

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K12021

研究課題名（和文）階層的規則性に対する認知の非対称性とその合理性

研究課題名（英文）Cognitive asymmetry and rationality for hierarchical regularity

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） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：局所的な規則性である下位規則から大局的な規則性である上位規則が創発される、階層的規則性は、科学が対象とする現象一般に認められる普遍的な性質の一つである。パターン認知や構えの効果に代表される認知特性から、人は上位規則を選択的に認知し、それに固執することが予想される。本研究では、このような階層的規則性を有する現象に対して、下位規則の発見のプロセスについて、以下の3つの観点から検討を進めた。1点目は、観察データに含まれるノイズが下位規則の発見に与える影響である。2点目は、階層的規則性に関する事前知識が、下位規則の発見に与える影響である。そして、3点目は、下位規則の探求における言語化の効果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学の領域は細分化が進み、各々の階層において専門化の度合いが加速している現代において、階層構造を意識し、階層の境界を乗り越えた議論を行うことの重要性が叫ばれている。学校教育においては、「知識・技能の習得と思考力・判断力・表現力等の育成のバランスを重視する」ことが、高等学校の学習指導要領において求められており、特に、理数教育の充実において、「探求する学習」の拡充が求められている。本研究の意義は、このような探求する学習に対して、科学の対象である現象の特性と科学的活動を行う人の特性、および両者の関係についての視野を提供することにある。

研究成果の概要（英文）：Hierarchical regularity, the emergence of higher-level rules that are global regularities from lower-level rules that are local regularities, is one of the universal properties recognized in the phenomena covered by science in general. From the cognitive characteristics represented by the pattern recognition and the set effect, it is expected that people selectively recognize and adhere to an emergent rule. In this study, we investigated the process of discovering fundamental rules from phenomena with hierarchical regularity from the following three perspectives: First, the effect of noise in the observed data on the discovery of the fundamental rules. The second is the influence of prior knowledge of hierarchical regularity. The third is the effect of verbalization in the search for subrules.

研究分野：認知科学

キーワード：規則発見

1. 研究開始当初の背景

1. 1 科学と階層的規則性

生命現象，社会現象，社会システム，気象の変化，地殻形成，そして，宇宙の構造など，自然現象から社会現象に至る幅広い領域において，現象を支えるより局所的な規則性（下位規則）から，より大局的な規則性（上位規則）が現れることが知られている．このような階層的な規則性の現れは，創発現象として知られている（e.g., Langton, 1989; Prigogine, 1980）．

科学は，このような「階層的規則性」に対して，なぜそのような現象が生み出されるのかの問いを繰り返しながら，つまり，より高次の規則をより低次の規則へと還元しながら，現象の根源的な理解を目指し発展を進めてきた（図1）¹．例えば，生物は様々な器官から構成されるが，各器官は組織の集まりとして，更には，組織は細胞の集まりとして理解される．

