

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：13302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540189

研究課題名(和文) 詰め将棋の美観評価と創作アルゴリズム

研究課題名(英文) Composition algorithm of mating problems and its aesthetics assessment

研究代表者

飯田 弘之 (IIDA, HIROYUKI)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：80281723

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は詰将棋を題材としてコンピュータによる自動創作とその美観評価を探求した。深層証明数探索アルゴリズムを考案し、証明数を用いた詰将棋の感性評価実験を実施した結果、問題の難易度が評価に大きな影響を与えていることをつきとめた。美観評価の高い問題の自動創作に際して、名作と呼ばれる詰将棋の初期局面を形状保持するヒューリスティックを考案し、評価実験により提案手法の有効性を示した。感性評価の新たな方法としてゲーム洗練度の指標を用い、パズルや思考ゲーム等を対象とした評価実験の結果、長い歴史の中で洗練されいままなお親しまれているゲームやパズルは、ゲーム洗練度の値がほぼ同じであることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This study explores the automatic composition of mating problems in shogi and its aesthetics assessment. It proposes a new search algorithm called Deep df-pn (Deep depth-first proof-number search) and proof numbers were employed for the assessment of mating problems composed. It also proposes a new search heuristics called shape keeping heuristics that uses the same shape with the initial position of master-piece problems. The idea was incorporated into our mating composition system to produce new mating problems with high quality aesthetics. Moreover, a measurement of game refinement was used to evaluate single-agent puzzles and various games. It is confirmed that sophisticated puzzles and games have the same or similar value of game refinement, by which people can deeply enjoy such puzzles and games.

研究分野：ゲーム情報学

キーワード：詰将棋 美観 証明数探索 深層証明数探索 創作

### 1. 研究開始当初の背景

証明数を用いた AND/OR 木探索アルゴリズムが将棋を題材として国内で革新的発展を遂げた。最大の要因は、最良優先型の証明数探索 (Allis 1994) を深さ優先型の証明数探索 (Seo et al. 2001) として実装した手法にある。さらに、研究代表者ら (Ishitobi and Iida 2013) は問題の複雑さを示す証明数と初期局面の形の開放度を考慮することで、より洗練された詰め問題を創作する手法を提案した。Noshita (1996) は無駄駒のない簡素な問題へと変換させる操作を繰り返す創作アルゴリズムを提案し、短手数での詰め将棋作品の創作を試みた。この方式ではランダムに発生させた初期局面からスタートするのに対し、広瀬ら (1998) は詰め上がりの局面から逆算することで曲詰めと呼ばれる趣向を重視した作品の創作を試みた。また、研究代表者ら (Watanabe et al. 2000) は Noshita と広瀬らのアイデアを融合することで様々なタイプの問題を柔軟に創作できることを示した。一方、小山ら (1994) は詰め将棋作品のコンテストを題材としてアンケート調査を実施し、作品のどの要因が評価を高めているかについての感性評価を試みた。そして、詰め上がり局面での王の自由度 (開放感) が大きなウエートを占めていることを指摘した。これは詰め将棋の証明数の値が大きくなることの副次的効果である (Ishitobi and Iida 2013)。

### 2. 研究の目的

本研究では 1990 年代に証明数を用いた AND/OR 木探索アルゴリズムが将棋を題材として革新的発展を遂げたように、詰め将棋の創作を題材として、(1) 美観評価の確立、(2) 洗練された作品の創作、(3) 長手順作品の創作といったグランドチャレンジに挑戦する。証明数に現れる作品の持つ複雑さとそれを可能にする初期局面の形と開放度が作品の美観を高めるといふ専門家の経験則を基に、評価の高い受賞作品群の初期局面を網羅的に分析し、美観評価法および洗練された作品の創作アルゴリズムを開発する。そして、長手順作品の創作へと展開する。作品の美観評価は囲碁・将棋等での適切な投了時機の判断へと応用可能である。こうして、ゲーム情報学分野と芸術的分野あるいは独創性理解の学際領域としての新たな研究分野の開拓を目指す。

### 3. 研究の方法

証明数を用いた AND/OR 木探索の探索中に得られる証明数・反証数が対象問題の複雑さの指標になることに着目し、数多くの詰将棋問題からデータを収集し、その関係性を分析する。また、ミニマックス値の安定性を表す指標である共謀数の時間推移にし、対象棋譜の美観すなわち名局判定に有効であることを検証する。詰将棋の創作では、詰問題に

