

HARUKA のプログラム構造

河 龍一

1 はじめに

対局囲碁ソフト HARUKA の開発をはじめて丸 8 年が過ぎた。この度、HARUKA (Ver4.8) が日本棋院より初段の認定を受け、これを機会に HARUKA の思考ルーチンを説明したい。これから囲碁プログラムを作ろうとしている人たちへの参考になれば幸いである。碁を打つ為には直感と読み、言いかえれば全体と部分を見る力が調和していることが必要である。直感の部分は右脳、読みの部分は左脳が分担しているといわれる。このことはアマ 5 段の人が脳溢血で右脳に障害を負った後に碁を打たせたところ、まるで全体を観ず、部分的な石を取ることでばかりに集中する例からも判る。読みが有効なのは局面が狭くなり、評価が正確になるためである。序盤などでは、読みを入れたとしても、むしろ局面が広くなり用をなさない。HARUKA では、直感的と思われる布石の部分はいいかげんに処理している。定石も最適なもの、或いは勝率の良いものなど考慮せずランダムに選らんでいる。今のレベルでは、序盤の一手はよほど悪い手を打たなければ、どこに打っても一手の価値があると見ている（と言うより、本当は最善手が判らない）。現状は、直感的な部分はほとんど手付かず状態である。

囲碁ソフトを作ってみて感じたことは、無数の例外処理を行わなければ強くならないことである。 $A=B$ 、 $B=C$ であるが $A \neq C$ の場合があまりに多い。 A と B は繋がっており、 B と C も繋がっているが、 A と C は繋がっているとは限らない。 A は活着している、 B も活着しているが、 A と B が同時に活きられるとは限らない。 A は捕獲されない、 B も捕獲されないが、どちらかが捕獲される場合がある。等々が、いつ果てるともなく雲霞の如く湧き出てくるのが現状である。計算ですぐ処理できる場合と、先読みをしないと処理できないものに分かれる。計算で処理できる場合は、なるべく計算で処理する。また、めったに現れない場合と頻繁に現れる場合があるので、後者はなるべく計算によって処理するようにしている。

囲碁は陣取りゲームか、サバイバルゲーム（生き残りゲーム）か？ 日本では陣取りゲームと教え、中国ではサバイバルゲームと教えているようだ。囲碁の本質は戦い（勢力争い）のゲームであり、戦いの結果として地が確定すると思われる。HARUKA も戦いを重視した構造にしていきたい。

CGF ジャーナル第 3 号で HARUKA の概略を述べたが、その後の変更を踏まえ、ここでは更に深く説明する。

2 HARUKA の思考ルーチン

思考ルーチンは以下の 6 つの部分からなり、それぞれのルーチンは、独立して次の手とその

評価値を出力する。評価値は、出入り計算による目数に換算してある。出入り計算法とは、自分から打った場合と、相手から打った場合との差を計算する方法である。ここで注意することは、自分から打った場合の末端局面評価時の手番と、相手から打った場合の末端局面評価時の手番を一致させることである。

- (1) 布石ルーチン
- (2) 定石ルーチン
- (3) 死活探索ルーチン
- (4) 攻め合い探索ルーチン
- (5) 中央探索ルーチン
- (6) 部分探索ルーチン

2.1 布石ルーチン

先に述べたように、布石ルーチンはいいかげんに作ってあるが、時々修正する程度で安定している。隅の一手目（小目、星など）の出入り目数は18目、カカリは17目、シマリは16目にしている。カカリとシマリは同じ評価と思われるが、戦いの碁を目指す立場からカカリを優先している。

辺のヒラキ、ヒラキヅメ、割打ち、打ち込み等は、間隔及び石の強さに応じて8~15目に設定してある。両開きなど、大模様が発展しそうな個所（或いはこれを阻止する個所）は、+1~+5の範囲で修正を加えている。辺（3線）の石からの1間飛び（或いはボウシ）やカタツキもこのルーチンから出力される。

2.2 定石ルーチン

定石の有効スコープは11×11で、この範囲内で石の位置が一致すれば無条件で定石手を打つ。定石が複数あればランダムに選んでいる（複雑な定石が選ばれる確率のほうが高い）。手順前後もカバーしており、一部手抜きも含まれる。定石データベースには、良く発生する悪手、疑問手も登録されておりこれを咎めることもできる。