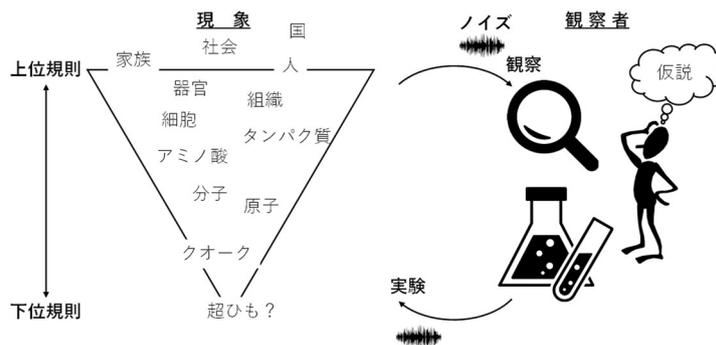


図1. 階層的規則性

1. 2 上位規則の認知が与える影響

現象の観察においては，観察の理論負荷性やパラダイム論の観点から，観察者が形成した仮説と整合的な事実に選択的に目を向け，その仮説に固執することが知られており，Einstellung effect（構えの効果）として実験的にも確認されてきた（e.g., Bilalic, et al., 2010）．すなわち，パターン認知によって先行する，仮説を導く上位規則の認知は，上位規則への固執を生み，下位規則の探求を阻害することが予想される．しかし，その逆に，上位規則の認知が下位規則の探求において促進的な役割を担う可能性も考えられる．現実世界では，純粋なシグナルのみを観察することは不可能であり，ノイズが混在する（図2）．科学は，このようなノイズの中からシグナルを見出す営みであるともいえるが，上位規則が認知できない場合，何がノイズまたはシグナルであるのかを識別することは困難である．一方，上位規則はノイズに対して頑健であるため，観察初期に上位規則が認知されれば，それを手がかりに，ノイズとシグナルを弁別することが容易となり，下位規則の探求の促進につながることも予想される．

2. 研究の目的

局所的な規則性である下位規則から大局的な規則性である上位規則が創発される，階層的規則性は，科学が対象とする現象一般に認められる普遍的な性質の一つである．パターン認知や構えの効果に代表される認知特性から，人は上位規則を選択的に認知し，それに固執することが予想される．

本研究では，このような階層的規則性を有する現象に対して，下位規則の発見のプロセスについて，以下の3つの観点から検討を進めた．1点目は，観察データに含まれるノイズが下位規則の発見に与える影響である．2点目は，階層的規則性に関する事前知識が，下位規則の発見に与える影響である．そして，3点目は，下位規則の探求における言語化の効果である．

3. 研究の方法

単純で局所的な下位規則から大局的な上位規則の創発をコントロール可能なライフゲーム（Conway's Game of Life）を規則発見課題として用いる（図2）．ライフゲームは二次元のセルオートマトンの1種であり，各セルは一般的に0（死）または1（生）の2つの状態のいずれかを取る．各セルは，一定時間ごとに近傍のセルとの関係（下位規則）によって状態が一括して変化する（図3(a））．変化後の状態を1つの世代と呼び，一定時間ごとに世代が更新される．ライフゲームの特徴は，このような単純な下位規則にも拘わらず，初期のセルの状態によって，上位規則としての特徴的なパターンが現れる点にある．上位規則の例を図3(b)に示す．世代の更新

¹ もちろんその逆も重要な観点であるが，本研究のフォーカスを明確にするため対象とはしない．

に合わせて、ひとまとまりのセルに変化が現れないパターンを固定物体、一定の周期でその場で変化する振動子、そして、ひとまとまりに移動して見える移動物体が、ライフゲームにおける上位規則である。

本研究では、実験参加者に、更新されるライフゲームの画面を提示し、個々のセルの変化を決めている下位規則である規則性の発見を求めた。

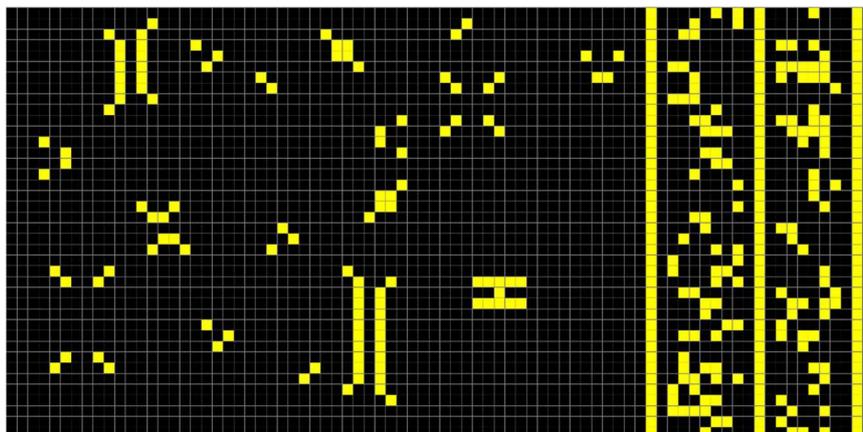


図 2. ライフゲーム (セルの変化を規定する下位規則は、図 3 に示す通りである)

