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

博　士　論　文

階層性と全体性

平成１９年１月

神戸大学大学院自然科学研究科

浦上　大輔

博　士　論　文

階層性と全体性

Hierarchy and Wholeness

平成１９年１月

神戸大学大学院自然科学研究科

浦上　大輔

Uragami Daisuke

「気持ちが悪いのだ。ザラザラする。」

ミネバ･ザビ　『機動戦士Ｚガンダム』第 47 話

「われわれはなめらかな氷の上に迷い込んでいて、そこでは摩擦がなく、したがって諸条件があるいみでは理想的なのだけれども、しかし、われわれはまさにそのために先へ進むことができない。われわれは先へ進みたいのだ。だから摩擦が必要なのだ。ザラザラした大地へ戻れ！」

L.ウィトゲンシュタイン　『哲学探究』107

「玉虫の羽みたいに艶やかなプログラム、ざらついたプログラム。こういった表現は普通、比喩以上の意味を持たない。ただのイメージに過ぎない。でも生命や意識、こころの、科学的表現やモデル、理論を追及していくと、プログラムの質感、錆びて動かないプログラムとか、ぼろぼろにちぎれ辛うじてつなぎとめられたプログラムとかが、実質的意味を持つんじゃないかな。いやむしろ、実質的意味を持ち得るように、質感、材料性、モノそれ自体という概念を再構成したり、拡張して、科学を変えていくぐらいのことが必要なんじゃないかな。」

郡司ペギオ幸夫　『生きていることの科学』p16

目次

要旨

「階層性と全体性」という些か大掛かりなタイトルは、どのような研究領域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、「局所と大域という二つの概念だけでは概念装置が足りていない」ということです。そこで本論文では、この二つの概念に、「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四つの概念の関係」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二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、途中に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、山を迂回して街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象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。厳密には、局所を

張り合わせても全体にはならないわけです。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、といったことをやっているからです。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わけではありません。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。思い切って単純化してしまいますと、意思決定などの行為＝規則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。一般に我々は、何ら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、集合とは状態のことです。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動します。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。この規則をアプリオリに与えず、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わけですが、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、局所的意味論と呼ぶことにします。

局所的意味論を 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。

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、前章までの議論をまとめつつ、本研究の意義をもう一度確認します。

第1章　序論：

脳の否定神学に抗して

1.1　アンチ・クオリア

誰もが世界の中心で脳と叫ぶ。かつて、ある右翼政治家が NO と言えない日本人を叱責したが、社会の右傾化と共に脳と言える人々が増えたわけだ。いまさら世界の周縁でイエスを信じることはできない。神は死んだと宣言されてから既に一世紀以上が過ぎた。ドゥルーズ＝ガタリの言葉を借りるなら、ダ・ヴィンチ・コードは脱コード化されてしまった(ドゥルーズ＝ガタリ 1986)。最後に残された聖域がクオリアというわけだ。私が NO と言いたいのは、クオリアは科学に残された最大で唯一の謎だという考えに対してだ。他は全て整合的な体系を作ることができて、唯一の穴がクオリアだという主張に、意義申した立てをする。「クオリアなど存在しない」と、主張したいわけではない。むしろ事態はまったく逆である。クオリアは至る所に存在する。目の前のコップにも。ただし、クオリアを齟齬や差延と言い換えてよいのであれば。したがって、クオリアは至る所に存在するという主張は、主観的観念論や唯心論とは一切関係ない。

クオリアとは何か？それは主観的な質感で、脳内のニューロンの活動には還元できないとされる (茂木 2006)。主観的な質感とは何かと問うことは、ナンセンスだとされる場合が多いので、ここではその問いは棚上げにして、ニューロンの活動には還元できないとはどういうことかを掘り下げよう。我々は、ニューロンの活動を自然言語であれ数学であれ、なんらかの記号によって記述する。したがって、煎じ詰めれば、クオリアは記号では表現できないということになるであろう。例えば、赤のクオリアとは、「赤」という記号では表現しきれない質感だというわけだ。では、「赤のクオリア」は何を表現しているのか？　そう、「赤のクオリア」は権利上、シニフィエなきシニフィアンなのだ。この言葉があるおかげで、他の言葉は整合的に機能する。正にごみ箱だ。あとで詳しく議論するが、一つの事

実を確認しておきたい。事態は逆であった。原因と結果を取り違える誤謬が確認された。クオリアは最後に残された謎ではない。最初にあったごみ箱=神なのだ。かような思考形態を否定神学と呼ぶ。否定神学とは、語りえないものに名を与えて、そこで思考を停止してしまう態度である、と定義しておこう。ただし我々は、より洗練された否定神学に出会うことになる。

脳活動の様々な測定によって、意識と脳の相関関係を決定することは、ある近似の範囲で可能であろう。しかも、この近似は他の経験科学と比べて劣る、というわけではないだろう。しかし、それをもって心脳問題を解決したと納得できない人々が多くいる。彼らは意識の何々理論を提案する。たとえばサールの著作には意識の理論が列挙され、その妥当性が検討されている(サール 2006)。しかし、こういった試みの全てが、端から見当違いではないだろうか。意識とは、私の意識とは、あなたの意識とは、「理論では捉えきれない」という属性を不可避的に内包しているように思えてならない。クオリアとは意識のこの様な側面を言い当てた言葉ではなかったのか。そう、私は、たった今、クオリア=ごみ箱だと非難しながら、今度はそれを肯定するかのような態度をとった。

