研究の一つとして検討されている(Hardwig, 1991; Goldman, 2001)。

いは、集団意思決定においてもあまり検討されてこなかった。しかし、ベストメンバーの推測過程を導入した先駆的な理論モデルとして、Einhorn, Hogarh & Klempner (1977) らの理論研究をあげることができる[45]。Einhorn et al. (1977)によるモデルでは、真のベストメンバーが明らかである場合に加え、ベストメンバーを推測する過程で誤ったベストメンバーが推測される状況を設定している。彼らのモデルでは、能力が高い人物は能力が低い人物よりも実際に高い確率でベストメンバーであると推測されるという前提に基づき、ベストメンバーを推測する過程を確率的に表現している。Einhorn et al. (1977) のモデルでは、例えば 5 人のメンバーが存在する場合には、上位の人物から、5, 4, 3, 2, 1 の割合でベストメンバーとして推測できるとしている。つまり、成績が 1 位の人物の場合は、5/15 (5/15 = 5/[5+4+3+2+1])、2 位の人物の場合は 4/15 (4/15 = 4 / [5+4+3+2+1])、最下位の人物は 1/15 の確率でベストメンバーであると集団が選択する設定になっていた。ただし、この方法では、Einhorn et al. (1977) 自身が論文で恣意的であると認めているように、なぜ上記のような割合でベストメンバーが推測できるかに関する根拠がないという問題が存在する。

本研究におけるベストメンバーの選抜方法：過去の成績を基準とする　では、どのような基準でベストメンバーを選抜するべきなのであろうか。現実には、人々は様々な基準で優れた人物を見出していると考えらえるが、本研究では「過去の成績で最も優れていた人物を、ベストメンバーとして推測し選抜する」という基準をシミュレーションで導入する。過去の成績を基準として推定を行うという方法は、専門家の能力を推測する方法の一つとして Goldman (2001) においても議論されており（cf. 第 6 章脚注 40）、過

[45] 集団ではなく 2 者間において、どちらが優れたメンバーであるのか推測する際に不確実性が存在することを指摘し、ベストメンバーを見つける確率を導入した研究として、Soll & Larrick (2009) をあげることができる。

去の履歴は専門家を選ぶ上で、信頼性のある選択を行うための最も有効な情報源である可能性が述べられている。

ベストメンバーを選択する確率をシミュレーションに導入することも可能である(e.g. Einhorn et al., 1977; Soll & Larrick, 2009)。だが本研究では、こうした新たな外生変数（e.g. ベストメンバーを推測する確率）を導入せずに、内生的な変数であるメンバーの過去の成績を、ベストメンバーの選抜基準として利用する。その理由は、真のベストメンバーを同定することの困難さは、メンバーの分散と独立した変数ではないためである。例えば分散が極端に大きい場合（e.g. 5 人のメンバーの内、1 人の正答率が 0.95 で、残りの 4 人が 0.55）、真のベストメンバーを見つけるのは比較的容易であるが、メンバーの分散が小さい場合（e.g.メンバー1 人の正答率が 0.59 で、残りの 4 人が 0.55）、真に優れたメンバーを推測することは困難である。また、「過去の成績が最も優れた人物に従う」という前提は、人類学や生物学において、個体は、過去最も高い成績あるいは利得をあげた個体の行動を模倣する傾向があること（‘copy the most successive’, ‘pay-off bias’; Hewlett & Cavalis-forza, 1986; Laland, 2004; Mesoudi 2008）を考慮すれば、十分に現実的な前提だと考えられる。

3.1.3 シミュレーションの目的

本章におけるシミュレーション研究の目的は 2 つある。第 1 の目的は、集団意思決定ルールの成績に関わる、個人の平均正答率・分散・判断間の相関という 3 つの要因を直接操作することで、多数決がベストメンバーより優れるパラメータ領域を検討することである。第 2 の目的は、過去の成績に基づくベストメンバーの推測過程を導入すること

で、より現実的なベストメンバールールに修正することで、ベストメンバーを見誤るエラーによって、多数決がどの程度有利になるのかを検討することにある。

ベストメンバーの成績を推測する過程を導入する際に、推測されたベストメンバーの成績に大きく関わる要因が、集団の能力の分散である。集団の能力の分散とベストメンバーの成績の関係は、ベストメンバーが明白である場合は、分散が大きいほど集団平均から逸脱した能力を持つ個人が生まれやすくなるため、ベストメンバーの成績が高くなるという単純なものであった。一方、ベストメンバーを推測する場合、分散が大きくなることで優れたメンバーを選んだ際のメリットは増加するが、その反面、誤って能力の低い人物をベストメンバーとして選択した場合のデメリットも大きくなる。そのため、ベストメンバーを推測する場合においては、必ずしも分散が大きくなることでベストメンバールールの成績が向上するとは限らない。こうした、ベストメンバーを確実に選抜できる場合とは大きく異なる、ベストメンバーを推測するような場面において、多数決がベストメンバーよりも優れた成績をあげるのは、いかなる環境であるかを検討する。

3.2 方法

本研究のシミュレーションでは、n 人の個人からなる集団が形成され、個人は互いに影響することなく独立に100試行に渡って2択型選択課題を回答した。各個人の能力（平均正答率）は、平均（μ），分散（σ^2）の正規分布からランダムにサンプリングされた値によって決定された。これは2択型選択課題において、個人が正答を見出す確率を表現している。各個人の平均正答率は試行を通して変化せず、サンプリングされた値が 0.4 以下か 0.99 以上の場合にはリサンプリングされた。そのため、リサンプリングされた

後の個人平均正答率は、必ずしも抽出元の正規分布の平均値である μ とは一致しない。次に、個人の正答率に基づき n 行×100 列からなる行列を作成し、各行のセルを任意の回数並び変えることによって、メンバー間の判断の相関を操作した。

集団意思決定方略　各試行において、多数決ルールを用いた場合の正答数を多数決ルールの成績とした。ベストメンバールールは集団がベストメンバーの決定に従う場合の成績であるが、その定義として本研究は次の 2 つの基準を用いる。第 1 に、従来の意思決定研究で用いられたような最も成績が優れる人物をベストメンバー (Lorge et al., 1982, Hastie & Kamedam 2005; Kameda, Tsukasaki, Hastie, Berg, 2011) とし、n 人からなる集団の中で 100 試行中最も優れた成績をあげた人物をベストメンバーであると定める基準である。こうして選ばれたベストメンバーを、真のベストメンバーと定義する。第 2 に、集団が過去の成績からベストメンバーの成績を推測し、その人物に従った結果得られた成績を推測されたベストメンバーの成績と定義した。具体的には、集団は過去の k 試行において最も優れた成績をあげたメンバーをベストメンバーであると学習し（学習セット）、残りの $(100 - k)$ 試行において選ばれたベストメンバーに従った結果得られた成績を、推測されたベストメンバーの成績として定義した。なお、この推測されたベストメンバーと多数決の成績を比較する際には、多数決も $(100 - k)$ 試行を評価の対象とした。

パラメーターの操作　個人の能力分布の平均値 (μ) は 0.55 から 0.85 まで 0.1 刻みで変化させた。能力分布の分散 (σ^2) に関しては、標準偏差 (σ) を 0.05 から 0.20 まで 0.05 刻みで変化させた。集団の判断間の相関は、個人の能力分布の平均値 $(\bar{Q})$ が 0 から 1 になるように操作された。その上で、ベストメンバーを推測する場合において、学習セットの長さが全体の 25% (k = 25), 50% (k = 50), 75% (k = 75) であるようなケースに関し

て検討した。集団の成員数に関しては、Hastie & Kameda (2005) において 5 名と 12 名が検討されていたため、本研究においても 5 名と 11 名の場合を検討した（11 名としたのは、奇数にすることで多数決による決定を確定させるためである）。

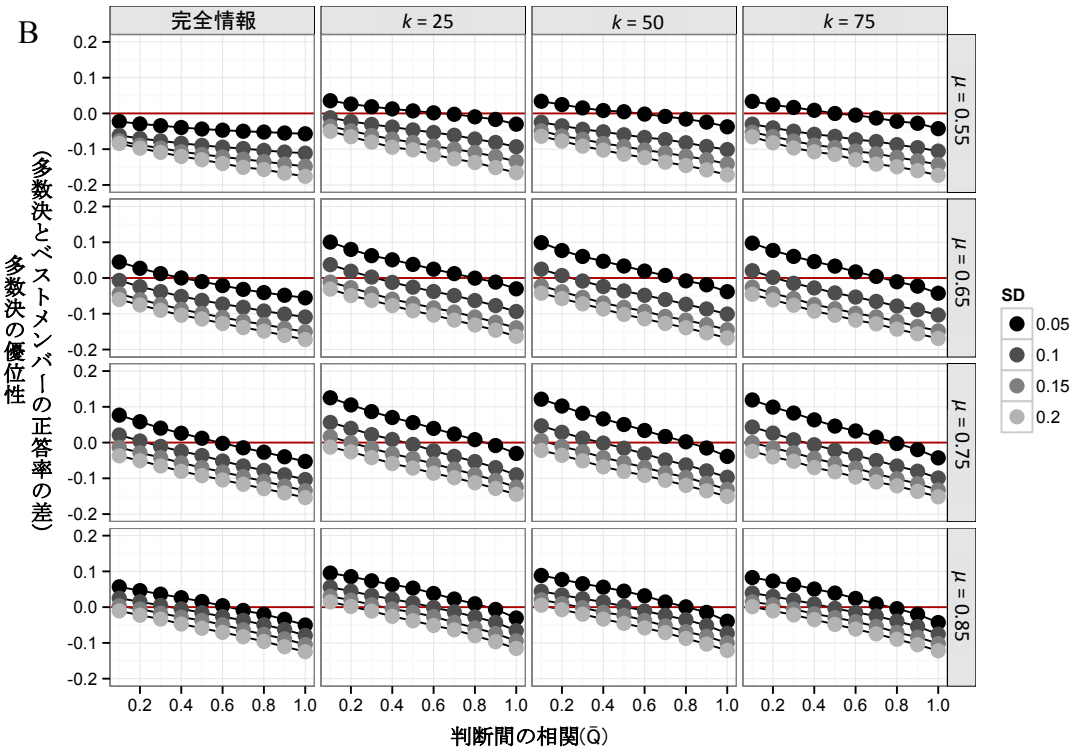
3.3 結果

本研究のシミュレーションの結果を図 3-1 に示した。全体的な結果として、相関・平均・分散の各要因の操作が、多数決をベストメンバーより有利にするのかに関しては、人数やベストメンバーの推測の有無に関わらず、一貫した方向性が見られた。両者において共通して、メンバー間の判断の相関（$\bar{Q}$）が高くなるほど多数決はベストメンバーよりも不利となり、個人の能力の平均値（μ）が高くなるほど多数決がベストメンバーよりも有利になり、能力の分散（標準偏差：σ）が大きくなるほど多数決がベストメンバーよりも不利になることが見いだされた。

次に、「ベストメンバーが明らか」である場合と、「ベストメンバーを推測する」場合のそれぞれに着目する。以下では、まず 5 名のケースから着目するものとする（図 3-1 A）。ベストメンバーが明らかである場合の結果を、図 3-1 の「完全情報」と記された列に示した。集団の平均的能力が低い場合 ($\mu = 0.55$)、相関・分散に限らず、多数決は常に真のベストメンバーの成績を下回っていた。一方、個人の平均正答率が高い場合 ($\mu = 0.75$)、分散が小さい場合 ($\sigma = 0.05$) において、多数決はベストメンバーの成績を 10 ポイント中 3 ポイントで上回った。一方、分散が大きい ($\sigma = 0.20$) 場合においては、平均に関わらず、例え相関が低い理想的な状態 (e.g. $0.0 < \bar{Q} < 0.1$) であっても多数決がベストメンバーの成績を上回るポイントは見られなかった。これらの傾向は、メンバーが 11

名の場合も同様である（図 3-1 B）。これらの点を整理すると、多数決がベストメンバーより優れるのは、集団成員の平均的能力が高く、かつ能力の分散が低く、メンバー間の判断の相関が低い場合、という 3 条件揃った場合のみであることが分かった。

次に、ベストメンバーを推測する場合の結果（試行の一部である学習セットに基づいてベストメンバーを選抜し、残りの試行において選抜したメンバーに集団が従う場合）に移る。図 3-1 において、「k = 25」「k = 50」「k = 75」と記した列に示した。基本的なパターンは、ベストメンバーが明確な場合と推測する場合で同様であった。しかし、ベストメンバーが明確な場面では、集団成員の平均的能力 (μ) が低い場合、多数決がベストメンバーを上回るポイントはなかった。一方、誰が優れているのか推測する場面では、平均的能力 (μ) が低い場合においても、多数決がベストメンバーの成績を一部上回った。なお、学習セットの長さ、集団サイズによる大きな影響は見られなかった。



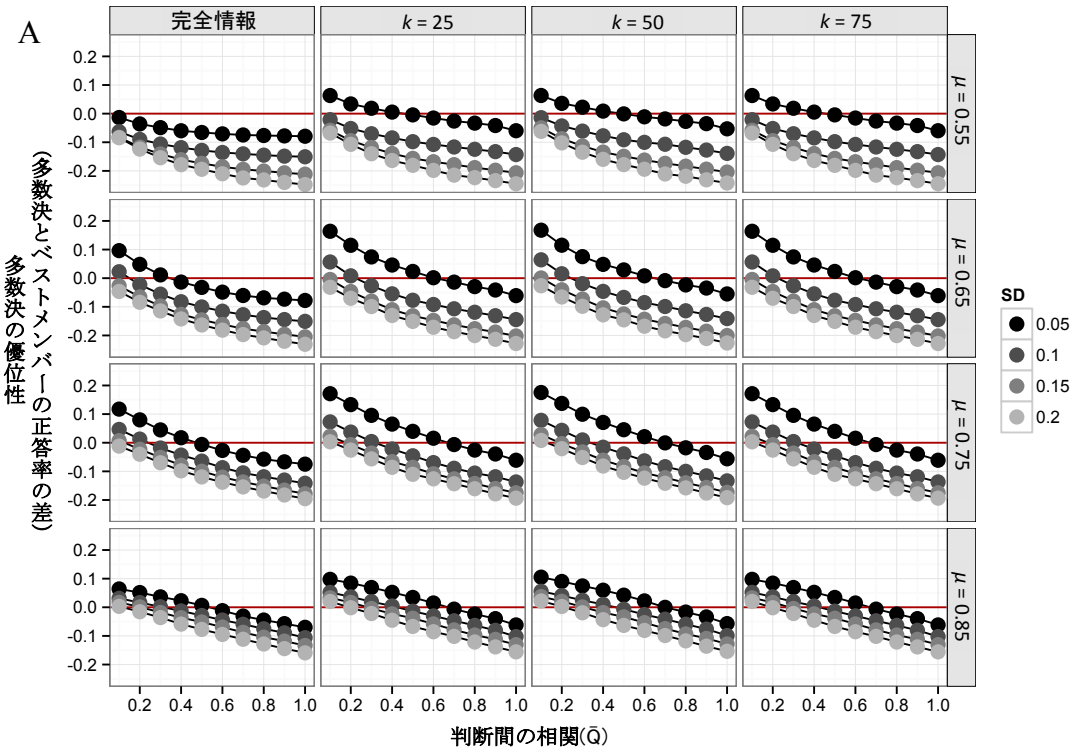


図 3-1. 平均（μ）・標準偏差（σ）・判断間の相関を操作した場合の多数決ルールの正答率とベストメンバーの正答率の差を示す（値が正である場合において多数決ルールの正答率が高い）。A は名義集団のサイズが 5 名、B は名義集団のサイズが 11 名である場合の結果である。A, B 内の各グラフは学習セットの長さ 4 パターン（縦：完全情報である場合と学習セットの長さが全体の 1/4 (k = 25) , 1/2 (k = 50), 3/4 (k = 75) ）と平均正答率 4 パターン（横：個人の成績を決定する際の抽出元の分布における平均がそれぞれ 0.55, 0.65, 0.75, 0.85）によって組み合わされる 16 パターンの結果を示している。各グラフの縦軸は平均正答率の差、横軸は集団における成員間の判断の相関の平均値$\bar{Q}$（Yule の連関係数 Q）を示している。

平均・分散を固定した場合の傾向

次に、集団成員間の判断の相関を変化させた場合における、多数決ルールおよびベストメンバールールの成績の変化に着目するため、個人の成績分布を規定するパラメータである平均（μ）・分散（σ）の値を固定し、学習セットを全体の半分である 50 試行（$k = 50$）に固定した。以下では、次のような 3 つのケースに着目する。第 1 に、多数決はどのポイントにおいても真のベストメンバーに劣るが、相関によっては推測されたベストメンバーの成績を上回るケース（図 3-2 A, $\mu = 0.55, \sigma = 0.05$）、第 2 に、多数決が相関の値によっては真のベストメンバーの成績を上回るケース（図 3-2 B, $\mu = 0.85, \sigma = 0.05$）、第 3 に、いかなるポイントにおいても多数決が推測されたベストメンバーの成績を上回ることができないケース（図 3-2 C, $\mu = 0.75, \sigma = 0.20$）である。また、比較のための尺度として、真のベストメンバーの成績もグラフに示す。

図 3-2 A は、平均・分散（標準偏差）が共に低いケースである（$\mu = 0.55, \sigma = 0.05$）。このケースでは、成員間の判断の相関に関わらず真のベストメンバーの成績が多数決の成績を全てのポイントで上回っていた。だが、ベストメンバーを推測する場合、相関（の平均値）$\bar{Q}$ が 0.5 を下回る 5 つのポイントにおいて、多数決が推測されたベストメンバーの成績を上回った。3 つの集団決定ルールは、それぞれ相関の大きさによって影響を受けた。判断間の相関が非常に高い場合、多数決の成績はランダムメンバーとほぼ同じ（両者の差は 0.00）だったが、相関が下がるにつれてその成績は向上した。一方、推測されたベストメンバーは、相関が低い場合、ランダムメンバーの成績とほぼ同じ（両者の差は 0.00）だったが、相関が高まるにつれて成績が上昇し、真のベストメンバーの成績に接近した。一方、相関の高まりとともに多数決の成績は低下し、相関が 1.0 に近い場合には、ランダムメンバーとほぼ同程度の成績となった。

次に、図 3-2 B に示される、分散（標準偏差）の値は先ほどと同じである（$\sigma = 0.05$）が、平均が高いケース（$\mu = 0.85$）に着目する。推測されたベストメンバーの成績は相関によって成績が変化するが、その上昇傾向は平均が低いケース（$\mu = 0.55$）と同程度であった（$\mu = 0.55$ において相関が 1 である場合と 0 である場合）。しかし一方で、多数決の成績は相関によって大きく変化した。図 3-2 C は、平均がやや高く（$\mu = 0.75$）、分散（標準偏差）が大きい（$\sigma = 0.20$）ケースの結果を示している。なお、ランダムメンバーの成績が 0.72 と 0.75 より若干小さいのは、平均が 0.99 を超える場合にはリサンプリングしているためである。このケースの場合、集団成員間の判断の相関が非常に低く、多数決において理想的な場合であっても、推測されたベストメンバーよりも多数決が高い成績をあげるポイントは存在しなかった。

図 3-2 C に示される、分散（標準偏差）（$\sigma = 0.20$）と平均が高いケース（$\mu = 0.75$）に関しては、集団成員間の判断の相関に関わらず、推測されたベストメンバーは多数決より高い成績をあげた。また、真のベストメンバーと推測されたベストメンバーの成績が非常に接近していることから（どのポイントにおいても、その差が 0.02 未満）、分散の高い状況下でベストメンバーが正しく推測されると解釈される。よって、分散が高い状況においては、たとえベストメンバーを推測しなくてはならない条件でも比較的優れたメンバーを選出できるので、多数決は不利になることが見出された。

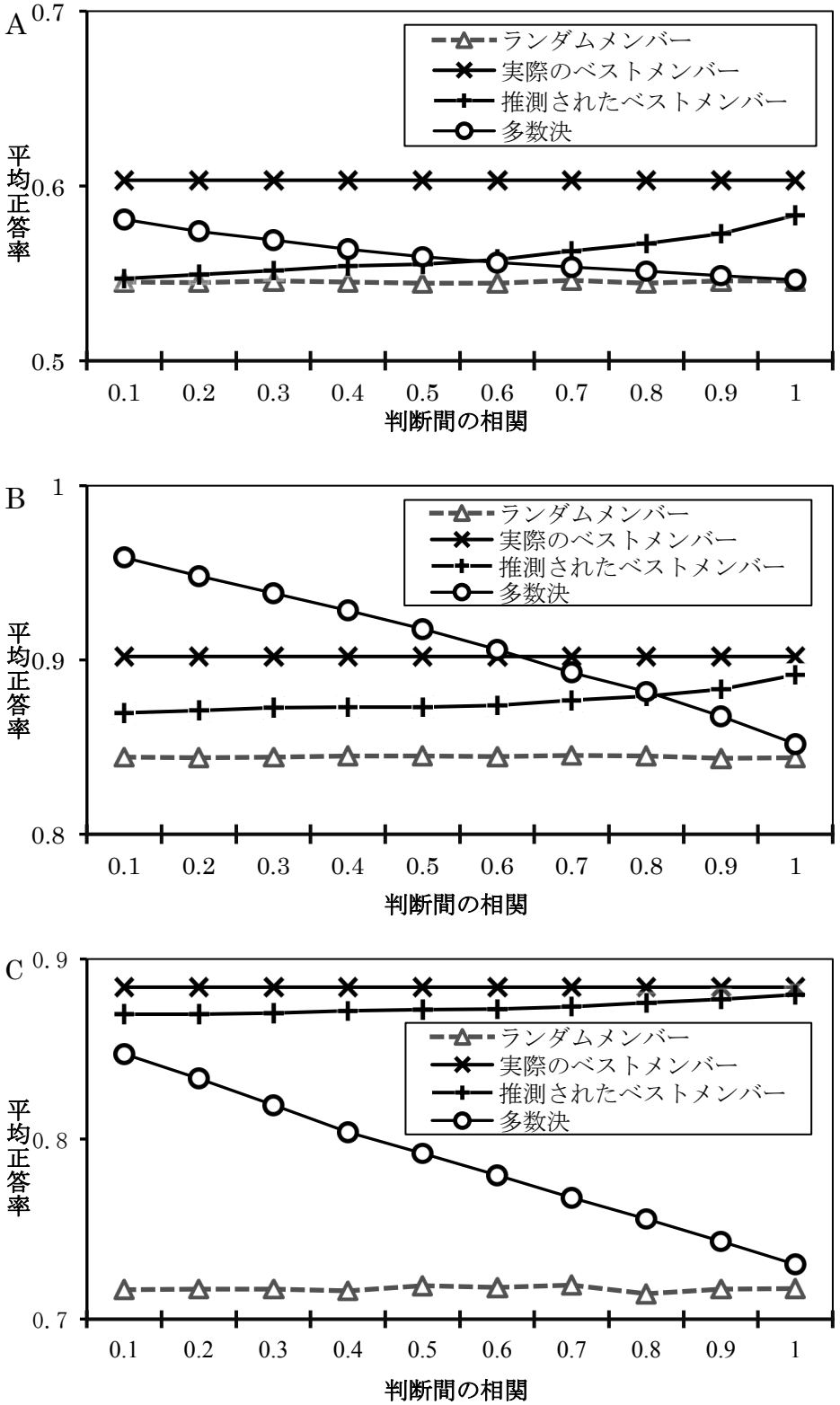


図 3-2 個人の成績を定める分布の平均(μ)・分散(標準偏差:σ)を固定した場合において、相関が変化した場合の集団決定ルールの成績。真のベストメンバーを除き、成績はテストセット(全体の半分である50試行)の成績を示す。横軸は集団におけるユールの連関係数の平均値を示しており、例えば1.0というラベルは判断間の相関の平均値が0.9から1.0の範囲に収まることを示しているようにその値が N から N -0.1 の範囲に収まることを示している。縦軸は各集団決定ルールの平均正答率を示している。A: $\mu = 0.55$, $\sigma = 0.05$; B: $\mu = 0.85$, $\sigma = 0.05$; C: $\mu = 0.75$, $\sigma = 0$.

3.4 考察

3.4.1 研究概要

本研究では、集団決定ルールの成績に直接影響を及ぼすパラメータである、平均・分散（標準偏差）・相関の値を操作することで、これら 3 つの要因を基底とするパラメータ空間において、多数決ルールがベストメンバールールより優れるパラメータ空間を検討することにあった。シミュレーションの結果、多数決は平均の正答率がチャンス[46]レベルに近い場合 ($\mu = 0.55$) は確かにランダムメンバーよりも高い成績をあげるが、集団で最も高い成績をあげた人物（真のベストメンバー）と比較すると、たとえ分散が小さいケース（$\sigma = 0.05$）であったとしても、多数決が真のベストメンバーの成績を上回るのは非常に困難であることが示された。集合知研究においては、しばしば個人は凡庸であっても集団はベストメンバーより優れた成績をあげることが主張されることもあるが(e.g. Surowiecki, 2004)、集団の平均値がチャンスレベルに近いようなケースにおいては、多数決が真のベストメンバーに勝利するのは非常に稀であることが示された。ただし、多数決と推測されたベストメンバーとの比較になると、平均的な能力が低い場合においても、（分散が小さく、かつ相関が低い場合に限られるが）多数決が推測されたベストメンバーを上回るようなケースが見られた。

3.4.2 相関がベストメンバーに与える影響

本シミュレーションにおいて、判断間の相関（連関係数）が高くなると、推測されたベストメンバーの成績が向上するという傾向がみられた。真のベストメンバーの成績は

[46] チャンスレベルとはランダムに選んだ時に期待される確率。本シミュレーションにおいて正答率のチャンスレベルは選択肢が 2 択であるため 0.5 である。

相関に関わらず一定であるのに対して、なぜ推測されたベストメンバーの成績は変化するのだろうか。本シミュレーションにおいては、データを学習セット・テストセットに2分割し、学習セットで見出したベストメンバーに従ってテストセットで意思決定を行うという設定であった。もし、学習セットとテストセットにおける各人の成績が完全に一致しているのであれば、真のベストメンバーと推測されたベストメンバーの成績は一致するはずである。逆に、学習セットで最も成績が高い人物が、テストセットにおいては最も成績が低いというように、学習セットとテストセットの間で参加者の点数に負の相関がある場合には、推測されたベストメンバーはランダムに選ばれた人物よりも低い成績をあげることになる。

こうしたデータセットを分割した際の相関の高さは、テスト理論における信頼性という概念と同義である。テスト理論[47]において、テストは真の能力や性格を測定することを目的とするが、その測定に際しては誤差が生じる。このため、こうした誤差が生じうる現実において、どの程度テストの得点が真の得点を反映しているかを示すのが、信頼性という概念である。こうした信頼性を算出する一つの方法が、データを2分割した際に両者の相関に基づき算出する折半法である。この方法は、本シミュレーションにおける学習セットとテストセットにおける相関と同義である。

ただし折半法では、前半・後半あるいは奇数・偶数というように、分割したポイントによって信頼性が異なる場合が存在し、そうした問題を避けるためにすべての組み合わせに関して折半法を行った場合と同様の結果が得られるのが、Cronbach の信頼性係数 α

47 テスト理論とは、心理検査（心理テスト）や学習テストといったテストを用いて、対象（心理特性・学習習熟度）を測定する際の測定方法や測定結果に関する一連の理論であり、主に統計的な観点から研究がなされている。信頼性とは、テスト理論における代表的な概念の一つである。

である (Cronbach, 1951)。

本研究における実験課題をテストの一種と考えるのであれば、信頼性係数が高いということは、ある項目に関する能力を真の値に近い形で測定できていると考えることができ、推測されたベストメンバーが有利になると考えらえる。そのため、以降では個人の判断間の相関が高まるほど、信頼係数が高まり、推測されたベストメンバーが多数決よりも有利になることを示す。

ここで、個人 A, B, C, D, E, F, G の 7 名が 2 択の問題を 7 問回答するとし、各個人の問題正答数がそれぞれ順番に 1, 4, 5, 5, 5, 5, 6 である場合を考える。このとき、判断間の相関が高い場合（表 3-1）と低い場合（表 3-2）に関して、Cronbach の信頼係数 α を計算する。α 係数は、設問数を n、項目を i、項目 i の得点の標本分散を V_i、合計得点の標本分散を V_t とすると、以下の式によって算出することが可能である (Cronbach, 1951; cf. Kuder-Richerson, 1928)。

$$\alpha = \frac{n}{n-1}\left(1 - \frac{\sum_i^n V_i}{V_t}\right)$$

今回の場合は設問数が固定されているため、$n / (n - 1)$は一定であるとした上で括弧内に着目すると、α の値は各設問における点数の標本分散（$\sum_i^n V_i$）と個人の合計点数の標本本散（V_t）の比率によって定まることが理解でき、各設問における点数の分散（$\sum_i^n V_i$）が小さくなるほど α が高くなることが分かる。ここで、表 3-1 のような判断間の相関が 1 であるケースを考察すると、より正当数の低い個人が正解した問題に関しては、より正当数が高い個人が正解するというような Guttman 環境 (Brighton & Gigerenzer, 2015; Gigerenzer & Brighton, 2009; cf. Guttman, 1944) とよばれるような構造が生まれるため、多くの設問において分散が非常に低い値となる。そのため、各設問における点数の分散

の合計値（$\sum_i^n V_i$）が小さくなり、α が比較的に大きくなることが理解できる（$\alpha = 0.81$）。

表 3-1. 判断間の相関が高いケース（Guttmam 環境）

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	合計値
A	1	0	0	0	0	0	0	1
B	1	1	1	1	0	0	0	4
C	1	1	1	1	1	0	0	5
D	1	1	1	1	1	0	0	5
E	1	1	1	1	1	0	0	5
F	1	1	1	1	1	0	0	5
G	1	1	1	1	1	1	0	6
分散	0.000	0.122	0.122	0.122	0.204	0.122	0.000	

次に、表 3-1 で示されるケースと正答数は同じであるが判断間の相関が低い、表 3-2 に示されるケースに着目する。このケースにおける信頼性係数の値は $\alpha = 0.34$ であり、先ほどのケースよりも信頼性係数の値が小さくなっていることが理解できる。その理由として、判断間の相関が低いケースでは、設問における点数の分散の合計値（$\sum_i^n V_i$）が相関の高いケースよりも大きくなっており、このため信頼係数の α が下がることが理解できる。

表 3-2 判断間の相関が低いケース

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	合計値
A	0	0	1	0	0	0	0	1
B	0	1	0	1	1	0	1	4
C	1	0	1	1	1	0	1	5
D	0	1	1	1	0	1	1	5
E	1	0	0	1	1	1	1	5
F	1	1	1	1	0	1	0	5
G	1	1	1	0	1	1	1	6
分散	0.245	0.245	0.204	0.204	0.245	0.245	0.204	

以上の思考実験に示されたように、集団成員間の判断の相関が高くなることで信頼性係数を示す α が高くなることが分かる。α 係数は、どの設問で質問を分割したとしても、分割された二つのテストにおける成績順序の相関が高くなることを示している（つまり学習セットとテストセットの順序相関が高いことを意味する）。そのため、「判断間の相関」が高まることで「学習セットとテストセットの成績の順序相関」が高まり、優れた人物をベストメンバーとして推測できることが示された[48]。この思考実験から、判断間の相関は多数決ルールの成績を下げるのみならず、誰がベストメンバーであるか不確実な状況において、ベストメンバールールの成績を上げることが示された。

3.4.3 第 3 章の総合考察

第 2 章で用いた、Hastie & Kameda (2005)によるコンピュータ・シミュレーションは、

[48] また、判断者間の相関が高まることで信頼性が高まるという現象は、2 者の判断の一致度にもとづき算出される Cohen の κ (1990) が、信頼性の指標として用いられている点からも解釈できる。ただし、Cronbach の α は Cohen の κ は同じく信頼性とよばれるが、後者は項目の数によって値が左右される(effective reliability; Rosenthal, 1971)が、前者はその影響を受けないという違いがある (cf. Becker, 2002)。

レンズモデルを用いて環境に適応するエージェントをモデル内で表現したシミュレーション・モデルであり、エージェントの能力が一律ではなく分布に従う点や、判断間の相関を考慮している点でこれまでの研究と一線を画しているものであった。しかし、一方でこうした能力分布や判断間の相関といった要因が、シミュレーション内のパラメータを変化させることで連動して変化するため、どのような能力分布・判断間の相関の下で多数決がベストメンバーより有利となるのかという点を明らかにするのが困難であった。また、Hastie & Kameda (2005) においては、誰が将来的に最も優れるのかが明らかであるといった非現実的な設定がなされているという問題が存在していた。第 3 章では、この 2 つの問題点に対して、能力分布と判断間の相関を直接操作するシミュレーションを行い、さらにベストメンバーを推測するという過程を導入することで対応した。

シミュレーションの結果、多数決が最も高い成績を収めた真のベストメンバーの成績を結果的に上回るには、平均正答率が高く、分散が低く、判断間の相関が低い状況に限られることが示された。特に平均正答率に関しては、平均的な能力がチャンスレベルである 0.5 よりも少し高い平均程度である 0.55 という状況において、分散が 0.05 であり相関が無相関であるような非常に多数決にとって理想的な状態において多数決は真のベストメンバーと成績が並ぶ結果となり、相関が少しでも生じる場面においては真のベストメンバーよりも不利であることが示された。これは、集合知のメッセージの一つである「個人は平凡であっても、集合的に決定を行うことで集団の最も有能な人物よりも上回る」という点を強調する集合知のメッセージに対し、異を唱える結果である。

ただし、これはあくまで、多数決と真のベストメンバーを比較した場合の議論である。推測されたベストメンバーと多数決を比較した場合においては、たとえ個人がチャンスレベルに近い正答率であっても、分散と相関がともに低い場合、推測されたベストメン

バーよりも多数決の方が高い成績を上げることが示された。しかしながら、推測されたベストメンバーと多数決を比較した場合においても、多数決が（推測された）ベストメンバーより優れた成績を上げるには分散と相関がともに低い必要があり、多数決はベストメンバーよりも頑健に優れていると主張することは困難であることが示された。では、こうした多数決がベストメンバーより上回る領域は、現実的にどの程度存在するのであろうか。第 4 章では、現実からサンプリングされたデータセットに基づく実験を実施し、現実における人々の意思決定データを収集することによって、現実において多数決がベストメンバーよりも上回るような状況がどの程度存在するのか検討する。

第 4 章

多数決の頑健性に対する実験的検討

4.1 序論

4.1.1　概要

第 4 章までの概要と整理　いかなる集団意思決定ルールのパフォーマンスもその集団の成員に大きく依存する。本稿では、これまで集団の能力分布および判断間の相関が変化することで多数決およびベストメンバールールの成績が変化することを、第 2 章から第 3 章にかけて先行研究のレビューおよびコンピュータ・シミュレーションによって示してきた。

第 1 章では、集団意思決定の成績に影響する要因について、集団意思決定のパフォーマンスに関して数理的なアプローチをとる Condorcet の陪審定理とその拡張モデルをレビューすることにより、個人の能力分布・集団の判断間の相関が重要であることを指摘した。第 2 章では、こうした個人の能力分布や集団の判断間の相関というパラメータを間接的に操作することによって、多数決がベストメンバーよりも優れた成績をあげることを示した Hastie & Kameda (2005) によるコンピュータ・シミュレーションの結果が逆転することを示した。

第 3 章では、多数決がベストメンバーよりも優れるパラメータ領域を探るため、多集団の成員の能力分布および判断間の相関を直接的に操作するようなシミュレーションを行った。さらに第 3 章では、ベストメンバーが常に正しく推測できないというエラーを考慮し、誰が優れたメンバーであるのかを過去の成績に基づき推測するプロセスを導入した。この結果、多数決が集団の真のベストメンバーより優れる状況は、①個人の平均的能力が高く、②分散が低く、③かつ判断間の相関が低いという 3 つの要因が揃う限定的な状況であることが示された。ただし、ベストメンバーを過去の成績から推測する

場合には、①の個人の平均的能力が高いという条件は部分的に緩和され、より広範囲のパラメータにおいて多数決がベストメンバーの成績を上回ることが見出された。

本章の目的　前章で行ったシミュレーションが示唆するのは、理論的に多数決は決してベストメンバーよりも頑健に優れた成績をあげる意思決定ルールではなく、多数決がベストメンバーよりも優れた成績をあげるのか否かは現実における人々の能力分布および判断間の相関に大きく依存することである。そのため、理論的な観点から多数決がベストメンバーより優れると主張するのは困難であり、Gunn (2014) が指摘するように、現実社会における人々の意思決定データを用いて比較する必要がある。これまで集合知の研究においては、現実の人々の判断データを収集し、それらのデータを分析（名義集団分析）することによって個人の判断を集約することで集団の判断が平均的な個人よりも優れた成績をあげることを見出してきた (e.g. Surowiecki, 2008; Krause, James, Faria, Ruxton & Krause, 2011)。第 4 章では、これまでの集合知研究が示してきたように、現実における様々な人々の意思決定データを用いて多数決がベストメンバーよりも優れた成績を上げるのかを検討する。実験課題では、意思決定課題において一般的に用いられる知識に基づき判断する課題である知識判断課題（実験 A）と、Hastie & Kameda (2005) が想定したような個人が情報を読みとり判断する課題である多属性型選択課題（実験 B）を用いる。本章で用いる知識判断課題・多属性型選択は、共に集合知に関する集団意思決定研究において用いられているパラダイムである (Lorenz et al., 2011)。

以下では、実験において意思決定課題を作成するにあたって、どのような方法を用いれば現実環境における人々の意思決定パフォーマンスを測定できるのかについて議論する。そして、現実環境において人々が意思決定を行う際に、どのような要因が集団意思決定の成績に影響を与える可能性があるのか議論する。

4.1.2　実験の代表性のあるデザイン (representative design)

いかにして人々の現実における意思決定を限られた実験データに基づいて評価すべきなのであろうか。より研究の代表性 (representativeness)[49] を高め、現実におけるパフォーマンスを検証するには、可能な限り多くの対象者に対して、現実に生じるような課題をできる限り多くの刺激を用いて実験することが理想である。こうした方法を志向したのが統計学に貢献した Galton、Person、Spearman にみられるアプローチであり、彼らは知能に関する大量の課題や刺激を用いてできる限り多くの参加者に対して実験を行い、得られたデータの相関に基づいて知能に関して論ずる研究を行った (Gigerenzer, 2006)。例えば Person は、数学や芸術といった複数の異なる能力を必要とする領域の成績に相関が生じたことから、その相関を生み出す要因を知能と定義した。

ただし、研究者の労力といった現実的な制約を考えるならば、実験に呼ぶことができる人数あるいは用いることのできる課題の刺激・種類は限られている。そのため多くの心理学実験では、これらをランダム・サンプリングすることによって有限のサンプルで行われた実験の代表性を高めている。しかし、Brunswik (1955) は、心理学実験の多く

---

[49] この問題は心理学において一般的に生態学的妥当性 (ecological validity) として議論されており、主にある統制下・刺激において得られた行動や心理現象が動物の生態環境や人々の現実においても再現されるものに対して生態学的妥当性が高いと呼ばれている (Kohler, 1996; Rogers, Kadar, & Costall, 2005)。

ただしこれらは Hammond (1998) が指摘するように生態学的妥当性の本来の意味は異なり、本来のモデルは第 1 章で紹介したレンズモデルに表されているように、生物が知覚した手がかりと真の状態との関係を示す用語である (cf Brunswik, 1955, p. 199 ; Brunswik 1956)。Hammond (1998) によれば、今日「生態学的妥当性」として知られている研究の現実における一般化を示す用語として Brunswick は representative design を用いており、Hammond (1998) は現代ではこの両者が混同していることを指摘している。本稿では、こうした用語使用が変化したことに対して批判する意図はないが、意思決定研究においては手がかりと真の対象との関係を示す用語として生態学的妥当性 (ecological validity) を用いるため混同を避けるために、研究の現実における一般化という意味として代表性のある研究計画 (representative design; Bruswik, 1955)、あるいは代表性という用語を用いる。

