

オセロプログラムの評価関数の改善について

Improvement of the evaluating function of Othello program

大筆 豊

OHFUDE Yutaka

和文要旨：囲碁、将棋、オセロなどのゲームをコンピュータで対戦させるプログラムでは、途中の局面を評価する必要がある。オセロの場合、一局のゲームに60手打つ。最終的な勝敗は、駒の数で決るので、はじめから全てを読み切れればよいが、約 $8 \cdot 2 \times 10^{46}$ の場合があり現在のコンピュータでは不可能である。どうすれば強くなるか経験的には分かっている。たとえば、オセロの場合、隅を取ればいい、相手の打てる可能性を狭めること、はじめのうちは味方の駒を少なくし、なるべく中心にかたまり、かつ直線に並んだ方がいいといったことが定性的に言われている。しかし、定量的な性質を見極めるのは難しいし、これらのパラメータを変数とする評価関数をいかにすればよいかは分かっていない。本研究では、いろいろのパラメータの組合せを、コンピュータ同士の対戦で実験し、段々と修正することで、かなり強いプログラムにすることが出来た。この研究で取ったコンピュータによる実験により評価関数を最適化する手法は、パラメータの効果が非線形な他の分野にも応用できる。

【キーワード】 ゲームプログラム、局面評価関数、パラメータ最適化、コンピュータ実験、複雑性理論

Abstract : In order to develop game program such as Othello, Chess, Go and so on, it is needed to construct evaluating function which evaluates the state of the game. I select five parameters for evaluating function to develop Othello program, Board Position(BP), Centering(CT), Straight(ST), Piece : Koma Number(KN) and Candidate Number(CN). In order to improve these parameters and evaluating function, I make to play computer Othello programs which have different parameters or evaluating function, and determine strong parameters which win the game. In this way, I can improve parameters and evaluating function, gradually.

【Keywords】 Game Program, Evaluating Function, Optimization, Complexity, Computer Experimentation

1. はじめに

オセロゲームでは図1のような初期配置から、交互に相手の駒を挟んで反転させながら進め、最終局面で味方の駒の多い方が勝てる。コンピュータでは先読みさせることが出来るが初手から最終手(60手目)までを全て読ませるには、膨大な盤面の評価を必要とし、現実上不可能である。そこで、何手か先読みさせ局面を評価しその局面での最善手を選ぶことになる。

そのためにはヒューリスティックな評価関数を作成する必要があるが、何をパラメータにすれば良いのか、それらのパラメータが本当に効果があるのか、またそれら

を定量化できるのか、パラメータによる関数形をいかに作るかについては分かっていない。既にオセロゲームのプログラムが多く作られているが、その戦略(評価関数)を定量化しているものの、何故その評価関数が出てきた

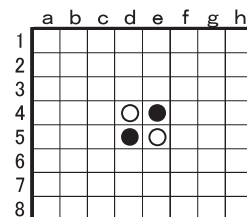


図1 オセロ盤の初期配置
Fig.1 Initialized OthelloBoard

かの根拠は示されていない³⁾。

本研究では、それぞれ異なるパラメータを持つコンピュータプログラム同士を戦わせという方法で、強さの評価を行なっている。正確には、2つのパラメータ (A, B) をもつプログラムをそれぞれ先攻、後攻で (A 対 B および B 対 A で) 100回ずつ戦わせ、両方で勝ち数が多いとき強いと仮定している。

2. 評価パラメータ

オセロを戦う上で経験的に言われている戦略がある。ここでは、これら先験的な戦略を数値化し、それらを組合せて評価関数を作ることとした。プログラムを強くするにはこの他、できるだけ多く先読みをさせること (先読み)、なるべく早い時点から最後の局面まで全て読ませる (風潰し先読みをする) ことも考えられる。また実戦でよく現れるパターンを定石として活用させる方法があるが、データ量が膨大になるので、ここでは定石を覚えさせることはしていない。

評価パラメータとしては、盤位置(BP)、中心性(CT)、直線性(ST)、駒数(KN)、候補数(CN)と名づけた5つを選んだ。

- ① 盤位置 (BP) とは、駒が盤のどの位置にあるかにより、評価値を与えるものである。隅 (a 1, a 8, h 1, あるいは h 8) を取るのが非常に有利なことは経験上分かっているので、評価値を大きくしている。逆に、隅の近傍 (a 2, b 1, b 2 など) を取らされると、相手に隅を取られる危険があるので、負の評価値を与えることにした。
- ② 中心性 (CT) とは、味方の駒はなるべく中心におき、敵の駒を回りにやるようにすることであり、経験的に良いといわれている。味方の打つ手の選択の幅を増やし、相手の選択幅を少なくすることであり、直感的にも納得できるので、パラメータの1つに加えることにした。
- ③ 直線性 (ST) とは、駒がなるべく直線的に並んでいる方が有利であるといわれているものである。縦横の直線はいいが、斜めに並ぶのはまずいという説もあるが、ここではないので、縦横斜め全ての直線を評価の対象としている。

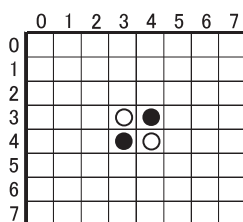


図2 プログラム上の座標
Fig2 Axes of OthelloBoard

- ④ 駒数 (KN) とは、はじめのうちは味方の駒を少なくし、終盤に一気に反転させるのが良いといわれているので、評価パラメータとして取り入れることにした。もちろん、最終局面では KN だけが判定の材料になる。
- ⑤ 候補数 (CN) とは、ある局面で次に打つ可能性のある手の数を示す (一般には着手可能数と呼ばれている)。敵が選択できる候補数をなるべく少なくし、逆に味方の候補数を多くすることが有利であるといわれている。

この他、勝敗に影響するパラメータとして手数 (t)、先読み数 (p)、風潰し先読み数 (s) を考える。

- ⑥ 手数 (t) : 何手目であるかを示す。たとえば、KN は t に従属すると予想される。
- ⑦ 先読み数 (p) : 何手先まで先読みさせるかを示す。p = 60 なら最初から全てが読みきるわけである。本当に効果のある評価関数であれば、p の値が大きいくほど強くなるはずである。後述するようにこの仮説は検証された。
- ⑧ 風潰し先読み数 (s) : 最終局面 (t = 60) に近づけば、最後まで先読みさせ駒数 (KN) だけで評価できる。最後まで先読みさせる手数の中で、以降、風潰し数と呼ぶことにする。s の値が大きいくほど強くなるはずである。この仮説は検証された。また同じ強さなら、s が偶数の時先手が、s が奇数の時後手が有利になると予想される。たとえば、s = 4 とすると先手は t = 57 の時、最終局面を先に読みきることになるが、後手は t = 58 ではじめて最終局面を読むことになるからである。ただし、この予想は必ずしも当たっていない。

これらの評価パラメータが本当に有効なのかを確認すること、また有効なときこれらのパラメータをどういう組合せで使えば効果的であるか、言い換えると5変数の評価関数の関数形を如何にすればいいかが本研究の課題である。

プログラム上は盤の座標を図2のように0(ゼロ)ーオリジンとするため位置は0~7とする。

また盤上の位置 [i, j] の駒を $K[i, j]$ で表し

$$K[i, j] = \begin{cases} 1 & (\text{駒が白: } \circ) \\ 0 & (\text{駒なし: } \cdot) \\ -1 & (\text{駒が黒: } \bullet) \end{cases}$$

とする。各パラメータの計算は白の立場で行い、手番が黒の時には反転させる。

2-1 盤位置 (BP) の計算と補正

オセロでは隅を取る、あるいは隅の近傍を取ることが勝負に大きく強く関係することは良く知られている。ここでは図3のような盤位置による重みの評価テーブル (BP_table) をつくり、各駒がどの位置にあるかでその重みを掛けたものを足しこむ事している。隅あるいはその近傍以外の重みを0としている。

$$BP = \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 BP_table[i, j] * K[i, j]$$

テーブル上の CP, NP の値は暫定的には

$$CP = 6$$

$$NP = -2$$

としている。

しかし、他のパラメータと加える時などは、後に述べるように BP に重みを掛けて計算することにする。BP の値は次の理由により補正する必要がある。

(1) 隅に既に駒がある場合の補正

まず隅の近傍に対して、BP_table により無条件に NP の値 (負数) を与えているが、既に隅の位置に黒、白いずれかの駒があるときは、その近傍はその隅を取られるという意味では危険ではなくなっているので補正する (NP を加える、すなわちその位置の値を0に戻す)。

(2) 辺のパターンによる補正

辺では隅を直接あるいは後で取られるという危険性を考慮し、図4の状態遷移図から、次のようなパターンが考えられる。ここでは1つの辺の、1つの隅からの例を示すが、4つの辺の、それぞれの2つの隅からの都合8つの場合も同様である。また下の例では白 (○) からの立場で示すが、黒 (●) からのパターンも同様である。

