

Title	チームプレイにおける合意形成
Author(s)	BI, Yuanyuan
Citation	
Issue Date	2012-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/10444
Rights	
Description	Supervisor: 飯田弘之, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

チームプレイにおける合意形成

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

ヒツ エンエン

2012年3月

修士論文

チームプレイにおける合意形成

指導教員 飯田弘之 教授
審査委員主査 飯田弘之 教授
審査委員 池田心 准教授
審査委員 白井清昭 准教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

1010054 ヒツ エンエン

提出年月：2012年2月

概 要

合議アルゴリズムの原点となる、「三人寄れば文殊の知恵」を検証するようなグループによる問題解決は、古くから認知科学分野で行われてきた。一人で結論を出すよりも、多人数で意見を出し合っってその意見を集約することでより良い結論を導くことができれば、まさに「文殊の知恵」となる。チェス、将棋などのボードゲームにおいて、複数のプログラムに指し手を出力させ、それらの指し手の中から実際に指す手を選択する方法を「合議アルゴリズム」と呼ぶ。

チェスの分野において、Ingo は 3-Hirn システムと呼ばれる合議アルゴリズムを提案した。3-Hirn システムとは、2つのチェスプログラムと一人の人間から構成され、各プログラムが出した候補手の中から人間が指し手を選択するシステムである。彼は同程度のレーティングのチェスプログラム2つを使用し、3-Hirn システムを用いた対戦実験を繰り返した。その結果、3-Hirn システムを用いることで、単一のチェスプログラムで対戦を行う場合に比べ、レーティングにして 200 ± 50 程度の棋力の向上が見られることが分かった。このことは単体のプログラムでは選ばれなかった候補手の中に良い手が含まれていることを示している。すなわち、複数のプログラムから得た候補手のうち、最善手を選択することがレーティングの向上につながるということである。

人工知能分野において、コンピュータゲームの合議アルゴリズムに関する研究は数多く行われている。投票を行う際によく使われるのは単純多数決である。これは、一般的にイエスかノーかをはっきり選択する方法である。多数決は素早く結論を出すことができるため、投票選挙においてよく使われる。しかし、この方法は間に含まれている良い意見も排除され、妥協した結論しか出せないような状況になることも少なくない。そのため、単純多数決は合法的で合理的な方法ではあるが、必ずしも最適な方法ではない。この方法では多数の人の意見が採用され、少数の人の意見は無視されるからである。では、全員の意見が尊重される方法は存在しないのか。

ここである事象に対し、ステークホルダーの意見の一致を図る「合意形成」という方法がある。この方法であれば参加者が本心から納得できる結論を出せるため、多数決より合理的であり、公平性を持っている。合意形成するときは、参加者が意見の異なる部分について話し合い、その選択肢が不十分だと思った時は選択肢を少し変更することが可能となり、参加者間のトラブルも減らすことができる。投票システムは分析的な合意形成の過程である。

合意形成について簡単に述べてきたが、ではコンピュータチェスにおける各エンジンの価値と集団利益の関係はどうなるか。これについて本研究では合意形成の考えを用いて数学モデルを作成した。集団規模が大きければ大きいほど、各エンジンの「分け前の割合」は小さくなり、各エンジンの利益も小さくなるのがわかる。そのため、集団規模をどれだけの大きさにすれば最適な集団利益を得られるかは大切な問題である。

近年は企業や組織の経営において経営的意思決定や計画制定のための有効な手段として、線形計画モデルや階層分析法モデルを結合したものがよく使われている。また個人レベルの意思決定問題においては、AHP (Analytic Hierarchy Process : 階層分析法) が大いに役立っている。これは意思決定における問題の分析に対し、人間の主観的判断とシステムアプローチの両面からこれを決定す

る問題解決型の意思決定手法と、複雑な状況での意思決定を行うための構造化法の1つである。AHPは複雑な決定問題に取り組む集団意思決定場面で大きな効果を発揮でき、世界中で政治、ビジネス、産業、医療、教育など様々な分野の意思決定場面で利用されている。なお、この手法は“正しい”決定を下すために使われるというよりも、決定者自身にとっての必然性や理解を最もよく反映させた決定を導き出すための手法である。AHPのさらなる発展形として、より複雑な評価構造を研究したANP (Analytic Network Process)も提案されている。近年、伊藤らはコンピュータ将棋において“合議アルゴリズム”を提案し、その効果を検証した。合議アルゴリズムは複数の思考プログラムの意見をまとめて指し手を決定する手法で、疎結合マルチプロセッサにおける動作に向いている。伊藤らは合議アルゴリズム(単純多数決、楽観合議アルゴリズム及び乱数合議アルゴリズム)を用いて強豪プログラム同士(BonanzaやYSS, GPS)を連結し、より強いプログラムを作ることに成功した。その後コンピュータチェスについてもチェスプログラムCraftyに提案した合議アルゴリズムを実装し、オリジナルCraftyの自己対戦と合議を実装したCraftyの強さを比較して、チェスにおいても合議アルゴリズムを用いることの有効性を示した。このように、合議プログラムはコンピュータチェスにおいても優れた性能を示すことが確認されている。

伊藤らはこれまでに単純多数決、楽観合議アルゴリズム及び乱数合議アルゴリズムといった合議アルゴリズムを提案した。しかし、それ以外に新しい合議アルゴリズムは存在するだろうか。単純多数決は多数の人間の意見を重視し、少数派の意見を無視する傾向があるので、この方法を用いて選択された指し手は本当に公平かつ万能であるか。もっと合理的かつ公平なアルゴリズムは存在しないか。その考え方から、我々は合意形成の方法を提案した。それは異なるレーティングが近いプログラム(離れすぎると、チームのレーティングが下がる傾向がある)を選択し、各エンジンから選び出された候補にボルダ投票を用いて、最善手を選択して敵と対戦する。ボルダ投票とは投票者が候補にランクを付け、投票する選挙方式である。例えば投票者が好む候補によって順番に2点、1点、及び0点をつけて、投票する。その結果合計得点の多い候補が選ばれる。ボルダ投票は多数決の選挙方式ではなく、投票者の間で幅広い総意による支持を得た候補が選出され、世論の一致を重視した投票だとよく言われる。従って、ボルダ投票を用いることで、合意をうながすと考えることができる。

本研究では伊藤らの実験と異なり、合議アルゴリズムには三つのレーティングが違うプログラムを選び、単純多数決を用いて勝率はどれだけ上昇するかを検証する。また、それぞれのプログラムから出した指し手がどれほど採用されているかについて計算し、リーダーとメンバーの意見の採用率について分析する。

目 次

第 1 章	はじめに	1
1. 1	背景と目的	1
1. 2	本論文の構成	1
第 2 章	合意形成と投票	3
2. 1	合意形成とは	3
2. 1. 1	合意形成の問題	3
2. 1. 2	合意形成のフロー	4
2. 1. 3	合意形成の仲間の選択戦略	5
2. 2	プランニングと合意形成	6
2. 2. 1	プランニングと紛争	7
2. 2. 2	紛争と合意形成	8
2. 2. 3	話し合いでの合意形成	9
2. 3	合意形成術	10
2. 3. 1	合意形成術－合意形成の新発想	10
2. 3. 1. 1	ゲームにおける合意形成術の応用	11
2. 3. 1. 2	日本の「町づくり」における合意形成術の発想	14
2. 3. 2	合意形成プロセス	16
2. 3. 3	合意形成は「競争」から「協力」へ	18
2. 3. 4	合意形成によって期待される結果	19
2. 4	合意形成と投票	20
2. 4. 1	投票システムとは	20
2. 4. 2	簡単な投票システムの例	23
2. 4. 3	投票者の影響力とパワー指数	23
2. 4. 3. 1	シャープレイ・シュービク指数	24
2. 4. 3. 2	バンザフ指数	25
2. 4. 3. 3	勝利提携の両指数の計算方法	26
2. 4. 4	合意形成による投票の応用例	27
2. 4. 4. 1	東京都議会における各政党の影響力	28
2. 4. 4. 2	日本の衆議院及び参議院における各政党の影響力	29
2. 4. 4. 3	アメリカの大統領選挙における各州の影響力	31
2. 5	パワー指数を用いた投票者の行動分析	33
2. 5. 1	ゲームのバンドワゴン現象	33
2. 6	まとめ	34
第 3 章	合意形成術の実践的応用	35
3. 1	新しい合議アルゴリズムの存在	35
3. 1. 1	個人 VS 集団	36
3. 2	意思決定と Analytic Hierarchy Process (AHP)	38
3. 2. 1	AHP の理論	38
3. 2. 1. 2	AHP モデルと AHP における計算例	38

3. 2. 1. 2	AHP の使い方.....	41
3. 2. 1. 3	代替案の選好順序に関する検討.....	41
3. 2. 2	Analytic Network Process (ANP) と支配型 AHP.....	42
3. 3	まとめ.....	42
第 4 章	合意形成の数学モデルエラー! ブックマークが定義されていません。	
4. 1	ゲームのジャンルエラー! ブックマークが定義されていません。	
4. 2	合意形成の数学モデルエラー! ブックマークが定義されていません。	
4. 3	まとめ.....エラー! ブックマークが定義されていません。	
第 5 章	合意形成と思考ゲーム.....	48
5. 1	合意形成と合議.....	48
5. 1. 1	合議の歴史と発展.....	48
5. 1. 2	関連研究 (3-Hirn システム).....	50
5. 1. 3	思考ゲームにおける合議アルゴリズム.....	51
5. 1. 3. 1	合議アルゴリズムの種類と優劣.....	51
5. 1. 3. 2	最も簡単でよく使える合議システム (単純多数決).....	52
5. 2	合議アルゴリズムを用いたコンピュータ将棋.....	54
5. 2. 1	Bonanza を用いた将棋における実験.....	54
5. 2. 2	YSS を用いた将棋における実験.....	56
5. 2. 3	Bonanza, YSS, GPS を用いた将棋における合議実験.....	57
5. 3	合議アルゴリズムを用いたコンピュータチェス.....	58
5. 3. 1	Crafty を用いたチェスにおける実験.....	58
5. 3. 2	一手問題集の正答率の比較.....	60
5. 4. 2	レーティング 3000 同士による実験.....	61
5. 4. 3	レーティング 3200 同士による実験.....	63
5. 5	ボルダ投票を用いた合議アルゴリズムの提案.....	65
5. 6	合意形成が思考ゲームでの意思決定に与える影響.....	66
5. 7	まとめ.....	67
第 6 章	終わりに.....	68
6. 1	まとめと考察.....	68
6. 2	今後の発展.....	68
謝辞		70
参考文献		71

第 1 章 はじめに

1. 1 背景と目的

「三人寄れば文殊の知恵」というように、複数の異なる意見を参考にすることが良い意見を導き出す一つの方法であることは古くから知られている。近年はコンピュータチェス・将棋の世界でもその有効性が明らかになりつつある。合議を行うための最も簡単な方法は単純多数決であり、一般的にイエスカノーのどちらかをはっきり選択する場合が多い。そのため、中間の良い意見が排除されたまま結論を出した状況も少なくない。この手法は早く結論を出すための最も手っ取り早い方法としてよく使われるが、多数の意見を重視し、少数の意見を切り捨ててしまう性質がある。近年、合意形成という手法が投票や組織内部においてよく使われる。合意形成は議論などを通じて相互の意見の一致を図る過程のことをいう。単純多数決と異なって、合意形成は各メンバーの意思決定の透明性が求められる中で適切な決定手続きが行われている。これも企業内部で意思決定する場合、不正や違法などといった行為を防止するために不可欠なものである。

近年、伊藤らはコンピュータ将棋における単純多数決や楽観的合議、乱数合議アルゴリズムを用いて、多くの実験を行った結果、勝率が大きく上昇する傾向を示した。これらの実験と異なって、合意形成の考えから思考ゲームにおいてどのような結果が得られるか。ここで中庸で折衷的な投票方法としてボルダ投票と呼ばれる手法が提案されており、これは原則として全ての参加者の意見のある程度取り入れる性質を持っていると言う意味で公平である。そして、ボルダ投票方法は単純多数決に比べ、投票者の中で幅広い総意による支持を得た候補を選出でき、世論の一致を重視した投票だとよく言われる。しかしながらこの手法が単純多数決に対してどの程度有効であるかはわかっていない。

我々はボルダ投票のような、公平性を重視する手法が全体の意思決定を行う上でも良い影響をもたらすのではないかと考えた。一般に、意思決定の良し悪しを定量的に判断することは困難であるが、ゲームの世界では勝ち負けというわかりやすい判断材料がある。本論文では合意形成の考えから、ボルダ投票を元にした新しい合議アルゴリズムを提案する。

本研究のもう 1 つ大切なところは伊藤らの実験と異なり、合議アルゴリズムには三つのレーティングが違うプログラムを選び、単純多数決を用いて勝率はどれぐらい上昇するかを検証することである。そして、それぞれのプログラムから出した指し手がどれぐらいの採用率であるかについて計算し、チームリーダーと各チェスプログラムの指し手の採用率等について分析する。

1. 2 本論文の構成

本論文は、以下の五つの章から構成されている。

第2章では、合意と合意形成について述べる。合意形成をどのような問題に用いるか、合意形成によってどのような結果が期待できるか、また合意形成が投票にどのような影響を与えるか、シャープレイ・シュービック指数とバンザフ指数が投票者の影響力とパワー指数にどれほどの影響をもたらすかなどを説明する。そして、簡単な例を挙げて合意形成の有効性を検証する。

第3章では、新たな合意形成モデルについて説明する。近年発展してきたAHP(階層分析法)は、総合評価と評価基準、代替案の3階層を通して選択肢の要素を比較して、一番良い結果を選出する。この方法は個人の意思決定時に大いに役立つが、複雑な決定問題で大きな効果を発揮できる。このため、さまざまな分野で非常に高いパフォーマンスを示す。

第4章では、コンピュータチェスにおける合意形成の数学モデルを構築する。その数学モデルにより、最適な集団規模を求めることの重要性が理解できる。

第5章では、合議アルゴリズムの発展と思考ゲームにおける効果について説明する。Ingoが「3-Hirnシステム」を提案し、チェスにおいて多くの実験を行った結果、レーティングは200程度上がった。その後合議アルゴリズムは発展し、様々な思考ゲームに適用された。伊藤らは合議アルゴリズムを用いたコンピュータ将棋とチェスでその有効性を検証した。本研究ではコンピュータチェスにおいて異なるプログラムを用いた合議アルゴリズムを提案し、各種実験を行った。また、ボルダ投票を用いて合意形成のパフォーマンスを向上させる合議アルゴリズムを思考ゲームに適用することを提案した。

最後に、第6章でまとめと今後の発展について述べる。

第2章 合意形成と投票

本章では合意形成についての紹介と、合意形成と投票の関係について述べる。また、合意形成による投票のいくつかの例を提示し、その影響力について考察する。

ここでは「合意」と「合意形成」という言葉の定義について述べる。合意形成が人間の決断にどのような影響を与えるか、合意形成を行う際に選んだ仲間によって他のメンバーとの間にどのような利害関係が発生するかなどの問題について述べる。

2.1 合意形成とは

本研究ではこれらの考え方に従い、「合意」は集団の「状態」を、「合意形成」は集団の状態が合意に至る「過程」を指すものと捉えることにする。

2.1.1 合意形成の問題

合意 (consensus) とは当事者双方の意思が一致することを指す。合意があれば互いに遂行する義務が発生するが、合意がない場合には何の義務も発生しない^[1]。合意は、各人がすべての利害関係者の関心・懸念を満たすために、あらゆる努力の後になされた提案を受け入れることに同意するとき達成される。

合意形成 (consensus building) とはある事象に対して、ステークホルダー (利害関係者) の意見の一致を図ること^[1]である。特に議論などを通じて関係者の根底にある多様な価値を顕在化させ、相互の意見の一致を図る過程のことをいう。ここでステークホルダーは、企業、行政、NPO など、あらゆる組織・団体で起こりうる^[1]。

前述のように、「合意」は「状態」であり、「合意形成」は「過程」として存在している。合意形成研究会 (合意形成を研究する研究者や学生などで構成された合意形成マネジメント協会である) も「合意形成研究会マニフェスト」において、『合意』を『人々がコミュニケーションを媒介してある命題を相互承認していること』であり、『合意形成』を合意をめぐる人々が展開するコミュニケーション過程である。^[2]と暫定的に定義しており、「合意」を「状態」、 「合意形成」を「過程」として理解していることが分かる。

では、合意形成はどのような問題を含むか。例として、ゴルフ場の計画を考えてみる。利害関係者は政府、地方自治体、ゼネコン、地域住民などからなる。ゴルフ場建設については、政府や地方自治体やゼネコンやゴルフ場建設事業主が賛成する (利益が得られる、また、旅行業も発展していく可能性がある) 一方で、地域住民がこの建設に対して反対運動を起こす (一部の居住区や、環境を破壊する可能性がある)。このようなときに、両者は対話を通じてゴルフ場建設の合意形成を行わないといけない。

合意形成にあたって、意見の一致とは必ずしも全員一致を意味するのではな

い。もちろん、まれに全員の意見が一致する場合もあるが、一部に反対する人々が存在するのが普通である。賛成する人と反対する人の割合はさまざまである。例えば、反対者が過半数であれば、合意には至らない。反対者が1%ならば、常識的には合意が成立したとみなされる。では、反対者が30%、あるいは10%の場合はどうか。こういった問題は賛成者ないし反対者の数の問題であり、賛成者と反対者の対話を通じて反対者を納得させることができれば、合意に至ることができる。いかにして賛成者の数を増やし、反対者の数を減らすかが合意形成のポイントである。

2. 1. 2 合意形成のフロー

ある事象を見ると、利害関係者による意見にもたくさんの選択肢がある。個人の意思決定とは、複数の選択肢から自分の考えに合ったものを選び(情報の認知)、利益をもらえる結論を導き出し(態度)、実行する(行動)という一連の流れのことである。ここでいう「情報の認知」とは、複数の選択肢から価値判断や評価を考察して、もっと深い理解を得ることである。「態度」とは、情報の認知によって得られた価値判断や評価を持って“賛成－反対”や“有利－不利”といった何らかの行動を起こす準備状態を表している。「行動」とは、情報の認知や態度の工程で得た結果をもとにして、最後の決定を出すことをいう。

グループやメンバー間の意思決定とは、個人の意思決定が、グループやメンバーの間で“同調”や“反発”、“譲歩”といった影響を受けながら合成されたものと考えられ、そのプロセスを合意形成と捉えることができる。

また、人間は何らかの決定を下す場合、公正で合理的な状況で判断するのが普通である。逆に言えば、人々が決定手続きのプロセスを公正だと感じなければ、決定された結果の如何には関係無く、その決定には賛成できない。本心から納得できる状況下ならば、安心して賛成できる。

合意形成では、事実よりも全ての参加者の意見を大切にすべきである。参加者にとって会議の内容が公開化され、自分の権利と利益も保障されていることは基本である。与えられた情報をまとめて、施策内容を制定できる。最終的に決定した施策の情報はメンバー間で共有され、コミュニケーションによって各メンバーの意見などが反映されていることが大切である。メンバーの間で互いに意見と考え方を共有してこそ、会議の内容を充実させて納得できる結論を出せる。加えて、利害関係者も施策の各実行段階を全面的に把握できる。

詳しい過程を図 2-1-1 に示す。

【個人の意思決定の仕組み】

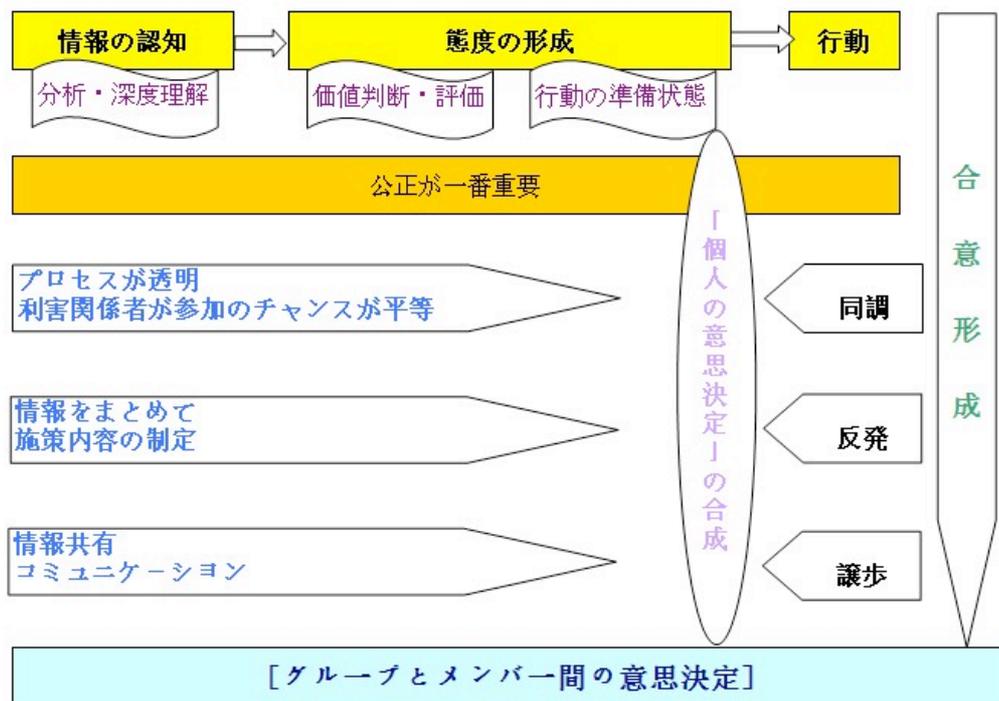


図 2-1-1 合意形成のフロー

グループとメンバー間がある意思決定を下す時、まず個人の該当問題について把握して分析・深度理解といった情報の認知を行う。次に、自分の経験によって判断を出して行動する。グループの各人の身分は平等で会議の内容も公開され、情報も共有される。この過程でほかの参加者の意見を聞いて、同調か反発か、譲歩するか、また新しい意見を出すか。こういった流れを繰り返す、何回もコミュニケーションを重ねることで、合意形成になる。その結果がグループとメンバー間の意思決定、つまり合意である。

2. 1. 3 合意形成の仲間の選択戦略

合意形成を行う上で、参加メンバーを選択するのは非常に重要である。ここでは、合意形成の仲間の選択について述べる。

例えば、今の社会は世界金融危機による経済不景気の状況下で、新卒の学生にとってはとても厳しくなった。自分の抱負を持っているなら、自分の会社を作ったらどうだろうか。もちろん、自身の力だけでは弱く、資金も足りない。そこで、同じ考えを持っている仲間と一緒にやれば成功する可能性が大きくなる。仲間の選択について、以下の条件は不可欠である。

1. 考えが一致: 作りたい会社はどの業務を経営するか、規模はどれぐらいか、ある領域に対してどれぐらい了解するかなどの大きな面で、仲間の意見は一致しているべきである。
2. 会社の取引先: 会社ができて、お客様がいなければ失敗と一緒にある。そのため、自分の製品をどのようにすれば人気が出るかをリーダーから社員まで

考える必要がある。会社内部の仲間の中で情報を公開して、共同の利益のために頑張る必要がある。

3. 仲間の性格：この条件はそんなに大切ではないと考える人もいる。しかし、人間は自分と気が合う人と一緒に仕事をやったら、半分の労力で倍の成果を上げることができる。