より広く生命一般の文脈で、クオリアと類似の概念を探すなら、自律性がそれであろう。２０世紀の哲学において、度々言及された他者性もまた、同じ問題圏に属している。自律性とは予測不可能性を内包しているだろうし、他者とは私が完全には理解することができない何者かであるように思える。これらを理解するには、直接的な方法は用を為さず、迂遠で逆説的な方法のみが有効であろう。その方法は、デリダによって脱構築と呼ばれ(デリダ 2005)、日本では柄谷行人によってゲーデルの名と共に執拗に実践された(柄谷 1988, 1989)。ただし、東浩紀が指摘したように、脱構築と否定神学の距離は近い(東 1998)。クオリアを理論の亀裂において理解することと、クオリアをごみ箱＝神として遇することは、表裏一体かどうかはともかく、紙一重であることは疑いない。この紙一重の隙間に、１枚づつ紙をねじ込んだ結果、出来上がった約１００ページ＝１cmほどの隙間が本論文である。

脱構築や否定神学とは何かについては次節で議論する。その前に、一つの問いを発しよう。なぜ否定神学がいけないのか？　東浩紀は、それが２０世紀の思想史において紋切り型であったこと、ハイデガーに端をなし、ラカンによって極限まで整備され、デリダやドゥルーズもまたその影響下にあることを、簡潔に語ってくれた(東 前掲書)。しかし、思想史上のいわば外的な理由ではなく、内的な批判は積極的には為されていない。ただ、奇妙な全体性、と言っているだけである。我々は、次節でチューリングマシンを例として、奇妙な全体性を確認することになる。より明快な批判は、ドゥルーズ=ガタリを援用する浅田彰によって為されている(浅田 1983)。ズバリ、否定神学は資本主義社会のイデオロギーだというわけだ。イデオロギーだという批判は、その理論が現実を十分に説明できていない、という事実問題だけに収まるものではない。ことは事実問題と権利問題が交差する地点にある。

クオリアをめぐる言説も同様の地点にある。本節のタイトルは、ドゥルーズ=ガタリの『アンチ・オイディプス』をもじって付けられた。クオリアが唯一の謎であるという思想は、自然科学において支配的な一つのイデオロギーを、頂点から支える機能を果たしている。どのようなイデオロギーか？ 実在論というイデオロギーである。これに対して、科学は実在論でないという哲学者の批判は、科学者にとってほとんど意味をなさない。イデオロギーは真実だから機能するのではない。それを信じることによって機能するのだ。ただちに、ジジェクの指摘を付け加えなけなければならない。だれもスターリンを信じてはいなかった。にもかかわらず、信じているかのように振る舞うのだ(ジジェク 2000)。誰も科学が実在論だとは信じてはいない。にもかかわらず、科学者は、その活動が実在論によって根拠付けられているかのように振る舞うのだ。

事実と権利が、理論と実践が、観測と行為が、交差する地点に我々が立っている事が確認されたならば、本節の役目は果たされた。

2.2　二つの脱構築

形式化を徹底することで自壊させ、その解体の含意として外部を理解すること、これが柄谷=ゲーデル的な脱構築である。外部を理解するとは、窓のない密室から外の様子をX線で観察するようなことではない。外部を外部として理解すること。外部の外部性を、他者の他者性を、クオリアのクオリア性を理解すること。それが柄谷=ゲーデル的な脱構築がめざすところである。特に注意しておきたいことは、クオリアをめぐる言説において、クオリアとは何であるか、すなわちクオリアのクオリア性は自明であって、ただクオリアと脳の関係だけが謎であるという態度にしばしば出くわすことだ。我々はこのような理論的態度と同一の地点から議論を始めない。クオリアとは何かとの問いに対して感じればわかると答えること、経験とは何かとの問いに対して経験すればわかると答えることほど陳腐なことはない。神とは何かと問われて信じればわかると答えるようなことは、例えそれが真実の一部を含んでいようとも、陳腐であることに疑いはない。したがって我々は、クオリアという言葉を、様々な他の言葉で言い換えたり、並置したりすることになる。既に、クオリアを外部や他者と並置してきた。さらに計算論の言葉で言い換えるなら、クオリアとはランダムネスのことであろう。ただし、クオリアを他の言葉に還元しようとしているわけではない。クオリアのクオリア性を理解するには、ただクオリアと叫べよいとわけではないのであれば、他の言葉と並置する事を積極的に試みるべきだ。

それでも、クオリアを外部と並置することに、違和感を覚えるかもしれない。クオリアとは私のクオリアであって、むしろそれは内部にあるものだと。そして、他人のクオリアだけが謎であると。しかし我々は、外部=他人のクオリア、とすることに満足しない。この様に定式化する者は、内部=私のクオリアを自明なものと見なしてしまう。柄谷=ゲーデル的な脱構築は、内部の自明性を懐疑することから始まる。そして、実は内部が権利上、事

実性としての外部を含んでいたということを感得し、その含意として外部性を理解する。ゆえに、外部の外部性を理解することと、内部と外部の区別が無効になることの差は、間一髪である。したがって、より大きな内部への誘惑が、より大きな外部＝神への誘惑が常に待ち受けている。しかし我々は、柄谷=ゲーデル的な脱構築を破棄するのではなく、誘惑の存在を指摘するに留めておく。柄谷=ゲーデル的脱構築を定式化しておこう。内部であるということは外部があることを内包し、その含意として外部であるということを理解する。このように述べると、神の存在論的証明に似ているように思えるが、内部という概念の属性として外部があるわけではない。内部という概念が解体してしまうような地平において、外部性を理解するのだ。ただし、この様な洞察は、内部を徹底して形式化することによってのみ可能になる。クオリアのクオリア性も、その属性を列挙すること、つまり、何であるかを直接的に言い当てるによって、理解されるわけではない。クオリアとは何であるかという問いには、クオリアがあるのかという問いが付き纏う。やはりクオリアは、私のクオリアであり、あなたのクオリアであって、クオリア一般なんてものは空虚な概念だ。デアルとガアルが、本質と事実が、内包と外延が、交差するパラドキシカルな場所こそがクオリアにふさわしい。

