

# コンピュータ囲碁

山下 宏

囲碁は中国で2000年以上も前に発明されたゲームです。ルールはいたって簡単、それでいて最高の難易度と最高の面白さを秘めています。しかもチェス、オセロ、将棋といった他のゲームが次々とコンピュータに制覇されていくなか、囲碁だけは難攻不落の砦として多くの研究者、プログラマを寄せ付けているのです。ひょっとしたら今までとは違った何か別のアプローチが必要なのかもしれません。ここでは囲碁のルールから今までに試されてきた手法について紹介します。

キーワード：囲碁、評価関数、探索、モンテカルロ法

## 1. 囲碁のルール

囲碁は「陣取りゲーム」で相手より多くの陣地を取った方が勝つ。また、相手の石を囲めば取れる。黒と白の石を使い、二人の対局者が交互に石を置いていく。オセロなどと違い、升目の中ではなく交点に石は置かれる。碁盤は19×19のサイズの19路盤が通常は使われるが、13路、9路といった小さい盤面もある。

石の取り方は図1のように石の周囲、4方向を囲めば取れる。

図2のように石が繋がっている場合も、その全ての4方向を囲むと取れる。

最初から囲まれている場所、例えば図1の右端でC3には黒石を打つことはできない。ただし、打った瞬間に相手の石を取れるなら打つことが出来る。例えば図3のA1に黒が打てば白の3つの石を取ること

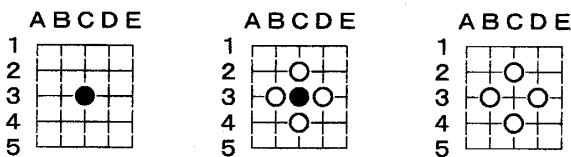


図1 石の取り方

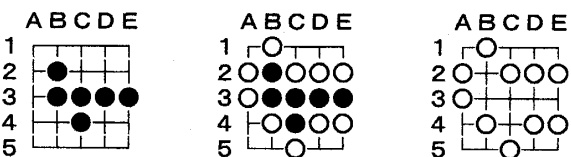


図2 全体を囲むと取れる

が出来る。

では、絶対に取りられない石を作ることができるだろうか？ これは可能で図4の白石のように、打った瞬間に石を取られる場所、が2箇所ある場合、この石は取られることはない。このような場所を「眼」と呼ぶ。

つまり囲碁とは2眼できる石を作りながら（作らせないようにしながら）お互いの陣地を最大限に広げるゲームである。

この他に図5で、黒がD3に打ち白石を取り、すぐさま白がC3に打てば元の形に戻り、永遠に繰り返してしまう。このため白は取られた直後にはC3と石を取り返すことは出来ない（別の場所に打った後なら可能）。この同型反復を禁止するルールをコウと呼ぶ。

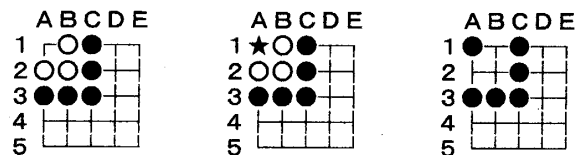


図3 相手の石を取れるなら打てる

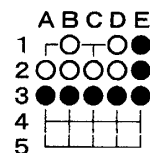


図4 絶対に取りられない2眼の石

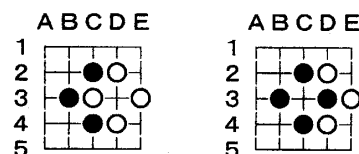


図5 白は、すぐにはC3と取り返せない

## 2. コンピュータ囲碁の歴史

19路盤で動く最初のプログラムはアメリカの Zobrist により 1969 年に作られた。棋力は 38 級程度であった。1980 年代になると世界大会[2]が開催され始めた。主な大会の結果を表 1 に示す。

Ing 杯は 2000 年までに人間に互い先 (たがいせん、ハンデなしの事) で勝てれば 10 億台湾ドル (日本円で 1 億 4 千万) の賞金を出したことで有名になった。また段階的なハードルとしてハンデ戦で勝った場合の賞金もついていて、1991 年に Goliath が人間の強い子供に 17 子置かせて勝ち、1995 年には Handtalk が 15 子、13 子置かせ、さらに 1997 年には 11 子置かせて段レベルの人間に勝っている。FOST 杯では Handtalk が 1995 年から毎年、5 級、4 級、3 級の認定を

