

令和 元 年 6 月 5 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04184

研究課題名（和文）規則発見における事例空間の抽象化に関する認知科学的研究

研究課題名（英文）Abstraction of instance space in rule discovery

研究代表者

寺井 仁（TERAI, Hitoshi）

近畿大学・産業理工学部・教授

研究者番号：30397442

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究を通して、（1）膨大な事例空間において、個々の事例の抽象的理解が、規則発見に寄与していることが明らかとなった。特に、（2）事例の「表層的特徴」への着目は、問題解決の序盤に多く、中盤に向かって減少する一方、「構造的特徴」への着目が中盤から終盤にかけて増加する傾向にあった。また、自身の行為を振り返る自己省察が、問題解決の終盤に増加していた。このことは、事例の抽象的理解が進んだ後、「自己省察」が可能になることを示唆している。そして、（3）膨大な事例空間に対する探索に関する認知モデルを構築とシミュレーションを通して、事例の抽象的理解が事例空間の探索に促進的に機能することを検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

膨大なデータ（事例）の中から法則性を見いだす科学的発見は、科学的活動にとどまらず、学習活動などにも関連する人間の知的活動を支える重要な能力の一つである。事例の抽象化、それに基づく対象に対する理解の促進というサイクルは、現象との相互作用を通して高度な知識構築を実現してきた。化学、生物学、物理学、理工学、そして数学など広く科学一般の活動を支える基礎的なプロセスである。本研究における事例の抽象的理解が規則発見に果たす役割についての実証的知見は、科学的発見に対する基礎的な視点を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on effects of abstraction of instance space in rule discovery. We revealed that (1) abstraction of each instance contributes to find a rule underlying a huge instance space. In particular, (2) focusing on superficial features of each instance was dominant in the early phase of problem solving and decreased toward the middle phase, while focusing on structural features tended to increase from the middle phase to the late phase. Moreover, self-reflection reflecting on their own actions increased at the last phase of problem solving. This implies that self-reflection becomes possible after the abstract understanding of each instance has progressed. Finally, (3) we verified that the abstraction of each instance facilitates searching for the instance space by constructing and simulating a cognitive model for searching for a large amount of an instance space.

研究分野：認知科学

キーワード：規則発見 科学的発見

1. 研究開始当初の背景

膨大なデータの中から法則性を見いだす科学的発見は、科学的活動にとどまらず、学習活動などにも関連する人間の知的活動を支える重要な能力の一つである。このような科学的発見のプロセスは、現象の裏に潜む原理を探索する科学的な活動の特徴付けることから、問題解決研究の中心的なテーマの一つとして扱われてきた。その主要な成果の一つは、Simon and Lea (1974)を基礎に Klahr and Dunbar (1988)が定式化した Scientific Discovery as Dual Search (SDDS)のフレームワークであり、科学的発見は、実際に観察され物理的に操作可能な事象の集合である「事例空間(実験空間)」とそこに潜む法則性を検討するために心的に構成される「規則空間(仮説空間)」の探索とその相互作用によって説明される。近年では、SDDSは、数分で解決可能なハノイの塔のような古典的課題だけでなく、解決に1時間前後を要する、より複雑な規則空間を構成する課題(BigTrak, MilkTruck等)にも拡張されてきた(e.g., Klahr, 2000)。

一方、天文学における地動説や化学における酸素説の成り立ちに代表されるように、科学的活動においては、膨大な事例を含む事例空間に対する実験や観察を通して、そこに潜む規則の発見が行われる(Mason, 1953)。しかしながら、事例数が膨大で、かつ、事例間の関係が複雑になると、事例空間を全探索しその全体像を直接把握することは事実上不可能となる。このような膨大な事例を含む複雑な事例空間に焦点をあてた実験的研究はこれまでほとんど行われておらず、その認知的特性も明らかにされていない。