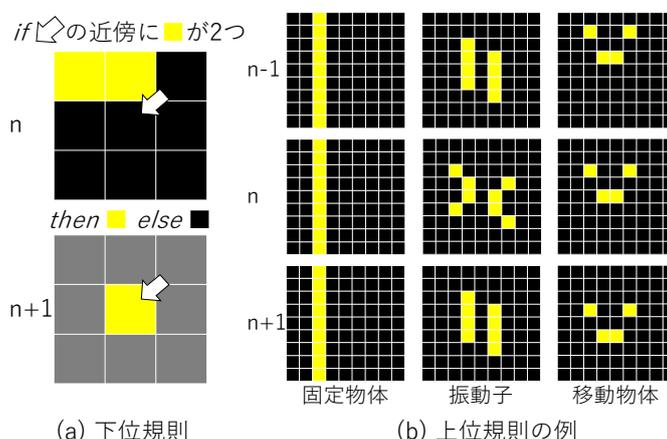


図 3. 下位規則と上位規則

本研究では、2/2 ルールと呼ばれる下位規則を本課題として用いた。図では、セルの値が 0 (死) となっている場合は黒色、1 (生) となっている場合は黄色でセルの状態を表現している。2/2 ルールでは、着目しているセルのムーア近傍 (8 近傍) に 2 つの 1 (生) のセルがあれば、1 (生) となり、それ以外は、0 (死) となる。なお、一部の練習課題では、23/3 ルールを用いており、着目しているセルが 1 (生) の場合、ムーア近傍に 2 または 3 つの 1 (生) のセルがあれば 1 (生) となり、着目しているセルが 0 (死) の場合、ムーア近傍に 3 つの 1 (生) のセルがあれば 1 (生) となる。

4. 研究成果

4. 1 観察データに含まれるノイズの影響

本実験では、上位規則の存在と観察データに含まれるノイズが、下位規則の発見に与える影響を検討することを目的とした。

実験参加者は、学部生 27 名で、非創発群 ($n = 13$)、創発群 ($n = 14$) に割り振られた。ライフゲームの初期状態を操作することで、世代を通して、固定物体、振動子、及び移動物体などの上位規則が現れる創発群とそれらの上位規則が現れない非創発群の 2 条件が設定された。

いずれの条件においても、観察対象であるライフゲームのセルには、2.5% のノイズが混じるように操作を行った。ノイズとは、ライフゲームのセルが本来 0 (死) であるべきところが 1 (生)、本来 1 (生) であるべきところが 0 (死) として表示されることを意味する。

参加者には、教示として、画面に表示される「黒いセル」と「黄色いセル」の変化を観察し、個々のセルの変化を決めている規則性を発見することを求めた。課題画面には、課題中メモを取るための「メモ入力ボタン」と、気づいた規則性を報告するための「規則性の報告」ボタンがあ

り、それぞれのボタンを押すことで、任意のタイミングで、メモの記録、また、規則性の報告が行なえるようになっていた。13回のセルの変化を1試行として、試行の終了時には、強制的な規則性の報告が求められた。

実験参加者は最初に、練習課題として、本課題とは異なる下位規則（23/3ルール）に基づき、上位規則が創発するライフゲームを対象に課題に1試行取り組み、最後に正解が教示された。続く本課題（下位規則は2/2ルール）では、創発の有無の条件にランダムに割り振られ、計6試行に取り組んだ。

課題終了時（6試行目終了時）の条件間の正解/不正解の偏りについて直接確率検定を行ったところ、偏りは認められなかった（ $p = .27$ ）。次に、参加者が課題解決中に記録したメモと規則報告の内容をもとに、複数のセルをひとまとまりのものとして言及している場合をパターンへの言及、個々のセルについて言及している場合をセルに関する言及として分類した。パターンに関する言及率について実験条件（創発群/非創発群）と試行（1～6試行）の2要因混合分散分析の結果、実験要因の主効果が有意であり、非創発群に比して、創発群においてパターンに関する言及が多いことが明らかとなった（ $F(1, 25) = 12.51, p = .002$ ）。一方、試行の主効果、および交互作用は認められなかった（ $F(5, 125) = 1.30, p = .268; F(1, 5) = 0.23, p = 0.949$ ）。一方、セルに関する言及については、試行の主効果が有意であり（ $F(5, 125) = 5.19, p = .000$ ）、Holm法による多重比較の結果、1～3試行目と比べて6試行目においてセルに関する言及が減少していることが確認された（ $p = .026, p = .014, p = .044$ ）。実験条件の主効果および交互作用は認められなかった（ $F(1, 25) = 0.036, p = 0.852; F(1, 5) = 0.445, p = 0.816$ ）。