表 1 主なコンピュータ囲碁大会の結果

開催年	開催地	優勝者	国籍
<b>Ing 杯</b>			
1987 年	台北	Friday	台湾
1988 年	台北	Codan	日本
1989 年	台北	Goliath	オランダ
1990 年	北京	Goliath	オランダ
1991 年	シンガポール	Goliath	オランダ
1992 年	東京	Go Intellect	アメリカ
1993 年	成都	Handtalk	中国
1994 年	台北	Go Intellect	アメリカ
1995 年	ソウル	Handtalk	中国
1996 年	広州	Handtalk	中国
1997 年	サンフランシスコ	Handtalk	中国
1998 年	ロンドン	Many Faces	アメリカ
1999 年	上海	Go4++	イギリス
2000 年	貴陽	Wulu	中国
<b>FOST 杯</b>			
1995 年	東京	Handtalk	中国
1996 年	東京	Handtalk	中国
1997 年	名古屋	Handtalk	中国
1998 年	東京	シルバー囲碁	北朝鮮
1999 年	東京	KCC 囲碁	北朝鮮
<b>CGF 杯</b>			
1999 年	つくば	Go4++	イギリス
<b>SG 杯</b>			
2001 年	ソウル	Goemate	中国
<b>21 世紀杯</b>			
2001 年	ペンシルバニア	Go4++	イギリス
2002 年	エドモントン	Many Faces	アメリカ
<b>岐阜チャレンジ</b>			
2003 年	大垣	KCC 囲碁	北朝鮮
2004 年	大垣	KCC 囲碁	北朝鮮
2005 年	大垣	KCC 囲碁	北朝鮮
2006 年	大垣	KCC 囲碁	北朝鮮

日本棋院から受け、1999 年には KCC 囲碁が 2 級の認定を受けた。

2001 年には市販ソフトである手段対局 4 (Goemate), 最強の囲碁 (Go++), 最高峰 3 (Haruka), 銀星囲碁 (KCC 囲碁) の 4 つのプログラムが初段<sup>1</sup>の認定を受けた。現在では KCC 囲碁, Goemate が最強クラスで Go++, Haruka, Wulu, FunGo などがそれに続く。

岐阜チャレンジは現在唯一の世界大会で、北朝鮮の KCC 囲碁が 4 連覇中である。しかし第 1 回をのぞき他の海外強豪が参加していないので大会のレベルはやや落ちる。

大会の優勝者を見れば分かるとおおり、ほとんどが海外勢のプログラムによるもので、日本勢は 1988 年を除いて優勝はない。

## 3. 評価関数

囲碁の評価関数は将棋, チェス, オセロといったゲームと比較して格段に作成が難しい。将棋やチェスでは駒の損得が非常に簡単で、しかもかなり正確な判断となる。しかし、囲碁の局面を理解するには

1. 石が活着しているか、死んでいるか。
2. 明確に活着していない場合は、どのくらいの石の強さか。
3. どこが自分の陣地か。

を判断する必要があり、どれも簡単ではない。

### 3.1 局面の認識

石が縦横に繋がった集団を連 (string) と呼ぶ。ここまでが絶対確実な概念で、以下の概念はプログラムによって異なる。連がゆるやかに繋がった集団を群 (group) と呼ぶ。群の定義はあいまいであり、プロ

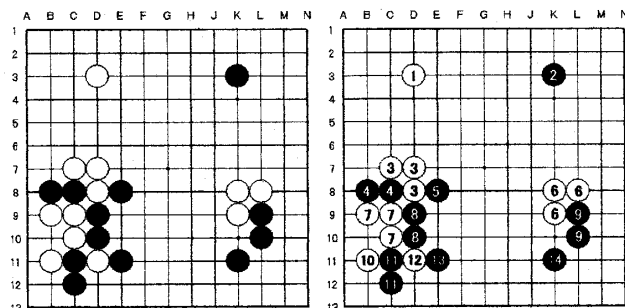


図 6 初期配置と連番号 (右)

<sup>1</sup> 日本の段位と海外の段位は異なっており、日本の初段は海外の 3 級程度と言われる (日本の方が甘い)。インターネット上の囲碁サーバである KGS での GnuGo の棋力は 6 級である。

