

ゲームにおける知の創造と進化

(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)

「機能と構成」領域 飯田 弘之

要 旨

知の創造としてコンピュータ将棋を開発しました。新しい探索手法などいくつかのブレークスルーによってコンピュータの実力は飛躍的に進歩し、エキスパートレベルに到達することができました。特に、終盤で本筋の手を見抜く技術、中盤で有効な手を重点的に探索する技術、序盤で相手との繊細な駆け引きを理解した上で自分の得意な戦型に誘導する技術において、格段の進歩を遂げることができました。知の創造に取り組む過程で、知と知の間に働く相互作用の存在を発見し、「ゲーム場における知の力学」という新たな研究領域を開拓しました。また、「ゲーム＝不確定性」の観点から三名人モデルを提案し、これまで提案されてきた種々のゲームに関する理論を統括する理論への扉を開きました。さらに、シーソーゲームに基づく数理モデルからゲームの洗練度を表す指標を導き、千年以上の長い歴史をもつゲームの進化とその方向性を解き明かしました。ゲームの進化は歴史の流れを経てヒトの知が何を求めてきたかを断片的に示していることから、「ゲーム＝知層」の概念を提唱するに至りました。

1. 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す。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ます。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を科学的に解明します。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ます。

2. 研究方法と成果

2. 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します。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す。ですから、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す。

本筋の手を識別するために、指し手の必然性に着目しました。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します。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します。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ました。

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、詰み探索ルーチンを大幅に改良しました。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ります。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ったので、複雑な場面でも最善手を発見できるようになりました。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ます。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ました。

コンピュータの最大の弱点は序盤だと言われています。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す。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す。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ました。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りました。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りました。

以上の研究開発を通して、コンピュータ将棋「タコス」は非常に強くなりました。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りました。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ました。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ました。

2. 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ります。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す。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ました。具体的には、試合結果の情報量 $x(t)$ を試合進行時間 t の関数として表します。シーソーゲームの特徴は、終了間際の情報の変化率（微分）に現れます。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ました。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りました。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ます。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ました。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りました。

2. 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

解を求めます。ミニマックス均衡やナッシュ均衡などが有名です。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す。本研究では、ゲームの全体的な側面に焦点を当てるべく、三名人モデルを提唱しました。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) です。

名人の視点では、ゲーム理論[von Neumann 1928]が主要な役割を果たします。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ます。「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でしょう。

達人の視点では、ゲーム洗練度の理論[Iida 2003]が本質的です。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)が高まるからです。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す。「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ます。

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ます。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ました。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ました。これらの理論は組み合わせゲーム理論と称されています。

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ます。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ました。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しますが、知と知の間に働く相互作用はどのように定式化できるのでしょうか。「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みました。これを「ゲーム場における知の力学」と名付けました。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ました。

3. 今後の展望

本研究で開発したコンピュータ将棋「タコス」はすでにアマチュア五段かそれ以上の実力です。人間の場合、この後の成長は非常にゆっくりしたペースにならざるを得ません。しかし、タコスはこの後もますます強くなります。近い将来、名人との対決を実現したいと思います。その際、「ゲーム場の知の力学」という観点において、「タコス対名人」の対戦を公平なものにすることが大きな課題です。名人同士の対戦では、ゲーム場において知と知の相互作用が働き、ゲーム場のテンションが高まることで、対局者は共に能力の限りを尽くすことが可能になります。しかし、対コンピュータの対戦では、ゲーム場のテンションが十分に高まらないという問題があります。「ゲーム場の知の力学」を解き明かすことで、この問題が解決できるのではないかと期待しています。そして、ヒトの知と機械的な知のより本質的な違いを解き明かす糸口になると思われます。

ゲーム洗練度の指標は、長い年月を経てゲームが洗練淘汰してきたことをわかりやすく教えてくれるものさしです。ゲームの刺激的な側面に着目すると、この洗練淘汰のプロセスは、ゲームの刺激度（スリル感）を高め過ぎないように配慮してきた古人の知恵が感じられます。洗練性の低い（言い換えれば、刺激度の強過ぎる）ゲームはヒトの脳という「環境」を汚染します。私はこれを「知の環境問題」と呼んでいます。現代社会の精細な内面的環境問題です。若人の引きこもり問題等と密接に関連していると思われます。この問題を解決するために、ゲーム洗練度の指標を一般化して、エンタテインメントの規制、つまり、エンタテインメント倫理の標準化によって、娯楽産業の健全な発展を促しつつ、知の環境問題に対処したいと思います。

4. 成果リスト

書籍

1. 飯田弘之 (2005) 名人の心理, 子安増夫編著「芸術心理学のあたらしいかたち」第2章, 誠心書房
2. Jaap van den Herik, Hiroyuki Iida and Ernst Heinz (2003). “*Many Games, Many Challenges*”, Kluwer

