

トランプゲームにおける認知技能の熟達過程の検討

Expertising Processes of Cognitive Skills during a Card Game Playing

小堀 聡^{*1}

Satoshi Kobori

^{*1} 龍谷大学理工学部電子情報学科
Department of Electronics and Informatics
Ryukoku University

'Calculation' is a game that can be played by one person, based on incomplete information. The aim of this study is to investigate the expertising processes of cognitive skills during the game playing. We conducted 60 experiments on a novice human subject during 15 months, and recorded play data, eye movement data and verbal data. The data were recorded on videotape in an experimental design based on verbal protocols. We have analyzed the strategies of the subject using these data. The results show that the view points of the subject were altered according to rise of success rate, and the strategies became more flexible during the learning.

1. はじめに

人間の問題解決についての研究は、認知科学にとっての重要な研究課題として位置づけられ、古くからさまざまな研究が行われてきた。それらの研究では、領域固有の知識を必要としないうものから、専門的知識を必要とするものへ、また、アルゴリズム的な解決が可能なものから、解決のための明確な手順が明らかになっていないものへと対象が移り、より現実の問題に近い課題が扱われるようになってきている[伊藤 96]。また、学習過程の研究とも関連して、熟達(expertise)[Ericsson 99]に関しても着目されてきており、これまでの研究から、熟達者が速く正確な処理をすることや構造化された多くの知識を持っていることが確認され、さらに、熟達者の特徴や熟達を促す要因などの解明へと発展してきた[大浦 96]。

そうした研究の流れの中で、ゲームを題材とした心理学的・認知科学的研究も古くから数多く行われてきた。その理由は、ゲームは決してトイプロブレムではなく、知覚、記憶、問題解決、学習など人間の認知活動にとって重要な研究課題の含まれた現実的な問題であり、人間の日常的な行為を探る上で十分に役立つという認識があるからである。ゲームを題材にする利点としては、ゲームには様々な種類があり、そのゲームの特徴に伴って様々な認知課題に焦点を当てることができるということがある。また、チェス、将棋、囲碁などではレーティングや段級位などの尺度により、被験者のスキル差が適切に表現できるという利点もある。さらに、ゲームは問題が明確に定義できるので、シミュレーションには格好の題材であり、モデルの正当性が検証できるということもある[吉川 97a]。

ゲームを題材とした認知研究としては、たとえば、de Groot や Chase らのチェスを扱った研究[Chase 73, Gobet 99]が有名で、非常に興味深い成果を上げたことから、その後続く研究も多いが、そうしたゲームの認知研究は、他の認知研究そのものに貢献すると同時に、ゲームプログラミングにも貢献した[吉川 97b]という面もある。その他にも囲碁[Saito 97, Yoshikawa 99]や将棋[伊藤 02, 伊藤 04]を扱った研究もあり、それらにより、認識、

記憶、知識という点から思考過程を分析する研究が進展してきている。

しかしながら、それらの研究で取り上げているチェス、囲碁、将棋などはすべて二人完全情報零和ゲームである。それに対して、本研究では、カルキュレーション[島内 79, 島内 85, 竹内 86, 野崎 90]というトランプのゲームを題材とするが、これは一人遊びゲームであり、また、不完全な情報を扱うという点が異なる。カルキュレーションは、パズル型の思考と確率的な予測思考が結びついたゲーム[花澤 97]として知られている。

カルキュレーションのプレイでは、よく切った山から取り出した札を、ある決められた順序のとおり台に出し、すべての札を出すことができれば成功である。しかし、直ちに台に出せない場合は、4つの場のどれかに置くことになる。場に置いた札はいずれ台に移すことになるが、一番上の札しか取り出せない。すなわち、この場への置き方が成否を決める鍵となる。このゲームに対しては明確な解法の手順は確立されていない。成功率は個人による違いが大きく、熟達者がプレイすると95%以上にもなるが、初心者ではほとんど0%に近く、学習により大きく向上することが知られている[石田 93]。また、成功へ至る場合でも、局面ごとの手の選択にはいくらかの自由度がある。

カルキュレーションにおいては、これから出る札は確率的に予測するしかないというゲームの性質から考えると、チェス、囲碁、将棋などに見られるような先読みは難しく、また有効ではないし、札の配置のパターンについての記憶が重要な役割を果たすとは考えにくい。カルキュレーションでは、Kobori らが明らかにしたように、他のゲームと同様に経験に基づく知識が重要である[Kobori 99]にしても、確率的に予測するしかない不完全な情報にいかに対応するかという、二人完全情報零和ゲームには見られない認知的な課題が存在する。さらに、チェス、囲碁、将棋などでは、初級者が上級者まで上達するにはかなりの長期間を要するが、カルキュレーションであれば、相対的により短い期間で上達する過程を記録、分析することができると考えられる。