グラムの棋力によって異なる。連と群の間に連同士が強固に結びついた準連 (chain) を持つソフトもある。

図6に中盤の局面の連の番号、図7に群の番号と地を示す。同一の番号が同一の連、群である。×のついた石は死んでいる石を示す。

### 3.2 影響力関数

碁盤上に存在する石からはパワー (影響力) が発生する、と仮定する。図8のように石の近くほど高く、遠くなるほど小さくなるような点数をつける。この図では距離が1つ遠くなるごとに影響力が半減していく、として点数を付けている。

黒の石は+、白の石は-になるようにして、盤上で活着している石の影響力を合計することで簡単な地の判定が可能になる。死んだ石は相手の生き石として計算する。

### 3.3 眼形判断

自分の石のみで囲まれた空間が、どのくらいの眼形になるのか、を判定する。

図9で、左上の黒は1眼、右上の黒は次に打てば1眼、白からL1に打たれると0眼になってしまうので0.5眼。左下は1眼が2つなので2眼。右下は黒がM13に打てば2眼、逆に白にM13に打たれると1眼になってしまうので1.5眼となる。眼形の合計が2眼を超えれば、その石は活着している。実戦の眼形では境界があいまいな事が多く、かなりの例外処理が必要になる。

### 3.4 連絡

石が繋がっているかどうか、を判定する。

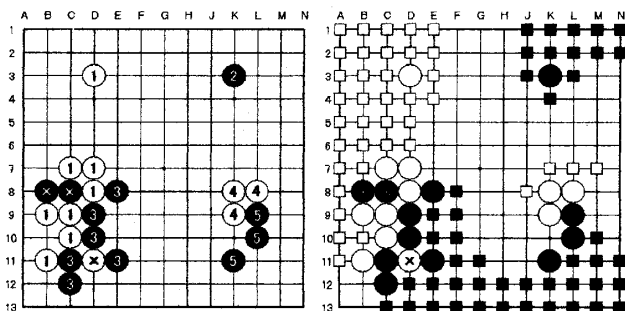


図7 群番号と地 (右)

11	13	11				
14	21	25	21	14		
11	21	38	50	38	21	11
13	25	50	●	50	25	13
11	21	38	50	38	21	11
14	21	25	21	14		
11	13	11				

