囲碁関連論文の紹介

中村 貞吾

1 はじめに

今年度の情報処理学会論文誌 (Vol.43, No.10) において「ゲームプログラミング」の特集が組まれた．その巻頭言にあるように，これはゲーム情報学の領域において初めて企画された論文集である．情報処理学会にゲーム情報学研究会が発足して 4 年がたち，ゲームを研究対象とすること自体はもう認知されたと言ってもよいだろうから，今後は，この特集号をきっかけにしてゲーム研究の分野がさらに発展し，新しい技術や成果が数多く生み出されることを願うところである．

この特集号には 13 件のゲーム研究分野の論文が採録されている．そこで対象となっているゲームは，囲碁，将棋，コントラクトブリッジ，モノポリー，しりとり，Lines of Action, カルキュレーションとさまざまであるが，内容的には特定のゲームに依存しない技術も数多く含まれている．その中で，タイトルに「囲碁」の文字が含まれているのは次の 2 件である．

1. 中村克彦, 木戸間周平：「数値的な特徴に基づく囲碁局面パタンの解析」
2. 中村貞吾：「着手記号列の出現頻度に基づく囲碁棋譜からの定型手順獲得」

また，今年度の夏 (2002 年 7 月 25 日～27 日) にはカナダのエドモントンで，第 3 回の Computers and Games (CG 2002) 国際会議が開催された．その講演論文集の中で囲碁に関係の深い以下の 4 件の論文

3. Bruno Bouzy : “A Small Go Board Study of Metric and Dimensional Evaluation Functions”
4. Eric van der Werf, Jos Uiterwijk, Eric Postma, Jaap van den Herik : “Local Move Prediction in Go”
5. William L. Spight : “Evaluating Kos in a Neutral Threat Environment: Preliminary Results”
6. Teigo Nakamura, Elwyn Berlekamp : “Analysis of Composite Corridors”

を加えた計 6 件の論文の内容を次節で簡単に紹介することにしよう[†1]．

2 各論文の内容紹介

1. **中村克彦, 木戸間周平：「数値的な特徴に基づく囲碁局面パタンの解析」, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.10, pp.3021–3029, (2002)**

   盤面の直接的なパターンマッチングによるのではなく，局面から抽出された数値的な特徴に基づいたパターンによる局面解析を行なうための方法として，

   - 盤上の交点集合に対する集合演算によって計算される特徴を用いた石の死活の判定法
   - 電荷モデルによる電位分布を用いた石のグループの判定とその強度の判定法

   の 2 つの方法が示されている．

   静的な局面解析ではパターンマッチングが代表的な手法であり，多くの囲碁プログラムでも使われている．しかし，直接的な 2 次元パターンマッチングで死活の判定を行なおうとすると，膨大な数のパターンとのマッチングが必要になり処理のコストが大きいため，筆者らは局面から数値的な特徴を抽出して，その上でパターンマッチを行なうことで処理コストの問題を解決

[†1] 筆者自身の論文が 2 件含まれており，多少，手前味噌になっている嫌いがあることは御容赦願いたい．

しようとしている．ここで用いられている数値的な特徴は，交点集合の上下左右の各シフト演算と和集合，差集合，共通集合，補集合を基本演算とし，それを用いて定義される「拡大」,「外縁」,「石集合のダメ」,「隣接関係数」,「一点の最大隣接数」などの拡張演算を用いて計算され，その数値的特徴を用いて死活判定が行なわれる．

グループ判定に用いられている電荷モデルは以下のようなものである．

- 各黒石 (白石) は周辺の点にマンハッタン距離 d の逆数 $\frac{1}{d}$ に相当する電位を与える．
- 隅および辺の石は，盤外の対称的な位置に鏡像を持つものと仮定して電位が計算される．
- ある石の電位の伝播が味方および敵の他の石によって妨害される影響を，石の影になっている点の距離を仮想的に増大させることで取り扱っている．

そして，この電荷モデルを用いたグループの強度判定実験を行なった結果，活きと判定されるべきグループと死と判定されるべきグループとが適当な閾値を用いてうまく判別できたとしている．

これらの局面解析は，ゲームの進行において，また，先読においても一手毎に繰り返される必要があるが，効率的に解析を行なうために，毎回解析を全面的にやり直すのではなく，一手による変化分だけを効率良く求める差分計算が行なわれている．