有効スコープ11×11では一致しないが9×9、7×7と狭めて一致する場合、優先手として部分探索ルーチンに引き継がれる。部分探索ルーチンにおいて、この優先手が他の手に比べて著しく劣らない場合優先的に打つ。定石データベースはここ数年更新されていない。定石はずれに對しては自力（読み）で解決したいものである。

2.3 死活探索ルーチン

包囲されている石の死活を探索で求める。無条件生き死に、先手生き、コウ付き生き死に、無条件セキ、先手セキなどの結果に応じて次の手と評価値を出力する。石の大きさにもよるが、先手生き後手死にともなれば、当然評価値は非常に大きくなる。しかし、探索ミスあるいは探索範

囲の設定ミスが原因で、とんでもない手を打つことも多い。部分探索ルーチンが充実するに従って死活探索ルーチンの価値も下がってきており、近い将来、死活探索ルーチンは部分探索ルーチンに吸収される運命である。すなわち、重要候補手生成ルーチンとしての役割しか担えない気がする。

2.4 攻め合い探索ルーチン

互いに切りちがえて、且つ互いに包囲している石の攻め合いを探索で求める。無条件攻め合い勝ち負け、先手攻め合い勝ち、コウ付き勝ち負け、無条件セキ、先手セキなどの結果に応じて、次の手と評価値を出力する。

この攻め合いルーチンも間違いが多い。特に攻め合っている石の外側に、更に攻め合いの石などがあるとよく間違える。攻め合いルーチンも、死活ルーチンと同じ運命をたどりそうだ。ただし、複雑な無条件セキ状態などは、この両ルーチンに頼っており、しばらくは様子見である。

2.5 中央探索ルーチン

中央の模様拡大点、模様の争点、模様の消し点を探索（3手読み）で求める。探索は盤面全体を対象にし、候補手の数は10手以内、候補手は4線以上（一部3線含む）の間、二間、ケイマ、大ゲイマなど、石が互いに接触しない点（8方向に石が無い点）から選ぶ。中央を二間、大ゲイマなどで大きく囲まれると、後で入っていくのは容易でない。人間の場合、相手を攻めながら勢力を蓄え、結果として模様を地にすることは有っても、中央を単に大ゲイマなどで囲むなどしない。たとえ囲んだところで、容易に破られてがらにされるのがおちである。しかしコンピュータの場合これが有効であり、下手に打ちこんだりすると全滅する。

隅、辺が一段落した後で中央を大きく囲いにくるプログラム（GO4++等）に対抗するため本ルーチンを設けたが、まだ十分に機能を発揮していない。

2.6 部分探索ルーチンの概略

部分探索ルーチンは盤面全体を対象にしない。部分探索とは、例えば右上隅回りを探索している時、左下隅回りに打つ手を読んでも意味がない（シチョウあたりは例外）ため、探索範囲を右上隅周辺の部分に限定していることから名付けた。探索範囲は可変であるから、例えば、右上隅の弱い石が左下隅まで伸びていれば、探索範囲も左下隅まで含むことになる。基本的な探索範囲は、注目する石を中心として、（縦方向の距離+横方向の距離）<8の範囲（菱形）である。

探索は $\alpha\beta$ 法を用い、幅は最大10、深さは5~3である。読みの深さ5の割合は30%程度であり、深さを5に固定すると消費時間がかかり過ぎる為、無理やり押さえている。ちなみに、クロック周波数750MHzのCPUで1局平均24分かかり、深さ5に固定すると約1時間かかった。又、反復深化法を取り入れてみたが、むしろ悪化したので止めた。これは、候補手が既にかなり効率的に並べられている為と考えられる。

本ルーチンが、思考部分のプログラムサイズ及び消費時間のほとんどを占め、更に肥大化しつ

つあるので、次に詳細に説明する。

3 部分探索ルーチンの詳細。

部分探索は、まず、直前に打たれた相手石を中心にして行われる。次に、一手前の石を中心にして行われる。その次に、この 2 石によって影響を受ける個所を判定し、その周辺に対して探索が行われる。過去の結果は保存されており、適宜更新される。又、過去に探索した個所も、必要に応じて再探索される。

