



## 階層性と全体性

浦上, 大輔

---

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2007-03-25

(Date of Publication)

2012-11-19

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3919

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003919>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 286 】

氏 名・(本 籍)	浦上 大輔	( 大阪府 )
博士の専攻分野の名称	博士 (理学)	
学 位 記 番 号	博い第325号	
学位授与の 要 件	学位規則第5条第1項該当	
学位授与の 日 付	平成19年3月25日	

【 学位論文題目 】

階層性と全体性

審 査 委 員

主 査	教 授	郡司 幸夫
	教 授	佐藤 博明
	教 授	中川 義次
	助教授	小松崎 民樹

まず、「階層性と全体性」という些か大掛かりなタイトルは、どのような問いを射程に入れているのかについて整理します。いわゆる複雑系科学などでは、しばしば「局所」と「大域」の関係が問題にされるのですが、本論文でまず主張したいことは、「局所と大域という2つ概念だけでは概念装置が足りてない」という事です。そこで本論文では、この2つの概念に、「規則」と「状態」という概念を加えて、「規則と状態と局所と大域という4つの概念の関係」を議論します。規則と状態からなる階層間の相互作用がもたらす局所と大域の関係について論じることが、「階層性と全体性」と名づけられた本論文のテーマです。

本論文は認知実験とシミュレーションモデルの2部構成になっています。モデルは抽象的なので、先に、認知実験について説明します。認知実験について説明することによって、本論文のテーマに具体的なイメージを与えつつ、モデル化すべき対象を明らかにしたいと思います。

本論文の認知実験は、人間の地理把握を問題にしています。普通、地理把握とは局所的な情報を積み重ねて、大域的な地図のようなものを思い描く事だと考えられています。例えば、郊外に住んでいる少年が街まで牛乳を売りに行くといった場合、途中で山があって目的地まで見渡せないといった状況が考えられます。その時、局所的な情報を張り合わせることによって、大域的な地図のようなものを思い描き、その結果、山を迂回して町までたどり着くといったことが可能になると考えられています。しかし、私は、局所を張り合わせて全体を作るといった描像では概念装置が足りていないと考えます。というのも実際は、馴染みのある場所ですら、風景は刻々と変化していきます。例えば、時刻によって、人や車の交通量が変化するでしょうし、日差しの向きや量も変化します。蔽密には、局所を張り合わせても全体にはならない訳です。それでも人間がなんとかやっていけるのは、行為を通じて知覚する、つまり、歩きながら風景を見つつ考えるといったことを行っているからです。つまり、地理把握においても、局所と大域に状態＝知覚と規則＝行為も加えて、これら4つの概念の関係について考える必要があります。

本論文の認知実験ではこの点を強調するために、部分の張り合わせが全体にはなり得ないような状況を、あえて設定しました。具体的には、被験者にデスクトップ上の仮想迷路を探索してもらうのですが、その迷路を4つにブロックを分けて、被験者には内緒でそれぞれ独立に回転させます。このような状況では、部分を張り合わせても整合的な全体を描くことはできません。このような実験環境で、被験者の探索の軌跡を記録しました。そして、その軌跡をビット列に変換し、そのビット列を生成するプログラムの長さを推定しました。このような解析の結果、被験者が規則と状態の相互作用を通じて、局所と大域を関係づけているということが明らかになりました。

先の段落で、被験者において規則と状態が相互作用していると述べましたが、ただ単に両者を使い分けているという訳ではありません。規則と状態の関係について、より深い議論をしようというのが、本論文で提案するモデルのテーマです。計算機を例に考えますと、規則はCPUが、状態はメモリが担っています。そして、電気信号を介してのみ、両者は関係しています。一方、脳でも同様の役割分担が知られています。意思決定などの行為＝状態に関わることは主に前頭葉で行い、外部との接点である知覚＝状態は主に後頭葉で行うとされています。ただし、脳が計算機と決定的に違う点は、前頭葉と後頭葉は電気信号でやり取りするだけでなく、より物質的で直接的な相互作用をしているという点です。このことの意義は、とてつもなく大きい。一般的に我々は、何だかの自然現象を記述する際に、関数と集合によって記述します。関数とは規則のことで、集合とは状態の事です。いま我々は、関数と集合の直接的な相互作用を問題にしています。直接的な相互作用とは、どちらか一方で他方を還元してしまうことではありません。両者のステータスの違いを認めつつ、両者を混同する。そのような事を可能にする数学的道具として、本論文では束(Lattice)を取り上げます。束は、関数という側面と、集合という側面の、2つの側面を両義的に備えています。