上記のように、仲間の選択によって、会社が成功するかどうかに関係がある。ここから合意形成の方法を用い仲間の選択について述べる。

仲間の選択については、誰が「友」か、誰が「敵」かを決定する戦略として、エージェント自身(以下「私」という)に向けられた行為の内容を元にして、その行為者が「友」または「敵」であるかを決めるのが自然であろう。つまり、各エージェントは他者全員のすべての行為を知る必要はなく、自身に直接向けられた行為だけを知っていればよい。猪原は『「私」に向けられた行為に着目する戦略を「私の経験に基づく友人選別戦略」(My-experience-based Friend Selection Strategies :MFSSs)、「私」と「友」を元にした戦略を「我々の経験にもとづく友人選別戦略」(Our-experience-based Friend Selection Strategies:OFSSs)とする』と述べている^[1]。

次に、MFSSs と OFSSs を具体的に定義する。MFSSs の場合、「私」を助けた他者を「友」とみなすか「敵」とみなすか、また「私」を助けなかった他者を「友」とみなすか「敵」とみなすか、理論的には以下の戦略が考えられる。

① me-ALL_D：「私」に関係してきたエージェントを誰でも「敵」とみなす戦略

② me-TFT (Tit For Tat)：「私」を助けたエージェントを「友」とみなし、助けなかったエージェントを「敵」とみなす戦略

③ me-CWD (Coward)：「私」を助けたエージェントを「敵」とみなし、助けなかったエージェントを「友」とみなす戦略

④ me-ALL_C：「私」に関係してきたエージェントを誰でも「友」とみなす戦略

⑤ 「私」にそもそも関係がなかったエージェントに対しては、すでにもっている「友」「敵」の認識をそのまま維持する。

上記の me-ALL_D, me-TFT, me-ALL_C は、繰り返し囚人のジレンマ・ゲームの解である。me-CWD はチキン・ゲームのナッシュ解に相当する戦略である。上記 MFSSs の定義中の「私」を「我々」に置き換えることで、OFSSs の各種戦略を得ることができる。

2. 2 プランニングと合意形成

本章は主にプランと合意形成の関係を紹介する。いかにいいプランを制定すれば、もっと合意形成を達成できるかについて述べる。

2. 2. 1 プランニングと紛争

人間はどのようなことをやるときでも必ず先にプランを制定する。それは複雑な計画に限らず、「こうしたいときにはどうすればよいか」というリストを心に持っている。もちろん計画しても状況は常に変化する。全く計画の通りに実行できなくても、多くの場合は満足な結果が達成できる。プランニングは通常個人単位で行われるが、公共的なプランニングでは、社会の構成員それぞれの利害がぶつかったり、多様な価値観や利益の対立が生じたりして、紛争になることがよく見られる。紛争解決にはステークホルダー間で合意をする必要がある。

プランニングというのは何だろうか。人間はやりたいことを目標として、過去の経験と現実の状況から予測し考えてから、制定した目標を達成するために、いくつかの代替案を作成し、これらを比較評価し、一連の行動をした後に、それらをモニタリングして改善していく。このような基本的なプロセスがプランニングの定義である。また、プランニングの対象に国家の政策と方針と法律など条件を含むものをポリシープランニング(Policy Planning)という^[1]。そして、計画を実行する順番、具体的な個別事業もプランニングの対象となり、これはプロジェクトプランニング(Project Planning)と称される^[1]。社会的な意思決定は個人の意思決定と異なり、理念的には主に国家の政策、方針、計画、事業の順に進むが、いずれもプランニングの対象である。プランニングは想像力と創造力をもった人間ならではの能力で、将来の目標を計画として形成し、その目標を達成するために段階的に代替案を考えることである。科学技術が発達した現代でも、人間のプランニングの能力によって、もっと社会の発展を推進できると信じられている。

プランニングの制定は簡単ではない。通常、プランニングを作成する際にはさまざまな条件の制限を受ける。法律を守り、国家の方針・方策に沿い、安全を確保して作成する必要がある。

現実の状況に沿った実行可能な代替案を立てるには、資料や図画、写真などの重要なデータを収集する必要がある。そして、以前の似たプランニングを参照して、そのプランニングを実施したときに成功したか失敗したかを調べ、失敗していた場合はその原因をまとめて、あるいは成功していたならそのやり方を習って、新しいプランニングを着実に実施できるように検討することが不可欠である。成功した点から学び、失敗した点を避けることで時間とコストを大いに節約し、効率を上げられる。

すばらしいプランニングは現在の社会発展を推進するだけでなく、未来の発展に対しても大きな役割を果たす。また、国家の方針や環境の変化はプランニングの全体に対して大きな影響をもたらすことがある。従って、プランが作成できても、変わる場合もある。ここで変化に合わせて適切に調整することで、プランニングの実行に大きな影響を与えないので、社会の発展にも悪い影響をもたらさない。

プランニングにはさまざまなステークホルダーが関わり、利害や価値や利益などの対立が生じるので、紛争状態になる。プランニングにおける合意形成の難しさの根本は、不確実な将来予測にある。将来予測は今まで収集されたデー

タにより比較評価する。データを集める時、データの精度や誤差などの要素が存在しているため、分析評価は難しくなる。本来は科学的な分析で客観的に評価されるべきものだが、データによっては、いろいろな判断または評価は主観的なものが含まれている。また、あるデータを元に下した判断が将来も同じとは限らない。時間が経って経験を積み重ねるにつれ、同じ人であっても考え方が変わり、異なる判断をする場合もあるだろう。人それぞれに異なる考えや価値観、評価基準、利害関係を持つため、いつも同じ判断を出すのは不可能である。このように、プランニングは紛争の原因となる多数の複雑な要素を含んでいる。

紛争が起こった場合にどのように対処するかは大切である。話し合いの結果合意に至らない場合は最終的に多数決で決めることが多いが、近年は合意形成を目指す場合も増えてきた^[1]。

2. 2. 2 紛争と合意形成

利害関係者の意見に衝突があったとき、紛争が避けられない。そして紛争が起こった場合、早めに解決しないと予測できない事態に発展する影響をもたらす。そこで、ここでは合意形成を通じて紛争を早期に解決する方法を紹介する。合意形成とは、少なくとも2人又は2つ以上のグループが問題に対して相談し、出した意見に納得、同意して、最後の解決方法を導き出すことである。参加者が多い場合にはさまざまな検討を行い、たくさんのデータを集めて意見を出し、最終的にできるだけ多くの参加者が納得できる結論に至るプロセス全体を示す。そこで出された結論は最終的な解決案として全員に認められ、対話の内容も全員に公開されなくてはならない。ここで重要な問題はいかにしてお互いに納得できるかである。納得させるためには、その解決案が合理的で公正なものであると当事者が判断しなければならない。猪原は『参加者は「合理的公正な」を原則として、みんなは厳密な判断を出す』^[1]と述べている。

現実には、関係者の数が多くなった場合厳密に全員一致することは難しいため、全員が積極的に賛成しなくても大多数のメンバーに認められていれば全員一致とみなす場合もある。これは投票選挙のときよく見られる。また、反対が少々あっても大多数が同意すればよいという考えもある。このとき、「大多数」の定義は問題の重大さにより変わる。現実に関心意思決定を行う場合は、少数の人が反対しても多数決で決定する人が多い。また、最初から結論が用意されているような会議もしばしば見られる。会場に向かって「だれか異議がありますか」と聞いても、反対意見を持っている人がいて自分の意見を出したとすれば、否決される可能性があるかもしれない。何度も議論するからこそ、すばらしい案が生まれる可能性がある。

人間は自分より優秀なリーダーに会うと心細くなりやすい。自分は素人で、意見もつまらなくて意味がないと思ってしまう人が大勢いる。そういった人々は、リーダーのほうからはっきりとした結論を出してもらうことで導いてほしいと考える。では、リーダーが優秀であればその意見が常に最善策であるのか。もちろん、答えは否である。優秀なリーダーは総合力で普通の人より勝るから1対1の議論では強くても、最善の結論を求める場合、個人個人の知恵をまとめて合意形成を行い、最後に全員を納得させる結論を得るほうが良いと考えられる。

それはリーダーの能力を否決するのではなく、リーダーとしてもそのような結論の方が、個人の意見よりやはり集合知の力を信じられるはずである。更に独断で出した意見は心理的に嫌がられる場合が多いため、納得や賛成といった結論はほぼ不可能である。人間の能力は有限であり、完全無欠な人間はいないから、過分の自分の能力を信じ過ぎることは裏目に出るかもしれない。

2. 2. 3 話し合いでの合意形成

2.1.2節でも述べたが、合意形成ではそのプロセスが透明で「決定の公正さ」が保障されていることが、意思決定の仕組みのなかで重要な役割を果たしている。しかし現実の話し合いでは、異なる立場の人の意見が無視され、排除されることがよく見られる。例えば社内会議において「今の若い人は…」と言い出すと、若い人は社会に入ったばかりであるために社会経験が不足しており、発言権利を持っているものの、発言をしても参考意見までに至らず、あまり重視されない。また、「新入り、女性、子供は… 黙っていなさい」と言われることもある。ここで言及されている人々は社会で弱者層の人間として、同じグループにいる。彼らはちゃんと判断力を持っていても、特別な権利を持っているかのように振る舞い、弱者を軽蔑する強者層の人に黙らされる状況が多い。このような発言者は、世代や性別、学歴など異なる立場の人たちの意見を聞こうとせず、自分の意見を押し通そうとするため、合意形成できない。従って、異なる立場の人の意見も大切にすることを注意する必要がある。

また、自分の考えを何度も繰り返して発言をする人もいる。「私はこの方面の専門家だから…」、「よく知っているから…」といったような発言は、他の参加者からすれば興味を持っていない専門的な内容のため、議論を促さない。このような発言者は自分のことを過分に重視し、ほかの参加者の存在を無視する傾向があり、同様に合意形成できない。

もちろん合意形成は最終的な結論を出すことではなく、参加者が意思決定のプロセスに積極的に参加でき、充実感を得られる議論を通し、十分に納得してから満足できる結論を出すことである。多数決によって無理やりに出された結論は、本心から納得できないことも多い。

では、どのようにすれば合意形成できるだろうか。話し合いの場をかき回す問題人を黙らせようというのではない。そうした人たちにも新しい話し合いの流れを提供する方法が必要である。上で挙げたような人は、基本的に他人の説得には簡単に応じない。自ら納得しなければなかなか変わらないものである。山路は「真の合意形成は、自分と違う意見の人をへこませたり、反対する人をつぶしたりするような方法では得られない。合意形成術は、説得術でも、けんかの仲裁術でもなく、納得術なのである。論理学が一層求められる時代にふさわしい、コミュニケーション技術であるべきなのである」^[3]と述べている。

それでは真に合意形成した状態とはどのようなものだろうか。何事もイエスかノーかははっきりさせないと気が済まないアメリカでは、「Win-Win Situation」という言葉がある^[3]。これは「みんなが勝者と感じる状況」といった意味であり、意思決定の場に参加した全員が、この結果は自分が決めたのだ、自分が意思決定の主役であったのだと思える状況である。その結果は本心から納得して安心できて、満足感と達成感がもられる。このような合意形成が

真の合意形成である。

1960年代以降、アメリカにおいて代議制と多数決に頼らない、新しい合意形成の方法が研究され始めた。「アドボケイト・プランニング」、「インタラクティブ・メソッド」などといった名称のもとに、話し合いから合意形成へと至る方法が開発された。日本では「ワークショップ」、「デザインゲーム」、「参加のデザイン」などの言葉とともに開発され、「町づくり」の現場などで多くの応用例、実践例が積み重ねられてきた^[3]。

しかし、合意形成は「町づくり」の専売特許ではない。対立の発生するあらゆる状況に応用できるのが合意形成の技術である。日本は個人の意見を大切にす国家であるので、私たちが安心して住める社会を目指すのであれば、話し合いと合意形成の技術をさらに向上していくことで、社会の発展と生活の安定をより推進できる。

2. 3 合意形成術

いかに各人の知恵をまとめて、完璧な結論を出すかは大事な課題である。中国で次のような諺がある。「箸が一本だったら、折れやすい。しかし、何本もの箸をまとめれば、折れにくくなる。同様に、1人の考えや力は小さいが、みんなの知恵と力を集めることで大きな力になる」。本章ではそういった特別な考えに基づいた合意形成術及び応用例を紹介して、合意形成の有用性を見せる。

2. 3. 1 合意形成術－合意形成の新発想

人は限られた経験や偏見、習慣などに左右されて、1つの考え方しか思いつかず、その結果最初の考えを信じ込みやすい。そして、その考え方に支配される場合が多い。誰でも、自分の目で見えた物や手で触った物などを信じやすいものである。実際は、現実の生活で自分の目で見えた事でもあっても間違っている場合もある。それは人間が自分の感じや考え方を過分に信じて正しい情報を得ようとせず、表面に見えるものが間違っていることに気がつかない結果である。

人は敵と友をはっきり区別して、友人の意見には簡単に納得する一方、敵の意見は軽んじるか、強烈に反対する場合が多い。立場が異なった人の視点からは、自分とは違う何かを得られる(その異なった考えが貴重な情報であることもある)。自分の考え方が一方的なものであると分かたり(もっと自分の考えを信じている)、あるいは逆に、相手の視点も踏まえた新しい考えを作れたりするかもしれない。同時に自分の考え方に対して客観的な評価をすることができる。逆にいつも自分の世界にこだわっていると、もっと視野が狭くなってしまう。

中国の諺で「彼を知り己を知れば百戦殆からず(かれをしりおのれをしればひやくせんあやうからず)」というものがある。敵、味方の情勢を熟知して戦えば、何度戦っても敗れることはないという意味である。ここで、敵の情報を熟知してから敵と対戦するのではなく、敵と友になるべきだと私は考える。これは不思議な考えに聞こえるかもしれない。しかし、合意の意義は人の知恵を集めるところにある。人間は友人からだけでなく、敵からも同様に違う考

えを得ることで、すばらしい発想をできる可能性がある。

次節ではゲームにおける合意形成の新しいアイデアと、実際の「町づくり」での合意形成術について述べる。

2. 3. 1. 1 ゲームにおける合意形成術の応用

さまざまな意見を持った人が集まって意思を決定しなくてはならないことは、人間社会ではよくある。「三人寄れば文殊の知恵」という諺があるが、一人で結論を出すよりも、みんなで意見を出し合ってその意見を集約することでより良い結論を導くことができれば、まさに「文殊の知恵」となる。チェスの分野では、3-Hirn システムと呼ばれる合議に近い研究がなされてきた。これは2つのコンピュータチェスプログラムが別々に出した候補手から一人の強いプレイヤーが指し手を選択することである。これによって元の2つのプログラムよりレーティングにして200程度の棋力の向上が見られた^[4, 23, 24]。このことは、単体のプログラムでは選ばれなかった候補手の中に良い手が含まれていることを示している。重要な点は、この中から上手く手を選択すれば次の一手としてより良い手が得られるということである。この候補手の中からプログラムを用いて良い手を選択する方法が「合議アルゴリズム」と呼ばれている。図2-3-1に合議システムを図示する。

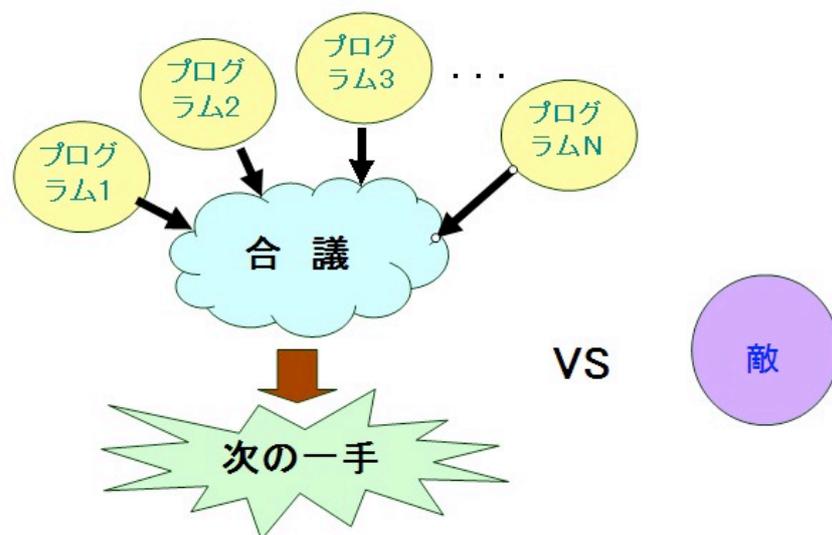


図 2-3-1 伊藤らの合議システム

伊藤らはコンピュータ将棋とコンピュータチェスで合議アルゴリズムを用いたプログラムを実装して、その効果と影響について検証を行った^[5-8]。実験の結果から、合議アルゴリズムを採用することによって勝率が大きく上昇することがわかり、合議の効果を確認された。

注意すべきことは、伊藤らの実験ではチームのプログラムとして同じプログラムを選んだということである(将棋の場合は Bonanza を、チェスの場合は Crafty をそれぞれ用いた。この二つのプログラムは世界的なコンピュータ選手権ですばらしい実績を挙げた強いプログラムであるという点で共通している)。

私達は伊藤らの合議システム(図 2-3-1)をより縮小したシステム(プログラムの数を三つにしたもの, 図 2-3-2)にすることを考える. 今回は「三人寄れば文殊の知恵」という言葉に従い, 三つのエンジンを選択した. ここで用いた三つのプログラムは全て異なるものとする. なぜならば, あるプログラムが悪手を選ぶ可能性がある時, 三つのプログラムが全て同じであれば, 三つとも同じ悪手を選んでしまう可能性があるが, 三つのプログラムが違っていれば, 別のプログラムがもっと良い手を出す可能性があるからである. プログラムはCCRL(Computer Chess Rating Lists)でのレーティングの結果が強いものから選択した. 敵のプログラムはチームの中のどのプログラムよりもレーティングが高いプログラムを選択した.

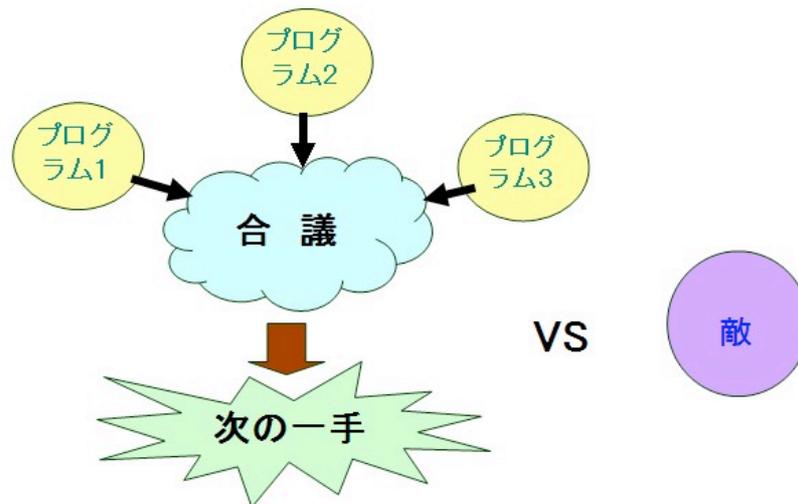


図 2-3-2 縮小した合議システム

縮小したシステムはたくさんのプログラムのなかから三つのプログラムだけを選び, チームとして敵と対戦する. 自然な考え方をすれば, 三つのプログラムにそれぞれの指し手を考えさせて, 合意形成を経た上で, 敵と対戦する. ここで, 1つの問題がある. 三つのプログラムの方は敵よりちょっと弱い, 合意したらその対戦の結果はどうなるか. 敵の方がすごく強ければ, チームが負ける可能性もある. それならば合意の意味がない. ではどのようにすれば, この問題を解決できるか.

私達は「化敵為友」という考えを通じて, この問題を解決する. 「化敵為友」とは, 敵を友にしてその知恵を借り, 私を助けて, 自分と対戦させることである. 図 2-3-3 にそのモデルを示す.

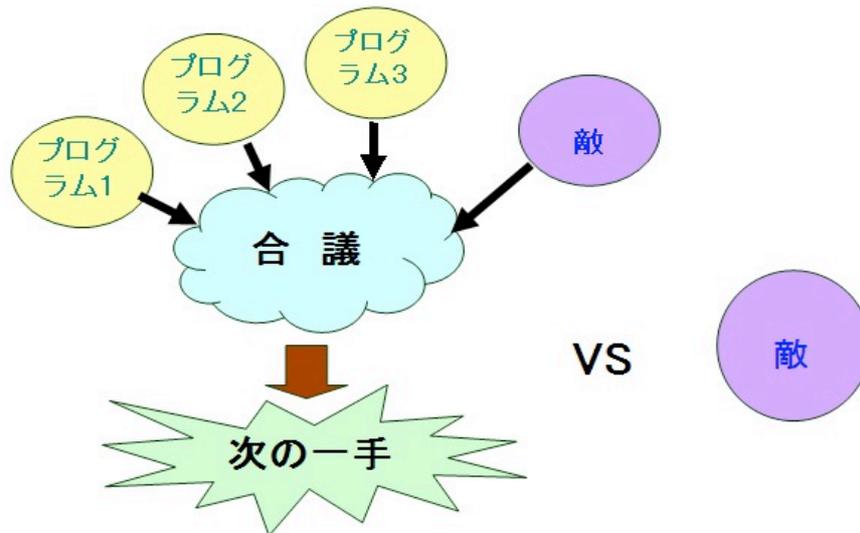


図 2-3-3 「化敵為友」-1

図 2-3-3 のように、私は敵をチームの一員として合意し、敵と対戦する。こうすることで、前述の問題に対して解決できると考える。敵の方が強くても、チームにも強い敵が入ったから、元より強くなるはずである。最後に勝てるかどうかは分からないが、合意形成の視点が広がるのは間違いない。面白いゲームはシーソーゲームのようにゲームの最後まで勝負の結果が不確定であり、ワンサイドゲームのようにすぐに勝ってしまうゲームは面白くない。絶え間なく対称的に、起こりうる結果の間を行き来するものが本当に面白いゲームであると考え。チームの知恵の力が大きくなった結果、そのレーティングが敵と大体同じぐらいになれば、対戦するとシーソーゲームのようになり、ゲームの最後まで誰も勝負の結果を予測できない。そのようなゲームが注目を集めて、人気になる。勝つと思った時でも、相手が強い手を出してきたので予想外に負ける、又は、必ず負けたと思った時に相手が油断して、その結果私は勝つことが出来た、そのようなゲームが一番面白いと考える。ためしに一回やってみて、また何回もやりたいと思ったゲームこそ、魅力のあるゲームだと思う。では、どのようにすればそんなすばらしいゲームが作れるか。それにはまず、強い対戦相手から考える。

次に、プログラムの数を減少する。つまり、敵のプログラムとそれ以外の任意のプログラムを代替する。プログラムのレーティングによっては弱いプログラムを消し、強い敵のプログラムをチームに入れる。図 2-3-4 に例を示す(ここでは敵とプログラム 3 を代替している)。

