

ゲームにおけるヒューマンエラー —将棋における考察—

伊藤毅志^{†1} 杵渕哲彦^{†1} 藤井叙人^{†2}

人間はゲームをプレイするときにミスをする。人間がプレイするゲームでは、ミスを犯すことが織り込み済みであると言える。本報告では、ゲームにおけるヒューマンエラー（ミス）を分類し、その認知的なメカニズムのモデルを提案し、将棋を題材に検証を試みる。

Human Error in Playing Games - In case of Shogi -

TAKESHI ITO^{†1} TETSUHIKO KINEBUCHI^{†2} NOBUTO FUJII^{†3}

Human makes mistakes in playing games. In the games human plays, it can be said that making mistakes is a precondition. In this report, we will classify the human error (mistake) and propose the cognitive model. We will discuss the mistakes in playing shogi by using this model.

1. はじめに

人はエラーを犯す生き物である。様々なゲームにおいて、プレイヤーとしての人間の犯すエラーはドラマを生むばかりか、それ自体がゲームとしての面白さを表出している。別の見方をすれば、人間のプレイするゲームにおいて人間がエラーをすることは織り込み済みであり、それがゲームをゲームたらしめているとも言える。

コンピュータにゲームをプレイさせることを目的とするゲーム AI は、その AI の能力が人間の能力に及ばない内は一種の弱いプレイヤーとして扱われるが、人間を上回る能力を持つようになると、このゲームの面白さを壊す要因の一つになりかねない。人類が及び得ないパフォーマンスを示されることで、ゲーム自体に対する興味は奪われる危険性がある。特に対戦相手としての AI を考える上では、コンピュータに不確実性があることは重要な前提の一つである。飯田らは、ゲームの面白さの指標として $\sqrt{B/D}$ を提唱し、ゲーム場における知の力学として、シーソーゲームの観点からゲームの洗練性について議論しているが、その前提となっているものも人間の持つ不確実性（不完全性）である [1][2]。

人間の能力を上回る AI が対戦の面白さを奪ってしまう一例としては、デジタルゲームの Bot における超反応が挙げられる。例えば、FPS (First Person Shooter) において、人間では絶対に真似出来ないような超高速で正確に「狙いづけ」たり、「早撃ち」をしたりすること、対戦相手の人間にとってはゲームの根幹を揺るがしかねないプレイである。

ゲームでは、人間がプレイすることが前提で作られたルールがあり、それを覆す技術が導入されることでゲームバランスが崩れる。東大石川研究室が開発した「100%勝つ後出しじゃんけんロボット」はその顕著な一例である [3]。

じゃんけんというゲームは、人間同士で行う場合、「じゃんけんぽん」や「最初はグー…」などの掛け声とともに、同時に手の形を変え「グウ、チョキ、パー」とのいずれかを提示し、勝敗を決めるというルールがある。このゲームでは、手を出すタイミングの同時性が重要な意味を持ち、人間が認識しうる範囲での同時性が保たれていれば、ゲームとして成立する。しかし、上述のロボットは、人間の手の形を超高速に認識し、ロボットハンドの形状を変化させ、わずか 0.02 秒という速さで必ず勝つ手の形を作り出す。人間の目から見ると、0.02 秒という速度は同時性を認識しうる限界であり、ほとんど同時に手を出していると認識されるために、ゲームが成立していると判断され、結果として「100%の勝率」が実現される。

しかし、厳密には、0.02 秒の後出しじゃんけんを行っているので、ロボット側はルール上反則をおこなっていることになるのであるが、人間の「同時」という認識の限界を超える速度で反則を行っているために、ゲームとしては成立してしまう。このゲームにおいて、同時性を判断するのが人間である限り、それをはるかに上回る処理ができるマシンとのゲームは成立せず、ゲームのバランスは崩れてしまうことになる。このように人間の能力をはるかに超えるマシンは、ゲームのバランスを壊し、人間同士が行っているゲームの面白さを奪ってしまう危険性をはらんでいる。