さらに、局所と大域の関係が視覚的に理解しやすい数学的道具として、Elementary Cellular Automata (ECA)を取り上げます。計算機とのアナロジーで説明すると、ECAでは、CPUがたくさんあって、それぞれローカルに、並列的に稼働します。ECAでは、状態の相互作用は局所的ですが、グローバルに同じ規則に従います。この規則をアприオリに与えず、状態から学習するようにしようというモデルを本論文では提案する訳ですが、そこで大事なことは、規則と状態の相互作用の直接性をうまく表現してやることです。そうしないと、規則を学習する規則、つまりメタ規則を与えることになり、議論は無限退行してしまいます。

具体的には、ECAの各セルが固有の意味論を持つようなシミュレーションモデルを提案します。意味論は次のような役割を果たします。

第1にそれは、状態空間であり且つ規則の計算過程を決定します。

第2にそれは、規則と状態からなる階層間の齟齬と調停を両義的に担います。この意味論を束で表現します。束はある極限操作について閉じているのですが、この極限操作を弱めることにより、意味論に局所性を導入します。そして、このような意味論を、局所意味論と呼ぶことにします。

局所意味論をECAに実装し、それをLattice-Driven Cellular Automata (LDCA)と呼ぶことにします。ECAでは規則は全てのセルで共通かつ不変であり、規則はセルの状態変化を一義的に決定するのに対して、LDCAでは各セルにおいて規則と状態は直接的かつ動的に相互作用します。そして、ECAとLDCAが生成する時空間パターンを、エントロピーの時間変化を計算することによって比較します。その結果、LDCAはECAと比べてより普遍的に複雑な時空間パターンを生成することが判明します。

(氏名：浦上 大輔 NO. 3 )

以上のように、本論文では、認知実験とシミュレーションモデルを通じて、階層間の直接的かつ動的な相互作用がもたらす全体性について議論しています。第1章では、本研究を「クオリア」や「否定神学」といった現代思想のテーマにおいて位置付けることによって、本研究の意義を明らかにします。第2章では認知実験について、第3章ではモデルについて述べます。第4章では結論として、第1～3章での議論を総括しています。

氏名	浦上 大輔		
論文題目	階層性と全体性		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	郡司 孝夫
	副査	教授	中川 義次
	副査	教授	石原 博司
	副査	助教授	小松崎 民樹
副査			印

要旨

概要

本研究は、認識・視測において不可避的に出現する階層性という問題を、認知実験、および東誘導型のセル・オートマトンモデルで評価した、野心的な研究である。視測者は神ではない。したがって視測に関する留保は、同定された対象に潜在し、対象の実在は、常に世界という全体内で生成された部分であり、かつ様々な部分から生成された全体、という階層性を担うことになる。この階層性は、原理的な無際限さ、決して解消されない階層間の差異・齟齬を担い続けることになる。このような、(認識される)対象=全体=齟齬を担う階層構造、という視点を、論文の前半部では地理認知に関する認知実験から解説し、後半部では意味論を東で定義し、統語論と意味論とが相互作用するモデルを提案し、その挙動から論じている。

第1章は序論であり、ハイデッガー的存在概念に依拠しながら、生成という視点で存在を論じる可能性、さらにそれを科学の枠組みの中で論じる可能性について述べている。特に第2章で述べる地理認知について、ルートマップ(情報加算的・外延的)指向型の研究と、サーヴェイマップ(鳥瞰的・内包的)指向型の研究との対立の歴史をひもとき、特に、ルートマップ型からサーヴェイマップへの変化が発達の過程で認められながら、変化はあたかも一瞬で一過性であるかのように扱われてきた点を問題視している。ここから、両者の共立・齟齬・混同を取り入れた動的な地理認知という描像を提案し、これを立証するような認知実験の可能性を論じている。また第3章で述べるセル・オートマトンに鑑み、複雑系の科学で論じられる認知システム・ロボットには感覚系と運動系との論理的差異、つまりは意味論と統語論との概念的差異がなく、いわば統語論のみで議論している点を問題視している。前半・後半を通じて、齟齬のある二つの階層、内包と外延、または統語論と意味論の動的対称性こそ、頑健で進化・発達するシステムの要諦であると述べられる。