図8 石からの影響力

図10はそれぞれ、コスミ、タケフ、と呼ばれる連絡の形である。仮に、白がこの連絡を切ろうとしても黒はもう片方に打って1つの連になることが出来る。

一般的にはダメ<sup>2</sup>を2つ以上共有している連は連絡している、と考える事が出来る。

よりあいまいな形になるが、図11のような形も接続している、とすることが出来る。ただし周囲に敵の石が存在しないことが条件である。

例えば隣のケイマの形は、白から打たれると切断できる。ただし、最後の☆の石を先手で殺すことが出来るなら連絡している、と判断できる。これには探索が必要になる。

### 3.5 連の捕獲探索

ある石が、相手から先に打たれて死ぬか、死ぬ場合は自分から先に打っても死ぬか、を判定する。自分か

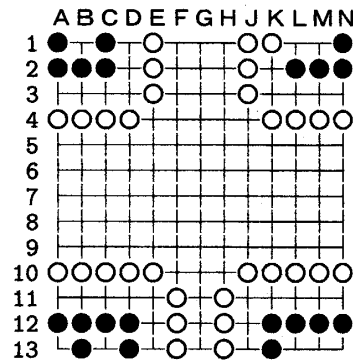


図9 0.5眼から2眼まで

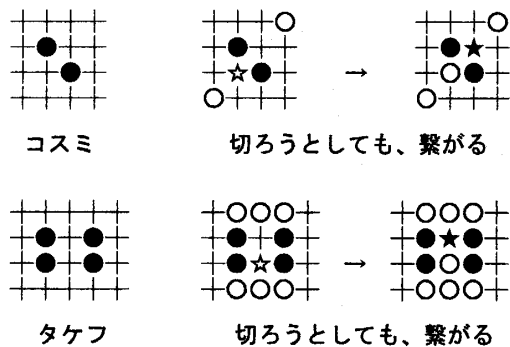


図10 コスミとタケフでの連絡

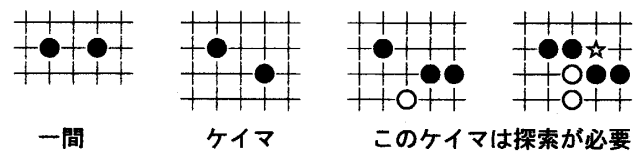


図11 一間、ケイマでの連絡

<sup>2</sup> 石の4方向の空白の位置をダメ、と呼ぶ。呼吸点 (liberty) とも呼ばれる。

ら打っても死ぬ場合は、その石は完全に死となる。図12で、E6の白石は相手からF6に打たれると取られてしまう。では自分からF6に打って逃げ出した場合はどうなるか。

これに対して黒はG6、もしくはF5からアタリ<sup>3</sup>に出来る。正解はG6から当てて図13となり、結局、ここまで来て白石は取られてしまう。この形で石を取ることをシチョウと呼ぶ。この場合は取れたが、仮に最初の図でH4に白石が存在している場合は、シチョウは成立しない。つまり図12左は無条件に死で、図13右は黒番なら死、白番なら活である。

彩<sup>4</sup>ではダメ4以下の連に対して、先手で死ぬかどうかを判定している。着手の候補は対象となる連のダメ、その周囲のダメ数が少ない敵の連のダメ、対象連のコスミの位置、である。評価関数の中では、もっとも時間がかかる。

### 3.6 群の死活探索

最終的な石の死活は連が繋がった群単位で決まる。Haruka[1]では、単独の群が包囲されている場合に、内部で2眼作れるかどうか、という死活探索と、2つの不安定な群が接触している場合に、どちらが攻め合いで勝っているかを探索するルーチンがある。

### 3.7 脱出の可能性

図14で下辺の白の2子は、次に右のように2つ黒から打たれると、ほとんど死んでしまう。逆に先に打

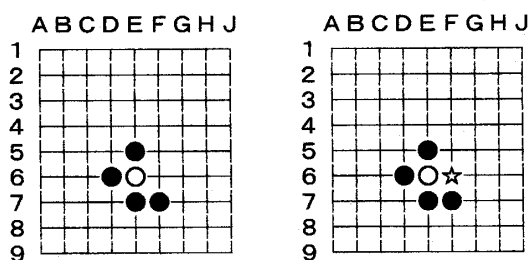


図12 白石が先手で逃げ出せるか？

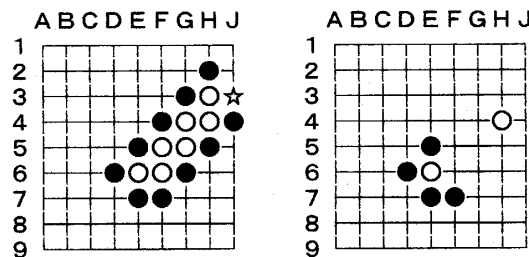


図13 シチョウで取られる。取られない(右)

てば上辺の白に連絡するか、逃げながら眼形を作るスペースを作ることによって生きる可能性が高くなる。脱出できるかどうか、の判定は難しく、彩では4x4の何もない空間があれば逃げ出せる、としている。

石は隅で小さく生きるよりは、逃げ出して大きく活きた方が得なことが多い。

### 3.8 パターンデータベース

パターンは着手の候補、眼形の識別、布石の候補、などに使われる。図15は着手の候補の例で黒番なら★に打つ手を生成する。?は何でも構わない、という意味である。

Many Facesでは探索手順の付いたパターンを利用している。

## 4. 探索方法

将棋、チェスでは可能な手を全て生成して $\alpha\beta$ 法で固定深さまでしらみつぶしに読む、という手法が確立されており、時間をかけて深く読むほど強くなっていく。しかし、可能な手の平均数がチェスの35手、将棋の80手に比べて囲碁は230手と格段に多く、しらみつぶしに読む方法では十分深く読むことが出来ない。また評価関数自体も正確な評価をしようとするとなかなか重くなるため1秒間に100局面程度しか読むことができず(将棋では毎秒10万局面ほど読める)これも深く読めない原因となっている。