以上の結果から、創発群において上位規則に対する言及が多いことが認められた。しかしながら、条件間における下位規則の発見の差は認められなかった。創発現象が存在することで、上位規則への着目が促進されるものの、ノイズが混じった観察データから、下位規則を抽出することにはつながらなかった。また、セルに関する言及は、また、セルに関する言及において条件間には差はみられず、試行を繰り返すごとにセルへの言及が減少する傾向が示された。

4. 2 創発現象に関する事前経験の効果

本実験では、創発現象に関する事前の経験が、上位規則の背後に潜む下位規則の発見プロセスに与える影響を取り扱うことを目的とし、実験的検討を行った。

参加者は学部生23名で、統制群（ $n = 10$ ）と事前経験群（ $n = 13$ ）に割り当てられた。統制群の練習課題（23/3ルールを使用）では、13回の世代の変化の中に上位規則が現れないよう初期状態が操作された。一方、事前経験群の練習課題では、13世代の変化の中で、多くの上位規則が現れるよう初期状態が操作された。これにより、本課題に先立ち、異なる下位規則から上位規則が創発することに関する知識を事前の経験によって操作を行った。なお、条件間の差異は、練習課題のみであった。練習課題終了後、正答が提示され、本課題に移行した。本課題（2/2ルールを使用）では計7試行に取り組んだ。

課題終了時（7試行目終了時）の条件間での下位規則の発見/未発見の偏りについて直接確率検定を行ったところ、偏りは認められなかった（ $p = 1.00$ ）。次に、報告された規則性の言及内容について分析を行った。7試行目終了時のパターンへの言及の有無について、 χ^2 検定の結果、統制群と事前経験群との間に偏りは認められなかった（ $\chi^2(6) = 3.943, p > 0.1$ ）。また、セルへの言及の有無についても、統制群と事前経験群との間に偏りは認められなかった（ $\chi^2(6) = 8.415, p > 0.1$ ）。

4. 3 言語化が与える影響

本実験では、創発現象を認知し、その背後に潜む規則性の発見の過程において、思考過程の言語化が、促進的に働くのか（e.g., Gagne & Smith, 1962）、または抑制的に働くのか（e.g., Schooler et al., 1993）について、実験的な検討を進めた。

実験には、学部生22名が参加し、統制群（ $n = 11$ ）と言語化群（ $n = 11$ ）に割り当てられた。

参加者には、上位規則が現れる12世代のセルの状態をスライドで提示し、自由な観察を許した。実験時間は40分間で、10分ごとに規則性の報告を求めた。なお、言語化群は、事前に、言語化の練習課題として、川渡問題が与えられ、発話しながらの問題解決が求められ、本課題中も発話を行うよう指示された。なお、実験は、Webを介して個別に行われた。

実験の結果、両群において、下位規則の発見にいたった参加者はおらず、条件間には差は認められなかった。次に10分毎に求めた規則性の報告内容をもとに、言及内容の分析を行った。パターンに関する言及においては、統制群が言語化群よりもより多く報告していたことが示され、言語化が上位規則に対する注意に抑制的に作用する可能性が示唆された。しかしながら、パターンへの言及割合を目的変数とし、実験条件および試行時間を説明変数とした要因対数線形モデルを用いた分析の結果、パターンへの言及割合に対する実験条件の影響は認められなかった。一方、セルに関する言及には、条件間に差は認められなかった。セルへの言及割合を目的変数とし、実験条件および試行時間を説明変数とした要因対数線形モデルを用いた分析の結果からも、セルへの言及割合に対する実験条件の影響は認められなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 寺井仁, 日比野聖也, 三輪和久 |
| 2. 発表標題 創発現象への認知が規則発見に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 ヒューマン情報処理研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|