3.1 候補手生成の準備（盤面認識）

候補手を生成する為にはまず盤面の正確な認識が必要である。単純な概念から把握し、段々と複雑な概念を作り上げていく。この順番を間違えると修正に多大な労力を費やすことになるので慎重さが要求される。HARUKA は次のような順番で基本要素を認識している。当然上位概念は下位概念を利用できるが、逆はできない。

- (1) 石の有無、周囲の石無し点の数、及びコウ点
- (2) 同色石が繋がった連(string)の判定及び石数、ダメ数、ダメ位置（4 箇所まで）セット
- (3) 縦横特徴、斜め特徴、連絡コード（一間、二間、ケイマ、大ゲイマ）
- (4) 支配点=切れない点（コスミ、タケフ、目、相手の自殺点など）判定
- (5) 連及び支配点によって繋がった準連の判定及び石数、ダメ数、眼数セット
- (6) 当て個所、抜き個所
- (7) 切り個所、ふくらみ個所
- (8) 双方の石の接触状態
- (9) 連結個所（一間のぞき、ケイマ出きり等）、両当り個所
- (10) 捕獲探索
- (11) 切り探索（捕獲探索を利用）
- (12) 準連石の暫定死活判定と勢力計算（影響力の分布計算）
- (13) 眼形（完全な眼、後手眼（半眼）、2 打眼、3 打眼、4 打眼、欠け目）
- (14) 準連がまとまった群(group 死活の単位)の判定及び関連データセット
- (15) 群の模様境界及び大きさ
- (16) 群の脱出度、及び他の群との連絡数
- (17) 群の強さ、大きさ、及び重要度計算
- (18) 接触点評価値計算（ハネ、ノビ、ツケ、当て、切り、抜き、ツキヌケ、ハサミツケなど）
- (19) 非接触点評価値計算（一間飛び、コスミ、ケイマがけ、ハザマ、サルスベリなど）

捕獲探索、切り探索

捕獲は、ダメ数が4以下の連の石を対象にし、幅8以下、深さ64以下、ノード数1000以下に制限した $\alpha\beta$ 探索を行い、後手捕獲可能(無条件捕獲可能)、先手捕獲可能、先手捕獲不可(無条件捕獲不可)のいずれかを出力する。候補手の数は探索が深くなるに従って少なくなる。深さの限界は、候補手の数の累積に従って浅くなる(局面が広がりそうな場合、捕獲不可と判定する)。従って、シチョウ(緩みシチョウ)などは狭く、深く、ほぼ完全に読むことが出来る。ダメ数が3以下の連に対しては、アマ4段程度の能力が有ると思われる。捕獲探索で重要なのは、候補手をいかに絞り込むか、更にいかに早く捕獲不能を判定するかである。自殺手は一般に無効な場合が多いが、打ち欠きなどで非常に有効な場合もあり悩ましい。捕獲探索で最も難しいのは、捕獲対象石の回りに攻め合いの石がある場合であり、更にその外側に攻め合い石があるとお手上げである。

捕獲探索の欠点は、消費時間が大きすぎる点と、コウ付き捕獲可能と無条件捕獲可能の区別が出来ない点である。消費時間が全体の90%に及ぶ場合も珍しくないが、正確な捕獲探索は死活的に重要であるから、おろそかにする訳にはいかない。高速化の為に、ハッシュ表を用いて2割程度のスピードアップを図っている。探索中にコウが発生したとき、探索石の回りにコウ立てが無ければ、コウ有利とみなす為、間違った結果を生む。

切り探索とは、切り個所が切れるか切れないかを、捕獲探索を利用して判定することである。即ち、切った石が捕獲されれば、切れないと判断するわけである。切れるか切れないかは非常に重要で、切られるとたちまち死ぬ場合もある。切り可能点に対しては、ツナギ、カケツギなどに候補手として高い得点が与えられる。又、群の認識に際しても、切れなければ繋がっていると見なすことが出来る。

