

碁における意思決定のプログラム化

実 近 憲 昭

(電子技術総合研究所)

〔1〕 はじめに

現在我々は碁のプログラムの開発を進めているが〔1〕, そのプログラム化に伴ういくつかの問題点を整理し、人間社会における組織の意思決定機構との類似性を指摘すると共にそれに沿った一つのプログラム構成を提案する。又各問題点に対して、簡明をオーとする解決策を示し、現段階での評価を与える。

完全なプレイを目指した碁のプログラムは現在迄三つの試みがなされているがその内最も強いと目される *Reitman*〔2〕のものでも20級程度であり初心の域を出ていない。ちなみに我国の囲碁人口は約一千万人、その内20万人が有段者であり、ピークは3~6級にあるといわれている。一方チェスでは既にマスターレベルのものが作られており、その格差は著しい。その理由を挙げると外国において碁はチェス程普及しておらず、研究が立ち遅れているという事情もあるが(これが最大の理由がわからない)、オーにチェスで成功した完全探索手法をそのまま碁に適用することは探索空間が巨大になりすぎて不可能であること(その比は 10^{120} 対 10^{700} 程度)、オニに碁ではチェスにおける“駒得”の様な簡明でかつ有効な評価因子が欠除していること、オニに、ゲームの目標がチェスでは点追求型であるのに比し、碁は面追求型であるため、中間目標のためかたが著るしく多角的流動的な性格を帯びていること等があげられる。以上の理由で、碁の問題はこれを優雅にこなしている人間に範を求める以外に方法はなさそうである。チェス等では人間プレイヤの思考形態に関して心理学的な観察を行った報告例もいくつかあるが碁では特に見当たらない。人間教育用の棋書の内容を整理し、取ってその特徴を以下に挙げてみよう。

i) 人間の高度な視覚情報能力への依存

譜面は、単に外部記憶装置として用いられるだけでなく、石の配置の形状や方向に関して、人間の感覚のみが受容できる多量の情報を伝達する。

そして感覚的に把握された“対象”がしばしば碁の基本的な戦術的、或は戦略的単位として採用され命名される。(例. 模様, 弱石, 壁, 重い, 又は軽い石, 厚い又は薄い石, 眼形豊富な又は乏しい石, 包囲感, 封鎖感) 又以上の用語を単なる言葉の置換えでなく、明確に定義することは不可能に近い。又人間は視覚的な比較能力に優れている。例えば二つの面積の異なる領域に対して一方が他方より大きいことを“瞬時的”に判断できる能力は形勢判断等に大いに役立っているものと思われる。

ii) 人間の高度な帰納的、衍延能力への依存

必ずしも碁に限らないが、ほとんど全ての棋書は例示によって知識を伝えようとする。明確な一般的な形で知識を表現できない点はい)と共通しているが、この以心伝心的手法は計算機に通用しない。一つの例は無数の事実から成る類の一代表元にしかすぎない。このことを無視して無節操にプロダクションシステム等にこの種の“例”を大量に組込んでもう

まく動作しないのは当然である。

iii) 碁学＝語学

一般に碁における着手は一手一手切離されたものではなく、数手で一組の意味のある手順を一単位にして考察される。この手順単位とこれを構成する各手との関係は丁度一つの単語とその構成文字との関係に似ている。一手のみで単位となる場合もある(キル, ツグ等)。又自然言語で単語から句, 句から文が構成されるように碁でもいくつかの手順単位を組合せてより高いレベルの手順単位を作り出す。出現頻度の高い手順単位には固有の名称が与えられる。自然言語程整理されてはいないが, これらの手順単位の構成の仕方に一定の法則、碁の文法が存在する。一局の碁はこの言語で書かれた物語にたとえられる。

iv) 知識と探索

一般に理論の欠除は知識と探索で補われるが、碁では知識の比重がかなり大きい。探索は iii) で述べた手順単位で行なわれる。碁の技量が上るにつれてより高次の手順単位を知識として記憶し、その量も増大する。

