

# 認知アーキテクチャによる

## 制約に従った整列可能な将棋モデルの構築

### Alignable Shogi Models Subject to Constraints by Cognitive Architecture

村松希実也<sup>1</sup> 森田純哉<sup>2</sup>

Kimiya Muramatsu<sup>1</sup>, and Junya Morita<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学情報学部

<sup>1</sup>Shizuoka University Faculty of Informatics

<sup>2</sup> 静岡大学大学院情報学領域

<sup>2</sup> Shizuoka University

**Abstract:** 高度化する人工知能に対し、性能を向上させるだけでなく、人間と同等の個性やバイアスを持たせるための検討が進められている。本研究では、こういった人間と整列可能なインタラクティブシステムを、心理学・神経科学の知見にもとづく認知アーキテクチャを利用することで達成することを目指す。具体的には代表的な認知アーキテクチャである ACT-R が有する視野や記憶の機能を制約とし、人間の有する認知的特性を反映させた将棋モデルを構築する。

## 1. はじめに

近年の人工知能の発展を反映し、精確さや柔軟な人とのインタラクション可能にするエージェントの開発が進められている。それらは人間社会に溶け込み、人と同様の役割を担うことを期待されている。しかし、人工知能が高度化し、その自律性が高まるに従い、内部の判断過程を透明化することが課題となっている。

人に近い動きの実現を目標とするシステムの中にも、動きのみを人間に寄せたものと、思考のプロセスや制約などに人間的な特徴を取り込むことを狙うものの二種類が考えられる。人とのインタラクションや交流を行うという観点でシステムを設計するとき、後者の人と近い内部機構を持つエージェントは、人間に対する説明可能性や解釈可能性の点で優位となると考える。そして、こういった説明可能性・解釈可能性を担保することで、エージェントと人間の間での信頼関係が導かれると考えられる。

本研究では人とエージェントがインタラクションする場面として、日本ではメジャーなボードゲームである将棋を取り上げる。将棋はよく定義されたボードゲームであり、モデルを開発するためのライブラリやデータセットが豊富である。本研究では、このゲームをプレイするエージェントに、人に近い制約を持たせる。そのうえで、そのモデルの説明可能性や解釈可能性を議論する。より具体的には、

本研究は、モデル構築の制約として、心理学・神経科学に基づく認知アーキテクチャを利用する。認知アーキテクチャ上での将棋のモデルを提示することで、人間との対応、すなわち説明可能性・解釈可能性を議論する。

## 2. 関連研究

本節では、まず関連研究として将棋を始めとするボードゲームを用いた人間の認知的特性に関わる研究をレビューする。その後、人間の認知特性をシミュレーションするための手法をレビューする。

### 2.1 ボードゲームにおける人間の認知機能

過去の認知科学において、ボードゲームを対象とした研究は多く行われている。その中でも、チェスを対象とした研究は、過去に盛んに行われてきた。代表的な知見として、上級者は盤面把握をごく短い時間で完了し、その盤面を事後的に再現することができるが示されている[2,3,4]。このような盤面把握能力は上級者の膨大な経験に基づいている。上級者は自身の経験をもとに、盤面を意味ある単位に分割した多くの「チャンク」を長期記憶として保存しているとされる。ここでいうチャンクは、2個から5個の関係づけられた駒からなる小さな纏まりであり、上級者であるほどこの纏まりは多くの駒を含むとされる。長期記憶内のチャンクと現在の盤面を

対応づけることにより、盤面が意味づけられ、現在の盤面と関連する事例の想起が達成されると考えられる。

## 2.2 認知アーキテクチャと認知モデル

2.1 に示したような人間の熟達度に応じた認知特性を計算機上に表現するために、計算機上に認知モデルが開発される。Simon [5] による古典的なチェスのモデルでは、上記のようなボードゲームに関する代表的な記憶特性に加え、知覚や思考に関わる特性に関してもモデル化の対象となった。そこでは例えば、知覚における人間的特性として、知識構造に基づく視覚探索のパターンが扱われた。あるいは盤面に対する注意にもとづく情報のコーディングがなされた。さらに、盤面の知覚から記憶を検索し、手を決定するまでの時間についてのシミュレーションもなされた。

