



# 合議アルゴリズム「文殊」

## 単純多数決で勝率を上げる新技術

伊藤毅志（電気通信大学情報工学科）

多くの幸運が重なり、電気通信大学情報工学科伊藤研究室の開発した「文殊」は、第19回世界コンピュータ将棋選手権において、初出場で第3位という成績を残すに至った。本稿では、「文殊」の誕生までの歩みと文殊で行った「合議アルゴリズム」の技術的な工夫と、いくつかの実験結果について紹介する。

### 合議アルゴリズムとは

文殊の基本的技術である「合議アルゴリズム」の誕生は、2008年の夏に遡る。

この夏、情報処理学会の依頼により、コンピュータ将棋をトッププロ棋士レベルにまで強くするプロジェクトのために、コンピュータ将棋開発者が合宿形式で集まった。その場のブレインストーミングの中から、合議というアイデアは出てきた。合宿では、プロ棋士に勝つための方向性として、何らかの形で強いソフトを開発しているプログラマが協力し、1つの強い将棋システムを構築していくことはできないか模索していた。しかし、コンピュータ将棋プログラマの多くは、個々に独自のプログラムを改良し競い合うことで強いプログラムを実現してきたので、相互に協力し合う素地がなく、議論は行き詰まっていた。最終的には、個々のプログラムがそれぞれ独自に強さを競う方が、協力するよりもより強いシステムが構築できるのではないかという方向に議論は進んでいった。そんな中、「それじゃあ、別々に開発したプログラムを合議させてみたらどうだろう?」「単純に多数決を取ってみたら?」という意見が提案された。これが、「文殊」の発想につながった。

「文殊」で用いた単純多数決による合議の手法は、[図-1](#)のようなものである。合議システムは、複数のシステムに同じ局面を与え、別々に独立に思考させて得られた候補手を受け取り多数決させて、最も多い意見を次の一手として採用する。

このアイデアは、当初ひどく評判が悪かった。「そ

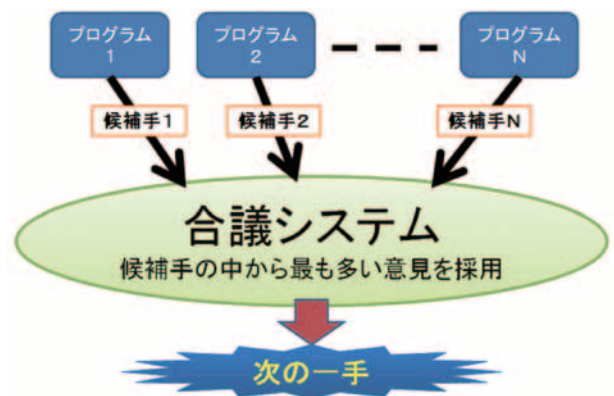


図-1 単純多数決による合議のイメージ

んな単純な方法で強くなるはずがない」「個性の違う(棋風の異なる)プログラム同士が、単純に多数決を行っても、一貫した思考が行えず、却って弱くなるのではないか」といった批判が大勢を占めた。将棋プログラマの多くは、自分の開発しているプログラムに愛着が強く、強くするには、いかに精度の高い評価関数を設計して、より早く深く読む探索技術を磨くのかということの方が本筋だと考えていた。

この考え方には私も基本的には賛成で、コンピュータ将棋の強化の本筋は、評価関数の洗練と探索技術の向上であると私も思っている。ただ、複数のプログラムを結びつけて、より良い意見を見つけるという「合議の知」のメカニズムには、認知科学者として興味を持っていた。人間社会でも用いられている「多数決」という意思決定メカニズムが将棋の手の決定で機能し得るのか、ということに強い好奇心を持った。確信はなかったものの、皆が言うほど悪いシステムではないのではないかと考えていた。「相応のプログラム同士が多数決をするのだから少なくとも弱くなることはないのではないか」、「1つのプログラムが導いた悪手を他のプログラムが打ち消すことがあるのではないか」というのが、私の予想であった。

この仮説を検証するために、実際に実験を行って確認してみることにした。うちの研究室の昨年度の卒研生の



図-2 5五将棋の初期駒配置

研究テーマとしては良いレベルではないかと考え、卒研究生の塙雅織君とともに実験計画を立てることにした。

### 5 五将棋からの示唆

上述のように、当初は有力な多くの将棋プログラムはこのシステムに興味を示さなかったため、複数の将棋プログラムを用意してこのシステムの実験を組むことは困難であると考えた。

