

研究課題別評価

1 研究課題名:

探索と知識の融合がもたらす知能の創造と進化

2 研究者氏名:

飯田 弘之

3 研究のねらい:

問題領域を限定するとき、探索と知識の融合によって超高度な知能を実現することが可能である。このようにして実現される機械的な知能は、人間の知能とは異なる特徴を持っている。本研究では、名人を超えるコンピュータ将棋の研究開発に取り組み、知能の創造と進化という観点から、そこに内在する機能と構成の美的科学的解明を目指した。さらに、意思決定システムの多様性や、知能とゲームの進化を探求した。

4 研究成果:

4.1 名人を目指すコンピュータ将棋の開発

一般に、コンピュータはゲームをプレイするとき、たくさんの局面を探索し、その中から一番良い手を選択する。将棋はチェスよりはるかに複雑なゲームであるため、たくさんの局面を網羅的に探索することは不可能である。それゆえ、本筋の手を深く読み、なおかつ、どの局面が自分にとって一番望ましいかを素早く判断することが重要である。

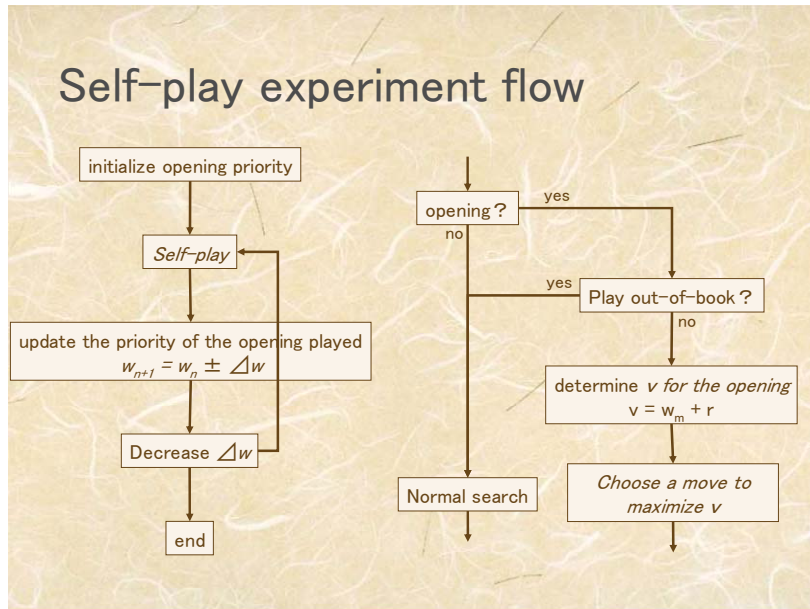
本筋の手を識別するために、指し手の必然性に着目した。指し手をいくつかのカテゴリに分類し、それぞれの指し手がどの程度の必然性をもっているかを計算して、先読み探索の方向性を制御する。必然性のなさそうな手は先読みを早く打ち切り、必然性の高い手はもっと先まで先読みする。必然性の計算のために、コンピュータの自動対戦を数多く実施し、それぞれのカテゴリの手がどの程度の割合で選択されているかを分析し、プログラムが最も安定したふるまいになるように自動調整した。

また、終盤の寄せ合いの場面で、高速に最善手を見出すことができるように、詰み探索のアルゴリズムを大幅に改良した。一般に、終盤の局面では、詰みがある場合よりも、詰みがない場合に不詰めを証明する探索コストが高くなる。証明数探索をベースに改良した詰め探索ルーチンは、不詰めであることを高速に識別できるようになり、複雑な場面でも最善手を発見できるようになった。しかし、先読み探索の末端周辺で詰みの有無を判定するにはまだ時間がかかり過ぎるという問題が残されている。末端ノードの局面で一手詰みの有無を判定するというわずかな工夫でかなり改善された。