そのため、囲碁ではこういった手法が効果的なのかはいまだによく分かっていない。以下はトップクラスのプログラムで使われている手法[3]を紹介する。

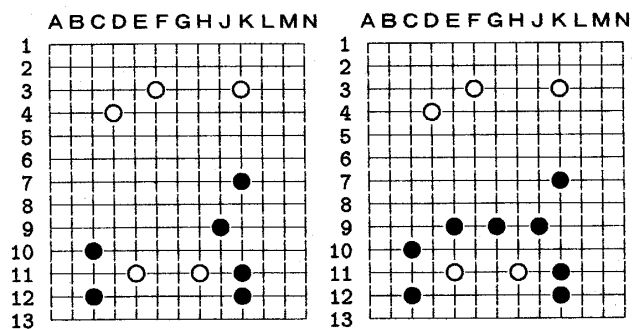


図14 脱出

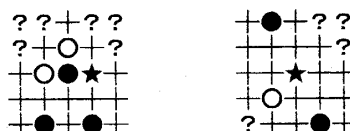


図15 着手の候補

<sup>3</sup> 「アタリ」とは次に石を取るぞ、という意味である。

<sup>4</sup> 筆者が作成している囲碁プログラム。

#### 4.1 静的な分析

盤面全体探索は行わず、部分的な目標（石の死活や連絡）を達成できるかどうかで着手を決定する。FunGoやDRAGONなどがこの手法を使っている。DRAGONは着手を優先度順に13個に分類し（石の捕獲、緊急のパターン、定石、……、小さなヨセ）上位の分類が存在すればそれを打つ。

#### 4.2 1手打って評価

Go++やMany Faces, GnuGo<sup>5</sup>などは1手打ってみて、そこで評価、という手法を使っている。Go++は40手程の候補手を多数のパターンから選び出し、もっとも地が確保できる場所に打つ。GnuGoは候補手を目的別（石を取る、連絡する、地を広げる、など）に生成している。

#### 4.3 盤面全体探索

Go IntellectやIndigoが採用している。ただし全ての手を探索するのではなく、盤面全体から少数の手を絞って数手の深さまで探索する。Go Intellectは末端では局面が落ち着くまで読みをすすめる静止探索を行っている。

#### 4.4 出入り

これは、ある部分だけに着目して、黒が先に打った場合と白が先に打った場合の差、を元にして着手を決める方法である。Handtalk, Goemate, Wulu, Haruka, KCC 囲碁, Goliathなどがこの手法を用いている。

部分的な探索は行いが、盤面全体を対象とした探索は行わない。Harukaは、8×8の菱形の範囲で幅10、深さ3手、もしくは5手の探索を行う。例えば黒番だとすると、相手の直前の手の周りに対して5手の探索を行い、評価値を出す。そして黒がPASSしたと仮定して、さらに白から4手の探索を行い評価値を出す。この黒と白の評価値の差、がこの部分に黒番で打った場合の点数となる。

### 5. 5路盤の解析と詰め碁

小さなサイズの碁盤を完全に解く試みとしては5路盤までは完全に解かれている。5路盤では黒が中央に打てば白は全滅し黒24目勝ちとなる。4路盤では引分、3路盤は黒8目勝ち、2路盤は引分である。部分

<sup>5</sup> GnuGoは世界中の有志により開発されているオープンソースのプログラムでかなり強い。最強ソフトに2,3子ぐらゐの差である。

<http://www.gnu.org/software/gnugo/gnugo.html>

問題である詰め碁では高段者クラスの問題を解けるようになっており、図16を720秒、1,600万局面を探索して解く[7]。

### 6. モンテカルロ囲碁

ここ数年、まったく別のアプローチで囲碁の評価関数を作る方法が提案されている。モンテカルロ囲碁、と呼ばれる方法で、石の連絡や2眼の判定などせずに乱数ででたらめに石を置いていくことで直接局面の評価値を求めてしまう。方法は、

1. 全ての着手可能な場所に乱数で石を置く。
2. 1.を白黒交互に繰り返す。打つ場所がなくなるとパスが2回続けば終局。
3. 盤上の石の数と地で点数を計算<sup>6</sup>する。
4. 1.~3.を何度も繰り返して点数の平均値を求める。

となる。

ここで注意しないといけないのは本当に完全に乱数で打っていくと、終局しない、という点である。

例えば図17で、次に白がB4に打ってしまうと、黒はA5に打って、全部の石が取られてしまう。これを繰り返すため、無限に続く。

そのため、「眼」には打たない、というルールを付け加えないといけない。「眼」の定義は「4方向が全て自分の石か壁で、なおかつ自分の石のダメは2以上」という風にする。

この手法は9路盤で非常に効果的に働き2006年5月にイタリアで行われた9路盤の大会ではこの手法を利用したCrazy Stone<sup>7</sup>が優勝した。ただしモンテカ