捕獲探索、切り探索は盤面全体の石、切り点を対象にする必要はない。スピードアップの点からも、必要な個所(特に、直前に打たれた石の周辺)のみに対して行うことが肝心である。

勢力計算

これは、いわゆる影響力の分布計算である。まず、暫定的に石の死活(強さ)を決めておく。各々の石を中心にして、距離の2乗に反比例した影響力が一間、ケイマ点まで放射される(2線、1線はもう少し先まで)。他の石やタケフなどは通過できない。死んでいる石は負の影響力を発生する。これらの影響力を合計したものが勢力であり、様々な認識に使用される。

群の強さと重要度

群の強さは、眼の数、眼形の豊かさ、上方への脱出度、ヒラキの具合、連絡の可能性、相手石の捕獲状況などを、全て眼の数に換算する。完全な眼は+10h(16進)、後手眼(半眼)は+8h、2手で眼になる個所は+4h、3手で眼になる個所は+2h、1箇所のみ脱出点がある場合+8hなどとしている。これらを合計して強さを判断する。20h(2眼)以上有れば強いと言えるが、18h(1眼半)で後手の場合は死ぬ可能性が高い(先手の場合は生きる可能性が高い)。

重要度は、この強さに反比例し、群の大きさ（群を取られたときの目数）に比例する様に作られる。群の重要度は、候補手を生成するときに重要である。即ち、重要度の高い石（大きな群で取られそうな石）の周辺に多くの候補手が生成される。

接触点、非接触点評価値

この評価値は、0～FFh（16進）の値を持っている。0は完全なダメ手、40hは悪手、80hは普通の手、C0hはかなり大きい手、E0hは非常に大きい手、FFhは無条件に打つ手としている。プログラムを修正する度に、段々と評価値全体が底上げの状態になるので、上の判断基準に沿ってチェックしている。この評価値は局所的な評価を意味している。カス石周囲のポイントを下げたり、手筋・形でのポイントを上げたりと、なるべく人間の判断に近づけるように日々改良している。探索範囲内の全ての石が活着している（強い）場合、この評価値が候補手の全てを決める。尚、完全に死んでいる石の周囲では、特殊な例外を除きこの評価値はゼロである。

3.2 候補手生成

候補手生成の準備が出来たら候補手を次の順番で生成する。候補手の数は6箇所までであるが、状況に応じて10箇所まで増える。特に中盤の戦いの場面では、双方に弱い石が発生する為、最大にまで増える。（2）～（4）は対象になる石の重要さに応じて、順序が前後し、更に重複して呼ばれることもある。

- （1） 優先手（直前石回りのツナギ、当り石の逃げ、2線オサエなど）
- （2） 両当り位置、捕獲位置、同逃げ位置
- （3） 攻め合い手
- （4） 弱い石（重要度の高い石優先）の攻め手、守り手
- （5） 接触、非接触点評価値の大きい位置
- （6） コウダテ

優先手

優先手は、特に相手が直前に打った石の回りに発生しやすい。これは相手が利かしてきたとき、例えば、一間に対してノゾいてきた時は繋ぐのが普通で、良い手であることが多い。この様に繋ぐ手を優先手にする。様々な利かし（次にサルスベリを狙った手など）に対して、手抜きすると、たいがいは後でひどい目に会う。相手の利かしに対して、なるべく手抜きをしないようにする。優先手に打つ手が、他の手に比べて著しく評価が低くなければ、優先手に打たせるようにしている。実際には、優先手に打たせたい時、優先手の評価値（出入り目数）を2～4倍にして対応している。優先手を有効にする条件は、ゲームの段階（序盤、中盤、終盤）、形勢によって変わる。勝っている時ほど、そして序盤ほど優先手に打たせるようにしている。

弱い石の攻め手、守り手

弱い石（重要度優先）が包囲されていれば、眼を作る（つぶす）個所に高いポイントを与え、脱出可能であれば、一間飛び（ボウシ）に高いポイントを与える。強い石と連絡しそうならば、連絡（遮断）個所が高くなり、ヒラキが可能ならば、ヒラキ（ハサミ）個所に高いポイントを与える。この弱い石に対する候補手の数は、重要度に比例する。

