

# 眼球運動データを用いた規則発見過程の検討

## Investigation of the Process of Rule Discovery Using Eye Movement Data

松室 美紀<sup>†</sup>, 三輪 和久<sup>†</sup>  
Miki Matsumuro, Kazuhisa Miwa

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院 情報科学研究科  
Graduate School of Information Science, Nagoya University  
muro@cog.human.nagoya-u.ac.jp

### Abstract

Many studies have investigated the process of rule discovery. However, the data utilized in these studies, such as performance and verbal protocol data, were course-grained. In this study, we designed a new experimental method using eye movement data to observe the detailed process of rule discovery. In the proposed method, we corresponded the task display and a rule space in the participants' minds to understand how they consider the rules by eye tracking. Our data showed that the participants' eye movement data were consistent with their task performance and verbal report.

**Keywords** — Rule discovery; eye tracking; search strategy

### 1. はじめに

規則性を見つけるという行為は科学的な場面のみならず、日常場面においても重要な行為の1つである。本研究では眼球運動データを用いて、データの観察を通じた規則発見の過程を検討することを目的としている。特に反証が与えられた際の規則探索行動に注目する。

Simon & Lea (1974) は dual space search theory を提案し、規則の発見は規則空間と事例空間の探索の交互作用により起こると主張した[1]。規則空間の探索を通して規則の生成、修正を行い、事例空間の探索を通して、事例の観察や規則のテストを行う。そこから得たフィードバックを基にさらに仮説を改善するというサイクルを通して規則を発見する。その中でも、規則空間の探索は外的な操作として表れにくいと観察が困難であった。

先行研究においては、主にプロトコル分析を用いて規則空間の探索について検討がなされてきた[2, 3]。しかし、言語報告には次のような2つの欠点がある：(1) 個人により言語報告の産出量が異なり直接的な比較が困難である。(2) 短い思考や言語に表しにくい思考は省略されやすい。そこで本研究ではそれらの欠点を克服するため眼球運動データ

を用いる。本研究で提案する課題では、注視点と規則空間を対応させることにより、規則空間の探索を外化し、測定することが可能である。たとえ短い思考であっても眼球の動きに反映されるため取得できる。さらに規則を発見しない場合、悩む期間が増加し発言が減少する可能性がある。眼球運動であれば、言語報告と異なり常に取得が可能であるため、思考が言語化できないような場面でも規則発見の過程を観察することができる[4, 5]。

### 1.1 課題

図1に課題の画面を示す。画面は3つのパネル（数字、矢印、方位）と円形に並んだ8つのアルファベット（a～h）からなる。3つのうちいずれかのパネルに基づき1つのアルファベットがターゲットとして表示されている。参加者は複数の事例を観察し、どのパネルに基づき、どのようにターゲットが決定されているかを見つけるよう求められる。規則には必ずいずれか1つのパネルが利用されており、残りの2つのパネルは規則とは関係しない。

課題は11のブロックからなり、各ブロックは観察とテストからなる。1ブロックの流れは以下の通りである。初めに注視点が1.5秒間表示された後、実験者により用意された事例が表示される。「NEXT」ボタンの押下または、40秒が経過した後新しい事例が表示される。各観察事例でパネルの内容とそれに基づくターゲットは変更されるが、規則は課題を通して一定である。5つの事例の観察の後、参加者は現在保持している規則とその自信を0から100の間で回答する。その後、4つのテストが行われる。テストでは表示されたパネルからターゲットとなるアルファベットを予測し、選択する。観察中の眼球運動が規則空間の探索過程の検討のために、テストのパフォーマンスが参加者がどのような規則を利用したかを判断するために用いられた。

各パネルには表1に示されるように異なる機能が与えられている。参加者は課題を開始する前に

表 1 各パネルの機能と規則

パネル	機能	規則
矢印	矢印の角度分回転する	フェイク規則：2つの矢印を足し合わせた角度だけaから時計回りに移動した位置がターゲットとなる
方位	方位により示される位置（北が上であるaに対応）	ターゲット規則：2つの方位の組み合わせにより示される位置より東西のラインを軸に線対称移動した位置がターゲットとなる
数字	数字がアルファベットの順番を示す（1 = a, 2 = b…）	なし