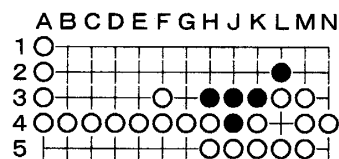


図16 白からM2と打てば黒死

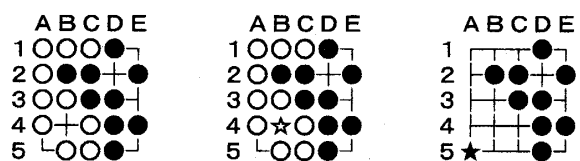


図17 B4に打つと……全部取られてしまう！

<sup>6</sup> 中国ルールだと石の数と地を数える。

<sup>7</sup> フランスのプログラムでこちらから利用可能。

<http://remi.coulom.free.fr/CrazyStone/>

ルロ法を単純に着手の決定に利用すると、

1. 可能な手を全部生成する。
2. 個々の局面で1,000回程乱数対戦を行う。
3. 一番点数が高い手を選ぶ。

となるが、これだと実質1手読みになくなり、最善の手順は分からない。例えば、1手目は変な手でも3手目に自分に好手があって勝ちになる、といった手順が正しく認識できない。

そこで、Crazy Stoneでは、モンテカルロ法に最良優先風な探索を組み合わせて、正しい手順がある程度の深さまで調べられるようになっている[5]。

アルゴリズムは、

1. 可能な手を全て列挙する。
2. まだ試していない手があればその手を選び、乱数対戦を1局行い戻す。
3. 全ての手を試したなら、乱数で1手選び1.へ。ただし点数の高い手選ばれやすい。
4. 1.~3.を時間の許す限り繰り返す。

点数の高い手選ばれやすいことにより、最善に近い手順を深く読むことが出来る。また局面の点数は、探索された回数が少ない場合は全ての手の平均値を返し、回数が増えるにしたがって、一番点数が高い手の値をそのまま返すようにする。これによって探索回数が増えるにしたがってMinMaxに近い値が得られる。

さらにCrazy Stoneでは

1. 乱数で打つ際に、石を取る手や取られるのを防ぐ手を選ばれる確率を高くする。
2. 評価値を+10目勝っている、-15目負けている、といった陣地の大小で返すのではなく、コミ<sup>8</sup>を含めた勝ちか負けか、という勝率で返す。

といった工夫がされている。このため一般のプログラムは少しでも多く勝とうとするのだが、Crazy Stoneは半目勝っている局面では無理をせず安全な手を選んでくる。逆に負けるときは簡単に全滅してしまう。

この探索方法を工夫したモンテカルロ法は9路盤ではかなり強く、13路盤でもそこそこ働く。しかし19路盤ではまだ使い物にならないようである。ただ面倒な評価関数を書かずに済む、という利点は非常に魅力的なので、今後、期待できる分野である。9路盤での

研究は非常に盛んで、9路盤専用の対局サーバ<sup>9</sup>が作られるほどで常時20プログラム程が常駐している。

#### 参考文献

- [1] 河龍一, 「HARUKAのプログラム構造」, CGFジャーナル第5号, 2003. <http://www.computergo.jp/journal/vol5/vol5-4.pdf>
- [2] Martin Muller, “Review: Computer Go 1984-2000,” 2000. <http://web.cs.ualberta.ca/mmuller/cgo/servey/>
- [3] Keh-Hsun Chen, “Computer Go: Knowledge, Search, and Move Decision,” ICGA Vol. 24, No. 4, pp. 203-215, 2001.
- [4] Keh-Hsun Chen, “Some Practical Techniques for Global Search in Go,” ICGA Vol. 23, No. 2, pp. 67-74, 2000.
- [5] Remi Coulom, “Efficient Selectivity and Backup Operators in Monte-Carlo Tree Search,” Computer and Games 2006, 2006. <http://remi.coulom.free.fr/CG2006/CG2006.pdf>
- [6] 清慎一, 山下宏, 佐々木宣介, 『コンピュータ囲碁の入門』, 共立出版, 2005.
- [7] Akihiro Kishimoto, Martin Muller, “Search versus Knowledge for Solving Life and Death Problems in Go,” Twentieth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-05), pp. 1374-1379, 2005.
- [8] エルウィン・バーリカンプ原著, 『囲碁の算法』, トッパン, 1994.

<sup>8</sup> 囲碁は最初に打つ黒が有利なので黒は6目半のハンデを負う。盤面で互角なら黒は6目半負ける。この数値がコミである。

<sup>9</sup> Computer Go Server.  
<http://cgos.boardspace.net/9x9.html>