熟達したプレイヤーはより大きな手順単位で探索するので、同一時間内により深いヨミができる。碁に関する知識の種類は次の様にまとめられる。

イ. 手順単位に関する知識。探索の省略、或は節約の為に使用される。

例 原始手筋(キリ, ツギ等), 手筋, 定石, 定跡(三連星等)

ロ. 手順単位構成法(文法)に関する知識。戦略的拠点(急所、欠陥等の指示又は拠点間の有機的結合(戦略構成)の為に使用する。

例 急所(三目の中, 打込点等), 欠陥(キリアジ, アテアジ等), 有機的結合(シケウアタリ, モタレ, カラミ等)

ハ. 評価に関する知識。形勢判断, 手順単位の評価に使用する。

例 形(愚形, コリ形, サカレ形等), ポンヌキ, 2線/5線等, 手割論, 出入計算,

v) 駆引の思考形態

プレイヤーが人間であれば、ゲームの展開に伴う心理的要因も又戦略上の大きなポイントとなる。すなわちある種の石の配置が相手側に引き起すであろう心理的圧力によって、相手の行動を制約し、作戦に役立てる。

例 威嚇, 懐柔, 犠牲, 牽制, 待伏, 様子見(打診), 陽動作戦(おとり, 迷彩, 攪乱)

[2] プログラム化の問題点

前節で、人間プレイヤーの思考形態のいくつかの側面を指摘したが、碁のプログラム化を進める上での問題点を以上の諸側面から検討して見よう。

i) これはいわば画像理解の問題である。碁の局面では正規化のような前処理を行う必要はないが、人間の視覚でのみとらえられた“対象”群を、何らかの形で測定可能な量で近似的にでも表現可能な手段が必要である。[1] で言及した三つの碁プログラムでも画像処理の必要性を認め、それぞれ独自の方法で取組んでいる。Sobriest [3] は石の周囲にできる電磁場のアナロジー, Ryder [4] はインフレンス関数, Reitman [1] は人

間の視覚情報処理機能を代行するルーチン（WEBB, LENS等）を導入した。我々も又前2者のものと類似しているが、異なった利用形態を持つポテンシャル関数を用いている[5]。この種の視覚情報処理機能は高度の並列処理機能を持つハードウェアによって近似的に解決されよう。

ii) これは人間の学習機能にかかわる最も困難な問題の一つであり、現段階ではこれを組込むことは無理である。知識ベースとして独立なモジュールを設け逐次改善して行くことが考えられる。

iii) 一つの手順単位はある意図（群）の完了、或は次の意図の誘発行為の完了であり、手順単位の構成法則は、部分戦略又は戦術からより大きな戦略を組立てる戦略構成法則に対応している。この様な解釈のもとで言語としてのアナロジーを追求することにより、戦略構成規則の整理、定式化が期待できる。

iv) 言語としてのアナロジーは又、知識の表現形式、利用形態、探索の制御に関してヒントを与えてくれる。基における“物語”構成の仕方は小説の創作活動のようなものではなく、あくまで対談形式による会話である。特に一度口に出したことは修復不可能である。相手にこちらの論旨の不備をつかれた時は、その場でとりつくろうか、或は新しい話題に切替えることになる。この動的な物語構成手順は大略次の通りである。

1) 現在戦略進行中ならば 2) へ。さもなければ 3) へ。

2) 相手の最後手が予定通りなら、予定手を返し1) へ。予定外の場合、予期した以上の成果が可能ならそれを実現する手を返し3) へ。

予期せぬ困難を発見すれば 現レベルの部分戦略の修正を試みる。

修正可能ならば修正戦略に沿う手を返し1) へ。不可能なら 3) へ。

3) 新戦略作成。1) へ。

戦略は、時、場所、戦略的対象、意図等で分類されたいくつかの型を持つ。戦略は一般に部分戦略群から成る木構造を持つ。この分解は再帰的に繰返えされる。これ以上分解出来ない戦略を原始戦略と呼び多くの場合、唯一手から成る。戦略の合成の一般的方針は局面に最もマッチした型を検出しこれに属する戦略に候補をしぼり（知識の活用）、次にこれらの候補戦略の実現性、効果について逐次検証して（探索）定めることであろう。