形式化は一つの禁止によってなされる。それは２つの階層を混同することを禁じる。ハイデガーによると、本質存在(デアル)と事実存在(ガアル)の分離によって形而上学は成立した(ハイデガー 1997)。カントの認識論は権利問題と事実問題の峻別することから始まる。計算の形式化は、プログラムとデータを分離することによってなされる。我々は計算機と脳を比較するという凡庸なスタイルを採用する。脳は計算機ではない、心は計算ではない、といった主張はありふれている。しかし、これらの主張をする者が、形式化の罠から免れていることは、殆んどないと言っていい。たとえば、計算=人工知能を批判するコネクショニズムが形式化の罠を免れているとは言い難い。

形式化された計算機の一つはチューリングマシンと呼ばれる。チューリングマシンは記号を記録するテープ、それを読み取って書き換えるヘッド、内部状態をもつ制御部、の３つの部分からなる。データはテープのみが担い、プログラムは制御部のみが担う。そして、テープと制御部はヘッドを介してのみ関係する。このようにデータとプログラムを峻別することによって、計算の形式化がなされる。ここで重要なことは、制御部は有限の形式で書き下されるが、テープのマス目は必要に応じていくらでも使用できるということだ。ここに、前節で予告した奇妙な全体性を、垣間見ることができる。テープの無際限さによって、およそ計算と呼び得るものの全てがチューリングマシンで形式化されていることが保証される（チャーチのテーゼ）。その一方で、テープの無際限さは、データとプログラムの峻別を無効にすることを可能にする。まず、プログラムをデータにコードする。このコードをデコードする仕組みを一つのプログラムとて制御部に書き下す。すると、任意のプログラムをデータとしてテープに書き下すことによって、そのプログラムを模倣することが可能になる。これが万能チューリングマシンだ。万能チューリングマシンは、実在する多くの計算機で採用されているプログラム内蔵型の計算機と見なすことができる。制御部に内蔵されているプログラムは不変であるにもかかわらず、プログラムをデータとしてインストールすることによって、計算機は汎用性を持つことになる。それは、広い意味において学習する計算機であると言えよう。ただし、プログラムを正しくコードしたデータによってのみ学習するということは、学習の効率は最悪である。

一つの不変な制御部と、無際限なテープ。制御部に書き下されたプログラムは、質的に特殊なプログラムでも、唯一のプログラムでもないが、一つのコードのもとで神の如く振る舞う。ここにも奇妙な全体性を、垣間見ることができる。ただし、このプログラムもまた、データへとコードされることは免れない。その結果、停止問題の決定不可能性が、いわゆる自己言及のパラドックスが証明される。それはチューリングマシンの外部を、形式化された計算の外部を、計算機に対する脳の優位を、暗示している。果たしてそうであろ

うか？

> けれども、それは依然として構造（形式）の側から遡行することによって見出される非定形の残余に過ぎない。抽象によって構造（形式）が析出されたあとに残るこの残余は、具体であるどころかさらなる抽象でしかありえず、何ともとらえどころないものと言う他ないのである。（浅田 前掲書、ただしカッコ内は筆者の挿入）

東浩紀によると、柄谷=ゲーデル的な脱構築は、ハイデガーにおいては存在=神を語るための手段として用いられている。それはより洗練された否定神学であると言えよう。一方、デリダはそれへの抵抗、もう一つの脱構築を試みている。

> 否定神学への郵便的抵抗を支える具体的装置、クラインの管を媒介せずに円錐構造を壊す論理とはいかなるものかを問うた。その答えは一言で言えば、シニフィアン=存在者自身に宿るこの二枚重ね性である。（中略）存在者と存在とのあいだの存在論的差異のかわりに、シニフィアンとエクリチュール、存在者とその幽霊とのあいだの差延が、声の水面を微細に泡立たせ続ける。（東 前掲書）

柄谷=ゲーデル的脱構築は、データとプログラムといった階層の峻別をいったん認めた上で、超越的な全体=万能チューリングマシンを経由して、階層の区別を無効にする。もう一つの脱構築は、超越的な全体を経由しない。より端的に、階層の峻別に留保を見出す。ただしそれは、素朴な一元論への回帰ではなく、より微細なところに階層を見出す。集合論の記号を使って表現するなら、ハイデガーの存在論的差異とは **x** と∃ の区別もしくは混同のことであり、デリダの差延とは **x** と引用符つきの「**x**」の区別もしくは混同、郡司がいう **x/{x}-compatibility** のことである(郡司 印刷中)。

両者が生成という様相をどう語り得るかを、簡単な例を挙げて説明しよう。ゲーデル的脱構築における生成の最も簡単な例は、対角線論法による可算無限集合からの非可算無限集合の生成であろう。そこでは、可算無限回の数え上げを一旦肯定し、その否定として不可算無限集合の存在が証明される。可算無限集合の確実性を根拠に、言い換えるなら超越的な全体を経由して,非可算無限集合が生成する、と言えるだろう。一方、x/{x}-compatibilityにおける生成の例は、セルオートマトンにおいてさえ認めることができる。状態が1と0で表現されたセルオートマトンを考える。適当な遷移ルール(例えばライフゲーム)を与えると、あるパターン(例えばグライダー)が生成することが観察される。そのパターンが{1 1 1}だとしよう。ここで一つの疑問が生じる。{1 1 1}を一つのパターンと見なしたのはディスプレイを眺める観察者であって、実在するのは個々の1ではないだろうか。このように考える者は、1の確実性にとらわれている。1と{1}の区別に留保を認めるのであれば、1 1 1をも一つのパターンとして、{1 1 1}の生成をも認め得るであろう。このように語られる生成は、超越的な全体とは無関係である。