そこで、5五将棋という普通の将棋よりも狭いゲームで合議の効果を検証してみることにした。ちなみに、5五将棋とは、図-2のような初期駒配置のゲームで、駒の動かし方やルールは将棋とほぼ同じである。狭いながらも相応の複雑さを備えており、将棋のエッセンスを残した小路盤将棋としての性質を備えている<sup>1), 2)</sup>。

実験に用いたプログラムは、同じく卒研究生の小幡拓弥君（現修士1年）が開発していた5五将棋のプログラム「千分ノ壺里眼」を用いることにした。それを变形させて、擬似的に複数のシステムを構築した。なお、「千分ノ壺里眼」は、昨年のUEC杯5五将棋大会COM部門で、3位になった相応の強さのプログラムである<sup>3)</sup>。

このプログラムをもとに、(駒の取り合いを計算する)静止探索の有・無と、評価関数を「独自」に開発したものと5五将棋大会優勝プログラム「K55」<sup>4)</sup>が公開していた評価関数のデータを参考にしたものを使い分けることで、 $2 \times 2 = 4$ 種類のプログラムを用意した。

4プログラム同士を事前に対戦させたところ、表-1のような勝敗となり、静止探索ありで、独自評価関数を用いたものが最も強いことが分かった。

この4プログラムによる単純多数決合議を行って、それぞれ、単体でのプログラムの対戦結果が、表-2である。4プログラムの場合、(1, 1, 1, 1)か(2, 2)に票が割れることがあり得る。その場合は、事前にリーダーを定

	対 静止独自	対 静止K55	対 独自	対 K55	勝率
静止独自	—	71勝29敗	59勝41敗	75勝25敗	0.683
静止K55	29勝71敗	—	29勝71敗	65勝35敗	0.410
独自	41勝59敗	71勝29敗	—	65勝35敗	0.590
K55	25勝75敗	35勝65敗	35勝65敗	—	0.316

表-1 4プログラムの相互対戦結果

(対局相手→ ↓リーダー)	対 静止独自	対 静止K55	対 独自	対 K55	勝率
静止独自	61勝39敗	71勝29敗	58勝42敗	79勝21敗	0.673
静止K55	45勝55敗	70勝30敗	60勝40敗	61勝39敗	0.590
独自	58勝42敗	78勝22敗	52勝48敗	69勝31敗	0.643
K55	46勝54敗	68勝32敗	49勝51敗	63勝37敗	0.565

表-2 合議システムと単体との対戦結果

め、そのリーダーの意見に従って、手を決めることにした。

表-2を見ると、いずれをリーダーにした場合も、そのリーダー単体よりも勝ち越した。また、それぞれの単体に対する勝率も5割以上になった。

これらの実験データは有意差を議論するには、若干データ数が少ないが、その後も、色々と条件を変えて実験を行った結果、いずれも単純多数決による合議が単体プログラムに有意に勝ち越す結果が得られてきた。

これらの結果から、5五将棋においては、単純多数決による合議は、何らかの効果があるのではないかとという示唆を得ることができた。

### 5 五将棋から本将棋へ

5五将棋による実験結果を受けて、本将棋でも実験を行ってみることにした。

合議を自動で行うためには、通常のコンピュータプログラムをそのまま利用することはできない。任意の局面を与えて候補手のみを返し、合議の結果、次の一手が決まり、対戦相手の手も返ってきて新たな局面を与えるというプロトコルが必要となる(図-3)。

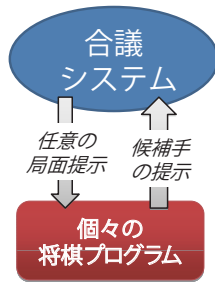


図-3 合議システムと個々のプログラム間のプロトコル

5五将棋で結果が出たとはいえ、まだ、懐疑的なプログラムが多く、このプロトコルに沿ったプログラムの改変への協力がなかなか得られなかった。

そこで、市販のコンピュータ将棋ソフトの「ヒントモード」(局面を与えて、候補手のみを返してくれる機能)を手作業で合議させる実験を行い、さらにデータを重ねることにした。手作業による合議なので、非常に効率が悪く、多くのデータは取れないが、少なくとも合議の傾向は観察できるのではないかと考えた。

実験に使った市販ソフトは、「新・東大将棋 無双」「激指 8」「AI 将棋 ver15」「Bonanza3.0」で、1手10秒でCPU性能を揃えて合議させた。

表-3は、事前にそれぞれのソフト間の強さを比較する目的で対戦させたものである。10局という数字はきわめて少ないので、この結果で東大将棋が強かったと判断するものではないが、この実験結果を参考にして、東大将棋をリーダーにする場合と、リーダーをランダムにした場合とで、合議実験を行うことにした。

