

1 ゲーム情報学の動向

静岡大学情報学部情報科学科／
科学技術振興事業団さきがけ研究 21

飯田 弘之

iida@cs.inf.shizuoka.ac.jp

公立はこだて未来大学

松原 仁

matsubar@fun.ac.jp

さまざまなゲームやパズルで名人を超えるシステムを作成しようとする取り組みがなされてきた¹⁾。また、情報処理技術の発展を検証する目的でゲームを実験題材とする取り組みやゲーム自体の変遷を解き明かす取り組みもある。本稿では、本特集で説明する最新の研究成果の理解を促進するために、これらの取り組みや当該分野において注目されるプロジェクトなどに焦点を当てつつ、これまでのゲーム情報学研究の動向を概観する。最近のゲーム情報学の具体的な研究成果については本特集の別の解説を参照していただきたい。



■名人を超えるゲームシステムを目指して

チェッカー、チェス、オセロ、将棋の各分野で名人を目指した取り組みを紹介する。マン・マシンの名人対決を初めて実現し、その頂上対決を制したのがチェッカーというゲームである。チェッカーで起きたこの新しい波が、チェスやオセロへと流れ、そしていよいよ、将棋にも押し寄せつつある。それぞれのゲームで事情が多少なりとも異なるが、名人に相当するゲームシステムを作ることの難しさ、そして、ゲームコミュニティの寛容さ、に直面することになる。このようにして、名人を超えるゲームシステムを目指すことは、人間知の偉大さを思い起こすプロセスであり、同時に、人工知への認識の拡散のプロセスでもある。

Tinsley vs. Chinook²⁾

チェッカーは世界で最もポピュラーなボードゲームの1つである。後述するように、Samuelのチェッカープログラムは、局面評価に関する機械学習の成功例としてよく知られ、1950年代には上級者レベルに到達したとされる。しかしその後、ShannonやTuringらの影響により、ターゲットはチェスに集中し、チェッカーは忘れられた存在となった。それに注目したのがアルバータ大学教授のSchaefferである。彼のチェスプログラムPhoenixは1980年代半ばに世界選手権で優勝した。1980年代後半からはチェッカーの名人を超えるべく本格的な挑戦を開始することになった。プログラムの名前はChinook(チャイノック)という。

チェッカー界の名人として長く君臨したMarion Tinsley(1927-95年)はつとに有名である。Tinsleyは数学の大学教授であり、なおかつ、教会の牧師という異色の経歴を持つ。1950年から40年間、公式戦や多面指しによる試合を数千局以上対局し、負けたのはたった3試合という実績の持ち主である。長い期間にわたって第一人者として活躍した点で将棋の大山康晴名人と比較されることがあるが、勝率の実績では肩を並べる名人はどの分野にもいない。チェッカーはチェスほど複雑ではないが、決して簡単なゲームではない。Tinsleyはチェスとチェッカーを比較して、「チェスは果てしない海原を眺めているようだ。チェッカーは底のない井戸に見入っているようだ」と語った。

1990年、Chinookはマスターレベルの競技会に出場し優勝するまでに成長した。同年開催された全米選手権の7回戦では晴れてTinsleyとの初対戦が実現し、試合を引き分けに持ち込み、Tinsleyに次ぐ2位に入った。Chinookはアルファベータアルゴリズムの探索をベースに探索効率化で種々の工夫を凝らす。洗練された評価関数で局面を評価し、また、強力な終盤データベースで終盤の完全プレイをする。戦術面でも、相手のミスを期待するような類の簡単な勝負手をプレイできる。序盤定跡については、過去の名人の棋譜データベースを参照するだけでなく、有望そうな新しい序盤戦法をChinook自身が発見し、名人との試合で初めて用いるなど、用意周到な準備で伝説の名人に挑んだ。

Game Informatics

1992年夏、Tinsley vs. Chinookの40番勝負がロンドンで実現した。これには紆余曲折があった。当初、チェッカー連盟（ACF）は現名人がマシンと対局することを拒絶した。そこでTinsleyは真に最強の挑戦者と対戦することを決意し、ACFを脱退し、潔く名人位を返還した。ところがその後、ACFは方針を転換した。すなわち、Tinsleyに名誉名人の称号を与えた上で、名人位を人間部門とマシン部門に分けたのである。そして、真の最強者を決めるマン・マシン名人位を設けた。1992年の40番勝負はこうして舞台が整えられた。ChinookはSilicon Graphics 4D/480上で動作した。