自然科学における幾つかの試みと脱構築の類似について指摘しておこう。一つ目の脱構築、自己言及性を理論の中心に据える試みは、ヴァレラのオートポイエーシスやローゼンの(M,R)システムが類似している。ヴァレラは自己言及性を生命の自律性の表現として見なしている(Varela 1979)。ローゼンは(M,R)システムの計算不可能性に、生命に固有な領域を見出している(Rosen 1993)。二つ目の脱構築、デリダの差延は松野の内部観測に近い。デリダは、記号の質料性=エクリチュールに着目する(デリダ 前掲書)。内部観測は観測=記号化の質料性に由来する。松野の言葉を引用しておこう。

> 内部観測はアリストテレスの四因のうち、質料因をより根源視することからの当然の帰結である。(松野 2000)

柄谷行人は、転回と称してゲーデル的な脱構築を放棄する。そして、ウィトゲンシュタインを援用しつつ、他者に言葉を教えるという事態を思索の中心に据える(柄谷 1992)。クリプキもまた、ウィトゲンシュタインを引用しつつ、クワスを実行する者を、驚くべき懐疑論者と彼が呼んでいる者を積極的に構成している(クリプキ 1983)。一方で、柄谷がいう他者や、クリプキがいう懐疑論者は、ウィトゲンシュタイン自身の思想とは関係ない、と主張する研究者もいる。むしろ言語ゲーム一元論によって、他者や懐疑論者の存在は反駁されていると。しかし、『哲学探究』は、一つの立場に立って異なる立場を反駁する、といったスタイルで書かれたものではないだろう。一般に、ウィトゲンシュタインの思想は前期の論理形式から、後期の言語ゲーム一元論へと転回したとされる。しかし、彼の思想は一貫して、語りえぬものをめぐって展開している。前期･後期の違いは、思想自体というより、方法論の違いに求められるべきであろう。『論理哲学論考』では体系的な思索を展開した後に、「語りえぬものについては、沈黙せねばならない」と宣言される(ウィトゲンシュタイン 2003)。前期における方法論は、語りえるものを語ることによって語りえぬものを示す、ことであったと言えるだろう。一方『哲学探究』は、他者や懐疑論者、いわば「語りえぬもの」が度々登場する(ウィトゲンシュタイン 1976)。ただし、それは、語りえぬもの語ってしまっているのではなくて、語るということとは異なる地平への契機、装置である。契機･装置という視点は、郡司ペギオ幸夫においてより明確になる。それは次節で述べるが、郡司の言葉を引用しておこう。郡司と否定神学の距離が端的に表明されている。

> パラドックスの指摘にとどまり、”こと”とはそういったものである、と宣言すれば、クリプキもまた批判に曝されることはなかった。あえて自らがモデルを提出し、時間＝含意を構成し、語るとき、一見自らのみが世界を見渡す超越者のように誤解される。しかし、時間＝含意を構成することで、逆に、理論家は、自らの立つ地平から土台を取り払う。それは、あえて批判や誤解を受けて立つ態度なのだ。(郡司 1997)

この言葉に奮い立った我々は、実験(第 2 章)を企画し、モデル(第 3 章)を構成することになる。

1．3　Gプロブレム

郡司ペギオ幸夫は、柄谷行人の影響も受けつつ、自然科学の文脈において脱構築を実践してきたと言えよう。ただし第一次近似としてのみ、そう言い得る。前節の議論を繰り返したり、前節の議論と郡司の類似を指摘したりすることが、本節の目的ではない。郡司の問題系=Gプロブレムへと飛び込むことによって、我々の議論はより遠くへ到達するであろう(澤 2006)。前節で言及した外部と内部は、生命と機械と言い換えられることを確認して、もう一度はじめから立論しよう。

郡司は『原生計算と存在論的観測』において、生命とは時間の別称であると宣言したあと、次のように書き出す。

> 装置としての二元論を構成する括弧つきの＜生命＞＜機械＞が、両者の対立図式によって概念としての生命および機械を共に例示する。＜生命＞と生命、＜機械＞と機械の間に対応関係はない。かかる装置が実在論によって根拠づけられようとするとき、＜生命＞・＜機械＞の対立は実在する観念の対立となり、二者択一となる。生気論対機械論といった論争がこの倒錯において発生する。(郡司 2004)

生命と機械は言葉の定義上、二項対立図式としてのみ成立する。機械とは規則に盲目的にしたがう系であり、生命は(一見)そうは見えない系である。一見を付けるか否かのみが、機械論と生気論の対立点である。このような定義上の生命と機械を＜生命＞＜機械＞と表記することにしよう。＜生命＞と＜機械＞は対立図式として成立する概念装置であって、指示対象のようなものによって成立しているのではない。＜生命＞と＜機械＞という言葉が

どのように使用されるかが、生命と機械という概念を逆照射する。逆とは実在論に対してである。実在論においては、生命と機械という概念が先にあって、生命と＜生命＞、機械と＜機械＞が対応することによって、＜生命＞や＜機械＞という言葉がどのように使用されるかが決定される。まず、我々が強調すべきことは、言語の使用＝行為と、＜生命＞と＜機械＞の対立図式を装置として捉える態度である。このような態度は、新たな装置=三項関係の提案へと繋がる。ただし、行為や三項関係は、ヘーゲルにおいても強調されたことに、注意しなければならないだろう。