その合議実験結果が、表-4で、東大将棋単体に対しても、勝ち越す結果となった。

これもデータ数は少ないが、有意水準10%程度では、有意に強くなったと言える程度のデータは得られ、単純多数決による合議の効果が示唆される結果となった。これらの実験は、人手でやっていたために非常に非効率的で、データ数も少なく実験結果の説得力は低かったが、さまざまな実験を繰り返してみた結果、どのデータでも合議での勝率アップを示唆するデータが得られ、合議の効果は、徐々に可能性から確信へと変わっていった。

## 「文殊」の誕生

今年に入り、5五将棋における単純多数決の合議の効果を示した埴君は卒業となり研究を終了する。一方、大学院進学の小幡君は研究室に残った。小幡君は、当初、世界コンピュータ将棋選手権出場のため、1月から大会までの期間、5五将棋の「千分ノ壱里眼」のプログラムを

	AI将棋	Bonanza	激指	東大将棋	勝率
AI将棋	—	2勝8敗	7勝3敗	3勝7敗	0.400
Bonanza	8勝2敗	—	1勝9敗	2勝8敗	0.367
激指	3勝7敗	9勝1敗	—	5勝5敗	0.567
東大将棋	7勝3敗	8勝2敗	5勝5敗	—	0.667

表-3 市販ソフトの事前対局結果

	対 東大将棋単体	勝率
合議:リーダー 東大将棋	23勝14敗3分	0.575
合議:リーダー ランダム	14勝6敗	0.700

表-4 市販ソフトの合議実験結果

本将棋へ改変する予定であった。実際、5五将棋のプログラムも九路盤へ改変することを前提に作っていたプログラムだったので、さほど改変は難しいことではなかった。実際、選手権参加申込当初は、「千分ノ壱里眼」という名前で申し込んでいた。

しかし、彼は、同時に合議の実験結果にも強い関心を示していた。また、Bonanzaの保木邦仁氏も、合議の実験結果には、いち早く強い興味を示し協力を申し出てくれていた。

我々は、5五将棋で行ったような静止探索や明らかに弱くなる可能性のある評価関数の変更によって複数のプログラムの改編を作るよりも、もっと簡単に効果的な複数のプログラムを作って、合議できないかと考えていた。その最も簡単な手法として、評価関数に乱数を入れてみたら、複数の評価を出すプログラムが容易にたくさん作れるのではないかというアイデアが出た。これで、うまくいくならば、容易に個体数を増やせて、合議も可能となる。そんなうまくいくかどうかは分からないが、やってみる価値はある。

それとは別に、保木氏は、Bonanzaのソース公開、コンピュータ将棋協会への大会使用可能なライブラリ申請も行ってた。「文殊」が生まれる機は熟していた。

早速、小幡君は、自分のプログラムの改編を放り出して、Bonanzaの評価関数に乱数を加えて複数の個体を作り合議する実験に取り組んだ。本格的に実験を始めたのは3月頃で、選手権までには間がなく、このような合議アルゴリズムがうまくいくという保証もなかったのも、「Bonanzaによる合議アルゴリズム」を作るというのは大きな賭けではあった。正直言って、今年の選手権までに

ある程度合議効果の認められる「合議アルゴリズム」システムが出場できるかどうかは微妙だと思っていた。

しかし、Bonanza の評価関数部分を改変して、8 コアマシンで1 コア単体のプログラムと8 コア合議をさせる実験を繰り返し、選手権までの約2カ月の間でこの合議手法の有効性を示す実験結果が出てきた。

これでもし合議の効果が認められず、単体のプログラムよりも強くなる結果が得られていなければ、「文殊」の大会出場はなかった。

明確な効果が確認された4月の半ば、正式にプログラム名を「千分ノ壱里眼」から「文殊」に改名し、「文殊」が誕生した。「文殊」という名前はもちろん、「三人寄れば文殊の知恵」という諺から取ったもので、合議システムを的確に表現した名前であると思っている。

実験では、東京大学の金子知適氏(優勝ソフト GPS 将棋開発メンバ)が提供している Floodgate での対戦も大いに参考になった(Floodgate とは、コンピュータ将棋を連続対戦させるための場所で、プログラマは、自由に自作のプログラムをこのサーバ上に置いて、対戦させることができるネット環境である)。選手権7日ほど前に、大会参加用に8 コア3 台合計 24 コアの最終チューンナップした「文殊」をこの Floodgate に置いたところ、選手権前の並み居る強豪ソフトに対して驚異的な勝率を挙げることとなった。

## 文殊の出場と Bonanza ライブラリ問題

選手権では、8 コアの Xeon マシンを3 台連ねた「文殊」は一次予選から注目を集めた。Bonanza のライブラリを使ったプログラムもこれが初参加だったということもあり、多くのプログラマは興味津々だった(図-4)。