コウダテ

コウダテのみ、対象範囲を盤面全体に広げている。コウダテは、相手の石を当りにする手、切った後で相手の石を取る事の出来る点、ケイマの突き抜けが出来る点等から3箇所程度選ぶ。又、コウが発生しているときには、先読みを5手にしている。相手の弱い石を殺しに行く手や、自分の死んでいる石を生きに行く手などは未だ考慮されていない。

3.3 末端局面での評価

末端局面では、盤面を認識した後、手番を考慮した死活判定を以下の順序に従って行う。最終的に死活が決定した後、勢力を計算し地を判定すると共に、最終的な地の補正を行う。末端の局面を判断する場合、弱い石は手番によって死活がきまる。死活は、死んでいる石、生き死に半々の石、生きている石（5段階）に分けられる。

- (0) (盤面認識)
- (1) 手番を考慮した両取石判定（両天秤石の探索を含む）
- (2) 手番を考慮した群の死活判定
- (3) 他の自群との連絡状況による死活修正
- (4) 相手の群との攻め合い状況による死活修正
- (5) 勢力計算及び地の判定と修正

死活修正

(3)と(4)の死活修正ルーチンのプログラムサイズは、初期の段階では小さかったが、次第に大きくなっており、益々大きくなりそうである。本来、連絡とか攻め合いは、先読みをしないと中々判らない。それを計算で処理しようとするから、次から次に例外処理が発生して、サイズが大きくなってしまふ。しかし、末端局面であるから仕方がない。

地の判定と修正

勢力値をある閾値によって地に変換する。3線以上の閾値より2線の閾値を低くする。1線の閾値は更に低い。又、序盤より中盤、中盤より終盤の方が閾値を低く設定してある。序盤の方では、模様、厚みを地に換算して補正を加えている。周囲に双方の活きた石がある場合、そこは地にならない。ある種の欠け目も地にならない。相手の手番で、相手側からサルスベリが発生する

点の付近も地にならない（この場合も、どちらの手番かが重要である）。などの修正を加えて、最終的に地を確定し、地を合計して末端局面の評価値とする。

3.4 探索結果の補正

部分探索の結果得られた次の手が、先手になりそうな手であれば、評価値（出入り目数）を補正（+1~+4）している。この補正は、ヨセに入ってから有効に働く。特に小ヨセの場合、評価値（出入り目数）が非常に小さく（1~5程度）、先手になる所を中々打ってくれないが、補正をすることによって、かなり期待に近づく。両先手は両後手の4倍、片先手は両後手の2倍の価値が有ると言われる。本当は、先手であれば補正値をもっと大きくしたい。しかし、次の手が先手であるかどうかの判断が非常に難しく、何度か試みて失敗している。

4 棋譜紹介

HARUKA Ver4.8 (最高峰3) と GO4++ (最強の囲碁2003) との対戦棋譜を2局紹介する。使用CPUは、750MHz AMD Duron で双方時間制限無し。

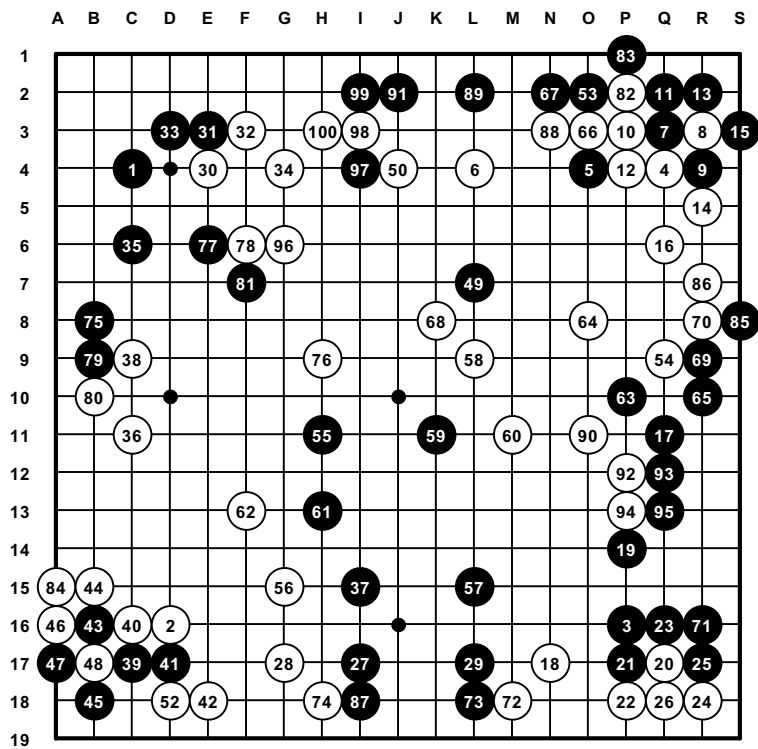
第1局 (黒:GO4++ 対 白:HARUKA)