上記で述べたような複数の人間的な機能（知覚・記憶・思考）を計算機モデルに取り入れるために、認知アーキテクチャと呼ばれるフレームワークが用いられることが一般的となっている [6,7]。認知アーキテクチャとは、個別の課題において認知モデルを構築するための統一的なフレームワークである。一般的な認知機能をもとに、特定の課題に関連するモデルを開発するための基盤を提供する。これにより、さまざまな認知機能が統合され、異なる認知のプロセス間の相互作用を検討することが可能になる。認知アーキテクチャの機能を利用したモデリングは、一般的なプログラミングに比べ、人間的特性を考慮し、モデルの特性として組み込むことが人間らしい AI の作成において有用な手段であると考えられる。

## 3. 認知モデルに基づく AI の設計

2 節における議論から、本研究では、人間の特性を与えるための方法として認知アーキテクチャを用いる。そのなかでも特に、過去に最も多くの研究で採用されてきたとされる ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational [1]) 用いたモデルの構築を行う。

### 3.1 ACT-R

ACT-R の構造は図 1 に示す通りであり、外界の情報を入出力するためのモジュール群 (Vision, Aural, Motor, Speech), 内的な処理を担うモジュール群 (Imaginal, Goal, Declarative), さらにモジュール間を結合する Procedural モジュールから構成される。本節にて、将棋のモデルにおけるこれらのモジュール

の役割を述べる。

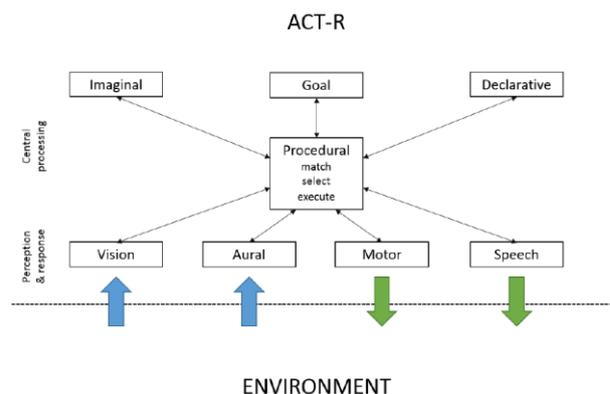


図 1 : ACT-R のモジュール

#### 3.1.1 Visual モジュール

ACT-R は、視覚的注意の遷移を再現する Visual モジュールを持つ。このモジュールを利用することで、空間的な近接性に基づく注意の遷移が実現される。このような注意は、従来の CNN (Convolutional Neural Network) の畳み込みとは異なる情報の取得を実現する。すなわち、Simon [5] によって示された視覚的注意に従う系列的な盤面情報の取り込みを行うことが可能となる。

特に ACT-R では、注意を向けた駒の近くにある駒に視点を遷移させる近傍探索と、まったく異なり注意を向けていなかった駒に注意を向けるランダム探索という 2 種類の視線遷移の方法を実装している。これらの手法を用いることで、熟達度や局面に応じた人間の振る舞いを再現することを狙う。

#### 3.1.2 Imaginal モジュール

Visual モジュールを用いて取得した視覚的情報は一時的な記憶を行う Imaginal モジュールに保存される。Imaginal モジュールは、内的なイメージを構成し保持するための短期的な記憶のバッファである。将棋の対局において、ここに蓄えられた盤面のイメージは、ACT-R による記憶検索の文脈として機能する。この仕組みは、活性化拡散と呼ばれる。Imaginal モジュール内で意識された情報は、活性と呼ばれるスカラー値をもち、その値が記憶内に含まれる項目の活性に影響すると考える。そして、高い活性を受けた記憶ほど、その場面で検索されやすくなる。