おけるエキスパートの感性を取り込む新たなヒューリスティックを検討し、芸術性の高い作品が作れることを検証する。そして、長手順の問題の創作を試みる。

### 4. 研究成果

本研究は、詰め将棋を題材として、美観評価、洗練された作品の創作、長手順作品の創作といった当該分野のグランドチャレンジに挑戦する取り組みである。コンピュータにとっての詰め将棋創作過程では詰め問題の候補となる局面での詰め判定を高速に処理しなければならない。証明数探索は解探索の最強ソルバーとして知られる。しかし、「シーソー効果」から生じる探索効率化の脆弱性が未解決問題である。本研究はその欠点を克服する新たな探索アルゴリズム「深層証明数探索」を考案した。また、その探索の性能が従来よりも優れていることをオセロおよびヘックスを題材として実証した。証明数探索から得られる指標としての証明数・反証数に現れる作品の持つ複雑さとそれを可能にする初期局面の形と詰め上がり局面での王の開放度が作品の美観を高めるといふ専門家の経験則を基に、評価の高い受賞作品群の初期局面を網羅的に分析し、美観評価法および洗練された作品の創作アルゴリズムの開発を進めた。詰問題におけるエキスパートの感性を取り込む新たなヒューリスティック (shape keeping heuristic) を考案し、それを洗練する工夫を実装することで、難易度の高いしかも洗練された詰将棋を創作することに成功した。また、現在局面の評価値と探索先読み中に現れる葉局面群の評価値との間の相関に着目することで、局面の難易度を推定する方法を考案し、難易度の高い局面の持続という観点から名局の判定を行った。さらに、作品の美観評価の考え方を適切な投了時機の判断へと応用可能であることを示した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 7 件)

- [J1] C. Panumate, H. Iida, R. Takahashi (2017). An Analysis of Sports using Game Refinement Measure, ODISHA Journal of Social Science, 4(1):4-48. 査読有
- [J2] N. M. Diah, A. P. Sutiono, L. Zuo, N. Nossal, H. Iida, N. A. M. Zin (2016). Expansion of Game Refinement Theory into Continuous Movement Games: A Comparison of Two Video Games, WSEAS Transactions on Information Science and Applications, 13, 126-133 査読有
- [J3] A.P.Sutiono, R. Ramadan, P. Jarukasetporn, J. Takeuchi, A. Purwarianti, H. Iida (2015). A Mathematical Model of Game Refinement and Its Applications to Sports Games, EAI