ただ、評価関数に乱数を加えて多数決をしているという原理を聞いたプログラマは、この「文殊」のオリジナリティに疑問を抱いているようだった。これは、「文殊」が出場を決めたときから覚悟はしていたが、やや重苦しい空気は感じた。

Bonanza の強さは折り紙付きで、決勝を争うプログラムであることは誰もが認める。そのプログラムをマシンパワーにものを言わせて6 台も繋げて出場してくるのだから、8 チームという狭い決勝枠を争っているプログラマにとっては面白いはずはない。まして、いくらライブラリの使用は認められているとは言え、ほとんどそのまま、評価関数に乱数を加えただけのプログラムのオリジナリティをどう考えるかは微妙なところだ。

2008 年後半に Bonanza がソースコードを公開し、2009 年1月に選手権用のライブラリとして公開されたことは、コンピュータ将棋のプログラマにとって、非常



図-4 選手権での「文殊」マシン

に大きなインパクトを与えた。これまで、トップクラスのプログラムをソースごと公開して、しかもライブラリとして利用して良いとする申請はコンピュータ将棋協会としてもほとんど想定していなかったことで、ライブラリ委員会も取り扱いに苦慮していた。コンピュータ将棋協会としては、将棋プログラムの進歩という観点からは歓迎すべきことだったが、競技としてのコンピュータ将棋選手権としては、大きな問題をはらんでいる。これまで多くのプログラマが苦勞して独自に築き上げてきた技術を、保木さんは惜しげもなく、その技術を一瞬にして種明かしをしてしまったのだ。

コンピュータ将棋の開発の道筋は深く険しい。今年優勝を取めた GPS 将棋も第13回の初参加から今年の優勝までの間で、決勝進出はたったの2回である。Bonanza のライブラリ公開は、この険しい山道に誰でも登れる決勝までのロープウェイを引いてしまったようなもので、これまで苦勞して積み上げてきたプログラマの開発モチベーションに大きな影響を与えかねない問題をはらんでいた。

しかし、私は「文殊」の合議システムの優位性を選手権で示すためには、Bonanza のライブラリを使うことにこそ意義があると考えていた。つまり、Bonanza という誰もがよく知っている強さのプログラムであるということが大事なのだ。この Bonanza のライブラリを使って、Bonanza 以上の成績を上げることが、合議システムの有効性を示す「文殊」の至上命題だった。「千分ノ壱里眼」を使って合議することも検討したが、初出場の無名ソフトがたとえどれだけ健闘したとしても、合議の有効性は示せないだろう(実際、そんなに簡単に活躍できるほど選手権は甘くない)。

また、柔軟で汎用的であるという点も合議アルゴリズムの重要な特長でもある。この手法では、個々のプログラムを合議用として新調する必要はない。つまり、プロ

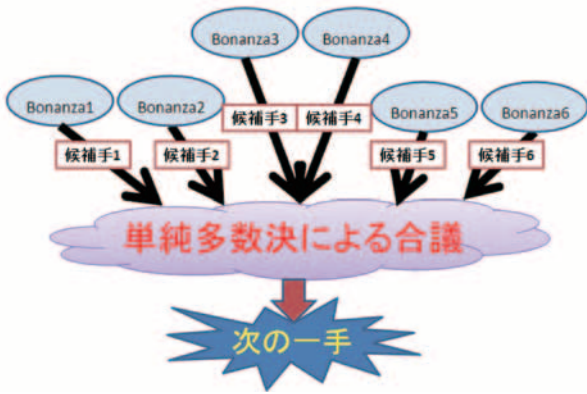


図-5 「文殊」の構成

プログラムの仕組みや内容がシンプルかつよく知られている Bonanza ライブラリを「極力変更せずに」使用したことをアピールしたかった。

### 「文殊」の技術的工夫

「文殊」の基本構造は、至ってシンプルだった。8 コアの Xeon マシン 3 台を、4 コアずつに分割し、6 個の Bonanza をそれぞれの 4 コアに配置した(図-5)。

6 つの Bonanza は、ライブラリで公開されていた Bonanza をベースに正規乱数を評価関数に与えることで、評価関数の異なるパフォーマンスを示すようにした。ただ、乱数の与え方には工夫した。評価関数を参照するたびに乱数を与えては、1 つのプログラム中で、同じ局面で別の評価値を返してしまい、探索の中で矛盾が生じる可能性がある。そこで、ハッシュ表に正規乱数を割り当てることで、同じ局面では同じ評価値を返すようにした。一手ごとにハッシュ表はリセットして、新たに正規乱数を発生させて、各思考中での評価値に矛盾を生じさせないようにした。