#### 3.1.3 Declarative モジュール

ACT-R において、記憶は、Declarative モジュールに蓄えられる。Declarative モジュール内の記憶は、2.1 で述べたようなチャンクと呼ばれる単位で保持

される。そして、それらのチャンクは先述のように活性をもつ。将棋の場面では、過去の対局の盤面に関する情報がチャンクとして Declarative モジュールに保持され、状況に応じて検索され、手を決めるために利用されると考える。本研究では、記憶としてインターネット上から入手できる棋譜データ(KIFファイル)を用いてモデルの記憶を構築した。取り込ませる棋譜データに偏りを生じさせることによって、本研究のモデルの動きが変化し、多様な個人の特性を再現することができると考えている。

### 3.2 モデル

上記の ACT-R のモジュールを利用することで、現在の盤面から記憶の検索を介して盤面の手を決定するモデルを構築した。このモデルは、図 2 のように大きく分けて 2 つのステップを有している。1 つ目は Visual モジュールを利用した盤面の探索である。盤面上の一つひとつの駒に注意が向けられ、その情報が Imaginal モジュールに格納される。一つの駒の処理が終了するごとに、盤面の探索を継続するか否かの判断がなされる。この判断は、それぞれの選択肢に付与される効用値と呼ばれるパラメータを比較することで行われる。盤面の探索を継続する選択肢がとられた場合は、次の判断の際に利用される効用値が減少する。これを継続することで、時間が経過するに従い、次のステップに進む選択肢がとられる確率が上昇する。つまり、このモデルでは、探索を継続する選択肢の効用値を変動させることにより、探索にかかる時間の長さを調整できる。

このモデルにおける 2 つ目のステップは記憶の想起である。ACT-R の Declarative モジュール内に格納された過去の対局の盤面に関する情報が読みだされる。この際、Imaginal モジュールに格納されている探索済みの盤面が利用され、現在の盤面に近い記憶の想起が行われる。そのため、Imaginal モジュールにある盤面情報が多ければより近い盤面が想起され、少ない場合は現在の盤面と離れた盤面を想起する。

モデルの最後のステップにおいて、想起された記憶を用いた手の選択の可否が判断される。可能であると判断した場合はその手が実行される。記憶をそのまま適用できない場合（移動先に自分の駒があるなど）、1 つ目のステップあるいは 2 つ目のステップに戻り、再度、盤面の探索や記憶の想起が行われる。この際に戻るステップの決定はランダムになされる。

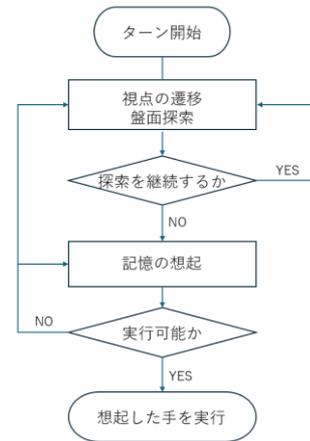


図 2: モデルの動作チャート

## 4. シミュレーション

前節で示したモデルの挙動を確認するシミュレーションを実施した。特に今回のシミュレーションでは、盤面探索の長さに応じた行動の変化を検証する。先述のように盤面探索の継続は、選択肢に付与された効用値の設定によって変化する。探索を継続する行動の効用値を高く設定したときは、低く設定したときよりも探索が長く継続し、精確な盤面把握に基づく記憶の想起がなされると考える。この前提を検証するために、探索を継続する選択肢の効用値が異なるモデルを用意し、想起される記憶や行動を比較する。

### 4.1 手続き

3 節のモデル 2 体用意し、2 体が交互に手を 5 回交換した。両者のモデルは、共通の棋譜データ（一対局分）を Declarative モジュール内に格納する。シミュレーション条件として、盤面探索の継続に関わる効用値の高い条件 ( $u=15$ ) と低い条件 ( $u=5$ ) を設定した。これ以外のパラメータは以下のように設定された。

- 想起に影響する瞬間ノイズ:ans=0.01
- 活性化拡散に影響をする連想強度:mas=30
- 効用値に付与されるノイズ:egs=0.2
- 想起した記憶を保持する finst=20
- 注意を向けた視覚情報を保持する finst=15
- 探索から想起に移行する効用値:u=5.