Ohlsson & Lehtinen (1997)は、科学的な理論構築においては、観察された事例の平均化ではなく、事例を「抽象化」して捉えることが大きな役割を果たしていることを指摘している。このことは、SDDSにおける個別の事例からなる事例空間と心的に構成された規則空間の相互作用を橋渡しするために、観察された個別の事例を抽象化して捉えること、すなわち、事例および事例空間の抽象化が重要な役割を果たしていることを示唆する。事例の抽象化、それに基づく対象に対する理解の促進というサイクルは、現象との相互作用を通して高度な知識構築を実現してきた、化学、生物学、物理学、理工学、そして数学など広く科学一般の活動を支える基礎的なプロセスであると考えられる(e.g., Lakoff & Núñez, 2000)。

2. 研究の目的

本研究では、規則自体は比較的単純である一方で、広大で複雑な事例空間を有すルービックキューブ(図1)の探索と規則の獲得を題材として用い、科学的発見を複数の問題空間の探索として捉えるSDDSを理論的背景に、これまで扱われることが少なかった事例空間の構造を直接把握することが困難な状況における、事例空間の抽象化を通じた規則獲得のプロセスを明らかにすることを目的に実験的検討を試みる。

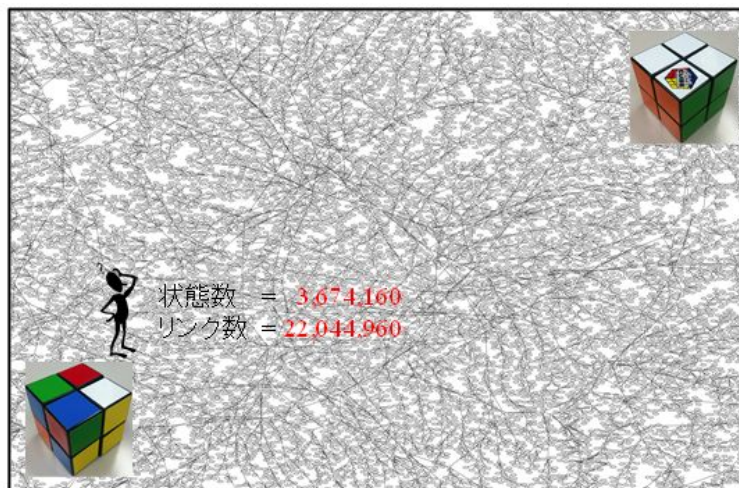


図1. ルービックキューブ(2×2×2)における事例空間(一部)

3. 研究の方法

本研究では、2×2×2のルービックキューブの規則の獲得を実験課題として用い、大学生を対象に、長時間に渡る個別の観察実験により得られた行動および発話データを分析対象とした。これらのデータをもとに、事例の抽象化が膨大な事例空間の探索および規則の獲得に果たす役割について検討を行った(ここでの事例とはルービックキューブの1つの状態を指し、あるランダムに組み替えられた状態や6つの面の色が揃った状態などを意味する)。また、実験研究の成果をもとに、事例の抽象化に基づく膨大な事例空間の探索のプロセスについてのモデル化を進めた。

4. 研究成果

膨大な事例空間の中から規則を獲得する過程において、事例の抽象化が果たす役割を明らかにすることを目的に、被験者実験における行動データおよび発話データを対象に分析を行った。ルービックキューブを対象に、ランダムな状態（初期状態）からすべてのピースを揃えた状態（目標状態）を達成するための解法（規則）を獲得する過程における行動データおよび発話データを分析対象とした。

規則の獲得に至る過程における思考の特徴と規則の獲得に対する主観的達成度（warmth rate）の変化過程に着目したところ、規則の獲得に至る過程において、事例の抽象的理解が、目標状態の達成に寄与していることが明らかとなった。一方、問題解決者自身がどの程度規則の獲得に近づいているかの主観的な指標である warmth rate の変化においては、被験者間で異なる傾向が認められた。具体的には、課題に取り組む時間と共に徐々に warmth rate が上昇する傾向にある被験者がいた一方で、終盤に急速に warmth rate の上昇がみられる被験者も存在した。