(図4で (・) は駒が無いことを表す)。

【記法】 パターンの記述で

- ① 「<」、 「>」 は辺の端を表し、
- ② 「+」 は1以上の繰返し (たとえば、○+ は ○または○○または○○○など)
- ③ (α | β) はαまたはβを表す。

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	CP	NP	0	0	0	0	NP	CP
1	NP	NP	0	0	0	0	NP	NP
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	NP	NP	0	0	0	0	NP	NP
7	CP	NP	0	0	0	0	NP	CP

図3 盤位置の評価テーブル
Fig.3 Points of Board Position

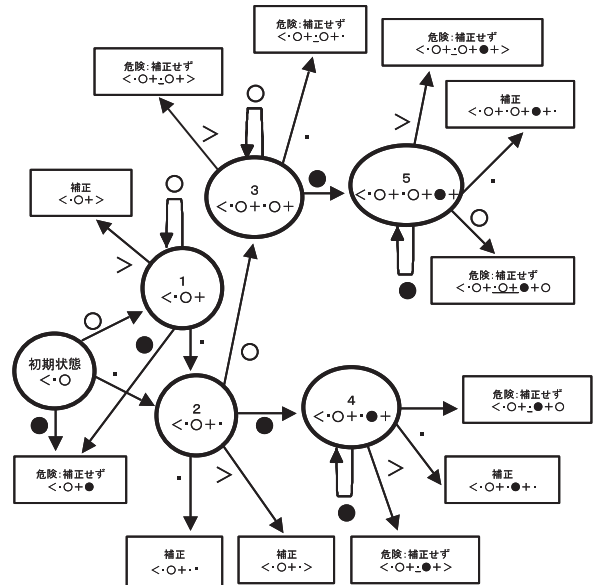


図4 状態遷移図：辺のパターンによる補正

Fig.4 State Diagram for compensation of side line pattern

【補正するパターン】 (隅を取られる危険がない)

- ① <・○+・ (・ | >)
- ② <・○+・●+・
- ③ <・○+>
- ④ <・○+・○+●+・

【補正しないパターン】 (直接に、あるいは・に打たれると後に、隅を取られる危険がある)

- ① <・○+●
- ② <・○+・●+>
- ② <・○+・●+ (○ | >)
- ③ <・○+・○+●+ (○ | >)
- ④ <・○+・○+ (・ | >)

補正を行なうことにより、暗黙には隅あるいは辺の定石を組み込んだことに相当していると考えていい。

2-2 中心性 (CT) の計算

中心性の評価値は、白 (○)、黒 (●) それぞれの、各駒から盤の重心への距離の2乗の総和の差で計算させる。すなわち

$$CT = \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 K[i, j] * ((i - G_x)^2 + (j - G_y)^2)$$

(ここで (G_x, G_y) = (3.5, 3.5))

盤の各位置 K[i, j] を掛けているので、白 (○) の立場で計算している。黒 (●) の手番の時符号を反転させる。

2-3 直線性の計算

直線性の評価値は、3以上の長さの直線駒で、白、黒それぞれ長さの2乗の総和を求め、その差とした。すなわち

$$ST = (K[i, j] * (\text{長さ} 3 \text{以上の直線駒の長さ})^2) \text{の総和} \quad (0 \leq i, j \leq 7)$$

ただし、直線駒として、味方駒だけの直線をとって、両隣のいずれかに敵の駒がある場合は直線駒とはしていない。たとえば(・○○○・)あるいは(<○○○・)などは直線駒とするが、(●○○○・)あるいは(●○○○●)などは直線駒とはしていない。この仮定が妥当であるかどうかは分からない。

STの計算では、縦横斜め4方向のすべての直線駒について総和計算を行なっている。

2-4 駒数(KN)の計算

駒数の評価値は、盤上の白駒および黒駒の総和の差で与える。すなわち

$$KN = \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 K[i, j]$$

駒数の場合、盤面の評価に使う時、手数(t:何手目であるか)に影響されることが予想される。後述のように、手数(t)は、駒数(KN)のみならず、中心性(CT)、直線性(ST)にも影響することが分かった。

2-5 候補数(CN)

候補数(CN)は、味方および敵の打つ手の選択の幅に影響すると予想される。オセロのプログラムでは、初手

から最後まで候補数が幾つあるかを調べてみた。先読み数1、虱潰し数1、の条件でコンピュータのプログラム同士10万回対戦させ、各手番で候補数の平均がどれだけあるかを調べたものを表1に示す。平均候補数は7.9、最大候補数は21となっている。各手番の候補数の全ての積 $8! \cdot 2 \times 10^{46}$ がオセロゲームのおよその総局面数と考えられる。

3. 評価関数

局面を評価する評価パラメータを、盤位置(BP)、中心性(CT)、直線性(ST)、駒数(KN)および候補数(CN)とした時、その評価関数は、5変数の関数

$$F = F(BP, CT, ST, KN, CN)$$

で表すことになるが、その関数形をいかなるものにすればいいのかが課題である。また、各パラメータは、手数(t)、先読み数(p)あるいは虱潰し数(s)の関数になっているかもしれない。他に局面を効果的に評価するパラメータがあるかもしれないし、これらのパラメータが完全に独立しておらず相互関係があるかもしれない。ここでは、まずFの形を一次式であると仮定し、評価関数を

$$F = W_{BP} * BP + W_{CT} * CT + W_{ST} * ST + W_{KN} * KN + W_{CN} * CN$$

で表す。ここで各 W_{x} は各パラメータの重みであるが、はじめは全て1、-1あるいは0、と仮定して実験をする。(CT, CNはそれらの定義から少ない方が良いと思われるので W_{CT} , W_{CN} を効かせるときは-1、その他は1となる。パラメータを効かさなときは0。)

コンピュータによる複数回の対戦をさせるため各パラメータの評価には乱数により変動を持たせた。変動させないと、同じ条件では一意的に勝ち負けが決定してしまうからである。元の評価値をFとすると変動後の値Hは

$$H = F * (1 + W_r * (r - 0.5))$$

となる。ここでrは0から1までの乱数、 W_r は変動幅である。 W_r を0.1, 0.01などと変えても結果は変わらない。

表1: 手数毎の候補数(10万回の平均)

Table1: Average of playable move

1手目	2手目	3手目	4手目	5手目	6手目
4.00	3.00	4.00	2.00	9.00	5.00
7手目	8手目	9手目	10手目	11手目	12手目
6.00	6.00	5.00	8.38	5.69	9.13
13手目	14手目	15手目	16手目	17手目	18手目
5.45	6.98	6.66	9.38	6.98	9.29
19手目	20手目	21手目	22手目	23手目	24手目
7.29	9.32	7.37	9.94	7.14	9.78
25手目	26手目	27手目	28手目	29手目	30手目
7.31	10.95	7.18	9.78	7.76	9.21
31手目	32手目	33手目	34手目	35手目	36手目
7.33	8.81	7.20	8.48	7.23	8.00
37手目	38手目	39手目	40手目	41手目	42手目
6.92	7.57	6.62	7.13	6.38	6.54
43手目	44手目	45手目	46手目	47手目	48手目
5.96	6.18	5.62	5.64	5.18	5.18
49手目	50手目	51手目	52手目	53手目	54手目
4.60	4.48	9.06	3.67	3.39	3.11
55手目	56手目	57手目	58手目	59手目	60手目
2.66	2.30	1.98	1.53	1.78	0.67

4. コンピュータによる対戦実験

本研究では、先験的なパラメータを用いて最適な評価関数を作成することを目指している。その手法としてコンピュータによる対戦を行いパラメータのあるいは評価関数の段階的な最適化を図ろうとするものである。

4-1 コンピュータによる対戦実験の前提条件

今、評価関数 A と評価関数 B があるとき、A、B をそれぞれ、先攻、後攻で何回か対戦させ (A : B、B : A と記述)、たとえば先攻、後攻の両方で勝ち数の多いとき A は B より有効あるいは強いとし、「A>B」または「B<A」と記述する。また、勝負が明確でない時は「A?B」と記述する。対戦の条件は以下の通りである。

- ① 対戦数を100回戦とする。100回戦程度ではばらつきが多く、どちらが強いかわからないことがあるからである。100回戦行なう必要があるか、それで十分なのかは不明であったが結果的には妥当であったと考えられる。
- ② 先読み数 (p) は3とする。pを4とすると、中盤で1手毎に4~5秒くらい掛かり100回戦を行なうのに10分から20分くらい掛かるが、pを3とすると一手ごとほぼ瞬時、最大3秒位で実行し、100回戦を5~6分で終了する。
- ③ 風潰し先読み数: sを9とする。sを51手目で10秒位掛かることがあるが、sを9とすると52手目で高々3秒位になる。

先読み数、風潰し数の設定は、人間と対戦したときを前提に、相手をいらつかさないよう、コンピュータが2~3秒以内に打てるようにとの条件から決めた。殆どの場合、ほぼ瞬時に応答する。 α - β 法³⁾を用いて高速化をするなら p、s を増やすことになる。