こうしたカルキュレーションの認知課題としての特徴を踏まえて、本研究においては、このゲームの初心者1名を対象に、1ヶ月に20試行の練習と2回(4試行)の実験を、15ヶ月という長期間にわたって実施し、実験から得られた操作データ、視線データ、発話データを総合して方略を分析し、熟達過程を検討した。

ここでの操作データは時間情報も含めた被験者のプレイの状況を示す基本的な情報である。視線データは眼球運動測定装

連絡先: 〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷1-5
龍谷大学理工学部電子情報学科 小堀 聡
TEL:077-543-5111, FAX:077-543-7428
E-mail:kobori@rins.ryukoku.ac.jp

置(アイカメラ)により測定する。視線測定については、近年、測定装置の信頼性が向上し、分析方法も確立しつつあることから、高次な認知過程を解明する手段の1つとなっている[三浦 93, 大野 02]。一方、発話データは発話プロトコル法に基づき、課題の遂行中に被験者が考えていることをそのまま発話させた内容を記録したものである[甲 03]。発話プロトコル法は人間の内的な認知過程を分析する方法として、認知心理学・認知科学の手法として確立されている[原田 99, 海保 93, Anzai 79]。操作データに視線データや発話データを組み合わせた研究手法は、前述の囲碁や将棋の認知研究[Saito 97, Yoshikawa 99, 伊藤 02, 伊藤 04]においても利用されている。

以上のように、本研究では、視線測定、発話プロトコル法といった認知科学分野の手法により、カルキュレーションのプレイを題材に、確率的に予測するしかない不完全な情報に対応する場合の思考や学習などの認知過程を明らかにし、また、認知技能が熟達していく過程を検討していくことを目的としている。

2. 実験の方法

2.1 実験課題

被験者の課題は、コンピュータの画面上でカルキュレーションをプレイすることである。ルールに従い、すべての札を台に出して成功するか、山札を使いきって失敗するかまでプレイして1試行とする。

カルキュレーションはトランプの一人遊びゲームである。このゲームのルールや名称にはいくつかの変種があるが、場が3列あるいは4列でプレイされるのが一般的であり、本研究では場が4列のものを対象としている。実験において使用したルールの詳細は付録に示す。また、カードゲーム実験ソフトウェアによるプレイ画面の例を図1に示す。

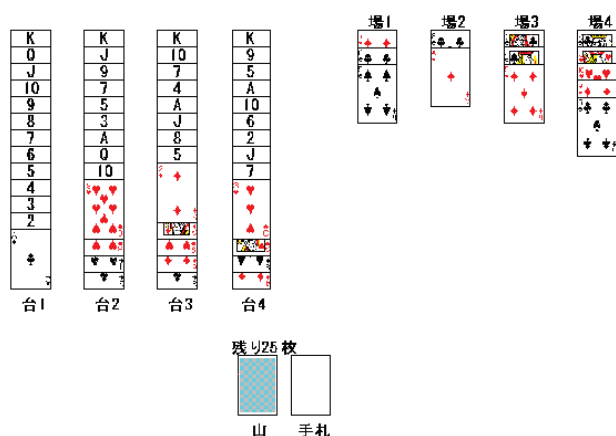


図1 カルキュレーションのプレイ画面の例

カルキュレーションの特徴をまとめると以下ようになる。

- 山札は切った状態から始めるので、確定ゲームである。
- まだ出していない札に関する情報は得られないという意味で、不完全情報ゲームである。
- 明確な解法の手順は確立されていない。
- 場への置き方が成否を決める鍵となる。
- 局面ごとの手の選択にはいくらかの自由度がある。
- 方略は個人による違いが大きい。
- 成功率は初心者がほぼ0%であるのに対して、熟達者ならば95%以上にもなる。

- 学習により上達する。

被験者実験においては、コンピュータの画面上でゲームをプレイさせ、その操作データを記録するとともに、眼球運動測定システムにより視線データを測定し、かつ、発話プロトコル法により被験者に思考内容を発話させ、発話データとして保存した。

2.2 実験手順

まず、3名の被験者を対象に予備実験(12 試行)を行った。次に、予備実験で最も成績の良かった者1名を対象に本実験を行った。

本実験では 15 ヶ月間、1ヶ月に2度ずつ実験(1度の試行回数は2回)を実施し、実験と実験の合間の2週間に練習試行 10 回を行わせた。これにより、合計して実験での試行 60 回、練習での試行 300 回となる。