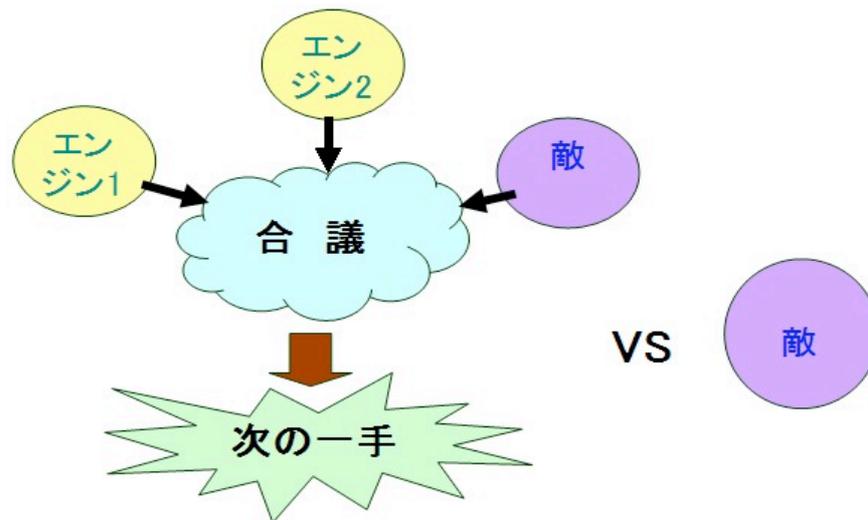


図 2-3-4 「化敵為友」-2

なぜプログラムの数を減少するか、それには二つの理由がある。1つは「三人寄れば文殊の知恵」があるので、三つのプログラムを選択すれば十分だと考える(そのため、図 2-3-2 のモデルでは三つのプログラムを用いた)。もう1つはチームの中で一番弱いプログラムが敵で代替されたことで、チーム全体の強さを上げることができる。チームのほかの二つのエンジンは弱いのかもしれず、合意をしても勝つ可能性は低いかもしれない。この場合は強いプログラム(敵)を入れることで、必ず勝つということはないかもしれないものの、元よりは強くなることはほぼ肯定される。もちろん、もし敵の方が弱く、合意する意味がもうないならば、そのようなゲームはつまらないゲームである。従って、ここでチームと敵のプログラムについては、各プログラムのレーティングによって、強いプログラムを選んだほうが良いと考える。その際、三つのプログラムのレーティングの差はあまり大きくないことが好ましい。一番強いプログラムを敵のプログラムとして、ほかの二つのプログラムはチームのプログラムとして対戦する。

2. 3. 1. 2 日本の「町づくり」における合意形成術の発想

前節ではゲームにおける合意形成術の例を挙げて、異なる合意形成術を紹介した。ここでは、合意形成が今どこで使われているかを述べたい。例として近年関心を集めている「町づくり」の問題を挙げる。合意形成を用いることで、どのように解決していくのか。

日本で少子高齢化が進んでいることはよく知られている。このような社会の到来を控えて、地球環境や地域の特徴、福祉施設などを考慮した上で、安全で安心できる住みやすい町を作る必要が目の前に迫っている。もちろん、市民はデザインの専門家ではないため、町を直接設計するのではなく、いくつか作成された計画の中から、自分の考えと要求も勘案して、最後に一つの計画を選択し、みんなに好かれる町を作ることになる。

今までの「町づくり」では、リーダーは町のマスタープランや地域計画などの情報のモデルを作り、公開する。しかし、構想・計画段階においても、都市や

地区の将来像について関係者から広く意見を集め、問題や課題を把握したいと考える。市民は直接その計画に参加するのではなく、もらった資料やモデルなどを通して、町の計画を了承する。それにより、市民は自分の考えや関係者の意見、ニーズを構想・計画に反映することができる。合意形成は公平公正の原則のもとに行われ、構想・計画の内容はすべて公開される。

ここで注意することは、市民の全ての考えをすべてそのまま構想・計画に入れることは不可能だという点である。市民の考えはあくまで参考意見として存在する。従って、市民の声を参考意見としてまとめた上で、実現できる部分だけを計画に入れることになる。例えば、公園整備や駅前広場、公共建築物等の具体的な施設の設計が対象の場合、市民の好みを関係者に通知することで、施設の使いやすさやデザインの質を向上させる。このワークショップでは将来の利用者である市民の意見をできるだけ聞くべきである。関係者だけでは、例えば美しさなどを考えすぎ(完璧なデザインというのは観賞だけを目的として存在している)、実用性に欠ける恐れがある。市民に利用されることが少なければ、その施設は資源浪費になってしまい、作る意味がない。市民のニーズに基づいて作った町は利便性が高くなり、そのような町は本当の生命力を持つ。

市民の意見をまとめる方法として、アンケートを利用することが考えられる。関係者はアンケートを通じて市民の要望を検討し、町づくり案を作成する。町の構想・計画にはたくさんの方案があるが、例えばその中から優秀な二つを選び、公開講演を通じて、市民と関係者が共に一番良いデザインを選択することができる。

ここで、最終的なデザインの選び方について、新しい方法を提案したい(図 2-3-4)。ある提案において、二つの優秀な町のデザイン(計画 1, 計画 2)が候補に残った。そのようなとき、どのように取捨選択をすれば良いか。まず関係者の 1 人がレフェリーとしてどの計画を選択するかについての講演を主催する。レフェリーは結果が決まらなかった場合を除いて、意見を出してはいけない。計画 1 と計画 2 の代表者は、各自の計画について講演する。この講演では計画の優れている点はもちろん、未来の課題についても、すべて市民に説明するはずである。市民は講演に参加し、気に入った計画を選ぶ。計画の講演中に何か異議があれば、いつでも質問することができる。目的はひとつだけである。それは市民全員が一番住みやすく安全な町を作りたいということである。従って、ある人は最初計画 1 を選んでいたが、ほかの人の意見を聞いているうちに考えが変わり、最初の選択を捨てて計画 2 を選択する可能性がある。講演の最後まで、その選択は自由に変えられるものとする。最終的にレフェリーが「誰も意見を変えず、今の選択のままでよい」ことを確認して終わり、計画 1 と計画 2 を選んだ市民の人数を数え、多いほうを最終案とする。

ここで注意する問題がある。両方の人数が同じぐらいであった場合は、双方の市民は自分で選ばなかった町の計画について、問題点と不安点を探して述べる。この過程で選ばなかった案の不安点が解消された結果、選択を変える人がでてくるかもしれない。変更する市民が増えれば、再選択の際に一回目とは違った結果が出ると考えられる。それでも差がつかない場合は、レフェリーに任せて 1 つの計画を選択する。参加者全員がすべての討論に参加していれば、選択した町の計画に自信を持っているはずである。情報共有を前提として、皆が納得して合意形成を行った上で出された結論は最善の決定である。

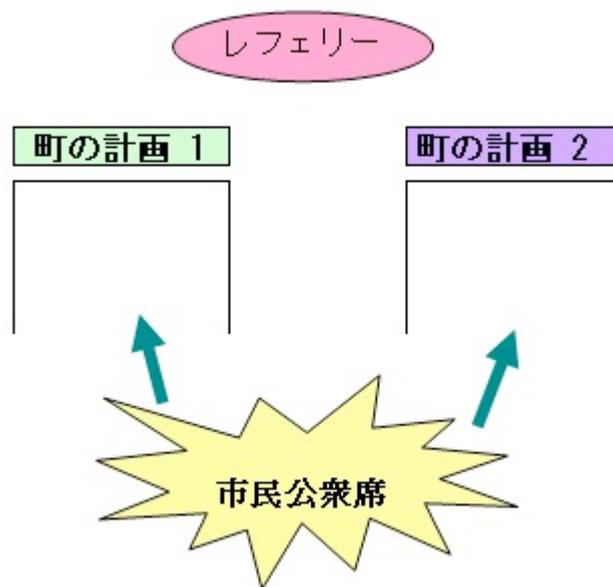


図 2-3-4 町の計画の選択

さらにアンケート法では、市民の意見をもらう際に、その意見の重要度も集める事ができる。当然ながら、ある意見を出した人にとってはそれが最も重要なものであると考える。同時に、ほかの人がどう思っているのか知りたいと思うだろう。中には、他人も自分と同じ意見だと思っている人もいるかもしれないし、自分の意見はそうではないと意見を出した人に知らせたい人もいる。そういったことも含め、参加者の全員が出された意見の重要度や優先度を共有していく方法として、アンケート法は優れていると考える。また、講演を聴く時には、他人の意見に耳を傾けて、町の発展や全員の生活のために利己的な考えを捨て、参加者の合意を得るように心がければ良い結論を出せる。同時に、市民の意見を尊重して計画に反映することで、市民から強いパワーを得られ、将来の公衆活動にも積極的に参加しようと思わせる効果もある。市民の間の交流も増進でき、社会の発展、ひいては国家の安定にもつながる。

2. 3. 2 合意形成プロセス

前述のとおり、優秀なプランを出すために、合意形成プロセスは不可欠な役割を發揮している。合意形成は、多様な意見を持つ人々が意見を交換することで成立する。しかし、多様な人々が話し合いに加われば、意見対立のリスクと紛争の可能性も高くなる。合意形成中は、単純に意見の対立というだけではなく、参加者の多様性、人生経験の多様性、意見理由の多様性、受けた教育と文化の多様性などの原因によっても対立が引き起される。さらに、参加者が手に入れている情報の違いや個人の表現能力、感情の変化などの複雑な要素によって、合意形成の結果が左右される。よっていかに合意形成プロセスを構築するかが特に重要な課題である。

参加者によって多様な意見が存在し、それぞれの意見によって重要度も違う。

各人の財産・人生計画・利益の概念はそれぞれ違っているから、個人的価値に関わる合意形成も難しい。社会的協力において、個人的価値を掘り起こして情報を共有し、全員が納得できる結論を出すプロセスは大切である。しかし現実のプロセスでは、それぞれの人生の経緯と立場から問題を見る場合が多い。同じ問題に対しても考えが異なるのは当然なことである。多様な意見の存在を承認し、相互にコミュニケーションを行うことが望ましい。

合意形成プロセスの構築では、話し合いの場をどのように設計し、運営・進行するかを検討しておくことが不可欠である。話し合いの設計・運営・進行は、必ず参加者が平等の立場で、公正・公平な原則のもとで公開されるように行うべきである。しかし、参加者全員が自身の全ての意見を話すことは非現実的なことである。このような場合にはプロジェクト・マネージャの役を担う人が不可欠である。

マネージャは事態の発展と議論の特徴を十分に把握して、話し合いの設計・運営・進行を試みなければならない。では合意形成をどのように行えばよいか、3段階で述べる。

「知っている」－意見の内容に対して、その部分の知識を持っていて、それはどういう意味なのか、まず分かる必要がある。

「分かっている」－次に、自分でその意見を理解・分析して、深く理解する。

「実行できる」－空想的な意見ではなく、実行できる意見に価値がある。

従って、参加者は意見を出す人でも、聴衆でもあっても、一定の知識や技術、経験を持っている必要がある。

合意形成プロセスの設計・運営・進行には次のような作業がある。まず設計は、対象となる課題を明確し、利害関係を把握して、参加者がどのような関心や懸念を抱いているかを明らかにすることから始める。基本となる作業は以下の通りである。

1. 合意形成のプロジェクト・チームとリーダーを決める
2. 合意形成の目標を明確にする
3. 利害関係者の共存と対立と紛争などを分析する
4. プロセスのスケジュールを制定する
5. 合意形成するために会議形式を選択する
6. 参加者を選択する
7. プログラムを作成し、資料を管理する
8. コミュニケーション情報を公開化し、参加者の言論が自由で平等に行われるよう配慮する
9. 合意形成の内容に対し、全員で検討する
10. 合意形成の内容に対して広告・宣伝を行う

上記の手順が良い合意形成を行うための前準備である。

運営でも設計段階と同様に、運営段階も基本となる作業がある。うまく運営するには一定の技術と経験が必要である。

1. 利害関係者の作業分担
2. 合意形成を行う会場の選択(落ち着くことができる場所を選ぶ)

3. 会場の雰囲気調整
4. 時間の選定
5. 合意形成の道具と用具の準備
6. 服装と名札
7. その他

合意形成の内容によっては現場で予想できない状況もあるが、うまく運営すれば、合意形成を行うにあたって有効である。

進行ではリーダーの役割が大切である。うまく話し合いを進行するための基本的な作業は以下の通りである。

1. 合意形成の目標達成への意識共有
2. 利害関係者の意見の把握
3. 個人の感情の抑制
4. 参加者の意見を重視する
5. 熟慮された賢明な方案を採用する
6. 合理的な公正で発言を保持する
7. 利己的な考えを捨てる

参加者全員で合意形成がうまくいくように行動することが大切で、短時間での合意形成にもつながる。

2. 3. 3 合意形成は「競争」から「協力」へ

猪原は「合意形成のプロセス構築(設計・運営・進行)には避けられないリスクが存在する。それらは大きく分けて、プロセス管理に関わるリスク、コミュニケーション不全のリスク、ステークホルダーに関わるリスク、それ以外の予測できないリスクである。またステークホルダーに関わるリスクは、事業主体・行政に関わるリスクや専門家・技術者に関わるリスク、市民に関わるリスクに分けることができる」^[1]と述べている。リスクをちゃんと処理できない、又はリスクが大きすぎる場合には、合意形成の失敗を招く恐れがある。

プロセス管理に関わるリスクとは、プロジェクト・マネージャが事業の全体をプロジェクトとして把握していないことである。問題が起きた場合に単に前例に沿って処理を行っていても、新たな事態が発生した場合に慌てる事になる。事態が悪化すると、プロセス管理に関わるリスクが大きくなり、合意形成の発展を阻害する。プロジェクト・マネジメントでは、前例を参照すると同時に、異なる事態に対して新しい認識や方法でうまく処理することがより重要である。回避するのではなく、慌てず冷静に考えた上で根本的な解決方法を探す必要がある。

コミュニケーション不全のリスクとは、公正の原則に違反して、不透明な環境下で人々の不安感を増大させて信頼関係を崩し、コミュニケーションを阻害することである。近年、企業などの組織の内部でよく見られる。企業自ら経営責任や経営の透明性を重視して、「迅速な意思決定」や「責任体制の明確化」を図ることが重視される。一旦失った信頼を取り戻すことは非常に難しい。公

平・公正な状況こそ、参加者は言いたいことをすべて話せ、円滑な合意形成を達成できる。

ステークホルダーに関わるリスクとは、利害関係者がお互いに利己的な態度をとり、他の利害関係者の利益を無視することで、ますます意見の隔たりを大きくすることである。

事業主体・行政に関わるリスクとは、事業組織の内部における矛盾である。企業によってリスクも異なる。

専門家・技術者に関わるリスクとは、能力差や経験などの違い、専門家・技術者間での意見の相違から発生するものである。

市民に関わるリスクとは、個人の考え方や好みの違いなどによって、同じ問題に対して、利己的な考えを持つ場合に発生し、合意形成を阻害することである。

上記のように、合意形成プロセスの構築中にはたくさんのリスクが存在している。各メンバーは自分の利益を守るために、自身のリスクを減らそうとするが、それによって相手のリスクを上げる場合、激しい対立も避けられない。対立の相手は敵として認識され、絶対に友人であるということはない。だが双方の妥協点を探せば、敵が友になることもあるだろう。柔軟な態度で双方の利益を処理すれば、その可能性はもっと大きくなるだろう。前に述べた「化敵為友」の考え方も対立関係を解消する方法である。

対立が存在していると双方ともに大量の人力と資源がかかる。勝利したほうは多くの利益を得られるが、負けたほうは何も得られず、ショックは大きい。結果はいつも残酷である。よって、対立した場合にはお互いに有利な道を探すのが特に大切である。相手に何かを要求するときには、利益の均衡点を取って、お互いに提携できるところまで妥協すれば、双方とも利益を得られる。合意形成では、「競争・対立」を「協力」へ変えることでより有効性が高まる。

2. 3. 4 合意形成によって期待される結果

ここまで、合意形成について、プランニングと合意形成の関係や話し合いでの合意形成、いかに競争から協力へ発展するかなどを紹介してきた。もちろん実際の合意形成ではすっきりと物事が決まらない場合も多い。人によって同じことであっても考えが異なるため、プロジェクト・マネジメントのリーダーはなんとかして結論を導こうとするが、そうすると「独断だ」とか「結論を急ぎすぎる」、「責任感がない」などの非難の声が出てくる。かと言って、「皆さんの意見はどうですか？」と発言を求めた時に限って黙ってしまい、なかなか答えてくれない。そこで最後の手段として「単純多数決」で決めることになりがちである。しかし、単純多数決で出された答えには勝った側と負けた側が存在している。負けた側がその結論に納得すればいいが、多くの場合は、勝ちも勝ち、負けも負けという意識になり、中間のより良い意見を出そうとはせず、負けた側は最後まで賛成できないことになる。無理やり結論を出す(勝った側の提案を採用して、負けた側の提案を無視する)ため、負けた側に積極的な協力を求めるのは難しい。

では、単純多数決以外に何か良い方法はないだろうか。他者の意見を聞き、深く理解した上で自分の意見と比べ、その中から意見の相違を認め合いながら

解を収束させれば、より良い結論を出せるだろうか。私たちが提案する合意形成ではメンバーが本心から納得することができ、全員が協調して、納得できる結論を出せる。勝者や敗者といったものが存在しないため、合意形成は単純多数決より柔軟性がある。参加者は話し合うことで対立の中から共通の利益を探し、良い結論を導ける。その結論は全員に承認され、その結果も誰もが期待した結果である。全員が積極的な態度で協力することで、プロジェクトを完成できるはずだ。また不必要な対立やリスクも避けられて、人間関係もよくなるだろう。このように合意形成を行うことで、単純多数決にあった問題を解決できる。

2. 4 合意形成と投票

前節では合意形成を用いて参加者全員が納得できる意見をどのように導き出すかを示した。合意方法は合理的公正の特徴を持つことで判断することができる。この特性を投票に用いれば、投票の結果を変えるほどの大きな影響力をもたらすだろう。本節では合意形成と投票の関係について紹介する。

2. 4. 1 投票システムとは

人々が集まって何らかの意思決定をするとき、それを投票に委ねることは我々の社会においてよく見られる。例えば、学校の学長や副学長などは選挙によって選ばれるし、会社でも人事など重要な案件と変更は投票によって決定される。企業以外の組織でも投票が利用される機会は多い。例えば議会における決定は市町村議会、県議会、国会から国連など国際的な機関の議会に至るまで、通常は投票によって行われている。では、投票とはなんだろうか。小野らは「投票 (Vote) とは、ある集団での各成員 (選挙民や会議・学級会の参加者など) の意思表示を行うための方法の一つである。集団内の意思が統一されない場合、多数決によって物事を決定することが多い。」^[9]と述べている。

ここで多数のメンバーからなる人の集団を考える。集団はグループとして、しばしば解決すべき問題に直面する。例えば、ジュースを選ぶときは、各自がそれぞれ自分の好きなものを決めれば済むことであり、集団としての決定は不要である。あるいは、会社で重大な決定をする場合は組織の内部で会社のトップ数名でグループを作り、多数決で決定するのが最も効率の良い方法である。そこでまず投票方法を見てみることにする。

投票方法には以下の七種類がある^[9, 10]。

(1) 単記投票 (Plurality Voting)

各投票者がもっとも好む案を一つ選んで投票し、最大票を得たものを勝者とする。単純小選挙区制がこれにあたる。単記投票は投票者のもっとも好む案しか考慮しないため、2大候補の争いになりやすいほか、最大派閥が好む案が選ばれ、中立派の票は死票になる傾向がある。単記投票は一番好む選択肢に重点を置き、多数派の意見を尊重する。

(2) 決選投票付き単記投票 (Plurality Voting With Runoff)

各投票者はもっとも好む案を一つ選んで投票する、集計結果の中から上位二つの案を残し、決選投票で一つを選ぶ。決選投票付き単記投票は単記投票を改良したもので、勝者は50%プラス1票(絶対多数と呼ばれる)を獲得しなければならない。第1段階では投票者のもっとも好む案しか考慮しないが、第2段階では中立案に投票した人もどちらかを選ぶため、第1段階からの逆転現象が起きる場合が多い。従って、決選投票付き単記投票は全体の争点が2者択一になるときに適する。

(3) ランキング投票・優先順位投票 (ranked vote)

投票者は選好順序に従って選択肢をランク付けする。この方法はいくつかの選挙制度で使われており、投票者が選好順序に従って候補のリストまたはグループに順位をつける投票方式をこのように総称する。このうち、よく使われるのはボルダ投票(順位評点法)である。ボルダ投票は各投票者が候補に1位から最下位まで順位をつける方法である。1位に $m-1$ 点、2位に $m-2$ 点、 \dots 、最下位に0点の得点を付与し、この得点の合計が最大の候補を勝者とする。しかし、ここで問題がある。候補者が多い場合、全ての投票者が選好を考慮し、下位まできちんと点数を付けられるかは不確実である。候補が多いと投票者に負担がかかり、合計を求めるにも手間がかかる。従ってボルダ投票は候補が少ない場合に適する。ボルダ投票では投票者の間で幅広い支持を得た候補が選ばれやすく、それは中庸的・折衷的な案になりやすい。この投票方法は、更なる合意を促すため、多くの投票方式で利用されている。

(4) 複票・連記投票 (multiple vote)

投票者は選択肢から幾つかを指定して投票する。投票結果の上位から予め決められた数の候補が選ばれる投票方法である。認定投票(投票者が好きなだけの数の候補者に投票し、最高票を得た候補を選出する方法)でよく使われる。

(5) 採点投票・レーティング投票 (scored vote)

投票者は各々の選択肢に一から十までの範囲で点数をつける(上限と下限の数字は異なることがある)。つまり、投票者は候補者に対して審査員のように採点を行う(例えば、候補者Aは10点中8点など)。最後に、合計得点が最も高い候補者が選ばれる。

(6) 累積投票 (cumulative voting)

投票者は決められた票の値を持ち、票の価値を複数の候補に分散させたり、1つの候補に集中させたりといった選び方ができる。例えば、ある投票者は候補者Aに票の価値の60%を投票し、候補者Bに票の価値の40%を投票する。この投票方法は取締役の選任などで採用されることがある。

(7) ドメイン投票 (domain voting)

未成年者の親権を持つ投票者は、扶養する未成年者の数だけ投票できる。成人すれば、親権者の投票権はその分だけ失われることになる。出生率を上昇させる1つの方法として期待されている。

ここではよく使われる方法—単純多数決について説明する。まず、単純多数決の原理から考える。それは単純多数決とは「一騎打ちによる強い者勝ち」ということである。 m 人の候補者がいて、それぞれの候補者の得票数を A_1, A_2, \dots, A_m とする。今回は簡単に説明するため、投票者は奇数人で棄権できないものとする。このとき、任意の候補の組 (i, j) について $A_i > A_j$, または $A_j > A_i$ どちら

らか一方が成立し、票数の多い候補が勝つ。

単純多数決は一番単純で簡単な投票方法としてよく使われる。ここで、単純多数決はどのような働きを持っているかについて説明する。

1, 当選者の決定が肯定される

単純多数決が選ばれるのは、より多くの人意見が反映されるからである。選ばれた候補者はほかの候補者と比べたら大勢の人に好まれており、優位に立つ。また、投票者にとって大事な一票を出した結果自分の支持者が当選した場合、自分の意見が採用されたという満足感も最大化に達することができる。

2, 公平中立な態度で応答

社会的決定を行う手続きは、下記の特徴を持っていないと行かない。

- 1 決定的である。
- 2 投票者の身分に対して平等・無差別である。
- 3 論点について中立的である。
- 4 投票者は積極的に参加できる。

これは単純多数決のみが満たす性質である。

3, コンドルセの定理^[1]

二つの選択肢が与えられた時、投票に参加する人々が正しい選択肢を選ぶ確率が平均して2分の1を上回っている場合には、人々が互いに独立してそれぞれの考えで投票すれば、多数決によって正しい答えが選ばれる確率は投票に参加する人が多いほど高まる。これをコンドルセの定理という。

単純多数決は汎用性が高く、短い時間で結論を出せるため、よく使われる。ある議題に対して支持者と反対者が長い間議論したが、どうしても適切な結論が出せない場合には、最後の手段として多数決を用いて決定することが多い。しかし、多数決は少数派の意見を見捨てることになるため、少数派となった意見の支持者は不公平と感じる。言い換えると多数決を用いて出した結論は強制的な側面がある。多数決が本当に万能か、本当に少数派の意見が見捨てられているのか、このような疑問を持っている人もいる。参加者が話し合って結論を出すほうが説得力のある決定を下せるため、合意は重要である。