高いレベルにおける戦略の選択には比較的自由度があるが、分解が進んで末端のレベルに近づくにつれて具体化が進み、現実の環境との適合性を詳細に調べないと決定出来ない傾向にある。従って低レベルの戦略の特殊な型のものについては限定された範囲内で完全探索を行った方が効率が良からう。

v) 戦略の型を整備する上で、駆引の形態を一つの考慮項目に取り入れることができれば、より人間の思考形態に近くなることが期待される。その為には、各駆引形態に固有な心理的印象を引き起す局面の記述可能な特徴を多くのデータについて調べ、定める必要がある。

〔3〕 意思決定システムとしての基プログラム

前節で基のプログラムを人間のシミュレーションによって作る立場から、いくつかの側面について触れた。しかレプログラムを具体化するにはシステムとし

てのモデルを与える必要がある。

意思決定の用語は、経営組織内の管理者レベルでの組織行動に関する決定とか種々の企画計画の決定、或は重大事件に対処する組織の決定といった場面でよく用いられる。これらに共通する概念をぬき出すと、システム活動、不確定要素に対する予測、創意と工夫、人間的要素の介在等が挙げられる。一方碁において次の一手が決定されるまでの過程を詳細に観察すると、上述の意思決定行為と多くの共通した要素および構造を有していることに気がつく。現に第5世代のコンピュータにおいても碁は意思決定支援システムの事例研究の一つに挙げられている[6]。先ず、意思決定行為の大略の流れを示し、その後で碁プログラムとの対応を見ることにする。

意思決定の流れ図

- 1) 問題(意識)の発生 (システムの定常的問題検出機構へのトリガー)
目的の明確化, 評価基準の明確化.
- 2) 制約条件の整理 (時間, 予算, 法律, モラル等)
- 3) 問題の大局的把握 (イメージ化, 解法のデッサン)
- 4) 主題の設定 (大まかな方向づけ)
- 5) 調査
①関連データ収集 ②データ分析 ③計画的精密調査
- 6) 解決案候補 (複数個の代替案)
- 7) 最終案決定

この流れ図の最大の特徴はかなり大胆なトップダウン方式であることであろう。要は不確定要素の存在を考慮すればほぼ無数に近い解決方法が存在する背景で、必ずしも最善ではないが、少なくとも限定された主題のもとでは筋を通した解決案を示した点にある。そしてシステムとしての経験が豊富なら3), 4)での判断にもそれほど致命的な誤りは犯すまいという仮定も含まれている。尚5)の調査から6)の解決案候補に至る過程にやみギャップが感じられるが、実は5)の②又は③の段階で *implicit* にではあるが解決案のモデルに関する仮定が設定され、それに基づく実験データの収集、モデルの修正といった試行錯誤が存在する。試行錯誤の頻度は案の具体が進み細部の決定に至るほど高くなる。これは複雑な現実の環境との接点ではマイナーチェンジが避けられないからであろう。

次に碁のプログラムを次の一手を決定する為の意思決定システムと見て上で述べた流れ図との対応について述べる。図1に碁プログラムの構成図と意思決定の流れ図の対応を示す。

- 1) 問題は次の一手を決めること。その目的はゲームの展開を有利に進めること。結果に対する評価基準を例えば、アマチュア初級レベル(7~10級)の手を打つこととする。この表現はやゝ抽象的なのでもう少し具体的にいうと
 - a. 手筋や定石に関して初等的な知識を有していること。
 - b. 数手で判明する自殺手、或は意図不明な手は打たない。
- 2) 制約条件は、与えられた局面であり、これを整理することは、局面解析を行って、必要なデータをとり用意することである。