招待講演

- | | |
|------------|---|
| 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12月1日 | “Ranking and Games”, Computer Science Symposium, Universiteit Maastricht, Maastricht. |
| 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 |
| 2004年3月12日 | 「コンピュータは名人を超えられるかー三名人モデルー」, 中部電力基礎技術研究所 設立15周年記念講演 |
| 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 |
| 2003年4月9日 | “A logistic model of game's elaboration”, Board Games in Academia, Marburg, Keynote lecture |
| 2003年3月22日 | “エンタテインメントと進化・社会の数理理論的研究”, 電気情報通信学会全国大会, 東北大学 |

- 2003年2月22日 “情報論としての将棋”, 桃山学院大学
- 2002年11月9日 “Chips Challenging Champions: A model of three masters”, in the 8th Game Programming Workshop, Hakone, Keynote lecture

論文

1. H.Kita, H.Iida (2005). Theoretical Value Prediction in Game Playing, Proceedings of International Workshop on Game Informatics, Taiwan, pages 71-77.
2. T.Murata, T.Hashimoto, J.Nagashima, H.Iida (2005). Improvement of Shogi program in the opening and middle game, Proceedings of International Workshop on Game Informatics, Taiwan, pages 1-8.
3. 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.
4. T.Nakamura, A.Cincotti, H.Iida (2005). The Rebirth of Solved Games, Proceedings of JCIS2005 (The 8th Joint Conference on Information Sciences) in CD-ROM, Salt Lake.
5. T.Hamada, T.Hashimoto, H.Iida (2005). Effective usage of heavy evaluation function and a design of directional asymmetric orientation evaluation function for shogi, Proceedings of the 10th Game Programming Workshop, Hakone.
6. T.Yamamoto, H.Iida (2005). Towards periodic table of game elements, Proceedings of the 10th Game Programming Workshop, Hakone.
7. Y.Uruma, H.Iida (2005). Game-refinement theory and poker, Proceedings of the 10th Game Programming Workshop, Hakone.
8. H.Kita, A.Cincotti, H.Iida (2005). Proposal of three game-theoretical value prediction methods, Proceedings of the 10th Game Programming Workshop, Hakone.
9. A.Sano, T.Hashimoto, H.Iida (2005). Implementing defense moves against 1-ply threatmate and enhancement for endgame search, Proceedings of the 10th Game Programming Workshop, Hakone.
10. K.Matsubara, T.Hashimoto, H.Iida (2005). Finding plausible lines in game-tree search, Proceedings of the 10th Game Programming Workshop, Hakone.
11. 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
12. K.Matsubara, T.Hashimoto, H.Iida (2004). Topological Frequency Bias Search, Proceedings of JICAST 2004 (The 8th Joint International Conference on Advanced Science and Technology), China, pages 181-184

13. A.Sano, T.Hashimoto, H.Iida (2004). Enhancement for distinguishing terminal nodes in game-tree search, Proceedings of JICAST 2004 (The 8th Joint International Conference on Advanced Science and Technology), China, pages 173-176
14. J.Nagashima, T.Hashimoto, H.Iida (2004). Finding Fruitful Positions, Proceedings of JICAST 2004 (The 8th Joint International Conference on Advanced Science and Technology), China, pages 161-164
15. S.Kawashima, T.Kawai, H.Iida (2004). A ranking method based on tournament records, Proceedings of JICAST 2004 (The 8th Joint International Conference on Advanced Science and Technology), China, pages 157-160
16. H.Kita, H.Iida (2004). In search of game-theoretic value based on self-play experiments, Proceedings of JICAST 2004 (The 8th Joint International Conference on Advanced Science and Technology), China, pages 145-148
17. J.Nagashima, T.Hashimoto, H.Iida (2004). Opening book tuning, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 129-134
18. T.Hamada, H.Iida (2004). Dynamic Information Shogi Server, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 123-124
19. T.Hashimoto, H.Iida (2004). A technique of completely preventing strong horizon effect, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 115-118
20. H.Kita, H.Iida (2004). A self-play experiment in computer Othello, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 104-107
21. I.Ishihara, K.Matsubara, J.Nagashima, K.Yoichiro, T.Hashimoto, H.Iida (2004). A self-play experiment in computer Othello, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 108-111
22. K.Matsubara, T.Hashimoto, H.Iida (2004). Using master games statistics on the squares played, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 100-103
23. T.Yamamoto, T.Hashimoto, H.Iida (2004). Ranking system in terms of diversity: a case study using admission process, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 92-95
24. T.Hashimoto, H.Iida (2004). Note on an evaluation function design for shogi, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 88-91
25. A.Sano, J.Nagashima, T.Hashimoto, H.Iida (2004). An enhancement for endgame search using one ply mating search, Proceedings of the 9th Game Programming Workshop, Hakone, pages 9-13
26. J.Nagashima, T.Hashimoto, H.Iida (2004). An Enhancement for Realization: Probability Search using Machine Learning, Proceedings of Inter Academia 2004, Hungary, pages 215-222