- Endorsed Transactions on Creative Technologies , 15(5):1-7 査読有
- [J4] S. Xiong, H. Zahi, L. Zuo and H. Iida (2015). Analysis of the "Heroes of the Storm" , International Journal Advances in Computer Science , 4(6):79-82 査読有
- [J5] H. X. Vinh, P. Chetprayoon, J.C. Terrillon and H.Iida (2015). Deciphering the Entertaining Impact of Pokemon, International Journal of Engineering Research and Management, 2(11):83-90 査読有
- [J6] S. Xiong and H. Iida (2015). Attractiveness of Real Time Strategy Games, Computer Science and Information Systems, 12(4):1217-1234 査読有
- [J7] A. Takeuchi, M. Unoki and H. Iida (2015). An Approach to Estimating Decision Complexity for Better Understanding Playing Patterns of Masters, Applied Computing and Information Technology, Studies in Computational Intelligence , 619 , 113-126 査読有
- [学会発表](計 47 件)
- [C1] H-L. Trieu, H. Iida, N. P. H. Bao and L-M. Nguyen (2017). Towards Developing Dialogue Systems with Fascinating Conversations, the 9th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2017) , 2 , 511-518 , 2017/02/24, Porto, Portugal
- [C2] P. Anunpattana, P. Chetprayoon and H.Iida (2016). Finding Comfortable Settings of Snake Game using Game Refinement Measurement , Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing, Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer ,421 ,66-73 , 2016/12/19 Bangkok, Thailand
- [C3] D. Huynh, L. Zuo and H.Iida (2016). Analyzing Gamification of "Duolingo" with focus on Its Course Structure, The Games and Learning Alliance conference (GALA), pages 268-277. 2016/12/07, Utrecht, the Netherlands
- [C4] S. Kananat, J.-C. Terrillon and H. Iida (2016). Gamification and Scrabble, The Games and Learning Alliance conference (GALA) , 2016/12/07, Utrecht, the Netherlands
- [C5] S. Xiong, Y. Peng, H. Iida and N. AbuBakar (2016). An Approach to Entertainment Tuning in RPGs: Case Study Using Diablo III and Trails of Cold Steel , The Games and Learning Alliance conference (GALA), 2016/12/07, Utrecht, the Netherlands
- [C6] C. Panumate, Y. Miyake and H. Iida (2016). A Generic Model for Emotional AI in Real-time Multiplayer Fighting Games, The Games and Learning Alliance conference (GALA 2016) , 2016/12/07 Utrecht, the Netherlands
- [C7] C. Panumate, J.-C. Terrillon and H. Iida (2016). A Game Informatical Analysis of RoShamBo, The 2016 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2016) , 2016/11/25, 中華民国新竹市
- [C8] C. Panumate and H. Iida (2016). Quantifying Enjoyment of Individual Match in Games, 2016 The Annual Conference on Engineering and Applied Science (ACEAT 2016) ,2016/11/23, 京都国際会議場, 京都府京都市
- [C9] M. Wu, S. Xiong, H. Iida (2016). Fairness Mechanism in Multiplayer Online Battle Arena Games, the 2016 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2016), 2016/11/19, Shanghai, China
- [C10] S. Xiong, L. Yang, N. A. M. Zin, H. Iida (2016). Mathematical Model of Ranking Accuracy and Popularity Promotion , The 2016 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2016) , 2016/11/19, Shanghai, China
- [C11] Z. Song, H. Iida and J. v. d. Herik (2016). Deep df-pn and Its Application to Connect6, The 21st Game Programming Workshop , 6-12 , 2016/11/04, 箱根セミナーハウス, 神奈川県仙石原
- [C12] S. Xiong, P. P. Tiwary and H. Iida (2016). Solving the Sophistication-Population Paradox of Game Refinement Theory, Entertainment Computing (ICEC2016), Lecture Notes in Computer Science, Springer , 9926 , pages 266-271. 2016/09/28, Wien, Austria
- [C13] P. Prasertsakul, H. Iida, T. Kondo (2016). Boring Game Identification: case study using popular sports games, The SICE Annual Conference 2016, Society of Instrument and Control Engineers (SICE), 2016/09/20, 筑波大学, 茨城県筑波市
- [C14] C. Panumate and H.Iida (2016). Developing Pokemon AI for Finding Comfortable Settings , Proceedings of 2016 Summer Conference, Digital Games Research Association JAPAN ,168-171 ,2016/08/06 東京工芸大学, 東京都中野区
- [C15] C.Panumate. H.Iida (2016). Finding Comfortable Settings of Video Games - Using Game Refinement Measure in Pokemon Battle AI , 情報処理学会第 36 回ゲーム情報学・第 41 回エンタテインメントコンピューティング合同研究発表会 ,2016-GI-36 ,6 ,1-7 , 2016/08/04, サン・リフレ函館, 北海道函館市
- [C16] K. Yuranana, C. Panumate, H. Iida, and K. Tanaka (2016). Measuring Sophistication of Sports Games: The First Result from Baseball , 情報処理学会 第 36 回ゲーム情報学・第 41 回エンタテインメントコンピューティング合同研究発表会 ,2016-GI-36 ,4 ,1-7 , 2016/08/05, サン・リフレ函館, 北海道函館市