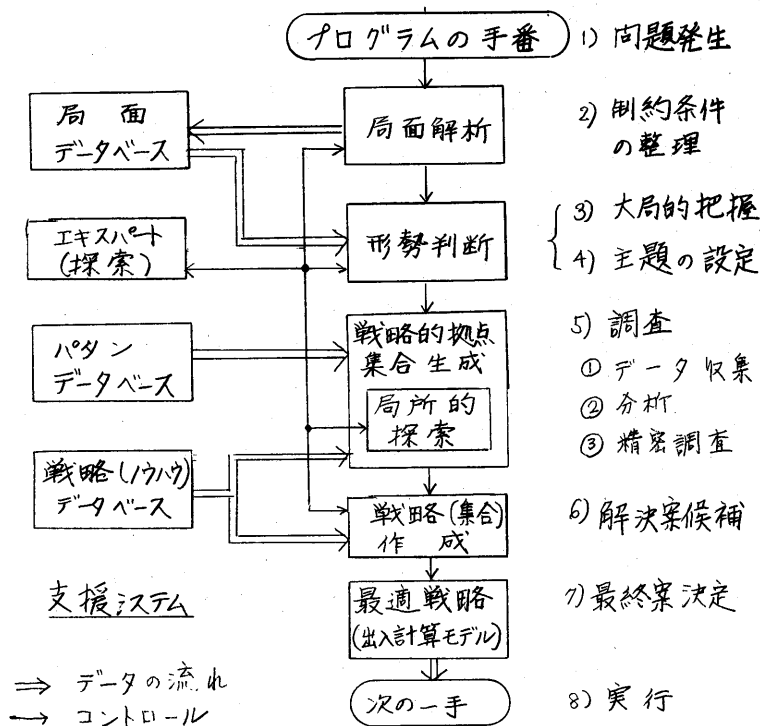


図1. 基プログラム構成と意思決定の流れの対応

3) 大局的把握は現局面上の諸対象の大きさ、強さ等に関して大まかな特徴をつかみ、更にこれに基づいて、局面の優、劣の認識を行うことである。これを行う手続きを形勢判断と呼ぶが、この機能は、ミニマクス探索による標準的ゲームプログラムにおける静的評価関数が持つ機能と同じものである。従って局面が「静か」でなければ、即ち中立な（その場所に先着した方がそこで有利な結果を得る）局所的な問題（死活、攻合等やキリ、アテ等の欠陥）を多数含んでいれば、当然その評価は不正確なものとなる。

のとなる。又中立ではなく帰着の定まった局所問題でも実際には局所的な探索を行って始めてその結果が分かる。更に形勢判断をするには図形処理に当る局面解析が前提となっているので、通常の静的評価関数に比べると著るしく高価であり、大きな探索木の終節点評価として用いるのは不適當である。

4) 形勢判断の結果、優勢、劣勢が判明すると、これに応じて着手の一般的態度が定まる。しかし形勢判断が模様の規模と確定地という量的なものと、

優勢側	守り、簡明、安全、きめる
劣勢側	攻め、複雑、賭、ぼかす

表1. 局勢と着手態度との関係

として優勢と判断した場合等では必然的に攻めを基調とした作戦方針を取る必要がある。今量的要因、質的要因、総合のそれぞれの評価を自己と相手の間で比較し、優勢、劣勢、互格で表せば全体として13通りの場合が生じる。更に量的要因や質的要因を分解して同様な分類を行えばその場合はもっと増大する。この種の分類を適当に行い、各類に対して適切な着手方針を与え用意しておけば、作戦範囲をかなり限定することが出来る。又単に作戦対象を明らかにするだけでなく、その対象に関して量的目標も設定可能であり、以下戦略

(注) 人間はこの質的要因を直接数量化するようなことはせず、極く粗い攻めののヨミを描いて、その想定図から数量的判断をしている様である。

が漸次具体化される段階で強力な指標となり得る。

5) 前項で形勢判断による方針はいわば0次調査の結果といえる。戦略(プラン)構成とその為の調査と便宜上別な作業としたが、実際には、調査の過程で既にその構成が同時進行しているものと考えられる。この過程は本来人間の創造活動とみなされる領域に属し、一連の手続きで表現することにはやや無理がある。その無理を承知で作業の分解を試みる。

① 関連データの収集： 初期の段階で、その時点でどの標に組立てるかは判然としないが、とにかく関係のありそうなデータを集める。その様なデータとは何か、又関係の有無の判定法等の難問が生じる。我々の基プログラムではデータを戦略的拠点及びこれに付随するヨミ筋(探索木)とする。戦略的拠点とは、その場所(点又はその近傍)で、ヨミ筋に従って着手すれば、何らかの意味で戦いを有利に展開できるものをいう。有利(或は敵の不利)の判定は基固有の性質からなされるもので、一般にある意図が達成された時は少なくともその部分では有利になる。この様な意図の例を表2に示す。意図にはそれが作用する対象が常に存在する。