8 コア × 3 台のマシンを使って、合議の個体数をどうするかということについても工夫をした。理論上、24 個の合議という手法も考えられたが、個々の Bonanza の強さを落とさずに、全体として合議の効果を最も強く出す個体数ということで事前の実験結果から 6 個とした。

探索時間延長に関しても、工夫を施した。基本的に探

索時間はある一定の時間にして 6 個の個体の意見を待ったが、その探索時間で得られた探索結果が、6 個中 5 個以上一致しなかった場合、探索延長を 3 段階まで延長する処理を施した。これは、意見が分かれる場合は評価の分かれる難解な局面だろうという考えから導入した。

また、選手権では、相手の持ち時間でも考える予測読みという技術があるが、「文殊」でもこれを実現した。合議の場合はそれぞれがバラバラに予測読みを行うと、予測の合ったものと外れたもので返ってきた候補手の信頼度が大きく変わる。そこで、指し手を返すときに、読み筋も返すようにして、2 手先の手を合議で予測手とし、それをすべてのプログラムに伝え、相手の思考時間中にもその予測手で先読みをさせていた。

探索延長と予測読みの技術は、実際の強さにどれほど影響を与えたのかは定かではないが、選手権までの限られた時間で選手権に出場するためのできる限りの工夫を盛り込んだ。

### 「文殊」決勝での棋譜から

初出場ということで、一時予選からの戦いになったが、当初の予想通り順調に勝ち進み、ハイレベルの二次予選も通過して決勝に進出した。決勝での「文殊」の成績は、瀧澤氏の報告と重複するが、表-5 に挙げておく。

4 回戦を終わった時点で、シード組が総崩れ、下位の「文殊」「GPS 将棋」「大槻将棋」の 3 プログラムが全勝という大波乱で、決勝でも良い勝負はすると思っていたものの、ややできすぎの結果であった。

迎えた 5 回戦は、念願の「Bonanza」戦で、何とかここだけは良い勝負をして勝ちたかった。図-6 は、対 Bonanza 戦 42 手目、後手が玉を 2 三から 2 二に移動したところ。ここで、「文殊」は痛恨の疑問手「6 六銀」を選んでしまう。以降、8 六歩から飛車先を突破される展開になり、Bonanza に形勢が大きく傾いた。「文殊」の合議システムでは、この局面、「6 六銀が 2 票、2 七銀が 2 票、5 八飛、7 九角がそれぞれ 1 票」と 4 つに意見が割れていた。6 六銀以外の手を選んでいれば、まだ難解な局面が続いたところであった。やはり、意見が分かれる局面は、

プログラム名	1	2	3	4	5	6	7	勝	負	SB	MD	順位
1 激指	5×	6×	7○	8×	3○	4×	2×	2	5	2	0	6
2 Bonanza	8×	7○	6×	4×	5○	3×	1○	3	4	8	2	5
3 YSS	7×	5×	8×	6×	1×	2○	4×	1	6	3	0	7
4 KCC将棋	6×	8×	5×	2○	7○	1○	3○	4	3	7	3	4
5 文殊	1○	3○	4○	7○	2×	8×	6○	5	2	14	7	3
6 GPS将棋	4○	1○	2○	3○	8○	7○	5×	6	1	17	10	1
7 習甦	3○	2×	1×	5×	4×	6×	8×	1	6	1	0	8
8 大槻将棋	2○	4○	3○	1○	6×	5○	7○	6	1	16	10	2

表-5 第 19 回世界コンピュータ将棋選手権決勝リーグ表



	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
	皇	将				将	皇	皇	将	皇
		王					王	王	皇	
	将		将	将		将	将	将	将	
				将		将	将	将	将	
将		将		歩		歩				
		歩		歩		歩	歩	歩	歩	
Bonanza	歩	歩	銀			金	桂			
		角		飛			銀	玉		
▽	香	桂				金			香	九

図-6 対 Bonanza 戦 42 手目後手 2 二玉まで

難解な局面であるのかもしれない。

Bonanza には勝利して、合議の価値を示したかっただけに、この敗戦は残念ではあった。しかし、最終的に Bonanza よりも上位に入賞できたので、「文殊」としては、十二分に出場の意義を果たせたと考えている。もちろん、一回勝負の選手権で、「文殊」が「Bonanza」よりも強かったと結論付けるつもりはないが、少なくとも、合議システムをアピールすることにはなった。短い開発期間にもかかわらず、「文殊」という合議システムをバグなく選手権で動かしてみせた小幡君の健闘は、大いに讃えたい。

終了後のパーティで、「文殊」開発者の小幡君は来年度のシード権(3位以内に入ると決勝シード)を放棄することを表明した。元々「文殊」は単純多数決の合議システムをアピールするためのもので、その役割は十分に果たしたという意味が込められている。