ではどのように投票を行うかを述べる。参加者が投票の過程に合意することが重要である。その過程に関する合意に至らなければ、投票はある問題を強行するために用いてはならない。投票の結果は合意された基準に基づいて注意深く検証されなければならない。

投票は簡単に合意を得ようとする方法であり、妥協の可能性を見過ぎてしまうことも珍しくない。投票を行う際には十分な準備が必要であり、議論や選択肢の提示方法、投票の手順について合意されていないとトラブルになりやすい。そのため、投票ルールをちゃんと定めておく必要がある。

すべての投票は合意を通じて、全員が同意するのに至るまでではない。「合意形成が困難であるから投票を行い、その結果に従う」という合意形成がなされていないのであれば、結論が出るまで合意形成を続けるしかない。「まだ合意形成出来る余地がある」という意見を持っている人がいる限り、投票は参考に

しかならないと考えられる。もちろん長期間議論しても解決しない問題については、投票が有効な方法である場合もある。しかし、何回議論しても解決できない問題に対して安易に投票という方法を使うと、一旦1つの結論を出すことはできるが、強引に結論を出すことに納得できない人も現れる。

では、どうすれば投票を有意義に合意形成に用いることができるだろうか。これは投票と議論を繰り返し行うことで解決できる。例えば、議論の結果四つの選択肢が出されたとき、参加者はいずれかの選択肢に投票する。その結果、A案とB案が多く参加者から支持された。しかし、この二つの案は不安要素が存在する上に、どちらの案にも票を入れなかった人が出てしまった。そこで、参加者が残ったA案とB案に対して議論し、二つの案を改良することで、不安要素の減った新しいA1案とB1案ができる。この案ならば、前の投票ではどの選択肢にも入れなかった参加者も、もう一回投票するときには改良された案のどちらかに票を入れるかもしれない。そうして出た結論はより多くの同意を得られるだろう。

2. 4. 2 簡単な投票システムの例

投票をより深く理解するために、簡単な投票システムを例として考える。

例1 3人単純多数決

3人の委員a, b, cから構成される委員会において、それぞれが1票ずつを投票し、議案を通すためには過半数である2票以上の賛成票が必要である。

例2 拒否権を持つ場合

例1において、委員cが拒否権を持つ場合、議案を通すためにはcの1票を含む2票以上の賛成が必要である。

例3 株主投票

ある企業において4人の株主a, b, c, dがいる。それぞれが所有している株数は、aが全株数の40%、bが30%、cが20%、dが10%とする。議案の可決には賛成者の所有する株の割合が51%以上あることが必要である。

例1は単純な多数決であり、3人の委員は平等な身分で投票する。つまり票の重みは等しく3分の1である。例2は委員cが拒否権を持っているから、ほかの2人に比べて影響力が大きい。同様に例3は株主aが大きな影響力を持ち、株数の比例によって、b, c, dの順に影響力が減っていく。これらの例から分かるように、投票するときに参加者の影響力が違う場合は、投票の結果に大きな影響を与える。

2. 4. 3 投票者の影響力とパワー指数

では、投票者の持つ影響力(パワー)は投票の結果に対して、どのくらい影響をもたらすだろうか。投票者の影響力をとらえる指数として、協力ゲーム理論

において発展してきた2つの指数、シャープレイ・シュービク指数とバンザフ指数について述べる。

今、3人の投票者 a, b, c からなる重みつき多数決ゲームについて考えてみよう。この投票システムでは、a と b は持つ票数が同じで 40、c は持つ票数は a と b の票数の半分である 20 とし、表決数は過半数 (51) とする。これを [51; 40, 40, 20] と書く。

a と b はいずれも単独では議案を通すことはできない。うまく議案を通すためには a と b が協力するか、あるいは c の協力が必要である。したがって、議案を通せるかどうかという観点から見れば、a, b, c の影響力は同じであると考えられる。c は a, b が持つ票数の半分しか持っていないが、影響力は変わらない。つまり、議案を通すためには {a, b}, {a, c}, {b, c}, {a, b, c} 四つの協力の方法がある。

2. 4. 3. 1 シャープレイ・シュービク指数

シャープレイ・シュービク投票力指数 (Shapley-Shubik power index) とは 1954 年にロイド・シャープレーとマーティン・シュービクによって考案された^[9]、各プレイヤーがどれだけの決定力を持っているかを示す指数であり、投票ゲームでのプレイヤーの投票力の分布を測る手法である。シャープレイ・シュービク指数とも呼ばれる。以下 PI と呼ぶことにする。

PI では、提出された議案に対して、それに賛成する投票者がグループを作っていくときに、ある投票者が加わることによりそれまで投票に勝てなかった提携が勝てるようになるとき、その投票者は大きな影響力を持つと考える。ピヴォット (投票において、票を入れた時点で投票の結果が確定する候補者をピヴォットと定義する) を通じて、PI を計算する。

2. 4. 2 の例 2 を用いて、PI の計算方法について説明する。この 3 人の順列は abc, acb, bac, bca, cab, cba の 6 通りであり、このうち acb, bca, cab, cba の順列においては拒否権を持つ投票者 c を含み、しかも 2 人目の投票者が加わった段階で票数が過半数に達している。従って、二番目の投票者がピヴォットになる。abc, bac の順列においては、2 人目の投票者が加わった段階で票数は過半数に達したが、拒否権を持つ投票者 c は加わっていないので、この段階ではまだ勝利提携ではなく、最後に c が加わった段階で初めて勝利提携となる。従って、この二つの順列は c がピヴォットになる。以上をまとめると表 2-1 のようになる。

abc [~]	ac [~] b	bac [~]
bc [~] a	ca [~] b	cb [~] a

表 2-1 各順列におけるピヴォット

表中で「[~]」のついている投票者が各順列のピヴォットである。6 通りの順列において、c がピヴォットとなるのは 4 通り、a と b はそれぞれ 1 通りである。このとき、PI は $\phi = (1/6, 1/6, 4/6)$ と表せる。投票者 c は投票者 a, b に比べ、ピヴォットになる確率が 4 倍であり、大きな影響を持つことがわかる。

2. 4. 3. 2 バンザフ指数

もう一つの指数—バンザフ指数(Banzhaf index, 1965)について述べる. この指数はバンザフ(J. F. Banzhaf)によって定義された. これはある投票者が自らの態度を賛成から反対, または反対から賛成に変えることで投票結果が可決から否決にあるいは否決から可決に変わるときに, 影響力をもつと考える^[12].

n 人のプレイヤーからなる1つの投票ゲームにおいて, 各プレイヤーを i で表す. 提出された議案に対して各プレイヤーは賛成(Yes), 反対(No)のどちらかか意思を持っているものとする. 全プレイヤーの Yes, No の組み合わせを提携(coalition)と言い, 議案が可決に至る提携を勝利提携(winning-coalition), 否決に至る提携を敗北提携(losing-coalition)と呼ぶ.

議案に対して投票者全員が賛成か反対かを明らかにしているとき, 自らの投票態度を賛成から反対に変えることにより, 採決の結果を可決から否決に変える(すなわち, 勝利提携から敗北提携に変える)ことのできる投票者はスイング(swing)の役割を果たしているという. 賛成, 反対の組み合わせが全て同じ確率で起こるとしたとき, 投票者 i のスイングになる回数(個数)を $BP(i)$ で表す. このとき, 投票者 i に対するスイングの回数の期待値をこの投票者のバンザフ指数と言い, B_i で表す. その値は,

$$B_i = \frac{BP(i)}{2^{n-1}}$$

である.

更に, 各 $BP(i)$ が全てのスイング回数に占める割合を相対(バンザフ)指数と言い, LB_i と記す. その値は,

$$LB_i = \frac{BP(i)}{\sum_{i=1}^n BP(i)}$$

である.

かつてのバンザフ指数はスイングの回数 $BP(i)$ を指していたが, 現在これは raw Banzhaf 指数や Banzhaf power などと呼ばれている^[9]. Shapley は初期の文献^[13]では相対指数 LB_i を正規化されたバンザフ指数と呼び, ここでのバンザフ指数 B_i を swing probability と呼んでいる. 武藤らは「敗北提携から勝利提携に変わる場合もスイングに含めている」^[9]と述べている.

ここで, 例を用いて説明する. 投票者は a, b, c の3人であり, この3人の賛成, 反対の組み合わせは, $YYY, YYN, YNY, YNN, NYN, NYN, NNY, NNN$ の $2^3 = 8$ 通りである. ここでは賛成, 反対をそれぞれ Y, N で表現し, 順に投票者 a, b, c の投票態度を表す. また結果が成立の場合を可決(Pass), 不成立を否決(Fail)と呼ぶ. 例えば, YNY は, a, c が賛成, b が反対であり, 可決であることを示している. YYY の場合には, 全員賛成であるから議案は可決される. ここで, a が投票を Y から N に変えたとしても, b, c は賛成のままであるので, 賛成票が2票で過半数に達した議案は可決され, 結果は変わらない, つまり, 投票の結果に影響をもたらさない. 従って, YYY においては, a, b, c 共にスイングではない.

次に、YYNを考えてみよう。この場合はa, bが賛成, cが反対であり、賛成票が過半数を占めているので、議案は可決される。しかし、aが投票をYからNに変えると、賛成票はbの1票だけとなるので、議案は可決から否決になる。従って、aはYYNにおいてスイングである。同様に、bもYYNにおいてスイングであるが、cが投票をNからYに変えたとしても、賛成票が2票から3票に増えるだけで結果は依然として可決であるので、cはYYNにおいてスイングにはならない。

ほかの組み合わせに対しても同様に、どの投票者がスイングであるかを調べられる。結果は表 2-2 の通りである。

表 2-2 投票者とスイング

各投票者の投票			結果	スイングになる投票者(X)		
a	b	c		a	b	c
Y	Y	Y	P			
Y	Y	N	P	X	X	
Y	N	Y	P	X		X
N	Y	Y	P		X	X
Y	N	N	F		X	X
N	Y	N	F	X		X
N	N	Y	F	X	X	
N	N	N	F			

表 2-2 から、投票者 a, b, c は、いずれも 8 通りの組み合わせのうち 4 通りにおいてスイングになるから、バンザフ指数は、 $\beta = (1/2, 1/2, 1/2)$ である。従って、バンザフ指数で評価すると 3 人の投票者は同じ影響力を持つ。

2. 4. 3. 3 勝利提携の両指数の計算方法

投票システムにおいて、シャープレイ・シュービック指数とバンザフ指数は代表的な指数として投票力に大きな影響力をもたらす。シャープレイ・シュービック指数とバンザフ指数が提携すると、更に投票への影響力が大きくなる。前節ではシャープレイ・シュービック指数とバンザフ指数についての簡単な例を挙げ、各投票者のピヴォットとスイングを求めた。しかし、投票者が多い場合は組み合わせも多く、簡単に計算できない。そこで、投票者の数が多くなったときにも適用可能な両指数の計算方法について述べる。

先にシャープレイ・シュービック指数について述べる。まず投票者の数を n とする。ある投票者 i がピヴォットになるのは、敗北提携であった状態から i が加わることで勝利提携になるときである。従って i のシャープレイ・シュービック指数は i を含む勝利提携のうち、 i が加わるまでは敗北提携であったものを数えあげればよい^[14]。今、このような提携の 1 つを S とすると、提携形成の全ての順列 $n!$ 通りのうち、提携 S の中で投票者 i が最後に加わるものは $S - \{i\}$ の投票の順列の数 $(s-1)!$ (s が S に含まれる投票者の数) と、 i が加わったあとの残りの $n-S$ の投票者の順列の数 $(n-s)!$ を掛けた $(s-1)! * (n-s)!$ 通り

である。従って、 i のシャープレイ・シュービック指数は、 i が抜けると敗北提携になるようなすべての勝利提携についてこの数を加えた

$$\varphi_i = \frac{1}{n!} \sum_{\substack{S \in W \\ S - \{i\} \in L}} (s-1)! \times (n-s)!$$

で与えられる^[9]。

では、この公式を用いて、2.4.3.1の例で述べた投票者 c のシャープレイ・シュービック指数を求めてみよう。 c を含む勝利提携のうち、 c が抜けると敗北提携になるものは、 $\{a, c\}$, $\{b, c\}$, $\{a, b, c\}$ の三通りである。従って、 c のシャープレイ・シュービック指数は $(1!1!+1!1!+2!1!)/3! = 4/6$ となり、この値は前で求めた値と等しい。同様に、投票者 a と b のシャープレイ・シュービック指数を求めることで、シャープレイ・シュービック指数 $\phi = (1/6, 1/6, 4/6)$ が得られる。

次に、バンザフ指数について考えてみよう。投票者の数は同様に n としておき、投票者のスウィングを求める。投票者が投票態度を変えることで結果が変わるときであるので、投票者のバンザフ指数の求め方はシャープレイ・シュービック指数と同様に、投票者が抜ければ敗北提携になる場合の勝利提携を数え上げればよい。このような提携に対して、提携に属する投票者 i 以外が全員賛成の時、 i は賛成から反対に変えることで結果を可決から否決へ、反対から賛成に変えることで結果を否決から可決へ変えられるので、2回スウィングになる。従って、 i のバンザフ指数は

$$\beta_i = \frac{2 \times |\{S \subseteq N : S \in W, S - \{i\} \in L\}|}{2^n} = \frac{|\{S \subseteq N : S \in W, S - \{i\} \in L\}|}{2^{n-1}}$$

と与えられる。ここで、 $|\cdot|$ は集合 \cdot の要素の数を表す^[9]。

では、この公式を用いて、2.4.3.2の例で述べた投票者 a のバンザフ指数を求めてみよう。 a を含む勝利提携のうち、 a なしでは敗北提携になるものは $\{a, b, c\}$, $\{a, c, b\}$, $\{b, a, c\}$, $\{c, a, b\}$ の四通りである。従って、 a のバンザフ指数は $4/8=1/2$ となり、この値は前で求めた値と等しい。同様に、投票者 b と c のバンザフ指数を求めることで、バンザフ指数 $\beta = (1/2, 1/2, 1/2)$ が得られる。

2. 4. 4 合意形成による投票の応用例

前節では投票システムに大きな影響をもたらす指数—シャープレイ・シュービック指数とバンザフ指数について述べた。ここでは、実際に行われている投票によるシステムとして、東京都議会、日本の衆議院と参議院、アメリカ合衆国の大統領の選挙の三つの実例を挙げる。

投票のデータから、それぞれの投票システムにおける各構成主体のパワーを、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数を用いて評価する。

2. 4. 4. 1 東京都議会における各政党の影響力

1997年7月の東京都議会議員選挙の前後での各政党の議席数をもとに、計算プログラムを用いて計算した各政党のシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数を表 2-3 に示す。

表 2-3 東京都議会改選前後における各政党の議席数およびシャープレイ・シュービック指数とバンザフ指数
(議席数についての出典は、1997年7月7日付朝日新聞)^[9]

	改選前			改選後		
	議席数	シャープレイ・シュービック指数	バンザフ指数	議席数	シャープレイ・シュービック指数	バンザフ指数
自由民主党	38	0.404	0.740	54	0.502	0.752
日本共産党	13	0.116	0.240	26	0.160	0.248
公明党	25	0.182	0.260	24	0.160	0.248
民主党	13	0.116	0.240	12	0.160	0.248
生活者ネットワーク都議団	3	0.021	0.028	2	0.002	0.002
社会民主党	4	0.028	0.030	1	0.002	0.002
新進党	4	0.028	0.030	0	0	0
無所属	15	0.007	0.010	8	0.002	0.002
計	115			127		

改選前の定数は115人、改選後の定数は127人である。投票者は議員1人につき1票である。各人は一人として数えられ、何人も二人以上には数えられない、1人を特別扱いはしない。ただし、投票するときは、各政党に属する議員は所属する政党の決定に従う。政党に属しない議員を無所属の議員という。従って、投票の議員は各政党と無所属の議員が構成される。

表 2-3 より、改選前と改選後の必要な票数は、それぞれ115及び127の過半数で、58、64となる。日本共産党の改選前と改選後の議席数はそれぞれ13、26であり、2倍以上の差がありながら、その影響力はシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数による評価ではあまり変わらないことがわかる。また、日本共産党と民主党のシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数を比較すると、改選前後共に変わらない。更に、日本共産党と公明党、民主党は改選後のシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数が同値になる。これは、改選後は自由民主党が議席数を伸ばしたために公明党の力が弱まり、他の2党と同程度のパワーになってしまったと考えられる。日本共産党は議席数を伸ばして民主党を引き離し、さらに公明党を追い抜いたにも関わらずである。日本共産党と公明党、民主党のなかで議席数が一番小さいのは民主党の12席である。改選後の過半数は64なので、民主党と自由民主党が提携すると、議席

数は $12+54=66$ となり、過半数を超える。一方、選挙後の自由民主党の議席数は 54 なので、自由民主党抜きで過半数を超えるためには、この三党(日本共産党、公明党と民主党)は提携しなければならない。従って、この三党の影響力はまったく同じである。これが、投票システムでは三党のパワー指数に差がない理由である。

次に、各政党の改選前後のシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数の変化を分析する。自由民主党は改選後の議席数は改選前より 16 席増えて、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数も大きく増加した。一方、日本共産党の改選後の議席数は改選前より 2 倍になったが、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数はあまり増えてない。また、公明党と民主党は改選後の議席数が 1 減少したが、公明党はシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数が減少したにも関わらず、民主党のほうは逆に増加している。ほかの政党は議席数が減少し、影響力も減少した。この結果については、改選前における過半数である 58 席を占めるために、各政党はどのように提携したかを考えれば、その理由は分かる。

改選前において過半数の 58 席を超えるには、自由民主党と公明党が提携するだけで十分であった。日本共産党と民主党がそれぞれ自由民主党と組んでも過半数を超えない。また、自由民主党なしで過半数に達するには日本共産党と公明党、民主党の三つの政党が提携しなければならない。つまり、改選前の公明党は日本共産党と民主党より影響力が大きいのであり、そのパワー指数が大きい理由も分かる。

同様に改選後の結果を見ると、自由民主党は 54 席を持っている。改選後の過半数は 64 なので、公明党や日本共産党、民主党のいずれかと組むだけで過半数を超えられる。これがパワー指数の増加した大きな理由である。また、この表には興味深いことがある。改選前の日本共産党と民主党の議席数は全く同じ 13 席であり、パワー指数も全く同じであるが、改選後の日本共産党は 26 席、民主党は 12 席に変化したにも関わらず、公明党も含めてパワー指数は全く同じであることが分かる。その理由は自由民主党から見た場合、この三党のいずれかと協力するだけで過半数を得られるので、議席数が影響しないためである。

2. 4. 4. 2 日本の衆議院及び参議院における各政党の影響力

前節では東京都議会における各政党の影響力を述べた。本節では範囲を拡大し、1997 年の日本の衆議院及び参議院における各政党の議席数を用いて、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数の影響力について述べる。

日本の衆議院では、議員は 500 人からなる。議案の可決には議員数の過半数である 251 人の賛成を得なければならない。同様に、参議院は 252 人から構成され、議案の可決には議員数の過半数である 127 人の賛成が必要である。日本では「総選挙」とは通常、衆議院議員の選挙にのみ用いられる語であり、参議院議員の選挙は 3 年ごとに半数を改選するものであるから「通常選挙」と呼ばれる。議案の最終的な可決は、衆参議員での可決が必要である。

1997 年 1 月の日本の衆議院と参議院における各政党の投票結果から、パワー指数について分析する。

表 2-4 衆議院・参議院における各政党の議席数とシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数^[9]

衆議院				参議院			
	議席数	シャープレイ・シュービック指数	バンザフ指数		議席数	シャープレイ・シュービック指数	バンザフ指数
自由民主党	240	0.667	0.950	自由民主党	112	0.604	0.899
新進党	142	0.063	0.050	新進党	61	0.090	0.101
民主党	52	0.063	0.050	社会民主党	22	0.090	0.101
日本共産党	26	0.063	0.050	民主党	22	0.090	0.101
社会民主党	15	0.063	0.050	日本共産党	14	0.083	0.101
太陽党	10	0.058	0.050	二院クラブ	4	0.008	0.018
21世紀	4	0.005	0.012	自由の会	4	0.008	0.018
さきがけ	2	0.005	0.007	さきがけ	3	0.006	0.014
無所属	9	0.002	0.003	新社会党	3	0.006	0.014
				太陽党	3	0.006	0.014
				無所属	4	0.002	0.004
計	500			計	252		

表 2-4 から、まず衆議院部分の各政党のパワー指数について分析する。衆議院における自由民主党の議席数は 240 である。衆議院の過半数の議席数は 251 であるから、自由民主党は新進党と民主党、日本共産党、社会民主党のいずれかの政党と提携することで、過半数の 251 議席を超えられる。あるいは、太陽党ともう任意の一角と提携することで、過半数を超えることができる。それに対し、自由民主党以外のほとんどの政党は協力しなければ過半数を超えられない。

各政党が衆議院で占めた議席数を比較すると、持っているパワー指数にも大きな違いがある。例えば、自由民主党が一番大きいパワー指数を持っている。そして、自由民主党と新進党を比較すると、自由民主党は新進党の 2 倍弱程度の議席数を持つのに関わらず、シャープレイ・シュービック指数では 10 倍以上の差があり、バンザフ指数では 19 倍もの差がある。それに対し、新進党は民主党と比べ 3 倍弱の議席数を持っているが、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数は全く同じである。同様に、民主党と日本共産党を比べてみても、民主党はちょうど 2 倍の議席数を持っているが、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数は全く同じであった。民主党と社会民主党についても同様である。これは、衆議院内で自由民主党は絶対優勢な議席数を持っているために、衆議院において最も大きなパワー指数を持っていることを示している。新進党と民主党、日本共産党と社会民主党の四つの政党については持っている議席数はそれぞれ違うが、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数は同じであることから、全く同じパワー指数を持っていると推測できる。

次に、参議院の部分について分析する。衆議院と同様に、自由民主党は参議院においても最も多い議席数を持っている。新進党と比べると 2 倍弱の議席数ではあるが、シャープレイ・シュービック指数では 6 倍以上の差があり、バン

ザフ指数では9倍弱の差がある。一方、新進党は社会民主党又は民主党の3倍弱の議席数を持っているが、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数は全く同じである。つまり、新進党と社会民主党、民主党の三つの政党は全く同じパワー指数を持っていることになる。また、自由民主党は112の議席数を持っているので、新進党や社会民主党、民主党のいずれかの政党と提携することで、過半数を超える。それに対して、衆議院の時と同様に、参議院でも自由民主党以外はほとんどの政党同士で協力しなければ過半数を超えられない。このことから、もっとも多く議席数を持っている自由民主党のシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数は最も高く、大きなパワー指数を持っていることを証明している。

2. 4. 4. 3 アメリカの大統領選挙における各州の影響力

これまでは日本の政党の選挙を例に、シャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数を分析した。今度はアメリカ合衆国の大統領選挙について、パワー指数を分析する。

日本と異なり、アメリカの大統領選挙は次のプロセスに分かれている。有権者は一般投票日に大統領候補者に直接票を投じるが、この投票結果によってそのまま大統領が選任されるわけではなく、各州で他の候補者より1票でも多くの票を獲得した候補者がその候補者を支持している全選挙人、選挙人団 (Electoral College) を獲得するウィナーテイクオール方式 (勝者総取り方式) となっている。全州で獲得した選挙人の数を合計し、獲得総数が多い候補者が勝利する^[15]。選挙の際は、各州の人口によって、選挙候補が与えられる。

アメリカ合衆国の大統領選挙人の総数は538人である。従って、過半数である270人の選挙人を獲得した候補者が大統領に選出される。ここで、1996年10月の大統領選挙における各州およびコロンビア特別区の選挙人の数、及び各州のシャープレイ・シュービック指数、バンザフ指数を分析する^[9]。

表 2-5 の左端の列はそれぞれの選挙人を持つ州の数である。例えば、選挙人の数が54である州が1箇所(カリフォルニア州)、33である州が1箇所(ニューヨーク州)、..., 4である州が6箇所、3である州が8箇所と続く。選挙人の数によるシャープレイ・シュービック指数及びバンザフ指数の比率は、それぞれ選挙人の数が最小の3人である州を1としたときの比率である。

表 2-5 アメリカの大統領選挙における選挙人の数とシャープレイ・シュービク指数, バンザフ指数^[9]

州の数	選挙人の数	比率	シャープレイ・シュービク指数	比率	バンザフ指数	比率
1	54	18.00	0.1084	19.97	0.4732	19.96
1	33	11.00	0.0632	11.65	0.2705	11.41
1	32	10.67	0.0612	11.28	0.2617	11.04
1	25	8.33	0.0471	8.68	0.2017	8.51
1	23	7.67	0.0432	7.96	0.1850	7.80
1	22	7.33	0.0412	7.60	0.1766	7.45
1	21	7.00	0.0393	7.23	0.1684	7.10
1	18	6.00	0.0335	6.16	0.1438	6.06
1	15	5.00	0.0277	5.11	0.1194	5.04
1	14	4.67	0.0258	4.76	0.1113	4.70
2	13	4.33	0.0239	4.41	0.1033	4.36
2	12	4.00	0.0221	4.07	0.0953	4.02
4	11	3.67	0.0202	3.72	0.0873	3.68
2	10	3.33	0.0183	3.38	0.0793	3.34
2	9	3.00	0.0165	3.03	0.0713	3.01
6	8	2.67	0.0146	2.69	0.0633	2.67
3	7	2.33	0.0128	2.35	0.0554	2.34
2	6	2.00	0.0109	2.01	0.0475	2.00
4	5	1.67	0.0091	1.67	0.0395	1.67
6	4	1.33	0.0072	1.34	0.0316	1.33
8	3	1.00	0.0054	1.00	0.0237	1.00
51						

表 2-5 を見ると、選挙人の数が 11 人以下の小さい州における、シャープレイ・シュービク指数及びバンザフ指数の比率はほぼ同じであることがわかる。一方、選挙人の数が最大の 54 人であるカリフォルニア州では、3 人である州と比べて人数の比は 18:1 であり、シャープレイ・シュービク指数及びバンザフ指数は 20 倍程度の差であった。従って、人数を多く持っている州はシャープレイ・シュービク指数、バンザフ指数も大きくなる。つまり、パワー指数も大きく、影響力も強くなることが分かる。

2. 5 パワー指数を用いた投票者の行動分析

2.4では投票システムに影響をもたらすシャープレイ・シュービック指数, バンザフ指数について述べた. ここでは投票者の影響力を評価せず, パワー指数を用いた投票者の行動分析を行う. その一環として, バンドワゴン現象について述べる.