4-2 パラメータの効果の確認

(1) BPの強さの確認

オセロの実戦体験からも、隅を取るかどうか、勝負に大きく影響する。すなわち BP の効果が一番が高いと仮定し、BP と他のパラメータによる対戦させた(表2)。表で、勝・負・引分の数、引分は先手から見たものである。予

表2 BP (盤位置) の強さの確認
Table 2 : BP : Strongest Parameter

対戦	勝	引分	負	駒総数	結果
BP:CT	96	0	4	4485 1919	BP>>CT
CT:BP	5	1	95	1574 4879	
BP:ST	92	3	5	4376 2023	BP>>ST
ST:BP	3	0	97	1627 4773	
BP:KN	92	4	4	4396 2004	BP>>KN
KN:BP	4	1	95	1647 4752	
BP:CN	92	0	8	5389 2009	BO>>CN
CN:BP	15	0	85	2156 4241	

表3 BP以外のパラメータの効果の測定

Table 3 : Test of effect of other parameters

対戦	勝	引分	負	駒総数	結果
$\phi : \phi$	52	9	39	3362 3025	CT? ϕ
CT: ϕ	41	0	59	3054 3330	
ϕ :CT	51	0	49	3137 3220	ST? ϕ
ST: ϕ	46	6	48	3062 3335	
ϕ :ST	46	4	50	2885 3509	KN? ϕ
KN: ϕ	54	3	43	3250 3149	
ϕ :KN	82	4	14	3800 2598	CN>> ϕ
CN: ϕ	63	2	35	3588 2807	
ϕ :CN	16	4	80	1951 4442	

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

想どおり、BP が絶対の効きを示している。表2では100回戦のうちの勝数、引分数、引分数とともに、参考として、100回戦での駒の総数をつけている。駒数の総計が6400にならないのは、60手以前に勝負がついた試合があるからである。参考のため、先攻・後攻とも勝数が65以上、あるいは駒総数が3500以上の時は絶対的に強いこと表すため、結果欄には「>>」あるいは「<<」を標記する。

(2) BP以外のパラメータの効果のチェック

盤位置 (BP) の効果は明確になったが、他のパラメータは本当に効果があるのかどうかを明確にする必要がある。評価関数に BP は必ず入るはずであるから BP を基盤 (先攻、後攻の両方に BP はつけること) とし、他のパラメータを1つずつ追加して効果を計ることにした。このとき BP の効果が他のパラメータの値に絶対に乱されないように、その重みを

$$W_{BP} = 100$$

とした。特定のパラメータの重みを絶対的に大きくし、他のパラメータの影響を受けないようにすることを「効果の分離」と呼ぶ。

各パラメータを追加させた対戦結果を表3に示す。表ではBPを省略している、たとえば「CT: ϕ 」とあるのは「BP+CT: BP」のことである。

比較の対象として「 $\phi : \phi$ 」(すなわち BP : BP) の対戦結果を追加している。追加したパラメータが効くかどうかはこの値を基準と考える。風潰し数を9 (偶数)

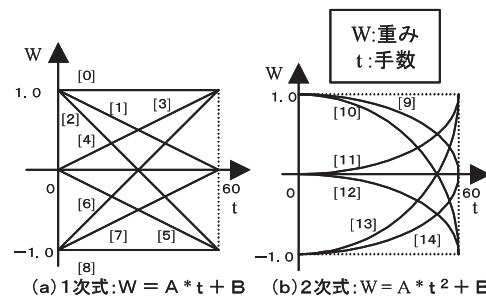


図5 重みWの関数形
Fig. 5 :Distributions of Weight

表4 重みの変化に伴うCTの対戦結果

Table 4 : Effect of variable weight for CT

番号	対戦	先攻			後攻			結果	符号変化
		勝	分	負	勝	分	負		
	φ : φ	52	9	39	52	9	39	○×	
0	CT[0]:φ	79	0	21	42	5	53	◎○:薬	++
1	CT[1]:φ	76	3	21	35	6	59	◎○:薬	++
2	CT[2]:φ	36	2	62	42	2	56	X○:?	+-
3	CT[3]:φ	75	0	25	46	2	52	◎○:薬	++
4	CT[4]:φ	51	9	40	50	8	42	○X:?	00
5	CT[5]:φ	44	2	54	63	0	37	×X:毒	--
6	CT[6]:φ	26	4	70	65	1	34	XX:毒	+-
7	CT[7]:φ	35	3	62	58	2	40	XX:毒	--
8	CT[8]:φ	40	4	56	62	1	37	XX:毒	--
9	CT[9]:φ	79	1	20	44	1	55	◎○:薬	++
10	CT[10]:φ	74	2	24	26	5	69	◎◎:薬	+-
11	CT[11]:φ	70	3	27	38	4	58	◎○:薬	++
12	CT[12]:φ	39	0	61	49	2	49	XX:毒	--
13	CT[137]:φ	26	4	70	64	0	36	XX:毒	+-
14	CT[147]:φ	38	1	61	58	0	42	XX:毒	--

注:BPは先攻・後攻のいずれにもついている

に設定しているので、同じ強さなら後攻の方が有利と予想していたが、先攻の方が有利になっている。この理由は不明である。

BPにCNを追加したものだけは「φ : φ」の対戦成績より先手、後手ともに勝数や駒の総数が増えており確かに効果があるのが分かる。しかし他のパラメータは、追加したために折角のBPの効果が消してしまっている。

パラメータを追加して、効果があるとき、そのパラメータを「薬」と呼び、逆効果になるとき「毒」、何の効果も現れないとき「無効」と呼ぶこととする。BPの基盤に対してCNは確かに薬になっているが、その他のパラメータは毒あるいは無効としてしか働いていない。

(3) 重み付けの分布を考慮したCTの対戦結果

BP、CN以外のパラメータ、CT、ST、KNが効果があるかどうかを調べるため、図5に示すようなtの1次式、2次式の重みを考え15通りのテストを各パラメータについて行なった。たとえば1次式[1] ($W = A * t +$

表5 重みの変化に伴うSTの対戦結果

Table 5 : Effect of variable weight for ST

番号	対戦	先攻			後攻			結果	符号変化
		勝	分	負	勝	分	負		
	φ : φ	52	9	39	52	9	39	○×	
0	ST[0]:φ	53	5	42	54	2	44	○X:?	++
1	ST[1]:φ	57	2	41	40	2	58	○X:?	++
2	ST[2]:φ	36	1	63	42	3	55	X○:?	+-
3	ST[3]:φ	50	1	49	61	2	37	◎○:薬	++
4	ST[4]:φ	55	2	43	55	5	40	○×:?	00
5	ST[5]:φ	58	1	41	49	2	49	○?:?	--
6	ST[6]:φ	36	1	63	42	3	55	X○:?	+-
7	ST[7]:φ	52	9	39	43	2	55	◎○:薬	--
8	ST[8]:φ	52	5	43	42	4	54	◎○:薬	--
9	ST[9]:φ	46	3	51	52	1	47	?X:?	++
10	ST[10]:φ	38	2	60	53	2	45	XX:毒	+-
11	ST[11]:φ	38	3	59	51	4	43	XX:毒	++
12	ST[12]:φ	53	3	44	50	2	48	○?:?	--
13	ST[13]:φ	47	5	48	60	4	36	?X:?	+-
14	ST[14]:φ	53	4	43	46	0	54	◎○:薬	--

注:BPは先攻・後攻のいずれにもついている

表6 重みの変化に伴うKNの対戦結果

Table 6 : Effect of variable weight for KN

番号	対戦	先攻			後攻			結果	符号変化
		勝	分	負	勝	分	負		
	φ : φ	52	9	39	52	9	39	○×	
0	KNT[0]:φ	30	1	69	68	2	30	XX:毒	++
1	KNT[1]:φ	31	1	68	61	3	36	XX:毒	++
2	KNT[2]:φ	24	3	73	46	3	51	X?:?	+-
3	KNT[3]:φ	37	5	58	70	4	26	XX:毒	++
4	KNT[4]:φ	59	5	36	53	4	43	○X:?	00
5	KNT[5]:φ	43	5	52	81	1	18	XX:毒	--
6	KNT[6]:φ	24	1	75	88	1	11	XX:毒	+-
7	KNT[7]:φ	41	0	59	76	4	20	XX:毒	--
8	KNT[8]:φ	29	3	68	82	2	16	XX:毒	--
9	KNT[9]:φ	38	1	61	68	6	26	XX:毒	++
10	KNT[10]:φ	27	0	73	59	3	38	XX:毒	+-
11	KNT[11]:φ	32	2	66	69	5	26	XX:毒	++
12	KNT[12]:φ	44	4	52	83	4	13	XX:毒	--
13	KNT[13]:φ	30	2	68	89	2	9	XX:毒	+-
14	KNT[14]:φ	39	5	56	77	3	40	XX:毒	--

注:BPは先攻・後攻のいずれにもついている

B)では、($t=0$ で $W=1.0$ 、 $t=60$ で $W=0$)となるので係数は(A, B) = $(-1.0/60.0, 1.0)$ 、2次式[10] ($W = A * t^2 + B$)では、($t=0$ で $W=1$ 、 $t=60$ で $W=-1$)となるので、係数は(A, B) = $(-1.0/1800.0, 1.0)$ となる。ここでは、BPを分離しているので結局、CTを追加した効果は、Wが正か負だけが有効で値の大小はあまり影響がない。