本研究で対象にする将棋でも、コンピュータは同様のパフォーマンスを見せる。例えば、長手数詰みの詰みを一瞬で読みきった後は、ノータイムで正確に詰ましてしまうといっ

^{†1} 電気通信大学
University of Electro-Communications

^{†2} 関西学院大学
KWANSEI GAKUIN University

たプレイがしばしば見られる。人間同士の対戦では、詰むや詰まざるやの終盤において、安全勝ちを目指すつもりで勝負が長引いて、逆転を許してしまうといったドラマを産むことがあるが、コンピュータとの対戦では「絶対に詰みを間違えない」ということがゲームの面白さの一つを奪っているとも言える。

様々なゲーム AI が人間との対戦において必ずしも満足できるものにならない理由として、この人間らしいエラーをコンピュータが持ち得ないことがひとつの要因になっていることが考えられる。人間らしいエラーをコンピュータに持たせることができれば、ゲームの面白さを損なわず対戦相手となる AI が作れる可能性がある。

本研究では、ゲーム AI に人間らしいエラーを持たせるための基礎研究として、将棋を題材に人間の犯すエラーの詳細な分類を試み、実例をもとに検証していく。

2. 関連研究

信頼性工学の分野において、Reason は、人間のエラーを3つの認知的段階（プランニング、記憶、実行）をもとに分類している。プランニングの段階では、解決に至らないプランを選んでしまうエラー、記憶の段階では、プランの中のステップを錯誤してしまうミス、実行の段階では、行動をし間違えてしまうエラーがあるとしている[3]。

また、小松原は、現実に個人の起こすエラーについて、原因をもとに以下のように分類している[4]。

- 1) 「無理な相談」「できない相談」的なヒューマンエラー
…偶発的接触、人間の能力を超える行為
- 2) 意図しないヒューマンエラー
…錯誤、失念
- 3) 作業に必要な知識や技能の不足
…知識不足、技量不足
- 4) 違反
…初心者の違反、ベテランの違反

信頼性工学の分野では、人間のエラーは、注意力を高めたり、訓練したり、確認やチェックを増やすなどの個人の努力などで完全に回避することができるものではなく、エラーが起こることを前提にその回避方法にウエイトが置かれて議論されている。これらの分類は、本研究の認知モデルの構築のために参考になるが、ゲームで特に重要になると思われる感情的な要因や疲労などによるパフォーマンスの低下についてあまり扱われていない。

ゲームを題材にした人間らしさの研究では、藤井らが疲労や欲求などの生物学的制約を導入することで、マリオ AI の操作に人間らしさを持たせる手法を提案し一定の成功を収めている[5]。このモデルは、エラーの一要因のモデルとして、参考になる。

本研究では、これらの知見をもとに、ゲームにおいて考

慮すべきヒューマンエラーのモデルを提案していく。

3. ゲームにおけるエラー

本研究では、ゲームプレイにおいて、プレイヤーの選択として、最も合理的かつ最善のプレイ以外の行動をすべて「エラー」と定義する。ここでは、この人間のエラーを原因に基づいて図1のように4つに大別する。

<人間の生物学的制約>

- 1) 能力的限界 … 感覚系・運動系の不正確さ、遅延、疲れなど
- 2) 感情的影響 … 恐れ、焦り、後悔、楽観など

<個人の技量不足>

- 1) 技術の不足 … 技量やスキルが足りないためのエラー
- 2) 知識の不足 … 記憶の曖昧さ、理解の不足

<無意識的なエラー>

- 1) 錯誤 … し間違い、思い込み、取り違い、判断ミス
- 2) 失念 … し忘れ、見落とし
- 3) 不注意 … 軽視、手拍子、自動化

<意識的なエラー>

- 1) 違反 … 怠慢、手抜き
- 2) 意図的なエラー … 相手のエラーを誘う、接待

図 1 原因に基づくエラーの分類

Figure 1 A classification of error based on a cause.