第2章では、地理認知に関して、認知実験を行っている。人間が地理を把握する場合、大域的で客観的な方位を有する鳥瞰図的地図と、自分の周辺のみを記載し主観的な向き(左右のような)を有する局所的地図とがあると想定できるだろう。第1章で述べたように、これらはサーヴェイマップとルートマップに各々対応し、成人においては両者は整合的であるため、鳥瞰的地図主導で地理認知に供されると考えられている。しかし、両者の関係の齟齬があるから方向音痴と呼ばれるような地理認知も存在する。ここで、方向音痴を例外的な或る種の病理と考えるのではなく、一般にこのような齟齬が内在したまま地理認知が進行すると考え、それを実証するような動的迷路を考案し、これを用いて実験している。

動的迷路で、経路はすべて格子状に配置され、幾つかは袋小路となっている。このような格子空間の全体が4つのブロックに分けられ、各々のブロックはブロックの中心を軸に回転する。回転角は、0、90、180、270度の中からランダムに選ばれる。回転すると、ブロックの端にあった経路はつながり、別の経路と接続してしまう。つまり各ブロックの位置関係はブロックの回転によって絶えず変化し、ブロック内の局所的な地図をどんなに正確に貼り合わせても、鳥瞰図の全体を整合的に得ることはできない。

動的迷路上には、複数の目印が配置されている。これらの目印を指示されたように辿っていくことが、被験者に与えられる課題となる。被験者にはもちろん格子空間の全体は見えず、自分の周辺であるごく一部が見えるに過ぎない。被験者はブロックの回転にも気づくことができない。被験者が全く気づかないうちに、ブロックは回転角をランダムに選びながら回転する。したがって、被験者の認知する局所的地理を貼り合わせて得られる全体は、絶えず矛盾を含む全体となる。被験者は鳥瞰的地理認知と局所的地理認知とを絶えず共立させ、両者の関係を調整するような認知を実現することでしか、この課題を成し遂げることができない。対照実験は、ブロックの回転がない迷路において同じ課題が与えられて実行された。