今後、合議で特別な進展があれば別だが、来年もまったく同じスタイルで出場することは考えていない。「文殊」実現には、Bonanza のプログラムの書き換えや技術的な面で、小幡君に多大なアドバイスをいただいた保

木氏の貢献が合ったことは付記しておかねばならないだろう。

## 選手権後の「文殊」

選手権が終了後、「文殊」は役目を終え、Xeon3 台は、各々の研究に戻っている。

Xeon の 1 台を使って、保木氏と共同で本格的に合議研究を進めている<sup>5)</sup>。さらに詳細な実験データを取っているのだ。詳細については、追って論文や研究発表で紹介していくが、最新の合議データをここで紹介する。

表-6 は、Bonanza を用いて、合議の自己対戦を行った結果で、D は評価関数に与える正規乱数の標準偏差を、M は合議数を表している。実験条件は、序盤は定跡データベースを用いることで、一定の手数までばらつかせ、一手 40 万ノードに固定した場合の合議結果である。勝敗と勝率は合議側から見た値で、たとえば、左上の D = 25, M = 1 の欄は、乱数を歩の交換価値(Bonanza の場合 202) の約 1/8 の 25 として、1 台の Bonanza が乱数を加えていない Bonanza に対する勝敗と勝率を表している。

M = 1 の欄を見ると、標準偏差の値を増やしていくに従って、弱くなっていることが見て取れる。しかし、M の数を増やし、合議を行うことで全体としての勝率は上がっていく。この表の限りでは、分散 50 で 8 人合議を行った場合の勝率が最も高かった。

このように、D や M の値を変えたり、実験条件を色々変化させたりして、合議の効果について基礎データを集めている。

## なぜ合議すると強くなるのか

単純多数決という非常にシンプルな仕組みが効果を生

M	D	25 (1/8)			50 (1/4)			101 (1/2)			202 (1/1)		
		勝	敗	引	勝	敗	引	勝	敗	引	勝	敗	引
1	先	220	275	5	241	253	6	220	276	4	173	325	2
	後	254	242	4	244	254	2	237	261	2	176	321	3
4	先	276	218	6	238	253	9	274	222	4	222	274	4
	後	274	222	4	288	209	3	246	254	0	230	269	1
8	先	267	229	4	290	204	6	268	227	5	242	252	6
	後	281	216	3	279	218	3	273	223	4	241	253	6
16	先	272	224	4	271	225	4	276	219	5	247	251	2
	後	256	243	1	285	212	3	276	220	4	251	243	6

表-6 Bonanza を用いた合議実験結果 (D は乱数の標準偏差, M は個体数)

んでいるのはなぜだろうか。「1つのプログラムがたまたま選んでしまう悪手を、複数のプログラムで打ち消しているから」という直観的な合議の解釈は成り立ちそうだが、この理論的裏付けについては、まだはっきりとは説明されていない。

合議と似た考え方は、以前から協同問題解決として心理学の分野で古くから研究されてきた。

1930年代～50年代にかけて、Shawらは、さまざまな論理問題を用いて、個人が単独で問題を解く場合とグループが協同で問題を解く場合の効率についての研究を行った<sup>6)</sup>。その結果はいずれもグループの方が単独よりも良いパフォーマンスを示すという、いわゆる「三人寄れば文殊の知恵」を肯定する内容のものであった。

その後、Lorgeらは、メンバの持つさまざまな知的資源を考えたときに、知的資源の単なる総和以上の結果がグループで得られるのかという点に着目した<sup>7)</sup>。彼らの考えたモデルは、メンバの協同行為に創発的な変更プロセスを一切期待せずに単にグループが「機械的な集約」を行うという仮定に基づく。要は、グループメンバの1人でも正解が導ければグループ全体も正解にたどり着けるとし、グループメンバ全員が不正解のときのみ正解にたどり着けないとする。このように考えると、個人としての正解率を  $p$  とする(簡単のため、個人間で一定とする)と、グループ人数を  $n$  とすれば、このモデルでは、グループとしての正解率  $P$  は、 $P = 1 - (1 - p)^n$  で表される。

Lorgeらは、この予測値をもとに、Shawらの研究を再検討した。すると、さまざまな問題解決実験におけるグループの実際の正解率は、予測値を有為に下回るか、せいぜい同じ程度であることが明らかになってきた。