3. 解析の方法

実験データを解析するにあたり、以下では、予備実験での 12 回の試行を P1~P12, 本実験での 60 回の試行を R1~R60, 練習での 300 回の試行を E1~E300 と表すことにする。

3.1 操作データの解析

操作データからは以下の項目について解析を行う。操作データについては、実験での試行以外に、練習での試行も解析の対象とする。

(1) 成功率の遷移

移動平均により成功率を算出して、どのように変化しているか調べる。移動平均のデータ数は、実験での試行では9回、練習での試行では 11 回とする。

(2) 単純移動率の遷移

手札を台に出せるときに出した割合を、手札の単純移動率、同様に場札を場に移せるときに移した割合を、場札の単純移動率とし、試行ごとに算出し、どのように変化しているか調べる。また、単純移動率と成功率の関係を調べる。

(3) 試行時間の遷移

1回の試行に要する時間を算出して、どのように変化しているか調べる。また、試行時間と成功率の関係を調べる。

3.2 視線データの解析

視線データからは以下の項目について解析を行う。視線データについては、実験での試行のみを解析の対象とする。

(1) 視線分布の遷移

1回の試行において、被験者が台、場、その他のうちのいずれを見ていたかについて、その割合を算出し、試行に伴ってどのように変化しているか調べる。

(2) 数字確認率の遷移

手札を台あるいは場に移動させるときに、手札と同じ数字の札の台での場所に注目していたかどうかの割合を数字確認率とし、試行ごとに算出し、どのように変化しているか調べる。また、数字確認率と成功率の関係を調べる。

3.3 発話データの解析

発話データについては、予備実験の 12 回(P1~P12), 本実験の初期の 10 回(R1~R10), 本実験の後期(R51~R60)の3つのブロックに着目し、それぞれのブロックでの発話内容を比較し、方略の違いを検討する。

4. 結果と考察

4.1 操作データから分かること

図2は、実験における単純移動率の遷移を表している(実験には予備実験も含まれる。以下の図でも同様)。グラフでは比較のために成功率の遷移も示している。

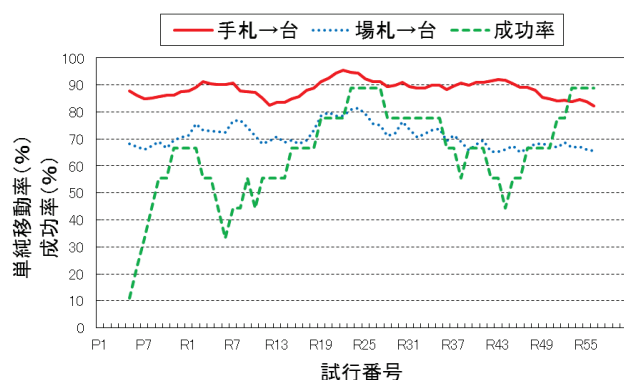


図2 単純移動率と成功率の遷移

この図により、実験での試行と練習での試行(上図では示していない)の両方において、成功率は全体として向上していることが分かり、学習が進んでいるといえる。また、それに対して、手札の単純移動率、場札の単純移動率も概して減少する傾向にあり、基本的な方略が学習に伴って変化していったことを示していると考えられる。

4.2 視線データから分かること

図3は、実験における視線分布の遷移を示している。

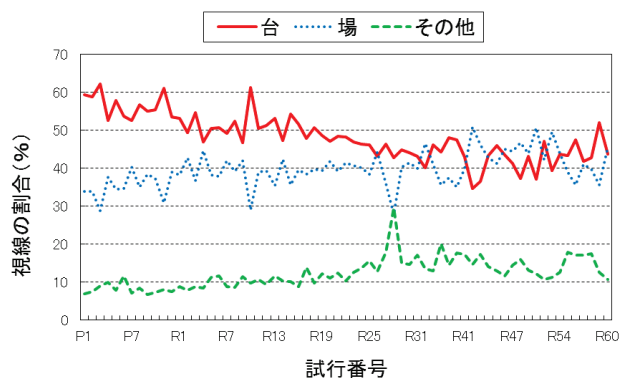


図3 視線分布の遷移

この図により、試行を重ねるにつれて、台を見ている割合が次第に減少し、相対的に場やその他の場所を見ている割合が増加することが分かった。このことはプレイにおいて利用する情報が、学習に伴って変化していったことを示していると考えられる。