- [C17] T.A.Dinh, C.Panumate and H.Iida (2016). Attractiveness of Tennis Over Conservative Rule Systems, The 2016 International Conference on Information and Social Science (ISS 2016), 2016/6/24, 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市
- [C18] Q. Vu, T. Ishitobi, J-C Terrillon and H. Iida (2016). Using Conspiracy Numbers for Improving Move Selection in Minimax Game-Tree Search, the 8th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2016) , 2 , 400-406 , 2016/02/25, Lisbon, Portugal
- [C19] S. Agarwal, R.RAM and H.Iida (2016). Measuring Force of Game Information in the Brain: Linking game refinement theory and neuroscience, 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST) , 291-294, 2016/02/05, Chiangmai, Thailand
- [C20] C.Panumate, H.Iida and A.B.Nordin (2016). Measuring the Excitement in Boxing Game with Game Refinement Theory , 2016 International Conference on Hospitality, Leisure, Sports, and Tourism (HLST 2016) , 2016/01/19, Bangkok, Thailand
- [C21] C. Panumate, S. Xiong, H. Iida and T. Kondo (2015). Evolutionary Changes of Pokemon Game: A Case Study with Focus On Catching Pokemon, 14th International Conference on Entertainment Computing - ICEC 2015, Lecture Notes in Computer Science , 9353 , 182-194 , 2015/09/29, Trondheim, Norway
- [C22] H.Iida (2015). What computer can do and cannot do in game playing, 10th India-Japan Bilateral Conference (BICON-2015) - Expansion, Impact and Challenge of IT & CS , 1 , 28-29 , 2015/09/20, Jaipur, India
- [C23] N. A. M. Zin, S. Y. Banihashem, S. M. Daud, S. N. H. S. Abdulah and H. Iida (2015). Malay Computer-Aided Speech Therapy using Audio-Fingerprint and Visualization, the 5th International Conference on Computing and Informatics , 216-222 , 2015/08/24, Kuala Lumpur, Malaysia
- [C24] N. M. Diah, N. A. M. Zin and H. Iida (2015). Real-time feedback for Jawi characters tracing activity, International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 121-125 ,2015/08/10, Kuala Lumpur, Malaysia
- [C25] P. Chetprayoon, S. Xiong and H. Iida (2015). An Approach to Quantifying Pokemon's Entertainment Impact with focus on Battle, 3rd International Conference on Applied Computing & Information Technology (ACIT2015), 60-66, 2015/07/12 岡山大学, 岡山県倉敷市
- [C26] A. Takeuchi, Masashi Unoki and H. Iida (2015). An Approach to Estimating Decision Complexity for Better Understanding Playing Patterns of Masters, 3rd International Conference on Applied Computing & Information Technology (ACIT2015), 2015/07/12 岡山大学, 岡山県倉敷市
- [C27] Y. Sato, H. Iida and J. van den Herik (2015). Transfer Learning by Inductive Logic Programming , 14th International Conference on Advances in Computer Games (ACG 2015), Revised Selected Papers, Lecture Notes in Computer Science ,9525 ,223-234 ,2015/07/02 Leiden, the Netherlands
- [C28] T. Ishitobi, A. Plaat, H. Iida and J. van den Herik (2015). Reducing the Seesaw Effect with Deep Proof Number Search, 14th International Conference Advances in Computer Games 2015, Lecture Notes in Computer Science , 9525, 185-197, 2015/07/01 Leiden, the Netherlands
- [C29] N. M. Diah, A. P. Sutiono, L. Zuo, N. Nossal, H. Iida, N. M. Zin (2015). Quantifying Engagement of Video Games: Pac-Man and DotA, 17th International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE-15), Recent Advances in Mathematical and Computational Methods, 49-55, 2015/04/23, Kuala Lumpur, Malaysia
- [C30] A. Ramadhan, H. Iida and N. U. Maulidevi (2015). Game Refinement Theory and Multiplayer Games: Case Study Using UNO , The Seventh International Conference on Information, Process, and Knowledge Management , 119-125 , 2015/02/22, Lisbon, Portugal
- [C31] R. Chiewvanichakorn, N. Nossal and H. Iida (2015). Game refinement model with consideration on playing cost: A case study using crane games, 7th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), 87-92, 2015/01/28-31, Chon Buri, Thailand
- [C32] S. A. Abuluaih, A. H. Mohamed, M. Annamalai and H.Iida (2015). Reordering Variables using “Contribution Number” Strategy to Neutralize Sudoku Sets, ICAART2015 - 7th International Conference on Agents and Artificial Intelligence , 2 , 325-333 , 2015/01/10, Lisbon, Portugal
- [C33] M. N. A. Khalid, E. M. Ang, U. K. Yusof, H.Iida, and T. Ishitobi (2015). Identifying Critical Positions Based on Conspiracy Numbers , Lecture Notes in Computer Science, Springer, from 7th International Conference, ICAART 2015, 2015/01/10, Lisbon, Portugal
- [C34] C.Bhargav, S. Xiong, H. Iida (2015). Game Refinement and Utility-Fun Function: Application to Card Games , The 20th Game Programming Workshop 2015, IPSJ ,132-135 , 2015/10/30, 軽井沢学習研修所, 長野県軽井