2. 5. 1 ゲームのバンドワゴン現象

バンドワゴン現象というのは何だろうか. バンドワゴン (bandwagon) とは, ある選択が多数に受け入れられている, 流行しているという情報が流れることで, その選択への支持が一層強くなることを指す.

パワー指数を用いたバンドワゴン効果の分析の基本な考え方として, 例えば候補者Aと投票者Bがいて, 各投票者は自分が好む候補者に投票する. ただし, どちらの候補者へも支持を明らかにしない投票者も存在している. この場合, 一方の候補者への支持を明らかにした状態のそれぞれにおける自らの影響力を比較し, それが大きくなる行動を選択するというものである. もし両者の影響力が同程度であれば, 各投票者は事態の推移を見守り, どちらか一方が大きくなった時点で自発的に影響力の強い候補者への支持を明らかにする. その時点からバンドワゴン効果が始まると考える. 以下で例を挙げて, 簡単に説明する.

例えば, 2人の候補者A, Bと7人の投票者がおり, 過半数4人の投票者の支持を集めた候補者が当選するという状況について考える. 7人の投票者のうち2人はすでに候補者Aを, 別の3人は候補者Bを支持すると表明しており, 残りの2人は支持候補を決めていないとする. 以下, この状況からどのようにしてバンドワゴン効果が始まっていくかを, シャープレイ・シュービック指数を用いて分析していく.

この例では投票者が7人と少ないので, 図2-5を用いて投票結果を表す.

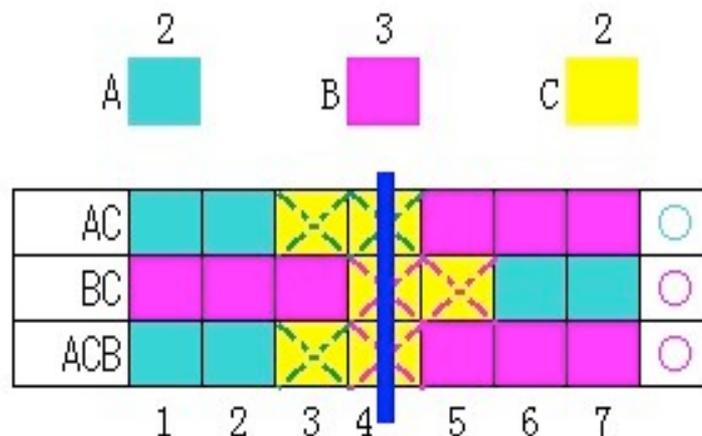


図 2-5 バンドワゴン現象

2人は候補者Aを支持, 別の3人は候補者Bを支持しているという状況なので, 残り2人が候補者Aを支持すれば候補者Aの票が4票を超え, 当選する. 一方2人が候補者Bを支持, 又は1人が候補者Aを, もう1人が候補者Bを支持した場合, 候補者Bの票数が4票を超え, 当選する.

図 2-5 において, ACは残りの2人とも候補者Aを支持する. BCは2人とも候補者Bを支持する. ACBは1人ずつ候補者Aと候補者Bをそれぞれ支持する. このとき, 候補者Aのシャープレイ・シュービク指数は $1/3$ であり, 候補者Bのシャープレイ・シュービク指数は $2/3$ である. この図を見ると, 意見を明らかにしていない投票者2人のうち, 1人でも候補者Bを支持すれば候補者Bが当選する. 候補者Bが当選されるかどうかは, 残りの2人によって決定する. つまり, この投票においては残った2人の影響力が大きい. この2人がどちらを支持するかによって, 当選する人も異なる.

以上, 簡単な例を挙げてバンドワゴン現象を説明した. 非常に多くの投票者が存在する状況を考えるのは, ここでは省略する.

2. 6 まとめ

本章では, まず合意と合意形成について述べた. 合意形成にはどのような問題があるのか, 合意形成フローおよび仲間の選択方法という課題があることについて説明した. また, 合意形成とプランニングについての関係を説明した. ほかに, ゲームと「町づくり」を例として新しい角度から合意形成の発想を提案した後, 合意形成と投票の関係及び投票システムに影響をもたらすシャープレイ・シュービク指数とバンザフ指数の定義を述べ, いくつかの例を通してこの二つの指数が投票システムに対してどれだけの影響を与えるかについて述べた.

第 3 章 合意形成術の実践的応用

第 2 章では合意形成や合意形成術，投票及びそのシステム，影響力について述べた。ここで，合意形成術には実践的応用の手法がある。近年は企業や組織の経営において，線形計画モデルや階層分析法モデルを結合したものがよく使われており，それはさまざまな経営的意思決定や計画制定のために有効な手段として知られている。

本章では，その合意形成－線形計画モデルと階層分析法モデルについて述べる。

3. 1 新しい合議アルゴリズムの存在

近年はこれまでに述べた合議アルゴリズムと異なり，新しい合意形成方法として AHP (Analytic Hierarchy Process : 階層分析法) が個人的な決定問題で大きい役立っている。これは複雑な決定問題に取り組む集団意思決定場面で大きな効果を発揮でき，世界中で政治，ビジネス，産業，医療，教育など様々な分野の意思決定場面で利用されている。AHP は意思決定における問題の分析において，人間の主観的判断とシステムアプローチの両面からこれを決定する問題解決型の意思決定手法と，複雑な状況での意思決定を行うための構造化法の 1 つである。この手法は“正しい”決定を下すために使われるというよりも，決定者自身にとっての必然性や理解を最もよく反映させた決定を導き出すための手法である。

AHP は包括的かつ合理的な意思決定のためにいくつもの枠組みを提供する。それは検討する問題を構造化する枠組み，問題に含まれる要素を数量化する枠組み，要素の評価を互いに関連づける枠組み，そして代替案として設定される解決案を問題全体の中で評価する枠組みである。例えば利害関係がある場合，人間の認知や判断に頼らざるを得ず，その結果が長期にわたり影響を与える場合，AHP は大きな成果をあげている。また意思決定に必要とされる要因が比較も数量化も難しい場合や，専門性や用語あるいは立場の違いにより，集団内でのコミュニケーションが妨げられる場合などにも強い意思決定法である。

AHP モデルは簡単に説明すれば，「総合評価」→「評価基準」→「代替案」の流れとなる。その三つの要素は以下のものである。

1. 総合目標：与えられた問題に対する最終目標を示す。
2. 評価基準：総合目標を満たすための基準内容を示す。
3. 代替案：最終目標を達成するために必要と思われる項目を示す。

単純な AHP のモデルは下記のとおりである。

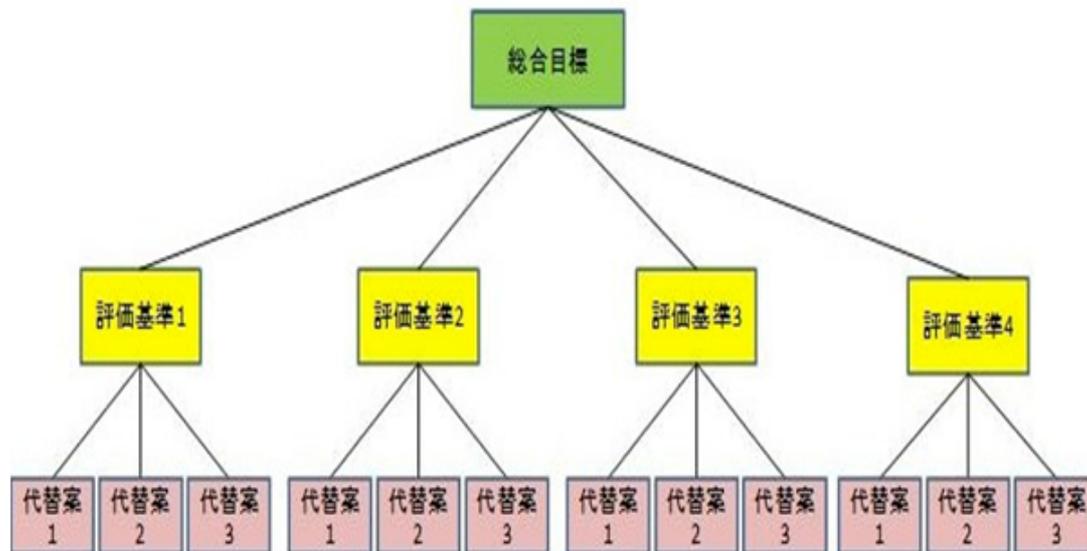


図 3-1 単純な AHP モデル

図 3-1 を用いて、AHP の手順について説明する。まず、与えられた問題を三つの階層に分ける。次に、各評価基準が総合目標をどれだけ満たすかの優先度を計算する。最後に、計算の結果出された優先度を代替案に反映させ、最も優先度の高い案を選択する。

AHP は複雑な決定問題に取り組む集団意思決定場面で大きな効果を発揮できる特長があり、近年は企業においてよく使われる。AHP 階層は政策決定や経営の意思決定に広く用いられ、その実用性も確かめられている。

3. 1. 1 個人 VS 集団

AHP モデルと意思決定の関係を述べる前に、個人と集団について紹介する。「三人寄れば文殊の知恵」という考えに基づいた研究は古くから認知科学分野で行われてきた。その結果、個人よりグループによる解決のほうが優れていると検証された。社会心理学者の Jay・Hall ホールが行った実験に、「月で遭難したら」というものがある。彼はさまざまな状況下でグループはどのような決断を出すのかを研究して、「グループが協力して導きだす結論は、各人が考える方法の平均値を上回る。もっとも優れた個別のアイデアと比べても、はるかに優れた結果になることが多い」^[16]と結論づけた。また、次のようなガイドラインによって、グループはより質の高い結論を出せる。

1. 自分が意見を出すときは、はっきりと自分の態度に自信を持っていて、他人の意見に負けないように自分の考えをできるだけ明確に説明する。また、自分の意見を説明するときは、他人の反応に注意を傾けることも大切である。
2. さまざまな意見が出た場合、議論が行き詰まったときには誰かの意見を採用するか、捨てなければならない。とは言っても簡単に決定したら、メンバーは賛成できないので、全員が納得できる意見を採用する方法が必要である。
3. 意見が出る中で、相容れない意見が出るのであれば、自分の意見を変えなければならないこともある。その場合は、意見を出す人の説明をよく聞いて

て、その中から適切な意見を選択する。

4. 複数の意見があり、どれを選択するか分からない場合は、多数決をとる、コインの裏表で決めるなどのテクニックがよく使われる。その際、あらかじめ選択の方法について了承を得ておくことで、その結果採用された意見はみんなが納得できる。

5. 異なる意見が出された場合、その意見を別の面から見ることで、未知の情報を得られ、視野も広くなり、グループとして最善な意見を選択できる。

以前よく使われた単純多数決方法には短所があることは明白である。それは最終的に出た結果がウィン・ルーズ(勝ち・負け)となることである。大多数のメンバーがウィンになったが、少数のメンバーがルーズになっており、その中からどうしても納得できない人も現れる。では、どのようにしてルーズのメンバーをウィンモデルに、つまり最終的な結果をウィン・ウィンモデルにするか。簡単な例を挙げて説明する。

例えば次のような家庭がある。親二人と13歳の男の子、11歳の女の子の四大家族である。父親と娘は海が好きで、よく釣りに行く。息子は山に登るのが好きで、時間があればよく日本の名山に行く。母親はあまり意見を出さないが、海と山のどちらかを選ぶとなると、山の方が好きだと言う。毎年休みの時は、どうするか家族で意見が割れる。毎回遊びに行く度に、高いホテル代を払わなければならない。今、親は貯金しており、ホテルより別荘を購入したほうが良いと判断している。ただし、別荘の場所はどこにすればいいか。このとき多数決方法を使うと、父親と娘は海の近くの別荘に投票し、息子は山の近くの別荘に投票して、母親は棄権する。つまり必ずウィン・ルーズの結果になる。多数決の結果はやはり父親と娘のほうが勝ち、息子は負けてしまう。この結果、毎年息子はいやな気分で行き先を過ごすことになった。

この場合、もし母親が棄権せずに意見を出していたらどうなっていたのか。父親と娘側につけば、必ず息子は怒る。息子側につけば、父親と娘が不満になる。結局、どちらについても必ずもう一方が不満になる。更に母親が息子についた場合、意見は2対2で対立したままとなってしまう、最悪の状況になる。結局、この結果の時はどこへも出かけないことになってしまい、全員が不幸な状況に陥ってしまう。つまり、ルーズ・ルーズ(負け・負け)の状況になる。

もちろん、最良のモデルはウィン・ウィン(勝ち・勝ち)である。しかし、どのようにすればウィン・ウィンモデルにできるか。前の例における一つの方法はみんなが妥協して、その中で誰かが譲歩することである。もう一つの方法は一番理想な状況である。それは山と海の両方に別荘を買い、今回は山に行く、その次は海に行く。あるいはまず海に行って、次に山に行くというように、順番に行くようにすれば全員が楽しみにできる。ただし、この場合はお金について問題が残る。更に別の方法として、キャンピングカーを買い換えることが考えられる。これならばどこへも行けるし、お金の問題もなくなる。このように、この例においてはウィン・ウィン(勝ち・勝ち)の解決方法が存在する。

出された意見はさまざまな外部要素と自身要素に影響される。たとえば、上記の例を他の家庭に当てはめても、家庭環境によって家庭教育が違い、学歴や経験、興味などいろいろな要素によって意見も異なる。いつも自分の範囲で考えていると、必ず思想が制限され、視野も狭くなっていく。同じことや物に対し

て異なる人が考えたら、異なる意見を出す場合が多い。それぞれ意見はばらばらであり、誰もが自分の意見を支持して、いい解決方法を見出せない。

3.2 意思決定と Analytic Hierarchy Process (AHP)

メンバーから出された多くの意見をまとめることで、複数の代替案が作成できる。その中からどの案を選択すべきか、意思決定しなければならない状況は数多く存在する。その時はさまざまな評価尺度に基づき、各代替案について考えて、総合的にもっとも良い代替案を選択すべきであろう。人間は意思決定の際には多くの評価基準について考え、総合的な結論を出せる。しかし安易に結論を出したら、それは悪い意思決定である可能性がある。従って、最終的な意思決定の良し悪しを議論することは重要である。

近年、AHP は評価基準や代替案に対し、一対比較により評価を行うという特徴を持っている。これは簡単な手法ではあるが、多くの複雑な問題を解決できるので、企業経営においてよく使われる。

3.2.1 AHP の理論

AHP は T. L. Saaty によって提唱され、その後急速に普及した手法である^[27]。AHP に対して古典的解釈、一般の場合の解釈、誤差モデル、均衡モデル、固有値法重要度算出、その他の方法及び整合度があり、理論的に裏付けされているが、ここでは省略する。AHP の基本形は、一人の意思決定者によって用いられることが想定されている。しかし、意思決定が必要な場面の多くは組織的行動に現れるので、その意味では AHP の基本形は組織の意思決定には使えないことになる。従って、複数の評価者による合意形成をどうするか、という事態に対応するために AHP を発展させなければならない。

AHP は評価項目が多い場合によく使われる。しかし、一人で意思決定する場合は、評価項目や代替案の数が多くなると、すべての一対比較を実施するのは非常に大変になる。このような場合は一対比較の組み合わせが必要である。いくつかの項目間の一対比較の組み合わせを完全に行わないことを不完全一対比較といい、やはり AHP の基本形では対処不可能であるが、ここでは省略する。

3.2.1.2 AHP モデルと AHP における計算例

AHP は個人的な決定問題で大いに役立つが、複雑な決定問題に取り組む集団意思決定場面で大きな効果を発揮する。AHP は複数の選択肢から最も望ましい代替案を選べる。多くの場合は、複数の評価基準によって選択する。ここで簡単な例を挙げて、個人的な決定問題を詳しく説明する。

例えば、山田さんが就活について考えている。彼は自分の専攻及び興味を持っている仕事を選択したほうが良いと考えた。山田さんはいろいろ調べ、最終的にソニー、日本電産、NEC の三つの会社を候補として、その中から一番好ましい会社を選択したい。ここで彼は AHP を使った結果、図 3-2-1-1 のようになった。

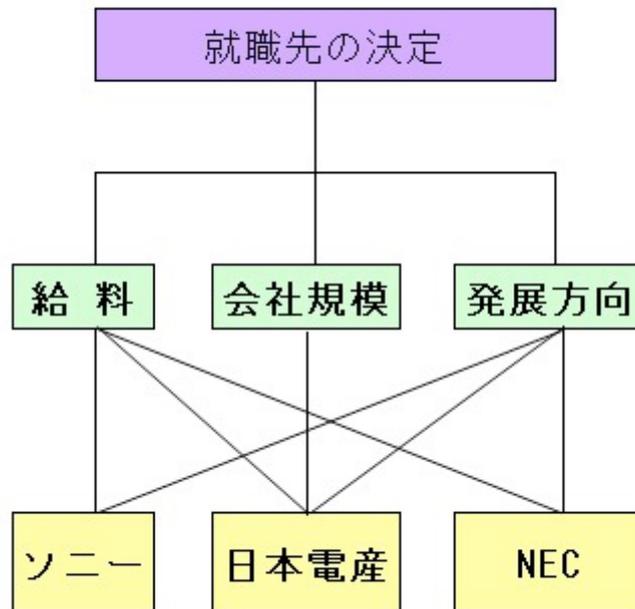


図 3-2-1-1 就活における AHP モデル

山田さんは会社の選択において、第一に給料を重視する。その次に会社規模を重く見る。その評価を、AHP を用いて与えられたモデルが図 3-2-1-1 である。

次に、一対比較の方法を用いて相対評価する。各評価基準間の重要性の比較結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 評価基準同士の重要性の比較

A \ B	給料a	会社規模b	発展方向c	$\sqrt[3]{abc}$	$\sqrt[3]{abc} / S$
給料	1	3	5	2.466	0.652
発展方向	1/3	1	5/3	0.822	0.217
会社規模	1/5	3/5	1	0.493	0.131
			計S	3.781	1

A と B の重要性については以下の通りである。

- 1 : 同じくらい重要
- 3 : A の方が B よりも若干重要
- 5 : A の方が B よりも重要

ここで、A の方が B よりも重要とする度合いが “x” のとき、B の方が A よりも重要とする度合いは “1/x” となる。給料と会社規模、発展方向の三つの点から評価した結果、表 3-1 から給料が一番大切であり、また発展方向より会社規模のほうが重要であることがわかる。

ここからどのようにして評価項目の優先度を定めるか。AHP では2つの計算方法がある。それは「固有値法」,「幾何平均法」の2つであるが,ここでは幾何平均法によって評価項目の優先度を求める。幾何平均法はまたの名を相乗平均と呼び,数学における平均の一種かつ数値群の代表値であり,積の冪根(数値がn個ならn乗根)をとることで得られる。この例では給料や会社規模,発展方向の三つの要素があるから,幾何平均はそれらの立方根である。その後,求めた幾何平均値を正規化する。つまり,三つの評価項目の幾何平均値の合計Sを求め,評価項目ごとの幾何平均をSで割ることで求められる。

次に,給料,発展方向と会社規模について,別々に代替案を評価する。優先度は前と同様に幾何平均法を用いて求めた。その結果が以下の表である。

表 3-2 給料について

A \ B	ソニー a	日本電産 b	NEC c	$\sqrt[3]{abc}$	$\sqrt[3]{abc} / S$
ソニー	1	1/3	1/2	0.550	0.167
日本電産	3	1	3/2	1.651	0.500
NEC	2	2/3	1	1.101	0.333
			計S	3.302	1

表 3-3 発展方向について

A \ B	ソニー a	日本電産 b	NEC c	$\sqrt[3]{abc}$	$\sqrt[3]{abc} / S$
ソニー	1	3	5	2.466	0.652
日本電産	1/3	1	5/3	0.822	0.217
NEC	1/5	3/5	1	0.493	0.131
			計S	3.781	1

表 3-4 会社規模について

A \ B	ソニー a	日本電産 b	NEC c	$\sqrt[3]{abc}$	$\sqrt[3]{abc} / S$
ソニー	1	1/3	1/3	0.481	0.142
日本電産	3	1	1	1.442	0.429
NEC	3	1	1	1.442	0.429
			計S	3.365	1

以上の三つの表を見ることで、簡単に三つの会社に対する総合評価が得られる。もちろん、人によって評価基準となる要素は異なるが、これも AHP を用いることで各属性と指標によって重要度をつけ、総合評価することで最善な代替案を選択できる。表 3-5 を見ると、山田さんは最終的に総合値が一番高い日本電産会社を選択したことがわかる。