図4は、実験における数字確認率の遷移を示している。グラフでは比較のために成功率の遷移も示している。

この図により、数字確認率は、台に移動させる場合も場に移動させる場合も、試行とともにほぼ単調に減少していることが分

かった。成功率が向上しているのにも関わらず、方略にとって重要であると思われる情報を確認する割合が減少していることになるが、これは台への出し方を頭の中で思い描くことができるようになっていったことを意味すると考えられる。

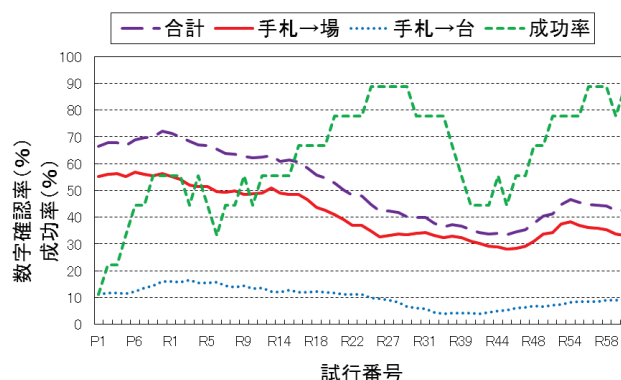


図4 数字確認率と成功率の遷移

4.3 発話データから分かること

本実験での場の使い分けの方法は、場4はK(13)を置くために使い、場3に逆順を作り、場1に早めに台に出せる札を置くというものであり、大きな変化はなかった。しかし、場2の使い方は、序盤はしばらくは台に出せない札を置くために使っていたのが、途中から場3に逆順を作るために補助的に利用するようになっていた。一方、場に作る逆順の並びの長さも、序盤はせいぜいK(13)から3番目程度までで、それも並びに飛びがあるとそれ以上の並びは作れなかったが、次第に場2や、場合によっては場1まで使い、長い逆順を作るようになっていった。このように、場の使い方や逆順の作り方が学習に伴い変化していることが分かった。

また、場に置く際に2通り以上の台への出し方を考えるようになったり、あらかじめ考えていた台とは違う台に出したりと、方略が柔軟になっていくのが分かった。

5. おわりに

本研究では、カルキュレーションという一人遊びのトランプゲームを題材として、認知技能が熟達していく過程を検討した。このゲームの初心者1名を対象に、1ヶ月に20試行の練習と2回(4試行)の実験を、15ヶ月という長期間にわたって実施し、実験データとして操作データ、視線データ、発話データを記録し、熟達過程を分析した。その結果、視線データの示す着目点が、成功率の上昇とともに変化していくこと、方略がより柔軟になっていくことなど、熟達過程の特徴を明らかにすることができた。

しかしながら、このゲームの方略は個人によって大きく異なることが考えられるので、他の上級者や熟達者によるプレイと比較し、熟達化に関わる要因についてさらに検討して必要があると考えられる。

なお、本稿では紙面の都合で触れられなかったが、本研究の実験に先立ち、このゲームの熟達者と考えられる1名の被験者のデータを収集しており、その際に使用したのと同じ山札データによる実験を本実験において実施しているため、初心者と熟達者の方略との比較も行っている。

一方、これまでに公開されているカルキュレーションをプレイするプログラムのうちの1つのアルゴリズム[花澤 97]をもとにシミ

ュレーション・プログラムを作成し、被験者実験の山札データと同じデータでプレイさせ、被験者のプレイと比較し、また、シミュレーション・プログラムでの評価関数を用いて定量的に被験者の手を評価し、学習過程の特徴を明らかにする試みも行っている。

参考文献

[Anzai 79] Y. Anzai, H. A. Simon : The theory of learning by doing, *Psychological Review*, Vol.86, No.2, pp.124-140 (1979).

[Chase 73] W. G. Chase, H. A. Simon : Perception in chess, *Cognitive Psychology*, Vol.4, pp.55-81 (1973).

[Ericsson 99] A. Ericsson : Expertise, R. A. Wilson, F. C. Keil (Eds), *MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, pp.298-299, MIT Press (1999).

[Gobet 99] F. Gobet, *Psychology of Chess*, R. A. Wilson, F. C. Keil (Eds), *MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, pp.113-114, MIT Press (1999).

[花澤 97] 花澤 正純:カリキュレーション(計算), 松原 仁, 竹内 郁雄編, bit 別冊 ゲームプログラミング, pp.109-117, 共立出版社 (1997).

[原田 99] 原田 悦子:プロトコル分析, 海保 博之, 加藤 隆編著:認知研究の技法, pp.79-84, 福村出版 (1999).