沢

- [C35] N. M. Diah, A. P. Sutiono, L. Zuo, N. Nossal, H.Iida, N. Mat Zin (2015). Quantifying Engagement of Video Games: Pac-Man and DotA , *17th International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE '15)* 2015/04/23-25, Kuala Lumpur, Malaysia
- [C36] Chiewvanichakorn, R. Nossal, N. H.Iida (2015). Game refinement model with consideration on playing cost: A case study using crane games , *7th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)* , 87-92. 2015/01/28-31, Chonburi, Thailand
- [C37] A. Ramadhan, H. Iida, N. U. Maulidevi (2015). Game Refinement Theory and Multiplayer Games: Case Study Using UNO , *The Seventh International Conference on Information, Process, and Knowledge Management* , 119-125. 2015/02/22, Lisbon, Portugal
- [C38] M. N. A. Khalid, U. K. Yusof, H. Iida and T. Ishitobi (2015). Critical Position Identification in Games and Its Application to Speculative Play , *ICAART2015 (7th International Conference on Agents and Artificial Intelligence) 2* , 38-45. 2015/01/10, Portugal, Lisbon
- [C39] S. A. Abuluaih, A. H. Mohamed, M. Annamalai and H. Iida (2015). Ordering Variables Using “Contribution Number” Strategy to Neutralize Sudoku Sets , *ICAART2015 (7th International Conference on Agents and Artificial Intelligence) 2* , 325-333. 2015/01/10, Portugal, Lisbon
- [C40] A. P. Sutiono, A. Purwarianti and H. Iida (2014). A Mathematical Model of Game Refinement, *INTETAIN2014 (6th International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment)*, LNICST , 136 , 148-151. 2014/07/10, Chicago, United States
- [C41] S. Xiong and H.Iida (2014). Attractiveness of Real Time Strategy Games, *International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2014)*, 264-269. 2014/11/15-17, Shanghai, China
- [C42] S. Xiong, L. Zuo, R. Chiewvanichakorn and H. Iida (2014). Quantifying Engagement of Various Games, *The 19th Game Programming Workshop 2014* , 101-106 2014/11/7-9, 箱根セミナーハウス, 箱根町, 神奈川県
- [C43] H.Iida (2014). Computer Games, Entertainment and Intelligence, *BICON-2014 (The 9<sup>th</sup> Biyani's International Conference)* 2014/10/12-17, Jaipur, India
- [C44] S. Xiong, L. Zuo and H. Iida (2014). Quantifying Engagement of Electronic Sports

- Game , *Advances in Social and Behavioral Sciences* ,5 ,37-42. 2014/12/10, Beijing, China
- [C45] N. Nossal and H. Iida (2014). Game Refinement Theory and Its Application to Score Limit Games , *IEEE Games Media Entertainment (GEM 2014)* , 1-3. 2014/10/22-24, Toronto, Canada
- [C46] J. Takeuchi, R. Ramadan, H. Iida (2014). Game-Refinement Theory and Its Application to Volleyball , *IPSJ-SIG Technical Report* , 2014-GI-31 , 3, 1-6. 2014/03/17, Tokyo University of Technology, Hachioji, Tokyo
- [C47] H.Iida (2014) Game theory - Paradigm shift from winning strategy to designing strategy, *Asean-Japan Workshop on Informatics Science and Technology*. 2014/06/11, UKM, Bangi, Malaysia

〔図書〕(計 2 件)

- [B1] A. Plaat, J. van den Herik, H. Iida (2014). *Computers and Games*, LNCS 8427 ,Springer , 250 pages
- [B2] T. Cazenave, M. Winnands, H. Iida (2014). *Communications in Computer and Information Science 408* , Springer, 133 pages

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.jaist.ac.jp/profiles/info.php?p?profile\\_id=00429](http://www.jaist.ac.jp/profiles/info.php?p?profile_id=00429)

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

飯田 弘之 ( IIDA HIROYUKI )

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号 : 80281723

### (2)研究分担者

該当なし