まず、1つ目として、人間である以上避けられない生物学的制約として、藤井らの提案した能力的な限界の他に、感情による影響も加えた。2つ目として、プレイヤー個人の技量不足による限界を考慮した。この2つは、プレイヤーにとって避けられない能力的に避けられないエラーであると言える。

残りのエラーは、能力はあるのに犯してしまう過失で、注意することである程度防ぐことが可能であり、これらのエラーを「ミス」と呼ぶことにする。3つ目は、無意識的なエラーで、錯誤、失念、不注意などがこれに当たる。4つ目は、意識的なエラーで、怠慢や手抜きなどの違反や相手のレベルに合わせて接待的にプレイしたり、相手のミスを誘うためにわざと最善ではないプレイをしたりする行為のことである。

これらのエラーは、人間の行動の様々な行為の段階で起こりうる。本報告では、将棋を題材としたゲームプレイ時のエラーを扱うので、ゲームプレイヤーの行動を伊藤が提案した対局者スクリプトをもとに考察していくことにする。伊藤は、将棋などの思考ゲームのプレイヤーの思考過程を図2のような、5つの思考段階からなるとした[6]。それぞれ、「局面認識の段階」「候補手生成の段階」「先読みの段階」「評価の段階」「手の決定の段階」である。これらの思考段階は、プレイヤーの強さに関わらず、初級者以上のプレイヤーで観察されることが知られている。

それぞれの思考の段階で、図1に示すそれぞれのミスが起こる可能性がある。以下では、このスクリプトに沿って、

それぞれのミスについて事例をもとに実際にそのようなミスが起こっているのかを調べていく。

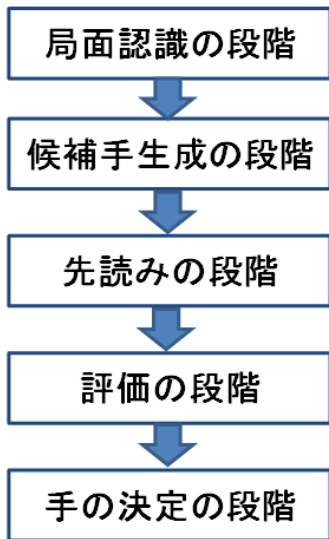


図 2 問題解決スクリプト
Figure 2 Problem solving script.

具体的には、図 3 のように、各思考段階でどのようなエラーが生じているのかを実例をもとに検証していく。

表 1 問題解決段階に対応したエラー

Table 1 Error according to the problem-solving stage.

エラーの分類 対局者 スクリプト	生物学的限界 1) 能力的限界 2) 感情の影響	技量不足 1) 技術不足 2) 知識不足	無意識 1) 錯誤 2) 失念 3) 不注意	意識的 1) 違反 2) 意図的
局面認識の段階				
候補手生成の段階				
先読みの段階				
評価の段階				
手の決定の段階				

4. 実験

4.1 目的

将棋において、人間のプレイヤー本人がエラーと感じる手はどのようなものを抽出する。

4.2 方法

大学将棋部に所属する様々な棋力の大学生 8 名（アマチュア初段から六段程度）に、インターネット将棋道場「将棋倶楽部 24」において、レーティング戦を早指し 2（秒読み 30 秒、猶予持ち時間 1 分）で 2 局以上対局させ、エラ

ーを犯したと感じる箇所とその理由、最善だと考える手を記録させた。各実験協力者に、そのうちエラーの多かった上位 2 局に関して、エラーを犯した箇所での思考についてインタビューを行った。

4.3 事例の列挙

実際に実験協力者が挙げた局面とそのインタビュー内容を列挙し、それぞれのエラーの分析を行ってみる。

<局面 1>

実際に指した手

▲ 5 八金上

↓

局後指摘した手

▲ 4 六歩

【第 62 手 白 5 七角まで】

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
一	皇	飛					飛	皇		一
二			龍			龍	王			二
三	歩					歩	歩	歩		三
四			歩	歩	歩				歩	四
五				歩			歩	歩		五
六			歩		歩			飛		六
七	歩	歩	銀	歩	馬	歩			歩	七
八			玉	金						八
九	香	桂				金		桂	香	九