[石畑 93] 石畑 清:カルキュレーションのアルゴリズム, *Computer Today*, No.57, pp.40-44 (1993).

[伊藤 96] 伊藤 毅志, 安西 祐一郎:問題解決の過程, 市川 伸一編:認知心理学4 思考, pp.107-131, 東京大学出版会 (1996).

[伊藤 02] 伊藤 毅志, 松原 仁, R. グリンベルゲン:将棋の認知科学研究(1)ー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).

[伊藤 04] 伊藤 毅志, 松原 仁, R. グリンベルゲン:将棋の認知科学研究(2)ー一次の一手実験からの考察, *情報処理学会論文誌*, Vol.45, No.5, pp.1481-1492 (2004).

[海保 93] 海保 博之, 原田 悦子編:プロトコル分析入門, 新曜社 (1993).

[甲 03] 甲 洋介:発話プロトコルによる思考過程の計測, 産業総合研究所人間福祉工学研究部門編:人間計測ハンドブック, pp.225-230 (2003).

[Kobori 99] S. Kobori, N. Yamakawa, D. Fujii, T. Nakamura : Chunks and problem solving processes in an expert's play in a card game, *Proceedings of the 2nd International Conference on Cognitive Science*, pp.669-672 (1999).

[三浦 93] 三浦 利章:日常場面での視覚的認知ー眼球運動を通してー, 箱田 裕司編:認知科学のフロンティア III, pp.100-141, サイエンス社 (1993).

[野崎 90] 野崎 昭弘:トランプ ひとり遊び 88 選, pp.99-120, 朝日新聞社 (1990).

[大野 02] 大野 健彦:視線から何がわかるかー視線測定に基づく高次認知処理の解明, *認知科学*, Vol.9, No.4, pp.565-579 (2002).

[大浦 96] 大浦 容子:熟達化, 波多野 誼余夫編:認知心理学5 発達と学習, pp.11-36, 東京大学出版会 (1996).

[Saito 97] Y. Saito, A. Yoshikawa : Go as a testbed for cognitive science studies, *Proceedings of Workshop "Using games as an experimental testbed for AI research" on IJCAI-97*, pp.65-73 (1997).

[島内 79] 島内 剛一 (SYSTEM5) : 計算について, *数学セミナー*, Vol.18, No.3, pp.53-57 (1979).

[島内 85] 島内 剛一 (SYSTEM5) : 計算について(続), *数学セミナー*, Vol.24, No.7, pp.53-57 (1985).

[竹内 86] 竹内 郁雄:GPCCウルトラナノピコ問題, *bit*, Vol.18, No.3, p.341 (1986).

[吉川 97a] 吉川 厚:ゲームは認知研究に新しい話題を提供できるか?, 1997 年度日本認知科学会冬のシンポジウム資料集, pp.9-16 (1997).

[吉川 97b] 吉川 厚:ゲームプログラミングと認知科学, 松原 仁, 竹内 郁雄編, bit 別冊 ゲームプログラミング, pp.207-219, 共立出版社 (1997).

[Yoshikawa 99] A. Yoshikawa, T. Kojima, N. Shingaki : Temporal perception in Go, *Proceedings of the 2nd International Conference on Cognitive Science*, pp.294-297 (1999).

付録 カルキュレーションのルール

- 1組 52 枚のトランプを用いる。ハートやスペードなどの区別はしない。したがって, A, 2, 3, ..., Kがそれぞれ4枚ずつとなる。
- 山札をよく切って1枚ずつ取り出して手札とし, 下に示したような4列の台札の列を下から積み上げていき, 完成させることが, このゲームのゴールである。
- これらの数字の列は, 左から順に1, 2, 3, 4の倍数になっており, 14 以上は 13 で割った余りの数で代用している。それぞれの列では, 一番下の数字から順番通りにしか置くことはできない。
- これらの列をうまく完成させるために, 場札の列を4列使うことができる。ただし, 一番最後に置いた場札から順番にしか取り出すことはできない。
- 取り出した手札は, 台札の列の置ける場所に置かず, 場札のいずれかの列に置くことができる。手札をどこかに置いた後で, 次の手札を取り出す前なら, 場札を台札の列の置ける場所へ移動させることができる。
- 最終的に 52 枚の札をすべて台札の列に置くことができれば, 成功ということになる。それ以外は失敗である。

K	K	K	K
Q	J	10	9
J	9	7	5
10	7	4	A
9	5	A	10
8	3	J	6
7	A	8	2
6	Q	5	J
5	10	2	7
4	8	Q	3
3	6	9	Q
2	4	6	8
A	2	3	4

台への出し方