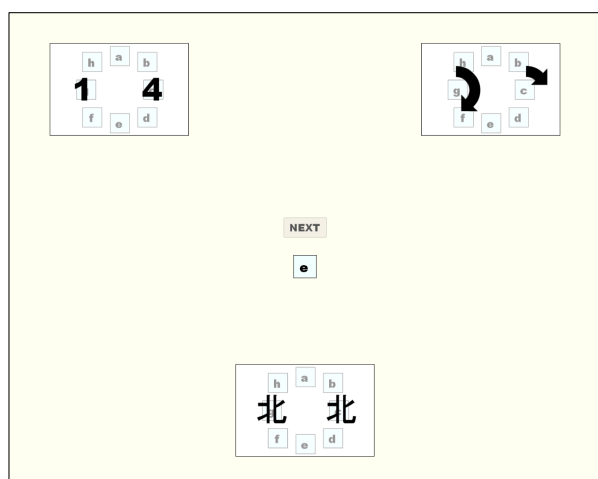


図 1 課題に用いられたある事例のスクリーンショット

3つのパネル（左上より時計回りに数字、矢印、方位）と円形に並んだ8つのアルファベットのうち1つ（e）がターゲットとして表示されている。

各機能を学習する。この操作により、参加者の持つ規則空間は各パネルに対応する3つのセットに分割される[6]。つまり、観察パネルから参加者が規則空間内のどのセットを探索しているかを取得することが可能となる。たとえば、矢印に関する規則のセットを探索している場合、参加者は矢印パネルを観察する。

## 2. 実験1

初めに本課題において反証が規則発見過程に影響を及ぼすことを確認した。眼球運動を計測せず、反証の与え方に3条件を設け集団実験を行った。反証が続けて、大量に与えられる多数条件、反証が少量、間を空けて与えられる少数条件、反証が徐々に増加する増加条件である。

## 2.1 方法

### 2.1.1 参加者

90名の学部生が実験に参加した。参加者は3つの条件にランダムに振り分けられた。

### 2.1.2 手続き

表1に示した2つの規則を利用した。全ブロックにおいてターゲット規則が成立した。ブロック1から4ではフェイク規則も成立し、より簡単なフェイク規則を発見することが期待された。ブロック5から7にかけてフェイク規則に対する反証事例が条件により異なる割合で与えられた。反証事例ではターゲット規則のみが成り立つよう設定されている。多数条件ではブロック5の初めの1事例を除く、全ての事例が反証となるよう設定された。少数条件では、3つのブロックでそれぞれ1つずつの反証が与えられた。増加条件では各ブロックで、それぞれ1, 2, 3個ずつの反証が出現した。ブロック8以降は全ての条件でターゲット規則のみが成立するよう調整された。実験1では眼球運動を測定しないため事例間の注視点は省略された。また、各事例の観察時間は最大35秒に設定された。5つの事例の観察後にキーボードを用いて規則を入力させ、スライダーを用いて自信を示させた。参加者は課題の説明を受け、各パネルの利用法と課題の操作の練習を行った後に課題を行った。