表 3-5 総合評価

	給料	会社規模	発展方向	
	x=0.652	y=0.217	z=0.131	
ソニー	0.167	0.652	0.142	$0.167 \times 0.652 + 0.652 \times 0.217 + 0.142 \times 0.131$ 0.279
日本電産	0.500	0.217	0.429	$0.500 \times 0.652 + 0.217 \times 0.217 + 0.429 \times 0.131$ 0.429
NEC	0.333	0.131	0.429	$0.333 \times 0.652 + 0.131 \times 0.217 + 0.429 \times 0.131$ 0.302

この三つの会社について AHP を用いずに選択した場合、おそらくソニー会社を選択する人が多いだろう。しかし山田さんは一対比較を行い、いろいろ総合評価した結果、最終的に日本電産会社を選択した。このように AHP 方法を用いて選択した会社は最高でも最低でもなく、その人にとって一番合理的な選択をすることができる。

3. 2. 1. 2 AHP の使い方

前節では AHP について、そのモデルと簡単な計算方法を述べた。では、どのような状況で AHP を使えば良いのか、それはさまざまな選択肢があるときにどれを選択したらいいか、といった問題について決定できない場合に適用するのが有効である。この状況は 1 人で意思決定するときに適する。もう一つは大きな企業において、マネージャ層(何人かいる)が投資方案に決定を出すときは多くの方案があるので、別々に選んでいては意見が一致するのは難しい。このときに AHP を用いることで、簡単に選ぶことができる。その結果選ばれた投資方案は全員が納得できる。このように、AHP は大きな企業でよく使われる。ここで、代替案を計算するときは Excel を使うことで簡単に結果を計算できるが、ここでは省略する。

3. 2. 1. 3 代替案の選好順序に関する検討

普通何かを決定する際、さまざまな評価指数や属性などに基づいて各代替案を分析し、総合評価して最も望ましい代替案を選択すべきである。人間は意思決定の際、多くの評価基準のもとで総合的な判断を行う。ただし、それがそのまま客観的な判断のプロセスには成っていない。それは人間によって評価基準が違い、どのような評価指数を選ぶか、どの属性を使うかといった評価指数の選び方が異なるために、代替案の結果も変わるためである。従って、大きな決

定を出す場合、その案が良い理由を第三者と議論し、客観的な意思決定に基づいて深く議論して、よりリスクの少ない意思決定を行うことが必要であると考えられる。一人では意思決定を行うときに外在な条件などの要素に影響を受けやすいので、意思決定の良し悪しをもっと議論するのが重要だと考える。

AHPは主に2つのフェーズから成り立っている。まず、代替案と評価尺度の関係を階層モデルで構造化するフェーズである。次に、構造化された代替案と評価基準の関係のもとで、代替案や評価基準の重要度の推定を行うフェーズである。後藤はAHPの基礎的理論を概観したもとで、AHPのウェイト推定法について統計的考察による議論を行っている^[17]が、ここでは省略する。

3. 2. 2 Analytic Network Process (ANP) と支配型 AHP

前節では AHP モデルとその簡単な計算方法について述べた。しかし、従来型 AHP においては、各評価項目間と各代替案間、あるいは評価項目と代替案の間は独立であると仮定しているが、実際には独立ではなく関連している場合がある。そこで AHP の創始者である Saaty は各評価項目間、あるいは各代替案間に従属性がある場合に対して、Inner dependence 法(内部従属性法)^[18, 19]を提案した。この方法は各評価項目、あるいは各代替案間の従属関係を別途ペア比較によって測定するモデルである。更に Saaty は評価項目と代替案の間に従属性がある場合に対して、Outer dependence 法(外部従属性法)^[18, 19]を提案した。この考えの特徴は、各評価項目の重みが総合目的より一意的に決定されるのではなく、代替案ごとに決定され、それらが異なっても良い点にある。このように異なるレベル間に従属性があるとき、それらの関係を同時に表現する Super Matrix(これも Saaty による提案である)を用いて分析する。この結果、各評価項目の重みと各代替案の評価値は一定値に収束することが示されている。また、このような考え方は、一般の Network 上でも適用可能であることが示される。Saaty は、AHP のさらなる発展形として、より複雑な評価構造を研究した ANP (Analytic Network Process)^[20]を提案している。

一方、木下・中西は、Saaty とは違う視点で、従来型 AHP とは異なる、支配型 AHP を提案した^[21]。支配型 AHP とは、そもそもの各評価項目の重要度、各代替案の評価によって、特定の具体的な代替案を基準にイメージして始めて決定できるという考えに基づいて着手されている。従来型 AHP は各代替案間の関係を考えない。しかし木下らは、「AHP はもともと合理的な意思決定の考えから提案した。合理的な意思決定を行うためのプロセスは唯一ではなく、その合理的な解も一つではない。合理的な意思決定を行うために複数の解から一番適切な解を選択する。つまり、支配型 AHP は、従来型 AHP とは別の一つの解である。」^[21]と述べている。

3. 3 まとめ

本章では新しい合意形成モデル—AHP について述べた。AHP は意思決定における問題の分析において、人間の主観的判断とシステムアプローチとの両面からこれを決定する問題解決型の意思決定手法として存在している。

次に、AHP モデルについて、例を用いて述べた。総合目標や評価基準、代替案を階層化して評価することで、個人にとって一番合理的な選択をすることができる。その後、AHP に基づいた、より複雑な評価構造である AHP や、従来型 AHP とは異なる支配型 AHP が提案されており、合理的意思決定の多様さが提唱されている。

第4章 合意形成の数学モデル

これまで、合意と合意形成についての概念から応用までを述べた。会議や選挙時においては合意形成の方法を用いることで、参加者が本心から納得できる意見を出すことが出来る。しかし、現実には十人十色なので、合意形成の過程で協力や対立といった関係があるのが普通だ。

本章ではゲームの分類から始まり、協力ゲームと非協力ゲームを紹介して、合意形成の数学モデルについて説明する。

4.1 ゲームのジャンル

まずゲームのジャンルについて述べる。コンピュータゲームのジャンルでは、ソフトウェアによって主にアクションゲーム、ロールプレイングゲーム、スポーツゲーム、レースゲーム、パズルゲーム、アドベンチャーゲーム、シミュレーションゲーム、シューティングゲームなどに分けられる。

ゲーム理論の世界では多種多様なゲームがある。その中から大きく二つに分けて理論が発展してきた。それは協力ゲームと非協力ゲームである。協力ゲーム(cooperative game)とは、ゲーム理論において、複数のプレイヤーによる提携行動が可能であるとされるゲームである。協力ゲームは定義によって、協力や提携といった行動を行うためには、必ず事前に適切な交渉と合意をしなければならない。逆に競争状態を扱い、当事者がそれぞれ独自に意思決定を行う状況を扱うのが非協力ゲームである。

では、協力ゲームであればプレイヤーはどのような協力関係を結べばよいか、また協力することで、勝率がどれだけ上がるのか。非協力ゲームであれば、プレイヤーはどのような戦略を立てればよいか、また各プレイヤーの意思決定の結果どのような状態が出てくるか。それは数理的には厳密なモデルで提供出来る。しかし協力ゲームでは、プレイヤーが2人の時と3人以上の時で大きな違いがある。2人の場合であれば、お互いに話し合って合意に達すれば協力して行動を出せる。3人の場合は2人が協力するが、もう1人は独自に行動するという可能性もあるので、プレイヤーが2人の時に比べ、複雑さも増している。そのため、協力ゲームと非協力ゲームの間にはグレーゾーンが存在している。

4.2 合意形成の数学モデル

前節ではゲームのジャンルについて述べた。次は合意形成の数学モデルについて説明する。例として、コンピュータチェスにおける各エンジンの価値と集団利益について説明する。ここで、集団利益とはグループのメンバー間でまとめられた知恵である。集団利益 V_s は次のように表せる。

$$V_s = NS \quad (4.2.1)$$

ここでNは各エンジンの平均価値(知恵), Sはエンジンの数量(これを集団規模とする)を示す. 式 4.2.1 より, 各エンジンの平均価値と集団規模の積から集団利益が構成されていることがわかる.

一方, 集団利益は各エンジンの利益を合計することでも構成される. つまり, 集団利益は各メンバーに分割できる. 各エンジン i が得る「分け前の割合」を m_i (ただし, $0 < m_i < 1$) とすると, 各エンジンの粗利益 V_i は次のようになる.

$$V_i = m_i V_s = m_i NS \quad (4.2.2)$$

しかし, 実際には外在要素が存在するために誤差が生じる. 誤差を c とすると, 各エンジンの純利益 A_i は次のように定義することができる. なお, c は定数ではなく N の関数と考え, N によって微分可能かつ $c > 0$ であるものと仮定する.

$$A_i = V_i - C = m_i NS - C \quad (4.2.3)$$

次に, この関数について以下の仮定を導入する.

仮定: 各エンジンの平均価値 N が大きくなるとしても, 誤差 c が一定の範囲で変動しており, 大きく変化しない. また, 各エンジンの思考は独自であるので, お互いへの影響は少ない. ここで導関数 dC/dN を「限界関数」と呼称すると, $dC/dN > 0$ が成立する.

合理的に考えると, 各エンジンは自分の純利益を最大化して集団に提供する. そこで, 各エンジンの純利益が大きくなれば, 集団利益も大きくなると考えられる. 式 4.2.3 で表れる A_i の最大値と N との関係から, S, m_i が N に独立であるとすれば, 以下の式が成り立つ.

$$\frac{dA_i}{dN} = m_i S - \frac{dC}{dN} = 0 \quad (4.2.4)$$

式 4.2.4 を N について解くことで, A_i を求めることができる.

次に A_i について考察する. 集団利益を上げるためには, 各エンジンの純利益を増加させなければならない. ここで各エンジンの純利益は正である, つまり $A_i > 0$ の関係が成立する. 従って, $m_i NS - C > 0$ の関係も成立する. よって, $A_i > 0$ の必要十分条件は次のようになる.

$$m_i > \frac{C}{NS} \quad (4.2.5)$$

式 4.2.5 より, 集団規模 S が大きいほど, 各エンジンの「分け前の割合」は小さくなることがわかる. また, 式 4.2.1 より S が少なくなると集団利益が小さくなる. そのため, 集団にとって重要なことは, 集団規模 S の最適値を

求めることだと考えられる。式 4.2.4 により、 S の最適値は次の式で求めることができる。

$$S = \frac{dC}{dN \cdot m_i} \quad (4.2.6)$$

式 4.2.6 より、 m_i を小さくすることで、 S が大きくなることが分かる。

伊藤らはコンピュータチェスにおいて、オリジナル Crafty の問題集正答率と合議を実装した Crafty の問題集正答率の比較を行った^[6]。実験データは 5.3.2 を参照する。結果を以下に示す。

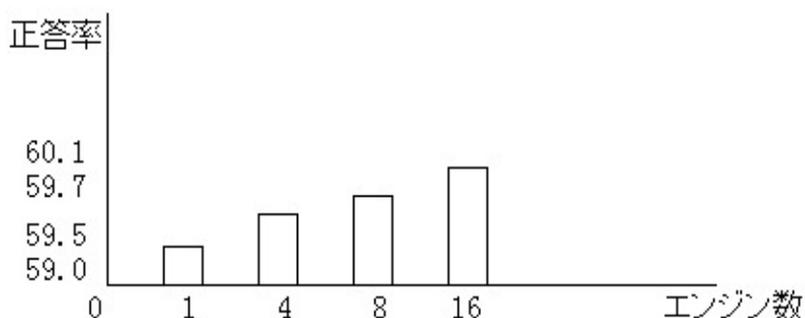


図 4.2.1 多数決合議の正答率

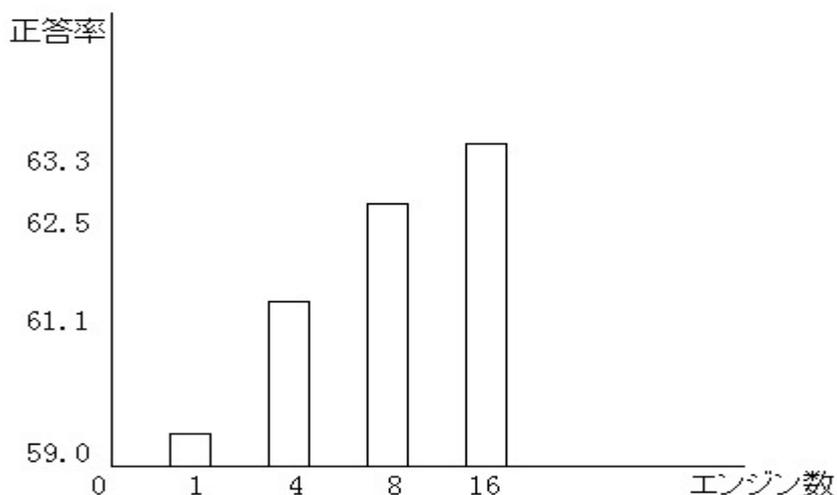


図 4.2.2 楽観的合議の正答率

図 4.2.1, 4.2.2 より、多数決合議と楽観的合議のどちらもプレイヤーの数が大きくなると、正答率も上昇している。しかし、会議において参加者があまりにも多いと意見がまとまらない、あるいはまとめるのにより時間がかかってしまうように、プレイヤーの数が増えすぎると、正答率は一定値になる傾向があると考えられる。

4. 3 まとめ

本章では、合意形成の数学モデルについて述べた。集団規模が大きくなれば集団利益も大きくなるが、一方で集団規模が無限に大きくなると、集団利益が一定値になる傾向があると考えられる。そのため、最適な集団規模を求めるのは大切な課題であるといえる。

第 5 章 合意形成と思考ゲーム

思考ゲームにおいて、先行研究では合議アルゴリズムを用いた各種実験を行い、勝率が上昇する傾向にあることを示した。そこで本章ではチェスにおいて単純多数決合議を行った場合にも同様のレーティングの変化が見られるのか検証を行った。

5. 1 合意形成と合議

合意と合意形成の定義については第 2 章で述べた。合意は当事者双方の意思が一致することを指した。合意があれば互いに遂行する義務が発生し、合意がない場合には何の義務も発生しない。合意形成はある事象に対して、ステークホルダー(利害関係者)の意見の一致を図ることであった。特に議論などを通じて関係者の根底にある多様な価値を顕在化させ、相互の意見の一致を図る過程のことをいう。

合議の定義は複数の意見をもとに一つの意見を集約することであり、合意形成の過程の 1 つである。合意形成では公平な身分で話し合いができ、参加者の意見を尊重できることが重要である。本章では思考ゲームにおいてよく使われる合議について述べる。

5. 1. 1 合議の歴史と発展

まず、合議の歴史と発展について説明する。合議の発展について、最初は Shaw が「宣教師の渡河」問題を用いて、問題を解く際の効率を、個人が別々に解く場合と 4 人グループで解く場合とで比較している。この問題について簡単に説明すると、 n 人の人食い人種と n 人の宣教師が川を渡ろうとしている。ボートは n 人乗りで人食い人種と宣教師のどんな組合せでもこぐことができる。ただし、宣教師の数が川の兩岸、またはボートの中で人食い人種より少なくなると食べられてしまう。最終的に人食い人種と宣教師が全員無事に川を渡れるにはどうしたらよいかを解く問題である。Shaw はこの問題について多くの実験を行った。その結果グループの場合は時間がかかるものの、個人の場合に比べて高い正解率を示すこと、そしてこの結果は誤答をチェックする機能がグループで発揮されやすいという事実に基づくことなどが判明した^[22]。

Shaw は上述の問題を用いて、個人および 4 人集団に、正しい解答に達するためにいくつかのステップをふむ必要のある複雑な知的パズルの解決を実験した。表 5-1-1 に結果を示す。

表 5-1-1 Shaw (1932) の実験結果 (正解率)

	個人	集団
問題 1. 正解率	0.14	0.60
所要時間	4.5 分	6.5 分
問題 2. 正解率	0.00	0.60
所要時間	9.9 分	16.9 分
問題 3. 正解率	0.10	0.40
所要時間	15.5 分	18.3 分

表 5-1-1 の実験結果から見ると、個人に比べたら集団の正解率は非常に高く、集団の優位性が見出されている。更に、集団においては各メンバーがさまざまな意見を出し、お互いにチェックすることで誤りが排除され、正しい方向へ進むので、与えられた問題を解決できるが、そのために個人よりも所要時間が相応に長くなった。

このような個人とグループの比較は、1940 年代から 50 年代にかけて広く研究されてきた。研究の結果は、グループは個人に比べて平均的に優れた知的達成を示すという事実であった。また課題を解く程度は個人よりグループの方が高くなったことも分かった。

認知科学の分野ではグループによる問題解決、例えば「三人寄れば文殊の知恵」ということわざを基に検証研究が行われてきた。この「三人寄れば文殊の知恵」とは、グループは個人より平均的に優れた知恵を発揮するという意味だけではなく、1 人では考えつかなかった知恵がグループの中で新たに生まれ、決定や選択の中に反映されるという期待でもある。このことは次のように言い換えられる。メンバーの持つさまざまな知的資源を考えたときに、知的資源の総和以上の新たなアイデアを誕生させるという可能性である。

近年は、3-Hirn システムと呼ばれるアルゴリズムが主にチェスを対象として研究されている^[4, 23, 24]。3-Hirn システムは二つのチェスプログラムと 1 人の人間から構成され、チェスプログラムが出した候補手の中から、強い候補手を人間が選択するシステムである。1985 年から 1995 年までの 10 年間に Ingo が多くの実験を行い、3-Hirn システムを用いたプログラムは元の二つのプログラムに比べ、レーティングにして 200±50 程度の棋力の向上が見られた^[4]。

その後、将棋でも合議アルゴリズムの研究が進められている。合議アルゴリズムとは、複数の意見から 1 つの意見を選択するアルゴリズムを指す。合議の考えを思考ゲームに用いて複数のソフトウェアに個別に並列計算させ、それらの意見を集約して次の一手を決定する手法である。現在のところ、限られた状況では効果が認められており、これを実際の対局に用いる方向で検討が進められている。現時点での参加ソフトウェアの候補は、GPS 将棋、Bonanza、激指、YSS である。これを実用的にどのように組みあわせるかは、実験を元に調整される。これら四つのプログラムは単体でも、それぞれが世界コンピュータ将棋選手権において優秀な成績を収めている。強いプログラムを用いて合議を行えば、行うとどの程度の有効性があるか。この課題について、近年伊藤らはコン

コンピュータ将棋とコンピュータチェスにおいて合議アルゴリズムを用い、研究してきた。その結果、多数決合議、楽観合議法を提案し、合議アルゴリズムを用いたプログラムが元のプログラムより高い勝率をあげることを示した。

次節ではまず 3-Hirn システムについて説明し、それ以降で合議アルゴリズムについて説明する。

5. 1. 2 関連研究(3-Hirn システム)

合議の考え方を思考ゲームの着手選択に用いた最初の研究は 1985 年、Ingo が提案した 3-Hirn システムである。ここでは 3-Hirn システムについて述べる。

思考ゲームにおいて複数の意見を組み合わせる先行研究として、「3-Hirn システム」という研究がある。「3-Hirn システム」とは、二つのコンピュータプログラムと一人の人間から構成され、コンピュータプログラムが出した意見のうちどちらかを人間に選ばせるというシステムである。このシステムはチェスにおいて、Ingo Althofer によって提案された手法である。80 年代から盛んに実験が行われ、チェスプログラムが提示した二つの候補手から人間に手を選ばせるだけで、Elo レーティングにして 200 ± 50 上昇することが確認されていた。その後、彼はさらに囲碁や他の思考ゲームでも同様の実験を行い、その有効性を示した。チェスにおける実験の結果を表 4-1 に示す。

表 5-1 Ingoが3-Hirnシステムを用いて、行った実験の結果^[4]

Chronology of experiments with 3-Hirn

Year	Computer Elo-ratings	Number of games	Performance of 3-Hirn
1985	1500, 1500	20	1700
1987	1800, 1800	20	2050
1989	2090, 1950	8	2250
1992-1994	2260, 2230	40	2500
1995	2400, 2330	8	2550

合議の考えについて、最初は認知科学分野でShaw(Shaw 1932)が、論理的パズルを用いた研究におけるグループは個人よりも平均的に優れたパフォーマンスを示すことを明らかにした^[22]。Lorgeら(1955)は「機械的集約」モデルによる検証をして、「グループの一人でも解ければグループとしても解決できる」という仮説を検証したが否定的結果を得た^[25]。その後、Ingoが 3-Hirnシステムを提案し、個々のプログラムより合議アルゴリズムを用いたプログラムが強くなるという肯定的結果を得た。

将棋の分野ではFazrinaらによる研究で、候補手を選択する人間が対局相手よりも強いとき、コンピュータプログラム(人間)よりも強い相手に勝つことが

出来た^[26]という結果が示されている(コンピュータプログラム単体では, 対局相手に勝つことは難しい). つまり, 複数の候補手の中から上手く手を選ぶことが出来れば, 単体より強さが上がる可能性があることが確認された.

5. 1. 3 思考ゲームにおける合議アルゴリズム

合議アルゴリズムの原点となる, 「三人寄れば文殊の知恵」を検証するようなグループによる問題解決は, 古くから認知科学分野で行われてきた. 人々が複数のプログラムから最善な手を選択する方法を「合議アルゴリズム」と呼ぶ.

合議とは複数の単体が出した意見をもとに, 全体として1つの答えを導くプロセスである. 図 5-1-3-1 にその基本構造を示す.

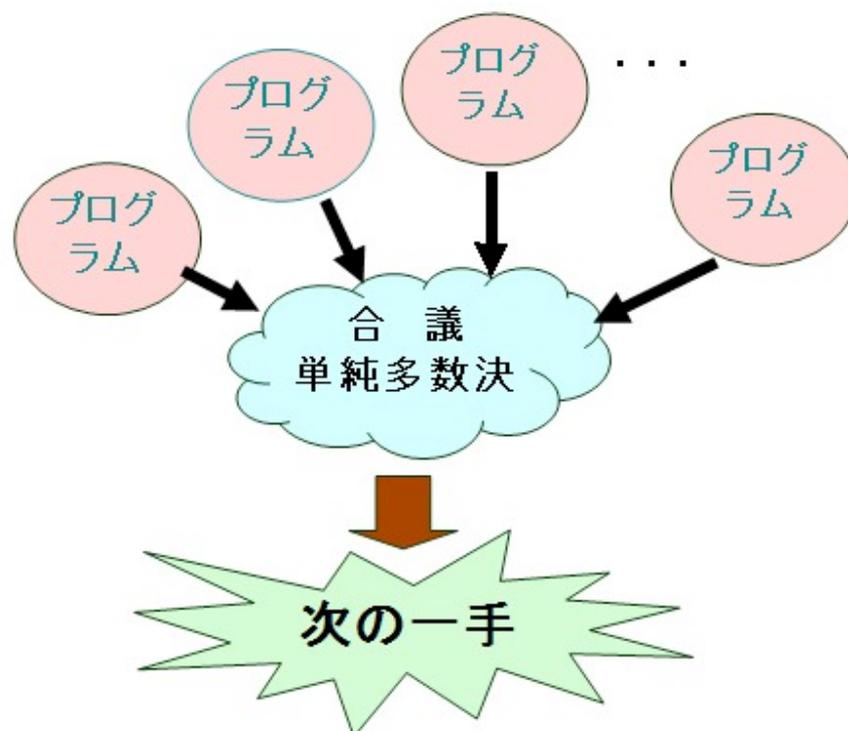


図 5-1-3-1 合議アルゴリズムの基本構造

図 5-1-3-1 のように, 複数のプログラムから合議アルゴリズム(単純多数決)を用いて, 候補手の中から最も多い意見を採用し, 次の指し手として出す.