は参加者に関するランダム・サンプリングの重要性が認知されており参加者に関するランダム・サンプリングはしばしば行われる一方、課題に用いられる刺激に関してはランダム・サンプリングしてないというダブル・スタンダードがしばしば用いられていることを指摘している。判断と意思決定に関する研究分野において、このダブル・スタンダードに関する問題は近年再び注目を集めており、過去に実験的に得られた結果の一部が人々の現実環境（生態環境）と異なる代表性の低い実験刺激を恣意的に選択することによって得られた可能性があることが指摘されている (Dhami, Herwig & Hoffage, 2009; cf. 第 2 章 2.1.2, 適応的意思決定：不確実な環境下において) [50]。本研究は判断と意思決定の研究分野における実験の代表性に関する議論を踏まえ、現実の人々の意思決定パフォーマンスを測定することを目的とする適応的意思決定の文脈で用いられている、より代表性が高くなる方法で実験をデザインする。

4.1.3　共通の知識が生み出す相関

現実における集団意思決定を考える上で重要となるのが判断間の相関である。これまで集合知研究は個人の社会的影響を排除することの重要性を指摘してきたが、個人が互いに相談せずに独立に判断することは判断の統計的な独立性を担保するものではない。たとえ人々が独立に判断したとしても、同じ証拠に基づいて判断するなど判断に対する共通の原因 (common cause) がある限り個人の判断間に相関が生じることが指摘されている (Dietrich & Spiekermann, 2013; cf. Reichenbach., 1956)。Ladha (1992) はこの具体例として陪審場面にこうしたケースが当てはまることを議論している。Ladha (1992) は、

[50] 適応的意思決定と刺激に関するサンプリングに関しては Fielder & Juslin (2006) が詳しい。

たとえ互いの意見が参照できず独立に判断を行なったとしても、裁判で提示される証言や証拠が同じものであるのであれば判断の相関は結果として生じるため多数決の成績が大きく低下することを主張している。

ただしこうした陪審場面のような閉じられた環境で全員が同じ情報を得る場面は限られており、我々の意思決定の多くは自ら持つ知識に基づいている。こうした日々生活する中で学習する知識は、それぞれが異なる時間や場所で独立に獲得していると考えらえるので一見すると相関が非常に小さいように思えるが、Goldstein & Gigerenzer (2002) はこうした我々が持つ知識にも相関が存在することを指摘している。例えば、人口の多い都市は少ない都市と異なり人々が再認（recognize）できる頻度が高いことを示している。その理由として彼らは人口の多い都市ほど主要な新聞社の記事に取り上げられる頻度が高いという相関があることを示した。その結果、人々がその都市を新聞などで見る頻度が高いためその都市の再認率が高まることを指摘している。

研究 A では、こうした各人が日常的に学習する一般的な知識を用いて意思決定を行う場面に注目する。このような場面において存在する判断間の相関は多数決の相対優位をどの程度損ねるものなのだろうか。また、一般的な知識判断課題において生じる成績の差は、多数決をどの程度不利にするのだろうか。本章では、これらの問いを実験的に検討する。

4.2 実験 A の方法

4.2.1 課題の説明

実験課題は 5 つの異なる分野に関する知識を問う 2 択の問題群であり、各分野に関し

てそれぞれ独立した実験課題が作成された。これらの課題を作成するに当たって、それぞれ参照クラス (reference class) として 100 個の対象を定義した（e.g. 総興行収入の高い映画上位 100 タイトル）。こうした対象の集合である参照クラスは課題の生態学的妥当性を高めるために設定されるものであり、サンプリングされた一部である実験の結果をより一般的にするために意思決定研究において用いられる手法である（Brunswick, 1943; Dhami, Hertwig & Hoffrage, 2004; Gigerenzer, Hoffrage, & Kleinbölting,1991; Hoffrage & Hertwig, 2006）。これらの参照クラスは研究者による恣意性を下げるため実験の目的を知らない研究協力者によって 5 つ設定された。5 つの課題の参照クラスはそれぞれ、2010 年度のシングル CD 売上ランキングの上位 100 タイトル（音楽課題）、総興行収入の高い映画上位 100 タイトル（映画課題）、40 歳以下の男性俳優 100 名（俳優課題）、アニメのテレビシリーズに出演したことのある声優 100 名（声優課題）と定められた。

次に、定められた参照クラスからランダムに 2 つの対象を選び両者を比較するような二肢選択肢課題をそれぞれ 40 問作成した[51]。研究者による恣意性を排除するため、実験課題で用いた 5 つの分野の設定・参照クラスの設定・課題の作成は実験の目的を知らない別の実験協力者によって行われた（各課題に用いた刺激については、巻末付録 A を参照されたい）。

---

51 課題作成の指示にあたり重複に関する基準を設定していなかったため、音楽課題、映画課題、俳優課題においては実験協力者によって対象が重複しないように課題を作成したが、声優課題、元素課題においては別の実験協力者によって一部の対象が重複していた。しかしながら重複は限定的であり、また対象を重複・非重複して用いることによる実験への影響は限定的であると考えたため、分析や結果において両者を区別せずに議論を行う。

4.2.2　参加者および手続き

それぞれの課題に対して異なる 50 名が独立に回答した（音楽課題のみ 48 名）。課題に対するフィードバックは与えられなかった。

4.3 実験 A の結果

4.3.1　個人の成績

元素課題の個人平均正答率は音楽課題においては 0.58（*SD* = 0.14）、映画課題においては 0.60（*SD* =0.06）、俳優課題においては 0.53（*SD* =0.06）、元素課題においては 0.62（*SD* =0.27）、声優課題においては 0.11（*SD* =0.27）であった。また、各課題において全ての参加者の可能なペア 1225 組（音楽条件のみ 1128 組）に関してユールの連関係数を算出しその平均値を求めた。その値は音楽課題においては 0.55、映画課題においては 0.57、俳優課題においては 0.27、元素課題においては 0.37、声優課題においては 0.27 であった（cf. 表 4-1）。

表 4-1．各課題における個人の平均正答率および判断間の相関

	M	*SD*	$\bar{Q}$
音楽	0.58	0.082	0.55
映画	0.60	0.058	0.57
俳優	0.53	0.081	0.27
元素	0.62	0.102	0.37
声優	0.55	0.110	0.27

4.3.2　集団決定ルールの成績：名義集団分析

分析方法　実験で得られた参加者の意思決定データを用いて、課題ごとに名義集団分

析を行った。50 名（あるいは 48 名）の参加者からランダムに 5 人選び名義集団を作成するという手順を繰り返し、課題ごとにそれぞれ 1000 組の名義集団を作成した。名義集団に基づく多数決・ベストメンバー計算過程は前章と同一であり、本章においても集団として最も優れた成績をあげた真のベストメンバーと過去の成績から推測したベストメンバー[52] の両方のケースに関して検討した。分析では、ベストメンバーを推測する場合として学習セットが 10 問（学習セットが全体の 25%）、20 問（学習セットが全体の 50%）、30 問（学習セットが全体の 75%）のケースに関して検討した。

結果　名義集団分析の結果を表 4-2 に示した。真のベストメンバーと多数決を比較したところ、5 つの課題全てにおいて、ベストメンバーが多数決の成績を上回った（ベストメンバーは多数決よりも、音楽課題で 0.05, 映画課題で 0.10、俳優課題で 0.04、元素課題で 0.07、アニメ課題で 0.10 ポイント上回った）。一方、過去の成績からベストメンバーを推測する場合、音楽課題・映画課題・俳優課題において多数決がベストメンバーの成績をわずかに上回った（学習セットが 50%のとき、多数決はベストメンバーよりも音楽課題では 0.02、映画課題では 0.01、俳優課題では 0.02 ポイント上回った）。元素課題において両者の成績は拮抗した（学習セットが 50%のとき、多数決・ベストメンバー

52　ベストメンバーを過去の成績から推測するプロセスは第 3 章と同様であり、データを学習セット・テストセットに分割し、学習セットでもっとも高い成績を収めたものを（推測された）ベストメンバーと定め、そのメンバーのテストセットにおける成績を（推測された）ベストメンバーの成績として定義された。

また、本実験課題（実験 A）は質問紙を用いて参加者に対して全ての問題を提示することで行われた。そのためフィードバックが与えらず、また知識を問うという性質上、本課題において前の問題の回答結果が後の回答結果に影響を与えた可能性は非常に低い。よって本研究では、どの問題を学習セット・テストセットに用いるかはランダムに設定し 1000 通りのパターンの平均値を算出した（実験 B は異なる）。

ともに 0.66)。ただし、声優課題においては、ベストメンバーを推測する場合においてもベストメンバーが依然として高い成績をあげた（学習セットが 50%のとき、ベストメンバーは多数決よりも 0.03 ポイント上回った)。また、学習セットの長さがベストメンバーの成績に与える影響は、0.01 から 0.02 に収まりわずかな影響しかなかった。

表 4-2. 名義集団分析の結果（集団成員 5 名、集団数 1000)。各表はそれぞれ A : 音楽課題、B : 映画課題、C : 俳優課題、D : 元素課題、E : アニメ課題の成績を示している。25%, 50%, 75%とラベルのついた 3 つの列は、ベストメンバーを過去の成績から推測した場合における成績を示しており、それぞれ 40 問全体における学習セットの長さを百分率で表現したものである。これら 3 列における多数決・ベストメンバーの成績はテストセットにおける平均正答率を示している。「推測なし」とラベルのついた列は、40 問全体で最も優れた人物をベストメンバーと定義した場合の成績を示している。この列における多数決・ベストメンバーの成績はテストセットにおける平均正答率を示している。

		推測あり（推測されたベストメンバー）			推測なし（真のベストメンバー）
		25%	50%	75%	
音楽課題	多数決	0.62	0.62	0.61	0.62
	ベストメンバー	0.59	0.60	0.60	0.67
映画課題	多数決	0.60	0.60	0.60	0.60
	ベストメンバー	0.60	0.59	0.59	0.70
俳優課題	多数決	0.55	0.55	0.55	0.55
	ベストメンバー	0.53	0.53	0.52	0.62
元素課題	多数決	0.66	0.66	0.66	0.66
	ベストメンバー	0.65	0.66	0.66	0.73
アニメ課題	多数決	0.59	0.59	0.58	0.59
	ベストメンバー	0.61	0.62	0.63	0.69

4.4 実験 A の考察

本実験は、現実において人々が持つ知識を用いて判断する課題を用いて多数決とベストメンバーの成績を比較した。その結果、多数決の成績は 5 つの課題全てにおいて真のベストメンバーの成績を上回ることはなかった。一方、過去の成績からベストメンバーを推測する過程を導入すると、5 つの課題のうち 4 つの課題でベストメンバーの優位性が消失した。この結果は、現実的なベストメンバーと比較した多数決の利点は集合知効果のエラーキャンセル効果に加え、ベストメンバーを推測するといった意思決定に伴う二重の推測を回避できるという特徴が見出された。本研究において多数決が真のベストメンバーの成績を上回ることができなかった要因の一つは、知識構造に相関が生じる (Goldstein & Gigerenzer, 2002) からだと判断できる。しかし、こうした多数決が不利となるような知識判断課題においても、誰がベストメンバーか明らかでない状況においては多数決とベストメンバーの成績は同等である（あるいはわずかながら上回るケースが多い）ことが示された。この結果は、人々が知識に基づき判断するような場面においては、頑健ではないが多数決はベストメンバーに劣らず有望な決定ルールであることを示している。

4.5 実験 B の導入

4.5.1 はじめに

実験 A では人々が既存の知識を用いて判断する場合を想定した実験を行ったが、現実においては人々が判断を行う際に手がかりとなる情報を入手可能な場合が数多く存在してお

り、こうした複数の手がかりを参照する決定は多属性型選択課題 (multi-attribute decision task) と呼ばれている。判断と意思決定の分野においては、これまでこうした多属性型選択課題において人々がどのように手がかりを用いるのが望ましいか、あるいはどのように意思決定を行っているのかといった問題が検討されてきた (Bröder & Schiffer, 2003; Czerlinski, Gigerenzer & Goldstein, 1999; Payne, Bettman, Johnson & Bettman, 1990; Payne, Bettman & Johnson, 1993)。

本実験の目的は個人の意思決定過程に着目するのではなく、こうした現実の情報を人々が読みとり判断を行うケースに関して多数決がどの程度ベストメンバーより優れるのかを検討することにある。

4.5.2 共通の手がかりに基づく意思決定

Condorcet の陪審定理が判断の独立性を前提として判断間の相関が下がることによって成績が劣化することを示しており、こうした判断の相関は社会的影響のみならず前節でも述べたように共通の知識・共通の手がかりを用いた場合においても発生するものである (Ladha, 1992; 1995) 。Dietrich & List (2004) は人々がこうした共通の手がかりに基づき判断するという前提を Condorcet の陪審定理に新たに加え、ベイジアンネットワーク[53]を用いて Condorcet の陪審定理を拡張した。彼らによれば、古典的な Condorcet の陪審定理が前提とするような個人の判断（あるいは投票）の独立性が担保されるには、個

53 ベイジアンネットワークとは、複数の確率変数の関係をグラフとして表現し、変数間の因果関係を表現するモデルである。グラフではハブ（変数）とノード（矢印）で表現される。例えば 2 つの変数である X と V があり、X→V のように X から V に向かった矢印で結ばれているとき、X は V の直接的な原因であることを示す。このとき、X は V の親であると呼び、V は X の子であると呼ばれている（cf. Dietrich & List, 2004; 大塚, 2008; Pearl, 2000）。

人の判断の直近の共通要因 (latest common cause) は判断を行う現実の対象（例 : 有罪であるか無罪である）でなければならない。これは陪審場面で例えるのならば、全ての陪審員が事件に関して異なる視点を持ち、それぞれが事件に対して異なる証拠を持っている際に、各人が独立に事件に関して有罪であるのかを判断するようなケースである（つまり、知覚判断のように、全員が手がかりといった間接的な対象を経由せず直接判断の対象について独立に判断するときに統計的に無相関なノイズが生じるような場面である）。一方で、陪審場面のように提出された共通の証拠に基づいて判断する場面においては、我々は有罪・無罪といった対象に対して現場の状態・目撃者の証言・容疑者のアリバイといった間接的な手がかりを用いて判断する。こうした手がかりを用いて判断する場合においては、有罪・無罪といった判断を行うべきである真の対象ではなく、この手がかりが直近の共通要因となる。以下では、彼らのモデルに関して図を用いながらより具体的に説明を行う。

Dietrich & List (2004) によれば、古典的な Condorcet の陪審定理における判断の独立性とは、個人 i の投票 V_i が X の下で互いに独立であることを意味する。図 4-1 のように V_i が互いの子の関係でなく X の直接的な子である場合、V_i が X の下で互いに独立であるという古典的な陪審定理の前提は満たされる (cf. parental Markov condition; Pearl 2000)。しかし、個人が共通の証拠（手がかり）に基づき判断する場合はこのモデルでは不十分である。

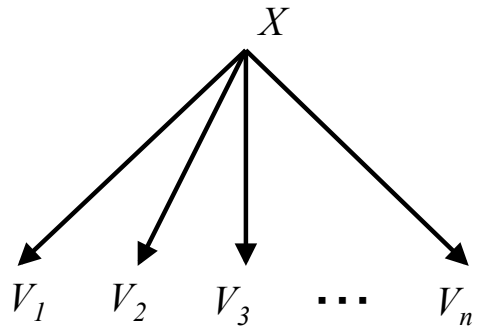


図 4-1.　古典的な Condorcet の陪審定理のベイズモデル。Dietrich & List (2004) を参考に作成。

個人が共通の証拠に基づくことを表現可能な新たなモデルでは、個人が投票に際し参照できる全ての情報を E とし、古典的な陪審定理がみなしたように投票 V_i の最終共通要因が X であるとするのでなく投票 V_i の共通要因が E であるとした (図 4-2.)。

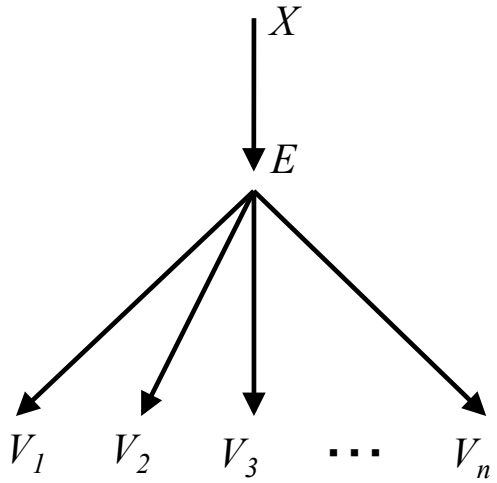


図 4-2.　新たなモデルのベイズモデル。Dietrich & List (2004) を参考に作成。

この新たなモデルが見出した知見は、集団のサイズが大きくなるほど多数決によって真の答えを見出す確率が証拠を用いて真の答えを見出せる確率に近づくことを示した。つまり、証拠が常に正しい答えを見出せないのであれば古典的な Condorcet の陪審定理

が見い出したような集団サイズが増えることによって正答率が 1 に近づくという結果が得られないことを示すものである。この結果は、個人がたとえ蛸壺の中で独立に判断したとしても、手がかりを用いて正解できる以上のパフォーマンスを多数決があげることを見出すことはできないという事実を示唆するものである[54]。

4.5.3　現実における手がかり間の相関

Dietrich & List (2004) によるモデルは人々が共通の手がかりを用いる場合において多数決の成績が、Condorcet が想定した理想的な状態よりも劣化することを示すモデルであった。ただし、Dietrich & List (2004) は古典的なモデルが成り立つ場合として各人がそれぞれ独立した異なる手がかり（証拠）を用いて意思決定を行う場合をあげている。こうした一人に一つずつ異なる手がかりが与えられ、それに基づき判断を行うという状況は非常に現実に起きにくい状況であるといえるだろう。また仮にこうした各人が異なるなる手がかりを用いて判断するという理想的な状態を想定したとしても、手がかりを用いて意思決定を行う限り判断間の相関を排除するのは非常に困難であると考えられる。なぜなら、現実において意思決定に用いられる手がかりがそれぞれ相関していることが、生物学および意思決定科学において見出されているからである (Kao & Couzin, 2013; Rieskamp & Dieckmann, 2012)。

こうした現実環境において手がかりが相関するという傾向は、現実において簡便な意思決定ルールが優れた成績をあげる理由の一つして Gerd Gigerenzer を中心とする ABC

---

[54] Dietrich & List (2004) は手がかり E が全ての個人に影響を当てるという比較的単純なモデルであるが、Dietrich & Spiekermann (2013) はこのモデルを拡張して個人間の間に相関が生じるような様々な状態をベイジアンネットワークによって表現し、それぞれに関して Condorcet の陪審定理がどのように修正されるのか検討している。

グループによる一連の研究の中で挙げられている (Gigerenzer, Todd & the ABC research group, 1999; Todd, Gigerenzer & the ABC research group, 2012)。Gigerenzer らは、意思決定を行うとき複数の手がかりを用いて意思決定を行うのではなく単一の手がかりによって意思決定を行う TTB (Take the Best) と呼ばれる意思決定ルールが現実において非常に優れた成績をあげることを見出した。彼らは、TTB が特に優れた成績をあげる状況として手がかりが非補償的 (non-compensatory) な環境である場合と手がかり間の相関が高い場合の 2 つのケースをあげている（なお、これらの概念は集団意思決定における個人の正答率の分散と判断間の相関という概念に類似している。特に集団のメンバーが手がかりの数だけ存在しており、各人がそのうち一つの手がかりのみを用いる場合、手がかりの非補償性と手がかりの相関の高さは集団意思決定における能力の分散の高さ・判断間の相関の高さと同義である）。

このうち 1 つ目の要因である手がかりの非補償性に関しては本節の目的ではないため概説しか行わないが、手がかりが非補償的である環境とは意思決定課題の選択肢の正誤を目的変数・手がかりを説明変数として回帰分析を行い各変数の重み付けを計算したとき手がかりの重み付けが図 4-3 の左のように a>b+c+d+e となるようなケースに代表される。一方、補償的なケースの代表例は図 4-3 の右のように全ての手がかりの重み付けが等しい場合である。こうした環境において TTB が優れた成績をあげるという現象は実験およびコンピュータ・シミュレーションで見出されている (Czerlinski, Gigernzer & Goldstein, 1999; Hutchinson & Gigernzer, 2005)。

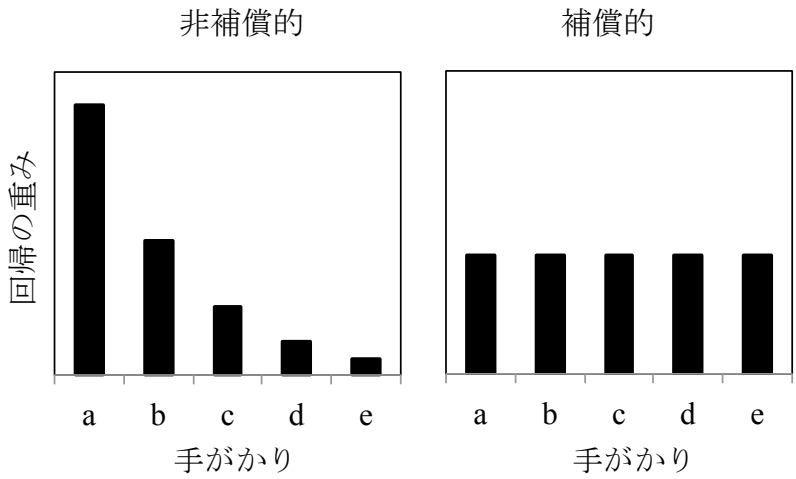


図 4-3. 非補償的環境と補償的環境における手がかりの重み付け。Hutchinson & Gigerenzer (2005) を参考に作成。

Gigernzer らがあげる TTB が優れるもう一つの要因は手がかり間の相関である。こうした手がかり間の相関が意思決定に与える影響に関して現実のデータセットをもとに検討したのが Rieskamp & Dieckmann (2012) である。Rieskamp & Dieckmann (2012) は心理学・社会学・経済学・生物学・化学・健康科学といった多種多様な 27 のデータセットを用いて意思決定を行う際の手がかり間の相関を算出した。ここでいう意思決定課題とはランダムに選ばれた 2 つのドイツの都市のうち人口が多いのはどちらであるのか推測する課題であり、各都市が新幹線 (IC) の停車駅であるかや各都市が工業地帯であるかといった手がかりに基づいて判断する課題や、2 つのガラスのうちどちらの屈折率が高いのかをナトリウム・マグネシウム・アルミニウムの含有量といった手がかりから判断する課題などある。これらのデータセットの中で手がかり間の相関係数の平均値が最小であったものは $r = 0.11$、最大であったものは $r = 0.68$ であり、またデータセットの平均値は $r = 0.32$ であった。

Rieskamp & Dieckmann (2012) はこの結果から、コンピュータ・シミュレーションで

は手がかりが無相関に近い $r = 0.01$ といった環境を作成可能であり、そうした環境においては確かに TTB の成績は他の意思決定方略と比べ劣るが、そうした環境は非現実的であり多くの環境において手がかり間の相関が存在するため TTB が有利になることを見出した。この知見に基づくのであれば、たとえ各人が異なる手がかりを利用したとしても、現実において意思決定を行う際の手がかり間に相関が生じているため判断間に相関が生じうると考えられるだろう。

4.5.4　実験 B の目的：手がかりを用いる場面での集団意思決定ルールの比較

集団意思決定における共通の手がかり　集合知において判断の独立性はその成立条件として重要な要因だが、現実において人々がたとえ互いに相談することなく独立に意思決定を行っていたとしても共通の手がかりを用いた場合には判断間の相関が生じることが理論的に示されており、また仮に各人が異なる手がかりを利用していたとしても多くの環境において手がかり間の相関が生じることが示唆された。

では、こうした相関は現実環境における集団意思決定にどの程度影響を与えるものなのだろうか。Gigone & Hastie (2009) が述べるように、現実の集団意思決定は個人間の相互作用と個人と環境との相互作用が含まれており複雑である (cf. 図 4-4)。例えば、集団の全員が手がかりに対して同じような重み付けで意思決定を行うケースも考えらえる。こうしたケースにおいては相関が非常に高くなるため多数決を行うことによる集合知効果が期待できないが、一方で成績の分散も同様に低くなるためベストメンバーの成績も不利になると考えらえる。また、異なるケースとして人々が手がかりの方向性を誤って用いるケースも考えられる（例えばドイツの都市の人口を予測する際に「その都市に新幹線の駅が止まる」というような人口と統計的に正の関連がある情報が与えられ

た場合は人口が多いと判断すべきであるが、個人によっては逆に人口が少ないと判断するというように手がかりの方向性を誤るケース)。こうした個人が存在する集団では個人の相関は下がるため相関のみに着目すると多数決は有利になるように見える。しかし、方向性を誤ることで平均正答率が下がることによって多数決の成績は劣化するため、ベストメンバールールが有利になるとも考えられる。

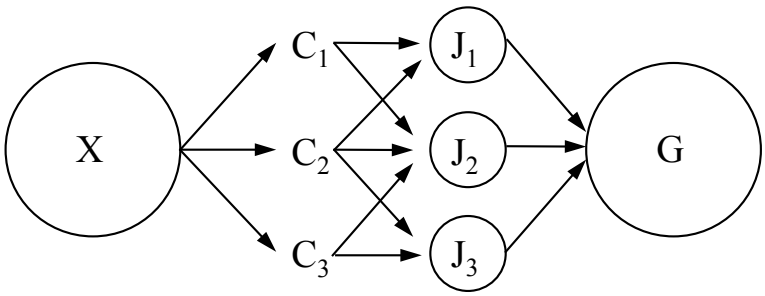


図 4-4. 集団意思決定におけるレンズモデル。Gigone & Hastie (2009) を参考に作成。X は真の環境、G は集団の判断、C_1, C_2, C_3 は 3 つの異なる手がかり、J_1, J_2, J_3 は 3 人の異なる意思決定者による判断を示している。

実験の目的　本研究では、これらの問いに答えるために現実のデータセットに基づく手がかりを用いて実験を行う。また判断と意思決定の研究では、しばしば手がかりの妥当性（その手がかりを用いてどの程度正解できるか）をあらかじめ参加者に伝え、個人がどのように手がかりを用いるのかといった検討がなされてきた (for review, Dieckmann & Todd, 2012)。しかし、現実において手がかりの妥当性を個人がエラーなく知ることができるという設定は非現実的である。そのため本研究は、手がかりの妥当性がインストラクションで提示される「手がかりの概念的な説明」のみに基づいて判断する場合と、概念的な説明に加え意思決定の後にフィードバックが与えられるような条件を設定した。また実験データセットは過去の意思決定研究で用いられたスポーツに関す

るものや、現実の社会に関する課題を用いた[55]。こうした多属型意思決定課題を用いて多数決がベストメンバーより優れた成績を上げるのかを検討する。

4.6 実験 B の方法

4.6.1 参加者

北海道大学の学生 300 名が 3（課題の種類）× 2（フィードバックの有無）の 6 条件に 50 名ずつ割当てられた。

4.6.2 課題概要

実験課題は 2 択の多属性型意思決定課題であり、参加者は各試行において 2 択の対象 (e.g チームなど) を表示されどちらの対象の順位が上かを判断する課題を行った。実験課題は 3 種類存在し、それぞれ異なるデータセットによって作成された。実験のデータセットは 2012 年に日本のプロサッカーリーグの 1 部リーグ（J1 リーグ）に所属する 18 チーム・2011 年から 2012 年に男子一般社団法人日本バレーボールリーグ機構の下位リーグ（V チャレンジリーグ）に所属する 11 チーム（バレーボール課題）・世界保健機構（WHO）によって発表された 2012 年の自殺率が高い 17 国であった（自殺率課題）。

[55] 実験で用いるデータセットとしてこれらを選択した理由として、スポーツに関するデータを用いた意思決定研究はサッカーのどちらのチームが勝つのか推論するといった実験など数多くの現実における意思決定のパフォーマンスを測定する課題で用いられており (e.g., Andersson, Edman, & Ekman, 2005; Ayton, Onkal & McReynold, 2011; Herzog & Hertwig, 2011; Pachur & Biele, 2007)、また教授の給料・都市人口の推論・地政学的なイベントの予測など現実の社会に関わるデータセットも多くの意思決定研究で用いられている (e.g, Mandel & Barnes et al., 2014; Mellers, Ungar & Baron et al., 2015; Tetlock & Mellers, 2014) からである。

表 4-3. 各課題におけるデータセットと試行数

	データセット	施行数
サッカー課題	J1 所属 18 チーム	153
バレーボール課題	V7 チャレンジリーグ 11 チーム	55
自殺率課題	上位 17 カ国	136

各施行において、参加者はデータセットから 2 つの対象が選ばれどちらの対象の順位が高いのかを統計的に関連する複数の手がかりを元に判断した。例えば、サッカー課題の場合は 2 つのチームが選ばれ、それぞれのチームの年間順位を予測する上で役立つ複数の手がかり（e.g. チームのボールキープ率）が画面に表示された。また、参加者がその年の年間順位を記憶している可能性があるためチーム名は伏せられた。参加者は可能な全てのペアに関して（e.g. サッカー課題であれば 153 試行）同様に意思決定を行った（cf. 表 4-3）。

4.6.3 手続き

参加者は実験室に案内されると実験のインストラクションを配布された。参加者がインストラクションを読み終えたら実験プログラムを起動し実験を開始した。インストラクションは実験の開始後も回収されず、参加者は実験を行う間、自由にインストラクションを参照できることが教示された。実験終了後参加者には報酬が支払われた。報酬は 300 円に加え参加者の成績に応じて支払われ、1 問正答するにつきサッカー課題、自殺率課題では 6 円、バレーボール課題では 12 円が加算された。インセンティブを高めるため、参加者は加算金額については実験のインストラクションで教示を受けたが、基礎金額である 300 円に関しては課題開始前に教示されなかった（インストラクションの詳細については、巻末付録 B を参照されたい）。

4.6.4　データセットと手がかりの妥当性

実験で参加者が行ったのはサッカー課題・バレーボール課題・自殺率課題の 3 つである。課題によって手がかりの個数・妥当性は異なっている。ここでの妥当性とは、手がかりと真の対象（e.g. サッカーの年間順位）との関係を示す生態学的妥当性（cf. 第 2 章レンズモデル）であり次のような式で表現される(Gigernzer & Goltstein, 1996; Martignon & Hoffrage, 2002)：

$$v = \frac{R}{R + W}$$

式において、R は全てのペアにおいてその手がかりのみに基づき、手がかりの値が大きい対象を選択した場合に正解となる回数を示している（e.g. 2 つのチームのうちパスのスコアが高いチームを選ぶことで、正解となる年間順位の高いチームを選択する回数）。W は全てのペアにおいてその手がかりのみに基づき、手がかりの値が大きい対象を選択した場合不正解となる回数を示している。v が 0.5 を上回る場合は手がかりを用いることで正答率が向上するが、0.5 を下回る場合は手がかりが指し示すのと反対の対象を選ぶことによって正答率が高まる（以下、これは手がかりの方向性を補正すると表現する）。以下では、各課題のデータセットとその手がかりに関して解説する。

サッカー課題　サッカー課題で用いたデータセットは、2012 年に日本のプロサッカーリーグの 1 部リーグ（J1 リーグ）に所属する 18 チームであった。課題数は重複がないすべてペアに関して比較するため、153 問であった。参加者がチームの年間順位を推測する上で用いることができた手がかりは、各チームのパス・ドリブル・クロス・守備・セーブに関する年間のパフォーマンスに関するスコアとボール支配率である。これらの

データは Data Stadium 社によるウェブサイト Football LAB から入手した (Data Stadium, 2015)。また、スコアは Data Stadium 社が用意したものであり、例えばパスなら単純な試合ごとの平均数ではなく、同じ一回でも難しい場所からのパスやシュートに結びついたパスには高い得点が与えられ、そうではないパスには低い点数が与えられるといった計算がなされた特別なデータが提示されることがインストラクションにおいて参加者に提示されていた（各手がかりに関して参加者に与えられた説明情報、手がかりの妥当性(v)、および手がかりと年間順位との Spearman の順序相関を表 4-4 に示した。）

各手がかりの妥当性の平均値は、補正しない場合 0.52 (SD = 0.132) であった。手がかりを補正しない場合の各手がかりと年間順位との順序相関（Spearman の順序相関 ρ）の平均値は 0.09 (SD = 0.443)、手がかり間の順序相関の平均値は -0.01 (SD = 0.447) であった。また方向性を補正した場合（手がかりの妥当性が 0.5 未満の手がかりに関して 1 から引くことで補正した場合）の妥当性の平均値は、0.62 (SD = 0.038) であり、手がかりと年間順位との順序相関の平均値 0.38 (SD = 0.177)、手がかり間の順序相関は 0.38 (SD = 0.214) であった（cf. 表 4-4; 補正された手がかりに関しては表 4-7 を参照されたい）。

表 4-4. サッカー課題における手がかりの説明

手がかり	手がかりの説明	v	ρ
パス	・味方にボールをつなぐことを意図したプレー ・偶然味方にボールが渡る場合はパスとしてみなさない ・クロス、セットプレーは除く	0.60	0.23
ドリブル	・相手を抜こうとかわそうとしたプレー ・相手がいない状態でボールを運ぶプレーはパスとしてみなさない ・フィールドの左右の中盤からゴール前やペナルティエリア内を狙ってロングキックをすること	0.56	0.13
クロス	・フィールドの左右の中盤からゴール前やペナルティエリア内を狙ってロングキックをすること ・相手のディフェンス（守備）によってブロックされ、結果的にゴール方向にボールが飛ばなかったとしてもクロスとしてみなす ・セットプレーは除く	0.64	0.43
守備	・相手の攻撃に対してボールを取り返し、自チームの攻撃につなげたプレー	0.37	-0.39
セーブ	・相手のゴールキックに対する、ゴールキーパーのキャッチまたはパンチング	0.33	-0.49
ボール支配率	・該当するチームがボールを支配する時間が試合全体の何パーセントであるのか示したもの	0.62	0.62

バレーボール課題　バレーボール課題で用いたデータセットは、2011 年から 2012 年に男子一般社団法人日本バレーボールリーグ機構の下位リーグ（V チャレンジリーグ）に所属する 11 チームの年間順位であった。課題数は全ての可能なペアの数である 55 問であった。参加者がチームの年間順位を推測する上で用いることができた手がかりは、各チームの 1 セットあたりの「バックアタック」による得点・「ブロック」によって得られた得点・「サービスエース」によって得られた得点と「サーブレシーブ率」であった。これらのデータは V リーグオフィシャルサイトから入手したものである (一般社団法人日本バレーボールリーグ機構, 2015)。

各手がかりの妥当性の平均値は 0. 75 (SD = 0.15) であった。各手がかりと年間順位との順序相関（Spearman の順序相関 ρ）の平均値は 0. 66 (SD = 0.067)、手がかり間の順序相関の平均値は 0.433 (SD = 0.233) であった（cf. 表 4-5）。なお、バレーボール課題の場合はすべての手がかりの妥当性が 0.5 を上回っているため、方向性を補正したとしても

数値はすべて同一のものとなる (cf. 表 4-5)。

表 4-5. バレーボール課題における手がかりの説明

手がかり	手がかりの説明	v	ρ
バックアタック	バックアタックによって得られた 1 セットあたりの得点（決定本数）。バックアッタクとは: ・後衛のプレイヤーがアタック・ライン（コート中央から 3m の位置にひかれた線）より後方から相手コートにボールを打ち込むこと ・ アタック・ラインの後方からジャンプしないとフォールト（ルール違反）となり、バックアタック得点としてカウントされない	0.76	0.74
ブロック	ブロックによって得られた 1 セットあたりの得点。ブロックとは: ・前衛のプレイヤーが相手から打ち込まれたボールをネット際でジャンプして両手・腕で壁をつくり、はね返すこと	0.75	0.69
サービスエース	サービスエースによって得られた 1 セットあたりの得点。サービスエースとは: ・ 自分側のサーブを相手側が返球できず得点すること ・ （サーブとはゲームを開始する際に球を打ち出すこと）	0.73	0.62
サーブレシーブ率	サーブレシーブの成功率。サーブレシーブとは: ・相手陣から打たれたサーブを受ける動作	0.75	0.59

自殺率課題　自殺率課題で用いたデータセットは、世界保健機構 (WHO) によって発表された 2012 年の自殺率が高い 17 国の自殺率の年間順位であった。これらの 17 カ国は、2012 年の自殺率が高い上位 20 ヶ国から手がかりデータの欠損値がある 3 ヶ国を除いたものである。自殺率の年間順位を予測するうえで用いた手がかりは、「アルコール消費量」「経済成長率」「人口密度」「主観的幸福度」「女性の社会進出率」「所得格差」である。各手がかりの説明と妥当性及び手がかりと自殺率の年間順位の順序相関を表 4-7 に示した。自殺率の年間順位・アルコール消費量・女性の社会進出に関するデータは WHO (World Health Organization, 2015)、経済成長率・人口密度に関するデータは世界銀行 (World Bank, 2015)、経済格差に関するデータはアメリカの中央情報局 (Central Information Agency, 2015) から入手し、主観的幸福度に関してはイギリスのシンクタン

クである New Economy Foundation のウェブページから入手した Happy Planet Index の項目を利用した (Abdallah, Michaelson, Shah, Stoll & Marks, 2012[56])。また参加者に提示した手がかりは各ウェブサイトの情報をもとに作成した[57]。

各手がかりの妥当性の平均値は補正しない場合 0.51 (SD = 0.127) であった。手がかりを補正しない場合の各手がかりと年間順位との順序相関（Spearman の順序相関 ρ）の平均値は 0.02 (SD = 0.377)、手がかり間の順序相関の平均値は -0.14 (SD = 0.345) であった。また、方向性を補正した場合（手がかりの妥当性が 0.5 未満の手がかりに関して 1 から引くことで補正した場合）の妥当性の平均値は、0.64 (SD = 0.031) であり、手がかりと年間順位との順序相関の平均値は 0.41 (SD = 0.125)、手がかり間の順序相関は 0.12 (SD = 0.354) であった（cf. 表 4-6; 補正された手がかりに関しては表 4-7 を参照されたい）。

---

56 引用に関しては、ダウンロードしたデータに含まれるメモの指示に従った。

57 なお、インストラクションにおいて、手がかりの情報元として経済協力開発機構・国際労働機関・Gallup 社・国際連合食糧農業機関が情報の提供元に含まれているのは、データを入手した各ウェブページにおいてデータの情報元として明記されていたためである。

表 4-6.　自殺率課題における手がかりの説明

	手がかりの説明	v	ρ
アルコール消費量	1 人当たり(15 歳以上)のアルコール消費量 (リットル): ・ WHO による 2012 年の各国における 15 歳以上の 1 人当たりのアルコール消費量 (リットル) ・ ①「輸出入・販売などの課税対象となったアルコールの消費量」に、②「違法・合法関わらず政府のコントロールの及ばない範囲で消費されたアルコール量の推測値」を足し合わせたものである。	0.60	0.23
経済成長率	GDP(国民総生産)の成長率: ・ 2012 年度の為替変動の影響を取り除いた現地通貨によって求められた GDP(国内総生産)の前年度からの上昇率 ・ GDP とは各国の経済主体が産み出した粗付加価値の合計 ・ データは世界銀行のウェブページから入手(情報元は世界銀行・経済協力開発機構)	0.56	0.13
人口密度	$1km^2$ あたりの人口: ・ 世界銀行による 2012 年の各国の人口密度(国際連合食糧農業機関と世界銀行のデータに基づき算出) ・ ここでの人口とは、違法であるか住民権を持っているのかに関わらずその国に暮らす住民の数である(ただし難民に関しては出身国の所属とする)。また、土地の面積には大陸棚や排他的経済水域といった水域は含めない。	0.64	0.43
主観的幸福度	各国に対して行われた主観的幸福度: ・ 2012 年度、Gallup 社による主観的幸福度に関して個人ごとに回答したものを、各国で平均した ・ 回答は人生についてどのように感じるのか 0-10 段階で評価したもの(0:起こりうる最悪な状況だと感じる、10:起こりうる最高な状況だと感じる)	0.37	-0.39
女性の社会進出	男性に対する女性の労働力の比率(%): ・ 2012 年の男性に対する女性の労働力の比率 ・ 労働力とは 15 歳以上であり、財やサービスを供給した者として定義 ・ データは世界銀行のウェブページから入手(情報元は国際労働機関(ILO))	0.64	0.43
所得格差	各国のジニ係数(2001～2013 年): ・ 2001-2013 までに CIA(アメリカ中央情報局)によって調査された各国のジニ係数 ・ ジニ係数とは貧富の格差を図る指標としてよく用いられるものであり、0 から 1 の範囲を取り、平等であれば 0 に近づき、不平等に近づくほど 1 に近づく指標である。そのため値の大きさが不平等の指標として用いられる	0.53	0.10