これら14種類の重み $W[i]$ を掛けた $CT[i]$ に対する対戦結果を表4に示す。表の結果欄は $CT[i]$ を先攻・後攻の両方に追加した場合の、有効性を示している。すなわち、◎○は先攻・後攻の両方に有効(薬)、××はどちらにも、逆効果(毒)を示す。?は効果が不明、◎は効果が顕著(勝数が65以上あるいは駒総数が350以上)であること、×は逆効果が大きいことを示す。

表1から分かるようにCTの重み分布(0、1、3、9、10、11)は薬として働き、(5、6、7、8、12、13、14)は毒として働いている。Wが正のとき薬として働き、負の時毒として働くので、概ね納得できる。しかし、分布式がt軸と正から負に交差する、式2と式10では結果が明らかに異なっており、何か他の要因がありそうである。

(4) 重み分布を考慮したST、KN、CNの対戦結果

CTと同様、重みの分布を考慮したST、KNおよびCNの対戦結果は、表5、6、7に示す。

- ① 表4のSTは概ね、重みが正の時は薬として働き、負のときは毒となるので概ね効果があると思える。しかし効き方が不安定である。
- ② 表5のKNはほとんどの場合、毒として働く。評価関数のパラメータとして使わない方が良くと思われるが少なくとも無効ではなく毒としてではあ

表7 重みの変化に伴うCNの対戦結果
Table 7 : Effect of variable weight for CN

番号	対戦	先攻			後攻			結果	符号変化
		勝	分	負	勝	分	負		
	φ : φ	52	9	39	52	9	39	○×	
0	CN[0]:φ	60	2	38	12	1	87	◎◎:薬	++
1	CN[1]:φ	64	2	34	8	0	92	◎◎:薬	++
2	CN[2]:φ	27	5	73	45	4	51	X?:?	+-
3	CN[3]:φ	58	2	40	7	3	90	◎◎:薬	++
4	CN[4]:φ	52	2	43	61	6	33	◎X:?	00
5	CN[5]:φ	14	4	82	48	1	51	X?:?	--
6	CN[6]:φ	51	4	45	56	1	43	?X:?	+-
7	CN[7]:φ	16	6	78	58	1	41	XX:毒	--
8	CN[8]:φ	20	4	76	49	3	48	XX:毒	--
9	CN[9]:φ	63	1	36	10	1	89	◎◎:薬	++
10	CN[10]:φ	35	2	63	33	2	65	X◎:?	+-
11	CN[11]:φ	66	0	34	12	1	87	◎◎:薬	++
12	CN[12]:φ	19	1	80	50	3	47	XX:毒	--
13	CN[13]:φ	44	1	55	52	1	47	XX:毒	+-
14	CN[14]:φ	18	2	80	64	1	35	XX:毒	--

注:BPは先攻・後攻のいずれにもついている

るが効果は認められるので、上手くして薬として効くように使えないか？

③ 表7のCNは正のとき薬として効き、負の時は毒として働く。また効き方が安定している。

(3)で調べたCTも重みが正の時薬として効き、負の時は毒として働いているので、評価関数のパラメータとして有効であると考え。しかし、KNだけは概ね毒としか働いていない。しかし、何らかの効果が認められるので、何とか有効に働かせたい。

5. パラメータの有効成分の抽出

4章の実験によりBP、CT、ST、KN、CNの何らかの効果を示している。BPが一番効果が顕著であり、CNも安定した効きを示している。CT、STは薬として使えそうである。しかし、KNは殆んど毒としてしか働いていない。しかし、毒であっても、何らかの効果を示すので、有効成分を抽出できないかCT、STも薬効は認められるものの、効き方が不安定である。鋭く効く部分を上手く取り出せないかとの期待をもって、実験を進める。

5-1 KNの有効成分の抽出

4章の実験でも明らかになったが、1つだけのパラメ

表8 KN:区間(10)の負効果の測定
Table8: Interbal check of KN effect

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ : φ	52	3	39	52	3	39	○x
1-10	KN:φ	27	1	72	44	6	50	X◎:?
11-20		52	3	45	32	2	62	◎◎:薬
21-30		86	2	12	65	2	33	◎X:?
31-40		47	9	44	57	2	41	◎x:?
41-50		47	8	45	61	6	33	?x:?
51-60		60	6	34	42	9	49	◎◎:薬

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表9 KNの区間(5)の負効果の測定
Table9: Interbal check of KN effect

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ : φ	52	3	39	52	3	39	○×
0-5	KN[-]:φ	17	3	80	85	0	15	x×:毒
6-10		70	4	26	71	2	27	◎X:?
11-15		45	3	52	26	2	72	?◎:?
16-20		61	6	33	68	5	27	◎X:?
21-25		79	2	19	67	5	28	◎X:?
26-30		61	3	36	69	4	27	◎X:?
31-35		59	5	36	53	2	45	◎X:?
36-40		59	6	35	59	7	34	◎X:?
41-45		50	4	46	53	1	46	◎X:?
46-50		43	6	54	73	3	25	XX:毒
51-55		57	4	39	55	6	39	◎X:?
56-60		60	4	36	46	9	52	◎X:?

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

一タの効きを決めるのは、重みの値ではなく、符号だけである。そこで手数(t)の区間毎に、負の重み(値は-1)を掛けて効果がどう変わるかを調べてみた。4章の実験で、どちらかの符号で調べると様子はつかめると予想できたからである。

(1)手番数10毎の区間の、効き具合の検査

手数(t)の値を(1-10)、(11-20)、…、(51-60)の区間に分け正の重みを掛けた場合の実験結果を、表8に示す。この表から100回戦の総駒数は省略する。実験の条件は4と同様で、盤位置BPは常に効かせる、そして先読み数は3、風潰し数は9としている。風潰し数を9としているので、区間(51-60)は実質(51-51)と同じである。

結果として区間(11-20)、(51-60)にかすかに薬効があるように見えるが、「φ:φ」とほぼ同じであり、KNの効果がないのと同じである。それより、区間(21-30)に、勝数85、65があり、KNがより鋭く効くとしたらそのあたりかもしれない。

(2)手番5毎の区間の、効き具合の検査

10毎の区間チェックでもまだ効果のある区間が特定

表10 KNの区間(5)の正効果の測定
Table10: Interbal check of KN effect

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ : φ	52	3	39	52	3	39	○X
0-5	KN[+]:φ	43	1	56	17	1	82	x◎:?
6-10		11	4	85	82	5	13	X◎:?
11-15		32	2	61	40	2	58	X◎:?
16-20		52	5	43	79	3	18	◎X:?
21-25		62	4	34	70	4	26	◎X:?
26-30		52	1	38	54	5	41	◎X:?
31-35		54	6	40	69	8	33	◎X:?
36-40		57	5	38	54	5	41	◎X:?
41-45		58	1	41	62	4	34	◎X:?
46-50		41	5	54	69	3	28	XX:毒
51-55		58	3	39	51	10	39	◎X:?
56-60		57	2	41	42	3	55	◎X:?

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表11 KNの区間(5)効果の要約

Table11: Summary of KN effect

区間	負(-1)	正(+1)	判断
1-5	XX	X◎	詳細調査
6-10	◎X	X◎	詳細調査
11-15	?◎	××	詳細調査
16-20	◎X	◎X	無効
21-25	◎X	◎X	無効
26-30	○×	○×	無効
31-35	○×	○X	無効
36-40	○×	○×	無効
41-45	○×	○×	無効
46-50	×X	×X	判断不能
51-55	○×	○×	無効
56-60	○×	○×	無効

できないので5毎の区間で負の重みを効かせて実験した。その結果を表9に示す。これでもKNの薬効部分が明確でないので、表10に示すように5毎の区間で正の重みを効かせた実験を行なった。効果の部分だけを要約した

表12 KNの区間の正効果の測定

Table12: Interbal check of KN effect

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	○X
1-5	KN[+]:φ	37	2	61	22	0	78	×◎:?
1-6		37	2	61	22	0	78	×◎:?
1-7		48	4	48	21	0	71	?○:?
2-6		37	1	62	26	1	73	×◎:?
2-7		48	8	44	21	2	77	◎◎:薬
2-8		56	0	44	53	4	43	○×:?
2-9		51	2	47	50	5	45	○×:?
3-6		37	5	58	25	2	73	×◎:?
3-7		61	4	35	24	2	74	◎◎:薬
3-8		56	0	44	53	4	43	○×:?
3-9		57	5	38	54	5	41	○X:?
4-5		47	3	50	20	1	79	×◎:?
4-6		61	4	35	24	2	74	◎◎:薬
4-7		58	8	26	21	1	78	◎◎:薬
4-8		54	5	41	49	2	49	○?:?
5-5		52	9	39	54	5	41	○X:?
5-6		48	6	46	25	0	75	◎◎:薬
5-7		50	4	46	14	2	84	◎◎:薬
5-8		48	2	50	51	7	42	××:毒
6-6		57	3	40	16	0	84	◎◎:薬
6-7	57	1	42	22	5	73	◎◎:薬	
6-8	63	5	32	46	3	51	◎◎:薬	
6-9	10	2	88	50	3	47	××:毒	
7-7	60	9	31	60	7	33	○X:?	
7-8	49	7	44	51	3	46	○X:?	