対象	自己への意図	相手への意図
連群族	連絡	切断
模様 (族の形態)	拡大 強化 完成	抑圧 弱化 破壊
弱石 (族の形態)	生存 強化 脱出	捕殺 弱化 封鎖
種石(連)	逃亡	捕獲
魔石(連)	捨石	重くする。

表2. 対象と意図

より正確にはある環境における特定の形態をとる対象に対して特定の意図が作用する。その意味で表2はやや不正確である。例えば生存の意図の作用する弱石とは、封鎖され、かつ脱出不能な族であり、脱出の意図が働く弱石は封鎖が不完全かつ生存不能な族である。従って不完全な封鎖を受けた弱石には生存又は脱出の2つの意図が働く。

環境、形態を条件といい換えてもよい。今ある対象について、 C_1 , C_2 , C_3 の三つの条件が成立したとき実際意図Iが達成されるものとする。このとき三つの条件の内いずれか一つ欠けた状態のとき、対象に対して意図Iが作用する。2つ以上欠けたとき意図Iは単なる可能性として残る

のみである(アジ、フクミ)。

次にデータとしての戦略的拠点を具体的に見つけ出す方法について述べる。

- パターン照合： 特定の石の配置(パターン)を検出して、そのパターンについて知られている固有の急所(拠点)を出力する。
- ポテンシャル関数の応用： 局面解析時にポテンシャル関数を用いて領域分割を行う。その時に得られる等高線地図上の特定の点に対応する拠点。(模様の接点、鞍点、Y接点、対峙点等)
- 探索エキスパート： 探索エキスパートは死涯、攻合、連絡、捕獲のそれ以外の問題を専門に解く完全探索プログラム群である。局面解析時に完全封鎖された弱石等に対して行なわれた探索結果を活用する。

特にa.のパターン照合による手法を用いる時は、出来るだけ汎用性のあるものに厳選する他に、照合適用条件を設け、無駄な照合は回避する必要がある。この様な条件として 時相(序盤、中盤、終盤)、場所(隅、辺

中央、指定点近傍)、対象(指定した連、群、族の近傍)等がある。

戦略的拠点が重点的に調査されるべき場所としては、イ) 形勢判断で指示された対象の近傍(以下指示対象とよぶ) ロ) 最終着手の近傍

- ②データ分析: 集積されたデータ(戦略的拠点)集合から有効な戦略を合成する為特に拠点間の有機的結合の可能性について調べる。

実現性: なるべく少ない数の拠点を用地なるべく短い手数である意図(群)の達成を目指す戦略ほど実現性が高いといえる。その意味で一手で完了する戦略は最も実現性が高い。

多重性: 複数の意図が同時に満たされる戦略(多重目的戦略)は一般に価値が高い。2次意図(次のネライ)を複数個同時に作る戦略は2次意図のいずれかが一つは実現可能である(見合)。

実現性と多重性の立場から戦略を組立てる。

a. 戦場の核の選出: 最も多くの意図が重複した拠点をいくつか選ぶ。

b. 核の重み: 指示対象と関連する核について、その近傍に含まれる拠点の重み(意図の重複度)の総和を求め、これを核の重みとする。ここで指示対象に関連するとは、その内部、又は境界線上に存在することをいう。

- ③精密調査: 最終手のネライ(2次意図)が、その近傍の最大重みの拠点にあるものと仮定する。この拠点の意図が、指示対象への意図と関連すればこれを第一戦場とする。特に関連が無い場合、いくつかの核をその重さの順に選び、それぞれの近傍を戦場とする。