コンピュータの最大の弱点は序盤だと言われている。定跡を抜けた後、あるいは、途中で定跡から抜けてしまった場合、定跡が意図するような戦略を継承できないという欠点である。全ての定跡変化に対してこの問題を解決するのは至難の業である。そこで、序盤戦術をいくつかの有力な戦型に絞り、かつ、それらの定跡変化に現れる全局面で定跡から外れた場合を想定し、コンピュータによる自己対戦を実施し、それぞれのふるまいを評価した。こうして、コンピュータは自分にとって得意な序盤作戦を識別できるようになった。結果として、序盤で相手の狙いを理解しつつ、自分の得意な戦型に誘導する

という高度な戦略が可能になった。

以上の研究開発を通して、コンピュータ将棋「タクス」は非常に強くなり、コンピュータ将棋世界選手権でも常時決勝に進出するようになった。また、コンピュータオリンピックでは優勝して金メダルを獲得した。さらに、プロ棋士との公開対局ではもう一歩というところまで追い詰めるという成果を上げることができた。

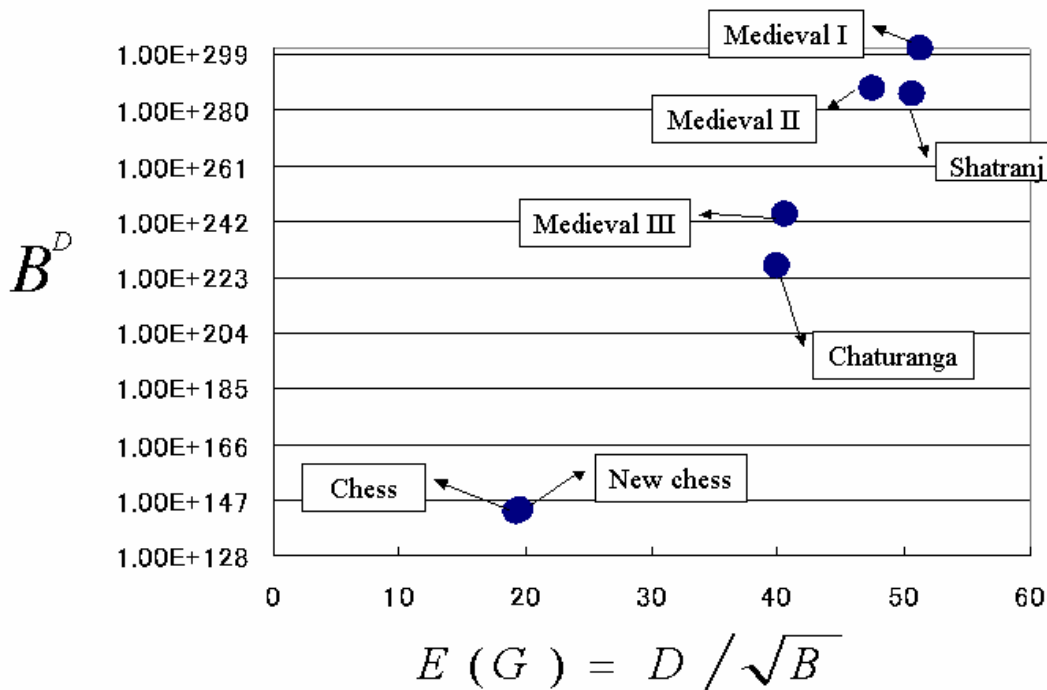


序盤定跡の途中変化や終了した局面からたくさんの自動対戦を実施する。自動対戦の勝率に基づいて定跡手順選択の重み付けに反映させる。

図1 序盤定跡チューニングのための自動対戦の概要

4.2 ゲーム洗練度の指標とゲームの進化

ゲームはシーソーゲームのときにエンタテインメント性が高まる。シーソーゲームとは試合の結果が終了間際まで判らないハラハラ、ドキドキするような試合プロセスのことである。このようなシーソーゲームの概念を定式化する数理モデルを考案した。具体的には、試合結果の情報量 $x(t)$ を試合進行時間 t の関数として表す。シーソーゲームの特徴は、終了間際の情報量の変化率(微分)に現れる。この数理モデルから、ゲームの自由度 B (可能な手の数) および試合時間 D (終了手数) に対して $\sqrt{B/D}$ の値をゲーム洗練度の指標として提案した。チェス、中国将棋、将棋、囲碁、麻雀など、長い歴史を経て洗練淘汰してきたゲームではこの指標の値がいずれも $0.07 \sim 0.08$ の間になることがわかった。一方、歴史の浅いゲームのほとんどは、この指標の値が異なっている。このように、ゲーム木の探索空間の複雑さと洗練度の指標に基づいて、ゲームの進化を論じる枠組みをゲーム洗練度の理論として提唱した。ゲームでのスリル感という観点で、ゲームの洗練度を高めることがゲームの進化の原動力になってきたことが明らかになった。