また、規則の獲得に至る過程において、どのような「観点」を持ちながら問題に取り組んでいたのかについての検討を進めた。分析では、ルービックキューブの個々の事例を「具体的」、または「抽象的」に捉えているのかについて、発話内容を対象にその推移を検討した。その結果、序盤には、事例を具体的に捉えている一方、中盤に向かって徐々に抽象的な観点が増えていく傾向にあることが明らかとなった。この結果は、規則の獲得には数十時間の取り組みという膨大な時間を要することから、事例を具体的に捉えることを抑制することで、規則の獲得を促進させる可能性が示唆された。そこで、ルービックキューブの直接的な操作を抑制することで、ルービックキューブの心的な操作が促進され、その結果として事例の抽象的な理解が進むことが期待されたため、事例空間の直接的操作の影響を実験的に検討した。具体的には、課題解決中に一定割合で事例空間の直接操作を禁止した実験群と統制群との比較を行った。その結果、実験群は統制群に比して、事例の直接操作が妨げられることによって、心的な仮説空間の探索が増加し、その結果、事例空間の探索が抑制されることが期待されたが、明確な差異は認められなかった。

さらに、規則発見の過程における、(1) 対象に対する理解（対象理解）の深まりと、(2) 自身の行為と結果の解釈（自己省察）の関係について検討した。「対象理解」は、単位時間あたりに「表層的特徴」または「構造的特徴」に関する発話の頻度を検討した。その結果、「表層的特徴」への着目は序盤に多く、中盤に向かって減少する一方、「構造的特徴」への着目は中盤から終盤にかけて増加する傾向にあることが明らかとなった（図2）。一方、「自己省察」は、単位時間あたりの自身の行為の「振り返り」と「評価」に関する発話の頻度を検討した。その結果、「振り返り」は序盤には少なく、中盤にかけて増加すること、「評価」は、終盤になって増加する傾向にあることが明らかとなった（図3, 4）。これらの結果から、「対象理解」が「表層的特徴」から「構造的特徴」の理解への移行と、「自己省察」の増加は、同時並行的に進むのではなく、「対象理解」が十分整った後、「自己省察」が可能となりその結果、規則発見に至ったと考えられる。

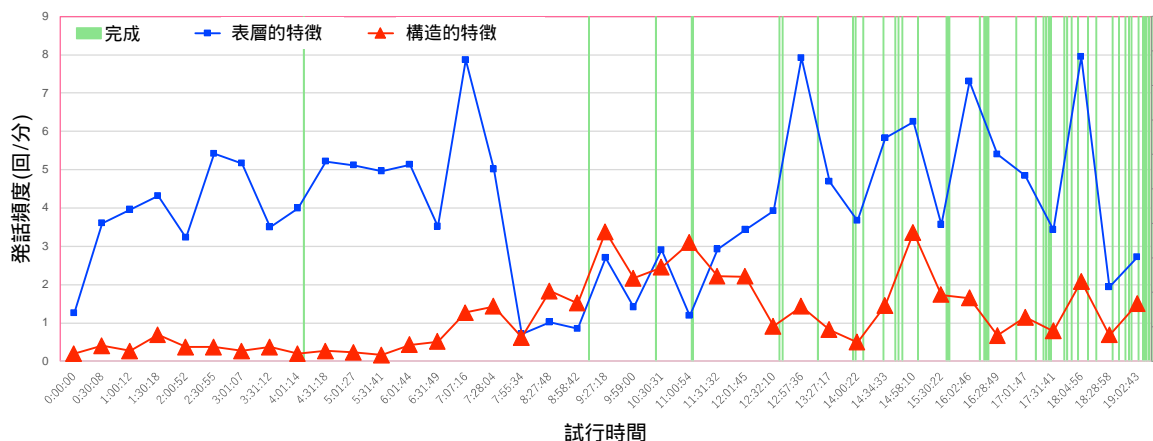


図2. 表層的特徴および構造的特徴に関する発話の推移

これまでの実験研究を通して、個別の事例を抽象的な事例として捉え、そして、事例空間から抽象的な事例空間を再構成した上で規則の探索が行われていること、また、このような事例の抽象化と、事例空間の探索において、目標となる事例（ターゲット）の発見の関係について、モデルベースの検討を進めた。認知アーキテクチャとして ACT-R を用いて、膨大な事例空間に対する探索に関する認知モデルを構築した。シミュレーションでは、個々の事例を異なる事例と見なすモデルを基準として、事例の集合を一つの抽象的な事例として見なすモデルとの比較を通して、事例の抽象的理解がターゲットの探索に促進的に機能することを検証した。