<インタビュー内容>

- ・△ 3 五角成を許すとまずいと言う認識はあった。
- ・▲ 3 六飛を考えたが、△ 2 七角や△ 4 五角が見えてこれはないと思い却下した。
- ・次の候補が▲ 5 八金上で、△ 3 五角成を許す代わりに長引かせようと考えた。
- ・▲ 4 六歩は局後に気付いたが、こう指すべきだった。

<エラーの分析>

3 五角成はマズイという認識があったことから、局面認識はできていると思われる。4 六歩という手自体には対局中に気づいていなかったことから、「候補手生成の段階」のエラーであることがわかる。なぜ、この手が見えなかったのかということであるが、局後には思いついているので、技量不足ではないと思われる。何らかの見落としが原因と思われるので、「無意識による不注意か錯誤」が原因とかながえられる。持ち時間が短かったことが原因であるならば、「生物学的限界の能力的限界」も影響している可能性がある。

<局面 2>

実際に指した手

▲ 4 六桂

↓

局後指摘した手

▲ 6 三歩

【第 56 手 白 3 七銀成まで】

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
一	皇						皇			一
二		王	歩			歩				二
三	歩	龍	龍	歩	歩			歩		三
四		歩	歩	歩						四
五					桂	銀	歩			五
六			歩							六
七		歩		歩	歩	王	歩		歩	七
八			銀	金		桂	角			八
九	香	桂	玉	金			飛	香		九

<インタビュー内容>

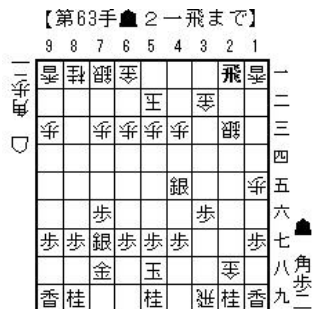
- ・▲6三歩は見えていた。
- ・取られかけの駒が逃げるのをこういうものでしょとやってしまった。

<エラーの分析>

対局中に6三歩は見えていたことから、候補手の生成の段階ではないことがわかる。4六桂を手筋的に良さそうな手と誤って評価してしまったことで、先読みや手の決定に影響を与えてしまったと考えられる。「評価の段階」の「無意識のエラー」であることが推察される。

<局面3>

実際に指した手
△3八金
↓
局後指摘した手
△6二玉



<インタビュー内容>

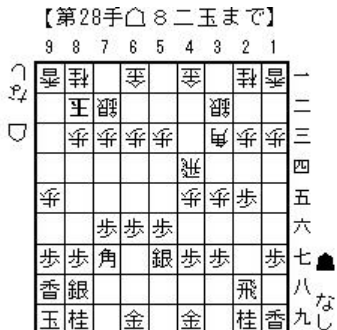
- ・▲4一角～▲6三角成～▲6一飛成という頻出の筋をなぜかうっかりしていた。
- ・▲2四歩の一点読みだった。

<エラーの分析>

対局中には、相手の手は2四歩しか無いと思い込んでいたため、アマチュア有段者にとっては簡単な筋「4一角、6二玉、6三角成、同玉、6一飛成」という簡単な筋を見落としてしまっていた様子がうかがえる。「先読みの段階」で2四歩に固執してしまったため、他の手が見えなくなってしまったことが見て取れる。「無意識の錯誤」が原因である。

<局面4>

実際に指した手
▲6五歩
↓
局後指摘した手
▲5八金右



<インタビュー内容>

- ・△3四飛▲3三角成に、△同桂なら▲2二角、△同銀なら▲4三角が読み筋だった。
- ・△7四飛は読んでいなかった。

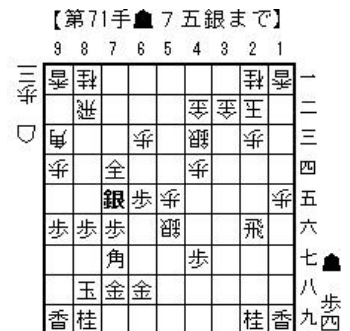
・この形はこういうものだ△3四飛と勝手読みしていた。

<エラーの分析>

この局面において、7四に飛車を回る筋はいつでもあり、居飛車穴熊を指すのであれば、本来常に警戒すべきである。候補手生成の段階で、5八金右が念頭になかったのは、相手の7四飛に気づいていなかったためであるとかんがえられる。これは、本来知識として持つておくべきことで、「技量不足」の例である。このエラーは、「候補手生成の段階」の「技量不足」が原因と考えられる。