表 4-7. 各課題における手がかり間の相関

	手がかりの相関（方向性の補正あり）	手がかりの相関（補正なし）
サッカー課題	0.38 (0.214)	-0.02 (0.449)
バレーボール課題	0.43 (0.233)	0.43 (0.233)
自殺率課題	0.12 (0.354)	-0.14 (0.345)

括弧内の数値は SD をあらわす

参加者に対する手がかり情報の提示　手がかりの妥当性に関する情報はインストラクションにおいてその方向性も含めて一切教示されなかった。そのため、参加者は手がかりの妥当性を推測する際には、事前にもつ知識やインストラクションによって提示される概念的な説明（cf. 表 4-4, 4-5, 4-6, 巻末付録 B）や意思決定ごとに与えられるフィードバックを用いて推測する設定であった。ただし実験の条件によっては意思決定後にフィードバックが与えられないため、条件によっては後者の手段は利用できない設定であった。

4.6.5　意思決定過程

参加者はコンピューター上で意思決定を行った。実験では各施行の開始時に、現在の施行数が画面の中央に 2 秒間表示された（cf. 図 4-5 A1, B1）。フィードバックなし条件では表示されるのは施行数のみであるが（cf.図 4-5 B1）、フィードバックあり条件（図 4-5 A1）では施行数とともに現在までの累積獲得金額が表示された。次に画面に二つの選択肢の手がかり情報のみが画面の左右に提示された（cf. 図 4-6 A2, B2）。この画面は 5 秒間続いた。この間、参加者は画面から情報を得ることができるが意思決定を行うことはできず、5 秒経過した後に画面の左右にボタンが選択肢として提示された（cf. 図 4-6 A3, B3）。

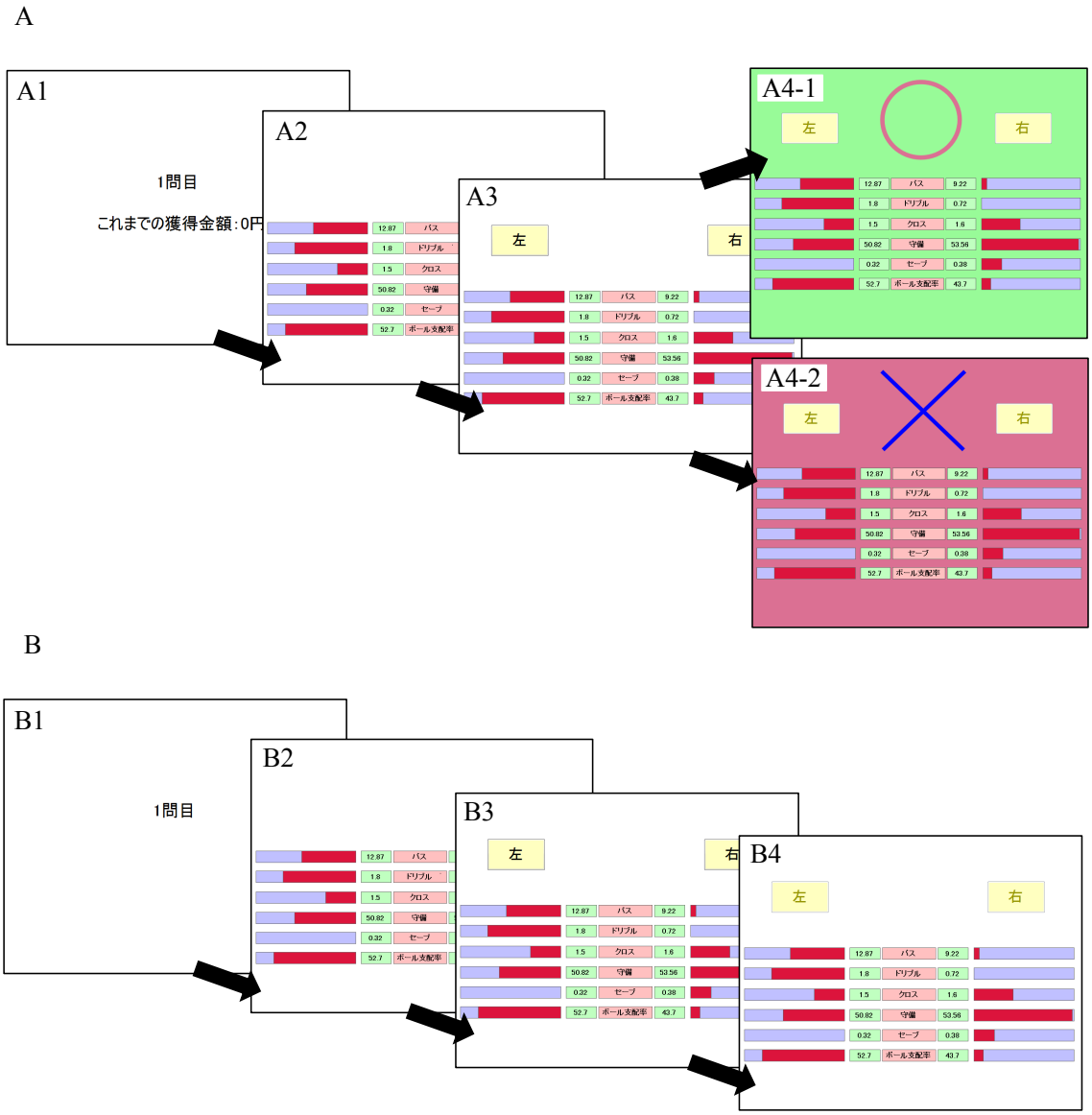


図 4-5.　実験の画面（A:フィードバックあり条件，B：フィードバックなし条件）

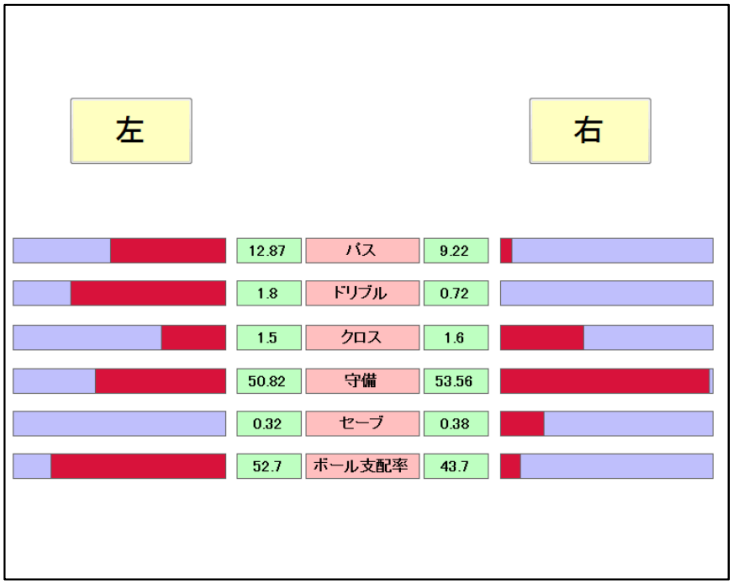


図 4-6.意思決定画面の例 （図 4-5 A3, B3 に対応）

例えばサッカー課題においては、図 4-6 のような画面において意思決定が行われた（図 4-6 は図 4-5 A3, B3 に対応）。画面には２つの選択肢が表示されており、選択肢は「左」と「右」と表示された。これは具体的なチーム名を伏せるためである。各選択肢に対してそれぞれ手がかりが与えられた。例えばサッカー課題の場合、「パス」「ドリブル」「クロス」「守備」「セーブ」「ボール支配率」の 6 つの手がかりの値が数値とグラフによって与えられた。例えば図 4-6 において画面下に提示されている「ボール支配率」の手がかりは、年間におけるボール支配率が左のチームが 52.7%であり右のチームでは 43.7%であることを示している。各数値の左右に配置されている紫色と赤色のグラフが各手がかりの値を図示したものである。紫色のグラフは全チーム（サッカーの場合は 18 チーム）の最小値と最大値の範囲を表現しており、赤色はチームの値を示している。つまり紫色のバーの長さと赤色のバーの長さが、該当チームの値と最小値との差と該当チームの値と最大値との差を表現している。図 4-6 において、ドリブルの右側のグラフ

のように該当チームが最小値である場合グラフは紫色でのみ表示された。逆に、該当チームが最大値である場合グラフは赤色でのみ表示された。

選択肢が提示されてから画面の選択肢をクリックし意思決定するまで制限時間は設けておらず、意思決定が終了したのち画面がクリックできなくなる状態が 3 秒間続き、フィードバックあり条件でのみ画面上に正解（cf. 図 4-5 A4-1）・不正解（cf. 図 4-5 A4-2）のフィードバックが与えられ、フィードバックなし条件では正解・不正解に関する情報は一切与えられなかった（cf. 図 4-5 B4）。なおこの 3 秒間の間、両条件ともに手がかり情報が画面に提示された。3 秒経過すると次の試行へと移った。

4.7 実験 B の結果

4.7.1 個人の成績

各課題においてそれぞれの条件における平均正答率を算出した。Condorcetの陪審定理が示すように多数決は平均正答率が0.5を上回る場合においては一般的に多数決の成績を高めるが、一方で平均正答率が0.5を下回る場合は多数決を行うことでむしろ成績が下がることが知られている。個人の平均正答率は自殺率のフィードバック無し条件を除き0.5を上回っていた。また各条件の平均正答率に関して0.5より有意に離れているのか検討するため 1 サンプルのt検定を行なったところ、すべての条件において平均正答率とチャンスレベルである0.5との差は優位に0より大きいことが示された（サッカー課題フィードバック有り条件 $t(49) = 7.62$, $p < 0.001$, 無し条件 $t(49) = 2.66, p = 0.01$；バレーボール課題フィードバック有り条件 $t(49) = 47.86$, $p < 0.001$, 無し条件 $t(49) = 23.84$, $p < 0.001$；自殺率課題フィードバック有り条件 $t(49) = 4.72$, $p < 0.001$, 無し条件 $t(49) =$

-2.65, $p = 0.01$[58]。各課題においてそれぞれの条件における平均正答率を算出した。この結果から、平均正答率が0.5を下回る自殺率課題フィードバック無し条件においては多数決が平均的な能力を持つ個人の成績を下回るが、それ以外の課題や条件においては多数決が平均的な能力を持つ個人の成績を上回ることが予想されるためこれらの課題において多数決が平均的個人の能力を上回ることを集合知と定義するのであれば、集合知が生じる課題であると考えられる。

表 4-8. 個人の意思決定の成績

課題	フィードバック	M	SD
サッカー	あり	0.581	0.075
	なし	0.536	0.097
バレーボール	あり	0.834	0.049
	なし	0.795	0.087
自殺率	あり	0.534	0.051
	なし	0.484	0.041

Mは平均値、SDは標準偏差を示す

個人での前半・後半における成績の変化　課題を前半と後半に分割し、各課題・条件において前半と後半における成績を求めた。フィードバックなし条件では参加者はフィードバックがないため意思決定終了時までに一貫した重み付けを用いて意思決定を行うため、前半と後半での参加者の成績や成績順位の変動は少ないと考えられる。一方フィードバック条件では、決定後のフィードバックに基づき学習することによって手がかりの重み付けを変化させるため、参加者における成績や成績順位の変化が大きいと考えられる。

58 第 1 章で述べたように、心理学においては一般的に確率を表記する際に 0 を省略するが、本稿では計算式を多用するため、確率表現も含め 0 は省略しない。

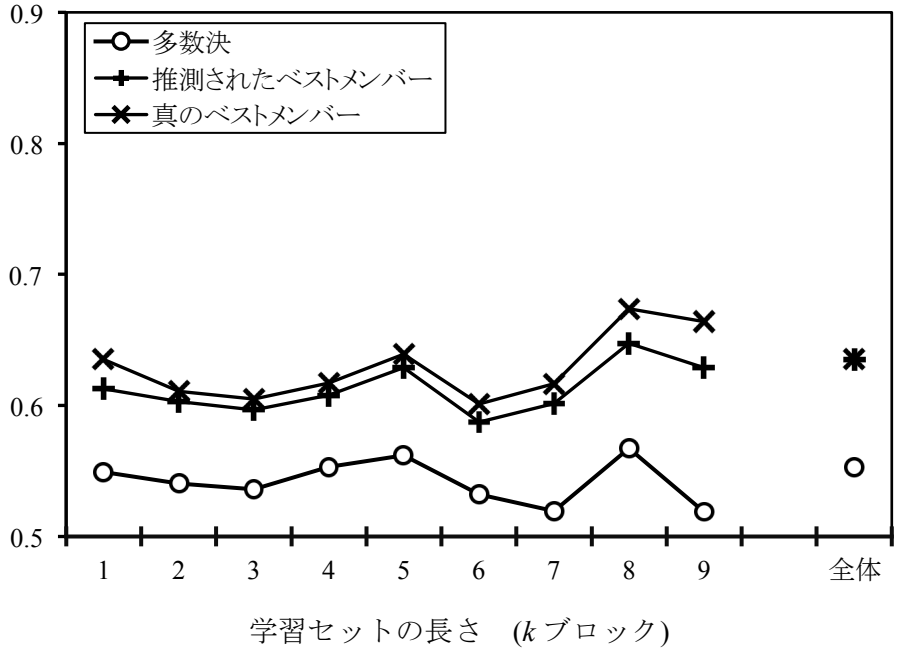
各課題の前半・後半で成績が有意に向上したか対応のある t 検定によって検討した。その結果、フィードバックあり条件においては全ての課題において有意差が見られた（サッカー課題：$t = 4.12, p < 0.001, d = 0.58$；バレーボール課題：$t = 10.56, p < 0.001, d = 1.29$；自殺率課題：$t = 2.79, p < 0.001, d = 0.39$）。一方フィードバック無し条件では、バレーボール課題においては有意な差が見られたが（$t = 6.58, p < 0.001, d = 0.92$）、サッカー課題（$t = 0.88, p = 0.38, d = 0.12$）・自殺率課題（$t = -0.99, p = 0.32, d = 0.14$）では有意な差が見られなかった。

4.7.2　集団決定ルールの成績：名義集団分析

個人の意思決定戦略に基づき各課題・条件ごとに名義集団分析を行った。全体の施行を 10 ブロックに分割した。学習セットを k ブロック、テストセットを 10 - k ブロックとして学習セットの成績に基づきベストメンバーを定め、テストセットにおける成績を算出した。結果に関しては課題・条件ごとに図 4-7, 図 4-8, 図 4-9 に示した。

サッカー課題　学習セットの長さに関わらずベストメンバーおよび推測されたベストメンバーおよび真のベストメンバーの成績を多数決が上回らなかった。フィードバックなし条件では、グラフ上の 9 つのポイントにおける推測されたベストメンバーと真のベストメンバーの成績は平均で 0.02 であり、フィードバックあり条件では 0.05 であった。この結果から、フィードバックが無い場合では有る場合と比較してより優れたベストメンバーを推測できたと考えられる。

A （フィードバックなし）



B （フィードバックあり）

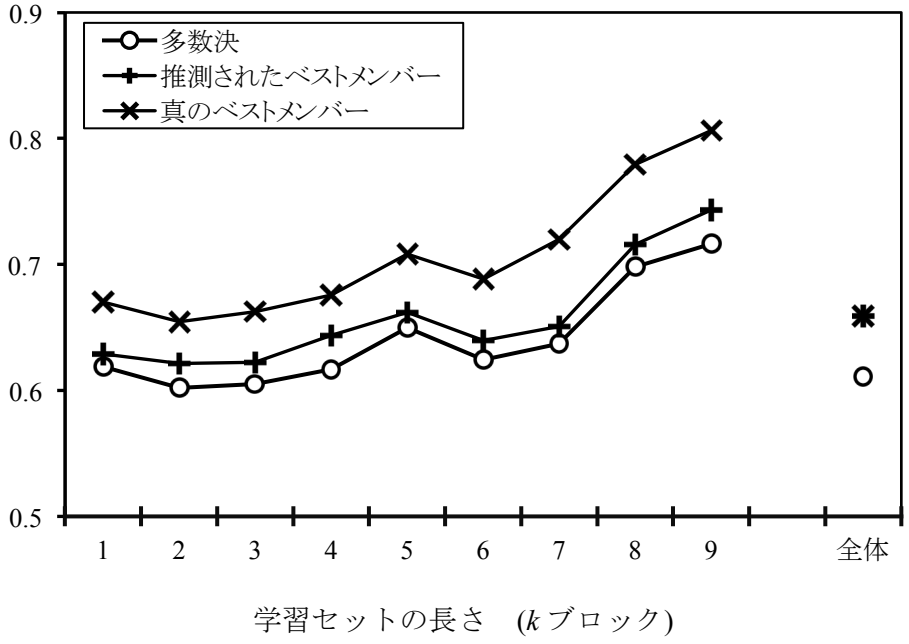


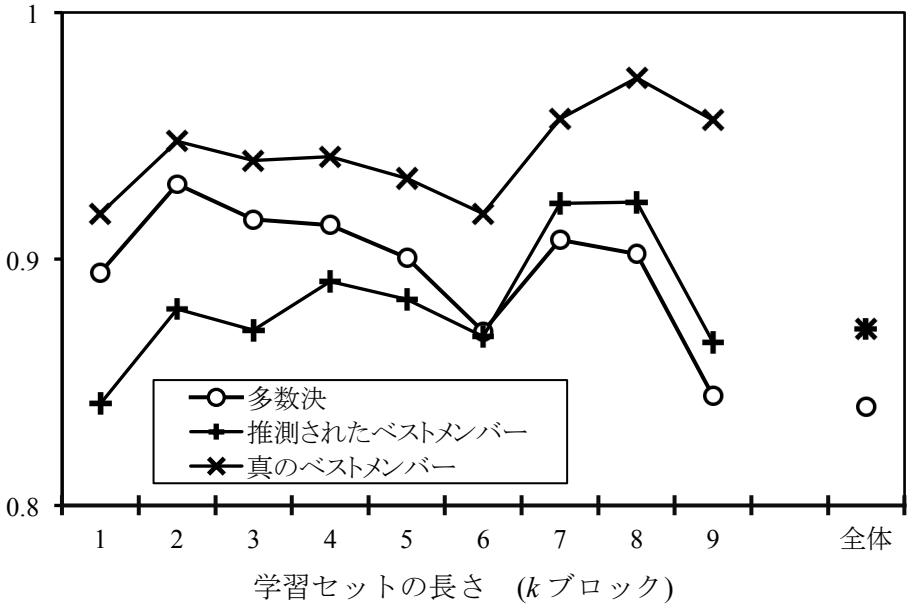
図 4-7.　サッカー課題における集団決定ルールの成績。A:フィードバックあり条件、B : フィードバックなし条件。横軸における「全体」は全試行を重複し、学習セット・テストセットとして設定した場合を示す。

バレーボール課題　真のベストメンバーが多数決よりも高い成績をあげるという点

に関してはサッカー課題と同様であるが、バレーボール課題では学習セットが短い場合においては多数決が有利だが、学習セットが長くなるにつれてベストメンバーが有利になるという傾向が見られた (cf. 図 4-8)。フィードバックなし条件では学習セットが全体の 7 割にあたるポイント ($k = 7$) からフィードバックあり条件では全体の 8 割にあたるポイント ($k = 8$) から推測されたベストメンバーが真のベストメンバーの成績を上回るという結果が得られた。

またフィードバックなし条件では、グラフ上の 9 つのポイントにおける推測されたベストメンバーと真のベストメンバーの成績は平均で 0.06 であり、フィードバックあり条件では 0.03 であった。この結果から、サッカー課題とは異なり、バレーボール課題ではフィードバックがある条件の方がより優れたベストメンバーを推測できたと考えられる。

A （フィードバックなし）



B （フィードバックあり）

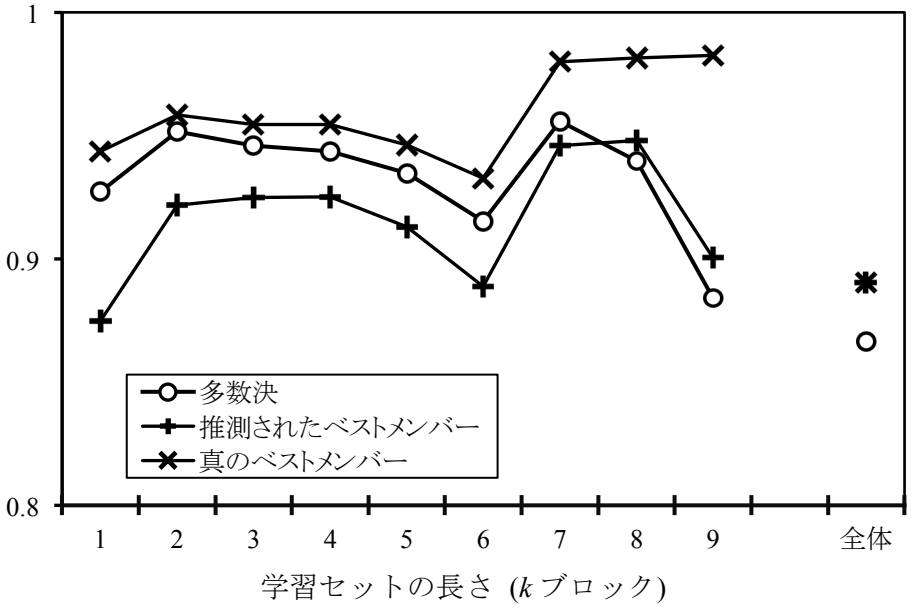
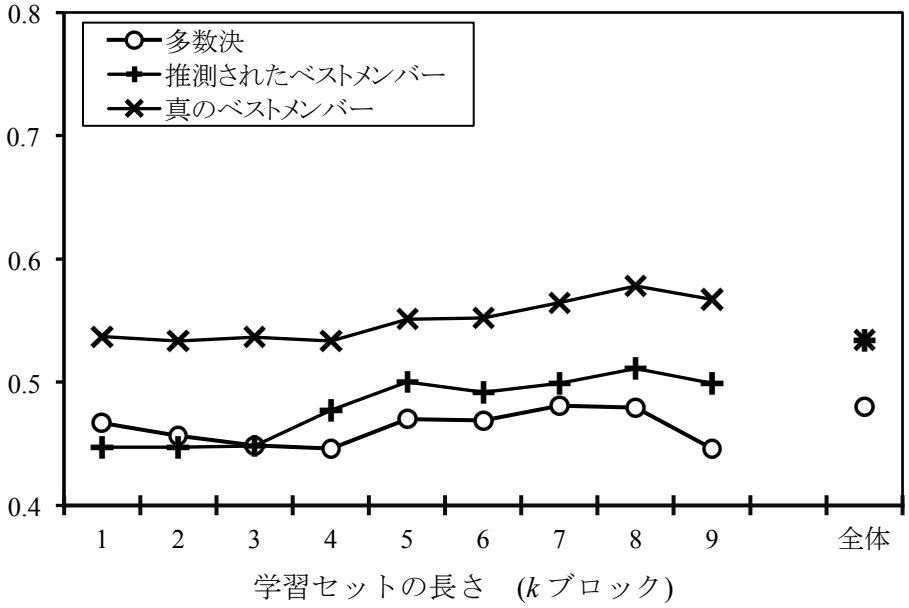


図 4-8. バレーボール課題における集団決定ルールの成績。A:フィードバックあり条件、B : フィードバックなし条件。横軸における「全体」は全試行を重複し、学習セット・テストセットとして設定した場合を示す。

自殺率課題　自殺率課題においても、他の 2 つのデータセットと同様に真のベストメンバーが多数決よりも高い成績をあげるという同様の傾向が見られた (cf. 図 4-8)。またバレーボール課題と同様に、自殺率課題においても学習セットが短い場合においては多数決が有利であるが、学習セットが長くなるにつれてベストメンバーが有利になるという傾向が見られた。フィードバックなし条件では学習セットが全体の 4 割にあたるポイント ($k = 4$) からフィードバックあり条件では全体の 7 割にあたるポイント ($k = 7$) から推測されたベストメンバーが真のベストメンバーの成績を上回るという結果が得られた。フィードバックなし条件においては、個人の平均正答率が 0.5 以下という多数決が非常に不利な状況であっても、学習セットが全体の 2 割にあたるポイントまで多数決が推測されたベストメンバーの成績を上回るという結果が得られた。

またフィードバックなし条件では、グラフ上の 9 つのポイントにおける推測されたベストメンバーと真のベストメンバーとの成績差は平均で 0.07 であり、フィードバックあり条件では 0.07 であった。この結果から自殺率課題での 2 条件において、真に優れたベストメンバーを推測する際の機会損失は同程度であると考えられる。

A （フィードバックなし）



B （フィードバックあり）

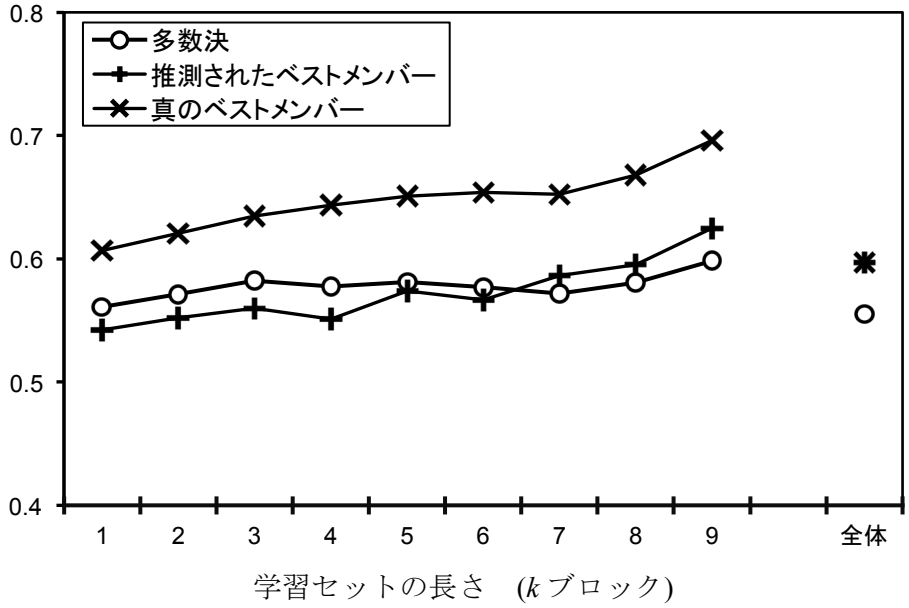


図 4-9. 自殺率課題における集団決定ルールの成績。A:フィードバックあり条件、B：フィードバックなし条件。横軸における「全体」は全試行を重複し、学習セット・テストセットとして設定した場合を示す。

4.8 実験 B の考察

4.8.1　実験目的と結果の考察

本研究の目的は、人々が現実にあるデータを取得し意思決定を行う場面において多数決がベストメンバーの成績を上回るのかを検討することであった。第 1 に、真のベストメンバーと多数決の比較を行い、第 2 に推測されたベストメンバーと多数決の比較を行った。第 1 に、真のベストメンバーは多数決に比べて一貫して優れた成績を上げた。実験 A と同様に基本的に真に優れた成績を上げる個人に多数決が優れることは現実においてほとんど存在しない可能性がある。しかし現実においてこうした真のベストメンバーを見出すのは不可能であるため、以下では推測されたベストメンバーと多数決の比較を行う。

第 2 に、推測されたベストメンバーとの比較を行ったところ、サッカー課題においてはフィードバックあり条件・なし条件ともに学習セットの長さに関わらず推測されたベストメンバーが一貫して多数決の成績を上回ることが見出された。一方バレーボール課題では、フィードバックあり条件では、学習セットの長さが 6 ブロック以下である場合、フィードバックなし状況では、学習セットが 7 ブロック以下である場合において多数決が推測されたベストメンバーの成績を上回った。自殺率課題に関してはフィードバックあり条件では学習セットの長さが 2 ブロック以下である場合、フィードバックなし条件では 6 ブロック以下である場合において多数決がベストメンバーの成績を上回った。学習セットが 50%の場合に着目すると、6 つ中 3 つ課題（条件）で多数決がベストメンバーの成績を上回り、課題 A と同様に多数決はベストメンバーと同等の成績をあげていることが示された。

特に興味深いのは、個人の成績が 0.5 を下回るケースでは多数決が Condorcet の陪審定理に基づけば非常に不利であることが予測される。確かに真のベストメンバーに対して多数決はその成績で大きく劣るものの、推測されたベストメンバーよりも優れた成績を上げることが示された。このことから、成績がチャンスレベルを下回るときに多数決はベストメンバーに対して一概に敗北するのではなく、成績がチャンスレベルを下回る場合においては推測されたベストメンバーの成績も同様に非常に低くなるため、多数決が優れた成績を収めるケースがあることが見出された。

ではなぜ 6 つ中 3 つの課題（条件）において、学習セットが後半のデータを含まず比較的短い状況においてはベストメンバーの成績を上回ったが、学習セットが長くなるにつれて多数決とベストメンバーの成績が逆転したのか。以下では、まず本研究の結果におけるデータの代表性を確認してから、実験中に学習によって個人の成績が変化するという観点から議論したい。

4.8.2　実験データの代表性

こうした現実のデータにおける手がかり間の相関に着目した多属性型意思決定に関する研究として、心理学・社会学・経済学・生物学・化学・健康科学といった多様な分野の 27 のデータを用いて意思決定方略の適応的合理性をコンピュータ・シミュレーションによって検討した Rieskamp & Dieckmann (2012) をあげることができる。27 のデータを用いた Rieskamp & Dieckmann (2012) の研究に対し、本研究は 3 つの異なるデータセットのみに関する実験であるため、自然環境における意思決定のパフォーマンスを検証する実験としてはデータ（実験刺激）の代表性が低いという問題が考えらえる。しかし、本研究がデータセットに用いた手がかり間の相関は、Rieskamp & Dieckmann (2012)

における 27 のデータセットにおける判断間の相関の範囲内に収まるものであった。Rieskamp & Dieckmann (2012) における手がかり間の相関の平均値は r =0.32、最大値は r = 0.68、最小値は r =0.11 であり、本研究で用いたデータセットの手がかり間の相関の平均値はそれぞれ r = 0.38（サッカー）、r = 0.43（バレーボール）、r = 0.12（自殺率）であった。この点を考慮するのであれば、本研究のデータセットは Rieskamp & Dieckmann (2012) が用いた手がかり間の相関の範囲内であり極端に穿ったデータではないため、ある程度の代表性が保証されたと考えらえる。

4.8.3　個人学習が集団意思決定に及ぼす影響

従来の Condorcet の陪審定理の拡張モデル (e.g. Austen-Smith & Banks, 1996; Estlund, 1994; Grofman, Owen & Feld, 1983; Sumpter & Pratt, 2009; List & Goodin, 2001) や集団意思決定の理論モデル (Einhorn, Hogarth, Klempner, 2009; Hastie & Kameda, 2005; Kameda, Tsukaski, Hastie & Berg, 2011; Soll & Larrick, 2009) においては、エージェントの能力が意思決定を行う中で変化しない状況を設定していた。実験研究においても単一の意思決定を行う場合を対象とするなど、個人が学習に応じて正答率を変化させるような状況を設定しない研究が中心的であった。

一方、連続的に意思決定を行いフィードバックが与えられる実験では、個人の正答率の変化に着目するのではなく実験に参加する他の参加者の意思決定情報をどのように用いるのか、あるいはそうした他者情報を用いた個人・集団の正答率がどのように変化するのかという問いが中心的であり (Bahrami, Olsen & Latham et al., 2010; Toyokawa, Kim & Kameda, 2014)、本研究が目的とするような複数の集団意思決定方略の比較とは異なっている。

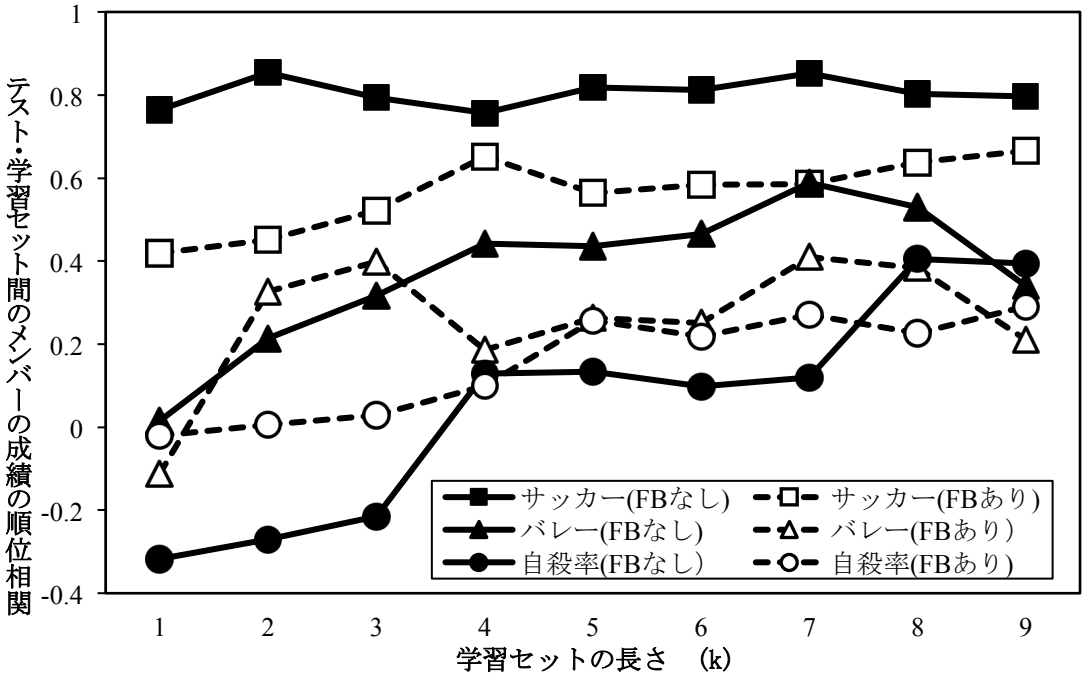
本実験の目的は多数決とベストメンバーの成績の比較であるが、学習によって引き起こされる個人の成績の変動は、どのように集団決定ルールの比較に影響を及ぼすのであろうか。実験では手がかりの妥当性に関する情報は与えられなかったため、参加者は手がかりの妥当性を学習することで、個人内での意思決定方略が変化し（手がかりに対する重み付けの変化）、成績が変動する可能性のある課題であった。こうした成績の変動は、（推測された）ベストメンバーの成績に大きな影響を与えることが予測される。なぜなら個人の成績が変動する場合、前半で高い成績を上げたとしても誤った学習によって意思決定方略を変えた結果、後半で成績が低下する可能性が考えられる。また、たとえベストメンバーとして選抜されたメンバーの成績が一定であったとしても、他の参加者の成績が上昇するのであれば多数決の正答率が上昇し、多数決に対して相対的に不利になる場合が考えられるからである。以下ではこの点について考察する。

実験結果の差異はどこから生まれたのか：ベストメンバーに着目して　サッカー課題においては推測されたベストメンバーの成績が一貫して多数決よりも高かったが、バレーボール課題・自殺率課題においては後半になるにつれて推測されたベストメンバーの成績が多数決よりも有利となる傾向が見られた[59]。ベストメンバーが学習セットの比率が長い場合に有利となるのは、試行が後半になるにつれ参加者が用いる意思決定方略（手がかりの用い方）が一貫してきたため、優れたメンバーを選択するのが容易になっ

59　このパターンがコンピュータ・シミュレーションおよび知識判断課題には見られないのは、分析方法が異なっているため当然である。第 3 章で行なったコンピュータ・シミュレーションや実験 A の分析においては、こうした順序が意味を持たないタスクであるため、学習セット・テストセットを選択するときに試行からランダムに選択した。一方実験 B では、試行の順序が意味を持つタスクであるため（特にフィードバックあり条件）であるため、課題の順序をランダマイズせず実験において参加者が課題を行った順序に基づき学習セットを設定した（学習セットを選択するときは実験の時系列に沿い 1 試行目から任意の試行までを連続で学習セットとした）。

たからだと考えられる。図 4-10 は学習セットの長さを変化させた場合における、学習セットとテストセットにおけるメンバーの成績順位の相関を示している。推測されたベストメンバーが多数決よりも全てのポイントで有利であったサッカー課題では、学習セットとテストセットにおけるメンバーの順位相関が高いため、学習セットで最も優れた成績をあげたメンバーが比較的一貫してテストセットでも優れた成績をあげたと考えらえる。バレーボール課題・自殺率課題に関しては後半になるにつれて推測されたベストメンバーが多数決を上回るというパターンが見られた。この点から、サッカー課題では、試行全体を通して学習セットとテストセットの成績が一貫していたため推測されたベストメンバーが優れた成績を上げたが、他の 2 つの課題では課題の後半になるにつれてメンバーの成績が一貫性を増したためベストメンバーの成績が多数決の成績を上回ったと解釈できる。

A



B

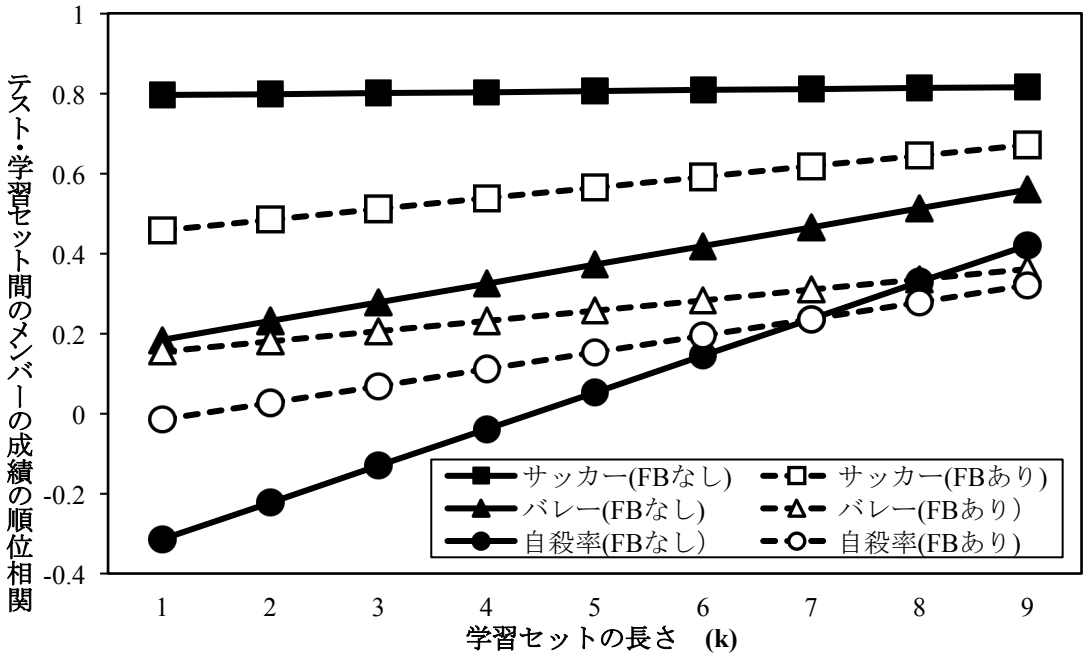


図 4-10. 学習セットの長さと順位相関。A : 各課題におけるテスト・学習セット間のメンバーの相関を示した。B : それらのデータを線形モデルに当てはめた結果を示した。

4.9 考察

集合知に関する、個人の判断を集団レベルで集約することによって優れた成績をあげる現象は Condorcet の陪審定理・Page による多様性予測定理など多くの理論研究によってその仕組みが明らかにされている (Condorcet, 1785/1976; Page, 2007)。しかし、こうした理論モデルは集団の平均的な能力を持つ個人と集団による判断を比較するものであった。実際に、連続変量における意思決定に関しては、個人の能力が正規分布に従う状況において集団の平均値に基づく判断が集団で最も優れた成績をあげた人物を上回ることは統計的に困難であることが Einhorn, Hogarth, & Klempner (2009) によって示されている。また多数決に関しては、第 2 章および第 3 章で行なったシミュレーションによって多数決が最も高い成績をあげた人物を上回るためには、集団の平均正答率が高く、分散が低く、判断間の相関が低い状況に限られることを示した。