多数決による合議も、Lorgeらの考え方と同様に個人の正解率を  $p$  とおいて、単純多数決による  $n$  人の合議を行ったときの正解率  $Q$  を計算すると、以下のような式で表される。

$$Q = p^n + {}_n C_{n-1} p^{n-1} (1-p) + {}_n C_{n-2} p^{n-2} (1-p)^2 + \dots + {}_n C_{(n+1)/2} p^{(n+1)/2} (1-p)^{(n-1)/2}$$

(ただし  $n =$  奇数のとき)

合議と個人の正解率の差  $F(p)$  は、 $F(p) = Q - p$  で表され、 $N = 3, 5, 7$  のときのグラフは図-7 のようになる。

これを見ると、個人の正解率が50%以上のとき、合議はうまく働き、個人よりも良いパフォーマンスを示すことを示している。50%以上というのは、コイントスよりも知的であれば良いので、乱数よりもマシなシステムであれば、合議は効果的に働くことを意味する。

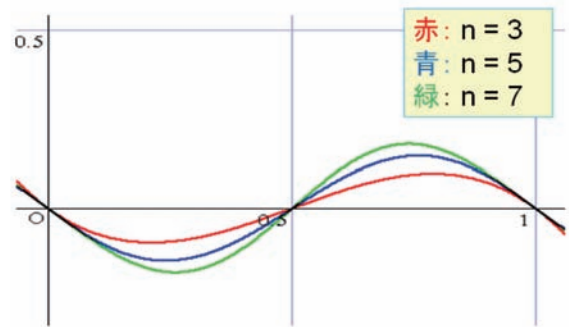


図-7 合議の正解率-単体の正解率のグラフ

将棋のように候補手を合議し、結果として勝敗が評価されるゲームは、上述のような単純に正解か不正解に二値化してしまっている近似モデルでは、必ずしも適切に合議の効果を表現していないかもしれない。しかし、一定の説明にはなっていると現時点では考えている。

## 合議研究の展開

現在、小幡君と保木氏と私の3名で合議の共同研究を行っているが、この選手権の成果を受けて、合議という手法に興味を持ってきているプログラマも増えている。

YSSの開発者山下宏氏は、選手権終了後、すぐに自分のプログラムを使って、合議の実験を行い、自身の掲示板で紹介している。ここでは、結論だけ述べるが、YSSでも効果が認められている。

さらに興味深いのは、囲碁プログラムでも効果が見られるという点である。山下氏は、囲碁プログラマとしても有名で、AYAというモンテカルロアプローチを用いたプログラムでも合議の実験を行っている。モンテカルロ法は、元々乱数で局面を評価しているので、それを合議するというのは少し奇異なイメージがあるが、AYAでも効果が認められているのは興味深い。

これらの結果は、すでにコンピュータ将棋関係者のネット上で話題になっており、多くの選手権参加者が目にしてしている。勝率が5割5分～6割になったといっても将棋プログラマ以外の人にはあまりピンと来ないかもしれないが、これだけの勝率アップを実現することに多くのプログラマは多大な苦勞をしている。多くの改良は副作用を伴い、良かれと思った改良で勝率がむしろ悪くなることも少なくない。

合議は、原理が簡単で、ここまでの結果を見ているとプログラムを選ばずに効果が期待できそうだ。来期の選手権では、多くのプログラマが導入する可能性がある。モンスターマシンが選手権会場を埋めるかもしれない。

多くのプログラマが興味を持ってくれたことで、当初



の計画通り、複数のまったく異なったプログラムを合議させたらどうなるのかという実験に向けて、GPS 将棋、YSS, Bonanza との合議実験も計画している。他の有力ソフトにも声をかける予定である。来年に控えている学会 50 周年記念事業においてトッププロ棋士との対局が実現したときに、コンピュータソフト連合軍を「合議」という形で束ねることができれば、本懐である。

また、合議システムは、将棋や囲碁のような思考ゲームだけでなく、さまざまな他の分野にも応用できるかもしれない。気象予想などの予測システムや完全には求まらない最適化問題システムへの合議を応用することも可能かもしれない。