なお、規則発見において、事例を抽象的に捉えるという傾向については、異なる課題におい

でも実験的に確かめられた．具体的には，二次元セルオートマトンの一種であるライフゲームにおいて，セルの状態変化を観察しながら，その裏に隠された規則の発見を求める課題を被験者に課したところ，複数のセルをひとまとまりに捉え，現象の理解を進める傾向にあることが示唆された．

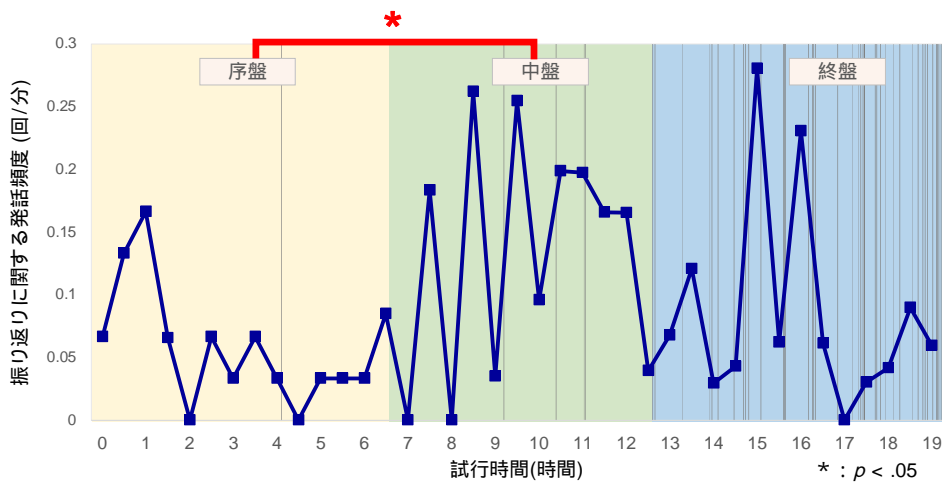


図 3. 振り返りに関する発話の推移

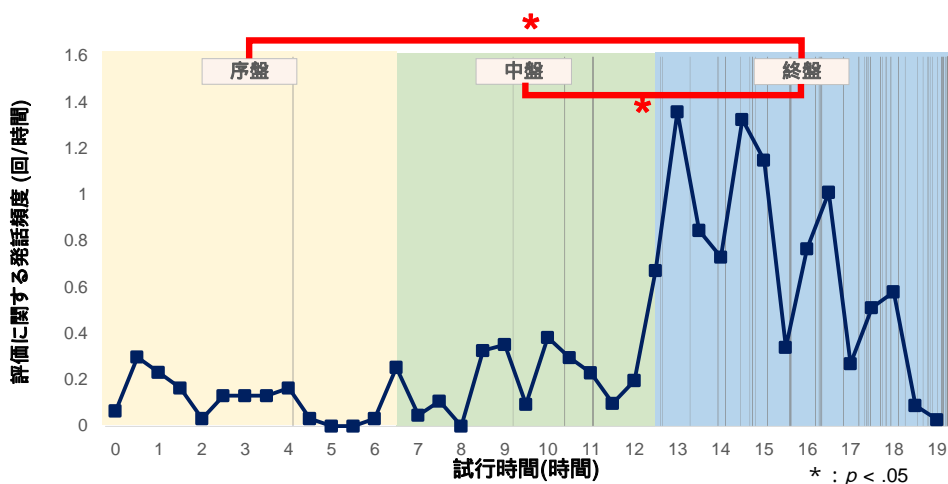


図 4. 評価に関する発話の推移

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

寺井仁・横山翔・三輪和久・藤村聡太・中山剛太郎，階層的規則発見に関する実験的検討．日本認知科学会第 34 回大会発表論文集，872-875，2017

Terai, H., Miwa, K., Yokoyama, S., Fujimura, S., & Nakayama, G., Effect of attention to emergent phenomena on rule discovery. Proceedings of 39th annual conference of the cognitive science society, 3856, 2017.

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。