本章が検討した、現実のデータに基づく知識判断課題・多属性型選択課題では、そのどちらにおいても多数決が集団で最も高い成績をあげた真のベストメンバーより頑健に優れた成績をあげることが困難であることを示している。このため、多数決によって意思決定を行なった後に個人の決定結果を参照した場合、結果的に最も高い成績をあげたある一人の人物の決定に従った方がより優れた成績を上げられる状況は数多く存在するだろう。

一方、集団で結果的に最も成績をあげる人物をベストメンバーと定義するのではなく、集団で過去最も優れた人物をベストメンバーとして選ぶような、より現実的なベストメンバーとの比較においては、第 4 章のシミュレーションで示したように多数決が相対的に有利になるパラメータ領域が拡大するという結果が得られた。実験の結果、知識判断

課題では 5 つの課題のうち 4 つで多数決がベストメンバーの成績と同等の成績をあげ（3 つの課題において、わずかに上回る）、多属性型選択課題においては 3 つの課題のうち 2 つにおいて、学習セットが全体の半分以上を占める場合を除き多数決がベストメンバーを上回るという結果が得られた。これらの結果、多数決は推測されたベストメンバーと同等の成績をあげる戦略であり、特にベストメンバーが誰であるのか推測する情報が少ない場合において有利であることが示された。

これら 2 つの実験結果は、多数決が推測されたベストメンバーより大きく劣ることを示すものではない。なぜなら、知識判断課題において多数決は推測されたベストメンバーと同等の成績を上げており、また多属性型選択課題においてもベストメンバーを推測する情報が少ないときには、多数決と推測されたベストメンバーは同等の成績をあげている。しかし集合知に基づき多数決が集団の最も有能な個人よりも高い成績を上げるという Surowiecki (2004) の主張は本実験の結果支持されず、知識判断課題・多属性型課題の全てにおいて真のベストメンバーが多数決の成績を上回った。また過去最も優れた成績をあげた人物をベストメンバーとしてベストメンバーの定義を修正したとしても、多数決と推測されたベストメンバーは同等の成績であり、多数決が推測されたベストメンバーより頑健に優れた成績をあげるものではないことが示された。これらの結果を総合するのであれば、集団の中で最も有能な個人あるいは有能であると推測された個人よりも多数決が頑健に優れるとする主張を支持するのは非常に困難である。

集合知のみに基づき認識論的民主主義は正当化できるのか？　Surowiecki (2004) は、個人の判断を集約した集合知は、有能な個人よりも優れることを主張し、Landemore (2012a) は Surowiecki (2004) を含む集合知に関する理論研究・実証研究に基づき多数決が他の意思決定ルールより優れるという観点から多数決を用いることの正当化を主張

した。Landemore (2012a) は、こうした集合知の実証研究の多くが認知的な意思決定課題であるが、政治も一種の認知的な意思決定課題と見なすことができることを主張した。

しかしながら、本研究において現実のデータを用いた意思決定課題を用いた実験を行い多数決とベストメンバーを比較したところ、多数決が集団において最も有能なメンバーの成績を上回るようなケースは非常に稀であることが示された。また過去の成績に基づいて優れた人物を推測するような現実的な場面を設定したとしても、Surowiecki (2004) や Landemore (2012a) が主張するように多数決が推測されたベストメンバーの成績を頑健に上回るという結果は見い出されなかった。この結果を考慮するのならば、集合知は認識論的民主主義の理論的基盤として非常に脆弱であることが示された。

集団はベストメンバーより優れた成績を上げるのが困難であるのか　本稿では、第 4 章まで集団に属する全員が投票を行う単純多数決とベストメンバーの比較を行ってきた。その結果、単純多数決がベストメンバー（推測されたベストメンバー）よりも頑健に優れた成績を上げるのは困難であることが示された。では、集団全員が投票するのではなく集団から何名か代表を選抜し、選抜されたメンバーのみが投票によって多数決を行う選抜多数決は集団決定ルールとしてベストメンバーおよび単純多数決より優れるのだろうか。集団から代表を選抜し、選抜されたメンバーでのみ投票を行うことで優れた判断を行うことができるという観点から代表制（間接民主主義）を擁護する立場がフェデラリストと呼ばれる一派によって主張されており、こうしたメンバーを選抜することで優れた決定ができるという主張は選抜効果と呼ばれている。こうしたフェデラリストによる選抜効果は集合知に基づくものではないが、パフォーマンスの観点から民主主義を擁護する議論であることから認識論的民主主義の一つであるとみなせるだろう。第 5 章では、フェデラリストらによる選抜効果の妥当性を検証する。

第 5 章

選抜多数決の理論的検討：

フェデラリストによる選抜効果の妥当性に関して

5.1 序論

5.1.1　概要

第 4 章までは、集合知の観点から単純多数決がベストメンバーよりも優れた成績を上げるのか検討した。その結果、理論研究・実証研究ともに単純多数決がベストメンバーよりも頑健に優れた成績をあげることは困難であることが見出された。この結果に基づけば、Landemore (2010) が展開するように集合知という観点のみに基づき認識論的な観点から民主主義を擁護することは困難であると考えられる。

では、集団が多数決に基づいてベストメンバーよりも頑健に優れた成績をあげることは困難なのだろうか。第 4 章までは多数決として集団の全員が決定に参与する単純多数決のみをとり扱っていたが、集団から代表を選抜して多数決を行う選抜多数決も多数決の一種であるといえるだろう (cf. Conradt & List, 2009[60])。こうした、代表を選抜し選抜したメンバーに決定を委ねることでより優れた決定が可能であるとする観点から代表民主制（間接民主主義）を擁護しようとする議論がフェデラリストと呼ばれる一派によって議論されており、こうした議論は選抜効果と呼ばれている (selection effect; Hamilton, Jay & Madison, 1961/1788 佐藤・武則訳 1991; Vermeule, 2009)。選抜効果は集合知に基づくものではないが、パフォーマンスの観点から民主主義を議論するという点において認識論的民主主義として考えられるだろう。第 5 章では、代表制民主主義を擁護する選抜効果が妥当であるのか選抜多数決と単純多数決を比較し検討し、さらに選抜多数決は選抜された 1 名であるベストメンバーの成績をも頑健に上回るのかを検討する。

60　例えば Conradt & List (2009) は集団に属する何名かが投票する場合を、sub-majority として単純多数決とともに shared decision（共有された意思決定）と呼んでおり、独裁的な決定（unshared decision）と対比させている。

代表民主制の認識論的アプローチ　認識論的民主主義は集合知の観点から多数決を擁護する議論であり、多数決が優れた成績を上げることを見出した Condorcet の陪審定理がその理論的根拠として用いられている。Condorcet の陪審定理は、Grofman & Feld (1988) が Rousseau の一般意志理論の数理的展開であると述べるように、人民が直接決定に参与するような理論モデルであった（cf. 第 2 章 2-A）。一方、現在多くの国家で採用されているのは間接民主制であり、Rousseau が目指したような直接民主制とは大きく異なっている。こうした間接民主制は直接決定に伴う人数を制限するものである。このため Condorcet の陪審定理を直接当てはめるならば、決定に参与する人数を減らすことにより多数決の成績は下がるため、直接民主制に対して間接民主制は常に成績の観点では劣るという結果が導かれる。しかし、これに対してフェデラリスト（連邦主義者）と呼ばれる人物らは、Condorcet の陪審定理を意識しながらも異なった予測をし、認識論的観点から間接民主主義を擁護する主張をアメリカ合衆国憲法の批准を推進した論文集「フェデラリスト」の中で展開している（Hamilton, Jay & Madison, 1961/1788 佐藤・武則訳 1991; Vermeule, 2009）。彼らは人民が直接的に政治参加するのではなく、より情報を持つ優れた人物を代表として選ぶことによって優れた決定が可能になるという推測を行った。このメンバーを選抜することでパフォーマンスが向上するというフェデラリストによる推測 (Federalist Conjecture) は、Vermeule (2009) によって選抜効果と名付けられている。

フェデラリストが代表民主制を擁護する根拠とする選抜効果は概念的な推測にすぎず理論モデルによる検討はなされていなかった。これに対して理論モデルに基づきその主張の妥当性を検証した研究が Goodin & Spiekermann (2011) である。Goodin & Spiekermann (2011) は Condorcet の陪審定理を拡張した Grofman の定理 (Grofman, 1978)

を用いて選抜効果の妥当性を検討した。しかし、本稿では彼らの用いた Grofaman の定理は選抜効果の妥当性を検討する理論モデルとしては不十分であることを指摘したい。その理由は、選抜効果とはメンバーを選抜することで集団の個人レベルの能力が上昇する現象であり、この選抜効果を検討するには選抜の元となる母集団が多数決を行った成績と選抜されたメンバーに基づく多数決の成績を比較するべきであるためである。しかし Grofman の定理はこうしたメンバーを選抜する過程を考慮していないため、フェデラリストが本来意図していた選抜による効果を検討するには不十分である。またもう一つの理由として、Grofman の定理は多数決の成績に影響を与える個人の能力分布や判断間の相関を操作していないという点がある。

これら 2 つの問題に関して、本稿の第 3 章で用いたコンピュータ・シミュレーションではメンバーを選抜する過程がシミュレーション内に実装されており、かつ多数決の成績に影響を与える個人の能力分布や判断間の相関をシステマティックに操作することが可能である。本章では、第 3 章で用いたシミュレーションを拡張し、ベストメンバーと単純多数決に加え複数のメンバーを選抜する選抜多数決を導入し単純多数決と選抜多数決の比較を行うことによってメンバーを選抜することで、フェデラリストによる選抜効果に関する認識論的な推測が妥当であるのかを理論的に検討することを目的とする。以下では、まずシミュレーションの詳細に移る前に背景となるフェデラリストの選抜効果とその批判である Goodin & Spiekermann (2011) の研究を紹介し、また Goodin & Spiekermann (2011) らが考慮していなかったメンバーの能力分布やメンバーを選抜することが多数決の成績にどのような影響を与えるかについて考察を行う。

5.1.2　選抜効果とその批判

フェデラリストと選択効果　Conodrcet の陪審定理は、集合知の発生メカニズムとして見做されており(e.g. Surowiecki, 2004; Conradt & List, 2009) 認識論的民主主義の核となる概念であるが (Landemore, 2010)、この定理を発見した Condorcet 自身も集団の人数が増えることによって啓蒙 (éclaire[61]) が十分に達成されていない人物が決定に加わることで正答率が 0.5 を下回り、それによって集団の成績が劣化することを指摘している (Condorcet, 1785/1976; cf. Ahlstrom-Vi, Kappel, Jang, & Pedersen, 2013; Vermeule, 2009)。Vermeule (2009) はこの Condorcet の主張はフェデラリストに受け継がれることを主張している。フェデラリストは、すべての市民が直接的に政治に参加するのではなく代表として選抜された一団によって政治がなされるべきだとしており、その主要な理由の一つして決定に関わるメンバーを多く選択することで限定された情報を持つ人物や能力の低い人物の割合が多くなることをあげている。この主張はフェデラリスト第 58 篇の「人数が多いほど、知識が限られた能力のとぼしい者の割合が増える」(Hamilton, Jay & Madison, 1961/1788 佐藤・武則訳 1991) という文章に見ることができ[62](Goodin & Spiekermann, 2011; Landemore, 2010; Vermeule, 2009)、Vermeule (2009) によって選択効果 (selection effect) と名付けられている。この選択効果とは、つまり候補者となる母集団からメンバーとなる人物を選択する際にそのサンプリングの方法によってサンプルさ

---

61 éclaier の語は沢田においては啓蒙、隠岐においては開明と訳されている。

62 また同 58 篇においては集会の人数が増えることの弊害として、知識の観点のみならず理性よりも感情に支配されやすくなることを指摘している。「構成人数が多ければ多いほど、集会につきものの不安定さをますます示すようになるだろう。無知は狡猾さにまんまとかつがれ、感情は詭弁と非難の餌食となる。ある程度以上に議員を増加し、これを持って少数者支配に対する障壁を強化するものだと考えることは、大きな誤りである。」(Hamilton, Jay & Madison, 1961/1788 佐藤・武則訳 1991)。

れたメンバーの平均能力値が異なるとする議論だと解釈できるだろう。

選択効果に対する批判：Grofman の定理　Goodin & Spiekermann (2011) らはフェデラリストによる選択効果に対して、Condocet の陪審定理を拡張した Grofman の定理 (Grofman, 1978; Grofman, Owen & Feld, 1983) に基づき反論を行っている。Goodin & Spiekermann (2011) の議論を紹介する前に、以下ではその前提となる Grofman の定理の説明を行う。多数決の正答率 P_G は集団の正答率 p とメンバーの数 N によって定まっているが、Grofman の定理はこうした集団の正答率 p とメンバーの数 N の関係を示した定理である (Grofman, 1978; Grofman, Owen & Feld, 1983)。例えば、正答率が高いある集団 A が存在しそれよりも正答率が低い集団 B が存在するとき、集団 B が A と同等の成績をあげるためにはメンバーがどの程度必要なのかという点について答えた定理であるといえるだろう。以下では Grofman の定理について説明する。

<u>Grofman の定理</u>　$p > 0.5$ 以上であるとする。個人の正答率が $(p - x)$ でありかつ集団のメンバーが $(N + y)$ 人である集団と、個人の平均正答率が p でありかつ集団のメンバーが N である集団の多数決による正答率が等しいときの条件は以下のように表現される（Grofman の定理; Grofman, 1978; Grofman, Owen & Feld, 1983; 澤田, 2008; 富山, 1998）。

$$y = N\left[\frac{0.25\,x\,(2p - 1 - x)}{p\,(1 - p)(p - x - 0.5)^2}\right]$$

例えばこの式を用いることで、個人の正答率 p が 0.75 である 5 人の集団の正答率 P_G (p = 0.75, N =5) と同等の正答率を個人の正答率 p が 0.6 である集団があげるには 40 人必要であることが計算によって求まる（P_G (p = 0.6, N =40)）[63]。このように個人の正答率

[63] ただし、Grofman 定理を導出する過程で、二項分布が正規分布に近似しているため N

p と集団の人数 N の関係はトレードオフの関係にあり、この式を用いることで iso-competence curve（等能力曲線; Grofman, 1978 ; 富山, 1998）を描くことができる（図 5-1 は $p = 0.75$ が 5 名のときの多数決の成績を基準に個人の正答率を減らした場合における基準と同等の成績をあげるのに必要な人数との関係をプロットした等能力曲線である）。

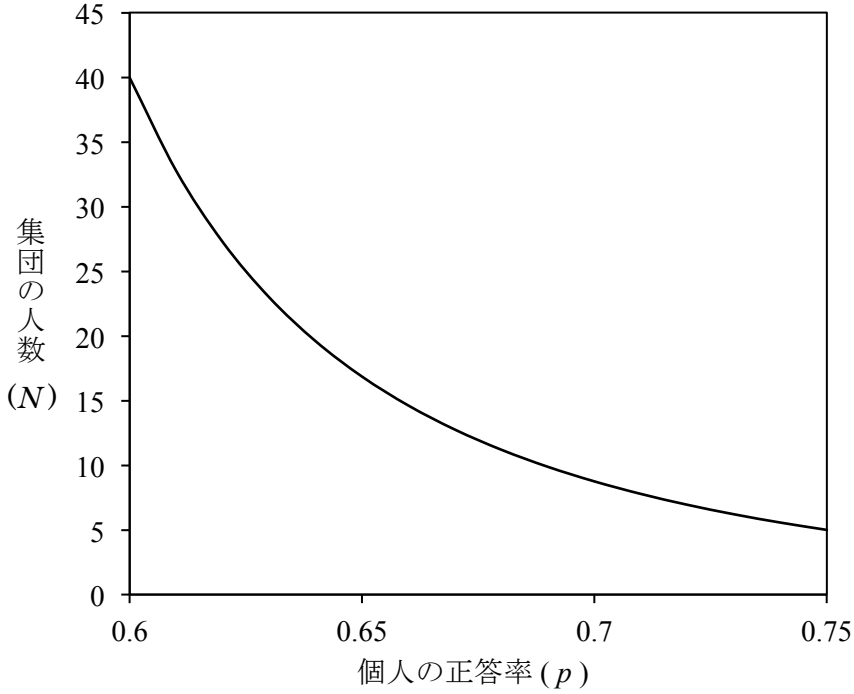


図 5-1. iso-competence curve（等能力曲線）。P_G (0.75, 5) と P_G (0.6, 40) が等しいことを示す（なお、この曲線よりも上に位置する点があった場合、その成績は P_G (0.75, 5) あるいは P_G (0.6, 40) を上回り、この曲線よりも下に位置する点は、P_G (0.75, 5)あるいは P_G (0.6, 40) の成績を下回る）。

Goodin & Spiekermann (2011) は Grofman の定理に基づきフェデラリストによる選抜効果に対して反論しているが、その一つとして以下のような例をあげている。彼らは個人の能力（正答率）が $p = 0.55$ でありメンバーが 1001 名からなる集団がフェデラリス

が少ないケースに関しては近似による誤差が生じる。

トの助言に従い 11 名の小集団に決定を託す場面を例としてあげている。彼らによれば、この $p = 0.55$ である 1001 名と同等のパフォーマンスを 11 名からなる小集団が達成するには Grofman の定理に従えば能力値（正答率）が 0.800 を超えている必要があるが、1001 名が自らよりも非常に能力が優れた 11 名を探し出すことは不可能ではないが非常に困難であることを指摘している。彼らはさらに 2008 年におけるアメリカ合衆国の選挙を挙げ、選挙権を持つ人口が 1 億人を超えている場合 500 名程度が代表（選挙人団）として選ばれる場合、例え個人の能力が $p = 0.510$ であったとしても代表が同等の成績をあげるためには能力はほぼ 1 に近い値である必要があることを述べており、こうした観点から選抜された少数のメンバーが多数の集団に認識論的な観点から優れるという議論は妥当性が低いことを主張している。

5.1.3 投票の人数と正答率の関係：再考

Goodin & Spiekermann (2011) の問題点と選抜がもたらす 2 つの効果　Goodin & Spiekermann (2011) は、Grofman の定理を用いてメンバーを選抜することによって集団の成績が高まるという選抜効果が生じることは困難であることを示した。しかし Grofman の定理は 2 つの能力が均一な集団が存在することを想定しているが、フェデラリストによる選抜効果とはメンバーを集団から選抜することで個人の成績が向上する現象であると考えらえるため、本来の彼らの主張を検証するためには（選抜元である）母集団全体における多数決と母集団から何らかの基準に基づき選抜されたメンバーに基づく小集団における多数決を比較すべきである。換言するのならば Vermeule (2009) の定義した選抜効果とはメンバーを選抜することによる母集団と選抜された集団との能力分布の変化であるといえるが、Goodin & Spiekermann (2011) が考慮したものは能力

と人数が異なる 2 集団の比較に基づく分析にとどまるため、選抜に伴う分布の変化を検討した分析としては不十分である。以下では、「集団の人数」と「集団の正答率」の関係を考慮する際に重要となる二つの効果について説明する。第 1 に、一般的に集合知の文脈で語られる集合知効果である。これは Condocet の陪審定理が示した人数を超えることによって多数決の成績が上昇する統計的なエラーキャンセル効果である（第 1 章参照）。第 2 に、フェデラリストが本来意図していたであろうメンバーを選抜することによる能力分布の変化である。第 4 章の実験研究において示されたように現実における人々の正答率には分散が生じており、こうした能力が異なる現実において優れたメンバーを見出し選抜することができれば集団のメンバー全員が決定に参加する場合よりも個人レベルの平均的な正答率が向上するはずである。

このように、メンバーの選抜は集合知効果の観点においてはメンバーが減ることにより成績が低下するデメリットを集団にもたらすが、一方で選抜効果の観点においては優れたメンバーを選抜することで成績が上昇するというメリットを集団にもたらす。これらの二つの効果のうち選抜効果によるメリットが集合知効果におけるデメリットを上回れば選抜多数決は単純多数決よりも優れた成績を上げると考えられ、選抜されたメンバーのみが決定を行うことにより集団全体が決定するよりも高い成績を上げるとする推測に理論的妥当性が与えられると言えるだろう。以下ではこれら 2 つの効果について着目する。

集合知効果の持つ特徴：人数が増えるにつれ新規メンバーによる上昇値は逓減する

第 1 章において示したように、Condocet の陪審定理は人数の増加とともに正答率が増加することを示した定理である。個人の正答率が p であり、集団のメンバー数を N であ

るとするときの多数決の正答率を $P_G(p, N)$ とするとき、多数決の正答率は次のような式によって表現される（cf. 第 1 章）。

$$P_G(p, N) = \sum_{h=(N+1)/2}^{N} \binom{N}{h} p^h (1-p)^{N-h}$$

第 1 章で示したように、この式に具体的な数値を当てはめることによって人数が増えることで成績が向上することが理解できる。図 5-2 は個人の正答率が 0.75 である場合において集団の人数に値を2名ずつ増やした場合[64] の多数決の正答率 (P_G) を示したものである。図 5-2 が示すように多数決の正答率が増加することによって Condorcet の陪審定理が示すように多数決による正答率が 1 に近づいていくことが理解できる。

しかし、こうした新たな人数が増えることによる成績の上昇値は集団の人数が増えるにつれて逓減する。図 5-3 は個人の正答率が 0.75 である場合、集団のメンバーが N 名である集団において新たに 2 名加わることによる集団の成績の上昇値を示している（$P_G(0.75, N+2) - P_G(0.75, N)$）。集団が 3 名から 2 名増える場合の成績上昇値は 0.05 であるが、集団が 5 名から 3 名に増える場合の上昇値は 0.03 となり上昇値は少なくなっている。さらに 7 名から 2 名増えた場合の上昇値は 3 名から 2 名増えた場合の上昇値の半分以下の 0.02 である（cf. 図 5-3 参照）。このように集合知効果による成績の上昇値は集団の成員が増加するごとに減少し、さらに判断間に相関が生じる現実においては集合知効果が損なわれることが知られているため、人数が一定数存在する集団においては新たにメンバーが加わったとしても成績の上昇値は小さくなることが理解できる。

---

64 1 名ずつ増やさない理由として、偶数である場合には投票によって多数派が定まらない場合が存在するためである。

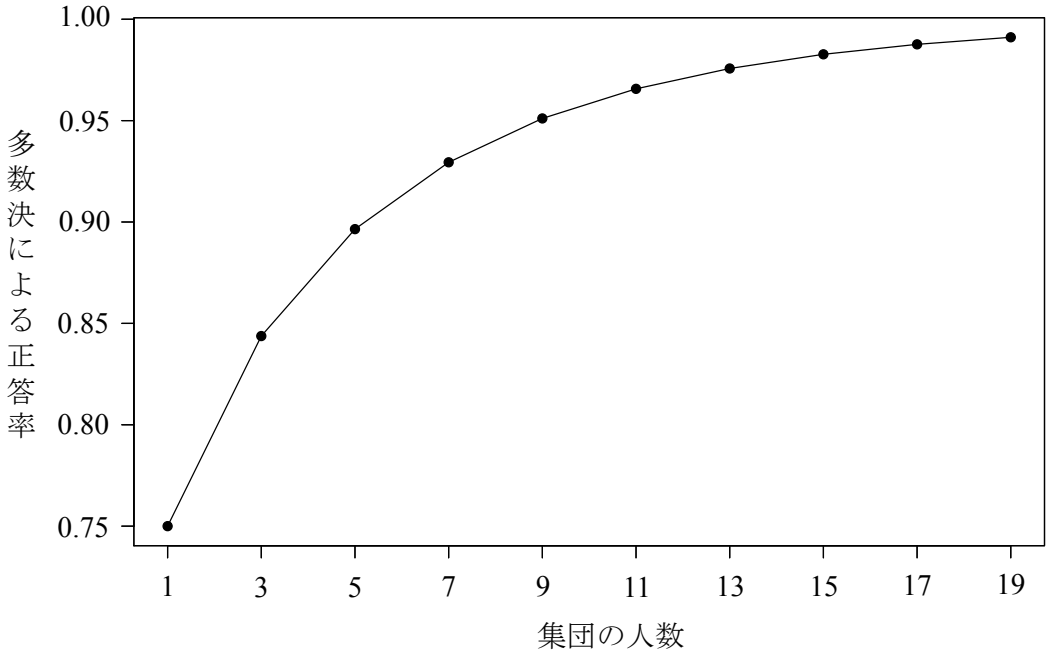


図 5-2. 集団の人数と多数決による正答率 （第 1 章 図 1-1 と同一）

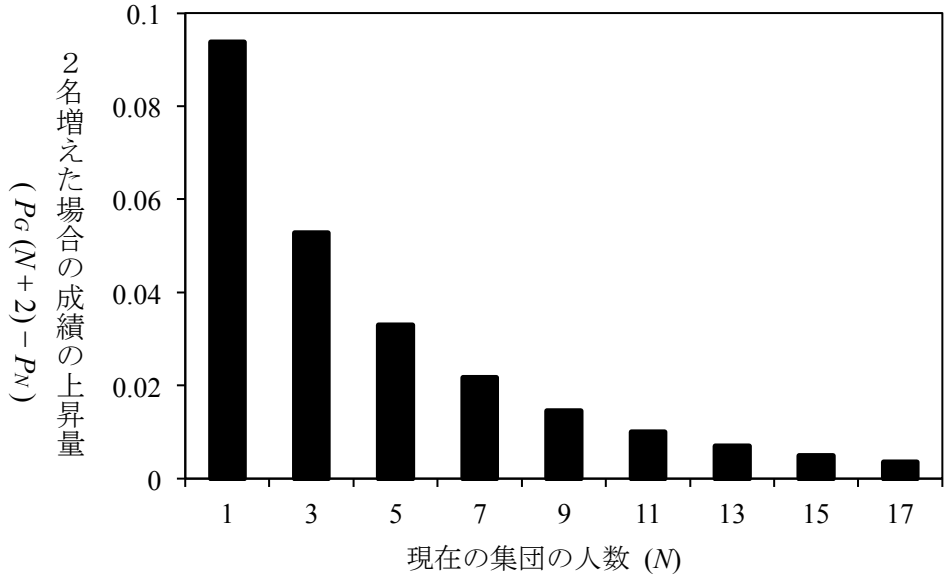


図 5-3. 現在の集団の人数と新規メンバー加入による成績の上昇値

選抜効果：能力に分散が存在する世界において　Condorcet の陪審定理は全てのメンバーの正答率が同一であると仮定しているため、新たなメンバーが選抜され投票に加わったとしても選抜されたメンバーにおける個人の平均正答率は変化せず同一である。し

かし個人の成績が一定でなくメンバーの能力が異なっていて（分散が 0 ではない）、かつメンバーを優れた人物から順に選抜することが可能である場合においては新たに加わるメンバーは常に既存のメンバーよりも正答率が低くなるため、投票を行う集団にメンバーが加入することで必ずしも多数決の成績が上昇するとは限らない。以下では具体的な数値例をあげることによって説明する。

A, B, C, D, E という 5 名からなる集団があると存在し、各メンバーの成績が 0.75、0.70、0.65、0.60、0.55 であるような場面を考える。また単純化のために判断間の相関は存在せず、メンバーの真の正答率を知る手段があるものとする。まずこの 5 名のうち 1 名を選ぶ場合、すなわちベストメンバールールを用いる場合を考える。5 人で最も高い正答率である 0.75 の人物が 1 名のみ選ばれ判断するため、選抜されたメンバーが 1 名のときの正答率は 0.75 である。次に 5 人の中から 3 名を成績が優れる順に選抜する場合、すなわち理想的な状況における選抜多数決について考える。この場合、正答率が 0.75, 0.70, 0.65 の 3 名のメンバーが多数決を行うので、選抜された 3 名による多数決の正答率は 0.785 となる[65]。選抜された 3 名の成績はベストメンバーのみの成績よりも正答率が 0.035 ポイント上昇しており、新たに 2 名加えることにより成績が上昇していることが理解できる。次にさらに 2 名が加わり 5 名全員が多数決によって判断する場合を考える。5 名が多数決によって正答する確率は 0.767 となり、3 名で決定を行う場合の成績

[65] 成績は、単純に集団の多数派が正答する確率について場合分けし、それらの場合の確率の総和をとることによって計算できる。例えば集団が 3 名である場合には、3 人全員が正解する場合 $\{0.75 \times 0.70 \times 0.65\}$ と 2 人全員が正解する場合 $\{(1 - 0.75) \times 0.70 \times 0.65 + 0.75 \times (1 - 0.70) \times 0.65 + 0.75 \times 0.70 \times (1 - 0.65)\}$ の和として計算できる。5 名以上の場合も計算式が長くなる点を除けば同様に計算できる。

である 0.785 を下回っている。このため 2 名新たに加わることによってむしろ多数決の正答率が下降することが確認できる。この例においては集団のメンバー5 人の中から成績が優れた順に 3 名を選抜して多数決を行う選抜多数決がベストメンバーおよび集団全員による多数決を行う単純多数決よりも優れた成績をあげることが理解できる。

上記の例ではメンバーが 0.75 から一人加わるごとに新規に加入するメンバーの成績が 0.05 ずつ下がるという単純な例を用いたが、現実において成績の分布を考慮する場合その母集団となる集団の分布を考慮する必要がある。そのため以下では、例として個人の正答率 p_i が $N(0.75, 0.05^2)$ の正規分布に従う場合を考察する。図 5-4 は、p_i が $N(0.75, 0.05^2)$ の正規分布に従う場合におけるメンバーの成績と成績順位の関係を示したものである[66]。横軸はその個人が全体における順位を百分率で示したもの（100 からパーセンタイル値を引いた値）であり、例えば 20 は集団が 100 名の場合は 20 位、1000 名の場合は 200 位であることを示している。図 5-4 が示すように、成績が正規分布に従っている場合、順位が低くなるにつれて成績が下がり順位が 50%を下回ると当然成績は平均より低くなっていることが確認できる。こうした分散の生じる状況においては、メンバーを選抜することによって平均正答率を高めることが可能となる。

[66] 表は $N(0.75, 0.05^2)$ によって表現される正規分布から 10000 回ランダムに数値をサンプリングし、その数値を成績が高い順に並び替えたものをプロットすることで作成された。

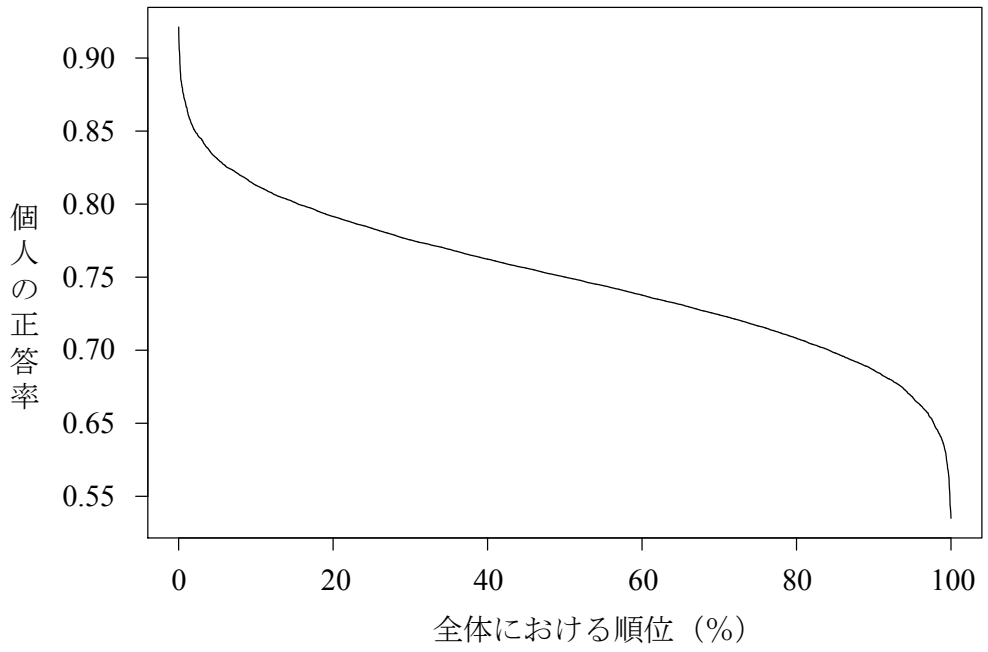


図 5-4. メンバーの全体における成績順位と個人の正答率

5.1.4 シミュレーションの目的

これまで選抜が集団の決定に及ぼす影響として集合知効果と選抜効果に関して説明を行った。集合知効果は人数の増加とともに逓減するため集団の人数が一定数存在する場合においては人数が減少することによるデメリットは少ないため、優れたメンバーを見出すことができれば選抜多数決は単純多数決よりも優れた成績を上げることが予測できる。しかし第 3 章で示したようにベストメンバーを常に正しく見出すことができるとは限らず誤って能力の低い人物を選択してしまう場合があり、こうしたメンバーを見誤るエラーは選抜多数決にも該当する。また選抜多数決も多数決の一種であるため、集団の判断間の相関が高まると成績が大きく劣化する可能性が存在する。従って選抜多数決はベストメンバーが持つような選抜効果と単純多数決が持つ集合知効果という 2 つの利点を合わせもつ可能性もあるが、一方でメンバーを見誤ることによるエラーと相関

による成績の低下という欠点を合わせもつ可能性もある。本章の目的は、フェデラリストが主張するようにメンバーを選抜することで単純多数決よりも優れた成績をあげるのか検討する。

5.2 シミュレーションによる検討

5.2.1 方法

第 3 章で行ったコンピュータ・シミュレーションに選抜多数決ルールを加える。シミュレーションの手続きは第 3 章と同様で N 人からなる集団が 100 問の課題を解くときに個人の平均・分散・判断間の相関および集団サイズを操作し各パラメータの組み合わせにおける集団決定ルールの成績を検討する。選抜多数決では N 人の集団から M 人を選抜した。選抜多数決のメンバーの選択に関しても同様に過去の成績からメンバーの成績を推測する過程を導入する。100 問を学習セットとテストセットに分割し、学習セットで優れた成績を上げた上位 M 名を代表として選抜しテストセットにおいて M 人が多数決による正答率を算出することで過去の成績から代表を選抜する過程を導入する。なお研究 3 において学習セット・テストセットの比率を操作したところ、学習セットが全体の 25%, 50%, 75%の場合で大きな成績の変化が見られなかったため学習セットが全体で 50%の場合のみを検討した。

5.2.2　シミュレーションの結果：メンバーが 11 名の場合

能力分布が成績に与える影響　第 2 章で示したように多数決の成績は集団の平均的能力値に依存し平均正答率が低い（チャンスレベルである 0.5 に近い）場合は多数決の成

績も低いが、平均正答率が高い場合には多数決の成績も高くなる。一方ベストメンバーの成績は能力の分散に大きく依存し能力が均一的であり分散が小さい場合はベストメンバーの成績は低いが、分散の大きいケースにおいてはベストメンバーの成績が高くなることを示した。以下では、こうした能力分布の観点から多数決あるいはベストメンバーが有利になるケースおよびどちらも拮抗するケースについて選抜多数決が多数決およびベストメンバーよりも優れた成績を上げたのかに着目する。そのため以下では、第1に多数決とベストメンバーの成績が拮抗しているがどちらの成績が優れるのか相関に大きく依存しているケースとして①平均・分散が低く多数決・ベストメンバーがともに低いケースに着目する。第2にどちらか一方の成績が優れるケースに着目する。多数決に有利な②平均が高く分散が低いケースや、ベストメンバーに有利な③平均が低く分散が低いケースに着目する。

多数決・ベストメンバーが拮抗するケース　多数決とベストメンバーの成績が拮抗するような平均・分散がともに低い ($\mu = 0.55, \sigma = 0.05$) ケースの結果を図 5-5 で示した。平均・分散がともに低いとき多数決・ベストメンバーともに相関によって成績が大きく変動し、相関の値によってはランダムに選ばれた個人と同等の成績まで劣化する。多数決の成績は相関が低いときに成績が最大となり相関が高まるにつれてランダムに選ばれた個人の成績に近づいていき、一方ベストメンバーの成績は相関が低くなるにつれランダムに選ばれた成績に近づく傾向が見られた。これに対して選抜多数決は相関に対して安定的に高い成績をあげた。11 名から 7 名を選抜したケースに着目すると、7 名による選抜多数決は多数決と同様に相関が上昇すると成績が劣化するが、相関が高く 0.9 を超えるケースにおいても多数決およびランダムメンバーよりも高い成績に収まり安定

した成績を収めた。また 7 名による選抜多数決の成績は、多数決に対して 10 ポイント中 8 ポイント、ベストメンバーに対しては 10 ポイント中 6 ポイントでより優れた成績を収めた。7 名による選抜多数決はベストメンバーと同様に相関が低下すると成績が劣化するが相関が 0 の付近においてベストメンバー（及びランダムメンバー）より優れた成績を収めた。また 3 名による選抜多数決は、多数決に対して 10 ポイント中 7 ポイント、ベストメンバーに対して 10 ポイント中 8 ポイントで成績を上回った。平均・分散がともに低く多数決・ベストメンバーともに成績が相関によって大きく左右されるケースに関して、選抜多数決は相関が極端な値であるケースにおいて多数決・ベストメンバーが叩き出す優れた成績と同等の成績をあげることは困難であるが、相関に対して頑健性を示し、多数決・ベストメンバーに対して比較的安定して優れた成績を収めた。

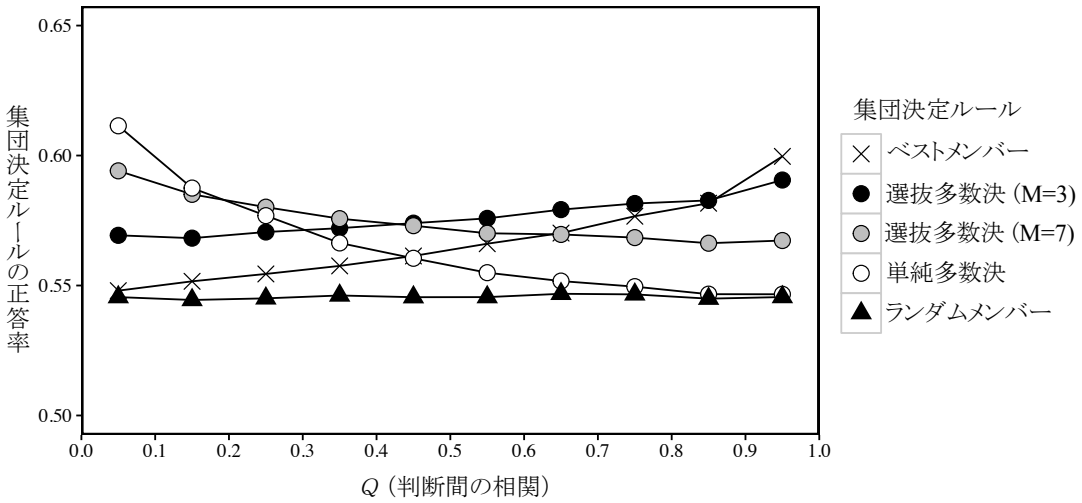


図 5-5.　集団決定ルールの成績（$\mu = 0.55, \sigma = 0.05, N = 11$）

多数決が有利であるケース　多数決がベストメンバーより相対的に有利となるような、平均が高く分散が低い（$\mu = 0.85, \sigma = 0.05$）ケースに関する結果を図 5-6 に示した。このケースにおいて、多数決は相関が 0 から 0.5 にかけて 10 ポイント中 6 ポイントで多数

決がベストメンバーより優れた成績をあげている。選抜多数決の成績はメンバーが 7 名である場合と 3 名である場合においてどちらも相関が下がるにつれて成績が劣化するという点で多数決と似たような挙動を示しているが、相関に対して多数決より安定しており多数決に比べより多くの範囲においてベストメンバーより高い成績をあげた。この結果から、平均が高く分散が低いようなベストメンバーが不利なケースにおいて選抜多数決は多数決のようにベストメンバーより優れた成績をあげるが、多数決よりも相関に対して安定した成績を上げ、より多くの範囲においてベストメンバーより優れた成績を収めることが示された。