近年, 思考ゲームにおいてよく使われる合議アルゴリズムは単純多数決である. では, 合議アルゴリズムにはどのような種類があるか, 次節ではその種類と優劣性について述べる.

5. 1. 3. 1 合議アルゴリズムの種類と優劣

合議アルゴリズムについてはいくつか考えられるが, 前節でも述べたようによく使われる方法は単純多数決である. 例えばある議案に対して, 1人1票ずつ賛成するか反対するかを投票する. その結果は次のどちらかである.

- (1) 「賛成の数」 > 「反対の数」 → 可決
「反対の数」 > 「賛成の数」 → 否決
- (2) 「賛成の数」が過半数(あるいは三分の二)以上 → 可決
「賛成の数」が過半数(あるいは三分の二)未満 → 否決

ここで、選択対象が2つの場合は(1)の状況、3つ以上の場合は(2)の状況を用いると効率が良い。

思考ゲームにおける単純多数決とは、最も多くのプログラムに支持された手を選択する方法である。単純多数決合議アルゴリズムは非常に単純であり、プロセッサ間の高速な通信を必要としない。これを採用する利点として以下があげられる。

- ① 疎結合な計算機環境を利用することができ、大規模な計算資源を利用することが可能になること。
- ② 非常に単純であるため、あらゆる思考プログラムが参加可能なこと。

ただし、単純多数決による合議アルゴリズムは常に多数派の意見を採用し、少数派の意見を見捨てる傾向がある。では少数派の意見は本当に見捨てるべきなのか、多数派の意見は万能なのか、どのようにすれば双方の意見を中和できるか。これらの問題に対し、私たちは合意形成の方法を用いて、新しいアルゴリズムを提案する。

2009年、小幡らはコンピュータ将棋における多数決合議と楽観的合議アルゴリズムを提案した^[27]。多数決合議とは、複数の候補手に対して多数決を行い、候補手の中で多くの支持を集めた手を次の指し手として採用する。楽観的合議とは、評価関数によって各候補手に付けられた評価値を比較して、最も評価値の高かった手を次の指し手として採用する。

2011年、伊藤らはコンピュータチェスにおいて、多数決合議と楽観的合議アルゴリズムを組み合わせた乱数合議法を提案した^[5]。乱数合議法とは、プログラムの評価関数によって算出される評価値に乱数を加え、異なる形勢判断を持つプレイヤーを生成し、単一のプログラムから多数のプレイヤーを生成する手法である。乱数合議にて合議を実装した結果、多数決合議と楽観的合議法の方は勝率が上昇する傾向が示唆された。乱数合議法は、個々のプレイヤーに異なる乱数系列を与えることによって、それぞれ異なる形勢判断を持つプレイヤーを生み出すのである。この手法は非常に単純であり、このように生成されたプレイヤーによる合議が元のプログラムより強くなることは既に報告されている^[5]。

5. 1. 3. 2 最も簡単によく使える合議システム(単純多数決)

単純多数決合議アルゴリズムは非常に単純であり、コンピュータゲームに適用しやすい。思考ゲームにおける各プログラムの指し手を集計し、次の指し手として意思決定する。簡単な例を挙げて、単純多数決を説明する。

ある会社は1, 2, ..., n人の人からなる。いま人事異動についての賛否

を求められている。社員は賛成するか反対するか、別々の意見がある。ここで、
 1 賛成；2 反対；3 反対；・・・；n 賛成
 とする集団の意思決定関数 f が存在する、全員の意見をまとめて、可決か否決かを決める。単純多数決の場合であれば

$$f(\text{賛成}, \text{反対}, \dots, \text{賛成}) = \begin{cases} \text{賛成の数} > \text{反対の数} & \text{可決} \\ \text{それ以外の場合} & \text{否決} \end{cases}$$

となる。

選択対象に対して、賛成と反対のどちらかが過半数以上の票数を得られれば、結果が出せる。しかし、全員の意見が一致することを要求する場合もある。つまり、

$$f(\text{賛成}, \text{賛成}, \dots, \text{賛成}) = \begin{cases} \text{賛成の数} = n & \text{可決} \\ \text{それ以外の場合} & \text{否決} \end{cases}$$

以上の状況である。

単純多数決は非常に単純であり、短い時間で最終決定を出せるが、問題点もある。例えば、1, 2, 3 の3人がいて、A, B, C の三つの選択肢について意見を出すとし、下記の結果を得たとする。

- 1 の選択は A>B>C
- 2 の選択は B>C>A
- 3 の選択は C>A>B

この選択の場合、A, B, C は1票ずつで決定できない。では、2対ずつ比較したらどうなるか。A と B であれば、A を選択する、同様に、B と C ならば、簡単に B を選択する。A と C なら C を選択する、このようなサイクルが起ってしまうと、いつまでも決定できない。この場合は簡単な単純多数決の方法を用いたら、結果を出せない。このように、単純多数決の方法はコンドルセ勝者(堂々巡りにならずに最も好まれる候補のことをいう)が存在するならば単純に勝者を選択できるが、コンドルセ勝者が存在しないときは、サイクルが起って決定できない。

単純多数決を思考ゲームに用いて、k-Best によって最も多く出された指し手を次の指し手として選択する。k-Best とは評価値の高い順に上位 k 個の指し手を取得することである。

Lorge らは参加者の正解率・人数と単純多数決によって選ばれた解の正答率をモデル化した^[25]。個人の正解率が p であるグループのサイズを n とする。このモデルによるグループの正解率 $F'(p)$ (個人差はないものとする)を

$$F'(p) = 1 - (1-p)^n$$

とおく。

単純多数決では過半数が正解を選ぶとき、そのグループは正解となるので、多数決グループの正解率 $F(p)$ は

$$F(p) = p^n + nC_{n-1} p^{n-1} (1-p)$$

$$+ nC_{n-2} p^{n-2} (1-p)^2$$

$$+ \dots\dots\dots$$

$$+ nC_{(n+1)/2} p^{\frac{n+1}{2}} (1-p)^{\frac{n+1}{2}} \quad (n \text{ は奇数とする})$$

となる。上記公式により、単体と多数決によるグループの正解率の差のグラフが作成できる^[27]。

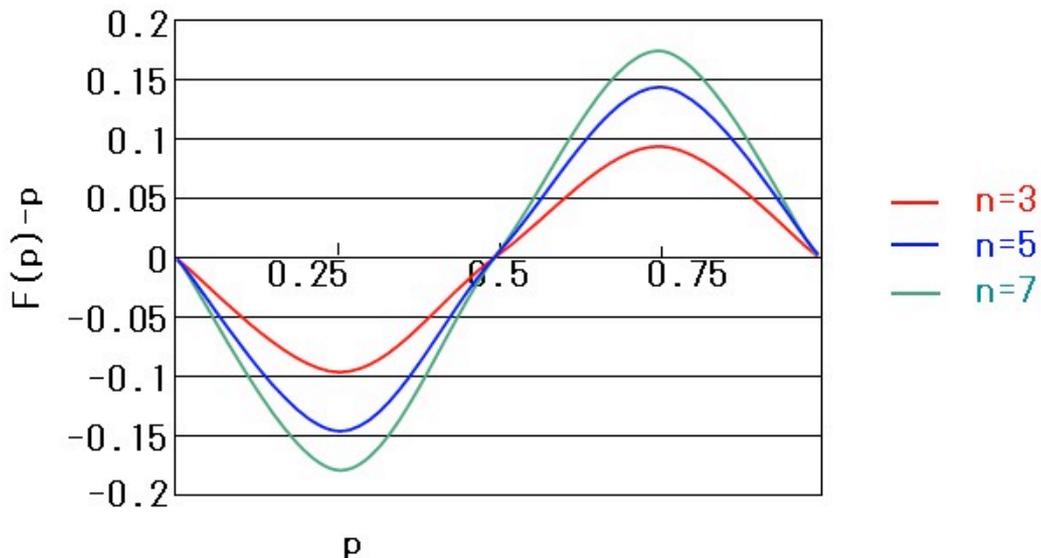


図 5-1-3-2 多数決と単体の正解率の差 $F(p) - p$

図 5-1-3-2 のグラフのうち、横軸は単体の正解率 p 、縦軸は多数決と単体の正解率の差 $F(p) - p$ を示す。 p が 0.5 を超えると、単体の正解率より多数決グループの正解率の方が高くなる。また n が多くなるに従って、正解率の向上幅も大きくなる。これにより個人に比べグループの知恵が強いことを証明した。

5. 2 合議アルゴリズムを用いたコンピュータ将棋

近年、小幡らはコンピュータ将棋において多数決合議や楽観的合議、乱数合議アルゴリズムを用いて、その有効性と優れたパフォーマンスを示した。

5. 2. 1 Bonanza を用いた将棋における実験

小幡らは合議により Minimax 探索を行うシステムを構築する一般的な手法を提案した。これは乱数を用いて複数のゲームプログラムを生成する方法であり、最低 1 つのプログラムさえ準備できれば合議システムの構成が可能となる。その方法は、まずプログラムの評価関数によって算出される評価値に乱数を加える。各々の候補手に異なる乱数を加えて、異なる形勢判断を持つプレイヤーを生成する。問題は乱数を加えることにより、どの程度プログラムが弱くなるか、またどのぐらいの乱数を加えれば多様な意見を得ることができるかである。

小幡らは第 19 回世界コンピュータ将棋選手権 3 位の文殊, 第 20 回 5 位の文殊を収めた Bonanza プログラムを用いて実験を行った. 評価関数に与える乱数は正規分布 $N(0, D^2)$ に従って生成した. 表 5-1 に乱数とその影響を示す.

表 5-1 Bonanza の評価値に乱数を与える影響^[27]

深さ/D	25	50	101	202
1	48.22%	43.93%	30.08%	9.11%
2	49.55%	47.45%	38.20%	19.64%
3	51.41%	46.42%	37.34%	21.64%
4	49.90%	50.00%	46.85%	34.47%
5	48.48%	49.50%	45.68%	33.20%
6	51.52%	49.65%	46.98%	37.97%

勝率 = 勝数 / (勝数 + 敗数)

表 5-1 は, 小幡らが標準偏差 D の正規乱数を加えた Bonanza と通常の Bonanza を探索量別に 1000 局ずつ対戦させ, 測った勝率である. 正規乱数の標準偏差 D が大きくなるほど意見が分かれていることが確認できる. $D=25$ と $D=50$ の時は, 元のプログラムに対して 50% 程度の勝率になった. このことから標準偏差が大きくなると, 勝率が下がっているのが分かる.

次に Bonanza プログラムを用いて, 自己対戦による合議実験を行った. なお, 用いた合議アルゴリズムはさきほど述べた乱数合議アルゴリズムである. 乱数を加えた複数のプレイヤーを用いて, Bonanza 合議プログラムと通常の Bonanza プログラムを対戦させ, その勝率を調べる. 合議プログラムについては, 複数のプレイヤーから単純多数決で最も多くの支持を集めた指し手を採用した. 最多票の意見が複数ある場合は, その中からランダムに選択した.

実験はプレイヤーあたり 1 手 20 万ノードの探索と, 1 手 40 万ノードの探索の場合に分け, 実験を行った^[27]. 実験結果を表 5-2, 5-3 に示す.

表 5-2 自己対戦による合議実験(一手 20 万ノード)

M/D	25	50	101	202
1	49.50%	48.03%	43.72%	33.03%
4	54.27%	51.76%	54.43%	42.07%
8	53.13%	54.49%	53.37%	46.04%
16	53.48%	57.65%	52.48%	50.65%

勝率 = 勝数 / (勝数 + 敗数)

表 5-3 自己対戦による合議実験(一手 40 万ノード)

M/D	25	50	101	202
1	47.83%	48.89%	45.98%	35.08%
4	55.56%	53.24%	52.21%	45.43%
8	55.19%	57.42%	54.59%	48.89%
16	53.07%	55.99%	55.70%	50.20%

勝率 = 勝数 / (勝数 + 敗数)

二つの表の結果を比較すると、適切な大きさの乱数を加えた合議側がほとんどの場合有意に勝ち越すデータが得られた。しかし、プレイヤーの数についてはプレイヤー数が多くても勝率が上がらないことが示唆された。また、標準偏差 D が大きすぎると勝率が下がる傾向があることも読み取れる。従って、適切な乱数やプレイヤー数、深さを与えられるかが重要であると考えられる。

5. 2. 2 YSS を用いた将棋における実験

その後、将棋プログラム YSS の開発者である山下は先述の乱数を用いた合議実験について、YSS 合議と Bonanza で追試した^[27]。先に述べた Bonanza プログラムを用いた実験では合議が有効性であるという結果が示されたが、Bonanza 以外のプログラムでも有効であるかどうかは不明である。そのため、山下は YSS プログラムを用いて追試を行った。結果を表 5-4 に示す。

表 5-4 YSS の合議実験

M/D	6	12	25	50	100	200
3	47.10%	45.10%	51.00%	46.60% 50.10%	46.40%	50.10%
8	-	47.30%	51.70%	-	-	-
16	-	52.50%	52.50%	50.70%	52.30%	-

勝率 = 勝数 / (勝数 + 敗数)

山下の実験では、乱数は Bonanza と同様 $N(0, D^2)$ の正規乱数を加え、対戦相手は Bonanza 5.1.1 (各 1000 局) であり、思考量は YSS 側では合議プレイヤーあたり 1 手 40 万ノード、Bonanza 側では合議プレイヤーあたり 1 手 10 万ノード(互いに約 1 秒)であった。表中の勝率は YSS 側から見たものである。Bonanza 合議と同様に、D=25 と D=50 の時は、YSS プログラムも合議すると強くなる。ま

た、Bonanza プログラムより、大きい乱数を加えても有効であることがわかる。

5. 2. 3 Bonanza, YSS, GPS を用いた将棋における合議実験

小幡らは「独立に思考する別々の思考アルゴリズムの将棋プログラムを組み合わせると強くなるのか」^[27]という研究に興味を持っており、Bonanza, YSS, GPS プログラムの3種類のプログラムによる合議実験を実現させた。この三つのプログラムを選択する理由として、これらのプログラムはいずれも世界コンピュータ将棋選手権において優勝経験を持っている強豪であることがあげられる。

小幡らの実験では、合議プレイヤーについて三つのプログラムを単純多数決により作成した。三つのプログラムは別々に指し手を出す場合(意見が1:1:1に分かれるとき)は、Bonanza プログラムの意見を優先的に採用した。思考量については、1秒あたりの探索ノード数を目安に制限した。具体的には、Bonanza プログラムは10万ノード、YSS プログラムは40万ノード、GPS プログラムは15万ノードとした。また、それぞれのプログラムに付属する序盤データベースを使用した。これによる棋譜の内容に偏りは見られなかった^[27]。そして、前の実験と同様に、合議対 Bonanza, 合議対 YSS, 合議対 GPS のそれぞれについて1000局ずつ対局させた。結果を表5-5に示す。

表 5-5 Bonanza, YSS, GPS 将棋を用いた合議実験

対戦相手	Bonanza	YSS	GPS
合議側勝率	64.26%	73.65%	72.24%
Bonanza	50.00%	70.31%	59.10%

$$\text{勝率} = \text{勝数} / (\text{勝数} + \text{敗数})$$

実験結果をみると、三つのプログラム全てに対し、合議側が単体のプログラムと比べて高い勝率が示された。合議側が高い勝率を挙げる理由として、三つの競合プログラムが合議をすることにより、序盤データに含まれる悪手が選ばれにくくなることが考えられる。序盤データの公平性については、探索量を1手10万ノードにして、序盤データを利用するときのみ3人で合議する Bonanza と通常 Bonanza の勝率を求めると、51.16%であった^[27]。つまり、この結果は有意な勝率の向上とは認められず、少なくとも Bonanza のみの合議に関しては、不公平ではないことが示唆された。

また、この実験では意見が1:1:1に分かれるときは Bonanza プログラムの意見を採用したが、もしここで Bonanza ではなく YSS プログラム、または GPS プログラムの意見を採用していたら、結果はどれだけ変化していたか。同様にかなり勝率を収められるか。それが今後の調査課題となる。

5.3 合議アルゴリズムを用いたコンピュータチェス

前節では合議アルゴリズムのコンピュータ将棋における有効性が示唆された。伊藤らは同じ思考ゲームであるコンピュータチェスに合議アルゴリズムを用いて、その有効性を検証した。

5.3.1 Crafty を用いたチェスにおける実験

伊藤らは小幡らが提案した多数決合議と楽観的合議によって、乱数合議法を提案した。実験では Crafty プログラムを用いて、合議アルゴリズムの検証実験を行った。Crafty は近年のコンピュータ対戦で優秀な実績を取っており、その強さが知られているプログラムである。

では、乱数を加えた Crafty とオリジナルの Crafty の強さはどれくらいであるか。伊藤らは標準偏差 2, 4, 8, 16, 25, 50 の正規乱数を加えた Crafty とオリジナルの Crafty を対戦させた。対局は互いに先手、後手それぞれ 500 局ずつ、計 1000 局のユニークな棋譜が得られるまで行った^[5]。まずオリジナル Crafty 同士の対局実験結果を表 5-6 に示す。

表 5-6 オリジナル Crafty 同士の対局実験結果^[5]

単独乱数	
NPLAYERS	標準偏差σ (25)
1	339勝322敗339分け
先手	1398 (504)
後手	1398 (623)

この結果から算出すると勝率は 51.2%であった。勝率は 1000 局から引き分け数を引いた対局数から算出した。

一方、標準偏差 2~50 の乱数あり Crafty vs. オリジナル Crafty の対局結果を表 5-7 に示す。

表 5-7 乱数あり Crafty vs. オリジナル Crafty の対局実験結果^[5]

単独乱数						
NPLAYERS	標準偏差 2	4	8	16	25	50
1	268勝372敗 360分け	293勝372敗 335分け	301勝369敗 330分け	291勝400敗 309分け	288勝350敗 366分け	237勝487敗 276分け
	41.90%	44.10%	44.90%	42.10%	45.40%	32.70%
(乱数側が) 先手	10724 (673)	6216 (708)	8930 (630)	2436 (580)	1874 (502)	1506 (568)
後手	10724 (500)	6218 (500)	8931 (501)	2436 (500)	1876 (546)	1509 (502)

勝率の計算方法はオリジナル同士の対戦結果で用いた方法と同様である。表の下部の値は、ユニークな棋譜を集めるのに行った対局数であり、括弧内の数値は集められたユニークな棋譜の数である。

表 5-6 より乱数なし Crafty 同士の対局結果はほぼ五分となった。また、表 5-7 より、乱数の標準偏差の大きさによってプログラムが弱くなる傾向が示された。さらにユニークな棋譜数も乱数を大きくするほど少なくなっている。

その後、合議を実装した Crafty とオリジナルの Crafty の強さを比較するため、この二つを対戦させた。実験結果を表 5-8 に示す。

表 5-8 合議 Crafty vs. オリジナル Crafty の対局実験結果^[5]

多数決				
NPLAYERS	標準偏差12	25	50	100
4	301勝351敗348分け	316勝330敗354分け	330勝336敗334分け	209勝538敗253分け
	46.20%	48.9%	49.5%	28.0%
8	*	344勝274敗382分け	378勝310敗312分け	279勝437敗284分け
		55.7%	54.9%	39.0%
楽観				
NPLAYERS	標準偏差12	25	50	100
2	348勝299敗353分	380勝302敗318分	347勝335敗318分	227勝522敗251分
	53.8%	55.7%	50.9%	30.3%
4	399勝266敗335分	411勝265敗324分	402勝301敗297分	314勝475敗220分
	60.0%	60.8%	57.2%	40.3%

乱数合議法にて合議を実装し、多数決合議 Crafty vs. オリジナル Crafty と楽観的合議 Crafty vs. オリジナル Crafty の対局実験をそれぞれ行った。標準偏差については 12, 25, 50, 100 の正規乱数を加えた。対局は先後それぞれ 500 局ずつ、合計 1000 局のユニークな棋譜が得られるまで対戦させた。勝率の算出法は前の実験と同様である。

表 5-8 より、多数決の方はプレイヤー数が少ない場合は弱く、プレイヤーを増やすと勝率が上昇する傾向が示された。一方、楽観的合議の方もプレイヤーの数が増えることで、勝率が上昇したことがわかる。また、標準偏差はほとんどの場合、25 を加えたときの勝率が最高であることが読み取れる。そして、標準偏差値があまりに大きくなると、逆に勝率が悪くなっている。

これらの全ての実験結果より、合議アルゴリズムはコンピュータチェスにおいても有効性が示された。適切な大きさの乱数を加えた乱数合議法による合議を行うことで、チェスプログラムの強さが大きくなる結果が得られた。特に、楽観的合議法においてはその有効性が強く現れた。しかし、「適切」な大きさの乱数を選択するのはそう簡単ではないことである。

この実験では、伊藤らはコンピュータ将棋の合議アルゴリズム研究の実験と同じ方法をコンピュータチェスに適用することで、強さが上昇したことがはっきりと見えた。その後、伊藤らはコンピュータチェスの強さにおいて、次の節で述べる一手問題集の正答率の比較を行い、コンピュータチェスにおける合議

5. 3. 2 一手問題集の正答率の比較

伊藤らはコンピュータチェスの強さについて、次の一手問題集の正答率に対しての合議実験を行い、結果を検証した。以下の四つの表に結果を示す。

表 5-9 オリジナル Crafty の問題集正答率 (%)^[6]

オリジナル				
sd	8	10	12	14
Hd(879)	59.0	52.0	62.0	70.0
Rf(1001)	71.4	80.4	84.1	86.0
Wc(300)	77.3	89.0	89.7	93.3
Sum(2180)	59.0	70.1	76.0	80.6

表 5-9 はオリジナル Crafty の問題集正答率である。sd は基準探索深さ、Sum は全ての問題集を合わせた正答率である。表 5-9 より、sd 探索深さが大きくなると、正答率が上昇していることがわかる。

表 5-10 単一乱数あり Crafty の問題集正答率 (%)^[6]

$\sigma \backslash sd$	8	10	12	14
0	59.0	70.1	76.0	80.6
12	59.0	70.4	76.3	80.0
25	59.0	70.1	75.9	80.1
50	59.0	70.2	76.1	79.7
100	59.0	70.8	76.1	80.6

表 5-10 は単一乱数あり Crafty の問題集正答率である。実はこの結果は正規乱数を加えた Crafty ではどれだけ正答率が下がるかを検証するためのものである。 σ は標準偏差である。しかし、予備実験では標準偏差 2 ほどの正規乱数を加えただけで Crafty は弱くなっていたが、この実験結果を見ると、強さの低下は見られなかった^[6]。

表 5-11 多数決合議標準偏差 12 と 100 の Crafty の問題集正答率 (%)^[6]

p\sd (12\100)	8		10		12		14	
1	59.0	59.0	70.4	70.8	76.3	76.1	80.0	80.6
4	59.5	60.1	70.4	71.2	76.4	77.3	80.6	80.9
8	59.7	60.8	70.1	71.5	76.4	76.9	80.6	81.1
16	60.1	61.0	70.0	71.8	76.9	76.7	80.9	81.1

表 5-12 楽観的合議標準偏差 12 と 100 の Crafty の問題集正答率 (%)^[6]

p\sd (12\100)	8		10		12		14	
1	59.0	59.0	70.4	70.8	76.3	76.1	80.0	80.6
4	61.1	63.9	71.8	72.8	77.4	78.9	81.1	82.1
8	62.5	65.9	72.6	74.1	78.1	79.7	81.6	82.3
16	63.3	67.4	73.2	75.0	78.5	80.2	82.1	83.1

表 5-11 と 5-12 は多数決合議と楽観的合議それぞれに対し、標準偏差 12, 100 を与えた Crafty の問題集正答率の結果である。p は合議するプレイヤーの数である。まず表 5-11 を見ると、多数決合議を用いた場合は標準偏差が大きくなると強さも大きくなるのがわかる。ただし、正答率はプレイヤーの数と関係がなく、プレイヤー数が多くても正答率が低くなる状況もある。次に表 5-12 を見ると、楽観的合議を用いた結果は多数決合議と同じく、標準偏差が大きくなると強さも大きくなる。一方、多数決と異なる場所として正答率はプレイヤー数が多くなるにつれ、正答率も大きくなることがあげられる。

多数決合議と楽観的合議は同じ標準偏差を与えても、プレイヤー数が異なる場合は正答率の上昇幅が違う。たとえば表 5-11 で多数決合議の探索深さが 8 の場合を見ると、プレイヤー数が 1 人のときの正答率は 59.0% であるのに対して、16 人のときの正答率は 61.0% であり、2.0% 上昇したことがわかる。同様に探索深さが 14 の場合を見ると、プレイヤー数が 1 人のときの正答率は 80.6% であるのに対し、16 人のときの正答率は 81.1% であり、0.5% 上昇している。探索深さが大きくなると、プレイヤーが単一か複数かに対する正答率の格差は小さくなる。

一方、表 5-12 から楽観的合議の場合に同様に比較すると、正答率は探索深さが 8 の場合に 8.4%, 14 の場合に 2.5% 上昇しており、多数決合議と比べてその格差が大きいことがわかる。

5.4.2 レーティング 3000 同士による実験

三つのレーティングが異なるプログラムを選び、以下の単体同士と合議同士実験を行った。

☆ 実験設定

合議側三つのエンジン(Gull, Bright, Hannibal)と Gull の対戦を行う

- － 試合数 : 30 戦
- － 持ち時間 : 一手 60 秒
- － ハッシュ容量 : 512MB
- － オープニングブック : perfect_2010.abk (24ply まで使用可能に設定)

☆ 単体同士参加エンジン

(2012-2-4, CCRL 40/40 より取得, 各エンジンのレーティングは 3000 程度, 各エンジンの差は 50 以内)

- ▼ Hannibal1.1x64
- ▼ Gull 1_2 x64 tunable
- ▼ Bright-0.3a

☆ 実験結果

勝敗表

□ 勝ち数－負け数－引き分け数 という形式で記述

	Hannibal1.1x64	Gull 1_2 x64 tunable	Bright-0.3a
Hannibal1.1x64	—	14-10-26	23-6-21
Gull 1_2 x64 tunable	10-14-26	—	25-5-20
Bright-0.3a	6-23-21	5-25-20	—

勝敗表により, 勝ち 1 ポイント, 引き分け 0.5 ポイント, 負け 0 ポイントとしてポイントを計算して表記する.