氏名	浦上大輔
<p>被験者の迷路上の探索軌跡が記録され、これを用いて以下のような解析が行われた。まず、探索軌跡は東西南北を00、01、10、11にコードし、単位歩数毎に被験者がどちらの方位を向いていたかコードされた。こうして得られたビット列において、過去の有限のビット列から次を計算し、全体を再構成できるようなプログラムがブール多項式で表現される。このブール多項式から二つの評価量、内包的特徴と外延的特徴が得られる。内包的特徴は、ブール多項式最簡約表現の主項数で定義される。最簡約表現とは、最も短いブール多項式、最も短いプログラムを意味し、クワイン・マクスキーの定理を用いて計算できる。このとき主項数は、最簡約プログラムの長さを意味している。ランダムなビット列はこれを再構成する規則が存在しないため、プログラムは、与えられた時系列をそのまま書き下すようなものとなり、生産すべきビット列長が無制限ならプログラムも無限となる。ここから内包的特徴とは、時系列が有する規則的な程度、規則として整理できる程度を表すものと考えられる。この実験で、それは、規則的・包括的で、鳥瞰図的な探索に対応する。外延的特徴は、得られたブール多項式(プログラム)が生成する周期解の大きさの平均値で評価された。したがって外延的特徴が小さいとは、プログラムの発する経路(周期解)が短く、断片的で、プログラムはその断片の集合的意味合いを強く有すると解釈できる。</p>	
<p>このような解析方法で評価し、ブロック回転を伴う実験と、対照実験とを比較したところ、同じ内包的特徴で比較すると、ブロック回転を伴う実験では外延的小さく、断片的な集合論的情報を用いて探索し、対照実験では大きな周期解をもたらす、規則的包括的探索を実現しているという結果が得られた。このことは、一般の探索において、大域的内包的探索と局所的な外延的探索とが常に共存し、状況において両者の関係が調整され使い分けられることを示すものと述べられている。</p>	
<p>第3章は、東誘導型のセル・オートマトンを定義し、その挙動を評価した数値計算について論じている。セル・オートマトンとは、格子空間に与えられたビット列を変換する局所的規則である。局所的規則は空間全体で同時に一様に適用され、使われ方に関する文脈の違いなどは一切ない。すなわち統語論のみで閉じている。申請者はこれに対し1次元格子空間の各格子に、異なる文脈=意味論が配置され、各意味論を用いて情報を解釈し、それに基づいて局所的遷移規則を適用し、次状態を計算するというモデルを与えている。各格子に置かれた意味論は東で定義され、計算それ自体と東とも相互作用し、次状態と共に東も変化する。</p>	
<p>実際東誘導型セル・オートマトンは、次のように動く。格子空間には、2ステップ分(<math>t, t+1</math>)の東の配列が与えられる。各格子に配された各東上の元が、その格子の状態となる。このような2ステップ分の状態列は、すべて4元ブール代数の元として解釈される。こうして再隣接相互作用の形式で、前状態の三つ組みと次状態との対(これを基準式と呼ぶ)が得られる。基準式は、自らの格子のみではなく、両隣R個の基準式が得られる。これは文脈に関する視野の広さを意味する。ここから、次の<math>t+1</math>時刻の状態を計算する。計算はセル・オートマトンの遷移規則をブール積和標準形で与え、上限・下限を用いて計算するが、上限は上界の中から、結合・交換・分配律および基準式を成り立たせる条件のもとで選び、定義する。下限も同様である。このような計算によって、計算する集合の全てを見渡さない、局所的な計算が実装可能と考えられる。この新たに定義された上限・下限を用いて、ブール積和標準形が計算され、次状態が得られる。さらに、局所的計算を実行することで、事後において文脈=東は変化してしまう。上限の定義に従って、順序関係を再構成し、上半東が得られる。同様に下限の定義に従って、下半東が得られる。上半東でアップセット、これを下半東でダウンセットをとり、擬似的な閉方操作を適用すると、東が得られる。こうして結果的に、次状態、次文脈である次の東が得られる。東誘導型セル・オートマトンは、この手続きを繰り返すことで、ビット列の時間発展を進める。このオートマトンは、文脈に関する視野の広さを大きくすると、ある値以上で通常のセル・オートマトンに収束する。このモデルはいわば文脈の動的な多様性の効果のみを評価可能なシステムであるため、文脈の多様性=不完全性が失われるまでRが大きくなると、単なるセル・オートマトンになるからだ。しかしRが小さく、十分な不完全性=文脈の多様性を有するときには、時間発展パターンはカオスと局所的周期解を混ぜたような複雑なパターンを一般的に繰り返す。この挙動は東誘導オートマトンにおいて、全ての遷移規則に一般的に認められることが判明した。</p>	
<p>第4章は結論である。探索・地理認知から、大域的な内包的認知と局所的な外延的認知が齟齬をなし、その絶え間ない調整こそが地理認知の本質であると論じられ、また、東誘導型セル・オートマトンの議論から、東と局所の上限・下限によって、統語論的計算(状態遷移)と意味論的計算(東の変化)が導入でき、かつ統語論と意味論の動的齟齬が、生命的な挙動を生み出すと結論付けられており、両者を通じて動的齟齬・調停概念が生命の鍵であると論じられている。</p>	
<p>本論文は、部分の整合的コレクションではない全体(齟齬のある内包・全体対)を、認知実験、東誘導型オートマトンで炙り出し、内的齟齬こそが創発・生命的挙動の鍵であることを示した。これは複雑系の科学における新たな知見であり、論文審査及び最終試験の結果、上記の学位申請者浦上大輔は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。</p>	