我々は、ただ単に、実在論を否定(＝唯名論)しようとしている訳でも、実在論を転倒(＝観念論)しようとしている訳でもない。しかし、我々の議論とヘーゲルとの差異は見えづらいかもしれない。本論文の第 2 章(実験)や第 3 章(モデル)においても、その差異が明確であるとは言い難い。二つのことだけは確認しておこう。一つは行為について。ヘーゲルの行為は、物自体と対立し、認識の彼岸にある物自体を解消しようとする。一方、我々が強調する行為とは、認識者の質料性に由来する。認識者自身の質料性が解消できないがゆえに、認識者は対象の外部に留まることができず、認識者は同時に行為者でもある。もう一つは三項関係について。ヘーゲルの三項関係は正・反・合であるが、我々の三項関係は予定調和的な合を、断じて目指さない。また、ヘーゲルにおいてはまず正があって、否定によって反が生じ、両者がいわば合体して合になる。ここには、素朴で順序的な時間概念しかみられない。時間概念が素朴であるから、いくら否定性を強調しても、予定調和的な色彩を払拭できない。我々の三項関係は、素朴な時間概念を改定するためにこそ提案される。このことを見越して郡司は、生命は時間の別称であると言っている。以上によって、教科書的なヘーゲルと我々の議論の差異は、とりあえず確認されたであろう。より決定的な差異は、ヘーゲルにおいては、存在することと実在することの区別が明確には認められないことである。一方、郡司は、この区別こそを最大の課題としている。我々の立場と実在論の差異を確定する作業に戻ろう。

実在論は、生命・機械によって＜生命＞・＜機械＞を根拠付けるのであるから、＜生命＞・＜機械＞とは独立に生命・機械を観測しなければならない。しかし、観測という事態を持ち込むと、生命・機械の区別は観測者の位置という恣意的なものになる、ということを論じよう。機械を観測する者は、機械が従う規則を決定しようとする。しかし、客観的で唯一の形式として規則を決定することは、原理的にはできない。＜機械＞を規則に従うものとして定義した訳であるから、＜機械＞と機械の間に矛盾が生じる。ただし、この矛盾は隠蔽される。

> ここでの観測者が機械の使用者である限り、観測対象である機械制御に関する矛盾は、対象の外部、すなわち機械と使用者の間に隠蔽されるから。(郡司 前掲書)

対象の外部に矛盾を隠蔽するためには、対象とその外部を腑分けしなければならない。言い換えると、対象の全体を見渡し得る視点が要求される。対象の外部にあって対象全体を見渡し得る観測者を、外部観測者と呼ぶことにしよう。一方、このような特権的視点が確保されていない観測者を、内部観測者と呼ぶ。

> 他方内部観測者にあっては、記述対象内部に観測者と対象の関係が内在するため、矛盾は隠蔽できない。(郡司 前掲書)

内部観測者は規則が決定できない矛盾を、対象自体に由来するものだと見なす。そのとき、対象は生命だと見なされる。だたし郡司は、生命には矛盾が実在する、と言っているではない。ここが肝要だ。

> 生命において、矛盾や自己言及が本質的特性として取り出されるのではなく、記述を

> 旨とする観測者の立場からは矛盾しか帰結し得ないというに過ぎない。翻って、にもかかわらず生命と名づけられた存在が、生命という名が、言葉が、そこにあるのである。(郡司 前掲書)

実在論に依拠して規則を決定しようとする観測者、つまり記述する観測者においてのみ、矛盾が帰結するのだ。にもかかわらず生命という言葉、＜生命＞が使用されていることを感得するとき、実在論とは異なる地平が開けてくる。ここで議論は大きな転機を迎える。

> 生命においては観照者、記述者としてではない観測者の立場が現前するのである。以上より、機械、生命とは、異なる概念として使われるというよりも、概念に対する異なる契機として使われる言葉なのだ、と言ったほうがよさそうだ。(郡司 前掲書、ただし傍点は筆者)

もはや我々は、ある対象が生命と機械のどちらであるのか、といった問いに拘泥しない。それは、観測者の位置に依拠した、いわば擬似問題であった。かといって、生命･機械なる区別を無効にして、それで議論は終わり、とはしない。より生産的な態度は、あらゆる概念に対して、生命的な側面と機械的な側面の両方を認めることであろう。それは、観測者のみに依拠するものでも、概念自体に依拠するものでもない。それは、言葉を使用する者の概念への関わり方、契機と呼ぶべきものである。

郡司は、コップにさえ、生命的契機と機械的契機を認める。さらに、三つ目の契機を加えて、概念の契機を構成する三項関係を見出す。

> 観察者は概念に対して語る。かく語りが概念へのモデルとされるとき、それは特殊性として契機する。かく語りが語り尽くせない存在を逆照射するとき、あらゆる特殊な

語りを包摂する全体としての普遍性が契機する。かく語りが、そして際限なく継続する語りがすべて、語ることによって脱落するとされる契機こそ個別性である。(郡司 前掲書)

特殊性としての契機を例示する装置が<機械>である。それは、機械の規則を有限回の観測で特定できた、と見なす態度である。記述する観測者は、概念の属性を列挙する。コップならば、液体を容れるもの、ガラスなどでできている、等々を列挙する。しかし、それによって、コップを普遍的に言い当てることはできない。普遍的なコップという概念に対して、特殊な例を列挙したに過ぎない。にもかかわらずコップという言葉が使われている。そのことを感得し、普遍性としての契機を例示する装置が<生命>である。