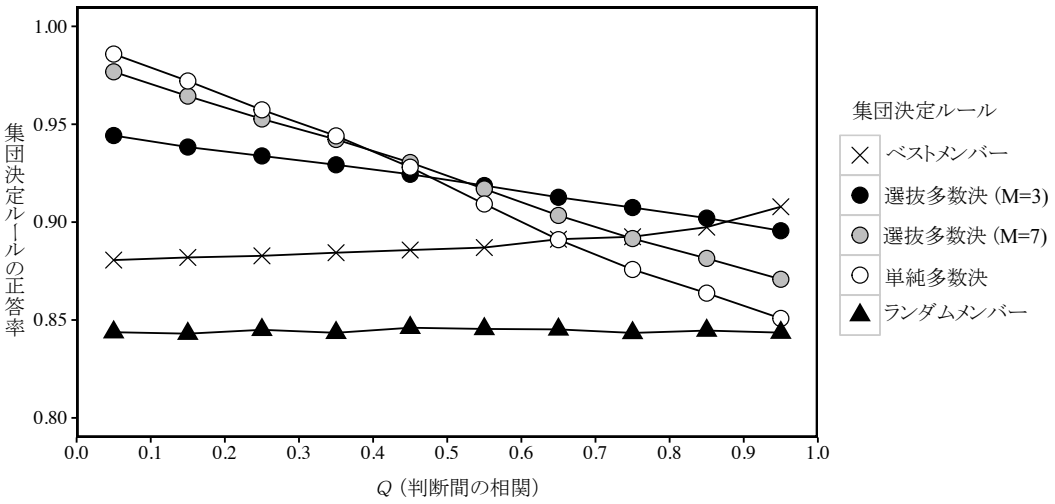


図 5-6.　集団決定ルールの成績（$\mu = 0.85, \sigma = 0.05, N = 11$）

ベストメンバーが有利であるケース　ベストメンバーが多数決より相対的に有利になるような平均が高く分散が低い（$\mu = 055, \sigma = 0.20$）ケースに関する結果を図 5-7 に示した。平均が高く分散が低いケースにおいてベストメンバーは相関に対して安定して高い成績を上げている。一方、多数決は相関の大きさに関わらずどのポイントにおいてもベ

ストメンバーの成績を下回り、さらに相関が高くなるにつれてその成績が劣化している。選抜多数決の成績は多数決と同様に相関によってその成績が劣化するが、相関の大きさに関わらず多数決より優れた成績を上げた。選抜多数決は、7 名が選抜される場合、選抜多数決がベストメンバーの成績を上回るポイントは見られなかったが多数決よりもベストメンバーとの差が縮まる結果となった。また 3 名が選抜される場合、ベストメンバーの差は 7 名の場合よりさらに縮まり相関が低い場合（0 および 0.1）においてベストメンバーの成績を上回る結果となった。これらの結果から、選抜多数決は多数決が持つ相関に対して脆弱であるという弱点を緩和した意思決定ルールであると考えられる。

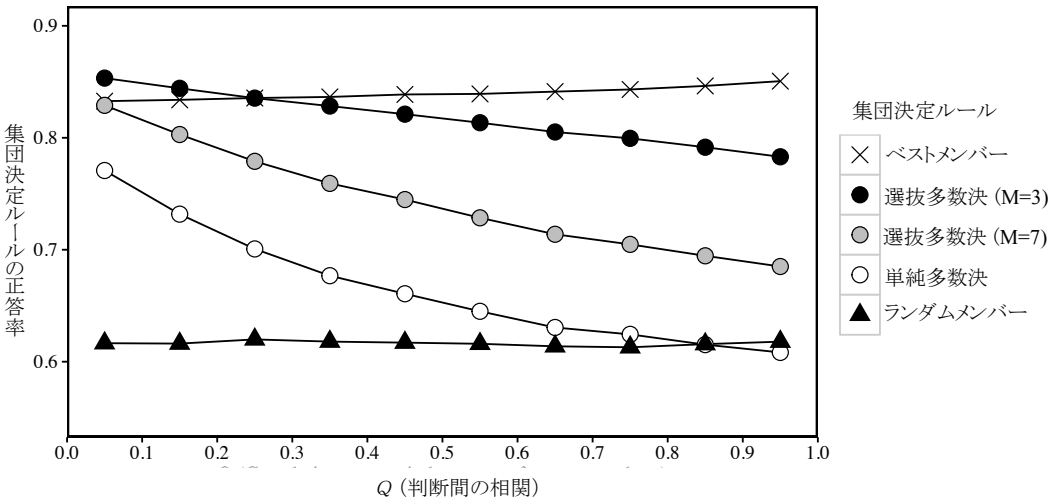


図 5-7.　集団決定ルールの成績（$\mu = 0.55, \sigma = 0.20, N = 11$）

5.2.3　集団サイズが与える影響

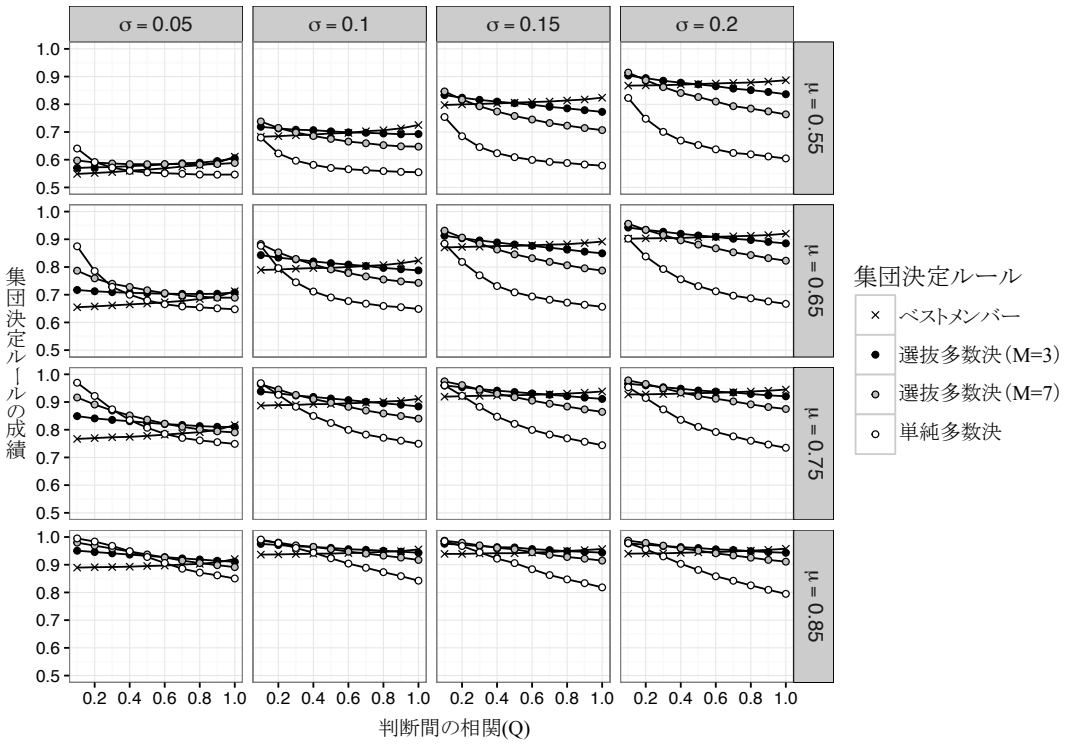
選抜されるメンバーの数を固定した場合　Goodin & Spiekermann (2011) は集団の相関および集団成員の能力分布を考慮しない Grofman の定理に従い、集団サイズが大きいほど単純多数決が選抜多数決より優れることを主張した。この主張性の妥当性を確認するため、選抜されたメンバーの数を固定したまま集団サイズの大きさを変化させた場

合の結果を報告する。図 5-8 に集団サイズを 41 名（図 5-8 A）、101 名（図 5-8 B）に増加させた場合の結果を示した。この結果、確かに Goodin & Spiekermann (2011) が想定した状態に概念的に近い分散が低く($\mu = 0.05$) かつ判断間の相関が無相関に近いケース（$0.0 < Q < 0.1$）において、多数決は選抜多数決より常に優れた成績を上げている。しかし集団の成員の能力に一定の分散（標準偏差）が存在するケース（$\sigma = 0.10, 0.15, 0.20$）において、相関の値が 0.2 を超える辺りから選抜多数決が多数決の成績を上回った。また相関が少しでも生じている（$0.2 \leq Q$）と、多数決の成績は集団サイズが増加することによってむしろ成績が劣化するという結果が得られた。例えば $\mu = 0.55, \sigma = 0.20$ のケースにおいて、$0.2 \leq Q < 0.3$ の場合における単純多数決の成績は、$N = 41$ の場合においては 0.692、$N = 101$ の場合においては 0.680 であり、集団サイズが増加することによって成績が 0.01 低下している。これらの点から、相関や能力の分布を過程した場合、集団のサイズを増加させることによって単純多数決が選抜多数決より優れるとする Goodin & Spiekermann (2011) の主張は判断間の相関が無相関に近くかつ個人の能力分布を仮定しない極僅かなケースに限られた。

また単純多数決は相関の値が 1.0 に接近するにつれ集合知効果による成績の上昇値が小さくなるためベストメンバーに対して大きく劣り、単純多数決とベストメンバーの成績差が 0.1 を超えるケースが生じた。こうしたケースに関して選抜多数決（$M = 3, M = 7$）は単純多数決よりも相関が生じることによる成績の劣化が抑えられており、特に集団サイズが 101 名である場合、単純多数決とベストメンバーの成績差が 0.1 を超えるケースに関してもその成績差が 0.1 以下に収まった。また母集団の集団サイズが増加することによって選抜多数決はベストメンバーよりも相対的に有利になるという結果が得られた。集団サイズが 101 名である場合の選抜多数決は 41 名である場合と比較すると集団

サイズが 101 名である場合においてより相関に対し安定して高い成績を保ち、集団サイズが 101 名においてより広い相関の範囲で選抜多数決がベストメンバーの成績を上回った。これらの結果から、選抜するメンバーの数 (M) を固定し母集団の集団サイズ (N) を大きくすると、選抜多数決は単純多数決のみならずベストメンバーに対しても相対的に有利になることが示された。

A. $N = 41$



B. $N = 101$

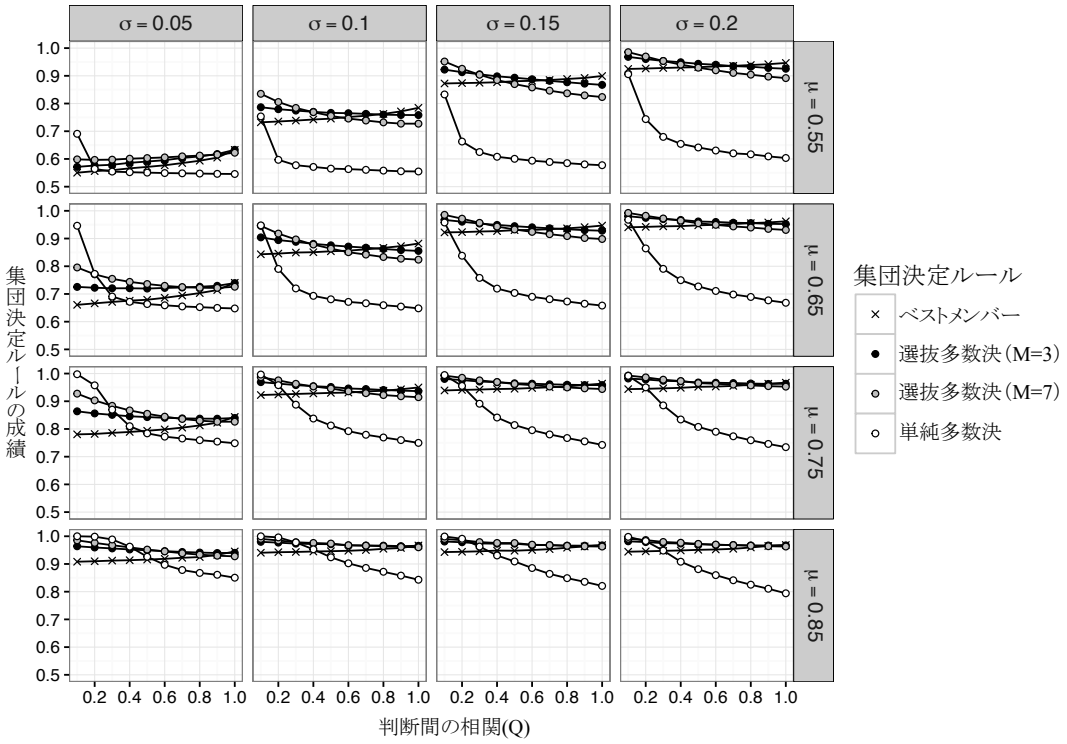
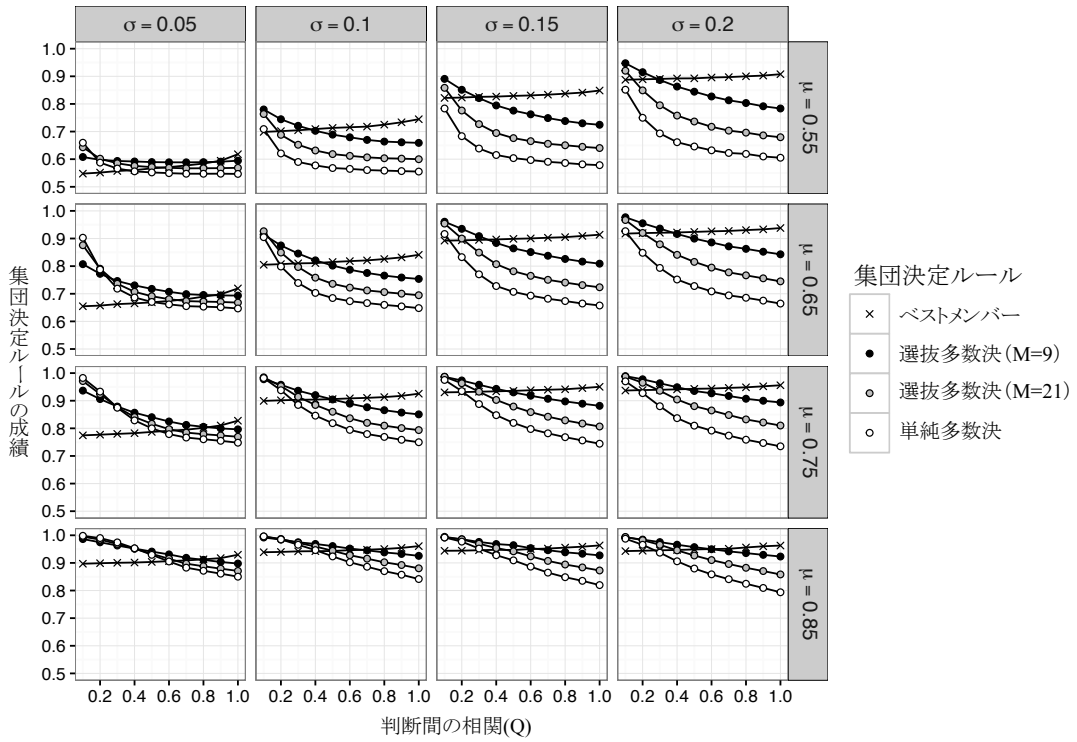


図 5-8.　集団決定ルールの成績　（選抜された人数を固定した場合）

選抜されるメンバーの比率を固定した場合　前節では、選抜されるメンバーの数を固定した状態で集団のサイズを増加させることによって選抜多数決の成績が高まることが示された。では集団のメンバーを固定するのではなく、集団の比率を固定し同様に集団サイズを増やした場合においても選抜多数決の成績を向上するのであろうか。「集団サイズが 11 名であるのに対して 3 名あるいは 7 名選抜する」という比率を固定し、集団サイズを 33 名（選抜されたメンバーの数：27 名、63 名）、99 名（選抜されたメンバーの数：27 名、63 名）に増加させた場合の集団決定ルールの成績を図 5-9 に示した。結果、前節のように「選抜メンバーの数を固定し集団サイズを増加させた場合」には、母集団が大きくなるほど選抜多数決の成績が上昇するという傾向が見られたが、これに対して「比率を固定させ集団サイズを増加させた場合」には、選抜多数決・単純多数決が相関に対してより強い影響を受けてその成績が劣化するという傾向が見られベストメンバーよりも不利になる状況が多く見られた。しかしこうした環境においても選抜多数決は単純多数決と比較すると相関による成績の劣化が抑えられており、多くのケースにおいて選抜多数決は単純多数決よりも優れた成績を上げるという結果が得られた。

A. $N = 33$



B. $N = 99$

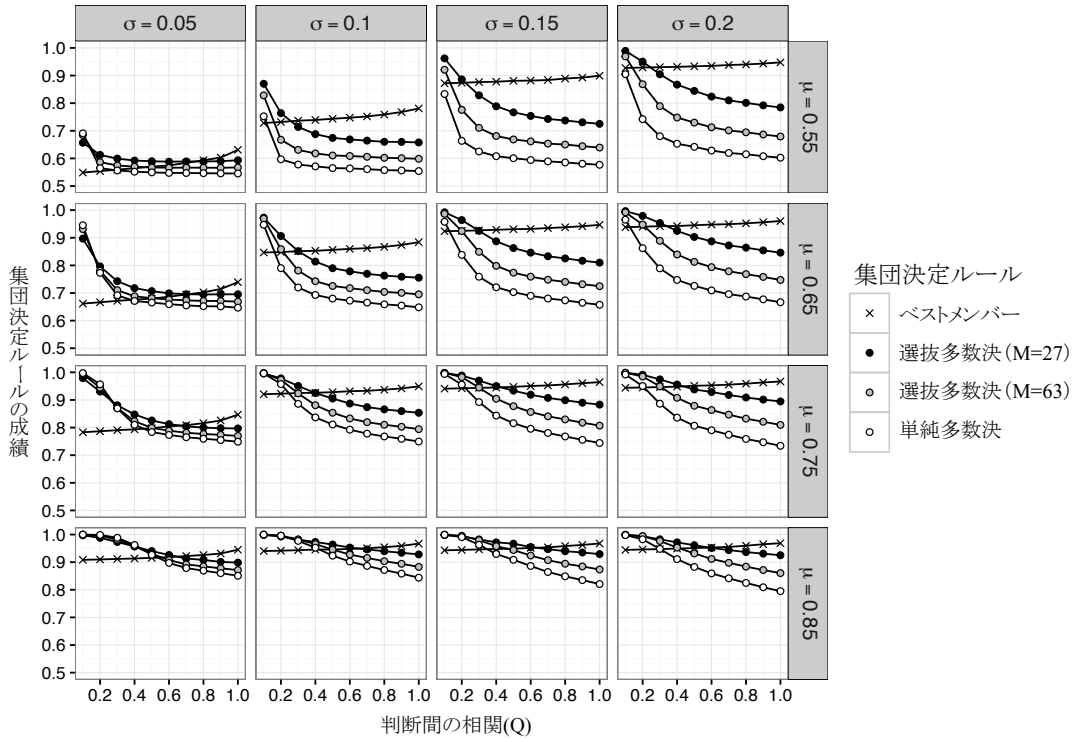


図 5-9.　集団決定ルールの成績　（母集団人数に対して選抜された人数の比率が一定）

5.3 考察

5.3.1　シミュレーションの結果に関する考察

本研究ではメンバーを選抜することによって優れた成績を上げることを主張したフェデラリストの選抜効果に対して、第 3 章で用いたメンバーを選抜する過程を導入し、かつ能力分布と判断間の相関を操作したコンピュータ・シミュレーションによって検討した。その結果、全般的に選抜多数決は単純多数決よりもパラメータに対して安定した優れた成績を上げることを示し、さらには多くのケースにおいて選抜多数決はベストメンバーより優れた成績を示した。選抜多数決は単純多数決がベストメンバーより有利な環境（平均高、分散低）においては単純多数決のような挙動を示して優れた成績を上げ、ベストメンバーが多数決より優れた環境（平均低、分散高）においては、選抜多数決はベストメンバーのような挙動を示して単純多数決より優れた成績をあげた。また単純多数決とベストメンバーが拮抗するような環境においても、選抜多数決は相関の影響に対して安定的な成績を収めること示された。また第 4 章で行った実験データを用いて選抜多数決と単純多数決・ベストメンバーを比較したところ同様に選抜多数決が他の 2 つより安定して優れた成績を収めた（cf. 章末付録 5.A）。

ただし、選抜される人数が多いと（集団全体人数 $N = 99$, 選抜される人数 $M = 33, 66$ である場合）、ベストメンバーが有利になる分散が大きい状況において選抜多数決は単純多数決と同様に相関によって成績が大きく劣化した。選抜多数決は単純多数決よりも高い成績をあげたものの、ベストメンバーよりも相対的に劣るようなケースが数多く見られた。また本シミュレーションでは検討していないが、認知的なコストを鑑みるとこうした選抜するメンバーの人数が多いケースではコストが増大するので（cf. 章末付録

5.B)、選抜するメンバーの人数は絞ることが望ましいと言えるだろう。

Goodin & Spiekermann (2011)との比較　Goodin & Spiekermann (2011) が想定したような環境は、本研究においては個人の能力分布の分散が非常に低く、かつ判断の相関が非常に低いようなケースに相当する。こうしたケースにおいては、Goodin & Spiekermann (2011) が主張するように確かに単純多数決は選抜多数決よりも高い成績をあげている。しかし、ある程度の分散あるいは相関が高まると選抜多数決は単純多数決よりも優れた成績をあげ、この傾向は母集団が大きくなるほど顕著となる。これらの結果に従うのであれば、Goodin & Spiekermann (2011) のフェデラリストによる選抜効果の批判が該当するのは非常に僅かな環境であり、多くの環境においてはフェデラリストが主張するように選抜することによって集団のパフォーマンスが高まることが示された。

5.3.2　なぜ人数が増えると成績が劣化するのか

本研究のシミュレーションにおいて集団サイズが大きくなると、単純多数決の成績は相関が大きいときにその成績が大きく劣化することで選抜多数決よりもパフォーマンスが下回った。しかしなぜ、集合知においては一般的に人数が増加することによってその成績が上昇すると考えられているにも関わらず、多数決では人数が増えることによって成績が劣化するのであろうか。実はこうした相関が存在する際に集団サイズが大きくなるときに多数決の成績が劣化することは、第 1 章で紹介した Owen (1986) や Kao & Couzin (2012) によって指摘されていた。Owen (1986) は個人が他者の判断に同調することによって相関が生じるケース、Kao & Couzin (2012) は判断間の相関が高くなるような手がかりを集団が用いるケースについて理論的に検討し、こうした理由に基づき集団の相関が高まることで人数が増えることにより集団の成績が低下することを指摘した。

本研究のシミュレーションにおける相関は手がかりや他者の同調に基づくものではないが、これらの研究と同様に相関が存在する状況においては人数が増えることで成績が劣化したと考えられる。

Owen (1986) は全ての個人の平均正答率が p であり、個人が確率 α で正答率が p であるリーダーに従い (1 - α) で自らの決定に従うような場合における多数決の正答率を理論的に検討した。図 5-10 は Owen (1986) に従い、個人の平均正答率 p が 0.7 である場合において多数決の正答率（P_N）を計算したものである[67]（このとき集団からランダムに取り出した 2 者間の相関（ファイ係数）は α^2 となる[68,69]）。表から個人の同調率が低い場合においては集団の人数の増加とともに個人の正答率が上昇するが、一方 $\alpha = 0.4$

---

[67] なおこの値は、第 1 章で紹介したような Owen (1986) による近似式を用いず、沢田 (2004) によって紹介されているリーダーが正解である場合の多数決の正答率（P_R）と、リーダーが不正解である場合の多数決の正答率（P_W）をそれぞれ計算し、集団の正答率の期待値を計算したものである（$P_N = p\,P_R + (1 - p)\,P_W$）。

[68] 導出過程に関しては、沢田(2004)が詳しい。

[69] Owen (1986) のモデルにおいて、個人間の相関を算出する場合、ファイ係数ϕは個人の正答率の影響を受けないが（$\phi = \alpha^2$; cf. 沢田, 2004）、ユールの連関係数Qは正答率によって値が変化する（$Q = \frac{-p\,(1-p)+\alpha}{2p(1-p)(\alpha-1)^2-(1-p)}$）。これらは以下の図 5-9 のような関係にある。

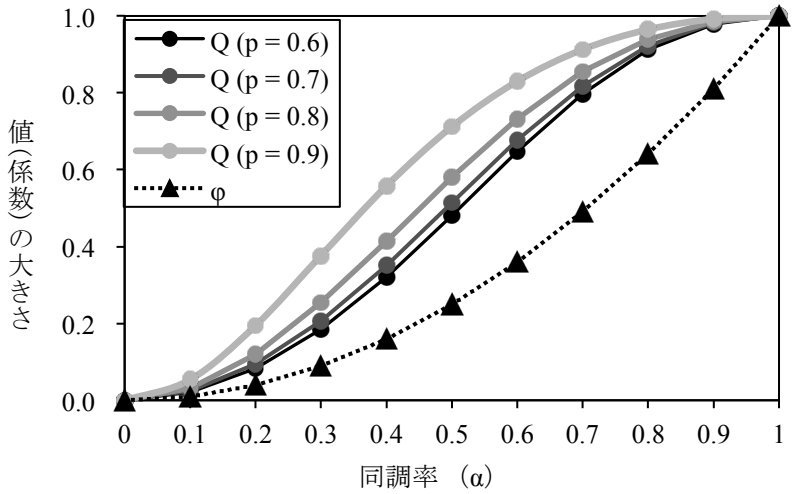


図 5-9. メンバーの同調率と判断間の相関（ファイ係数・ユールの連関係数）

といった同調率がある程度高い値になると人数が増加することで正答率が上昇するが、一定まで上昇すると人数が増加することによって成績が下がり多数決の正答率が個人レベルの平均正答率に近づいていくことが理解できる。本シミュレーションにおいて相関が生じるメカニズムは Owen (1986) とは異なるが、同様に相関がある程度高い場合において人数が上昇したことが理解できる。

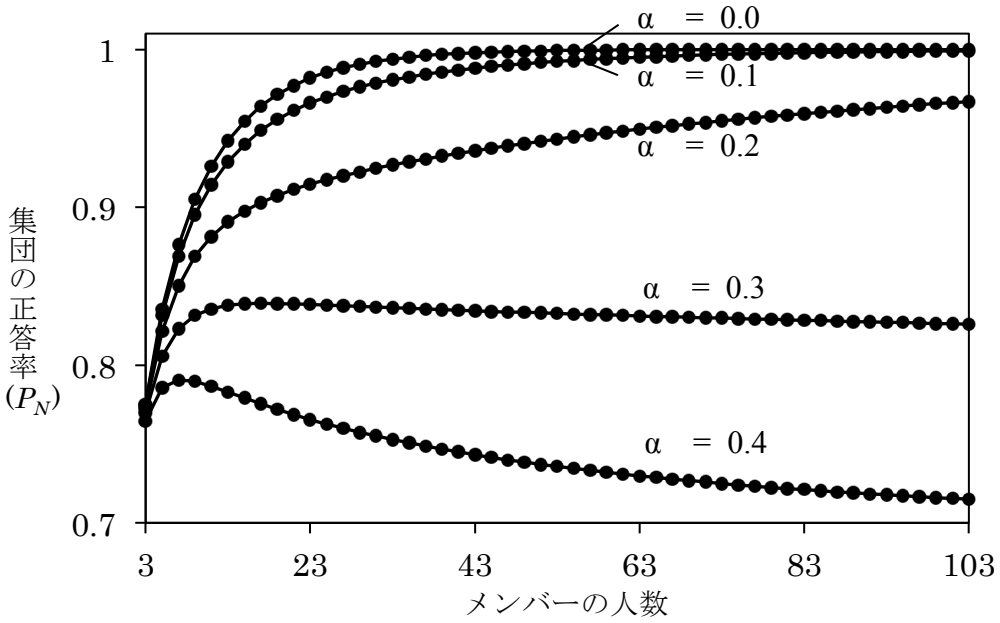


図 5-10. 相関が存在する場合におけるメンバーの人数と集団の正答率の関係

5.3.3 討論効果に関して

Goodin & Spiekermann (2011) はフェデラリストによる選抜効果を否定し、人数を限定することのもう一つの利点としてフェデラリストがあげた討論効果によって選抜された集団がより優れた成績をあげる可能性があることを指摘した。以下では Goodin & Spiekermann (2011) が挙げた討論効果について検討する。彼らは第 1 に討論を行うことによってより優れた手がかりを見つけることで個人の正答率が上昇し、選抜多数決の正

答率が上昇することを主張した。しかしながら、これは第 5 章で示したように個人が共通の手がかりを用いると判断間の相関が上がるために多数決の成績が劣化する場合が考えらえる。もし手がかりの妥当性が高い（例えば 0.80 の確率で正解できる）のであれば集団の多数決の成績は上昇する代償として判断間の相関が上昇することを考慮する必要があるだろう。第 2 に、Condoret の陪審定理は正しく選択肢が定義されている必要があり、これが満たされているとき個人がランダムよりも優れた確率でより優れた選択肢を見出すことができる。Goodin & Spiekermann (2011) は選択肢が正しく定義されてない場合、討論を行うことで選択肢が定義できることを指摘している。この指摘は、理論モデルおよび実証的研究がないため、こうした討論を行うことにより選択肢が正しく定義できることを実証的に検討する必要がある（第 1 章で述べた様に、討論を行うことで必ずしも集団が優れた決定を行うとは限らない; Sunstein & Hastie, 2008）。第 3 に、討論を行うことで複数の理由に基づくような分析的なタスクにおいて理由にもとづくボトム・アップな意思決定ができることを主張している。これに関しては Kameda (1991) が理由にもとづき議論する場合、集団がより満足する結果がなされることや議論することにより集団の合理性が高まることが実証的に示されており、認識論的民主主義が設定するようなパフォーマンスに関するタスクにおいてもより成績があがる可能性がある。しかしながら、討論においてはしばしば個人が手がかりとなる情報を集団で共有できないといった結果や、評判を気にするあまり自らの意見を述べず他者へ迎合することや、しばしば個人の持つ偏見が集団によって増幅されることが社会心理学においては実証的に示されている (Stasser & Titus, 1985; Sunstein, 2002; Myers & Lamm, 1975)。このためこうした討論をすることで集団が優れた選択肢を見出すことができるのかに対して、認識論的民主主義者の立場から支持する主張がある (e.g. Estlund, 1997) が、一方で政治科

学者からこうした討論を行うことで集団が誤ちを犯すようになる (Brennan, 2016) という主張があり、Goodin & Spiekermann (2011) が主張するような討論効果が現実において成立するかは議論の余地がある。

5.3.4 考察のまとめ

本研究においては、コンピュータ・シミュレーションによってフェデラリストが主張するメンバーを選抜することによって集団に成績が上昇するという選抜効果に対して検討した。その結果、選抜多数決は単純多数決よりも広範なパラメータ領域で優れ、また選抜されるメンバーが比較的少数の場合において選抜多数決はベストメンバーよりも優れた成績をあげることを見出した。この結果、選抜効果は十分な論理的な妥当性を持ち、認識論的な観点から代表制を擁護することが可能であることが示唆された。

しかし、選択効果の本質はメンバーの決定を少数に抑えることにあり、これが果たして民主的であるのかは疑問である。特にこの主張はより政治的な知識を持つ人物に投票権を与えるといった知識主義 (Epistocracy; Brennan, 2016)) を肯定する場合においても当てはまる可能性があり、フェデラリストの課題であったように直接民主制に対して代表制を擁護するのに用いることは可能である。そのため、有能な少数の人物の独裁に対して民主主義の擁護に用いることは困難であるかもしれない。

5.A 付録：実験結果に基づく選抜多数決の頑健性の検討

5.A.1 方法と目的

本研究の目的は、Goodin & Spiekermann (2011) が批判した選抜効果に対して、本来のフェデラリストの主張に近いメンバーの分布を仮定しそこからメンバーを選抜するようなシミュレーションを行うことで、選抜されたメンバーの成績が多数決（およびベストメンバー）よりも優れた成績を上げるのか検討することであった。シミュレーションの結果、選抜多数決は選抜されたメンバーの人数がこれまで扱ってきたような比較的小さい集団（N=11）において単純多数決の持つ相関に対して脆弱であるという性質を和らげる決定ルールであり、かつベストメンバーが不利になる分散が低い状況においても優れた成績を示す決定ルールであることを示した。また選抜されたメンバーの人数を固定した状態で集団サイズを増やした場合においても選抜多数決は単純多数決より優れた成績を示し、またベストメンバーに対しても相対的に有利になることを示した。

以下では、現実的な環境においても選抜多数決が優れた成績を上げることができることを第 4 章で扱った実験データを再分析することにより検討する。分析では第 2 章から 4 章にかけて扱った集団サイズ（N = 11）に加え、集団サイズが比較的大きい場合を検討する。集団サイズに関しては、知識型判断課題においては欠損値の関係から最大の奇数である 47、多属性型選択課題においては最大の数である 50 を用いる。

また第 5 章と同様に、過去のメンバーからベストメンバーを選抜する過程は知識型判断課題と多属性型選択課題で相違点が存在する。知識型判断課題では問題を解く順序が本質的な影響を持たないため学習セットを選択する場合に全体からランダムに学習セ

ットを選択したが、多属性型選択課題では特に順序が重要となる条件があるため時系列に学習セットを選択した。

5.A.2 知識型判断課題

知識型判断課題の結果を表 5A-1 に示した。シミュレーションにおいて全体を通して高い成績を上げた 7 名（$M = 7$）による選抜多数決に着目する。選抜多数決（$M = 7$）は、集団サイズが $N = 11$ の場合において、単純多数決がベストメンバーよりそれぞれ 0.04 ポイント上回っている音楽・俳優・元素課題において、選抜多数決は音楽・映画課題では単純多数決と同程度（差が 0.01 ポイント以下）であり、また元素条件では単純多数決の成績を 0.03 ポイント上回った。単純多数決とベストメンバーの成績が同程度（差が 0.01 ポイント以下）である映画課題において、選抜多数決もこれら 2 つの決定ルールと同程度の成績を上げた（差が 0.01 ポイント以下）。ベストメンバーが優れた成績を上げている声優課題において選抜多数決の成績はベストメンバーの成績を下回っていたものの、単純多数決とベストメンバーとの差よりも小さく収まった（単純多数決とベストメンバーが 0.08 ポイント,選抜多数決とベストメンバーが 0.04 ポイント）。これらの点から、集団サイズが 11 名の場合、7 名による選抜多数決は単純多数決とベストメンバーの成績の間の成績を収めるか、単純多数決・ベストメンバーの成績を上回ることが見出された。

この傾向は集団サイズが増加した場合においても同様であり、集団サイズが 31 名あるいは 47 名のケースにおいても 7 名による選抜多数決の成績は単純多数決・ベストメンバーの間に位置するか、あるいはそのどちらか優れる方の成績を上回った。また、選

抜するメンバーの数を11名に増やした場合でも集団サイズが47名のケースにおいて同様の傾向があることが確認できる。

表 5A-1. 知識型選択課題における集団決定ルールの成績

	ベストメンバー	選抜多数決（7 名）	選抜多数決（11 名）	単純多数決
N=11				
音楽	0.597	0.640		0.638
映画	0.595	0.595		0.598
俳優	0.526	0.565		0.567
元素	0.657	0.696		0.667
声優	0.697	0.627		0.616
N=47				
音楽	0.590	0.635	0.652	0.675
映画	0.627	0.591	0.591	0.575
俳優	0.520	0.556	0.574	0.578
元素	0.652	0.696	0.699	0.650
声優	0.839	0.823	0.792	0.696

5.A.3 多属性型選択課題

多属性型選択課題の結果を表 5A-2 に示した。集団サイズが 11 名の場合に着目する。単純多数決がベストメンバーより有利な場合において、単純多数決の成績は単純多数決と同等（バレーボール課題フィードバックあり条件およびバレーボール課題フィードバックあり条件において正答率の差がともに 0.01 未満）か、単純多数決の成績を上回った（バレーボール課題フィードバックなし条件において選抜多数決が 0.01 上回った）。ベストメンバーが単純多数決の成績より有利な場合においても、選抜多数決はベストメンバーより優れた成績を上げるか（サッカー課題フィードバックあり条件において選抜多数決がベストメンバーの成績を 0.01 上回った）、ベストメンバーより劣っていたとしても単純多数決の成績を下回ることはなかった。また集団サイズが大きいケースとして 49 名の場合に着目すると、集団サイズが増えることで他の決定ルールと比較した際の選抜多数決の優位性がより顕著となる。7 名による選抜多数決を他の決定ルール（単純

多数決・ベストメンバー）が上回ったのはサッカー課題のフィードバックなし条件のみであり、その他の課題において選抜多数決は優れた成績をあげた。選抜されたメンバーが 11 名の場合は 6 つのデータセットのうち 4 つのデータセットにおいて最も高い成績を上げ、また他の決定ルールより成績が下回っているケースにおいてもその差が 0.01 以下に収まっており、安定して高い成績を上げていることが示された。

表 5A-2. 他属性型選択課題における集団決定ルールの成績

	フィードバック	ベストメンバー	選抜多数決（7 名）	選抜多数決（11 名）	単純多数決
N = 11					
サッカー課題	あり	0.646	0.653		0.632
	なし	0.648	0.590		0.565
バレー課題	あり	0.918	0.961		0.961
	なし	0.918	0.953		0.945
自殺率課題	あり	0.584	0.592		0.593
	なし	0.516	0.469		0.468
N = 49					
サッカー課題	あり	0.593	0.747	0.723	0.697
	なし	0.696	0.646	0.642	0.579
バレー課題	あり	0.906	0.963	0.963	0.963
	なし	0.927	0.963	0.963	0.963
自殺率課題	あり	0.641	0.650	0.602	0.635
	なし	0.479	0.536	0.535	0.478

5.B. 付録：集団決定ルールの認知的コスト

5.B.1 情報量の算出

本稿では集団意思決定ルールの結果のみに着目したが、実際に集団意思決定を行う際には票を集計するあるいは過去のメンバーの履歴を調べるといった労力がかかる。こうした労力は最適なメンバーの数を考える上で重要な要素となるだろう。Hastie & Kameda (2005) では、こうした労力に関して個人の認知的労力・社会的労力の 2 段階から議論しており、多数決に関しては個人的労力・社会的労力が低いが、ベストメンバーに関しては個人的労力が高く・社会的労力が低いとしており、多数決に要する労力が少ないことが記述されている。ただし、Hastie & Kameda (2005) はこうした労力の差がなぜ生じるのか示していない。そのため本稿では、名義集団分析において用いたアルゴリズムが参照した情報量あるいは記憶する情報量を意思決定の簡便さと定義し (frugality; Martignon & Laskey, 1999) 比較する。この情報量は現実に置き換えるならば、意思決定を行った人物の判断を記録する回数と考えることができる。

参照する情報量　学習セットにおいて多数決が参照する情報は一切存在しないが、（推測された）ベストメンバールールを用いる場合、集団の人数が N、学習セットにおける試行数を T_L とすると、ベストメンバーを特定するために集団全員の学習セット全試行の情報を参照する必要があるため参照すべき情報量は NT_L である。一方でテストセットにおいては、多数決は 1 回の意思決定において集団全員の決定を参照する必要があるので必要な情報量は N となるがベストメンバールールの場合は特定の個人のみの情報が必要となるので必要な情報量は 1 である。テスト試行の試行数を T_T とすると、テスト試行全体において多数決が必要な情報は NT_L であるがベストメンバーに必要な情

報量は T_T である（cf. 表 5B-1）。

表 5B-1. 集団決定ルールの認知的コスト

	学習セット（T_L）	テストセット（T_T）	全体（T_L+T_T）
ランダムメンバー	0	T_T	T_T
単純多数決	0	NT_L	NT_L
ベストメンバー	NT_L	T_L	$(N+1)T_L$
選抜多数決	NT_L	MT_L	$(N+M)\ T_L$

学習セットとテストセットが同じ試行数 T（$T_L=T_T$）であると考えた場合、トータルでの情報量は多数決で NT、ベストメンバーが$(N+1)T$ であり多数決の方が簡便な方略であるが、比率的には $N : N+1$ となるために非常に大きな差であるとは考えにくい。また学習セットとテストセットの割合に依存するため、一概に評価することは困難である。