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

のが表11である。正負とも○×のパターンは「φ:φ」と同様の効果であるので無効とし、区間(46-50)の「××」のパターンは判断不能として、区間(1-15)を中心に詳細に調べることにした。区間(1-5)は正の効きがありそうであり、区間(11-15)は負の効きがありそうであるのでそれを中心に実験を行なった。

(3) 効き区間の抽出

区間(1-5)の部分は正の効きがありそうであるので、その前後に区間を伸縮させ調べた結果を表12に示す。それを要約したものが図6である。図6の太枠で囲

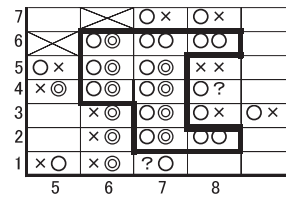


図6 KN(+)の詳細実験1の要約
Fig.6 Summary of Detailed check-1 of KN(+)

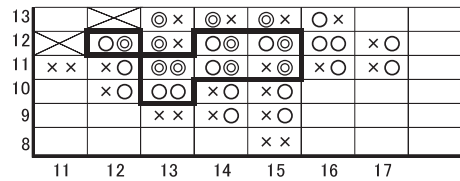


図7 KN(-)の詳細実験2の要約
Fig.7 Summary of Detailed check-2 of KN(-)

まれた部分が薬効を示している部分である。面白いのは、区間(6-6)すなわち、6手目だけにKNを効かせても、薬効を示すことが分かった。たった1手にKNを効かせただけで、勝数に顕著な違いが出ている。

(4) 負の効き区間の抽出

区間(11-15)を中心にして、負の効き区間を実験した。(2)と同様要約したのが図7である。太字で囲んだ部分が薬効のある区間を示す。やはり、12手目だけにKNを効かせても薬効があることが分かる。

(5) 正効果部分と負効果部分の合成

正効き、負効きのある範囲は、図8に示す区間である。これらをあわせてKNとしての1つのパラメータとして合成する。2つの区間を加え、1つのパラメータとするとき、「協調」してより薬効が大きくなる場合と、「反発」して薬効を薄める場合(場合によると毒として働く場合)もあると予想できる。それぞれ6手目と12手目を中心に効きの範囲があるので、(6-6)と(12-12)を基点にして範囲を広げて、2つの効きを加え合わせ、本当に効くかどうかを実験で試してみた(表13)。表13では1手だけの時、例えば(6-6)+(12-12)の場合、[+](6,6)+[-](12,12)と記述している。単独の区分の場合より特に薬効が良いともいえないが、KNのパラメータとして暫定的に8番目の

$$KN : [+](4,7) + [-](12,13)$$

をとることにする。

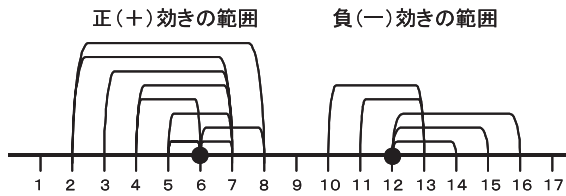


図8 KNの効きの範囲
Fig.8:Extent of effective KN

表13 KNの合成実験
Table13:Synthesis of parameter ST

番号	合成パラメータ:KN	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
1	KN[+(6,6)+-(12,12)]	40	4	56	24	2	74	○○
2	KN[+(6,7)+-(12,12)]	56	4	40	40	2	58	○○
3	KN[+(6,6)+-(12,13)]	65	3	32	46	2	52	○○
4	KN[+(6,7)+-(12,12)]	63	3	37	47	1	52	◎○
5	KN[+(5,7)+-(12,13)]	72	2	28	41	1	58	◎○
6	KN[+(6,7)+-(12,14)]	61	2	37	55	2	43	○○
7	KN[+(5,6)+-(12,14)]	73	1	26	52	1	47	◎○
(8)	KN[+(4,7)+-(12,13)]	63	1	36	30	0	70	◎◎
9	KN[+(4,7)+-(11,13)]	53	3	44	29	1	70	◎◎
10	KN[+(3,7)+-(11,13)]	52	2	44	21	4	75	◎◎
11	KN[+(3,8)+-(11,13)]	60	1	39	36	5	59	○○
12	KN[+(2,8)+-(11,13)]	57	3	40	31	2	67	○○
13	KN[+(2,8)+-(10,13)]	51	1	48	46	3	51	○○

注:先攻、後攻ともBPIは効かしている

5-2 CN、CT、STの薬効成分の抽出

KNと同様、CN、CT、STの効果が表れる部分を明確に(薬効成分を抽出)すべくKNと同様の実験を行なった。

(1) CNの薬効成分

候補数(CN)についての、10手づつの区分での対戦結果を表14に示す。全ての区間で同様に効いていることが分かる。全区間(1-60)で効かした結果とも聞きの場合殆んど変わらない。ということは、いずれかの区間だけで(極端には1手だけで)効かせることにすれば、計算時間が早くなる可能性があるが、安定性の観点から全区間に効かせることにする。効きの安定性については後で考察する。

(2) STの薬効成分の抽出

直線性(ST)についての、10手づつの区分に正効きを与えた対戦結果を表15に示す。KN同様このままでは、何処に薬効成分があるのか明確にならない。10手

表14 CN:区間(10)の効果の測定
Table14:Interval check of CN effect

区間	対戦	先攻			後攻			結果	
		勝	分	負	勝	分	負		
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	○x	
0-10	CN*φ	60	4	36	13	1	86	◎◎:薬	
11-20		54	4	42	10	2	88	◎◎:薬	
21-30		59	1	50	12	2	86	◎◎:薬	
31-40		64	1	35	8	1	91	◎◎:薬	
41-50		63	2	35	23	1	76	◎◎:薬	
51-60		63	2	35	14	0	86	◎◎:薬	
1-60		CN*φ	64	7	29	14	0	86	◎◎:薬

注:先攻、後攻ともBPIは効かしている

表15 ST:区間(10)の正効果の測定

Table15:Interval check of ST effect-1

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	○x
1-10	ST[+]:φ	50	3	47	17	3	80	◎◎:薬
11-20		39	6	55	47	9	44	x?:?
21-30		48	0	52	63	1	36	?x:?
31-40		59	1	40	61	2	37	○x:?
41-50		1-60	4	35	42	8	50	◎◎:薬
51-60		53	8	39	57	4	39	○x:?
1-60		ST[+]*φ	49	4	47	47	4	49

注:先攻、後攻ともBPIは効かしている

表16 ST:区間(10)の負効果の測定

Table16:Interval check of ST effect-2

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	○x
1-10	ST[-]:φ	23	0	77	36	2	62	XO:?
11-20		16	0	84	39	0	61	XO:?
21-30		67	3	30	42	1	57	◎◎:薬
31-40		62	2	36	47	5	48	○?:?
41-50		51	3	46	62	2	36	○x:?
51-60		53	6	41	55	7	38	○x:?
1-60		ST[-]*φ	59	2	30	52	3	45

注:先攻、後攻ともBPIは効かしている

づつの区分で負効きを与えた対戦させても(表16)不明であり、正負ともに5手づつの効きを与えた対戦結果(表17、表18)からあたりをつけ、2つの正効きの範囲と1つの負効きの範囲を見つけた(図9、図10、図11)。整理すると図12のようになる。

KNと同様この2つの正効きと1つの負効きの範囲から、1つのパラメータとしてのSTの薬効範囲を決めるため、3つの範囲の合成を行なう(表19)。まず正効きの2つの部分を加え、相互に反発せず効果があることを確認した(表19:1番目)。次に負効果の10手目(10-10)あるいは(10)と記述)を加えるとより薬効があることが分かる(表19:2番目)。前後の区間を幾つか調べ、暫定的にSTのパラメータとして3番目

ST:[+](4,7)+[-](10)+[+](12-15)

とする。(これ以上厳密に調べても、パラメータ同士の合成(調合)の時点でも、微調整が必要になり無駄になるとの予想される。)

表17 STの区間(5)の正効果の測定

Table17:Interval check of ST effect-3

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	○x
0-5	ST[+]:φ	53	2	45	25	1	74	◎◎:薬
6-10		5	1	94	98	1	1	x x:毒
11-15		53	1	6	24	0	76	◎◎:薬
16-20		52	5	43	71	7	23	◎x:?
21-25		64	3	33	58	5	37	○x:?
26-30		59	3	38	58	2	40	◎x:?
31-35		60	4	36	50	2	48	◎x:?
36-40		51	4	45	58	9	32	◎x:?
41-45		51	5	44	49	6	45	◎x:?
46-50		55	2	43	49	8	43	○?:?
51-55		65	2	33	44	6	50	◎x:?
56-60		49	4	47	56	8	36	◎x:?