2. **中村貞吾：「着手記号列の出現頻度に基づく囲碁棋譜からの定型手順獲得」，情報処理学会論文誌, Vol.43, No.10, pp.3030–3039, (2002)**

手順の長さや盤上でのサイズが異なる様々な定石や手筋などのパターン知識を棋譜から獲得するための手法を示した論文である．

一般に定石とは序盤に部分的に出現する一定の石の形およびそこに至る手順を指すが，中盤の定石という類のものもあることから分かるように，序盤に限らず，碁の法則から導かれる一定の理にかなった着手の応酬というものが存在する．そこで，手順の長短，局面範囲にかかわらず，一局の棋譜を通じて定型的であると認められる手順をすべて獲得することが望まれる．この論文では，棋譜を個々の着手が符号化されてできたテキスト (棋譜テキスト) であるとみなして，自然言語テキストにおける定形表現の抽出法で用いられる n-gram 統計に基づく方法を用いて長さの異なる定形手順の獲得を行なっている．

このような方法で定形手順の獲得を行なうとした場合，問題となるのは以下の 2 点である．

(a) 着手をどのように符号化して棋譜テキストを作成するか？
(b) どのようにして定型性を評価するか？

この論文ではこれらを次のように扱っている．

(a) n-gram 統計ではパターンの一致性は文字列の一致性で判断される．そこで，符号化法に対しては以下のことが要請される．
   i. 個々の着手に対して，時間的，空間的に局所的な情報のみを符号化する．
   ii. 盤上での回転，鏡像，移動の関係にある手順が同一の符号列となる．
   iii. 形状の異なる手順が同一の符号列とならない．

   この要請を考慮した符号化法として，直前の相手方の着点を座標原点とし，その着点の盤上の絶対位置に応じて座標軸を決定する座標系を用いて現在の着点を符号化する相対符号化法が提案されている．

(b) 定型性の評価法としては，自然言語テキストに対する２つの定型性評価法に加えて，新たに「部分列頻度プロファイル法 (SFP 法)」とそれを改良した「多重部分列頻度プロファイル法 (MSFP 法)」を提案して，その有効性を実験的に評価している．SFP 法とは，注目する部分列の長さ (窓幅) を固定して，窓をテキストの先頭から 1 文字ずつ移動させながら，窓内に見える部分列の棋譜データベース全体における出現頻度を記録したプロファイルを作成し，その中から「山」として切り出されるものを定形手順として獲得するというもので，これは，単位性のある定形手順が窓内にすっぽり含まれている場合は記録される出現頻度の値が大きく，手順単位が窓からはみ出すと出現頻度の値が急激に小さくなるという特性を利用した手法である．

約 34,000 局 (総手数約 700 万) の棋譜を対象とした定形手順獲得実験を行なった結果，基本定石事典に掲載されている定石の再現率で MSFP 法が最も優れていたほか，基本定石以外でも定形手順とみなせる手順が多く獲得できたと述べられている．

3. **Bruno Bouzy : "A Small Go Board Study of Metric and Dimensional Evaluation Functions", Proceedings of the Third International Conference on Computers and Games, (2002)**

囲碁の局面評価にあたって，囲碁の専門的な知識によらずに純粋に数学的に定義できる「次元」と「距離」の２つの観点からの評価を行なうことを提案した論文である．

次元 ここでいう次元とはフラクタル次元に相当するものであり，対象物自身の量的な特徴を計るために導入されたものである．実際には E_0, E_1, E_2 の 3 種類の評価関数が示されおり，E_0 は「グループ数」，E_1 は「地」，E_2 は「地の２乗和」に対応している．E_2 で，一箇所の大地に対する評価を大きくしようとしているところが目新しい．

距離 盤上の格子点間の距離を評価するものである．詳細は論文を参照してほしいが，

- ２つの格子点に異なる色の石があるときは距離は ∞
- ２つの格子点が同色の石で連結されているときは距離は 0
- そうでない場合は，４近傍または８近傍を距離の基本単位とし，敵の石を避けた経路上の距離の和

として距離が計算される．

この２種類の観点の評価関数の有効性を確かめるために小路盤を使った評価実験が行なわれている．

4. **Eric van der Werf, Jos Uiterwijk, Eric Postma, Jaap van den Herik : "Local Move Prediction in Go", Proceedings of the Third International Conference on Computers and Games, (2002)**