横軸はゲーム洗練度の指標の逆数、縦軸は探索空間の複雑さの指標を表す。チャツランガ（紀元5世紀）から中世のチェス変種（16世紀）を経て現代のチェス（17世紀）に至る。最初は洗練度が低いまま探索空間の複雑さが増加し、後に探索空間の複雑さが減少し洗練度が高まるように進化してきたことがわかる。

図2 チェス種の進化

4.3 三名人モデルからゲーム場における知の力学へ

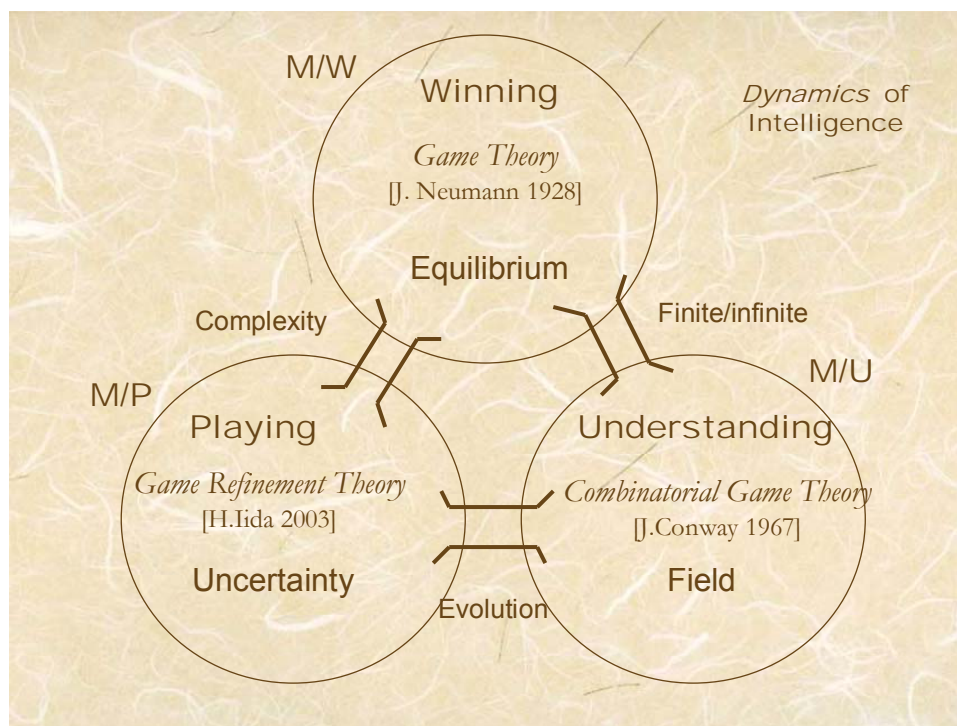
定性的な意思決定の理論として提唱されたゲーム理論では、ゲームの均衡点、つまり、ゲームの解を求める。ミニマックス均衡やナッシュ均衡などがある。競技性、遊戯性、哲学性、というゲームの3つの側面を考えると、従来のゲーム理論はゲームの競技性に焦点を当てた、ゲームに勝つための理論である。本研究では、ゲームの全体的な側面に焦点を当て、三名人モデルを提唱した。上述した3つの側面に対応させて、名人(master of winning)、達人(master of playing)、鉄人(master of understanding)と呼ぶ。

名人の視点では、ゲーム理論[von Neumann 1928]が主要な役割を果たす。相手プレイヤーの合理的なふるまいを想定した上で最善の選択を試みる。「ゲーム＝不確定性」という視点では、ゲーム理論は不確定性がゼロの状態を記述する表現法と言える。