40番勝負に先立ってTinsleyも必要な準備をした。1990年のChinookとの初対戦のときより、マシン性能が向上し、探索の深さが2手深く読めるようになったことを理解していた。また、このマン・マシン名人対決以外のことで多忙を極めていたにもかかわらず、コンピュータゲームに関する本を読み、対決の少し前にはSchaefferからChinookに関する説明を聞くなどし、可能な限り情報を集め全力を尽くして準備した。Tinsleyは試合前のインタビュー（1992年8月17日付Independent紙）で「わたしは勝ちます。わたしのプログラマはChinookより優れています。ChinookはSchaefferによってプログラムされましたが、わたしは神によってプログラムされたのです」と語った。

チェッカーはチェス同様、引き分けが多い。引き分けると両者は0.5ポイントを得る。勝てば1ポイント、負ければ0ポイントである。16試合を終えた時点で、Chinookが1ポイントリードした。20試合終了時には同点で並び、28試合後にはTinsleyが1ポイントリードするというシーソーゲームだった。39試合目でTinsleyが勝利し2ポイントのリードとなり、かくしてマン・マシン名人40番勝負は人間名人の勝利で幕を閉じた。スコアは4勝2敗33引き分けとなり、Chinookは伝説の名人を2回も負かしたが頂点には立てなかった。

それからおよそ2年後の1994年8月ボストンで、Chinookにとっての雪辱戦が実現した。前回同様、1日2試合のハードなスケジュールでの40番勝負である。6回戦まですべて引き分けした後、突如Tinsleyは敗北を宣言して幕を閉じることになった。翌年4月、Tinsleyは病気のため他界した。

Kasparov vs. Deep Blue or Deep Junior¹⁾

チェッカーでのマン・マシン頂上対決40番勝負の激闘（1992年）から4年遅れで、チェス界でも名人対決が実現した。1996年2月、人間名人のKasparovとマ

シン名人のDeep Blueがフィラデルフィアで6番勝負を行った。結果、Kasparovの3勝1敗2引き分けで人間名人が人類の面目を保った。Kasparovは「20世紀中は決してコンピュータには負けない」と豪語していたが、1997年5月のNYでの再戦では、1勝2敗3引き分けのスコアでDeep Blueにあっさり負けてしまった。Tinsleyのような用意周到さがなかったのが残念である。

Deep Blueはチェス専用マシンである。PC上で動作するチェスソフトの強さはどれほどだろうか。2002年夏に開催された世界コンピュータチェス選手権で優勝したソフト「Deep Junior」はPC上で動作する。2003年1月から2月にかけて行われたKasparovとのマン・マシン名人対決の6番勝負は1勝1敗4引き分けとなった。そこらへんで売っているパソコンソフトが世界チャンピオンと引き分けたことの方が、スーパーコンピュータが勝ったことよりも衝撃は大きいのかも知れない。

Murakami vs. Logistello¹⁾

オセロではどうか。マン・マシン対決には非常に保守的な背景があったにもかかわらず、村上健名人はこの頂上対決を勇敢に受け入れた。1997年夏、オセロのマシン名人Logistello（作者はMichael Buro）と村上名人の頂上対決6番勝負がアメリカNJで実現した。結果はLogistelloの6連勝だった。コンピュータは35手（残り25マス空き）くらい進めると完全プレイモードに入る。序盤・中盤も人間名人と互角かそれ以上のレベルでプレイする。

Habu vs. Unknown¹⁾

将棋ではどうなるのか。早指しの条件下ならば、マシン名人はアマチュア5段のレベルに到達している。一手10秒のような超早指しであれば、人間名人（羽生善治名人）に勝ってもおかしくない。ただし、持ち時間がある程度長い試合では、人間名人が繰り出すさまざまな変化球に対応できないので、2枚落ちのハンディ戦でも勝てるかどうかというのが現状のようである。

興味深い点として、人間名人に挑むのは日本で開発した将棋ソフトか、またいつ頃に頂上対決が実現するか、そのときマシン名人はどのような思考アルゴリズムを用いるか、などがある。

■ゲームを実験題材として

ゲームは情報処理のさまざまな手法の有効性を確かめるための優れた題材である。ゲームは、

- ・適度に複雑な対象である。
- ・適度に抽象化されている。
- ・ルールが明確に定義されている。
- ・専門知識（あるいは人間の専門家）が存在する。

などの特徴を有するため、特に人工知能で貴重な実験題材となっている。たとえばチェスは、McCarthyによって人工知能の実験と称されている（実験を題材とした実験によって生物学の研究が大きな進歩を遂げたことにちなんでいる）。探索、機械学習、プランニング、専用ハードウェアなど、ゲームは多くの領域で実験題材として活用されている。ここではゲームを実験題材とした研究ですでに実績のあるものを主に示す。