ただし、ベストメンバールールに関しては、学習セットの試行が増えるほどテストセットの成績が良くなるという関係が一部のデータからは見られるので、パフォーマンスと簡便さのトレードオフが生じているとも解釈できる。換言するならば、ベストメンバーを多数決と比較すると、情報量が増えれば簡便さという観点からいえばベストメンバーは不利となるが正答率の観点からいえば有利になるだろう。そのため、正答率・簡便さという両方の観点から考えれば、単純に学習セットが長くベストメンバーが優れると主張するのは困難である。

5.B.2 ヒューリスティック的処理による情報量の削減

集団意思決定アルゴリズムにおいて、記憶すべき意思決定情報という観点からすると誰がベストメンバーか選択する際に過去の情報がすべて必要となるので最大で NT_L と

いう情報を保管する必要がある。一方、多数決は一回の意思決定に必要な情報量 N が最大で必要な情報量となる。この観点からすると、ベストメンバーは多数決に比べ T_L 倍の情報量が必要となるため記憶量としては大きな差が生じることになる。

さらにベストメンバーに関しては誰が正解したかが重要であるため各意思決定を個体に紐付ける必要性が生じるが、一方で多数決に関しては個体識別が必要なくなるため記憶する情報量としてはさらに有利になると考えられるだろう。

こうした参照する情報量・記憶する情報量に関するコストを考える場合、一人の一回の意思決定に関する情報を入手するコスト・情報を記憶するコストが正しく判断することによって得られる利益に対してどの程度の大きさか考える必要がある。もし利益に対するコストがあまりにも大きいのであれば、ランダムメンバー戦略を用いる方が望ましい環境も存在するかもしれない。

ただし、現実において人々はこれらの情報をシミュレーションで用いたよりも簡便なヒューリスティック[70]を用いている可能性が存在している。多数決で必要な情報の参照量に関して例をあげるのであれば、学会の総会である決議に対して決定する際に賛成者が拍手しその拍手の大きさに基づき決定する場合や、また挙手によって多数決をとる場合も明らかに比率が偏っている場合には全員の情報を記録せずに判断することが可能である。実際に動物における多数決と呼べるような意思決定は、第 3 者が票を数えるのではなくヒューリスティック的な情報処理が用いられていることが示唆されている (Conradt & Roper, 2003)。ただし、政治科学の文脈においては、こうしたヒューリスティック処理は学会においての総会においては用いられているが現実の選挙において用いることは公平性の観点から強い反発を受けることが予測されるであろう。

---

70 ヒューリスティックとは人々が日常場面において直感的に用いる判断方略である

またメンバーを選抜する場合に関しても過去高い精度で決定を行った人物が高い評判を得る、あるいは専門家として認識されているのであれば、そうした評判や社会的地位に基づいて判断する場合に高い確率で有能な人物を選抜できベストメンバーあるいは選抜多数決と同等の高い成績をあげられると考えられる。実際に、人々は社会的なステータスが高い人物の行動を模倣する傾向や教えを仰ぐ傾向がある (prestige bias; Henrich & Gil-White, 2001; Hewlett & Cavalli-Sforza, 1986)。もし名声と能力が相関しているのであるのであれば、名声のある人物を選ぶことで、優れた人物を選抜できる。ただし、現実においては能力に関わらず偶然によってたまたま成功した人物が高い評価を得るといったケースが存在しており(Denrell & Liu, 2012)、その人物の評判と実際の能力にどの程度相関があるかは明らかとなっていため検証の必要性がある。

過去の成績や評判が分からなくても、経験に応じてメンバーを選抜する方法が考えられる。この方法は経験と能力に相関が存在するのであれば有効であると言えるだろう。実際、動物において多数決を用いる場合、単純多数決ではなく成熟個体 (adult) のみが多数決によって決定していることが知られており（e.g. ゴリラ, レッドディア ; for review Conradt & Roper, 2003）、こうした経験のある個体のみに決定を委ねるのは適応的である場面が多く存在すると考えられる。

第　6　章

総合考察

6.1　多数決の頑健性と認識論的民主主義

6.1.1 本稿のサマリーと認識論的民主主義に対するインプリケーション

第 1 章では、本稿のテーマに関する次の 3 点について論じた。第 1 に、本稿が焦点を当てる認識論的民主主義というアプローチについて説明を行った。このアプローチは民主的な決定ルールである多数決が他の決定ルールよりも優れるという観点から多数決を正当化するものであり、集合知をその理論的根拠として用いていることを確認した。第 2 に、認識論的民主主義が論拠とする集合知の発生メカニズムを理論モデルによって説明し、集合知は多数決がベストメンバーより頑健に優れることを保障するものではないことを指摘した。第 3 に、集合知が個人の能力分布と判断間の相関によって大きく影響を受けることを指摘し、個人の能力分布と判断間の相関を考慮することの重要性を指摘した。第 2 章から第 4 章では、個人の能力分布・判断間の相関という集合知に大きな影響を与える 2 つの要因を考慮したうえで、理論研究・実証研究を通じて多数決とベストメンバーの成績を比較した。

第 2 章では、個人の能力分布・個人の判断間の相関が多数決とベストメンバーの成績に大きな影響を与えることを示すために、多数決がベストメンバーより優れることを示した Hastie & Kameda (2005) のシミュレーション研究に着目した。そして彼らの枠組みに則り、個人の能力分布と判断の相関を操作することでベストメンバーが優れるような状況が存在するのか検討した。Hastie & Kameda (2005) におけるコンピュータ・シミュレーションは意思決定を行うエージェントとそうしたエージェントが決定を行う環境を相互にモデル化し、環境に対してエージェントが意思決定を行う過程で能力の分散や判断間の相関が生じる設定になっていた。彼らのシミュレーションではエージェントが

環境から情報を入手する際に知覚エラーというパラメータが導入されており、このパラメータが個人の能力の分散や判断間の相関を生み出す要因となっていた。第 2 章では、この知覚エラーをシステマティックに変化させることで間接的に個人の能力分布と判断間の相関を操作した。この結果、パラメータによってはベストメンバーが多数決よりも優れた成績を上げることを示した。この結果は、多数決がベストメンバーより頑健に優れた成績をあげるか否かは、個人の能力分布と判断間の相関に大きく依存することを示すものである。しかし、第 2 章で用いたシミュレーションの枠組みでは個人の能力分布（平均・分散）と相関を間接的にしか操作できず、平均・分散・相関が連動して変化していた。このため、これらの要因がどのように多数決やベストメンバーの成績に影響を与えるのかについては検討できなかった。そのため、第 3 章ではこれらを直接操作可能なシミュレーションをデザインした。

第 3 章では、第 2 章で行ったシミュレーションにおいて間接的にしか操作できなかった個人の能力分布（平均・分散）および判断間の相関を直接操作するようなシミュレーションを行い、平均・分散・相関の 3 つの要因によって描かれるパラメータ空間において、多数決がベストメンバーよりも優れるような領域を検討した。また、第 3 章で行ったシミュレーションにおいては、ベストメンバーの新たな定義を導入した。これまで先行研究においては、誰が最も高い成績をあげるのかを集団が確実に推測できるという前提を置いていた。しかしこの前提は非現実的であるため、第 3 章からは過去の成績からベストメンバーを推測するような場合についても検討した。その結果、多数決が真のベストメンバーよりも優れる領域は、相関が低く、平均的能力が高く、分散が低いといった条件がすべて満たされる限定的な状況であることが示された。また、ベストメンバーを推測するような場面においては多数決が優れる領域が増加するものの、相関が低く、

平均的能力が高く、分散が低いという条件のいずれかが満たされない（特に分散が大きい場合あるいは相関が高い場合）場合においては、推測されたベストメンバーが依然として有利であることが見出された。こうした多数決がベストメンバーよりも優れるような状況はどの程度存在するのだろうか。第 4 章では、シミュレーションによって発生していたデータを現実の人間の意思決定データに置き換えるために実証研究を行った。

第 4 章では、実験によって実際の人々の意思決定データを収集し、これらを用いて多数決とベストメンバーの成績を比較した。それにより、現実に生じる個人の能力分布・判断間の相関のもとで、多数決はベストメンバーよりどの程度優れるのか検討した。実験は、集合知に関する意思決定研究で用いられている 2 つの課題を行った。2 つの課題はそれぞれ、現実の知識を判断するような知識型選択課題、および与えられた複数の情報に基づき決定を行う多属性型選択課題であった。実験の結果、知識型選択課題・多属性型選択課題の課題群すべてにおいて、真のベストメンバーが多数決の成績を上回った。しかし、過去の成績からベストメンバーを推測する場合、推測されたベストメンバーと多数決は同党のパフォーマンスを上げた。この結果に基づけば、多数決は推測されたベストメンバーに大きく劣るものではないが、推測されたベストメンバーよりも頑健に優れた成績をあげるものでもないことが示唆された。

第 2 章から第 4 章までの研究の結果、多数決がベストメンバーより頑健に優れた成績をあげるという結果は得られなかった。多数決が集団の真のベストメンバーよりも優れるという状況は非常に限定的である。またその成績は、推測されたベストメンバーに対しては大きく劣りはしないものの、頑健に優れた成績をあげるものではないことが示された。では、集団がベストメンバーよりも優れた成績をあげることは困難なのだろうか。第 4 章までは多数決として単純多数決のみを検討していてが、メンバーの中から優れた

人物を選抜し、選抜されたメンバーによって多数決を行う選抜多数決も一種の多数決であると見做すことができる。こうした何名かの人物を選抜することで、集団全員が決定に参与する場合よりも優れた成績をあげるという観点から代表制（間接民主主義）を擁護する「選抜効果」と呼ばれる議論が、フェデラリストによって主張されている (Vermeule, 2009)。第 5 章では、この選抜効果の妥当性について検討した。

第 5 章では、第 4 章までの知見をもとに代表制に関する認識論的な議論である選抜効果の理論的妥当性について検討した。これまで認識論的民主主義がその理論的な枠組みとして用いてきた Condorcet の陪審定理は、全員が決定に参与する直接民主主義に関する理論モデルであった (Grofman & Feld, 1988)。一方で、現代において多くの国家で採用されているのは代表制（間接民主主義）である。代表制は決定に参与する人数を減らすため、集合知の観点から考えるのであれば集団としての成績が低下することが予測される。このため、認識論的な観点から集合知に基づき代表制を擁護するのは困難である。この点は、Goodin & Spiekermann (2011) が理論的に検討しており、彼らは Condorcet の陪審定理を応用した理論モデルに基づき、選抜により人数が減ることで多数決の成績が劣化するという観点から選抜効果を批判した。

しかし、フェデラリストの主張は能力に分散が生じるような状況において、優れた人物を選抜することにその本質がある。しかし Goodin & Spiekermann (2011) はこうしたメンバーの能力の分散については考慮していなかった。そのため、第 6 章では第 3 章で行った、相関・平均・分散を直接操作するシミュレーションによって選抜多数決が優れた成績を上げるのかを検討した。その結果、過去の成績に基づき優れたメンバーを選抜する選抜多数決は、単純多数決よりも全般的に高い成績をあげることが見出された。また、選抜多数決は比較的メンバーの数が少ない場合においては、選抜されたベストメン

バーよりも優れた成績をあげる環境が多く示された。この点に基づけば、フェデラリストによる選抜効果は認識論的な観点から鑑みて十分に妥当性を持つことが示唆された。

認識論的民主主義はベストメンバーに対して多数決を擁護できるのか　前節で述べたように、コンピュータ・シミュレーションおよび実験データの分析といった行動科学的アプローチに基づき、現実的な環境において多数決が有能な人物による独裁的な決定よりも優れるのかを検討した。その結果、民主的な決定である多数決が集団で最も有能なメンバーよりも優れることは非常に困難であり、かつ推測されたベストメンバーよりも頑健に優れた成績をあげるものではないことが示された。この点に基づけば、集合知により多数決が他の決定ルールよりも優れるという認識論的民主主義の前提をパフォーマンスの観点から擁護することは困難であると言えるだろう[71]。

ただし、選ばれた代表が多数決を行うような選抜多数決は選抜されたベストメンバーより優れた成績を頑健にあげることが第 5 章で示された。この結果を、フェデラリストらが主張するように、代表制（間接民主主義）を擁護する議論であると捉えるのであれば、認識論的民主主義（認識論的間接民主主義）は理論的妥当性を持つという解釈ができる。ただし第 5 章で述べたように、フェデラリストらが主張する選抜効果は能力が優れたものに決定を限定させることで集団が優れた成績をあげるという現象である。そのためこの結果は、解釈によってはより優れた判断を行う者に多くの投票権を与えるべきであると主張するような非民主的な決定（知識主義; Brennan, 2016）の理論的な論拠として用いられる可能性が存在する。そのためこの結果をもって、民主主義を擁護することができるのかについては疑問が残る。知識主義を標榜する Brennan (2016) はその著書

[71] 積極的に擁護できないものの誰がベストメンバーか分からない現実においては多数決と推測されたベストメンバーは同等の成績をあげるため、パフォーマンスという観点は多数決の正当性を批判するものでもないことが示唆された。

のタイトルを「民主主義に反対する(Against Democracy)」としたように、民主主義を否定する立場を展開しており、この点を考慮するのであれば選抜多数決が優れた成績をあげるという結果は解釈次第では民主主義の批判につながりかねない。それゆえに、この結果が、認識論的民主主義を純粋に擁護するものであると解釈するのは困難であろう。

6.1.2 認識論的民主主義の展望

本稿の結果に基づけば、集団で最も優れた人物あるいは優れていると推測される人物よりも多数決が頑健に上回ることはないため、集合知のみに基づき認識論的民主主義を擁護することは困難であることが示された。これは、Condorcet の陪審定理を含む集合知をその理論的根拠とする認識論的民主主義を批判するものである。

しかし、本稿の目的は集合知という現象に基づきナイーブに凡庸な多数が優れた少数の個人よりも優れるという前提を置くことを批判するものであり、決定のパフォーマンスに着目する認識論的なアプローチ自体を批判することを目的とするものではない。これまで政治科学においては多数決を個人の選好を集約するメカニズムとして捉え、その手続きの合理性や公正性に着目していたが（cf. Riker, 1982)、認識論的民主主義者は、心理学や生物学が集団決定ルールの評価軸として用いるパフォーマンスという概念を政治科学に再導入し、歴史的に行われてきたパフォーマンスに基づき政治形態を論ずるアプローチ（cf. 第 1 章 1-A）を復権したことは評価されるべきであろう。特にパフォーマンスという評価軸は、政治科学と他の社会科学や自然科学との間に共通の枠組みを導入した革新的なアプローチであるといえるだろう

特に、近年生物学においては、手続的民主主義者が扱っていた「選好が異なる個人の間で存在する対立する利害」という側面と認識論的民主主義者が扱ってきた「集合知」

という側面を共通の枠組みで捉える理論モデルが構築されている（Conradt, 2013; Conradt, List & Roper, 2013）。こうした研究群の中には生物学者と政治科学の共同研究が含まれている（Conradt et al., 2013）。これらの研究では、利害の対立という問題を選好の集約として手続き的に議論するのではなく、利害の対立によって多数決がどのようなパフォーマンスを生み出すのかを考察することで、利害の対立と集合知という 2 つを同時に捉えている。Conradt et al. (2013) のモデルに基づけば、集団が多数決で決定を行う際に利害の対立が存在し、その対立が小さい場合には、対立が存在しない場合よりも多数決の結果より集団にとって優れた決定が可能である（共益となる選択肢を選択できる）。

次節では、こうした利害の対立と集合知を同時に捉えるモデルを紹介することで、認識論的民主主義に新たな発展の余地があることを示したい。以下では、このモデルの説明にするために、生物学における集団意思決定の枠組みについて述べたのちに、利害の対立と集合知を同時に取り扱うモデルの詳細について説明したい。

6.2　生物学における集団意思決定：利害の対立を含めた理論的枠組

6.2.1　はじめに

本節では、生物学における利害の対立と集合知という 2 つの要素を同時に捉えるような理論的枠組みを説明したい。この理論的枠組みを紹介する前に、以下では次のことについて論じる。第 1 に人間のみならず動物の意思決定においても、集合知や利害の対立という問題があてはまることを説明する。第 2 に、生物学において多数決における利害の対立という問題がどのように捉えられるのか検討する。なお、集合知に関しては生物学においても Condorcet の陪審定理が用いられているため（Conradt & List, 2009; Sumpter

& Pratt, 2009; Wolf et al., 2013)、集合知に関する動物の理論モデルは割愛する。第 3 に、利害の対立と集合知を同時に扱う理論モデルについて紹介する。そして最後に、動物における理論モデルが人間に当てはまるのか、行動科学における実証研究を踏まえて議論する。

6.2.2　動物における集団意思決定と集合知

集団で意思決定を行うのは人間のみならず、動物においても（社会性昆虫・鳥類・魚類・霊長類・反芻類など）自然界で広範に観察されており、人間（ヒト）と動物において共通に存在する選好の対立（e.g. 雌雄差による移動タイミングの違い）や集合知（e.g. 目的地への飛行ルートを多数決によって判断する）といった現象を共通の枠組みで理解できることが指摘されている（Conradt & List, 2009; Kameda, Wisdom, Toyokawa & Inukai, 2012; Krause, Ruxton, & Krause, 2010; Sueur, 2012; 豊川・亀田, 2013; van den Bos, Jolles & Homberg, 2013）。本稿で用いた Condorcet の陪審定理は、動物における集団意思決定にも当てはまることが指摘されており（Conradt & List, 2009; Sumpter & Pratt, 2009; Wolf et al., 2013）、複数の餌場（パッチ）より多くの食料が得られる餌場（パッチ）を選択する場合や、目的地へ移動する際に集団で決定を行うことで集団に属する個体にとってより高い利益をもたらすことが見出されている (Bonabeu, Dorigo & Theraulaz, 1999; Couzin, 2009; Dall, Giraldeau, Olson, Stephan, McNamara & Stephan,2005; Sasaki, Granovskiy, Mann, Sumpter & Pratt, 2013; Simon, 2004; Seeley, 2010; Wolf et al., 2013)。第 1 章で指摘したように、集合知効果が統計的メカニズムであることを考えれば、個体の情報を集約することで統計的な観点からパフォーマンスが向上するという現象が種を超えて生じることは何ら不思議ではない（無生物である多数決回路に関しても同様である）。Conradt et al.

(2013) はこうした集合知の枠組みに利害の対立が含まれるような枠組みを構築した。次節では、この 2 つを同時に扱うモデル (Conradt et al., 2013) を紹介する前に、集団意思決定における利害の対立が生物学でどのように扱われているのかを説明する。

6.2.3 利害の異なる個体による群れ：生物学における理論モデル

利害が対立する個体の意思決定 Conradt & Roper (2005) は、利害が対立する集団において民主的決定（多数決によって集団に決定を共有する）と独裁的決定に関して理論モデルに基づき検討した (cf. Conradt, 2013)。以下では、このモデルに関して、図 6-1 を用いて説明を行う[72]。Conradt & Roper (2005) は集団でとある行動（採餌・移動）を開始し、集団がどの時点（タイミング）で行動を停止するのか決定する場面をモデルで検討した。集団の個体は $t = 0$ に行動を開始し、集団に属する個人 i にはそれぞれ最適な行動停止時点が存在している (t_i)。このときに、集団が独裁的な決定および民主的な決定[73]をする場合を考慮する。集団に属する支配的な立場にある独裁者が、集団に属する他個体の判断を共有せず独裁的に判断を行った場合、集団は独裁者にとって最適な時点である t_{dictator} で行動を停止する。集団がより民主的に決定を行う場合、集団の半数以上が行動を停止するときに集団が行動を停止するため、集団の停止する時点は $t_{(n+1)/2}$ で

[72] 以下では、Conradt & Roper (2005) を簡略化して説明を行った Conradt (2013) に従って説明を行う。

[73] ここで例として、牛が集団で移動する場合をとりあげる。草を食べるために寝そべっている牛の群れがいるとしよう。このとき群れに属する個体はそれぞれ食事が済み、移動したい時点（最適時点）に立ちあがるとする。こうして順々に立ちあがっていき、半数を超えた時点で群れが移動するとき、集団の過半数（半数+1 頭）は移動に対して賛成しているため、多数決によって決定がなされているといえるだろう（ただし、ここでいう多数決とは半数+1 頭に基づく決定であるため、過半数以上が賛成する場合の全てを含む多数決とは厳密な意味では区別される）。

ある。

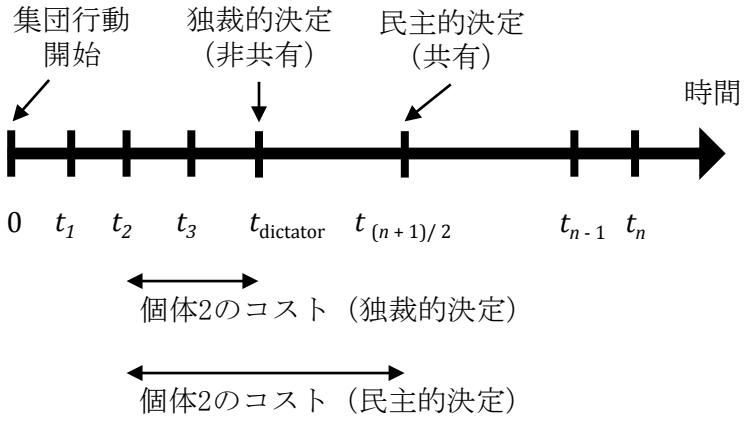


図 6-1. 集団決定と個体のコスト Conradt & Roper (2003) および Conradt (2012) の図を一部著者により改変して掲載。

このとき、集団の決定に対して個人が同意するときに生じる同意コスト (consensus cost)[74] が、「個人の最適な停止時点」と「集団決定によって定められた停止時点」との距離に応じて生じる。例えば集団が独裁的決定を行った場合の個体 *2* の同意コストは $f(t_{\text{dictator}} - t_2)$となり、集団が民主的決定を行った場合の個体 *2* の同意コストは $f(t_{(n+1)/2} - t_2)$である（ただし、$f(\Delta t)$ は、個体の最適な時点と集団の決定時点との差異（Δt）に応じて発生するコストを示す[75]）。

このとき（集団からランダムに選ばれたメンバーが）独裁的な決定に基づき意思決定を行う場合の集団のコスト（集団に属する個人が支払う同意コストの総和）の期待値は

$$costs_{\text{dictator decision}} = \frac{1}{n} \sum_{\text{dictator}=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} f(t_{\text{dictator}} - t_i)$$

74 あるいは、集団が同期して移動するためのコスト（synchronization cost）と表現できる。
75 同意コストに関しては、ある個体にとって早すぎる時点も遅すぎる時点も同様に扱うような、コストが対称的に生じる設定を行っている。

として表現される。

一方で、多数決に関しては以下のように表現される。

$$costs_{\text{democratic decision}} = \sum_{i=1}^{n} f\left(t_{(n+1)/2} - t_i\right)$$

Conradt & Roper (2003) は、このモデルによって民主的な決定が独裁的な決定よりも集団に属する個人が支払う同意コストが低いことを示した[76]。特に支配的な個体が非常に極端な時点を好む（e.g.メンバーの中で最も早い時点を選ぶ）場合は集団に属する他の個体が支払うコストの総量は非常に大きくなるが、民主的な決定を用いる場合は約半数のメンバーが合意する時点を集団が選択するためにこうした極端な決定を回避できる。実際に Conradt & Roper (2003) は、多くの利害の対立があるような場合において民主的な決定が幅広い種にわたって自然界で観察されるのは、このモデルから解釈可能であることを指摘した。ただし、モデルにおいては独裁的な決定を行う場合にその手段（e.g. 説得・交渉・操作）を考慮していないが、独裁的な決定を行うために支払うコストは独裁によって得られる利益を超えるべきではなく、また独裁者以外の他のメンバーも独裁によって失うコストが反発するコストよりも高いのであれば同意コストを支払

[76] Conradt & Roper (2003) は、情報の不確実性が生じる場合（自らの最適な停止時点にノイズが加わる）など異なるケースに関しても分析を行っており、同様に民主的決定によるコストが低くなることが示されている。

うべきでないことは明らかであると彼女らは述べている[77, 78]。

この理論モデルでは集団の利害の対立のみに焦点を当てているが、一方、群れで生活する動物においてはこうした利害の対立のみならず共通の利益（e.g. 複数のルートから目的地へ到達するルートを選択する）が存在するような意思決定場面が存在している。こうした場面では、集合知によってより高い確率で全員に共通の利益となるような選択肢が選択できるだろう。次節では、利害の対立と集合知（共通の目的の達成する選択肢を集合的に高い確率で選択する）を同時に取り扱うモデルについて紹介する。

6.2.4　利害対立と共通目的がある場合において：生物学の知見から

小規模な目標への利害の対立と集合知　これまで社会科学では集団意思決定場面に関して、集合知によって集団全体がより優れた成績をあげるという状況と、利害が対立するという状況が独立に取り扱われてきた（選好が異なることによる利害の対立）。社

---

[77] Conradt & Roper (2003) で取り扱ったような、利害が対立する集団意思決定に関する理論モデルの発展形は複数存在する。Conradt & Roper (2007) は最適時点と集団の決定時点が異なることで生じる同意コストに加え、集団から分離する場合のコスト（集団に所属する場合の利益）を加えた場合において、どのような決定ルールが優れるのか進化ゲーム理論を用いて検討している。また、Conradt & Roper (2003, 2007) のモデルは行動するタイミングに関するものであり、自らの最適なタイミングが離れるにつれコストが増すといった、利得およびコストが連続的に変化するようなケースを想定していたが、Conradt & Roper (2009) は目的地が異なるといったケースを用いることで連続的にコストが異なるのではなく、disjunctive（2 点間に大きな隔たりがあり、この 2 点の中間に進んだとしても全く意味を持たない）なケースについて検討している。

この 2 つの研究によって、民主的決定が他の決定ルールよりも優れるのかはパラメータに依存するものの、民主的決定は幅広いパラメータ領域で進化することが示されている。民主的な決定が進化する条件については、Conradt & Roper (2010) や Conradt (2012) によるレビュー論文が詳しい。

[78] なお、Conradt & Roper (2003) と概念的に近い社会科学のモデルとしては、中位投票者定理に関する理論モデルや社会的選択理論における功利主義的方法に関する理論モデルなどを挙げることができる (Black, 1948; Dowens, 1957; Fiorina & Plott, 1978 Riker, 1982)。

会科学において前者は集合知に関する Condorcet の陪審定理、後者は対立する選好を合成する Condorcet のパラドックスに代表されるように、異なる問題として独立に扱われてきた[79]。Conradt et al. (2013) は、利害の対立と集合知という 2 つの要因を共通の枠組みで捉える理論モデルによって、利害が対立するような場合であってもそれが小規模であり、かつそこに共通の利益が存在する場合は、そうした小規模な利害の対立はむしろ集団のパフォーマンスを高めることを見い出した。

前述したように自然界において社会的な動物には、共通の目的地を目指す（鳥の移住; migration）・より多くの食物が確保できるような場所を探す（採餌; foraging）・外敵を察知するといった、共通の大規模な目的 (large-scale goal) が存在する。さらに、Conradt & Roper (2005) が動物の観察研究をレビューしモデル化したように、小規模な目的 (small-scale goal) において利害の対立が発生する場合もある。例えば、集団が共通の目的地へと移動するときに脆弱な個体はより安全なルートを好むが、一方で頑強な個体はより距離が短いルートをとるといった場合が考えられる (Conrad, List & Roper, 2013; Lingle, Feldman, Boyce & Wilson, 2008)。Conradt et al. (2013) は、こうした目的地に到達するという共通の大規模な目的が存在する一方で、小規模な目的の対立が存在する場合における多数決について理論モデルを構築した。

Conradt, List & Roper (2013) の理論モデルの説明　Conradt et al. (2013) のモデルは、複数の共通の大きな目的を持つ一方でそのプロセス（小規模な目的）に対する好み

[79] Austen-Smith & Banks (1996) は従来の Condorcet の陪審定理が、一方の選択肢がもう一方の選択肢よりも集団全員にとって共通の利益をもたらすといった設定に対して、選択肢 A, B に対する集団成員の選好が異なるという設定を導入している。彼らの拡張モデルも Condorcet の陪審定理に選好を導入しているが、集合知研究が想定するような集団によって共通の利益が存在しないため、Conradt & Roper (2005) が扱っているような小規模な目的に対する好みが対立する集団における状況に近く、集合知と選好の対立を同時に扱っているものではないと考えられる。

（small-scale goal preference）が異なる集団を仮定している。ここでは、具体的な例を用いてこのモデルを説明する。集団は共通の目的地へ到達するという大きな目標 (large-scale goal) を持ち、集団が選択できるルートには安全だが距離が長いルート(安全ルート：A) と敏速に通過できる危険性があるルート（敏速ルート: B）の 2 つがあるとする。このときそれぞれのルートについて、個体は小規模な目的への好み (small-scale goal preference) を持ち、より安全なルートを好む個体とより危険なルートを好む個体が集団に存在するという設定がなされていた。モデルは、個体が決定を行う環境（ルート）・個体の環境の認識（環境を正しく認識する確率）・小規模な目標への個体の好みと意思決定という 3 つの部分から構成されており、以下ではそれぞれの部分について説明する。

意思決定環境：第 1 に、個体が決定を行う環境について説明する。各ルート（安全ルート・敏速ルート）が目的地に続く“生産的”なルートであるかどうかは、確率 prod で定まるとする（確率 1 – prod で非生産的となる）。ここで安全ルート（ルート A）が生産的である場合を (A_{prod})、非生産的である場合を (A_{unprod}) として表現し、敏速ルート（ルート B）に関しても同様に表現するとき、環境がとりうる 4 つのパターンは次のように表現できる。どちらのルートも生産的（目的地に到達する）な場合（A_{prod}, B_{prod}）・安全ルート（A ルート）のみが生産的な場合 (A_{prod}, B_{unprod})・敏速ルート（B ルート）のみが生産的な場合 (A_{unprod}, B_{prod})・どちらのルートも非生産的な場合 (A_{unprod}, B_{unprod}) の 4 つである（環境がとりうる各場合の尤度（起こりやすさ）は表 6-1 を参照せよ）。

環境の知覚：次に、Conradt らのモデルにおける各個体が環境を知覚するプロセスについて説明する。各個体が環境を常に正しく認識できるとは限らず、そこには不確実性が存在している。各個体は、それぞれのルートが目的地につながる生産的なルートであ

るのかどうかを確率 q で正しく判断でき、この確率はチャンスレベル ($q > 0.5$) より高いとする。実際の環境がどちらも生産的な場合（A_{prod}, B_{prod}）において、各個体が A, B ともに正しく生産的（A_{prod}, B_{prod}）であると判断する確率は q^2 となるが、A に関しては正しく生産的と判断し B に関して見誤って非生産的であると判断する（A_{prod}, B_{unprod}）確率は $q\,(1 - q)$となる。

小規模な目標への好みと意思決定：ここまで、Conradt らのモデルにおける個人が意思決定する環境とその認識プロセスについて説明してきた。以下では、個体の意思決定プロセスを説明する上で鍵となる小規模の目標への好み (small-scale preference) について説明する。モデルにおいて、個体はルートに対して小規模の目標への好み (small-scale preference) を持つという設定がなされており、これにより選択したルートから得られる利益が異なるといった設定がなされていた。各個体は選択したルートが目的地に通ずる生産的なルートであるときは大きな利益 (1) を得られ、かつそのルートが自分の好むルートである場合は追加で利益 ($g > 0$) を得られるという設定になっていた（自分の好むルートであっても、非生産的である場合利益は 0)。具体的に説明すると、集団の中にはより安全なルート（ルート A）を好む脆弱な個体（個体 A）とより敏速なルート（ルート B）を好む頑強な個体（個体 B）の 2 種類が存在する。ルート A を好む個体はルート A が目的地へ通ずる場合（A_{prod}）はルート A を選択することで ($1 + g$) の利得が得られ、ルート B が目的地へ通ずる場合には 1 の利得が得らえる。

個体は片方のルートのみが生産的である場合は、小規模の目標への好み (small-scale preference) に関わらずそのルートを選択するが、どちらのルートも生産的あるいは非生産的である場合は小規模の目標への好み (small-scale preference) に従って判断する。例えば個体 A の場合、どちらのルートも生産的あるいは非生産的である場合（A_{prod}, B_{prod};

A_{unprod}, B_{unprod}）とルート A のみが生産的な場合（A_{prod}, B_{unprod}）はルート A を選択する。そのため、個体 A がルート B を選択するのはルート B のみが目的に通ずる場合（A_{unprod}, B_{prod}）のみである。よって、個体 A がルート B を選択する確率（$P_A(B)$とする）は環境がルート B のみが生産的（A_{unprod}, B_{prod}）であると認識する確率に等しい。また、個体 A がルート A を選択する確率（$P_A(A)$）はルート B を選択しない確率であるため、$P_A(A) = 1 - P_A(B)$）によって求めることができる。各環境における個体 A および個体 B がそれぞれのルートを選択する場合を表 6-1 に示した。

表 6-1. Conrad, List & Roper (2013)における理論モデルの設定（Conrad, List & Roper (2013)の表を一部著者により改変 ß）

真の環境状態	状態の尤度（環境状態のもっともらしさ）	A,B を選択した結果得られる利得				P_A:A を選ぶ確率 $P_B = 1 - P_A$	
		動物 A	動物 B	動物 A	動物 B	動物 A	動物 B
		A	B	A	B	P_A(A)	P_A(B)
A_{prod}, B_{prod}	$prod^2$	$1+g$	1	1	$1+g$	$1-(1-q)q$	$q(1-q)$
A_{prod}, B_{unprod}	prod(1-prod)	$1+g$	0	1	0	$1-(1-q)q^2$	q^2
A_{unprod}, B_{prod}	(1-prod)prod	0	1	0	$1+g$	$1-q^2$	$(1-q)^2$
A_{unprod}, B_{unprod}	$(1\text{-prod})^2$	0	0	0	0	$1-(1-q)$	$(1-q)q$

Conradt, List & Roper (2013) の理論モデルの結果　Conradt et al. (2013) は、上記の設定において集団が好みの異なるメンバーによって構成される場合と、全員の好みが等しい場合について、集団が多数決を行い目的地へと続く生産的なルートを選択する確率を求めた。その結果、集団において異なる選好を持つ個体が半数ずつ存在する（A 個体と B 個体の比率が半数ずつ存在する (A:B = 1:1)）とき多数決の成績は最も高く、比率が偏るほどパフォーマンスが下がるという結果になり、集団が同じ選好を持つ個体（A 個体および B 個体）のみによって占められるときに最も成績が低くなった。

この傾向は特に、個人が環境を正しく認識する能力が低い場合（$q = 0.6$）に顕著であり、A 個体と B 個体が半数ずつ存在する集団　(A:B = 1:1)　においては、集団の個体数が増えるほど Condorcet の陪審定理が示すようにその成績が 1 に近づいていく。一方、どちらかの比率が多い集団 (A:B = 1:3 あるいは A : B = 3:1) では、個体数を増やしても成績は比較的一定であった。また、$q = 0.6$ のときに A 個体あるいは B 個体のどちらかによって集団が占められている場合は個体数を増やすことでむしろその成績が劣化することが示された[80]。

---

[80] なお、Conradt et al. (2013) は A と B に対して小規模の目標への好み (small-scale preference) を持たない集団、つまり（A_{prod}, B_{prod}）の状況下にあった場合、確率 0.5 で A を選ぶ個体によって構成される集団が多数決を行った場合に関しても検討している。その結果、個人の能力（q）の値に関わらず、集団が A 個体と B 個体の半数ずつによって形成されている集団は小規模の目標への好み (small-scale preference) を持たない集団よりも高い成績をあげることを見出している（ただし、比率が一方に偏ると小規模の目標への好み (small-scale preference)を持たない集団の成績の方が高くなる）。

ただ、こうした Conradt et al. (2011) における個人の小規模の目標への好み (small-scale preference) は個人の能力と無関係であるという前提であったが、こうした選好が個人の能力と関連する場合においては、小規模の目標への好み (small-scale preference) を持たない集団がほぼすべての状況において優れることが見出されている (Conradt, 2012)。

利害の対立と集合知　Conradt et al. (2013) のモデルは、小規模な目的において個体の好みが異なることにより集団が優れた決定を行うことを示した。このメカニズムは判断の相関という観点から解釈すると、好みが異なることで判断間の相関が小さくなるというシンプルな理由に基づくものである[81]。しかし、このモデルの持つインプリケーションは社会科学においても非常に重要であると筆者は考えている。なぜなら、これまでの理論モデルにおいては、こうした好みの違いに基づく利害の対立は、集団の決定に非合理性を生み出すもの、あるいは利得の格差を生み出すものとして扱われてきた (Conradt & Roper, 2003; cf. Riker, 1982)。しかし、Conradt et al. (2013) のモデルは、人々が大きな目標に向かって意思決定を行うときに、むしろ小規模であれば利害の対立が生じている方が、集団全体の利得が高まる可能性を示唆しているからである。

ただし利害の対立が大きい場合においては（Conradt et al. (2013) のモデルにおいて、g の値が非常に大きい値をとるとき[82]）、は常に自らの好む選択を行った方が高い利益を得られるため、個体は自らが環境をどのように認識しているか関わらず常に自らの好む選択肢を選ぶことが合理的になる。よって多数決の結果は、集団において A 個体・B 個体のどちらが多いかに基づき決定されることになってしまう。そのため、このモデル

---

[81] また Conradt らのモデルにおいては、メンバーの能力が等しいという前提を置いていたため、独裁者の成績が多数決より大きく劣るという結果であった。このモデルを修正しメンバーに能力の差が存在するような場合においても、多数決と有能な独裁者による成績が同等であれば、個人の利害の対立が存在しているため、Conradt & Roper (2005) のモデルのように集団における個人の利害を調停するという観点から多数決を用いることを支持できる理論が展開できる可能性がある（ただし、これに関しては理論的なモデルによる精緻な検討が必要である）。

[82] 例えば A 個体が単独で意思決定を行う場合において、$g > \frac{q}{1-q} + 1$ の条件においては、たとえ環境が (A_{unprod}, B_{prod}) であったとしても、A を選択することで高い利得を得ることができる（ただし、個体は自ら環境を正しく認知できる確率を知っているとする）。そのため、個体は環境をどのように認知するかに関わらず、選択肢 A を選ぶことになる。

が適用可能である範囲は、Conrad et al. (2013) が指摘するように、集団にとっての共通の利益の規模に対して個人の利害の対立が小規模な範囲において限定される。あまりにも集団において利害の対立が大きい場合は、集団が分化することが知られている (e.g. Conradt, 1998; Conradt & Roper, 2000; Ruckstuhl & Neuhaus, 2000)。

6.2.5　人間における集団意思決定：利害の対立と集合知

Conradt, List & Roper (2013) の理論モデルの知見から Conradt et al. (2013)は、動物は小規模な利害の対立があるものの共通の利益に基づき集団を形成しているという生物学の知見を理論的にモデル化したものであり、理論的に小規模な利害の対立があることによって集合知が生じることを見出したものである。例えばこれは、人間社会においてはより市民にとって利益となるような政策を行う優れた政治家を選出したいが、政治的信念あるいは出身地域（e.g. 自分の出身地域を優遇する）などが異なるような場合が考えられる。

しかし、ここで Conradt et al. (2013) のモデルを人間の社会行動に当てはめるにあたり 2 つの問題が考えられる。第 1 に、社会的選択理論が示したように、人々の選好が異なり利害の対立が存在する場合においては多数決に欠陥が存在することが指摘されているという問題である。まずこの問題について議論するが、結論としては、実証的な観点からこうした社会的選択理論が指摘するような問題が現実に存在することは稀である。もし仮に問題が生じたとしても（選好に循環が生じても）、Conradt et al. (2013) の基準に従えばこの問題は大きな問題ではない。 Conradt のモデルにおいて重要なのは決定の結果であり、共通の利益を達成することで得られる高い利益であるため、利害の対立と集合知を同時に扱う Conradt らのモデルにおいては社会的選択理論が指摘する点は問