達人の視点では、ゲーム洗練度の理論[lida 2003]が本質的である。シーソーゲームによる場のテンションによってゲームの遊戯性(特にスリル感)が高まるからである。シーソーゲームを楽しむには、プレイヤーの能力に応じた適切な場としてのゲームが必要である。「ゲーム＝不確定性」という視点では、ゲーム洗練度の理論は、どの程度の不確定性がヒトの知にほどよいスリル感を与えてきたかを示している。

鉄人の視点では、ゲームの不確定性が稠密になる場を求める。J.Conway は著書「On Numbers And Games」(1976)で、ゲームは可換な群であり、数はその部分群となることを示した。そして、数の集合から体(field)を構成する方法を提示し、ゲームに基づく新たな数論を展開した。これらの理論は組み合わせゲーム理論と称されている。

三名人モデルでは、それぞれの理論が目指すものだけでなく、重なり合う部分での特質を考察することで、それぞれ異なる視点での理論が支配する世界同士の架け橋を探求することを可能にした。そのために、ゲーム場における知と知の相互作用に着目した。物体と物体の間に働く相互作用は質量の積に比例し、またその距離の二乗に反比例するが、知と知の間に働く相互作用はどのように定式化できるだろうか。「ゲーム場」および「テンション」の概念を導入してこの定式化に取り組んだ。これを「ゲーム場における知の力学」と名付けた。シーソーゲームによるゲーム場のテンションはその一例で、ゲーム洗練度の指標を導き、ゲームの進化を解き明かす扉を開けることに成功した。



ゲーム理論値の不確定性、ゲームの試合結果の不確定性、ゲーム設計上の不確定性に対峙するそれぞれを名人 (M/W)、達人 (M/P)、鉄人 (M/U) と名づけた。不確定性がゼロから無限大へと変遷する中で、ヒトの知は適度な不確定性の中にスキルとチャンスの調和美を感じられるようにゲームを進化させてきた。それはゲーム場における知の相互作用の現れを示すものである。

図3 三名人モデル

5 自己評価:

チェスで主流となった単純な「探索」ベースの思考ルーチンに、局面評価や指し手の必然性に関する「知識」を融合することで、いわゆる本筋の変化を重点的に深く読む手法を開発した。この手法が功を奏し、非常に強いコンピュータ将棋を実現することができた。まだ名人レベルには至っていないが、

名人を目指すにあたりその方向性が見えてきた。当初目指していた「知能の創造」は達成したと思う。

コンピュータ将棋で開発した探索手法に機械学習のアイデアを織り混ぜる交ぜることで、ほぼ自動的にターゲットとするゲームの高品質なプログラムを開発できるようになった。その理由として、与えられたゲームのルールから、どのような指し手が本筋となるかを識別する技法の自動化があげられる。これを応用して、過去に廃れたゲームのプログラムを効率よく作成し、ゲームの進化論的変遷を調査した。さらには、ゲームの進化とそこに内在するプレイヤーの知の嗜好との関連が浮かび上がってきた。ゲームを切り口として、その進化プロセスを追跡することで、ゲーム進化および知の多様性を考察することができた。特に、シーソーゲームの概念から、ゲーム洗練度の理論を導き出すことができたことは、予想以上の成果と言える。

公平性やスリル感などに着目しつつ、ゲームの持つ性質を深く考察することで、トーナメントあるいは一般的なランキングシステムのようなメタなゲームにおいても、そのような性質を適宜取り入れつつ進化してきたことがわかった。チェスのような古典的なボードゲームでは、公平かつ公正さを維持するために「引き分け」を導入し、一方、メタなゲームであるランキングシステムではランキングの「あいまいさ」を残すことで敗者へのいたわりとしてきた。まさに、ここにゲームにおける機能と構成の美を見出す。直感的に感じてきたこのような性質をゲーム情報学的な観点から少なからず明らかにできたことは望外の成果と言わざるを得ない。