注:先攻、後攻ともBPIは効かしている

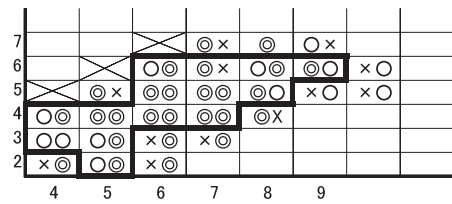


図9 ST (+) の詳細実験1の要約
Fig.9 Summary of Detailed check-1 of ST(+)

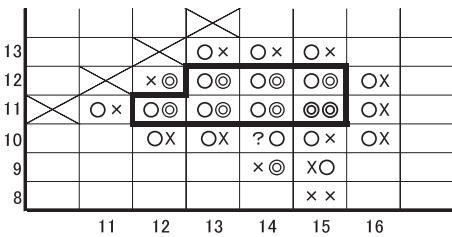


図10 ST (+) の詳細実験2の要約
Fig.10 Summary of Detailed check-2 of ST(+)

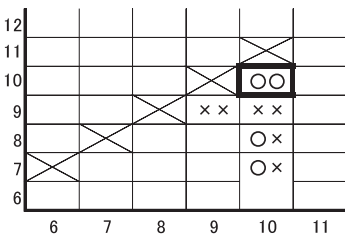


図11 ST (-) の詳細実験3の要約
Fig.11 Summary of Detailed check-3 of ST(-)

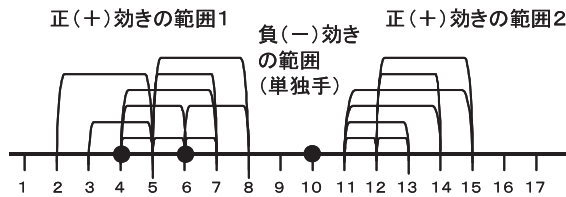


図12 STの効きの範囲
Fig. 1 2: Extent of effective ST

(3) CTの薬効成分の抽出

中心性 (CT) についての、10手ずつの区分に正効きを与えた対戦結果を表20に示す。表20で31手目以降60手までは「φ:φ」とほぼ同じ傾向(OX)であるので、CTとしての薬効はないと見られる。しかし、区間(1-30)は何らかの効きがありそうであるので、5手ずつの区間で正効き、負効きの両方について調べた(表21、表22)。これでも、薬効成分がはっきりしないので、区間(1, 30)で1手毎に正負の両方を効かせて調べてみた(表23)。表23を参考にしながら、

表18 STの区間(5)の負効果の測定

Table18: Interval check of ST effect-4

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	Ox
0-5	ST[-]:*φ	33	3	64	81	2	17	xx:毒
6-10		50	6	44	47	8	45	Ox:??
11-15		15	3	82	40	3	57	xO:??
16-20		61	3	36	12	1	87	OO:薬
21-25		67	2	31	59	11	30	Ox:??
26-30		51	5	44	60	2	38	Ox:??
31-35		51	4	45	47	9	44	Ox:??
36-40		60	4	36	56	6	38	Ox:??
41-45		51	8	41	55	4	51	Ox:??
46-50		42	6	52	70	3	27	XX:毒
51-55		49	5	46	69	7	24	Ox:??
56-60	70	4	26	62	0	38	Ox:??	

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表19 STの合成実験

Table19: Synthesis of parameter ST

番号	合成パラメータ:ST	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
1	ST+[4,7]+[11,15]	49	8	43	45	1	54	OO
2	ST+[4,7]+[10]+[12,15]	55	5	40	28	2	70	OO
3	ST+[4,7]+[10]+[12,15]	80	1	19	24	0	76	OO
4	ST+[4,6]+[10]+[11,15]	77	4	19	32	1	67	OO

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表20 CT:区間(10)の正効果の測定

Table20: Interval check of CT effect-1

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	Ox
0-10	CT[+]*φ	35	2	63	51	3	46	xx:毒
11-20		10	2	88	42	2	54	XO:??
21-30		39	6	55	73	4	23	xx:毒
31-40		65	7	28	49	5	46	Ox:??
41-50		52	6	42	63	2	35	Ox:??
51-60		59	5	36	58	7	35	Ox:??
1-60		59	5	36	58	7	35	Ox:??

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表21 CTの区間(5)の正効果の測定

Table21: Interval check of CT effect-2

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	Ox
0-5	CT[+]:φ	18	5	77	47	2	51	XO:??
6-10		75	0	25	68	1	31	Ox:??
11-15		42	2	56	32	4	64	Ox:??
16-20		33	3	64	59	2	39	OO:薬
21-25		62	1	37	75	5	22	Ox:??
26-30		49	1	50	69	4	27	?x:??
1-60		49	1	50	69	4	27	?x:??

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表22 CTの区間(5)の正効果の測定

Table22: Interval check of CT effect-2

区間	対戦	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ:φ	52	3	39	52	3	39	Ox
0-5	CT[-]:φ	49	2	49	83	1	16	?X:??
6-10		36	1	63	57	2	41	OO:薬
11-15		53	2	45	45	5	50	xx:毒
16-20		38	4	57	61	5	34	xx:毒
21-25		68	7	25	66	3	31	Ox:??
26-30		52	11	37	100	0	0	Ox:??
1-60		52	11	37	100	0	0	Ox:??

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

効きそうな区間を目視し、上手く組み合わせると効きが大きくなる可能性がある。特に数字の大きい5番目(6

表23 CTの一手毎の正負効きのチェック
Table23: Interbal check of CT effect-4

手数	重み		判定
	正(+1)	負(-1)	
1	○×	○×	無効
2	○×	○×	無効
3	××	○×	無効?
4	××	○×	無効?
5	××	○×	無効?
6	?◎	○×	??
7	××	○×	無効?
8	○×	○×	無効
9	○×	○×	-?
10	○○	○×	+?
11	○×	○×	無効
12	○○	○○	??
13	?×	○○	-?
14	○×	○?	無効?
15	××	××	??
16	○×	××	?
17	◎×	○×	?
18	○×	○○	-?
19	○×	○×	無効
20	××	○×	無効?
21	○×	○×	無効
22	○×	○×	無効
23	○×	○×	無効
24	○×	○○	-?
25	◎×	○×	[+]100:0
26	○×	○×	無効
27	○×	○×	無効
28	○×	○×	無効
29	○×	○×	無効
30	○×	○×	無効

表24 CTの効果のありそうな手 (表23から)
Table24: Stand out positions in table 23

番号	パラメータ:CT	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
1	CT[-](12)	46	2	52	23	0	77	◎◎
2	CT[-](13)	53	7	40	28	3	69	◎◎
3	CT[-](14)	57	3	47	43	6	51	◎◎
4	CT[-](18)	56	9	35	38	3	59	◎◎
5	CT+[](6)	48	3	49	14	1	85	×◎
6	CT+[](9)	67	4	29	62	4	34	◎×
7	CT+[](10)	57	3	40	39	4	57	◎◎
8	CT+[](12)	55	4	41	12	0	88	◎◎
9	CT+[](17)	67	5	28	50	4	40	◎×
10	CT+[](21)	68	5	27	56	3	41	◎×
11	CT+[](25)	100	0	0	61	3	36	◎×

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表25 組合せによるCTの有効区間の抽出
Table25: Effective interval of CT

番号	パラメータ:CT	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
1	[+](6)+[+](25)	100	0	0	17	2	81	◎◎
2	[+](10)+[+](12)	54	4	42	78	1	21	◎×
3	[+](9)+[+](10)	55	2	43	49	3	48	◎?
4	[+](10)+[-](12)	52	5	43	67	4	29	◎×
5	[-](12)+[-](13)	44	9	47	24	1	75	×◎
6	[+](9,10)+[-](12,13)	64	0	36	70	4	26	◎×
7	[-](12,14)	53	5	42	44	5	51	◎◎
8	[-](13,14)	61	4	35	57	1	42	◎×

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

かせ方が分かった。すなわち

- ① BP は絶対的に有効なパラメータであり、全区間 (1-60) で有効である。
- ② CT は[+] (6) + [+] (25) で効かすのが最適である。
- ③ ST は[+] (4,7) + [-] (10) + [+] (12-15) が最適である。
- ④ KN は[+] (4,7) + [-] (12-13) 最適である。
- ⑤ CN は全区間 (1-60) で有効である。

BP、CN は全区間で有効であり、安定した効果が期待できる。漢方薬に例えることが出来る。しかし、CT、ST、

手目) と 11 番目 (25 手目) を組合せ相乗効果が出る事が期待される。

表23のうち、薬効のある部分 (○○) および値が顕著な部分を抜き出すと表24になる。表24を目視しながら組合せ実験を行なった結果が表25である。結果的には1番目 (6手目と25手目) の組合せだけが顕著な薬効を示している。