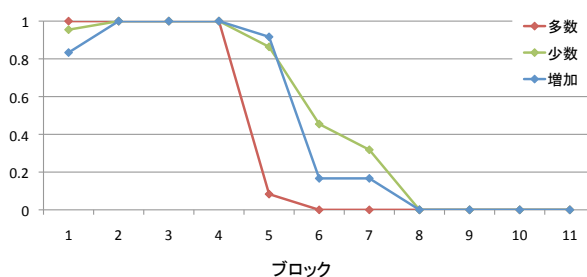


図 2 各ブロックにおけるフェイク規則の報告者割合

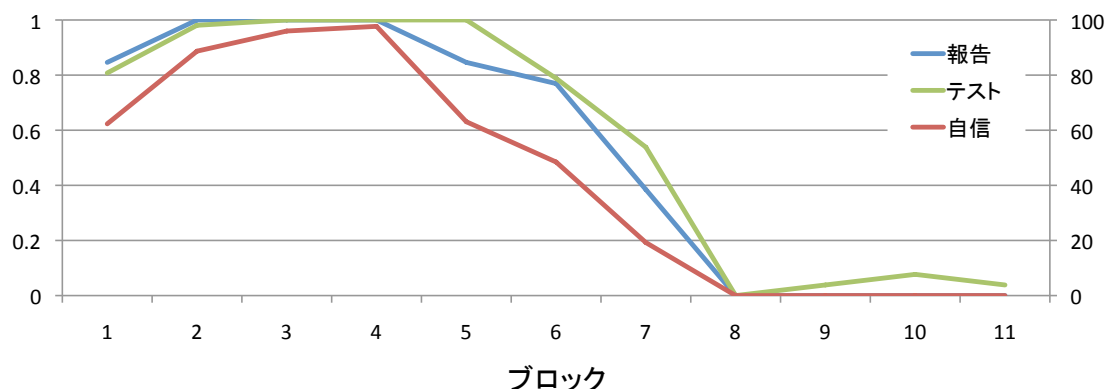


図3 各ブロックにおけるフェイク規則の報告と自信，テストにおける使用率

報告はフェイク規則を報告した参加者の割合（左軸），テストはテストにおけるフェイク規則の使用割合（左軸），自信はフェイク規則の自信度評定（右軸）を表している。

## 2.2 結果と考察

教示違反により7名が分析から除外された。83名中，フェイク規則を発見した58名を分析の対象とする。

図2に各条件におけるフェイク規則を報告した参加者の割合を示す。反証の量に応じたフェイク規則の棄却が観察される。 $\chi^2$ 分析の結果，ブロック5のフェイク規則報告者の割合に有意な差が観察された ( $\chi^2(2) = 36.405, p = .01$ )。残差分析の結果，多数条件では残りの2条件よりもフェイク規則保持者の割合が有意に少なかった ( $p < .01$ )。また，ブロック6では多数条件におけるフェイク規則の報告者は存在しなかったため，少数条件と増加条件の比較を行った。その結果，少数条件において増加条件よりフェイク規則の報告者が多い傾向が見られた ( $p = .094$ )。フェイク規則に対する自信とテストにおけるフェイク規則の利用率においては，多数条件で規則報告と同様の差が観察された ( $p < .001$ )。しかし，ブロック6における少数条件と増加条件の間の差は観察されなかった。これは少数条件においても2つの反証により自信が低下してしまったこと，それに伴いテストでの使用が減少したことよると考えられる。規則報告の結果，及び，差は観察されなかったが自信，テストでの変化の傾向から，本課題において反証が保持規則の変化に重要な役割を果たしていたことが示された。

## 3. 実験2

実験1と同様の課題を用い，眼球運動を測定することにより規則発見過程を検討した。また，規則を発見していない状況における眼球運動を測定するために，規則発見課題の前に規則性のないランダムな事例を用いて課題を行わせた。

## 3.1 方法

### 3.1.1 参加者

20名の学部生が実験に参加した。

### 3.1.2 手続き

実験2は2つの課題からなり，一人ずつ実施された。始めに，規則性のないランダムな事例を用いた3ブロックからなる課題1を，規則が存在すると偽り，課題の説明に示した手続きにならない行わせた。続いて，課題2が行われた。課題2では，表1に示した2つの規則が実験1における増加条件と同様に成り立つように設定された。つまり，ブロック5から7で徐々に与えられる反証が増加する。両課題とも各事例の観察時間は最大40秒とした。また，眼球運動測定のため各事例間に注視点が表示され，ブロック間でキャリブレーションが行われた。

## 3.2 結果と考察

フェイク規則を発見しなかった3名が分析から除外された。さらに，反証時または全体の眼球運動データが40%以上欠如した参加者4名が分析から除外された。ターゲット規則を発見した参加者は13名中6名であった。

図3は課題2におけるフェイク規則が報告された割合，自信の平均値，テストに利用された割合を示している。なお，フェイク規則が報告されなかったブロックの自信は0として計算した。さらに，図4は各ブロックにおける各パネルへの注視時間の割合を示している。グラフから，フェイク規則の発見に伴う矢印パネルの観察割合の増加が観察された。反証の直前のブロック4において