いずれにしても、研究は緒に就いたばかりである。多くの実験結果を積み重ねて、さまざまな応用分野を模索していきたい。

**謝辞** 合議研究は、情報処理学会との間の「合議プログラムの実験および評価関数の自動学習検証」の共同研究支援を受けています。「文殊」の開発に当たっては、Bonanza の保木邦仁氏の技術的指導・協力がありました。

ここに深く御礼申し上げます。

**参考文献**

- 1) 電気通信大学伊藤研究室：5 将棋研究ブログ, <http://minerva.cs.ucc.ac.jp/~uec55/>
- 2) 伊藤毅志, 滝沢洋平：知識を直観的に記述できる 5 将棋システム, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, 17-3, pp.17-23 (2007).
- 3) 伊藤毅志：第 2 回 UEC 杯 5 将棋大会報告, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, GI-21-1, pp.1-8 (2009).
- 4) 柿木義一：5 将棋における評価関数の自動学習, 第 5 回 E & C 研究ステーション招待講演発表用資料, [http://homepage2.nifty.com/kakinoki\\_y/free/55shogi.pdf](http://homepage2.nifty.com/kakinoki_y/free/55shogi.pdf) (2008).
- 5) 小幡拓弥, 堀 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報告, Vol.2009-GI-22, No.2 (2009).
- 6) Shaw, M. E. : Comparison of Individuals and Small Groups in the Relational Solution of Complex Problems, American Journal of psychology, 44, pp.491-504 (1932).
- 7) Lorge, I. and Solomon, H. : Two Models of Group Behavior in the Solution of Eureka-Type Problems, Psychometrica, 20, pp.139-148 (1955).

(平成 21 年 7 月 17 日受付)

伊藤毅志 (正会員)  
ito@cs.ucc.ac.jp

電気通信大学情報工学科助教。人間の問題解決における思考過程の研究に従事。特に将棋や囲碁などの思考ゲームを題材とした認知科学、人工知能研究に従事。コンピュータ将棋協合理事。

**おふいすらん**

第 19 回世界コンピュータ将棋選手権(コンピュータ将棋協会主催, 当会後援)は、日本将棋連盟米長邦雄会長を始めとする多数のプロ棋士の方々にも来場いただき、早稲田大学国際会議場で開催されました。例年プロの解説会場と対局場(マシンルーム)は一体化していたのですが今年は分離され関係者以外は容易には対局場に入り込めないようになっていましたが、プロの解説を聞かれる方々は開発者の一喜一憂の様子も見たくて行ったりきたりしていました。棋譜解説は 2008 年度の新人王佐藤天彦五段で、「僕も一応プロなので僕と読み筋が一緒というのは複雑な気持ちです。『この一手』を指してくれるのでストレスなく見れます」とコンピュータ将棋に温かい眼差しでした。今年の選手権では GPS 将棋を筆頭に 1 位から 5 位までのプログラムが評価関数の自動学習法を採用しており、今までにはない高レベルな戦いとなりました。Bonanza の作者保木氏により初めて実用化された 2005 年頃と比較して学習法がより一層洗練されたようです。今年が初登場となる文殊(Bonanza をベースとした合議プログラム)の一戦では「優勢を築いた速度計算は羽生先生に近い」との惜しみない賛辞で開発者の電気通信大学伊藤毅志先生も満足されたことでしょう。この文殊開発には保木氏も協力されたのですが、「合議プログラムの実験および評価関数の自動学習検証」は電気通信大学と当会の共同研究の成果でもあったので、学会関係者として喜びも一入です。「合議」は以前「談合」と呼ばれていましたが、学会との共同研究に「談合」ではあまりだということで、伊藤先生が名称変更されました。

羽生名人に将棋プログラムが勝つためには羽生名人が読んでいない手を網羅的な手法により見つけ出すことが必要です。複数のプログラムの単純多数決による合議では極端な見落としは排除できますが、同時に他のプログラムが読んでいない名手も排除されてしまうので、結果は期待されるものではないと考えるのが普通であり、ひょっとすると個々のプログラム単独より弱くなってしまいう可能性もあります。したがって多数決で否決される手にこそ正解の可能性があるのです、否決される手の深い読み筋を参加プログラムに与えてその評価を多数決で評価するという手法がいいのではと思うのですが、これでは深い読みをすることが非常に多くなりそうです。ところが今回の文殊は複数プログラムどころか単一の Bonanza 6 個による合議でかなりの成果を出しているわけでその理由を考えていると前期高齢者間近の私の脳は雲丹となります。こういう複雑な局面でいつも正しい考えを教えてくれる有識者の見解は、「合議が一定の成果を得ているのは、先に悪手を指してしまうとなかなか勝てないが、妙手を連発しなくてもなんとか均衡を保って、相手が先に悪手を指せば勝てる、という将棋の特性ではないか」と思います。個々のレベルは互角でそのうち悪手を指すレベル同士ならば、合議の意味があるのではないかと思います。相手が格上だと駄目かもしれません」とのことです。銀行員や官僚は仕事でホームランをかつ飛ばす必要はなく、地道に間違いを犯さないように生き抜くのが出世の早道とのことですが、何やら通じるところがありホロ苦さを感じます。こうしてみると「新手一生」を座右にされた升田幸三実力制第四代名人や定跡の意味を問はず羽生名人の生き様に合議で近づくのはまだまだ遠い先の話とあらります。

ボナンザに今日も惨敗独り酒

(湖東俊彦/事務局長)