この「6手目と25手目を組み合わせたものをA」とし、CTとして効きの大きい組合せがないかと調べてみた (表26)。いずれも、反発して毒としか働かないかAの効果を弱める働きしかなく、CTのパラメータとしては、Aすなわち

CT : [+] (6) + [+] (25)

を取ることにする。

5-3 抽出したパラメータの有効範囲

本章で示した実験により、はじめに仮定した5つのパラメータ、盤位置 (BP)、中心性 (CT)、直線性 (ST)、駒数 (KN)、候補数 (CN) のいずれもが、評価関数のパラメータとして有効であることが分かり、また、それぞれのパラメータを独立で効かすとした場合の最適な効

表26 CTパラメータの合成

Table26: Synthesis of CT parameter

番号	パラメータCT の合成要素	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
	φ : φ	52	3	39	52	3	39	◎×
1	A + [+] (12)	54	1	45	34	0	66	◎◎
2	A + [-] (13)	85	3	12	55	1	41	◎×
3	A + [+] (7)	19	0	81	54	1	45	××
4	A + [+] (21)	12	2	86	49	2	49	×?
5	A + [-] (18)	52	1	47	46	2	52	◎◎

注:Aは[+] (6) + [+] (25)、先攻・後攻にBPを効かせる

表27 先読み数を4とした場合のCTの効き

Table27: CT effect on pre-read 4

番号	パラメータ: CT	先攻			後攻			結果
		勝	分	負	勝	分	負	
1	A	9	3	88	79	4	17	XX:猛毒

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

KN は、有効成分を抽出した結果、狭い範囲でしか有効でない、少しの状況の変化にも影響を受ける可能性がある。言わば、有効成分を精練抽出した効きは鋭いが安定性に欠ける西洋薬のようなものである。

5章での実験は全て、先読み数(p)を3、虱潰し数(s)を9としたが、たとえば、pを4とすると、KN は薬として出なく、猛毒として働くことが分かった(表27)。先読み数を変えると、最適なCT、ST、KNを改めて見つけ出す必要がある。

6. 評価関数の作成(パラメータの組合せ調査)

6-1 各パラメータの効果の再確認

5章で効果を確認した5つのパラメータを組み合わせて(調査して)評価関数を作る。まず、各パラメータを最適化したので、改めてそのBPに対する強さ(聞き具合)を確認してみる(表28)。BPの効きが絶対的に強いこと、そしてBPを基盤とする(常にBPを効かす)とき、各パラメータが有効に働くことが確認できた。(以降の実験では、今までと同様、常にBP分離して効かせるので特に記述しない。先読み数3、虱潰し数9も以前と同様である)。

6-2 (BP以外の)パラメータの強さの確認

CT、ST、KN、STの強さを調べるため、それぞれを効かせて対戦実験を行なった(表29)。表29から、BPを除くとCNが圧倒的に強いことが分かる。CT、ST、KNは、「CT<ST」、「ST<KN」、「CT>?KN」となっており3すくみの関係になっているようである。各パラメータの強さの関係は

BP >> CN >> (CT, ST, KN)
となっている。

6-3 BPおよびCNを分離したCT、ST、KNの効果の確認

前節で、BPを除くとCNが圧倒的に強いので、BPとCNを分離して、CT、ST、およびKNの効果調べた(表30)。BP、CNの分離とは、BP、CNの効果に、他のパラメータの影響が出ないように、BPを10000倍、CNを100倍して評価することである。分離したBP、CNは基盤とする。表30では全く効果が見えない。これはBPおよびCNを分離したため、その効果が大きくなりすぎ他のパラメータの効果が見えなくなったと考え

表28 BPの強さの再確認

Table28: Strength of parameter BP

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
BP:CT	96	0	4	5	1	94	◎◎:BP>>CT
BP:CT	92	3	5	3	0	97	◎◎:BP>>ST
BP:KN	92	4	4	4	1	95	◎◎:BP>>KN
BP:CN	92	0	8	15	0	85	◎◎:BP>>CN
BP:BP	50	5	45	50	5	45	○×
BP+CP:BP	100	0	0	23	1	78	○○:CT有効
BP+ST:BP	69	1	30	25	0	75	○○:ST有効
BP+KN:BP	62	0	38	33	1	66	○○:KN有効
BP+CN:CN	64	1	35	12	3	80	○○:CN有効

表29 BP以外のパラメータの強さ

Table29: Strength of parameters except BP

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CT:ST	24	2	74	56	6	39	X×:CT<ST
CT:KN	50	5	45	27	1	72	◎◎:CT>KN
CT:CN	14	0	86	75	2	23	XX:CT<<CN
ST:KN	28	0	72	46	4	50	X×:CT<ST
ST:CN	11	0	89	71	2	27	XX:ST<<CN
KN:CN	22	4	74	65	4	31	XX:KN<<CN

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表30 BP、CNを分離したCT、ST、KNの効果
Table30: Effect of CT,ST,KN excluding BP,CN

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CT:ST	2	0	98	5	1	94	X◎:CT?ST
CT:KN	21	2	77	1	1	98	X◎:CT?ST
ST:KN	23	0	77	1	0	99	X◎:ST?KN
φ:φ	27	2	71	27	2	71	X◎:後手有利
CT:φ	17	5	78	0	0	100	X◎:?
ST:φ	32	0	68	1	1	98	X◎:?
KN:φ	20	1	79	21	4	75	X◎:?

注:先攻、後攻ともBP,CNは効かしている

られる。ちなみに、「BP+CN」同士(表では「φ:φ」)での対戦は後攻が圧倒的に有利である。表30の結果は殆んど同じ傾向を示している。

6-4 CT、ST、KNの合成(調査)

BPのみならずCNまで分離するとCT、ST、KN(以降CSKと略記)の効果が見えないので以降の実験ではBPだけを分離する。

(1) 単純調査:加え合わせ

CSKのそれぞれを加え合わせ効果を調べる(表31)。明らかにCSKそれぞれを単独で聞かせた場合より効き

表31 CT,ST,KNの単純な調査:加え合わせ
Table31: Addition of CT,ST,KN

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CT+ST:φ	100	0	0	44	0	56	◎◎
ST+KN:φ	52	5	43	43	1	56	○○
KN+CT:φ	36	0	64	41	5	54	x○
CT+ST+KN:φ	100	0	0	48	3	49	◎?
CT:φ	100	0	0	21	1	78	◎◎
ST:φ	78	2	20	29	1	70	◎◎
KN:φ	48	4	48	28	3	69	?◎

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

表32 CT,ST,KNの重みをつけた加え合わせ
Table32: Addition of CT,ST,KN with Weight

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CT[10]+ST : φ	100	0	0	43	1	69	◎◎
CT+ST[10] : φ	99	1	0	24	3	73	◎◎
ST[10]+KN : φ	83	0	17	34	1	65	◎◎
ST+KN[10] : φ	64	3	34	45	2	53	◎○
KN[10]+CT : φ	37	0	63	45	5	50	x○
KN+CT[10] : φ	56	5	39	40	1	59	○○
CT : φ	100	0	0	21	1	78	◎◎
S T : φ	78	2	20	29	1	70	◎◎
KN : φ	48	4	48	28	3	69	?◎

注: 先攻、後攻ともBPは効かしている

が悪くなっている、相互に反発していることが分かる。調合せず、いずれか1つを効かしたほうが良い。

(2) 重みを変えた加算

加え合わせたどちらかに重みを加え、変化があるかどうかを調べる。重みとして10倍した。もし変化があれば調整できるかもしれないとの期待がある。結果は表32に示す通りであるが、(1)より改善されているものの、重みをつけた方のパラメータの効果に近づいただけで、加えることの相乗効果が現れているとはいえない。

(3) 効きの範囲を考慮した調査

5-3節で列挙したように、各パラメータの効きの区分は図13に示すようになっている。CSKについては、6手目だけが共通の部分である。CSKともに6手目だけを効かせ、様子を見て前後に効きの範囲を広げようとした時どうなるかを調べる。まず6手目だけを効かせた結果を表33に示す。対比のため、元のCSKの効果、およびBP以外何も聞かさない(φ:φ)をつけている。たった1手(6手目だけ)に効かせるだけで、CT、ST、KN全体を効かせるより薄まるものの「φ:φ」より効果があることが分かる。

より効果をあげるため効かせる範囲を広げる。25手

CSK共通の効きの部分(6手目だけ)

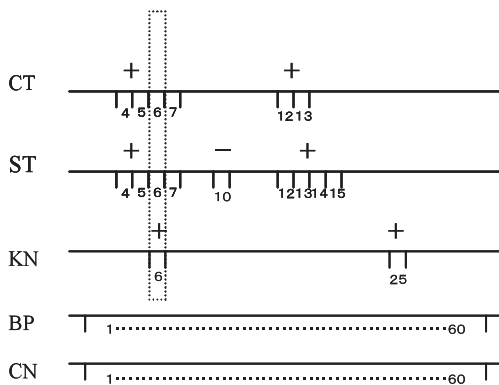


図13 パラメータの効きの範囲
Fig.13 Effective Interval of Parameters

第33 CT,ST,KNに25手目だけを効かせた効果
Table33: Effect of CT,ST,KN at 25th move

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CT[25]: φ	100	0	0	66	1	33	◎X
ST[25]: φ	51	7	42	66	7	27	○X
KN[25]: φ	57	5	38	59	3	38	○x
CT[25]+ST[25]: φ	100	0	0	61	3	36	◎x
ST[25]+KN[25]: φ	60	5	35	56	3	41	◎x
KN[25]+CT[25]: φ	100	0	0	58	3	39	◎x
CSK[25]: φ	99	0	1	50	6	44	◎◎
CT : φ	100	0	0	21	1	78	◎◎
S T : φ	78	2	20	29	1	70	?◎
KN : φ	48	4	48	28	3	69	?◎
φ : φ	50	5	45	50	5	45	○x