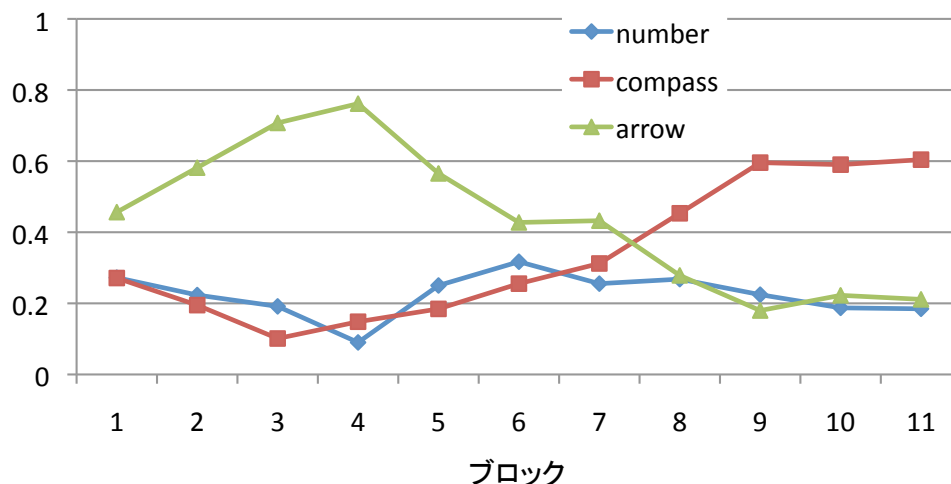


図4 各ブロックにおけるそれぞれのパネルへの注視割合の平均

パネルごとの注視割合の有意な差が観察された ( $F(2, 24) = 25.362, p < .001$ )。矢印パネルへの注視割合のみが他の2つのパネルよりも有意に高かった ( $p < .001$ )。この注視はフェイク規則に対する反証(ブロック5)により減少する。さらに、規則に関わりのない数字パネルの注視割合は変化しなかったが、ターゲット規則に用いられる方位パネルへの注視割合の増加が観察された。図3とあわせて考えると、フェイク規則の発見に伴う矢印パネルへの注視割合の増加と反証による減少が起きたと言える。さらに、方位パネルへの注視割合の増加はターゲット規則の発見者において方位パネルへの注視が増加したためだと考えられる。矢印パネルへの注視割合と自信評定 ( $r = .661, p < .001$ )、及び、フェイク規則の利用割合 ( $r = .650, p < .001$ )の間には高い相関が観察された。これらの主観的な評価、行動との一貫性は眼球運動データが規則空間の探索を反映していることを示す。

さらに、参加者内で規則発見プロセスの一貫性が観察されるか検討を行った。課題1と2において各参加者のパネルへの平均注視時間を算出した。2つの課題における平均注視時間には有意な正の相関が観察された ( $r = .821, p = .001$ )。なお、この相関は課題2をフェイク規則発見区間(ブロック2から4)と反証区間(ブロック5から7)にわけても同様に観察された ( $r = .768, p = .002; r = .809, p = .001$ )。

この結果は、個人内で規則発見の過程に一貫性があったことを示す。つまり、課題1で各タイプごとに規則を長めに検討する傾向がある参加者は、課題2においても同様の検討の仕方をする。これは、フェイク規則発見区間でも反証が与えられたときでも同様である。ブロック8以降はターゲット規則の発見者と未発見者が混在しているため分析には含まなかった。

上記の結果から眼球運動データが規則発見過程を分析するための指標として利用できることが示された。反証時の眼球運動データを詳細に調べることにより、反証が規則空間の探索にどのような影響を及ぼすのかを検討する。

## 参考文献

- [1] Simon, H. A., & Lea, G., (1974) "Problem solving and rule induction: A unified view", Knowledge and cognition, pp. 105-128.
- [2] Haverty, L. A., Koedinger, K. R., Klahr, D., & Alibali, M. W., (2000) "Solving inductive reasoning problems in mathematics: Not-so-trivial pursuit", Cognitive Science, Vol. 24, No. 2, pp. 249-298.
- [3] Mynatt, C. R., Doherty, M. E., & Tweney, R. D., (1977) "Confirmation bias in a simulated research environment: an experimental study of scientific inference", The quarterly journal of experimental psychology, Vol. 29, pp. 85-95.
- [4] Knoblich, G., Ohlsson, S., & Raney, G. E., (2001) "An eye movement study of insight problem solving", Memory and cognition, Vol. 29, No. 7, pp. 1000-1009.
- [5] Rehder, B., & Hoffman, A. B., (2005) "Eyetracking and selective attention in category learning", Cognitive psychology, Vol. 51, pp. 1-41.
- [6] Klahr, D., & Dunbar, K., (1988) "Dual space search during scientific reasoning", Cognitive Science, Vol. 12, No. 1, pp. 1-48.