### 4.2 結果と考察

図 3 は、各条件 50 回のシミュレーションの実行結果をまとめたものである。図の横軸は、モデルの

Declarative モジュールに格納された棋譜データの指し手の順を示し、縦軸に 50 回のシミュレーションの中で利用された頻度を示している。

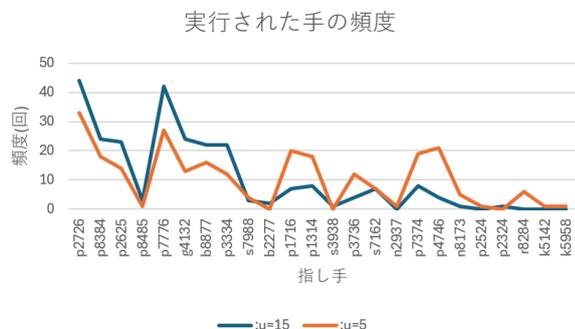


図 3 : シミュレーション結果

今回のシミュレーションは、将棋の初期配置の状態から 2 体のモデルによる 5 手の交換が実行された。この設定により、Declarative モジュールに格納された序盤の手がより多く想起されることが予想される。本研究において設定された 2 つのモデルは実際にこの予想と合致する傾向を示している。特に、2 つのモデルを比較すると、盤面探索を継続させる効用値が高いモデル (:u=15) は低いモデル (:u=5) に比べ、この傾向が顕著なことがわかる。この結果より、盤面の探索に時間を費やすことで、より正確な盤面の記憶に基づく手の選択がなされることが確かめられた。

## 5. まとめ

本稿では、人間が有する制約を組み入れた将棋モデルを構築するため、ACT-R が有する視野や記憶の機能の活用を試みた。具体的には、視点遷移による探索と、探索結果を反映する記憶の想起を組み合わせたモデルを構築した。そしてこのモデルを用いたシミュレーションにより、盤面の探索の長さに応じて、想起の正確さが変化するという結果を得た。このようなモデルの挙動は、将棋の対局における長考や早指しなどの行動と対応すると考えられる。重要なことは、本研究において観察されたこれらの挙動が説明可能で解釈可能な認知アーキテクチャから導かれたことである。このことは今後発展していく人工知能を人間にとって自然なものとしていくための重要な示唆を示していると考えられる。

なお、今回は初期状態から 5 手という限られたシミュレーションを行った。そのため、実行可能な指し手が少ないという限界があった。現実には、対局が進展することにより、実行可能な指し手の選択肢が増大すると考えられる。そのような複雑性を捉えるために、今後、より長期にわたる対局、あるいはより多くの記憶を有するモデルを用いたシミュレーションを実行することが求められる。

## 参考文献

- [1] John R. Anderson: How can the human mind occur in the physical universe? Oxford University Press (2007).
- [2] Herbert A. Simon: The Science of the Artificial(1969)
- [3] 伊藤毅士,松原仁,ライエルグリンベルゲン:将棋の認知科学研究(1)-記憶実験からの考察,情報処理学会論文誌,Vol.43, No.10, pp.2998-3011(2002)
- [4] 松原仁,伊藤毅士:将棋の局面の記憶に関する認知科学研究(2), 第 61 回全国大会講演論文集, Vol.2000, No.1, pp.37-38(2000)
- [5] Herbert A. Simon and William G. Chase: Skill in Chess, American Scientist, Vol. 61, 394-403.
- [6] Allen Newell: Unified theories of cognition. Harvard University Press, 1994.
- [7] Iuliia Kotseruba and John K. Tsotsos. "40 years of cognitive architectures: core cognitive abilities and practical applications." Artificial Intelligence Review 53.1 (2020): 17-94.