探索

探索にまつわる初期のほとんどのアイデアはチェスを題材として得られたものである。ミニマックス法の結果を保証しつつ探索の効率化をはかるアルファベータ法は、チェスのプログラム開発の過程で経験的に用いられていたものを Knuth らが理論的解析を示して有名になった。反復深化（繰り返し縦型）という探索手法もチェスで開発されたものである。同じことの繰り返しでかえって効率を悪くしているようにもみえるが、チェスのプログラムに実装すると非常に有効であった。5手先まで読むとすると、まず1手先まで読んで局面を評価関数で評価して点数化し、点数の良い順番に局面を並べ替える。並べ替えた順に次は2手先まで読んでまた局面を評価して点数化して点数の順番にソートする、ということを5手先まで繰り返すものである。Knuth らが示したように、アルファベータ法の効率は評価値の高い順に局面がソートされているときに最適化される。そのために一見無駄なことをしている反復深化の方が、探索の深さを固定したふつうの探索よりもはるかに効率がいいのである。反復深化はいまやゲーム以外のさまざまな領域でごくふつうに使われている。

8パズル、15パズルあるいは詰将棋などの一人ゲーム（パズル）は、知識を用いたヒューリスティック探索の題材として重宝されている。たとえば、詰将棋は証明数・反証数という共謀数の概念を拡張した概念を用いた探索の非常に優れた題材になっている。

プランニング

Newell, Simon らはチェスの強いソフトを作ろうとする試みの過程で、人間がチェスをどのように指すかについて実験を含むさまざまな研究を行った。その結果、かれらは人間の問題解決（プランをたてるプランニング）の過

程を真似て設計した GPS (General Problem Solver) を考案するに至った。GPS の基本的なアイデアは手段一目標解析である。問題を解決するにあたって、まず現状と目的との差を求める。次に、どういう手段によってその差が解消できるかを探索する。その探索の過程で新たに副目標が生じたときには、再帰的に手段一目標解析を実施する。GPS は問題解決の抽象的な枠組みを示したものであるが、その後のプランニング研究の原点となっている。

機械学習

人工知能の歴史で最初の成功例といわれているのが、Samuel が 1950 年代に開発したチェッカーをプレイするプログラムである。彼のプログラムは 16 の要素の重み付き評価関数を用いており、それらの重みを学習によって更新できるようになっていた。自分自身を相手に数千回プレイすることにより、このプログラムは非常に強い人間のレベルに匹敵するまでに強くなった。「コンピュータは人間の教えたことしかできない」ことが「コンピュータはプログラムを書いた人以上の能力を持ってない」ことを必ずしも意味しないと実証したことで知られている。

Samuel のプログラムはいままでいう強化学習の手法を用いていた。1990 年代には Tesauro が強化学習をバックギャモンというゲームに適用し、学習によって世界チャンピオンクラスの実力のプログラムを実現した。この研究は強化学習の成功例としてよく知られている。同じ頃にオセロでも Lee らが強化学習によって世界チャンピオンクラスの実力のプログラムを実現している。Quinlan が開発した決定木学習システム ID3 においてもチェスの終盤局面の分類が題材として用いられている。サッカーをプレイするロボットのプロジェクトであるロボカップにおいても実機あるいはシミュレーションでさまざまな機械学習の手法が実験されている。

■ ゲームの過去・現在・未来

ゲームとは何か

ゲーム情報学は「ゲームとは何か」を問う学問ではないかと思う。ゲームの起源、つまり、なぜ、どのようにしてゲームが誕生したのかを科学的に究明したい。また、今日に至るまでどのように進化論的変遷を遂げてきたのかも解明したい。それによって、今後、ゲームはどのように進化するのか予測できるし、必要に応じて将来あるべき姿をコントロールできる。ゲームプログラミングは、ゲームにおける数理の解明に役立つだけでなく、ゲームの過去・現在・未来を知る上で重要な糸口になるものと期待される。

昨今のゲーム形態の変化は目覚ましい。特に、TVゲームやネットワークゲームなどの出現により、ボードゲームの face-to-face の伝統的な対戦スタイルが廃れるかもしれないという危惧さえある。ゲームルールの進化論的変遷だけでなく、対戦スタイル形態の変遷が現在進行中なのである。社会的な影響も見逃せない。縁台将棋という言葉がいまや死語と化しており、ボードゲームの伝統的な対戦スタイルが、試合の勝ち負けを超えて、個と個の強い絆を培う上で重要な役割を担ってきたことが忘れられようとしている。