- 6) 解決案候補: 各戦場についてヨセ木を構成する[1]。これは同一戦場において自己先で打った場合の想定図と相手から打ちはじめた場合の想定図の組から成る。

- 7) 最終案: 各戦場が独立ならば出入計算手法[1]により、各戦場のみを考慮した最適手順を求めることができる。ここで独立であるとはある戦場での着手の影響が他に影響を及ぼさないことを意味する。これは単に実際に一方の戦いの結果他方の石の配置がかわらないだけでなく、戦略的にも影響がないことが必要である。これはかなり厳しい条件であり、序、中盤のほとんどの場合この条件は満たされない。現在は便宜上ポテンシャル関数の影響がない程度はなれていれば独立とする。とにかく独立でない場合は出入値最大の戦場の一手のみを出力することにする。

[4] 基プログラムの構成

我々の基プログラムは現在尚開発途上にある。現在迄にインプリメントされた部分は 基メインモジュール、局面データ管理モジュール、着手候補列举モジュール及びこれと独立しているが探索エキスパートルーチン群の一部である。残っているものは戦略(プラン)作成モジュール、評価モジュール、戦略知識ベースである。

メインモジュールは全体の管理を扱い、各種入出力、棋譜の記録等を行う。局面データ管理モジュールは、一手毎に局面を更新し、必要な局面解析を行って、得られたデータを局面データベースに蓄える。若の局面に関するデータ構

造は連, 群, 族やこれらの間の関係という階層性を持つ対象, 及びそれぞれに付随する属性値の集まりで表現される[7]。又旗の包囲度, 強さといった抽象的属性値をポテンシャル関数を用いて計算している。着手候補列举モジュールは各種の先ヨミの着の候補手や戦略拠点を列举するために用いられる。特にパターン照合による場合には, パターンに関する知識がGOPALプログラムによって書かれるとそれがGOPALトランスレータによってPASCAL 外部プログラムへ変換される[8]。これは碁の(パターンに関する)知識を, 複雑なプログラム作業をしないで, 比較的容易に取り入れることを可能にしてくれる。探索エキスパートは死活, 攻合, 捕獲, 連絡の問題を専門に解くプログラム群である(現在死活と捕獲のみ完成)。これは指定された探索領域内で指定された標的対象に対して完全探索を行うものである。使用言語はPASCALを用いている。

[5] おわりに

碁は人間の知的活動として挑戦に価する種々の問題を提供する。碁における人間の能力は, 生物的視覚情報処理能とパターン処理能力(取えていえば2次元言語理解能力)に分解できそうである。

MIM-MAX 原理による探索という無機質的な手法の使用が拒否されて, 我々はその範を人間社会で普通に採用されている意思決定のメカニズムに求めた。稟議とか根まわしとかやゝ変則的な意思決定形態もあるが, 本稿で掲げたものは最も標準的であると信ずる。これを碁の思考形態とするのは単なるこじつけにすぎないかも知れない。しかしこの様な試みによって人間と対当に疲り合える様なプログラムが出来れば逆に人間の思考形態の部分的な解明に役立つのではないであろうか。

最後に, 本研究の機会を与えて下さった当所若松清司制御部長, 田村浩一郎論理システム研究室長, 本研究を御支援頂いている同研究室の皆様, 並びに熱心に討論をして下さる碁研究グループの皆様に感謝します。

参考文献

- [1] N. Sanechika et al, Notes on Modelling and Implementation of the Human player's Decision Processes in the Game of GO, Bul. of ETL 45, 1-2 (1981)
- [2] W. Reitman et al, The structure and performance of the Interim.2 GO program, proc. 6th IJCAI pp. 711-719 (1979)
- [3] A.L. Zobrist, A model of visual organization for the game of GO, SJCC PP. 103-112 (1969)
- [4] J.L. Ryder, Heuristic analysis of large trees as generated in the game of GO Rep. No. CS-245, CSD STAN. UNIV (1971)
- [5] 菅原 等, 碁のプログラムにおけるポテンシャル関数の役割, 情報処理学会第22回全国大会 44-6 (1981.3)
- [6] 第5世代のコンピュータ, システム化技術研究分科会-意思決定支援システム-, 日本情報処理学会 5.56.
- [7] 真野, 碁局面の表現とPascalにおける複雑なデータ構造, 情報処理学会ソフトウェア研究会 20-3 (1981.9)
- [8] 真野, 碁における着手候補記述言語 Gopal について, 情報処理学会第24回全国大会 18-8 (1982.3)