注: 先攻、後攻ともBPは効かしている

表34 6手目と25手目に効かせた効果
Table34: Effect of CT,ST,KN at 6th and 25th move

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CT([6]+[25]): φ	100	0	0	24	0	76	◎◎
ST([6]+[25]): φ	69	1	30	22	1	77	◎◎
KN([6]+[25]): φ	86	2	12	27	2	71	◎◎
(CT+ST)([6]+[25]): φ	100	0	0	19	0	81	◎◎
(ST+KN)([6]+[25]): φ	66	5	35	23	2	75	◎◎
(KN+CT)([6]+[25]): φ	100	0	0	48	0	52	◎?
CSK([6]+[25]): φ	100	0	0	24	1	75	◎◎
CT : φ	100	0	0	24	0	76	◎◎
S T : φ	69	1	30	22	1	77	◎◎
KN : φ	86	2	12	27	2	71	◎◎
φ : φ	53	8	39	53	8	39	○x

注: 先攻、後攻ともBPは効かしている

目は表25の1番目でも分かるように、CTには効果が大きい。ST、KNについては無効の領域であるので加えても毒にはならないとの予想が成り立つ。25手目を効かした場合の結果(表33)CTに絡む部分の先手に顕著な効きがある以外おおむね「φ:φ」と同じ傾向を示し無効であることが分かる。6手目と25手目を効かした場合の結果は表34に示す通りである。ちなみに、CSKとCNを対戦させると、やはり圧倒的にCNが強い。強者に対して弱者が東になって掛かってもかなわないというところか。一応CSK((6),(25))を基本と考える。

(4) 微調整

CTの効果をあげるため、ST(25)、KN(25)を追加したが、これが雑音要素になっていないか、あるいは他の部分(ST([-1]10)を追加できないかを調査する(表35)。あまり効果がないようであるが、パラメータの効きをよりよくするための微調整は今後の課題とする。

表35 CSKとSTの合成
Table35: CSK((6),(25)) + ST[-](10)

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CSK((6)+(25))+ST[-](10): φ	100	0	0	27	3	70	◎◎
CSK((6)+(25))+ST[-](10): CN	11	1	88	63	4	33	XX
φ : CN	12	3	85	63	4	33	XX

注: 先攻、後攻ともBPは効かしている

表36 CSK((6),(25))とCN(1-60)の合成
Table36: Synthesis of CSK((6),(25)) + CN

対戦	先攻			後攻			結果
	勝	分	負	勝	分	負	
CSK((6)+(25))+CN(1-60) : ϕ	75	0	25	13	0	83	◎◎
CSK((6)+(25)) : ϕ	100	0	0	28	2	70	◎◎

注:先攻、後攻ともBPは効かしている

6-5 CNとCSKの統合化

CSKについてはCSK(6)で固定し、CNとの統合を図る(表36)。BP基盤とした時、CSK+CNはCN単独よりわずかによさそうな気がする。面白いのは、BPを基盤として「CSK: ϕ 」と「CN: ϕ 」はほぼ同じなのに「CSK:CN」では、CNが圧倒的に強い。各パラメータの効きを動かしてゆくとより強くなるかも知れないが今後の課題とする。本研究の課題である盤面の評価関数を得ることにしては一応

$$(BP+CN) (1-60) + (CT+ST+KN) ((6)+(25))$$

を結論とする。

7. 考察および今後の課題

本研究の課題は、オセロプログラムについての評価関数を先験的、感覚的な評価(感想)をもとに、5つのパラメータを定め、

- ① それらのパラメータが本当に有効であるか
- ② パラメータの最適化は出来るか
- ③ それらのパラメータをもとに最適な評価関数を見つけて出来るか

であったが、ほぼ全てについて一応の結論をえた。

7-1 本研究の意義

本研究では、強いオセロプログラムを作ることが結果としてそうならば幸いであるが、そのことが目的ではなく、プログラムを強くするための評価関数をいかに作るかの方法論を示すことである。

コンピュータによる対戦という方法で段々とパラメータを最適化し、結果的には強いと思われる評価関数を得ることが出来た。コンピュータによる実験によりある目的関数を最適化あるいは改良するという手法は既に多くの分野で使われていると思われるが、その有効性を再確認したことが1つの成果である。

次に、パラメータの効きの具合に特異点があることが分かったことである。例えば、中心性(CT)の場合60手中、6手目と25手目だけわずかに2手に効かすだけで顕著な効果をもたらす。その因果関係は分からないが、まさに複雑性(Complexity)システムそのものである。

序盤のうち駒数が少ない方が言いという風説も、KNに関して効きが顕著なのは4~7手目と12~13手目だけである。直線性(ST)に関しても、効きのある部分は少ない。この場合、同じプログラム同士の対戦であり、先読み数3手、風潰し数9手という条件を設けているので、これらの条件を変更すると変わるかもしれない。

「あるところで蝶が羽ばたくのが原因で、何100kmも離れたところで竜巻が起こることになるかもしれない」[2]と言う複雑性の世界である。理論的に因果関係を調べるには複雑すぎる世界であり、パラメータの変化に対して結果としての現象から、パラメータを改良するしかないのかもしれない。

ゲームに限らず、広義の人工知能研究あるいは複雑性システムの研究の1つの方法論を提供していることを願いたい。

7-2 今後の課題

この研究で得られた評価関数は、多くの仮定を持っている。先験的なパラメータ5つをもとに評価関数を得たが、オセロプログラムを強くするためには実はもっと他のことを考える必要があるかもしれない。本当はもっと高い山があるのに、近くの山だけを相手にその上り方を究めているだけかもしれない。

強さを調べるのに、100回戦の対戦で行なっているが、これが統計的に妥当であるかの検証を行なう必要がある。CT、ST、KNについては、6手目だけに効かせても顕著な効果があるのは、サンプル数が少ないための現象かもしれない。統計的な妥当性があるかどうかの検証を行なう必要がある。

BPの圧倒的な強さに比べて、他のパラメータの効果が弱いので、パラメータの分離と言う手法を用いたが、この方法が妥当であるかについてもきちんと検証する必要がある。

プログラムを強くするには、

- ① 序盤の定石を持たせそれをベースに考える方法
- ② 終盤の必勝パターンを探し出しそこに導く方法
- ③ 実戦の勝負から学習させ段々と強くする方法
- ④ プログラムの実行速度を上げ、先読み数、風潰し数を出来るだけ多くする方法

などが考えられる。

このプログラムはJavaで開発したがC言語で作ると4倍程度速くなるはずであるからそれだけで先読み数を1つ程度増やせる。高速化を図るには、 α - β 法³⁾を適用し無駄な読みを防ぐことでの適用を図ることも可能である。

この研究で行なったようにパラメータを5つに限定しても、先読み数を局面の状況につれ動的に変えることも考えられる。パラメータや評価関数の微調整をもっと綿密に行なえば、段階的あるいは飛躍的に強さが変わるかもしれない。

ここでは強さをコンピュータ同士での対戦での勝数で決めているが、実際に人間と対戦したとき本当に強いかどうかは不明である。バーチャルな同じコンピュータプログラム同士の強さは本当の強さとは異なるのかもしれない。人間あるいは既にあるプログラムとの対戦を通じてこのプログラム（あるいは評価関数）の強さを確かめる必要がある。

8. おわりに

この研究のきっかけは、学生の手ごろなプログラミングの実習としてオセロプログラムを作成させるため、予め作っておこうと思ったことである。折角作るなら、強くしたいとの思いからパラメータの最適化、評価関数の

改善を図ること注力した。評価関数の改善に注力したため、高速化のため探索アルゴリズムの最適化などを行っていないので、本当に強くなったかどうかは分からない。7章に記述した課題も多く残っており、今後もこの研究を続けていく所存である。

注・参考文献

- 1) 坂口実 (1969) 『ゲームの理論』 森北出版
- 2) M. Mitchell Waldrop (1992) 『Complexity』 Penguin Science
- 3) Seal Software (2003) 『リバーシのアルゴリズム』 工学社
- 4) 長谷川五郎 (2003) 『リバーシの勝ち方』 河出書房新社
- 5) 大筆豊 (2004) 『オセロプログラムの評価関数の改善について』 情報処理学会ゲーム情報処理研究会資料 2004-GI-11、p.15-20

(2004年2月4日受理)