囲碁の着手は，部分的な形の善し悪しだけでなく全局的な善悪の判断も必要とされるため，正確な良否の評価は極めて難しい．現在の囲碁プログラムは，他のゲームのプログラムと違って未だにそれほど強くはなっていないが，その理由の１つとして，こういった評価を行なうための静的な知識ベース構築の難しさがあり，これは，機械学習によって克服しなければならない．

この論文は，部分的に良い着手を生成するシステムを学習によって構築する手法を示している．このシステムは次のような特徴を持っている．

- 不必要な重み学習を避けた効率的な学習アルゴリズム
- 「着手対解析」と「改良固有空間分割変換」の特徴抽出法による次元削減

- 注目している領域の中心からの距離に反比例した変換を特徴値に対して施すことによる状態空間の削減
- 全ての特徴を用いた第 2 段階の学習

このような特徴を持つ彼らのシステムは，上級の級位者に匹敵する程度の候補手生成能力を持つとのことである．

5. **William L. Spight : "Evaluating Kos in a Neutral Threat Environment: Preliminary Results", Proceedings of the Third International Conference on Computers and Games, (2002)**

   「Preliminary Results」という控え目なタイトルとはうらはらに,「ヨセ劫」の価値を組合せゲーム理論に基づいて数学的に解析した結果を示している画期的な論文である．

   本劫 (単純劫) の一手の価値が劫の出入りの三分の一であり，また，適正な相場の劫ダテの大きさが劫の出入りの三分の二であるということは，上級者は知識として，あるいは経験的に知っているし，これまでの Berlekamp らの研究によっても明らかにされている．であるからして，「では，ヨセ劫は？」というのは次なる当然の疑問である．

   「三手ヨセ劫，劫にあらず」という格言からわかるように，ヨセ劫は本劫よりも価値が低いとされているし，プレイヤもなんとなく経験的に感じてはいるが，では一体ヨセ劫の一手の価値はいかばかりのものなのか？ 劫ダテはどのようなサイズのものが相場なのか？ それに対する明確な解答はこれまでに示されたことはなかった[†2]．著者は，様々なサイズの劫ダテが双方のプレイヤに同じ数だけ存在する Neutral Threat Environment (NTE) という理想化された劫ダテ環境を導入することによって，一般的なコウの解析を行なうことを提案している．そして，主要な結果として，

   - n 手ヨセ劫の一手の価値は，劫の出入りの $\dfrac{1}{Fib(n+4)}$

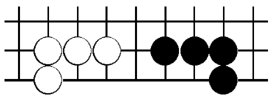
   であることを示している[†3]．

6. **Teigo Nakamura, Elwyn Berlekamp : "Analysis of Composite Corridors", Proceedings of the Third International Conference on Computers and Games, (2002)**

   "Mathmetical Go" の付録 E に掲載されている「回廊型のヨセ」のカタログを拡張すべく，回廊間にギャップを持つ形を含めたいくつかのパターンを解析した結果を示した論文である．

   主要な結果として，

   - ゲームを 1 度冷却した値が $*2 = \{0, *|0, *\}$ になる配置 (下図) が初めて発見された[†4]



   などが示されている．

[†2] 筆者が知る限り，囲碁の専門書でもこれまでにお目にかかったことはない．

[†3] ここで，$Fib(n)$ はフィボナッチ数を表わす．例えば $Fib(5) = 5, Fib(6) = 8, Fib(7) = 13$ であるので，一手ヨセ劫の価値は劫の出入りの五分の一，二手ヨセ劫の価値は劫の出入りの八分の一，三手ヨセ劫の価値は劫の出入りの十三分の一ということになる．例えば，出入り 39 目の三手ヨセ劫の価値は 3 目．これは，通常の出入り計算でいうと，後手 6 目のヨセに相当するということである．「NTE の下で」という理想化された状況ではあるが，これであれば確かに「三手ヨセ劫，劫にあらず」の格言は正しいと感じられる．:-)

[†4] 「原子量」に基づく解析がなぜこれまでの長い囲碁の歴史の中で行なわれてこなかったのか？ Berlekamp は,「囲碁には $*2$ や他の nimber 値を持つ局面がない (まだ発見されていない)」ことを推測される理由として上げていたが，この論文で初めて囲碁における $*2$ の存在が示された．