<局面5>

実際に指した手
△5四銀
↓
局後指摘した手
△6五銀



<インタビュー内容>

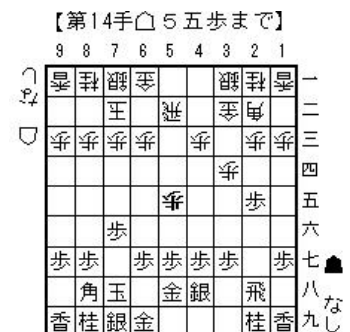
- ・△6五銀には▲5五角△7三歩▲同銀△同桂▲同角成で嫌かなと読んでいた。
- ・△5四銀の後の▲9五歩がそんなに厳しいと思っていなかった。次の△6五銀が間に合うと思っていた。

<エラーの分析>

候補手として、6五銀も検討し、その後の先読みを行っていることから、これは「評価の段階」のエラーであると考えられる。9五歩には気づいていたようだが、軽視していたことが見て取れる。「無意識の不注意」が原因であると考えられる。

<局面6>

実際に指した手
▲6六歩
↓
局後指摘した手
▲2六飛



<インタビュー内容>

- ・▲2六飛としてから▲6六歩の予定が、その後の展開を考えていた時に時間に追われて▲2六飛を指し忘れてしまった。

<エラーの分析>

2六飛と指す予定が、その先の展開を読んでいて、うっかり手順前後をしてしまったということから、「手の決定の段階」のエラーであることが見て取れる。また、エラーの原因も明らかに不注意による「無意識のミス」である。

4.4 結果の考察

実験協力者の報告によると、上述のように様々な段階における様々な原因によるエラーが観察された。特に、思い違い、見落とし、思い込みなどの「無意識」に犯してしまうエラーに関する言及が多く見られた。「無意識」が原因となるエラーは、すべての段階で考えうることが示唆された。

また、「技量不足」が原因となるエラーについては、「候補手生成の段階」と「評価の段階」について言及が見られた。「認識の段階」「先読みの段階」「決定の段階」で技量不足が原因とみられるエラーについての言及が見られなかった。理由としては、今回の実験協力者がアマチュア有段者という比較的強いプレイヤーであったことが挙げられる。しかし、技量不足としては現れにくい段階というものがある可能性もある。さらに広いレベルのプレイヤーへのアンケートを行い、調査していきたい。

一方、「生物学的限界」「意識的」が原因となるエラーに関する言及はほとんど見られなかった。「生物学的限界」は、プレイヤーにとっては既にあまりに当たり前に織り込み済みの話であるので、殊更に言及されなかったのではないかと考えられる。当然、人間である以上、各段階で物理的な限界が存在する。これは、意識はされないが、考慮すべき重要な要素であるだろう。また、「意識的」エラーについての言及も見られなかったが、人間のプレイでは、形勢が悪い時に勝負手を放ったり、諦めなどから怠慢なプレイをしてしまったりすることはありうるだろう。実験協力者がこれらの意識的なプレイをエラーとは考えなかったために、言及されなかった可能性がある。

エラーの定義とも関わるが、本研究の定義では、プレイヤーの選択として、最も合理的かつ最善のプレイ以外の行動をすべて「エラー」と定義しているのだから、インタビューをする際に、エラーの定義を明確にして、さらに聞き出す必要があるのかも知れない。いずれにしても、これらのエラーについても考慮する必要があるだろう。