1-100

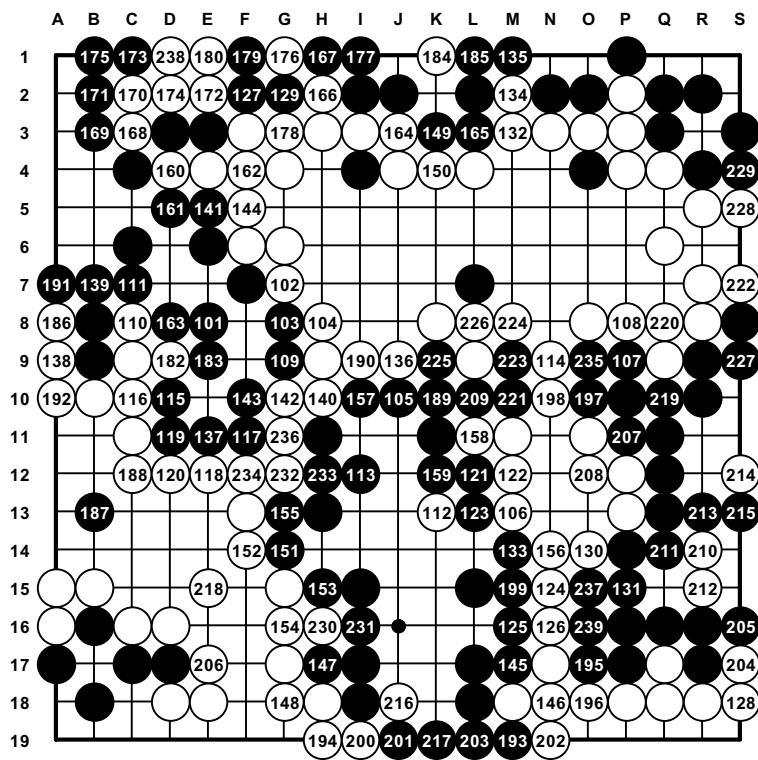
白6から16までは定石、白18から24までも定石。白28も定石データベースに入っている。白32、34は定石優先点(有効スコープ外)として発生。白36は布石ルーチンによる手。白38はおかしい。白42と黒石を取りに行ったが、これは無理。白52も無理。黒死にと思っている。この白52は、次に黒が46の上に抜いても、あるいは40の上を切っても、白が39の下に打てば眼が無いし、脱出も出来ないと判断している。白54は、挟まれると死にそうな為ひらいたもの。評価値(出入り目数)も大きい。黒55、57はGO4++が得意とする模様の拡大。白58、60は中央探索ルーチンによる模様の消し手。黒65(2線のコスミ)は、先手で打ち得と判断しているようだが、時期尚早。次の白の手として、黒65の上におさえる手が優先手になるが、今は優先手に打つ条件が揃っていない。黒73に対して手抜きは危ない。以後、双方共に、群(右下隅の白石)の強さの判定を間違えている。黒81に対して、白82はそっぽ。黒99と打っては黒97が持ち込みになる。黒は、つけ越しの意思を継いで、白50の上に切るべきである。HARUKAも含めて、手筋の継続・意思の継続はこれからの課題である。