題にならないことを指摘する。第 2 の問題は、Conradt et al. (2013) のモデルは、集団の利害の対立が小さい場合を想定している。しかし、もし利害の対立が大きい場合には、集団の分裂や集団からの離脱が起こることが予想される。こうした帰結をもたらしうる利害の対立を増大させることなく集団が共通の利益に向けて協調するために、どのような方法が人間社会において取られている、あるいは取ることができるのかについて考察する。

第 1 の問題 : 社会的選択理論の知見　社会的選択理論が指摘する問題は、集団において個人の選好を集約することで、選好の推移性が満たされないという問題が生じる点である。Condorcet のパラドクスは、選好が推移性を満たす合理的な個人の判断を集約する[83] ことで、集団として選好が推移性を満たさないという非合理性が生み出されることを指摘するものである。しかし、Regenwetter, Grofman, Marley & Tsetlin. (2006) は、実際の投票データや選挙候補者に関する国政調査のデータを分析する一連の研究によって、こうした Condorcet のパラドクスのような状況が事実上存在しないことを指摘し

[83] Tversky (1969) は個人レベルにおいても選好が推移性を満たさない場合があることを見出しているが、これに対しても反論が存在している。Regenwetter, Dana & Davis-Stober (2011) によれば、個人が持つ選好に推移性が満たされないケースはほとんど無いことを指摘している。Regenwetter らによれば Tversky (1969) は、ある人物 X が A を B よりも 10 回中 9 回で好むときに、A を B より好むというように確率に基づき選好を操作的に定義するが、こうした確率にもとづく選好が「推移性」を満たさなかったとしても、個人が各選択を行うときには推移性が満たされていることを主張している。ここでは実験の結果や概念的な分析は割愛するが、Regenwetter らによる単純化された例を紹介する。教授が学生とのミーティングの場所を選ぶときに、授業の後・非常勤の後などそのときの状況においてどの場所を望むか変化するとする。これらを集計すれば、A より B、B より C、C より A を高い確率で選択するという現象が生じるというように一見すると Condorcet のパラドクスのような状況が生じていような印象を与える。しかし、各意思決定における教授は合理的であり、自分のいる場所から近い順に選択肢を評価するという点で推移性を満たしていると言えるだろう。

ている (Regenwetter & Grofman, 1998; Regenwetter, Grofman & Marley, 2002; Regenwetter et al., 2006; Regenwetter, Ho & Tsetlin, 2007; Regenwetter, Kim, Kantor & Ho, 2007; for review Regenwetter, 2009; Regenwetter, Grofman, Popova et al., 2009)。彼らの主張に従うのであれば選択肢が 3 つ以上存在するとき、確かに多数決には合理性の観点からすると欠陥が存在するが、こうした問題は現実ではほとんど発生しないと考えられるだろう。

また Black (1956) は、個人の選択肢が一次上の尺度として表現されるとき、パラドクスが解消されることを指摘している。こうした状態は単峰性と呼ばれており、概念的には Conradt & Roper (2003) が設定したような環境と同一視でき、個人が集団で停止する際に最適なタイミングがありそのタイミングに近い選択肢に対しては高い順序をつけるが、タイミングからずれるときに低い順序をつけるという場合である。政治科学の文脈で考えるならば、保守的から革新まで連続的に変化する尺度が存在していると仮定するとき、保守、中立、革新の順、あるいは中立、革新、保守（中立よりも少し革新的な政策を最適と考える場合）の順に好むような選好は単峰性を満たしている。一方、特色のある政策を好み、保守、革新、中立の順に好む場合は単峰性を満たさない場合である。List, Luskin, Fishkin & McLean (2013) は実験的に、選好が単峰的でない場合においても、

議論を通じることで単峰的な選好（Black (1956) が、パラドクスが解消されるとする状態）へと変化する傾向があることを示した[84]。

これらの実証研究は、社会的理論が指摘した多数決の持つ欠陥が現実において存在することは稀であり、たとえ存在したとしても集団が討議を行うことで解消可能であることを示すものである。この観点からすれば、多数決においてこうした手続き的問題が発生することは少なく、Conrad & Roper (2003) が示したように多数決は現実においては個人の利害の対立を調停するメカニズムとして機能すると考えられる。

また、Conradt et al. (2013) が想定するように、環境への適応という観点に立つのであれば、理論的な観点から Condorcet のパラドクスのような非合理性が存在したとしても、集団に属する個体が意思決定の結果として共通の利益を得らえるのであれば、個体が生存するという観点から合理的である。たとえ小規模な目標に関する選好のみを取り出し

---

84 Condorcet のパラドクスは 3 つの選択肢の場面を想定していたが、選択肢が 2 つの場合においても多数決は合理性の観点から問題を抱えている。これは推論のジレンマ（discursive dilemma）と呼ばれている。例えば、ある研究助成団体は、提出された計画に対して、これまでの研究実績（X）と計画の学術的意義（Y）という 2 つの条件がともに満たされるとき（X∧Y）に助成を行うとする。このとき 3 人の審査員がいるとし、それぞれ決定に関する理由（X, Y）および、理由に基づく帰結（X∧Y）に対して次のような判断を下したとする。

	X	Y	X∧Y
審査員 A	可	不可	不可
審査員 B	不可	可	不可
審査員 C	可	可	可
多数決	可	可	可／不可

ここで、審査員が理由に関して多数決を行う場合と結論に関して多数決を行う場合とを考える。審査員が X・Y という理由に関して多数決を行うと X・Y ともに可となるため結論（X∧Y）が可となるが、結論に関して多数決をおこなった場合結論は不可となる。よって結論・理由のレベルで集約することで結果が異なるという不合理な状態が発生してしまう。しかし、こうした状況においても List et al. (2013) と同様に討論を行うことでジレンマが解消されることが実験的に示されている（山田, 2016）。

集約することで Condorcet のパラドクスが生じるような状況であっても、結果的に集団が優れた選択肢を選ぶのであれば適応的に合理的であると言えるだろう。

第 2 の問題：利害対立の増大を防ぐ　Conradt らによるモデルは、個体間に小規模な利害対立があったとしても集団としての共益が高いのであれば、集団は共益に向かって協調し決定を行うことで優れた成績を上げることを示した。ただし、個人の利害の対立によって生じる利得差（*g*）があまりにも大きいとき、こうした共通の目的によって得られる利益は相対的に小さくなるため、集団が分離することが合理的となる場合が存在する (cf. Conradt & Roper, 2012)。こうした理由による分裂を避けるためには、選好の対立に基づく利得差を小さくする必要がある。

しかし、我々の社会は多様な価値観やパーソナリティによって構成されている。こうした社会において共通目的に向かって、どのようにこうした利害の対立を抑え協調できるのであろうか。この点に関しては、古代ギリシャにおいて民主制を導入していたアテネとスパルタを認識論的な観点から比較し、いかにアテネが民主制によってポリス（国家）として優れたパフォーマンスをあげたのかを分析した Ober (2008) の研究が参考となる。古代アテネにおいても、その社会は裕福なエリートと労働者といった異なるクラスターから構成されており、人々の間に明確な利害の対立が存在していた (Ober, 1989; 2008)。ただし、アテネは地政学的に外部との戦争および内戦により常に国家存亡の危機に接しており、人々の間で生存のためにこうした危機を防ぐという目標が共有されていたという (Ober, 2008)。そのため、アテネ人は文化的・思想的に多様であったにも関わらず、「自らの階級や思想に基づき徒党を組む」あるいは「ポリス全体の利益ではなく自らの利益のみに基づき投票する」といった行為はポリスを存続させるという目

的を崩壊させるものと認識しており、また教育によってこうした民主制を維持するような思想を伝達していたという (Ober, 1989; 2008)。

さらに Ober (2008) は、アテネ人は頻繁に儀式や集会を行うことで人々の持つ共有知識を創りだし目標を共有することによって、こうした協調を可能にしたことを指摘している (c.f. Chew, 2001)。こうした儀式は知識共有以上の変化を集団にもたらすことが近年実証的に示されている。Whitehouse (2013) は、儀式や宗教を通じて人々がアイデンティーを共有することや経験を共有することによって人々の間で社会的絆が生まれ、価値や目的の共有が可能であることを実験室実験およびフィールド調査にもとづき主張している。これまで Whitehouse (2013) は同じ部族あるいは強い共通の目的を持つようなアイデンティーを共有した内集団を主に検討していたが、Whitehouse (2013) は我々の持つ「内集団」の範囲の拡張可能性を指摘しており、今後これを検証していくことの重要性を指摘している。もし、彼が期待する通り我々が経験やアイデンティー共有を行うといった心理的なメカニズムに基づいて価値観を共有することにより利害の対立を小規模に抑えているのであれば、共通の目標に向かって協調が可能となる。

しかし、経験共有あるいは感情共有などによって生起される共感といった感情的な要因に基づき、見知らぬ他者へと協力する神経基盤を人々が持っていることは明らかとなっているが (e.g. Tusche, Böckler, Kanske, Trautwein, & Singer, 2016; Watanabe, Takezawa, Nakawake et al. 2013)、こうした感情に基づく個人にとっての合理的な理由に基づかない協調行動は集団に根付かないことが指摘されている（Horita, Takezawa, Kinjyo, Nakawake & Masuda, 2016）。また、Whitehouse (2013) が指摘するような経験共有・感情共有による社会的絆に関しては、どのような（神経科学的・内分泌学的・進化的）メカニズムによって生まれるのか完全には解明されておらず発展途上である。今後、こうした「価値

観の異なる他者との間に生じる選好の対立をいかに抑え共通の目的に向けて協調できるのか」（cf. Green, 2014; 村田・斎藤・樋口・亀田, 2016）という問いに対して、さらなる実証研究が行われることを期待したい。

また、どのように利害の対立を抑えるのかという問題は実証科学のみならず政策的な問いでもある。Ober (2008) がアテネにおいて、利害の対立が大きくなることで民主制が崩壊するのを防ぐために、教育によって民主制を維持する思想を伝達していたことを示したように、どのような制度を導入することで利害の対立を抑えて民主制を維持できるのか、あるいは多数決のパフォーマンスを最大化できるのかといった問いは政治科学において分析すべき問題である。

6.3　展望

本稿が議論の対象とした認識論的民主主義とは、多数決の結果優れたパフォーマンスが生み出されるという観点から多数決を正当化するものであり、その理論的根拠として集合知が用いられていた。しかし、集合知によって多数決が優れた成績をあげるのかは、個人の能力分布あるいは判断間の相関に大きく依存し、現実における個人の能力分布や現実において判断間の相関が生まれることを考慮するのであれば、多数決がベストメンバーあるいはベストメンバーと推測された人物よりも頑健に優れるものではないことを指摘した。この結果に基づけば、集合知に基づく多数決が他の決定ルールよりも頑健に優れるという理論的根拠にはなり得ず、こうした集合知を理論的根拠とする認識論的民主主義を批判した。

本章では、認識論的民主主義の展望として、集合知のみならず個人の利害対立が存在する場合の多数決を考察するべきことを指摘した。ただし、集合知がどのような環境において成立するのかを検討した理論モデルやそれに基づく実験的研究は数多く存在するが、Conradt (2012, 2013) が指摘するように、どのような環境や条件において利害の対立の調停を目的とした多数決が用いられるのかを検討した実証的な知見は乏しく、対立する利害の調停と集合知を同時に扱った研究は理論研究も含め非常に少ない。さらに、筆者の知る限りこの 2 つの問題を同時に扱った実証研究は行われていないのが現状である。今後、自然科学者と人文社会科学者が共同でこの問題に取り組むことで多くの実証的な知見が蓄積することが望まれ、これによって民主主義の持つ新たな利点や側面が明らかになることを期待したい。

また、この利害の対立は小規模であれば多数決の成績を高めるが、集団の利害の対立が大きくなると集団の分裂を促すことを指摘した。こうした分裂を抑え多数決の意思決定結果の最大化を可能にする研究がなされることを期待したい。

引用文献

注：　以下の引用文献のリストにおいて、古典作品を日本語に翻訳した文献に関しては注意点が存在する（アリストテレス「国家」、マキャベリ「ディスコルシ」、プラトン「プロタゴラス」）。APA 形式で引用文献リストを作成するにあたって、翻訳された本に掲載されている訳出情報を参照したが、APA 形式で必要な情報を入手できなかったので、文献データベースサイト（http://philpapers.org/ あるいは http://www.worldcat.org/ ）を用いて筆者が調べた情報にもとづき必要な情報を追加したため、翻訳者が用いた原典および型番と一致していない可能性がある（訳出書として入手可能な情報に関しては、各訳書を参照していただきたい）。また古典作品のオリジナルの出版年に関しては、日本語の翻訳書において記載されているものに関しては加えたが、記載がないものには加えなかった。訳出書が複数ある場合には代表的なもののみを用いた。

Abdallah S, Michaelson J, Shah S, Stoll L, Marks N (2012). *The Happy Planet Index: 2012 Report. A global index of sustainable well-being* (nef: London) Retrived December 16, 2015. http://happyplanetindex.org/s/2012-Happy-Planet-Index-data.xlsx

Adkins, A. W. H. (1973). Ἀρετή, Τέχνη, Democracy, and Sophists: Protagoras 316b–328d. T*he Journal of Hellenic Studies*, *93*, 3-12.

Anderson, E. (2008). An Epistemic Defense of Democracy: David Estlund's Democratic Authority. *Episteme*, *5*(01), 129-139.

Andersson, P., Edman, J., & Ekman, M. (2005). Predicting the World Cup 2002 in soccer: Performance and confidence of experts and non-experts. *International Journal of Forecasting*, *21*(3), 565-576.

Anderson, L. R., & Holt, C. A. (1997). Information cascades in the laboratory. *The American economic review*, 847-862.

Aristotle (1957). *Politica*, W. D Ross,. (Ed), Oxford: Oxford University Press（アリストテレス, 牛田得子 (訳) (2001). 政治学　京都大学出版社）

Arrow, K. J. (1963). *Social choices and individual values* (2nd ed.). New Haven, CT: Yale University Press. Asch, (Original work published 1951)

Asch, S. E. (1955). Opinions and social pressure. *Scientific American*, 193(5), 31–35.

Ahlstrom-Vij, K., Kappel, K., Jang, N., & Pedersen, L. (2013). The epistemology of inclusiveness. *Synthese*, 190(7), 1185.

Austen-Smith, D., & Banks, J. S. (1996). Information Aggregation, Rationality, and the Condorcet Jury Theorem. *American Political Science Review*, *90*(1), 34–45.

Ayton, P., Önkal, D., & McReynolds, L. (2011). Effects of ignorance and information on judgments and decisions. *Judgment and Decision Making*, *6*(5), 381.

Bahrami, B., Olsen, K., Latham, P. E., Roepstorff, A., Rees, G., & Frith, C. D. (2010). Optimally interacting minds. *Science*, *329*(5995), 1081–5.

Banerjee, A. (2002). V.A simple model of herd behavior. *Quarterly Journal of Economics, 107*(3), 797.

Becker, G. (2000). Creating comparability among reliability coefficients: the case of Cronbach alpha and Cohen kappa. *Psychological reports*, *87*(3 Pt 2), 1171-1182.

Ben-Yashar, R. C., & Nitzan, S. I. (1997). The optimal decision rule for fixed-size committees in dichotomous choice situations: the general result. *International Economic Review*, 175-186.

Berend, D., & Sapir, L. (2007). Monotonicity in Condorcet's Jury Theorem with dependent voters. *Social Choice and Welfare*, *28*(3), 507–528.

Berg, S. (1993). Condorcet's jury theorem, dependency among jurors. *Social Choice and Welfare*, *10*(1), 87–95.

Bikhchandani, S., Hirshleifer, D., & Welch, I. (1992). A Theory of Fads , Fashion , Custom , and Cultural Change as Informational Cascades. *Journal of Political Economy*, *100*(5), 992–1026.

Black, D. (1958). *The theory of committees and elections.* New York: Cambridge University Press.

Boehm, C. (1996). Emergency Decisions, Cultural-Selection Mechanics, and Group Selection. *Current Anthropology*, *37*(5), 763-793.

Boland, P. J. (1989). Majority Systems and the Condorcet Jury Theorem. *The Statistician*, *38*(3), 181.

Boland, P. J., Proschan, F., & Tong, Y. L. (1989). Modelling dependence in simple and indirect majority systems. *Journal of Applied Probability*, 81-88.

Bovens, L., & Rabinowicz, W. (2006). Democratic answers to complex questions–an epistemic perspective. *Synthese*, 150(1), 131-153.

Brennan, J. (2016). *Against democracy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Brighton, H., & Gigerenzer, G. (2015). The bias bias. *Journal of Business Research*, *68*(8), 1772-1784.

Bröder, A., & Schiffer, S. (2003). Bayesian strategy assessment in multi‐attribute decision making. *Journal of Behavioral Decision Making*, *16*(3), 193-213.

Brown, R. 1988. *Group processes: Dynamics within and between groups*. Oxford, UK: Blackwell.

Bruce, R. S. (1935). Group judgments in the fields of lifted weights and visual discrimination. *The Journal of Psychology*, *1*(1), 117-121.

Brunswik, E. (1943). Organismic achievement and environmental probability. *Psychological Review*, *50*(3), 255–272.

Brunswik, E. (1947). Systematic and representative design of psychological experiments. In *Proceedings of the Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*.

Brunswik, E. (1955). Representative design and probabilistic theory in a functional psychology. *Psychological review*, *62*(3), 193.

Byrne, R., & Whiten, A. (Eds.). (1988). *Machiavellian intelligence.* London: Oxford University Press.

Central Intelligence Agency. (2015). The world factbook: Distribution of family income - Gini index. Retrieved November 16 2015, from https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/rankorder/2172rank.html

Christie, R., & Geis, F. L. (2013). *Studies in machiavellianism*. London: Academic Press.

Chwe, M. S. Y. (2013). *Rational ritual: Culture, coordination, and common knowledge*. Pirnceton, NJ: Princeton University Press.

Cialdini, R. B., & Goldstein, N. J. (2004). Social influence: Compliance and conformity. *Annual Review of Psycholgy*, 55, 591-621.

Claidière, N., Bowler, M., & Whiten, A. (2012). Evidence for weak or linear conformity but not for hyper-conformity in an everyday social learning context. *PloS One*, *7*(2), e30970.

Coleman, J., & Ferejohn, J. (1986). *Democracy and Social Choice*. *Ethics*, 97(1), 6–25.

Cooper, R. P., & Werner, P. D. (1990). Predicting Violence in Newly Admitted Inmates A Lens Model Analysis of Staff Decision Making. *Criminal Justice and Behavior*, *17*(4), 431-447.

Condorcet, M. (1976). Essay on the application of mathematics to the theory of decision making. In K. M. Baker (Eds. & Trans.), Condorcet: Selected Writing (pp. 52 – 55). Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill. (Original work published 1785)

Condorcet, M. (1994). Essay on the application of probability analyses to decisions returned by a plurality of people. In I. McLean & F. Hewitt (Eds. & Trans.), Condorcet: Foundations of social choice and political theory (pp. 11–36). Brookfield, VT: Edward Elgar. (Original work published 1785)

Conradt, L. (1998). Could asynchrony in activity between the sexes cause intersexual social segregation in ruminants? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *265*(1403), 1359–1363.

Conradt, L. (2012). Models in animal collective decision-making: information uncertainty and conflicting preferences. *Interface Focus*, *2*(2), 226–40.

Conradt, L., & List, C. (2009). Group decisions in humans and animals: a survey. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *364*(1518), 719–42.

Conradt, L., List, C., & Roper, T. J. (2013). Swarm intelligence: when uncertainty meets conflict. *The American Naturalist*, *182*(5), 592–610.

Conradt, L., & Roper, T. (2003). Group decision-making in animals. *Nature*, *421*, 1996–1999.

Conradt, L., & Roper, T. J. (2005). Consensus decision making in animals. *Trends in Ecology & Evolution*, *20*(8), 449–56.

Conradt, L., & Roper, T. J. (2009). Conflicts of interest and the evolution of decision sharing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *364*(1518), 807–19.

Conradt, L., & Roper, T. J. (2010). Deciding group movements: Where and when to go. *Behavioural Processes*, *84*(3), 675–677.

Czerlinski J, Gigerenzer G, Goldstein DG (1999) How good are simple heuristics? In: Gigerenzer G, Todd PM, the ABC Research Group, editors. *Simple heuristics that make us smart*. New York, NY: Oxford University Press.

Dall, S. R. X., Giraldeau, L.-A., Olsson, O., McNamara, J. M., & Stephens, D. W. (2005). Information and its use by animals in evolutionary ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, *20*(4), 187–93.

Data Stadium (2015). Football Lab, Retrieved 29 June 2015 http://www.football-lab.jp/ summary/ team_ranking/j1/?year=2012

Denrell, J., & Liu, C. (2012). Top performers are not the most impressive when extreme performance indicates unreliability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109*(24), 9331–6.

Dhami, M. K., Hertwig, R., & Hoffrage, U. (2004). The role of representative design in an ecological approach to cognition. *Psychological Bulletin*, *130*(6), 959–88.

Dieckmann, A., & Todd, P. M. (2012). Simple rules for ordering cues in one–reason decision making. In G. Gigerenzer, P. M. Todd, and the ABC Research Group (eds.), Ecological rationality (pp. 274–306). New York: Oxford University Press.

Dietrich, F. (2012). The Premises of Condorcet's Jury Theorem Are Not Simultaneously Justified. *Episteme*, *5*(1), 56–73.

Dietrich, F., & List., C. (2004) A model of jury decisions where all jurors have the same evidence. *Synthese 142*, 175–202.

Downs, A. (1957). An economic theory of political action in a democracy. T*he journal of political economy*, 135-150.

Einhorn, H. J., Hogarth, R. M., & Klempner, E. (1977). Quality of group judgment. Psychological Bulletin, 84(1), 158–172.

Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature, 415*(6870), 429-433.

Estlund, D. M. (1994). Opinion leaders, independence, and Condorcet's Jury Theorem. *Theory and Decision*, *36*(2), 131–162.

Estlund, D. (1997). Beyond fairness and deliberation: The epistemic dimension of democratic authority. in J. Bohman and W. Rehg (eds), *Deliberative Democracy: Essays on reason and politics* Cambridge, MA: MIT Press

Estlund, D. (2003). Why Not Epistocracy. *Desire, Identity and Existence: Essays in Honor of TM Penner*, 53–69.

Estkund, D. (2008a). *Democratic Authority: A Philosophical Framework*. Princeton, NJ and Oxford: Princeton University Press.

Estlund, D. (2008b). Introduction: Epistemic Approaches to Democracy. *Episteme*, *5*(1), 1–4.

Farrell, S. (2011). Social influence benefits the wisdom of individuals in the crowd. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(36), E625-E625.

Festinger, L. (1954). A theory of social comparison processes. *Human relations*, 7(2), 117-140.

Fifić, M., & Gigerenzer, G. (2014). Are two interviewers better than one?. *Journal of Business Research*, *67*(8), 1771-1779.

Fiorina, M. P., & Plott, C. R. (1978). Committee Decisions under Majority Rule: An Experimental Study. *American Political Science Review*, *72*(2), 575–598.

Fuerstein, M. (2008). Epistemic Democracy and the Social Character of Knowledge. *Episteme*, *5*(1), 74–93.

Galton, F. (1907a). Vox Populi. *Nature*, *75*(7), 450–451.

Galton, F. (1907b). The ballot-box. *Natur*e *75*, 509–510

Gibson, J. J. (1979). The Ecological Approach to Visual Perception. Boston, MA: Houghton Mifflin

Gigerenzer, G. (2006). What's in a sample? A manual for building cognitive theories. In K. Fiedler & P. Juslin (Eds.), *Information sampling and adaptive cognition* (pp. 239-260). Cambridge: Cambridge University Press

Gigerenzer, G., & Brighton, H. (2009). Homo Heuristicus: Why Biased Minds Make Better Inferences. *Topics in Cognitive Science*, *1*(1), 107–143.

Gigerenzer, G., & Todd, P.M., & the ABC Research Group. (1999). *Simple Heuristics that make us smart*. New York, NY: Oxford University Press.

Gigerenzer, G., & Todd, P. M. (1999). Fast and frugal heuristics: The adaptive toolbox.In: Gigerenzer G, Todd P. M., and the ABC Research Group (Eds). *Simple heuristics that make us smart* (pp. 3-34). New York, NY: Oxford University Press.

Gigone, D., & Hastie, R. (1997). Proper analysis of the accuracy of group judgments. *Psychological Bulletin*, *121*(1), 149–167.

Glasersfeld, E. V. (1995). *Radical constructivism: A way of knowing and learning. Studies in mathematics education series:6*. Bristol, PA: The Falmer Press

Goodin, R. E., & Spiekermann, K. (2011). Epistemic Aspects of Representative Government. *European Political Science Review*, 1–23.

Goldman, A. I. (2001). Experts: Which Ones Should You Trust? *Philosophy and Phenomenological Research*, *63*(1), 85.

Goldman, A. I. (2004). Group knowledge versus group rationality: Two approaches to social epistemology. *Episteme*, *1*(01), 11-22.

Goldstein, D. G., & Gigerenzer, G. (2002). Models of ecological rationality: the recognition heuristic. *Psychological review*, *109*(1), 75.

Gordon, K. (1924). Group Judgments in the Field of Lifted Weights. Journal of Experimental Psychology, 7(5), 398.

Greene, J. (2013). *Moral tribes: Emotion, reason, and the gap between us and them*. New York, NY: Penguin

Grofman, B. (1978). Judgmental competence of individuals and groups in a dichotomous choice situation: Is a majority of heads better than one? *The Journal of Mathematical Sociology*, *6*(1), 47–60.

Grofman, B., & Feld, S. L. (1988). Rousseau's General Will: A Condorcetian Perspective. *The American Political Science Review*, *82*(2), 567.

Grofman, B., Owen, G., & Feld, S. L. (1983). Thirteen theorems in search of the truth. *Theory and Decision*, *15*(3), 261–278.

Gurnee, H. (1937). A comparison of collective and individual judgments of fact. *Journal of Experimental Psychology*, *21*(1), 106.

Gunn, P. (2014). Democracy and Epistocracy. *Critical Review*, *26*(1–2), 59–79.

Guttman, L. (1944). A basis for scaling qualitative data. *American sociological review*, *9*(2), 139-150.

Hardwig, J. (1991). The Role of Trust in Knowledge. *The Journal of Philosophy*, *88*(12), 693.

Hammond, K. (1998). Ecological validity: Then and now. Retrieved 11 November, 2016, from http://www.brunswik.org/notes/essay2.html

Hamilton, A., Jay, J. & Madison, J., (1961). *The Federalist* J. E. Cook (Eds.) Middltown, Conn: Wesley University Press. (Original work published in 1788)（ハミルトン，A．・ジェイ，

J. ・マディソン，J. 斎藤眞・武則忠見 (訳) (1991). ザ・フェデラリスト　福村出版）

Hastie, R. (1986). Experimental evidence on group accuracy. In B. Grofman and G. Owen (Eds.), *Information pooling and group decision making*, (pp. 129-157). Greenwich, Conn.: JAI Press.

Hastie, R., & Kameda, T. (2005). The robust beauty of majority rules in group decisions. *Psychological Review*, *112*(2), 494–508.

Hays, W.L. (1993) *Statistics (5th edition)*. London: Holt, Reinhart & Winston

Herzog, S. M., & Hertwig, R. (2009). The wisdom of many in one mind: improving individual judgments with dialectical bootstrapping. Psychological Science, *20*(2), 231–7.

Herzog, S. M., & Hertwig, R. (2011). The wisdom of ignorant crowds: Predicting sport outcomes by mere recognition. *Judgment and Decision Making*, *6*(1), 58.

Hewlett, B. S., & Cavalli-Sforza, L. L. (1986). Cultural transmission among Aka pygmies. *American Anthropologist, 88*(4), 922-934.

Hill, G. (1982). Group versus individual performance: Are N+ 1 heads better than one? *Psychological Bulletin*, *91*(3), 517–539.

Hogarth, R. M. (1978). A note on aggregating opinions. *Organizational Behavior and Human Performance*, *21*(1), 40–46.

Hooker, R. H. (1907). Mean or median. *Nature*, 75, 487-488.

Hong, L., & Page, S. E. (2008). Some microfoundations of collective wisdom. *Collective Wisdom*, 56-71.

Hooker, R. H. (1907). Mean or median. *Nature*, 75, 487-488.

Holst, C. (2012). What is epistocracy? In S. A. Øyen, T. Lund-Olsen, & N. S. Vaage (Eds.), *Sacred Science? On science and its interrelations with religious worldviews* (pp. 41–54). Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

Horita, Y., Takezawa, M., Kinjo, T., Nakawake, Y., & Masuda, N. (2016). Transient nature of cooperation by pay-it-forward reciprocity. *Scientific Reports*, *6*, 19471.

Hung, Angela A, and Charles R Plott. 2001. Information Cascades: Replication and an Extension to Majority Rule and Conformity-Rewarding Institutions. *American Economic Review* 91(5): 1508–20.

Hursch, C. J., Hammond, K. R., & Hursch, J. L. (1964). Some methodological considerations in multiple-cue probability studies. *Psychological review, 71*(1), 42.

Ioannides, Y. M. (2012). Complexity and organizational architecture. *Mathematical Social Sciences*, *64*(2), 193–202.

Iyer, R., & Graham, J. (2012). Leveraging the wisdom of crowds in a data-rich utopia. *Psychological Inquiry*, *23*(3), 271-273.

Janis, I. (1982). *Groupthink: Psychological studies of policy decisions and fiascoes*. New York: Houghton-Mifflin.

Kameda, T. (1991). Procedural influence in small-group decision making: Deliberation style and assigned decision rule. *Journal of Personality and Social Psychology*, *61*(2), 245.

亀田達也 (1997).合議の知を求めて　共立出版

Kameda, T., Tsukasaki, T., Hastie, R., & Berg, N. (2011). Democracy under uncertainty: the wisdom of crowds and the free-rider problem in group decision making. *Psychological Review*, *118*(1), 76–96.

Kameda, T., Wisdom, T., Toyokawa, W., & Inukai, K. (2012). Is consensus-seeking unique to humans? A selective review of animal group decision-making and its implications for (human) social psychology. *Group Processes & Intergroup Relations, 15*(5), 673-689.

Kanazawa, S. (1998). A brief note on a further refinement of the Condorcet Jury Theorem for heterogeneous groups. *Mathematical Social Sciences*, *35*(1), 69–73.

Kao, A. B., & Couzin, I. D. (2014). Decision accuracy in complex environments is often maximized by small group sizes. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *281*(1784), 20133305.

Karelaia, N., & Hogarth, R. M. (2008). Determinants of linear judgment: a meta-analysis of lens model studies. *Psychological bulletin*, *134*(3), 404.

Karotkin, D. (1992). Optimality among restricted majority decision rules. *Social Choice and Welfare*, *9*(2), 147–150.

Karotkin, D. (1993). Inferiority of restricted majority decision rules. *Public Choice*, *77*(2), 249–258.

加藤守通 (1999). プロタゴラスと民主主義. 東北哲学会年報, (15), 1-13.

King, A. J., Cheng, L., Starke, S. D., & Myatt, J. P. (2012). Is the true "wisdom of the crowd" to copy successful individuals? *Biology Letters*, *8*(2), 197–200.

木下芳子 (2009). 多数決の適用についての判断の発達: 日本とイギリスとの比較研究. 発達心理学研究, 20(3), 311-323.

北垣徹 (2011). コンドルセからコントへ—啓蒙の転換　富永茂樹 (編) 啓蒙の運命 名古屋大学出版　pp. 282-316

King, A. J., Cheng, L., Starke, S. D., & Myatt, J. P. (2012). Is the true 'wisdom of the crowd'to copy successful individuals?. *Biology Letters*, 8(2), 197-200.

Kitcher, P. (2011). *The ethical project.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Koehler, J. J. (1996). The base rate fallacy reconsidered: Descriptive, normative, and methodological challenges. *The Behavioral and brain sciences., 19*(1), 1-53.

Krause, J., Ruxton, G. D., & Krause, S. (2010). Swarm intelligence in animals and humans. *Trends in Ecology & Evolution*, *25*(1), 28–34.

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.

Kuder, G. F., & Richardson, M. W. (1937). The theory of the estimation of test reliability. *Psychometrika, 2*(3), 151-160.

Ladha, K. K. (1992). The Condorcet Jury Theorem, Free Speech, and Correlated Votes. *American Journal of Political Science*, *36*(3), 617.

Ladha, K. K. (1995). Information pooling through majority-rule voting: Condorcet's jury theorem with correlated votes. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *26*(3), 353–372.

Laland, K. N. (2004). Social learning strategies. *Learning & Behavior*, *32*(1), 4–14.

Landemore, H. (2012a). *Democratic reason: Politics, collective intelligence, and the rule of the many*. Princeton University Press.

Landemore, H. E. (2012b). Why the many are smarter than the few and why it matters. *Journal of Public Deliberation*, 8(1).

Larson, J. R. (2007). Deep Diversity and Strong Synergy: Modeling the Impact of Variability in Members' Problem-Solving Strategies on Group Problem-Solving Performance. *Small Group Research*, *38*(3), 413–436.

Levy, D. M., & Peart, S. (2002). Galton's two papers on voting as robust estimation. *Public Choice*, *113*(3–4), 357–365.

Lingle, S., Feldman, A., Boyce, M. S., & Wilson, W. F. (2008). Prey Behavior, Age‐Dependent Vulnerability, and Predation Rates. *The American Naturalist*, *172*(5), 712-725.

List, C. (2012). Group Knowledge and Group Rationality: A Judgment Aggregation Perspective. *Episteme*, *2*(1), 25–38.

List, C. (2013) Social Choice Theory, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2013 Edition)*, Edward N. Zalta (ed.), Retrieved 11 November, 2016, from http://plato.stanford.edu/archives/win2013/entries/social-choice/.

List, C., & Goodin, R. E. (2001). Epistemic Democracy: Generalizing the Condorcet Jury Theorem. *Journal of Political Philosophy*, *9*(3), 277–306.

List, C., Luskin, R. C., Fishkin, J. S., & McLean, I. (2013). Deliberation, single-peakedness, and the possibility of meaningful democracy: evidence from deliberative polls. *The journal of politics*, *75*(01), 80-95.

List, C., & Pettit, P. (2002). *Aggregating sets of judgments: An impossibility result. Economics and Philosophy*, *18*(01), 89-110.

List, C., & Philip P., (2004) An epistemic free-riding problem? In: Catton, Philip and Macdonald, Graham, (eds.) Karl Popper: Critical Appraisals. Routledge, Abingdon, UK, pp. 128-158.

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 of the United States of America*, *108*(22), 9020–5.

List, C., & Vermeule, A. (2014). Independence and interdependence: Lessons from the hive. *Rationality and Society*, *26*(2), 170-207.

Lorge, I., Fox, D., Davitz, J., & Brenner, M. (1958). A survey of studies contrasting the quality of group performance and individual performance, 1920-1957. *Psychological Bulletin*, *55*(6), 337–372.

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*(2), e31043.

Machiavelli, N. (1960) *Il principe e Discorsi sopra la prima deca di Tito Livio*. S.Bertelli (Ed.) Milano: Feltrinelli. （マキャベリ．N，永井三明 (訳) (2011). ディスコルシ「ローマ論史」筑摩書房）

Mandel, D. R., & Barnes, A. (2014). Accuracy of forecasts in strategic intelligence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(30), 10984–9.

Mann, L., Tan, C., MacLeod - Morgan, C., & Dixon, A. (1984). Developmental changes in application of the majority rule in group decisions. *British journal of developmental psychology*, *2*(3), 275-281.

Martignon, L., & Hoffrage, U. (2002). Fast, frugal, and fit: Simple heuristics for paired comparison. Theory and Decision, 52(1), 29-71.

Martignon, L. and Laskey, K. B. (1999), Bayesian benchmarks for fast and frugal heuristics, in G. Gigerenzer, P. M. Todd and the ABC Research Group, *Simple Heuristics That Make Us Smart* (pp. 169–188), New York, NY: Oxford University Press.

Mellers, B., Ungar, L., Baron, J., Ramos, J., Gurcay, B., Fincher, K., … Tetlock, P. E. (2014). Psychological Strategies for Winning a Geopolitical Forecasting Tournament. *Psychological Science*, *25*(5), 1106–1115.

Mesoudi, A. (2008). An experimental simulation of the "copy-successful-individuals" cultural learning strategy: adaptive landscapes, producer–scrounger dynamics, and informational access costs. *Evolution and Human Behavior*, *29*(5), 350-363.

Miller, N. R. (1996). Information, individual errors, and collective performance: Empirical evidence on the Condorcet Jury Theorem. *Group Decision and Negotiation*, *5*(3), 211-228.

Moessinger, P. (1981). The development of the concept of majority decision: A pilot study. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, *13*(4), 359.

Moore, D. A., & Healy, P. J. (2008). The trouble with overconfidence. *Psychological review*, 115(2), 502.

Moore, E. F., & Shannon, C. E. (1956). Reliable circuits using less reliable relays. *Journal of the Franklin Institute*, *262(*3), 191-208.

村田藍子, 齋藤美松, 樋口さとみ, 亀田達也 (2016). ヒト社会における大規模協力の礎としての共感性の役割. 心理学評論. 58(3)

Myers, D. G., & Lamm, H. (1975). The polarizing effect of group discussion: The discovery that discussion tends to enhance the average prediscussion tendency has stimulated new insights about the nature of group influence. *American Scientist*, *63*(3), 297-303.

Nitzan, S., & Paroush, J. (1984). The significance of independent decisions in uncertain dichotomous choice situations. *Theory and Decision*, *17*(1), 47-60.

Noelle-Neumann, E. (1974). The spiral of silence a theory of public opinion. *Journal of communication*, 24(2), 43-51.

Novak, S., & Elster, J. (Eds) (2014). *Majority decisions: Principles and practices*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ober, J. (1989). *Mass and elite in democratic Athens: Rhetoric, ideology, and the power of the people*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Ober, J. (2008). *Democracy and Knowledge: Innovation and Learning in Classical Athens.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Ober, J. (2013). Democracy's Wisdom: An Aristotelian Middle Way for Collective Judgment. *American Political Science Review*, *107*(1), 104–122.

隠岐さや香 (2012).コンドルセの社会数学--科学と民主主義への夢想　金森修（編） 合理性の考古学: フランスの科学思想　東京大学出版会

大塚淳 (2008). 哲学者のためのベイジアンネットワーク入門 (特集 因果的説明とベイジアンネットワーク). 哲学論叢, (35), 106-117.

Owen,G. (1986). 'Fair' indirect majority rules. In: B. Grofman & G. Owen (Eds) *Information pooling and group decision making,* (pp. 223–229). Greenwich, CN.: JAI Press.

Owen, G., Grofman, B., & Feld, S. L. (1989). Proving a distribution-free generalization of the Condorcet jury theorem. *Mathematical Social Sciences*, *17*(1), 1-16.

Pachur, T., & Biele, G. (2007). Forecasting from ignorance: The use and usefulness of recognition in lay predictions of sports events. *Acta Psychologica*, *125*(1), 99-116.

Page, S. E. (2007). Making the difference: Applying a logic of diversity. *The Academy of Management Perspectives*, *21*(4), 6-20.

Paulus, P. B. (1998). Developing consensus about groupthink after all these years. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 73(2-3), 362-374.

Payne, J. W., Bettman, J. R., & Johnson, E. J. (1993). *The adaptive decision maker*. New York, NY: Cambridge University Press.

Payne, J. W., Johnson, E. J., Bettman, J. R., & Coupey, E. (1990). Understanding contingent choice: A computer simulation approach. I*EEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *20*(2), 296-309.

Piaget, J. (1970). *L'épistémologie génétique.* Paris, Presses Universitaries de France（ピアジェ, J. 滝沢武久 (訳) (1972). 発生論的認識論 白水社）

Pinker, S. (2011). *The better angels of our nature: The decline of violence in history and its causes*. New York, NY: Penguin USA.

Pivato, M. (2012). A statistical approach to epistemic democracy. *Episteme*, *9*(02), 115-137.

Plato (1979). Protagoras. In J. Burnet (Ed.), In *Tetralogiam V-VII Continens (Platonis Opera, Vol. 3)*. Oxford: Oxford University Press (Original work published in B.C 4c)（プラトン　中澤務 (訳) (2010).　プロタゴラス　光文社）

Pleskac, T. J., & Hertwig, R. (2014). Journal of Experimental Psychology : General Environment Ecologically Rational Choice and the Structure of the Environment.