27. S.Iida, H.Iida (2004). The Origin Concept and Group Accommodative Event: Four cases studies in an elementary school , Proceedings of Inter Academia 2004, Hungary, pages 241-150
28. P.Majek, H.Iida (2004). Uncertainty of Game Outcome, Proceedings of Inter Academia 2004, Hungary, pages 171-180
29. 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
30. S.Iida, H.Iida (2004). Changes in Youth's Authority Concept After a Group Accommodative Event, Proceedings of ICCM2004 (The 6th International Conference on Cognitive Modeling), Pittsburg, pages 356-357
31. M.Kashiwagi, H.Iida (2003). An application of game refinement theory, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 102-105
32. J.Nagashima, T.Hashimoto, M.Sakuta, J.W.H.M. Uiterwijk, H.Iida (2003). An automatic tuning of game playing system based on realization-probability search, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 102-105
33. T.Kawai, H.Iida (2003). Random Swiss Pairing System, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 137-144
34. 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
35. M.Sakuta, H.Iida (2003). Evaluation of Attacking and Placing Strategies in a Classic Battleship, Proceedings of IWCIS2003 in CD-ROM, Hong Kong
36. T.Hashimoto, H.Iida (2003). Brinkmate search in Shogi and search algorithm SPH, Proceedings of 2nd International Conference on Application and Development of Computer Games, China, pages 202-209
37. Y.Kajihara, H.Iida (2002). A Speculative Play in the Endgame of Shogi, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 57-64
38. J.Nagashima, T.Hashimoto, H.Iida (2003). Realization-Probability Search in Computer Shogi, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 87-92
39. T.Hashimoto, J.Nagashima, H.Iida (2003). Application of Realization-Probability Search for any Games, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 81-86
40. M.Sakuta, H.Iida (2003). Evaluation of Attacking and Placing Strategies in a Classic Battleship Game without Considering Opponent Models, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 116-123
41. T.Hashimoto, J.Nagashima, H.Iida (2003). A Proposal of Tournament System Verification by Simulation, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages

101-108

42. F. Said, T.Hashimoto, M.Sakuta, H.Iida (2003). 3-Hirn System: The First Results in Shogi, Proceedings of the 8th Game Programming Workshop, Hakone, pages 65-72

口頭発表

1. 河合孝尚, 飯田弘之 (2005). トーナメントスコアに基づく順位決定の新たな指標, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-13, pages 27-34
2. 中村太一, 飯田弘之 (2005). ゲームの蘇生, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-13, pages 1-6
3. 飯田弘之 (2005). GPCC2004 報告, 第 46 回プログラミングシンポジウム報告集, 情報処理学会, pages 145-146
4. 飯田弘之 (2004). Games and Puzzles Competitions on Computers 2003, 第 45 回プログラミングシンポジウム報告集, 情報処理学会, pages 129-132
5. 飯田弘之 (2004). ゲームの均衡, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-12, pages 25-32
6. U.Globus, H.Iida (2004). Some Experiments with Tic-Tac-Toe, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-12, pages 41-48
7. 河合孝尚, 飯田弘之 (2003). 順位計算を用いた対戦方式の解析, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-10, pages 71-78
8. 柏木理志, 飯田弘之 (2003). ゲームの洗練法—ジャンケンを題材として, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-10, pages 9-13
9. 濱田剛旭, 竹歳正史, 橋本剛, 作田誠, 飯田弘之 (2003). ダイナミックインフォメーション将棋のエンタテインメント性, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-9, pages 35-40
10. 石原一平, 長嶋淳, 竹歳正史, 橋本剛, 飯田弘之 (2003). 指し手の統計情報に基づく探索の効率化, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 GI-9, pages 41-46
11. 飯田弘之 (2003). Games and Puzzles Competitions on Computers 2002, 第 44 回プログラミングシンポジウム, 情報処理学会, pages 149-152

解説・報告など

1. 飯田弘之・松原仁 (2003). ゲーム情報学の動向, 情報処理学会誌, 44(9), 895-899
2. 飯田弘之・吉村仁・竹林洋一 (2003). ゲームと進化および社会の数理理論的研究, 情報処理学会誌, 44(8), 823-826
3. 飯田弘之 (2003). 実験題材としてゲームの使用, シミュレーション&ゲーミング学会誌 13(1), 108-109
4. 飯田弘之 (2005). ゲーム情報学, シミュレーション&ゲーミング学会誌 15(1), 78-79

特 許

特願 2004-122212 「選抜システム」

特願 2004-358672 「順位決定システム」

表彰など

2004年5月 14th 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 15th 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 10th Computer Olympiad（台湾）将棋部門でタコス優勝（金メダル）