101-239

黒103に対する白104は優先手であり、この手が他の手に比べて著しく悪くなければ、これを採用する。つまり、黒103(或いは黒107、115、117、119、121、125、145、147、149)は利かしであり、手抜きすると痛い目にあうことが多い。特に、形勢が有利な時は、極力応じるようにすることが肝要である。黒121ノゾキに対して、白がツグ位置を間違えた。原因は、右下隅の白石との絡みで読み間違えた。白138、140、142、166、182、200、202、204は、先手になりそうな箇所なので、評価値の補正(+1~+4)が行われている。白160は先手と判断したが後手である。白164では黒105(天元)の右が大きいのが、双方中々打たない。白168の切りは無駄であるが、黒が間違えた。白は黒の間違いを期待したわけではなく、地の判定ミスから、1目の手+先手補正(+1)=2目の手と判定した。この場合は手抜きできないが、半目勝負で手抜きされて負ける場合もあり得る。白206、218は形勢有利な時の店じまいの手。白210~214は攻め取りさせようという手(手抜きされると持ち込み)。239手まで白39目半勝ち。



51 コウ取る(43)



181 (176)

図1：第1局（黒：Go4++ 対 白：HARUKA）

第2局 (黒 : HARUKA 対 白 : GO4++)

1-100

白6から黒13まで定石。白14に対する黒15も定石データベースに入っている手。黒15は、白14の2路左からつめたほうが良さそう。その為には、定石データベースの追加と定石選択ルーチンの作成が必要。白18から黒29まで定石。黒31から黒37は、定石データを利用した部分探索に拠る手。黒45は悪く、抜きが正しい。これは1目得していると判断している為。ただし、この後の白手抜きはなぜ？白46は、利かしながら模様足がかりを作る手か？それとも、黒模様を予め消す為の手か？黒47の打ち込みは、布石ルーチンによる手。黒49??何じゃコリヤ。打つなら、黒49は1路上のおさえが正しいが、どちらに打っても白死と判断した為、1目でも有利な方を選んだ。白死にと判断したのは、眼の判定の誤りと眼作り点(2の1)の過小評価が原因であった。更に、死活ルーチンもうまく作動していなかった。白50となって黒47の石が飲み込まれそうだが、まだ上が広くて大丈夫と思っている。HARUKAはこのように遠くから囲まれると、諦めるか又は楽観してよく取られる。黒65、67は優先手。白(48など)も黒(69など)も2線を好んで打つ。これは、厚みが過小評価され、確実な地(特に2線)の方が過大評価される為と思われる。特に、序盤で2線に打つのは悪いとされるが、相手に打たれると、受けない訳には行かない場合が多い。黒73は薄く、一間飛びが良さそう。黒83は、白84付近に打って模様を消しながら、中央の白を攻めるチャンスであった。白84に打たれて、にわかに中央が白模様化してきた。HARUKAは模様になりそうな所の認識が甘い。その点GO4++はすごい。黒89はサルスベリを嫌った手。

101-197

白108と、死んだふりをした白石が活きに来た。死活のはっきりしない石(大して大きくない事が条件)を手抜きして、模様の拡大を図り、安定したところで手を戻すのもひとつの戦略である。黒123は、黒69の上にツグ方が良い。次に黒115の石を抜く手が先手になることを過小評価している。先手後手の扱いは重要だが難しい。白110と生きてはそれまで。197まで白28目半勝ち。