ゲームの進化

過去一千年のスパンでさまざまなボードゲームの進化論的変遷を眺めると、最初は見かけ上の複雑さ（単純な意味での探索空間のサイズに相当）が増え、やがてその方向性は冗長性ゆえに進化の袋小路を迎えた。進化の次のステージでは、より刺激的なゲームへと変遷する。あるレベルのプレイヤー同士であれば、シーソーゲームを十分に楽しめるようにルールが変遷する。この仮説の根拠として、ゲームをメトリックする方法が Lida et al. らによって提案された³⁾。見かけ上の複雑さに相当する B^D 、高貴な不確定性の指標としての $\sqrt{B/D}$ という2つの指標が用いられる。Bはゲームの平均合法手数（可能な指し手の数）、Dは平均終了手数を表す。 $\sqrt{B/D}$ は、同レベルのプレイヤー同士が試合をする場合、その結果が試合終了のぎりぎり最後まで分からないような、いわゆるシーソーゲームほどより洗練されたゲームであることを示す指標である³⁾。試合開始から終了までの経過時間に伴う、試合結果に関する情報量の変化についてのロジスティックなモデルからこの指標が導かれている。このモデルでは、シーソーゲームは試合終了寸前のところで情報量が最大化する。

たとえば、将棋とチェスは、ともに千年以上の歴史の中で洗練され続けてきたチェス種のゲームである。同時に、職業プレイヤーとしてのプロ集団が存在する。それぞれのゲームでは、見かけ上の複雑さ B^D は異なるが、 $\sqrt{B/D}$ の値はともに0.7くらいと非常に近い値なのである。将棋では持ち駒を使うというルールの導入が $\sqrt{B/D}$ の値の増加に大きな影響を与え、チェスではクイーンという駒の導入によって達成された。このように、ルール変遷の方法は違うが、 $\sqrt{B/D}$ の値がある一定の値に収束するかのように変遷してきた³⁾。すなわち、プレイヤーである人間が、シーソーゲームによる爽快さを求めた結果が今日のチェスや将棋となって残っている。このようなゲームの進化論的変遷は、チェス種だけでなく、ほとんどのゲームに適用されるものと予想されている。

一方、各ゲーム固有の進化として、ゲームの引き分けについて考えてみる。長年にわたるプロ棋士同士の対戦結果を集計すると、将棋では引き分けを排除し、チェスでは引き分けを許容してきたことが分かる。中国将棋(象棋)でもチェス同様に引き分けを許容していることから、将棋の引き分け排除は日本独自の文化ではないだろうと思われる。ゲーム進化の枠組みの中で、引き分け率の変遷を解き明かす研究が期待される。

ゲームを解く

高性能マシンおよびゲームプログラミングの技術革新は、コンピュータが名人を超える以上のレベルに到達することを可能にした。チェッカーやオセロは、我々にとって十分複雑なゲームであるが、コンピュータにとっては近いうちに解けるかどうかのターゲットとなっている。解けるとは、ゲームの初期局面での理論値が分かることを意味する。今後、解かれてしまうゲームは次々に増えるだろう。

■注目されるプロジェクト、競技会、学会

ゲーム情報学研究会

1999年4月に情報処理学会にゲーム情報学研究会が発足した。以降国内におけるゲーム情報学の中心的な役割を果たしている。なお、ゲーム情報学という名称はこの研究会の設立にあたってつけたものである (<http://www.tanaka.ecc.u-tokyo.ac.jp/sig-gi/>)。

ロボカップ

チェスに代わる情報処理の例題としてサッカーを取り上げ、サッカーをプレイするロボットの実現を目指しているのがロボカップ (<http://www.robotcup.org>) のプロジェクトである。日本人有志によって提唱されたもので、1997年に名古屋で第1回の国際大会が開催された。毎年国際大会が開催され、2002年の福岡大会では12万人の観客を集めている。NPO的な運営がなされ、世界の約40カ国約4,000人がこのプロジェクトに加わっている。2050年までに人間のワールドカップ優勝チームに（人間のサッカーのルールで）勝つ人間型ロボットのチームを開発することを目標としている。従来のゲームと異なり、サッカーは身体性、リアルタイム性、不確実性、協調性などの特徴を有する。サッカーロボットを子供の教育に生かすロボカップジュニアや災害救助支援を目指したロボカップレスキューというプロジェクトも実施されている。