第三の契機は個別性としての契機で、それを例示する装置が<死>である。特殊性に対する否定を含むという意味では、個別性と普遍性は似ている。普遍性は観測者の記述という行為を逆説的に利用する。一方、個別性とは観測者の否定それ自体である。このコップは、色や形を列挙するだけでは、言い当てることができない。私とは、あなたとは、容姿や性格では言い尽くせない。列挙しきれないというより、列挙された属性と、私が私であることは無関係である。そして、私が私であることを理解する装置は<死>である。

このような<死>の導入は唐突に映るかもしれない。しかしたとえば、個別のコップとは、このコップとしてしか言いようがないもの、翻ってこのコップとして提示することが可能であるが、個別性それ自体は「この」性としての虚空の一点である。<死>は個別のコップに対応するのではなく、コップを理解する契機：個別性と同じ使われ方をする。(郡司 前掲書)

引用部のコップを意識に置き換えると、「この」性としての虚空の一点とはクオリアのこと

である、と言ってよいだろう。郡司に倣って我々も宣言しよう。クオリアとは死の別称である。

郡司による問題の立て方=Gプロブレムと、否定神学との落差を整理しておこう。否定神学では、二項関係の否定を確認した地点で議論を終える。Gプロブレムでは、否定自体を第三項として、三項関係を構成する。一見すると、語りえないものを語ってしまっている、との批判に曝される。しかし、かような批判は、言葉を使うことを実在論によって根拠付けようとする者にのみ、該当する。Gプロブレムにおける三項関係は、契機として、装置として、構成されたものであることを忘れてはならない。記述から行為へ、がGプロブレムの射程である。ただし、行為することと、行為を理解することを素朴に混同してはならない。「実在論に依拠しないならば、如何様にでも語ることは可能である」と、言い放ったところで、実在論の罠を免れる訳ではない。だからこそ、隠喩としての三項関係なのだ。次章以降で我々は、このような三項関係をめぐって終始することになる、と予告しておこう。

第２章　実験：

地理把握における動的階層性

2．1　地理把握とアフォーダンス

人間が与えられる空間を歩き、その地理を把握するとき、抽象的地理概念を獲得するか否か、獲得するなら、それは発達の過程でどのような地図となるか。従来の研究は、ピアジェが考える発達過程に応じて、操作的地図（ルートマップ）から鳥瞰図的地図（サーヴェイマップ）への地理概念の把握変遷を追うものや、サーヴェイマップ獲得過程を解析したものが多い（例えばHart, 1973)。これに対して、我々の研究は、ルートマップとサーヴェイマップとを、発達過程の二者択一とするのではなく、地理把握の二つの階層表現であるとする立場をとっている。我々の研究は、地理の把握という様相自体が、内包的地理把握と外延的地理把握とに分節され、動的階層性の時間的変化をもって地理把握が変化する、という仮説に基づいている。内包的地理把握は、ローカルな移動方法の集合である。それは、内なる視点から道の曲がりを指示するような操作の集まりであるルートマップに近しい概念である。外延的地理把握は、グローバルな位置関係の把握である。それは、空間を外から眺めた鳥瞰図のようなサーヴェイマップに近しい概念である。

ただし、マップという概念はあまりに表象主義的な感があるのも否めない。コード化主義･表象主義の破綻によって人工知能＝「世界にある対象を表象化し、それを操作することで、世界内の行動を実現しようとする知能プログラム」の失敗を指摘する論調は数多い(Bickhard & Terveen, 1995)。人工知能とは文脈が異なるが、ギブソンは同様の指摘、表象主義批判の先駆者であると考えられる(Gibson, 1986)。

アフォーダンス理論における「直接知覚」という概念は、表象を利用しない、という点において使われるべきだと我々は考える。ただし、直接知覚のみ強調するのであれば、主体と環境は世界＝一者として遇されてしまう。ギブソンはそのあたりを承知で、直接知覚のような一元論と、「接触」のようなある種の動的な二元論とを未分化なままに展開してい

る。ここをどう整理するかが、生態心理学の問題である。

この問題に関して、Turvey & Shaw (1995) は特に接触に定位して整理しようと試みている。彼らが標榜するアフォーダンスとアフォーダンスの知覚（以後は単に知覚と表記することにする）の対を、我々は数学・言語哲学における概念である内包と外延の対として捉え直す。なぜ内包・外延なのか？内包・外延は、数学・言語哲学の文脈で高度に練り上げられ、対として定式化された概念であり、その概念とアフォーダンス・知覚を接続することにより、アフォーダンスと知覚は対として整理される。ここでの対の関係はコード化を意味しない。クリプキは、内包と外延の関係が徹底してコード化ではあり得ないことを論証した(Kripke, 1980, 1982)。内包と外延の関係には不定さが潜在する。潜在する不定さが顕在化するとき、内包と外延の関係は動的になる。これを踏まえて我々は、内包と外延の関係を動的階層性と呼んでいる。そして、その動的階層性という視点から地理把握を理解することを提唱する。続いて、その動的階層性が露わになるような認知実験を計画・遂行した結果について報告する。そこでは、表象主義的なマップという概念は解体され、地理の内包的把握と外延的把握の動的階層性が俎上に上げられる。さらに、その実験で得られたデータを我々が提案する方法で解析することにより、内包と外延の関係は定量的に論じることが可能になる。

以下の論述でパラレルな関係にあると説明される重要な対概念について、先に Table 2.1 に整理しておく。ただし、「ローカル・グローバル」の対とその他の対概念の関係は、類似だけではなく差異にも注意すべきである。動的階層性を論じるには、ローカル・グローバルの対だけでは概念装置として不十分ある。本論文では、それに他の対概念をリンクさせることにより、動的階層性を興味深い概念へと鍛え上げていくことを目指す。