Hannibal 60.5 ポイント
Gull 58.0 ポイント
Bright 31.5 ポイント

☆ 考察

実験結果より, Hannibal1.1x64 と Gull 1_2 x64 tunable のレーティングがほぼ等しく, Bright-0.3a はほかと比べて大幅に弱いことが分かる.

☆ 合議側参加エンジン

(2012-2-4, CCRL 40/40 より取得, 各エンジンのレーティングは 3000 程度, 各エンジンの差は 50 以内)

- ▼ Gull 1_2 x64 tunable
- ▼ Bright-0.3a
- ▼ Hannibal1.1x64
→ 合議側リーダー Gull 1_2 x64 tunable (TE_Gull)

☆ 実験結果

- － 勝敗 合議側から見て 0 勝 8 敗 22 引き分け
- － パターン分析結果
- 全会一致 : 38.81%
- 全て不一致 : 19.46%
- リーダを含む多数が採用 : 29.64%
 - ・ リーダと共に各エンジンの候補手が採用された確率
 - － Bright : 12.42% ([リーダを含む多数]の 41.91%)
 - － Hannibal : 17.22% ([リーダを含む多数]の 58.09%)
- リーダを含まない多数が採用 : 12.10%

☆ 考察

予想に反して合議側が負けてしまった. 将棋においては伊藤らの実験により, ある程度近いレーティングのエンジンを使うことで 50 程度レーティングの上昇が見られることが確認されていた. しかし今回レーティングの差が 50 以下の 3 つのエンジンを用いて行った合議でははっきりと弱くなっている. 一つの原因としては CCRL との環境の違いによる個々のエンジンの強さの変動が考えられる. もう一つの原因として, チェスにおいてはそもそも将棋より合議によるレーティングの上昇幅が小さいということが考えられる. また時間制限の影響も大きかったのかもしれない.

パターン分析における「リーダを含まない多数」以外はすべてリーダの指し手が採用されているので, 12.10%の指し手を除いてはすべてリーダが選んでいるのと同様である. よってこの 12.10%が強さの制限の理由の一つではあると考えられるが, はっきりしたことを言うにはさらに実験が必要である.

5. 4. 3 レーティング 3200 同士による実験

5.4.2 で選んだ三つのエンジンに比べ, レーティングが上の異なるプログラムを選び, 以下の単体同士と合議同士実験を行った.

☆ 実験設定

合議側三つのエンジン(Critter, Stockfish, Komodo)と Critter の対戦を行う

- － 試合数 : 30 戦
- － 持ち時間 : 一手 60 秒
- － ハッシュ容量 : 512MB
- － オープニングブック : perfect_2010.abk (24ply まで使用可能に設定)

☆ 単体同士参加エンジン

(2012-2-4, CCRL 40/40 より取得, 各エンジンのレーティングは 3200 程度, 各エンジンの差は 50 以内)

- ▼ Critter 1.2 64-bit SSE4
- ▼ Stockfish 2.1.1 JA 64bit
- ▼ Komodo64 3

☆ 実験結果

勝敗表

□ 勝ち数－負け数－引き分け数 という形式で記述

	Critter	Stockfish	Komodo
Critter	—	7-3-20	15-2-13
Stockfish	3-7-20	—	9-4-17
komodo	2-15-13	4-9-17	—

勝敗表により，勝ち1ポイント，引き分け0.5ポイント，負け0ポイントとしてポイントを計算して表記する．

Critter 38.5ポイント

Stockfish 30.5ポイント

Komodo 21.0ポイント

☆ 考察

実験結果より，各エンジンのレーティング差が大きいことが分かる．

☆ 合議側参加エンジン

(2012-2-4, CCRL 40/40 より取得，各エンジンのレーティングは3200程度，各エンジンの差は50以内)

▼ Critter 1.2 64-bit SSE4

▼ Stockfish 2.1.1 JA 64bit

▼ Komodo64 3

→ 合議側リーダー Critter 1.2 64-bit SSE4 (TE_Critter)

☆ 実験結果

－ 勝敗 合議側から見て4勝9敗17引き分け

－ パターン分析結果

○ 全会一致 : 44.19%

○ 全て不一致 : 15.10%

○ リーダを含む多数が採用 : 27.76%

・ リーダと共に各エンジンの候補手が採用された確率

－ Stockfish : 14.29% ([リーダーを含む多数]の51.46%)

－ Komodo : 13.48% ([リーダーを含む多数]の48.54%)

○ リーダを含まない多数が採用 : 12.96%

☆ 考察

この実験でも初回の実験よりは良いものの，やはり合議側の勝率が高くなることはなかった．前の実験と比べて全会一致となる割合が約5%程度上昇，す

べて不一致となる割合が約 4%減少するなどの違いがあったが、合議側が強くないはっきりとした理由は分からなかった。今後の課題として実験回数を増やす、さらに詳細な分析が必要な点などがある。

5. 5 ボルダ投票を用いた合議アルゴリズムの提案

単純多数決は思考ゲームにおける疎結合な計算機環境を利用することができ、大規模な計算資源を利用することが可能になる。それだけではなく、非常に単純であるため、多くのプログラムが合議に参加可能であり、処理が短時間で行える方法として有効である。しかし、この手法は多数派の意見を重視し、少数派の意見を無視しやすいという性質がある。それに対して、我々は公平性を重視して全体の意思決定を行う方法であるボルダ投票方法を提案する。この投票方法は全ての参加者の意見のある程度取り入れる性質を持っていると言う意味で公平である。さらに投票者の間で幅広い総意による支持を得た候補を選出でき、世論の一致を重視した投票だとよく言われる。双方の比較を表 5-13 を用いて示す。

表 5-13 ボルダ投票と単純多数決の比較

	特 徴
ボルダ投票	<ul style="list-style-type: none"> ・投票者が候補にランクを付けて、投票する選挙方式 ・中庸で折衷的な代替案を選ぶー合意形成 ・全てのプログラムの意見のある程度結果に反映できる ・投票者の間で幅広い総意による支持を得た候補を選出できる ・計算に時間がかかるため、候補が多数ある場合には不向き ・各候補に重みをつけることで公平に選好できる可能性が高い ・K-best の K 通りの候補全てを候補の決定に用いるのは困難
単純多数決	<ul style="list-style-type: none"> ・最も多くのプログラムによって支持された手が選択される ・汎用性が高く、短い時間で結論を出せる ・各自の自己決定と集団の結論との矛盾が最小化できる ・多数派の意見を重視し、少数派の意見を無視する傾向がある ・コンドルセ勝者が存在すれば意見が通る可能性が高いが、存在しない場合は循環多数決に陥る

5.4 では、コンピュータチェスにおいて単純多数決を用いた合議実験を行った。しかし、二つの実験結果ではどのようにエンジンを組み合わせても、強さがなかなか発揮できなかった。その理由は現在不明だが、ボルダ投票を用いて同じ実験を行った場合、結果はどのように変化するか。それが今後の研究課題である。

5.6 合意形成が思考ゲームでの意思決定に与える影響

これまでさまざまな合議アルゴリズムについて述べてきた。ただし会議などの集団意思決定では、多種多様な議題を挙げて、その議題ごとに参加メンバーの意見を話し合い、どの意見を採用するかが決められる。その過程の中には、議題の内容、参加するメンバーの個性、人数、地位、採決の方法など、多くの外部要素が議決の結果に対して直接影響を与えている。

では、このような意思決定が思考ゲームにおいてどのような影響を与えるかについて述べる。思考ゲームにおける合議アルゴリズムの中でよく使われる方法は単純多数決と楽観的合議である。合議アルゴリズムを用いるというのは、合議して複数の意見から一番いい意見を選択し、採用する。ただし、単純多数決ではいつも多くの支持を集めた意見を採用する。その意見はあくまで参加メンバーの一部分の意見だけであり、採用されなかったメンバーの意見は無視されている。一方、楽観的合議法は各候補手に付けられた評価関数を比較して、最も高かった指し手を選択する。しかし、その評価関数についてはどのようにすれば一番良いものが作れるか。もちろんこの問題は単純につけたところで、一番良い指し手を選ぶことは不可能だろう。

ここで、参加メンバーの意見をまとめて折衷的な意見を選択し、最良ではないメンバーが勝利するという考え方について検討する。簡単に説明すれば、その方法が合意形成なのである。議題の内容に対して参加メンバーがさまざまな意見を出す。合意形成は出された意見に対して最良意見もそれ以外の意見の無視もせず、出された意見の中からメンバーが納得できる意見を採用する方法である。つまり、話し合いによって“正しい”，または“公平的合理的”な結論を出せる。これまでに述べたように、会議での集団意思決定と同様に、合意形成もさまざまな外部要素に影響を与える。例えば、3章で述べたようにコンピュータチェスにおいて私たちは次の実験を行った。三つの異なるエンジンを選び、三つのエンジンから出した全ての指し手をチームエンジンへ送る。チームエンジンは送られた指し手について合意形成し、全ての指し手から最善手を選択することで、敵と対戦する。選んだ三つのエンジンはレーティングの差が小さいので(エンジン間のレーティングが大きく離れると、チームのレーティングが下がる傾向があるため)、出した意見も大体似たようなものになる。また、エンジンはそれぞれ平等な身分として存在する。ただし、三つの異なるプログラムを使うということは、プログラムはそれぞれ別々のアルゴリズムを持っており、中には悪い指し手を採用する可能性もある。だから、単体のプログラムに関してはこの点で不完全性がある。それに対し、合意形成の優勢性は毎回最終的に選んだ指し手は三つのエンジンで議論して選ばれているため、グループの強さが維持できることにある。

多数の個人の推測を合わせると正確な回答が導き出されるという統計的現象「集合知」は、他者の判断についての情報共有が行なわれると「低下する」という実験結果が発表された。意見の多様性が狭まり、個々の確信が強まることが原因だという。多数の個人の推測から、驚くほど正確な平均回答が導き出

される統計的現象を「集合知」(Wisdom of the crowd)と呼ぶ^[28]。集合知は個人的バイアスが互いを相殺する結果である。Jan Lorenzらは集合知に関する最新研究を行い、被験者に他の被験者が考えている推測を教えたところ、集合知が低下するという結果になったと発表した^[25]。低下した原因としては自分の考えが他人のさまざまな考えに影響を受け、視野が狭くなったことが考えられる。自身の考えを一貫して崩さない人は、発想の空間が大きい傾向があるが、グループではメンバーの意見を議論してまとめることが多い。こうして決められた意見は普通の結論であり、特別な意見は選ばれなかった。ただし、この無視された意見も大切である。この結果は既に2.4.2で述べた。従って、思考ゲームにおいてどのように合意形成を用いるかは、特に大切な課題になる。いかにプログラムが出した多くの意見の中から正しい意見を選ぶか、いかにプログラムの勝率を上昇させるかなど、さまざまな問題がある。

5.7 まとめ

本章では主に多数決合議や楽観的合議、乱数合議といった合議アルゴリズムを用いた、コンピュータ将棋とコンピュータチェスにおける実験結果について説明した。その結果は個人の時よりグループの方が高い勝率を得られ、優れたパフォーマンスを示したというものだった。これも十分に合議アルゴリズムの有効性を証明している。それに対して、今回の実験は単純多数決を用いて、異なる三つのチェスプログラムで合議実験を行ったが、予想に反した結果となった。その原因は今のところ不明である。

通常、合議アルゴリズムを用いると有力な意見を採用する傾向がある。それならば、それ以外に存在するもっと正しい意見を採用できるかについて、我々は合意形成の方法に基づき、ボルダ投票を用いた新たな合議アルゴリズムを提案した。この方法は、幅広い人に受け入れられる候補を選ぶ傾向があり、メンバーの意見を重視した合理的な意見を出せる。これは今後の実験課題となる。

第6章 終わりに

6.1 まとめと考察

本研究ではコンピュータチェスを題材として、チームプレイヤにおける合意形成を用いて個人意思決定と比較し、その強さについての実験を行った。

まず、第2章で合意と合意形成の定義から述べた。合意形成はどのような問題か、人間が決定を出すとき、プランと合意形成の間にどういう関係があるか。一旦紛争が起こった場合、合意形成を用いてどのように解決できるか。メンバーの間に話し合いを通して全員が納得できる意見を出すことで、合意形成の効果を発揮できる。その後、合意形成術について述べ、ゲームと実際の応用における大切な役割を果たすことを説明した。合意形成は「競争」から「協力」へ変化させることで、期待される結果になれる。更に、投票システムについて説明し、投票者の影響力をとらえる指数として、協力ゲーム理論において発展してきた2つの指数である、シャープレイ・シュービック指数とバンザフ指数を紹介した。この2つの指数は投票システムにどれだけ大きな影響を与えたかを捉えることができるため、実際の例を用い、投票システムにおいて合意形成がもたらした影響力について分析した。また、パワー指数を用いた投票者の行動を分析した、ゲームのバンドワゴン現象について説明した。

第3章では、近年注目されている合意形成の方法であるAHPについて述べた。AHPは個人的な決定問題だけではなく複雑な決定問題に取り組む集団意思決定場面で大きな効果を発揮できるため、よく使われる。さらにAHPより複雑な評価構造を研究したANPや、従来型AHPとは異なる支配型AHPも提案された。将来的に個人意思決定、政治、ビジネス、産業、医療、教育など様々な分野の意思決定場面で利用されると考えられる。

第4章では合意形成の数学モデルの構築について説明した。集団規模が大きくなるほど各エンジンの利益が減り、さらに集団利益も少なくなる。そのため、最適な集団規模を求めることは大切な課題である。

第5章では、伊藤らがコンピュータ将棋とコンピュータチェスに対し、合議アルゴリズムを用いてその有効性を検証し、優れたパフォーマンスを示したことを述べた。しかし、伊藤らがコンピュータチェスで行った実験は同じプログラムを用いた場合のみであった。そこで我々の実験では、異なる三つのチェスプログラムで単純多数決を用いて合議実験を行ったが、予想に反した結果となった。また、合意形成の考えを導入し、更に公平的合理的な指し手を選択して、敵のエンジンと対戦させる方法ーボルダ投票を提案した。

6.2 今後の発展

今回は三つの異なるエンジンを用いて単純多数決を行い、個々のエンジンの強さとそれらのエンジンが合議を行った際の強さを比較する実験を行った。

今後の発展としては、ボルダ投票方法を用いた場合、単純多数決に対してどのような変化があるか、合議に参加するエンジンの数を増やした場合の強さはどうなるか、合議の形式を変えた場合は強さ、採用率がどのように変化するかに
ついての研究が考えられる。

謝辞

本研究の遂行にあたって終始ご指導いただいた，飯田弘之教授，池田心准教授に深く感謝を申し上げます。

同じ研究室の Kristian，橋本隼一さん，岡根谷敏久さん，森近泰匡さん，Apimuk，李航宇さん，中川武夫先生には研究について様々な相談に乗っていただきました。ここに感謝の意を表します。朝倉さんをはじめ他の飯田・池田研究室のメンバーには学生生活の面で支えられました。感謝を申し上げます。

参考文献

1. 猪原健弘：「合意形成学」，勁草書房，2011.
2. 合意形成研究会：「カオスの時代の合意学」，創文社，1994.
3. 山路清貫：「まとまらない意見をまとめる合意形成の技術」，西東社出版，2004.
4. Ingo Althöfer：「Dreihirn-Entscheidungssteilung im Schach」，*Computerschach & Spiele*, 20-22, 1985.
5. 大森誠也，保木邦仁，伊藤毅志：「チェスプログラムを用いた合議アルゴリズムの効果の検証」，エンターテインメントと認知科学シンポジウム pp. 28-31, 2011.
6. 大森誠也，保木邦仁，伊藤毅志：「チェスプログラムを用いた合議アルゴリズムの効果の検証」，情報処理学会ゲーム情報学研究会，Vol. 2011-GI-26 No. 5, 2011.
7. 伊藤毅志：「三人寄れば文殊の知恵は本当か？～人間の合議実験からの考察～」，情報処理学会ゲーム情報学研究会，Vol. 2011-GI-26 No. 4, 2011.
8. 小幡拓弥，埴雅織，伊藤毅志：「思考ゲームによる合議アルゴリズム～単純多数決の有効性について～」，情報処理学会ゲーム情報学研究会，22, No. 2, 2009.
9. 小野理恵，武藤滋夫：「投票システムのゲーム分析」，日科技連，1997.
10. 小林良彰：「選挙・投票行動」，社会科学の理論とモデル，東京大学出版会，2000.
11. 長谷部恭男：「憲法と平和を問いなおす」，ちくま新書，pp. 18-28, 2004.
12. Dubey, P. and Sharpley, L. S.：「Mathematical properties of the Banzhaf power index」，*Mathematics of operations research*, Vol. 4, No. 2, pp. 99-131, 1979.
13. Shapley, L. S. and M. Shubik：「A Method for Evaluating the Distribution of Power in a Committee System」，*American Political Science Review*, 48, 787-792, 1954.
14. Taylor, A. D.：「Mathematics and politics—Strategy, Voting Power and Proof」，*Springer-Verlag*, 1995.
15. Coleman, J. S.：「Control of collectivities and the power of a collectivity to act」，in Lieberman, B. ed., *Social Choice, Gordon and Breach*, pp. 269-300, 1971.
16. マイケル・ドイル，デイヴィッド・ストラウス著；斎藤聖美訳：「会議が絶対うまくいく法：ファシリテーター、問題解決、プレゼンテーションのコツ」，日本経済新聞社，2003.
17. 後藤正幸：「階層型意思決定モデル（AHP）と統計学的考察」，武蔵工業大学環境情報学部 紀要，Vo. 5, pp. 77-88, 2004.
18. Saaty T. L.：「Inner and Outer Dependence in AHP」，*University of Pittsburgh*, 1991.
19. Saaty, T. L.：「The Analytic Hierarchy Process」，*McGraw-Hill*, 1980.

20. Saaty T.L. : 「The Analytic Network Process」, EXPERT CHOICE, 1996.
21. 木下栄蔵, 中西昌武 : 「AHP における新しい視点の提案」, 土木学会論文集 IV(掲載予定), 1997.
22. Shaw, M. E. : 「Comparison of Individuals and Small Groups in the Rational Solution of Complex Problems」, *American Journal of Psychology*, 44, pp. 491-504, 1932.
23. Ingo Althöfer : 「3-Hirn - Meine Schach-Experimente mit Mensch-Maschinen-Kombinationen」, *Book, published by the author*, ISBN 3-00-003100-6. 1998.
24. Ingo Althöfer : 「Improved game play by multiple computer hints Original Research Article Theoretical Computer Science」, Vol. 313, No. 3, pp. 315-324, 2004.
25. Lorge, I. & Solomon, H. : 「Two Modes of Group Behavior in the Solution of Eureka-type Problems」, *Psychometrika*, 20, pp. 139-148, 1955.
26. Fazrina binti said, Tsuyoshi Hashimoto, Makoto Sakuta and Hiroyuki Iida : 「3-Hirn System : The First Results in Shogi」, *Game Programming Workshop in Japan*, p57-64, 2002.
27. 小幡拓弥, 杉山卓弥, 保木邦仁, 伊藤毅志 : 「将棋における合議アルゴリズム : 既存プログラムを組み合わせる強いプレイヤーを作れるか」, 第 14 回ゲーム・プログラミング ワークショップ, pp. 51-58, 2009.
28. Jan Lorenza, Heiko Rauhutb, Frank Schweitzera, and Dirk Helbingb : 「How social influence can undermine the wisdom of crowd effect」, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011.
29. Hall, J. : 「Decisions, decisions, decisions」, *Psychology Today*, 86, pp. 51-54, 1971.
30. 亀田達也, 仁平勲 : 「逐次的合意形成過程の分析 : “根回し” のシミュレーション」, 『日本グループ・ダイナミクス学会第 41 回大会発表論文集』, pp. 26-29, 1993.
31. 加藤直孝, 中條雅庸, 国藤進 : 「合意形成プロセスを重視したグループ意思決定支援システムの開発」, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 12 2629-2639, 1997.
32. 足立にれか, 石川正純, 岡本浩一 : 「決議の規定因としての発話態度, 決定ルールおよび集団サイズ-会議のシミュレーション」, 社会技術研究論文集, Vol. 1, pp. 278-287, 2003.
33. 石川正純, 足立にれか, 岡本浩一 : 「会議分析のための数値シミュレーション技法-組織内集団に見られる意思決定モデルの開発-」, 社会技術研究論文集, Vol. 2, pp. 362-369, 2004.
34. 八巻直一, 高井英造 : 「問題解決のための AHP 入門 Excel の活用と実務的例題」, 日本評論社, 2005.
35. 岡本浩一, 足立にれか, 石川正純 : 「会議の科学 : 健全な決裁のための社会技術」, 東京 : 新曜社, 2006.
36. 埴雅織, 伊藤毅志 : 「思考アルゴリズムにおける最適合議システム」, 第 3 回エンターテイメントと認知科学シンポジウム予稿集, 2009.