5. ヒューマンエラーのモデル

以上の考察をもとに、コンピュータ将棋 AI にヒューマンエラーを導入する方法について以下のように考えてみる。

5.1 生物学的制約

人間の局面認識能力を考慮して、思考時間や反応時間などにバイアスを掛ける必要がある。また、先読みの深さや

網羅的な探索に制限を加え、敢えて読み抜けや見落としが起こるような仕組みも必要であると考えられる。

5.2 技量不足

人間は、コンピュータのように膨大な序盤定跡を正確に記憶することは難しい。したがって、知識不足の状況は常に存在しうる。序盤の定跡データベースを取って穴あきにしたり、偏った戦法のみを詳しくしたりすることで、人間らしい不完全さを実現できる可能性があるだろう。

5.3 無意識的エラー

人間の発話の中から、取り違いや思い違い、思い込みなどの無意識的エラーが多く見受けられた。それも思考の各段階でこれらのエラーが生じていることもわかってきた。

思い込みのようなエラーは、例えば特定の評価値を歪に偏重してやることで、再現できる可能性がある。また、特定の手の見落としなどは、探索ノードの間引きを適当な割合で発生させることで実現できる可能性がある。

5.4 意識的エラー

意識的にエラーをすることは、不利な状態の時に勝負手として、相手の候補手を増やすような手を選択したり、勝負を長引かせるために受けや攻め偏重の手を選択したりすることで実現できる可能性がある。

5.5 エラーのまとめ

上述の考察をもとに人間が犯しやすいエラーを実現する方法を表にまとめたものが表2である。

表2 エラーの実現方法

Table 2 .How to realize human errors

エラーの分類 対局者 スクリプト	生物学的限界 1) 能力的限界 2) 感情の影響	技量不足 1) 技術不足 2) 知識不足	無意識 1) 錯誤 2) 失念 3) 不注意	意識的 1) 違反 2) 意図的
局面認識 の段階		序盤定跡の 偏重や制限		
候補手生成 の段階	前向き枝刈り の導入		前向き枝刈り の強化	
先読みの 段階	探索ノード数や 探索速度の制限		探索ノードの 間引き	
評価 の段階	評価関数 の精度制限		評価関数 の偏重	
手の決定 の段階	一定確率で エラー発生			状況に応じた 偏重の手

6. おわりに

本報告では、エラーをその原因と生起する思考の段階で分類を試みた。そして、実際の将棋において、これらの箇所実際にエラーが生じているかどうか、インタビュー実

験を通して検証した。さらに、それぞれのエラーを犯す要因をもとに、コンピュータ将棋でこれらのエラーを実現する方法についても検討した。今回の実験では、実験協力者の棋力がアマチュア初段以上と比較的高いプレイヤーのみしか調べなかったが、より低いレベルのプレイヤーでは、異なる傾向があるかも知れない。より多くの被験者と実践例に見られるエラーを調査して、確認していきたい。

さらに、5章で示した実現方法で実際にエラーを再現するシステムを作り、その挙動を見ながら、人間らしいエラーについて、さらに考察を深めていきたい。

謝辞 本研究はJSPS 科研費(基盤研究B)25280130の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] H.Iida, J.Yoshimura: A Logistic Model of Game's Refinement, Technical Report, Department of Computer Science, Shizuoka University (2003).
- [2] 飯田弘之: ゲームの均衡, 情報処理学会ゲーム情報学研究会 SIG-GI-12(4), pp.25-32, (2004).
- [3] J.Human: Human Error, Cambridge University Press (1990).
- [4] 小松原明哲: ヒューマンエラー, 丸善出版 (2008).
- [5] 藤井叙人, 佐藤祐一, 中島洋輔, 若間弘典, 風井浩志, 片寄晴弘: 生物学的制約の導入による「人間らしい」振る舞いを伴うゲームAIの自律的獲得, The 18th Game Programming Workshop 2013, pp.73-80 (2013).
- [6] 伊藤毅志: 将棋における人間の認知過程, Game Programming Workshop '99', pp.177-184 (1999).