(注) 本論文の文脈では、「具体例」は「外延」と言い換えることができます。例えば、偶数の外延（による定義）は"2,4,6,8..."というふうに具体例を列挙したものです。ただし、厳密にいうと"..."は反則で（これはなんらかの内包）、全ての要素を列挙するこ

とよってはじめて偶数が定義されます。したがってこの定義は、グローバルであると言えます。一方、内包とは生成規則と言い換えると理解しやすいと思います。偶数の内包は"2n"と書けますが、これに自然数を順に（ローカルに）代入することによって偶数の外延が得られます。このような意味で、外延とグローバルを、内包とローカルを対応させることができます。しかし、より重要なことは個々の平行な関係ではなくて、ローカル・グローバル対と内包・外延対の垂直な関係です。一般的に使われているローカル・グローバルは、外延のローカルや外延のグローバルを意味している場合が多いです。例えば、"2,4,6"がローカルな外延で、"2,4,6,8,10,12,14"がグローバルな外延というように。一方、本論文では、「外延がどんなにグローバルでも、内包とは決定的にステータスが違う。」ということをふまえて、「ローカル・グローバル」と「内包・外延」の関係を議論していくことを目指しています。

Table 2.1 対概念の対応関係

ローカル	グローバル
内包	外延
ルートマップ	サーヴェイマップ
プログラムの長さ	周期の長さ
アフォーダンス	知覚

2．2　認知地図と動的階層性

認知地図化という概念はトールマンに由来する（トルーマン 1948)。彼は迷路空間におけるネズミの学習実験によって、ネズミは単に右左右…といったように運動反応の結合系列を学習するだけではなく、迷路空間内の諸対象の位置関係を学習していることを明らかにした。人間における同様の能力の先駆的な研究として、シュミヤキンは、大規模空間の表象にはルートマップ型とサーヴェイマップ型の２つの型があることを指摘した(シュミヤキン 1962)。ルートマップとは、実際の移動ルートを心的にたどることによって構成される系列的な表象であり、サーヴェイマップとは、空間内の諸対象の位置が相互に関係づけられた全体的な表象をさす。シュミヤキンは、幼児において、ルートマップ型からサーヴェイマップ型へと大規模空間の表象は発達していくと主張した。さらに、ハートらは、自己中心参照系、固定的参照系、抽象的参照系という 3 つの参照系を提案した(ハート 1973)。自己中心参照系とは、空間内の諸対象を位置付けるのに、自分自身のみをランドマークとして用いるものであり、シュミヤキンのルートマップに対応すると考えられる。固定的参照系では、空間内の特定の対象をランドマークとして用いて、他の諸対象や自分自身を定位する。抽象的参照系とは、座標系を割り当てることにより、空間を全体的に把握することを可能にするもので、シュミヤキンのサーヴェイマップに相応すると言える。やはりハートらもシュミヤキンと同様に、幼児の発達において、大規模空間の表象は、自己中心参照系から固定的参照系を経て抽象的参照系に至るとしたが、成人の学習過程でも同型の順序性があると示唆した。シーゲルらも、幼児の発達過程と成人の学習過程では順序性が同型であることを強調するが、まず個々のランドマークの知識があるとする点がハートらと異なる(シーゲル 1975)。次にルートが伸びてランドマークどうしが結びつき、やがてサーヴェイ的表象の利用が可能になるとした。サーヴェイマップの獲得を発達もしくは学習の

最終段階とする点は、多くの研究者間で一致がある。これに対しピックらは、複数の参照系の統合が不可欠であると指摘している(ピック 1988)。実際の移動では、抽象的なサーヴェイマップから、具体的にどのように動けば目的地にたどり着くか、すなわちルートマップを構成する必要がある。サーヴェイマップがルートマップと独立に存在するのであれば、事態は、見知らぬ土地で紙に書かれた地図だけを渡された場合と同じになる。この場合、いかに地図を使用するかという問題（現在地はどこか？北はどちらの方向か？など）を探索者は解決しなければならない。

「まっすぐ歩く」という最も簡単な場合でさえ、参照系の統合は不可欠である。A地点からまっすぐ歩いた結果、B地点を通過して C 地点にたどり着いた。したがって、探索者のサーヴェイマップ上にはA地点とB地点と C 地点が直線的に配置される。しかし、そもそも「まっすぐ歩いた」と探索者はなぜ判るのか？体性感覚や視野の流れ＝ルートマップにのみに依拠するのではない。そうだとしたら、地面の僅かな傾斜やまばたきによってさえ到達地点は大きく外れてしまう。絶えずサーヴェイマップを参照するからこそ、まっすぐ歩くことは可能である。ルートマップとサーヴェイマップのどちらが先かと問うならば、そこには無限退行を見出すしかない。そもそも 2 種類のマップがそれぞれそれ自体で完結して独立に存在するのではない。ルートマップやサーヴェイマップはそれ自体では個物でない。それぞれが自存しうると考えるから、「どちらが先か？」という問題が発生する。言い換えると、「どちらかが先に存在すればいい。」というように事態が矮小化されている。そうではなく、ルートマップとサーヴェイマップは認知地図という 1 つの概念の 2 つ側面である。認知地図という概念は、この 2 つの側面の擦り合せ、動的階層としてのみ存在し得るのだ。