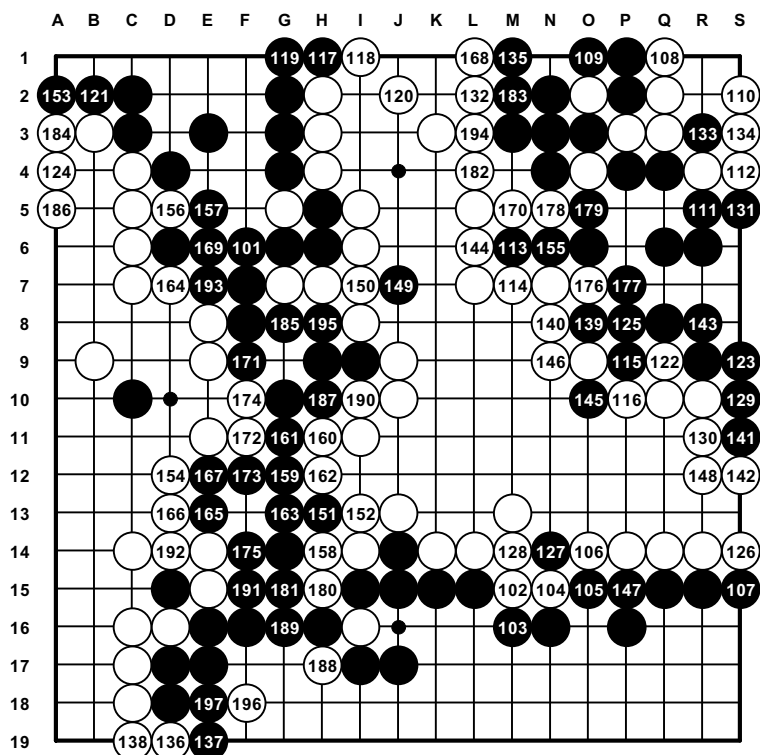
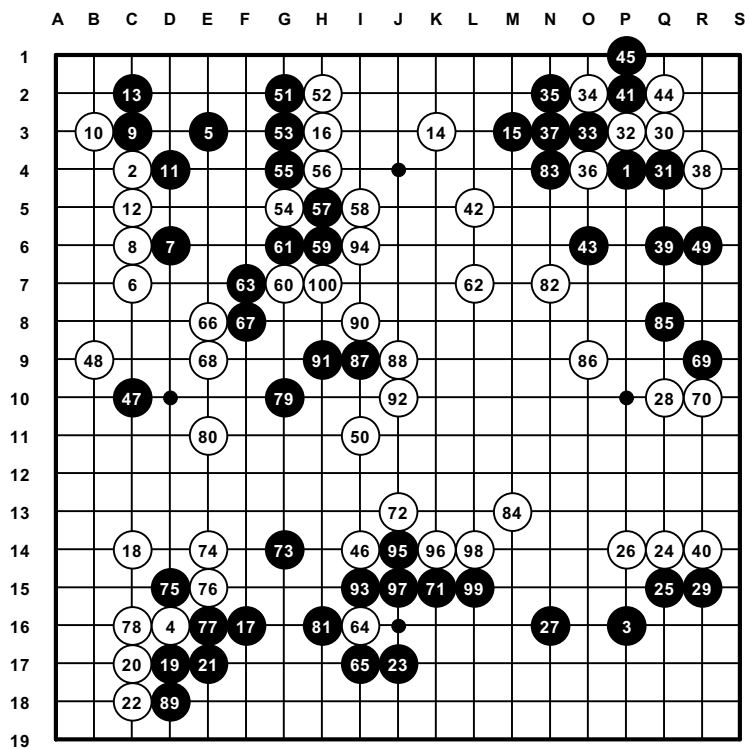


图2：第2局（黒：HARUKA 対 白：Go4++）

5 おわりに

思考ルーチンの強化は、1局対戦しては修正を2日~1週間の単位で繰り返している。修正した個所が、本当に有効かどうかの検証はしない。間違っていればいずれ再現する。プログラムを修正した時には、修正した理由を書き留めておくことが肝心である。そうしないと、修正した部分を再修正して、元に戻す危険性がある。次に、これからの課題を列挙しておく。

当面の課題として、

- (1) 相手の模様が完成する前に、予めこれを阻止する手が打てること
- (2) 大ヨセで、両先手、片先手、両後手に応じて評価値を正確に補正すること
- (3) 簡単でよいから、負け戦略を導入すること。
- (4) あまりスピードを落とさずに、5手読みが出来ること（遷移確率の導入？）
- (5) 捕獲探索ルーチンのスピードアップ（永遠のテーマ？）

将来の課題として、

- (1) 形勢判断による戦略の充実（半目負けも、100目負けも、負けは負け）
- (2) 人間らしい手が打てる（意思の継続、もがき、勝負手）
- (3) コウ争い用に、特別なルーチンを用意する（コウ争いを、先読みだけで解決は無理）

HARUKA のプログラム構造について、思い付くままに述べてきたが、例題が無いことや、用語の不統一、説明不足などで、理解できない部分も多々あったと思われる。これらは、後日機会があれば補充したい。