Rauhut, H., & Lorenz, J. (2011). The wisdom of crowds in one mind: How individuals can simulate the knowledge of diverse societies to reach better decisions. *Journal of mathematical Psychology*, 55(2), 191-197.

Regenwetter, M. (2009). Perspectives on preference aggregation. *Perspectives on Psychological Science*, *4*(4), 403-407.

Regenwetter, M., Dana, J., & Davis-Stober, C. P. (2011). Transitivity of preferences. *Psychological Review*, *118*(1), 42–56.

Regenwetter, M., & Davis-Stober, C. P. (2012). Behavioral variabilities of choices versus structural inconsistency of preferences. *Psychologial Review*, *119*(2), 408–416.

Regenwetter, M., & Grofman, B. (1998). Approval voting, Borda winners, and Condorcet winners: Evidence from seven elections. *Management Science*, *44(*4), 520-533.

Regenwetter, M., Grofman, B., & Marley, A. A. (2002). On the model dependence of majority preference relations reconstructed from ballot or survey data. *Mathematical Social Sciences*, *43*(3), 451-466.

Regenwetter, M., Grofman, B., Marley, A., & Tsetlin, I. (2006). *Behavioral social choice*. Cambridge : Cambridge University Press.

Regenwetter, M., Grofman, B., Popova, A., Messner, W., Davis-Stober, C. P., & Cavagnaro, D. R. (2009). Behavioural social choice: a status report. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *364*(1518), 833-843.

Regenwetter, M., Ho, M. H. R., & Tsetlin, I. (2007). Sophisticated approval voting, ignorance priors, and plurality heuristics: a behavioral social choice analysis in a Thurstonian framework. *Psychological review*, *114*(4), 994.

Regenwetter, M., Kim, A., Kantor, A., & Ho, M. H. R. (2007). The unexpected empirical consensus among consensus methods. *Psychological Science*, *18*(7), 629-635.

Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge, by Hans Reichenbach.*. University of Chicago Press.

Reichenbach, H. (1956). *The direction* of time. University of California Press, Berkeley.

Rieskamp, J., & Dieckmann, A. (2012). Redundancy: Environment structure that simple heuristics can exploit. In P. Todd & G. Gigerenzer, the ABC Research Group (Eds.), *Ecological rationality: Intelligence in the real world* (pp. 187–215). New York: Oxford University Press.

Riker, W. H. (1982). *Liberalism against populism: A confrontation between the theory of democracy and the theory of social choice*. San Francisco: Freeman.

Risse, M. (2004). Arguing for Majority Rule. *Journal of Political Philosophy*, *12*(1), 41–64.

Rogers, S., Kadar, E., & Costall, A. (2005). Gaze patterns in the visual control of straight-road driving and braking as a function of speed and expertise. *Ecological Psychology*, *17*, 19–38.

Rosenthal, R. (1973). Estimating effective reliabilities in studies that employ judges' ratings. *Journal of clinical psychology*, *29*(3), 342-345.

Rousseau, J.-J. (1762). Du contrat social: ou principes du droit politique. Amsterdam, The Netherlands: Rey. （ルソー J-J. 中山元 (訳) (2008). 社会契約論／ジュネーブ　光文社）

Ruckstuhl, K. E., & Neuhaus, P. (2002). Sexual segregation in ungulates: a comparative test of three hypotheses. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *77*(01), 77-96.

Runciman, W. G., & Sen, A. K. (1965). Games, justice and the general will. *Mind*, *74(*296), 554-562.

Sadurski, W. (2008). Legitimacy, Political Equality, and Majority Rule. *Ratio Juris*, *21*(1), 39–65.

Sah, R. K., & Stiglitz, J. E. (1986). The Architecture of Economic Systems: Hierarchies and Polyarchies. *American Economic Review*, *76*(4), 716–27.

Sasaki, T., Granovskiy, B., Mann, R. P., Sumpter, D. J., & Pratt, S. C. (2013). Ant colonies outperform individuals when a sensory discrimination task is difficult but not when it is easy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(34), 13769-13773.

Saunders, B. (2010). Why Majority Rule Cannot Be Based only on Procedural Equality. *Ratio Juris*, *23*(1), 113–122.

沢田善太郎 (2004). コンドルセ 『多数決論』 の研究: 陪審定理と啓蒙思想. 現代社会学, (5), 3-24.

Schwartzberg, M. (2014). Epistemic Democracy and Its Challenges. *Annual Review of Political Science*, *18*(1), 150306100817003.

Seeley, T. D. (2010). *Honeybee democracy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Soll, J. B., & Larrick, R. P. (2009). Strategies for revising judgment: how (and how well) people use others' opinions. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *35*(3), 780–805.

Sorkin, R. D., West, R., & Robinson, D. E. (1998). Group Performance Depends on the Majority Rule. *Psychological Science*, *9*(6), 456–463.

Spiekermann, K., & Goodin, R. E. (2012). Courts of many minds. *British Journal of Political Science*, *42*(03), 555-571.

Stasser, G., Titus, W. (1985). Pooling of unshared information in group decision making: Biased information sampling during discussion. J*ournal of Personality and Social Psychology. 48*(6) 1467–1478.

Steinberg, J. (2010). Benedict Spinoza: Epistemic Democrat. *History of Philosophy Quarterly*, *27*(2), 145-164.

Stevenson, H. (2016). The Wisdom of the Many in Global Governance: An Epistemic-Democratic Defense of Diversity and Inclusion. *International Studies Quarterly*, 60(3), 400-412.

Stroop, J. R. (1932). Is the judgment of the group better than that of the average member of the group?. *Journal of experimental Psychology*, *15*(5), 550.

Sueur, C. (2012). Viability of decision-making systems in human and animal groups. *Journal of Theoretical Biology*, *306*, 93–103.

Sumpter, D. J. T., & Pratt, S. C. (2009). Quorum responses and consensus decision making. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *364*(1518), 743–53.

Sunstein, C. R. (2002). The law of group polarization. *Journal of political philosophy*, *10*(2), 175-195.

Sunstein CR, Hastie R (2008) Four failures of deliberating groups. *University of Chicago Law and Economics, Olin Working Paper No.401*.

Sunstein CR, Hastie R. 2015. *Wiser: Getting Beyond Groupthink to Make Groups Smarter*. Cambridge, MA:Harvard Univ. Press

Surowiecki, J. (2004). *The wisdom of crowds.* New York, NY: Doubleday.

Szpiro, G.G. (2010). *Numbers Rule. The Vexing Mathematics of Democracy, from Plato to the Present*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Tanner Jr, W. P., & Swets, J. A. (1954). A decision-making theory of visual detection. *Psychological review*, 61(6), 401.

Tetlock, P., & Mellers, B. (2014). Judging political judgment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(32), 11574–11575.

富山慶典．1998．陪審定理とその展開−決定規則設計問題への新たなアプローチー．数理科学，425，69-76.

Tusche, A., Böckler, A., Kanske, P., Trautwein, F. M., & Singer, T. (2016). Decoding the Charitable Brain: Empathy, Perspective Taking, and Attention Shifts Differentially Predict Altruistic Giving. *The Journal of Neuroscience*, *36*(17), 4719-4732.

豊川航・亀田達也. (2013). ヒトと動物の 「集団意思決定」をつなぐ. 動物心理学研究, 63(2), 107-122.

Uexküll, von J. & Kriszat, G.(1970). Streifzüge durch die umwelten von tieren unf menschen. Main: Fischer Verlag. （ユクスキュル, J. ・クリサート, G. 日高敏隆・野田保之 (訳) (1978) 生物からみた世界 思索社）

Vermeule, A. (2005). Selection Effects in Constitutional Law. *Virginia Law Review*, 953-998.

Vermeule, A. (2009). *Law and the Limits of Reason*. Oxford: Oxford University Press.

Von Glasersfeld, E. (1995). *Radical Constructivism: A Way of Knowing and Learning. Studies in Mathematics Education Series: 6*. Bristol, PA: Falmer Press

Vul, E., & Pashler, H. (2008). Measuring the Crowd Within: Probabilistic Representation Within Individuals. *Psychological Science.*, *19*(7), 645–647.

Waldron, J. (1995). The wisdom of the multitude: Some reflections on Book 3, Chapter 11 of Aristotle's Politics. *Political Theory*, 23(4), 563-584.

Wallis, K. F. (2014). Revisiting Francis Galton's Forecasting Competition. *Statistical Science*, *29*(3), 420–424.

Watanabe, T., Takezawa, M., Nakawake, Y., Kunimatsu, A., Yamasue, H., Nakamura, M., … Masuda, N. (2014). Two distinct neural mechanisms underlying indirect reciprocity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(11), 3990–3995.

Whitehouse, H. (2013). Three Wishes for the World. *Cliodynamics: The Journal of Theoretical and Mathematical History*, *4*(2).

Wolf, M., Kurvers, R. H., Ward, A. J., Krause, S., & Krause, J. (2013). Accurate decisions in an uncertain world: collective cognition increases true positives while decreasing false positives. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *28*0(1756), 20122777.

The World Bank. (2015) World Development Indicators. Retrieved 24 August 2015, from http://data.worldbank.org/products/wdi

van den Bos, R., Jolles, J. W., & Homberg, J. R. (2013). Social modulation of decision-making: a cross-species review. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*(June), 301.

World Health Organization. (2015) Global Health Observatory (GHO) data. Retrieved 24 August 2015, from http://www.who.int/gho/en/

Weymark, J. A. (2015). Cognitive Diversity, Binary Decisions, and Epistemic Democracy. *Episteme*, *12*(4), 497–511.

山田秋澄 (2016). 討論は集団の合理性を高めるのか？- discursive dilemma 状況における実験的検討 - 北海道大学文学部卒業論文

Zajonc, R. B. (1962). A Note on Group Judgements and Group Size. *Human Relations*, *15*(2), 177–180.

Zajonc, R. B. (1965). Social Facilitation. *Science* 149(3681): 269–74.

付録 A：第 4 章実験 A

実験に用いた刺激リスト

A 2-3:　音楽課題

A 4-5:　映画課題

A 6-7:　俳優課題

A 8-9:　元素課題

A 10-11:　アニメ課題

第 4 章 実験 A　音楽課題で用いた刺激リスト

選択肢 1	選択肢 2
キラキラ / 小田和正	キヲク / Every Little Thing
愛のうた~ピクミンのテーマ / ストロベリーフラワー	FLOATIN' / CHEMISTRY
Hey!みんな元気かい? / Kinki Kids	カナシミブルー / Kinki Kids
Mugen / ポルノグラフィティ	東京 / 桑田佳祐
マルシェ / KICK THE CAN CREW	ミニモニ。ひなまつり! / ミニモニ。
熱き鼓動の果て / B'z	花唄 / TOKIO
恋の歌謡日 / ゆず	桃色片思い /松浦亜弥
蒲公英-たんぽぽ- / 19	果てなく続くストーリー / MISIA
a song is born / 浜崎あゆみ&KEIKO	Another Days / w-inds.
亜麻色の髪の乙女 / 島谷ひとみ	WILL / 中島美嘉
12 月の Love song / Gackt	One More Dream / SPEED
そうだ! We're ALIVE / モーニング娘。	PIKA☆NCHI / 嵐
Any / Mr.Children	a Day in Our Life / 嵐
またここであいましょう/GLAY	It takes two / CHEMISTRY
SAMURAIDRIVE / hitomi	トモダチ / ケツメイシ
Feel your breeze / V6	FANTASIA / Dragon Ash
VALENT I / BOA	忘れないから / Gackt
Way of Difference / GLAY	大切なもの / ロードオブメシャー
幸せについて本気出して考えてみた / ポルノグラフィティ	Life goes on / DragonAsh
眠れない夜は君のせい / MISIA	Feel Fine! / 倉木麻衣
ALWAYS(A SONG FOR LOVE) / J-FRIENDS	アンセム~2002FIFA WORLD CUP / ヴェンゲリス
君を探してた~New Jersey United~ / CHEMISTRY	H/浜崎あゆみ
SAKURA ドロップス /宇多田ヒカル	INVOKE/T.M.Revolution
アイ~ン体操 / バカ殿様とミニモニ姫。	逢いたい気持ち/GLAY
ムーンライト/くず	traveling/宇多田ヒカル
きよしのズンドコ節 / 氷川きよし	美しく燃える森 / 東京スカパラダイスオーケストラ
Do it! Now / モーニング娘。	freebird / SMAP
ミニハムずの唄 / ミニモニ。	王子様と雪の夜 / タンポポ

ぴったりしたい X'mas! / プッチ	島唄 Shima Uta / THEBOOM
おやすみなさい / aiko	ワダツミの木 / 元ちとせ
Because of you / w-inds.	So Tell Me / Heartsdales
君が好き / Mr.Children	STARS / 中島美嘉
街 / 堂本剛	大きな古時計 / 平井堅
涙そうそう/夏川りみ	Winter Bell / 倉木麻衣
SONS OF THE SUN / 麻波 25	白い恋人達 / 桑田佳祐
Daybreak / 浜崎あゆみ	Voyage / 浜崎あゆみ
angel's tale / hyde	STAND BY YOU ! / SHAKA LABBITS & 175R
恋のマイレージ / RAGFAIR	二人のアカボシ / キンモクセイ
ナイスな心意気 / 嵐	光 / 宇多田ヒカル
Free & Easy / 浜崎あゆみ	Confession / hiro

第 4 章 実験 A　俳優課題で用いた刺激リスト

選択肢 1	選択肢 2
アバター (2009)	カール爺さんの空飛ぶ家 (2009)
ハリポッターと炎のゴブレット (2005)	メイ・イン・ブラック (1997)
アイ・アム・レジェンド (2007)	モンスターズ・インク (2001)
ダークナイト (2008)	E.T 2th Anniversary (2002)
スター・ウオーズ　ジェダイの帰還 (1983)	マダガスカル 2 (2008)
マダガスカル (2005)	Avatar: Special Edition (2010)
パイレーツ・オブ・カリビアン	怪盗グルーの月泥棒 (2010)
デットマンズ・チェスト (2006)	
インディ・ジョーンズ　クリスタル・スカルの王国 (2008)	ホーム・アローン (1990)
アリス・イン・ワンダーランド (2010)	スパイダーマン 3 (2007)
トランスフォーマー (2007)	ナイト・ミュージアム (2006)
トイ・ストーリー2 (1999)	アラジン (1992)
カンフー・パンダ (2008)	ハリーポッターと不死鳥の騎士団 (2007)
塔の上のラプンツェル (2010)	フォレストガンプ　一期一会 (1994)
スター・ウオーズ　シスの復讐 (2005)	シュレック (2001)
トロイ (2004)	ファンディング・ニモ (2003)
シックス・センス (1999)	アルマゲドン (1998)
ミート・ザ・ペアレン 2 (2004)	ロード・オブ・ザ・リング　二つの塔 (1998)
タイタンの戦い (2004)	2012 (2009)
マンマ・ミーア! (2008)	パイレーツ・オブ・カリビアン
	ワールドエンド (2007)
ハリー・ポッターと謎のプリンス (2009)	タイタニック (1997)
レミーのおいしいレストラン (2007)	ハリー・ポッターと賢者の石 (2001)
シュレック 3 (2007)	アイス・エイジ 2 (2006)
デイ・アフター・トゥモロー (2004)	スター・ウォーズ　エピソード 5
	帝国の逆襲 (1980)
シャーロック・ホームズ (2009)	Mr.インクレディブル (2004)
ヒックとドラゴン (2919)	スター・ウォーズ　エピソード 2
	クローンの攻撃 (2002)

インディ・ジョーンズ　最後の砦 (1989)

インセプション (2010)

E.T.　(1982)

トランスフォーマー 2 (2009)

天使と悪魔 (2009)

パッション (2004)

ニュームーン・トワイライト・サーガ (2009)

007　カジノ・ロワイヤル (2006)

プライベート・ライアン (1998)

プリティ・ウーマン (1990)

ダ・ヴィンチ・コード (2006)

エクリプス　トワイライト・サーガ (2010)

ゴーストニューヨークの幻 (1990)

スター・ウォーズ　新たなる希望 (1977)

ハリー・ポッターとアズカバンの囚人 (2004)

ミッション・インポッシブル 2 (2000)

マトリックス・リローデッド (2003)

ハングオーバー　消えた花ムコと

史上最悪の二日酔い (2009)

ジョーズ (1975)

ブルース・オールマイティ (2003)

ロスト・ワールド (1997)

ライオンキング (1994)

Mr. & Mrs. スミス (2005)

宇宙戦争 (2005)

スパイダーマン (2002)

スター・ウォーズ　特別編 (1997)

ツイスター (1996)

ジュラシックパーク (1993)

ハンコック (2008)

アイアンマン 2 (2010)

第 4 章 実験 A　俳優課題で用いた刺激リスト

選択肢 1	選択肢 2
中河内雅貴	伊藤隆大
兼崎健太郎	松山ケンイチ
小林俊	城田優
伊藤隆大	片山怜雄
相葉裕樹	中尾明慶
勝野洋輔	鈴木拡樹
桑野晃輔	五十嵐隼士
平岡祐太	高橋光臣
小澤亮太	加藤康起
馬場良馬	植田健
亀梨和也	加藤良輔
窪田正孝	渋谷謙人
尾嶋直哉	久保尚暉
越智貴広	古川洋介
小谷幸弘	益田圭太
八神蓮	三嶋啓介
三浦春馬	内田祐介
小谷嘉一	高橋良輔
三浦孝太	海宝直人
荒井賢太	窪田正孝
柴田将士	岡田将生
五十嵐勝弘	佐藤拓也
村上雄太	斉藤拓実
杉浦太雄	伊藤淳史
石黒英雄	久保翔
山崎裕太	馬場良馬
熊本野映	水田航生
瑛太	高島良介
細貝圭	広瀬剛進
山田親太朗	齋藤遼

松本竜一	高良健吾
小出恵介	載寧龍二
橋本淳	窪塚俊介
汐崎アイル	村野友希
細山田隆人	山田孝之
森本亮治	田上尚樹
滝口幸広	田中幸太朗
大和田健介	上森寛元
与座重理久	川久保拓司
綾野剛	山田裕貴

第 4 章 実験 A　元素課題で用いた刺激リスト

問題	選択肢 1	選択肢 2
Ni の原子番号は?	34	28
Lr の原子番号は?	103	73
Al の原子番号は?	44	13
Eu の原子番号は?	102	63
Ti の原子番号は?	92	22
Xe の原子番号は?	54	64
La の原子番号は?	67	57
Ir の原子番号は?	77	4
He の原子番号は?	2	3
Rh の原子番号は?	45	38
Sb の原子番号は?	81	51
Bi の原子番号は?	94	83
Nb の原子番号は?	41	30
Lu の原子番号は?	79	71
Fe の原子番号は?	26	69
F の原子番号は?	22	9
Cs の原子番号は?	39	55
O の原子番号は?	8	6
Db の原子番号は?	18	105
Tc の原子番号は?	43	27
Yb の原子番号は?	70	106
Ra の原子番号は?	104	88
Cd の原子番号は?	48	60
Es の原子番号は?	99	103
Si の原子番号は?	14	7
Cl の原子番号は?	12	17
Hf の原子番号は?	109	72
Po の原子番号は?	84	76
Zn の原子番号は?	16	30
Mg の原子番号は?	12	74

Ce の原子番号は?	58	61
Li の原子番号は?	66	3
P の原子番号は?	15	100
B の原子番号は?	10	5
U の原子番号は?	32	92
Na の原子番号は?	11	85
Cu の原子番号は?	42	29
Br の原子番号は?	35	59
Cf の原子番号は?	52	98
Zr の原子番号は?	40	49

第 4 章 実験 A　声優課題で用いた刺激リスト

問題	選択肢 1	選択肢 2
「明日のナージャ」の「ナージャ・アップルフィールド」の声優は?	小清水亜美	山崎 みちる
「攻殻機動隊 STAND ALONE COMPLEX」の「草薙素子」の声優は?	田中 敦子	後藤邑子
「BAMBOO BLADE」の「石田虎侍」の声優は?	辻谷耕史	小西克幸
「デュララララ!!」の「セルティ・ストゥルルソン」の声優は?	高乃 麗	沢城みゆき
「ヒカルの碁」の「進藤ヒカル」の声優は?	坂本 千夏	川上 とも子
「交響詩篇エウレカセブン」の「レントン・サーストン」の声優は?	飯塚 雅弓	三瓶由布子
「NARUTO -ナルト-」の「うずまきナルト」の声優は?	沢城みゆき	竹内 順子
「BLOOD THE LAST VAMPIRE」の「小夜」の声優は?	工藤夕貴	名塚佳織
「ジョジョの奇妙な冒険」の「空条承太郎」の声優は?	小杉十郎太	津田健次郎
「はじめの一歩」の「幕之内一歩」の声優は?	平川大輔	喜安浩平
「カウボーイビバップ」の「スパイク・スピーゲル」の声優は?	山寺宏一	中村悠一
「マクロス F」の「早乙女ハルト」の声優は?	中井和哉	中村悠一
「コードギアス 反逆のルルーシュ」の「ルルーシュ・ランペルージ」の声優は?	大川 透	福山潤
「ドラゴンボール」の「孫悟空」の声優は?	野沢雅子	横山 智佐
「名探偵コナン」の「江戸川 コナン」の声優は?	高山みなみ	林原めぐみ
「地獄先生ぬ～べ～」の「鵺野鳴介」の声優は?	置鮎龍太郎	小山 力也
「のだめカンタービレ」の「野田 恵」の声優は?	野中藍	川澄綾子
「BLEACH」の「黒崎一護」の声優は?	森田成一	吉野 裕行
「金田一少年の事件簿」の「金田一一」の声優は?	平川大輔	松野太紀
「荒川アンダー ザ ブリッジ」の「ニノ」の声優は?	坂本真綾	井上 麻里奈
「創聖のアクエリオン」の「アポロ」の声優は?	寺島拓篤	風間 勇刀
「DARKER THAN BLACK -黒の契約者-」の「黒」の声優は?	木内 秀信	松本 保典
「SLAM DUNK」の「桜木 花道」の声優は?	うえだ ゆうじ	草尾毅
「シャーマンキング」の「麻倉 葉」の声優は?	山口 眞弓	佐藤 ゆうこ
「サイボーグ 009」の「島村ジョー」の声優は?	櫻井 孝宏	三木眞一郎
「MADLAX」の「マドラックス」の声優は?	小林 沙苗	水橋かおり
「夏目友人帳」の「夏目 貴志」の声優は?	前田剛	神谷浩史

「機動戦士 Z ガンダム」の「カミーユ・ビダン」の声優は?	大塚芳忠	飛田展男
「ローゼンメイデン」の「真紅」の声優は?	沢城みゆき	小見川 千明
「魔法少女まどか☆マギカ」の「鹿目 まどか」の声優は?	豊崎愛生	悠木碧
「あしたのジョー」の「矢吹丈」の声優は?	松野太紀	あおい輝彦
「機動戦士ガンダム 0083 スターダストメモリー」の「コウ・ウラキ」の声優は?	堀川亮	檜山修之
「マクロス 7」の「熱気バサラ」の声優は?	林延年	福山潤
「デジモンアドベンチャー」の「八神 太一」の声優は?	小西克幸	藤田 淑子
「美少女戦士セーラームーン」の「月野うさぎ」の声優は?	阿澄 佳奈	三石琴乃
「魔人探偵脳噛ネウロ」の「脳噛 ネウロ」の声優は?	山口 勝平	子安武人
「サムライチャンプルー」の「ムゲン」の声優は?	中井和哉	中村悠一
「レベル E」の「バカ=キ=エル・ドグラ」の声優は?	関 智一	浪川大輔
「TIGER & BUNNY」の「鏑木・T・虎徹」の声優は?	平田広明	高橋広樹
「HELLSING」の「アーカード」の声優は?	中田譲治	荻原聖人

付録 B：第 4 章実験 B

実験に用いたインストラクション

およびデータの説明文章

B 2-6:　インストラクション：サッカー課題フィーバックあり条件

B 7-11:　インストラクション：サッカー課題フィーバックなし条件

B 12:　データの説明：サッカー課題

B 13:　データの説明：バレーボール課題

B 14-15:　データの説明：自殺率課題

実験の説明

・ 最後まで読み終わったら実験者を呼んでください。

・ 説明に関して不明な点がありましたら実験者を呼んでください。

概要

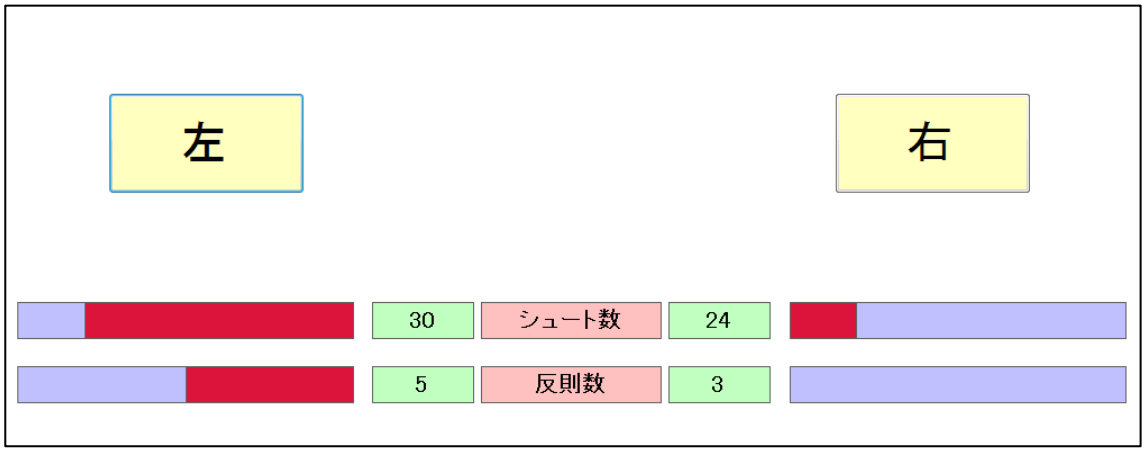
この実験では、2012 年の J1 サッカー・リーグの年間順位に基づいて作成した課題を行っていただきます。この年のJ1リーグには18チームが参加し、各チームは対戦成績に基づいて1位から18位までランキングされました。実験ではこの18チームの中から、ランダムに2チームを取り出し、どちらの年間順位が上かを判断していただきます。

ただしチーム名は表示しません。代わりに、各チームのボール支配率などのデータが表示されます。みなさんには、それらの統計データにもとづいて、どちらのチームの年間順位が上かを判断して頂きます。

問題は全部で 153 問あります。1問正答するたびに 6 円の報酬を差し上げます。不正答の場合は何も報酬はもらえません。

実験課題について

実験画面の例です。実験ではチーム名は表示されず「右・左」とのみ表示されます。その下に各チームの統計データが表示されています。実験では、各チームについて全部で6つのデータを表示しますが、ここでは架空のデータを2つだけ表示して説明します。



この例は左チームの試合ごと平均シュート数は 30、右チームは 24 であることを示しています。同様に左のチームの試合ごと平均反則数は 5、右は 3 であることを示します。

数値の左右に、横棒グラフが表示されています。これは 18 チームの中で、そのチームのシュート数の値がどれだけ高いかを示しています。具体的には、18 チームのシュート数の最大値と最小値の範囲を紫色で表現し、画面に表示されているチームの数値を赤色で表現しています。棒グラフで赤色の面積が多いほど、そのチームの数値が最大値に近いことを示しています。たとえば右のチームの反則数 3 は、18 チームの中で最小値なので赤色は表示されていません。

ここに表示したのは架空の数値とデータです。次頁で詳しく説明しますが、チームごとに 6 つの統計データが表示されます。このデータのみに基づいて、どちらのチームの年間順位が上か判断してください。

統計データについて

実験では2012年のサッカーJ1リーグに所属する全18チームの本当のデータを民間のスポーツデータ企業が集計したものを用います。年間順位を推測する上で利用できるデータは以下の６つです。

- パス
- ドリブル
- クロス
- 守備
- セーブ
- ボール支配率

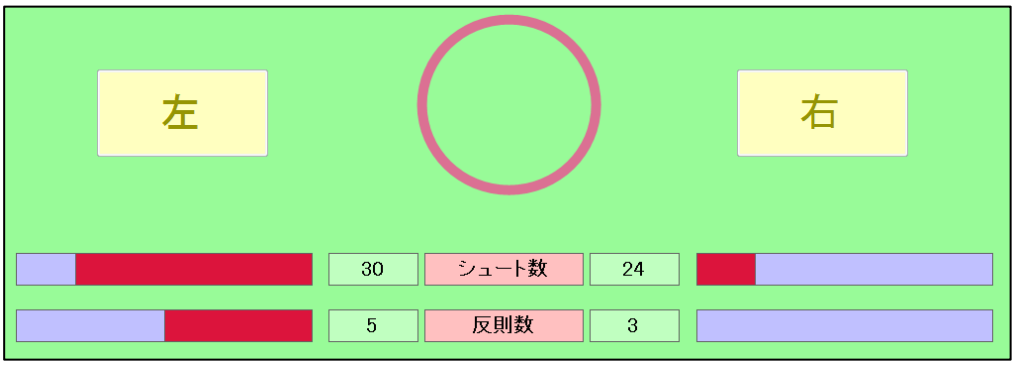
いずれも「試合ごとの平均数」を表示します。注意して欲しいのですが、表示される数値はただの回数ではありません。たとえば「パス」の場合、同じ１回のパスでも、難しい場所からのパスやシュートに結びついたパスには高い得点が与えられ、そうでないパスには低い得点が与えられます。こうして計算された特別なデータを画面に表示します（ただしボール支配率のみ、そうした処理が行われていません)。

これら６つのデータはいずれも、年間順位を予測する上で役に立つことが知られています。しかし数値が大きいほど勝利に結びつくデータと、数値が小さいほど勝利に結びつくデータが混在しています。従ってデータの大小を誤って利用すると、逆に予測正答率が下がります。どのデータがどちらに相当するのか、お知らせしません。

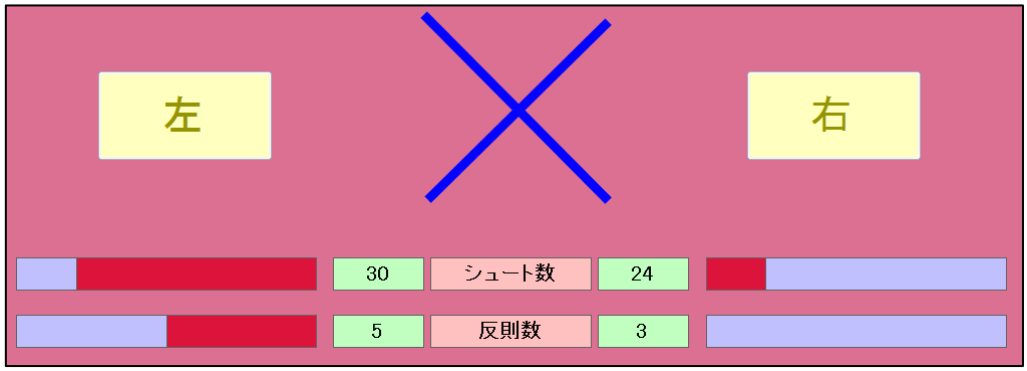
各データの詳細は、最終ページで付録として説明します。関心がある方はご覧ください。

課題のすすめ方

実験では２つのチームのうちで順位が高いと思うチームのボタンを押してください（左のチームの順位が高いと思う場合は左と書かれたボタンを押してください)。問題に正解した場合（順位の高いチームを選択した場合）は下のように表示されます。



また不正解である場合（順位の低いチームを選択した場合）は下のように表示されます。



正答するたびに６円が報酬として加算されます。不正答の場合は何ももらえません。

<u>以上で実験の説明を終わります、実験者を呼んでください</u>

実験の説明

・ 最後まで読み終わったら実験者を呼んでください。

・ 説明に関して不明な点がありましたら実験者を呼んでください。

概要

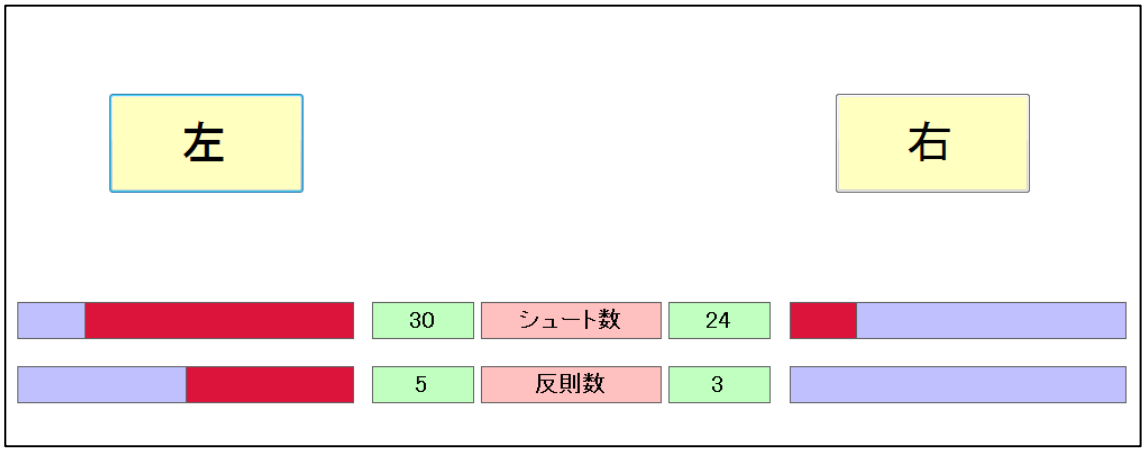
この実験では、2012 年の J1 サッカー・リーグの年間順位に基づいて作成した課題を行っていただきます。この年のJ1リーグには18チームが参加し、各チームは対戦成績に基づいて1位から18位までランキングされました。実験ではこの18チームの中から、ランダムに2チームを取り出し、どちらの年間順位が上かを判断していただきます。

ただしチーム名は表示しません。代わりに、各チームのボール支配率などのデータが表示されます。みなさんには、それらの統計データにもとづいて、どちらのチームの年間順位が上かを判断して頂きます。

問題は全部で 153 問あります。1問正答するたびに 6 円の報酬を差し上げます。不正答の場合は何も報酬はもらえません。

実験課題について

実験画面の例です。実験ではチーム名は表示されず「右・左」とのみ表示されます。その下に各チームの統計データが表示されています。実験では、各チームについて全部で6つのデータを表示しますが、ここでは架空のデータを2つだけ表示して説明します。



この例は左チームの試合ごと平均シュート数は 30、右チームは 24 であることを示しています。同様に左のチームの試合ごと平均反則数は 5、右は 3 であることを示します。

数値の左右に、横棒グラフが表示されています。これは 18 チームの中で、そのチームのシュート数の値がどれだけ高いかを示しています。具体的には、18 チームのシュート数の最大値と最小値の範囲を紫色で表現し、画面に表示されているチームの数値を赤色で表現しています。棒グラフで赤色の面積が多いほど、そのチームの数値が最大値に近いことを示しています。たとえば右のチームの反則数 3 は、18 チームの中で最小値なので赤色は表示されていません。

ここに表示したのは架空の数値とデータです。次頁で詳しく説明しますが、チームごとに 6 つの統計データが表示されます。このデータのみに基づいて、どちらのチームの年間順位が上か判断してください。

統計データについて

実験では2012年のサッカーJ1リーグに所属する全18チームの本当のデータを民間のスポーツデータ企業が集計したものを用います。年間順位を推測する上で利用できるデータは以下の６つです。

- パス
- ドリブル
- クロス
- 守備
- セーブ
- ボール支配率

いずれも「試合ごとの平均数」を表示します。注意して欲しいのですが、表示される数値はただの回数ではありません。たとえば「パス」の場合、同じ１回のパスでも、難しい場所からのパスやシュートに結びついたパスには高い得点が与えられ、そうでないパスには低い得点が与えられます。こうして計算された特別なデータを画面に表示します（ただしボール支配率のみ、そうした処理が行われていません）。

これら６つのデータはいずれも、年間順位を予測する上で役に立つことが知られています。しかし数値が大きいほど勝利に結びつくデータと、数値が小さいほど勝利に結びつくデータが混在しています。従ってデータの大小を誤って利用すると、逆に予測正答率が下がります。どのデータがどちらに相当するのか、お知らせしません。

各データの詳細は、最終ページで付録として説明します。関心がある方はご覧ください。

課題のすすめ方

実験では２つのチームのうちで順位が高いと思うチームのボタンを押してください（左のチームの順位が高いと思う場合は左と書かれたボタンを押してください)。

正答するたびに６円が報酬として加算されます。不正答の場合は何ももらえません。ただし、正答・不正答であるのかは、課題を行っている間は画面に表示されず、実験の最後に実験によって得られた合計金額が表示されます。

以上で実験の説明を終わります、実験者を呼んでください

付録：データの説明

パス：

- 味方にボールをつなぐことを意図したプレー
- 偶然味方にボールが渡る場合はパスとしてみなさない
- クロス、セットプレーは除く

ドリブル：

- 相手を抜こうとかわそうとしたプレー
- 相手がいない状態でボールを運ぶプレーはドリブルとしてみなさない

クロス：

- フィールドの左右の中盤からゴール前やペナルティエリア内を狙ってロングキックをすること
- 相手のディフェンス（守備）によってブロックされ、結果的にゴール方向にボールが飛ばなかったとしてもクロスとしてみなす
- セットプレーは除く

守備：

- 相手の攻撃に対してボールを取り返し、自チームの攻撃につなげたプレー

セーブ：

- 相手のゴールキックに対する、ゴールキーパーのキャッチまたはパンチング

ボール支配率：

- 該当するチームがボールを支配する時間が試合全体の何パーセントであるのか示したもの

付録：データの説明

バックアタック：

- 後衛のプレイヤーがアタック・ライン（コート中央から 3m の位置にひかれた線）より後方から相手コートにボールを打ち込むこと
- アタック・ラインの後方からジャンプしないとフォールト（ルール違反）となり、バックアタック得点としてカウントされない

ブロック：

・前衛のプレイヤーが相手から打ち込まれたボールをネット際でジャンプして両手・腕で壁をつくり、はね返すこと

サービスエース：

- 自分側のサーブを相手側が返球できず得点すること
- （サーブとはゲームを開始する際に球を打ち出すこと）

サーブレシーブ：

・相手陣から打たれたサーブを受ける動作

付録：データの説明

アルコール消費量：

- WHO による 2012 年の各国における 15 歳以上の 1 人当たりのアルコール消費量 (リットル)
- ①「輸出入・販売などの課税対象となったアルコールの消費量」に、②「違法・合法関わらず政府のコントロールの及ばない範囲で消費されたアルコール量の推測値」を足し合わせたものである。

人口密度：

- 世界銀行による 2012 年の各国の人口密度（国際連合食糧農業機関と世界銀行のデータに基づき算出）
- ここでの人口とは、違法であるか住民権を持っているのかに関わらずその国に暮らす住民の数である（ただし難民に関しては出身国の所属とする）。また、土地の面積には大陸棚や排他的経済水域といった水域は含めない。

経済成長率：

- 2012 年度の為替変動の影響を取り除いた現地通貨によって求められた GDP(国内総生産)の前年度からの上昇率
- GDP とは各国の経済主体が産み出した粗付加価値の合計
- データは世界銀行のウェブページから入手（情報元は世界銀行・経済協力開発機構）

主観的幸福度：

- 2012 年度、Gallup 社による主観的幸福度に関して個人ごとに回答したものを、各国で平均した
- 回答は人生についてどのように感じるのか 0-10 段階で評価したもの（0 : 起こりうる最悪な状況だと感じる、10 : 起こりうる最高な状況だと感じる）

女性の社会進出

- 2012 年の男性に対する女性の労働力の比率
- 労働力とは 15 歳以上であり、財やサービスを供給した者として定義
- データは世界銀行のウェブページから入手（情報元は国際労働機関(ILO)）

所得格差

- 2001-2013 までに CIA（アメリカ中央情報局）によって調査された各国のジニ係数
- ジニ係数とは貧富の格差を図る指標としてよく用いられるものであり、0 から 1 の範囲を取り、平等であれば 0 に近づき、不平等に近づくほど 1 に近づく指標である。そのため値の大きさが不平等の指標として用いられる