ゲームプログラミングワークショップ

1994年から（国内で後述の Computers and Games という国際会議が開かれる年を除いて）毎年秋に開催されている、ゲームをテーマにしたワークショップである⁴⁾。最初は後述するコンピュータ将棋協会主催で行われていたが、情報処理学会にゲーム情報学研究会が発足してからは研究会主催で行われている。日本におけるゲーム情報学の中心となっている会議である（情報はゲーム情報学研究会 Web サイト参照）。

GPCC

GPCC は Games and Puzzles Competitions on Computers の略である。毎年1月に行われる情報処理学会主催のプログラミングシンポジウムでその年のテーマとなるゲームあるいはパズルを決めて、それをプレイするあるいは解くプログラムをその1年間で競って開発するというかたちをとっている。国内におけるゲーム情報学の活動の母体となっているものである (<http://www.cs.inf.shizuoka.ac.jp/~iida/GPCC/>)。

コンピュータ将棋選手権

将棋のソフト（ソフトだけでなく専用ハードも参加可能だが、これまでのところはすべてソフトである）同士の大会で、後述するコンピュータ将棋協会の主催で1990年から毎年開催されている。この大会で好成績を収めたソフトのアルゴリズムが論文の中で公開されている⁵⁾。こともあって、コンピュータ将棋全体の底上げに貢献している（情報はコンピュータ将棋協会 Web サイト参照）。

コンピュータ囲碁選手権

将棋と異なり、海外を含めて過去にさまざまな大会が開催されているが、ずっと継続しているものはない。今年にはコンピュータ囲碁フォーラムの主催で岐阜県大垣市で初めての大会が開かれた。今後毎年開催の予定である（情報はコンピュータ囲碁フォーラム Web サイト参照）。

Computer Olympiad

さまざまなゲームのソフト同士の国際大会で毎年開催されている（最近是将棋部門もできた）。今年には11月にオーストリアのグラッツで開かれる予定である（情報はICGAのWebサイト参照）。

コンピュータ将棋協会

将棋のプログラムに興味を持っている人の非営利目的の任意団体で、大会を主催すると同時にメイリングリストや例会で情報交換を行っている（CSA=Computer

Shogi Association=と略す）(<http://www.computer-shogi.org/>)。

コンピュータ囲碁フォーラム

囲碁のプログラムに興味を持っている人の非営利目的の任意団体で、大会を主催すると同時にメイリングリストや例会で情報交換を行っている（CGF=Computer Go Forum=と略す）(<http://www.hiroshima-pu.ac.jp/~sasaki/cgf/>)。

International Computer Games Association

ゲームのプログラムに興味を持っている研究者の学会組織である（ICGAと略す）。ゲーム情報学の国際的な中心となっている組織である。以前はInternational Computer Chess Associationと称していたが、最近改称された。年に4冊の学会誌を発行すると同時に、Advances in Computer Games（これも以前はAdvances in Computer Chessという名称だった）という国際会議をほぼ3年に1回の割合で開催している (<http://www.cs.unimaas.nl/icga/>)。

■今後の展開

昨年にはゲーム情報学(名称はゲームプログラミング)の論文特集⁶⁾が組まれたように、国内におけるゲーム情報学も着実に成果を出してきている。対象となるゲームがチェスから将棋、囲碁あるいはサッカーへと移っていくのと時期を同じくして、日本がゲーム情報学の中心となりつつある。また、これまではTVゲームやネットゲームはゲーム情報学の対象となっていなかったが、最近では取り上げる研究者が増えている。20世紀後半にチェスが情報処理の研究開発を牽引したように、21世紀前半には将棋、囲碁、サッカーあるいは他のゲームが情報処理の研究開発を牽引することを期待したい。そのためにも、そろそろ将棋や囲碁を対象とした専用ハードウェアの研究開発が始まることを願っている。

参考文献

- 1) Schaeffer, J. and Herik, H.J.v.d. (editors) : Special Issue, Chips Challenging Champions: Games, Computers and Artificial Intelligence, Artificial Intelligence 134 (1-2) (2002).
- 2) Schaeffer, J.: One Jump Ahead, Springer-Verlag (1997).
- 3) Iida, H., Takeshita, N. and Yoshimura, J.: A Metric for Entertainment of Boardgames: Its Implication for Evolution of Chess Variants, In Nakatsu, R. and Hoshino, J. editors, IWEC2002 Proceedings, pp.65-72, Kluwer (2003).
- 4) Matsubara, H. et al. (editors) : Proceedings of Game Programming Workshop (1994-2002).
- 5) 松原 仁 (編) : コンピュータ将棋の進歩 1-4, 共立出版 (1996-2003).
- 6) 松原 仁 (編) : ゲームプログラミング特集号, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.10 (Oct. 2002).

(平成15年8月18日受付)

Game Informatics