本研究を通して新たな問題を発見する機会を得たことも望外の成果と言えるだろう。すなわち、名人同士の対戦で感じられる迫力、高揚感、エンタテインメント性などが、コンピュータ同士あるいは名人対コンピュータの対戦ではあまり感じられない。今後、この問題を探求するにあたり、ゲーム場における知と知の相互作用という、まさに情報科学的アプローチでしか迫れない新たな研究領域の発展につながるものと思う。

6 研究総括の見解:

飯田氏の研究は、コンピュータ将棋の研究開発を通して、探索と知識の融合により高度な知能を実現することを目的としたものである。これまでのコンピュータ将棋の開発と比較すると、飯田氏のアプローチは、科学的裏づけを重視したものであり、新たな探索法の提案などにより世界トップレベルの非常に強力なシステムが構築されている。さらに、飯田氏は一般のゲームについても研究を行い、ゲーム洗練度の指標の提案とそのゲーム進化に関する大変興味深い結果を得ている。また、三名人モデルの提案を行っている。飯田氏の研究は、ゲームを人間の最も基本的な知的活動と捉え、その科学的解明を目指すと同時に、知能に関する新たな研究領域を構築しようとするものである。今後の展開が大いに期待されるものであり、大変高く評価できる研究である。

7 主な論文等:

論文

1. J.Nagashima, T.Hashimoto, H.Iida (2005). Master-like Opening Strategy in Computer Shogi, Proceedings of JCIS2005 (The 8th Joint Conference on Information Sciences) in CD-ROM, Salt Lake.
2. H.Iida, K.Takahara, J.Yoshimura (2004). An Application of Game-Refinement Theory to

- Mah Jong, Proceedings of ICEC2004, Eindhoven, pages 333-338, LNCS3166, Springer
3. P.Majek, H.Iida (2004). Uncertainty of Game Outcome, Proceedings of Inter Academia 2004, Hungary, pages 171-180
 4. T.Hashimoto, H.Iida (2004). An innovative design of game position evaluation, Proceedings of JICAST 2004 (The 8th Joint International Conference on Advanced Science and Technology), China, pages 187-190
 5. M.Sakuta, J.Nagashima, T.Hashimoto, H.Iida (2003). Application of the killer-tree heuristic and the lambda-search method to LOA, Information Sciences, 154:141-155

特許

- 特願 2003-091750 「対戦組合せ装置、方法及びプログラム」
 特願 2003-187016 「実力評価システム、その方法およびプログラム」
 特願 2003-350543 「競技システムの洗練度の測定システムおよびその方法並びにプログラム」
 特願 2004-122212 「選抜システム」
 特願 2004-358672 「順位決定システム」

受賞

- | | |
|----------|--|
| 2004年5月 | 14 th CSA 世界コンピュータ将棋選手権(木更津市)でタコス7位 |
| 2005年5月 | 15 th CSA 世界コンピュータ将棋選手権(木更津市)でタコス6位 |
| 2005年9月 | 10 th Computer Olympiad(台湾)将棋部門でタコス優勝(金メダル) |
| 2005年10月 | 第3回コンピュータ将棋王者決定戦(東京)でタコス7位 |
| 2005年11月 | コンピュータ将棋 2005 世界最強決定戦(能美市)でタコス3位 |

招待講演(総数:国内3件、国際7件)

- | | |
|------------|---|
| 2005年9月6日 | “Towards Dynamics of Intelligence in the Field of Games”, The 11 th Advances in Computer Games Conference, Taipei. Keynote lecture |
| 2004年9月5日 | “The Attractiveness of Asian Games”, ICEC2004 (The 3 rd International Conference on Entertainment Computing) Workshop on Modeling and Playing Computer Games, Eindhoven. Keynote lecture |
| 2003年12月6日 | “The Art of Opponent Models: Uncertainty and Games”, NWO - SIKS Workshop "Opponent Models in Games", Universiteit Maastricht, Maastricht. Keynote lecture |
| 2003年9月16日 | “Games and Evolution”, IBM Innovation Days Kick-off Meeting. Tokyo, Keynote lecture |
| 2002年11月9日 | “Chips Challenging Champions: A model of three masters”, in the 8th Game Programming Workshop, Hakone, Keynote lecture |