2.3　内包・外延対とアフォーダンス・知覚対

システムと環境が対を成し、不断に運動し続ける。システムは、受動的に環境を受け入れると共に、能動的に環境を作り変えていく。進化・生成を俎上に載せる者は、誰しもこういった描像−動的階層性−を思い描くことになる（佐々木・三嶋 2005）。しかし、これを理論化し、興味深い概念に鍛えあげることは、きわめて困難である。進化論の現代綜合説は、システムと環境（環境との接点）の各々を、遺伝子型、表現型に分離した。両者の直接相互作用を排除することで、進化過程を遺伝子集団の力学として表現することを可能とし、ダーウィンその人において困難とされた、社会性の進化さえ説明できるまでに発展を遂げた（例えば Dawkins, 1989）。しかし理論的利便性を求めたことの代償として、動的階層性が排除されることになった。動的階層性を解読し、進化概念そのものを新たに転回するには、どうしたらよいか。我々はこれを、アフォーダンス(Gibson, 1986；佐々木, 1997)との関係から論じ、その上で、我々の実験的枠組みの意味を述べておこう。

いかなる対象を議論し、観測しようと、観測者と独立に対象を措定できない。我々はここで、単純な理論負荷性を述べているのではない。観測者・理論家の認識論的枠組みが近似的であれ、明示的に書き下せるなら、観測者の影響は、座標変換のように変換して無視することが可能だ。物理過程の記述に、その観測過程が内在するということはない。観測者の意思決定に関する逡巡、不定さが、解消できないときはどうか。物理的対象に対してすら、最初の前提、定義、公理に関する、観測者の逡巡、不定さが付きまとうことになる。不定さを伴う観測者の介在抜きに、物理過程を扱えない。物理学を包含する、認識に関する枠組みが、ここに構想されざるを得ない。その一つがアフォーダンスの科学であり、同様にそれは、内部観測(Matsuno, 1989)、内在物理学(Rössler, 1997)である。明らかに、不定さという概念抜きに、観測過程・知覚による物理現象の包摂という企ては意味を失う。

アフォーダンスの文脈で、動的階層性を見失わないためには、以下のような注意が必要だろう。第一に、アフォーダンスとは、知覚されるべき自然界の傾性である。傾性は哲学概念で、ウィトゲンシュタイン解釈を巡る自然主義（例えば McGinn, 1984）と規約主義(例えば Wright, 1986）の対立において、自然主義者が盛んに用いた概念だ。したがってアフォーダンスがもし、傾性のみを強調するなら、それは、思想史において何度も繰り返されてきた自然主義への回帰を意味するだけとなる。第二に、アフォーダンスの科学は、アフォーダンスと（アフォーダンスの）知覚の対を標榜する（特に Turvey & Shaw, 1995)。システムは環境の担う兆候に気づき、環境はこれを提供する。この双方向の運動は、いわば自然主義と規約主義間の調停過程そのものとなる（郡司 2004)。二つの概念装置が共に必要になる、ということは、いずれか一方で動的階層性を理解することが不可能であることを意味する。それは、最初に述べた不定さ、観測者が対峙する、観測者がみた世界の無際限さ、に由来するだろう。この点を無視するなら、階層性は数学的な二つの構造間の双対性（アジャンクション）に回収され、一元論に回収されることになり（郡司 2004)、二つの概念は、構造的に同型対応と証明されてしまう。だから我々は、二つの通訳不可能な概念と不定さから構成される、三項関係に注目する必要がある。

階層性の基本構造およびここに潜在する不定さを、概念の内包・外延をモデルに考えてみる（郡司 2003)。概念に対し、全体としての属性を内包、概念のモデルである具体的対象の集まりを外延という。集合概念において、内包・外延は同値であると想定されるが、一般の概念、現象にあって同値性は期待できない。例えば、天敵から身を守らねばならない、草原に棲むノネズミを考えてみよう。草原がノネズミに提示する、「隠れやすさ」が、草原のアフォーダンスである。それは草原に遭遇するシステム（例えばノネズミ）に提供される、傾向性・強度であり、具体的な形態、個別的例ではない。その意味で、アフォーダンスは、世界における草原概念の、内包に対応すると考えてよい。さて、草原のアフォーダンスは、草原に遭遇する生物個体において、アフォーダンスを‘具体的に’実現する。例

えばノネズミは、自らのボディーサイズを認識して、体全体が草原に隠されるような姿勢をとるだろう。このボディーサイズの認識と隠蔽姿勢が、ノネズミにおける草原のアフォーダンス（隠れやすさ）の表現である。それはアフォーダンスの、ノネズミにおける具体例、ノネズミを用いたアフォーダンスの具体的モデルといってよい。つまりそれは、外延であり、同時に、ノネズミに依存した表現であり、アフォーダンスの知覚である。

アフォーダンスと知覚という分節は、草原の提供する「隠れやすさ」と、ノネズミの隠蔽姿勢が、必然的に対応するのでない限り、必要となる。ノネズミが生まれつき隠蔽姿勢を知っていて、いかなる学習・発達もないという場合が、アフォーダンスと知覚が必然的に対応する場合にあたる。対して、ノネズミが、幼児期にはうまい隠蔽姿勢がとれず、成長に応じて、うまい隠蔽姿勢を獲得するなら、アフォーダンスと知覚の間には、必然的な唯一つの関係があるのではなく、両者は共立しながら変化することになる。知覚の変化は、アフォーダンスの変化をも意味する。ノネズミが常に尾を出した隠蔽姿勢をとるなら、ノネズミは、この草原を「うまく隠れられない傾向性をもつ」と認識し、逃げ出すだろう。しかし、アフォーダンスを直接知覚される環境の意味と理解する研究者は、このような発達・学習過程を持ち出すことが、すでに生態心理学ではない、と考えるかもしれない。

これに対して我々は次のように述べておこう。アフォーダンスは、試行錯誤的な進化描像に対するアンチテーゼとして提案された。「システムが環境に適応するときには、無作為に、環境に対する予期なく、唐突にやってみて、環境に評価される。これを繰り返すのが進化である」－このような試行錯誤描像に対し、「そこまでの命がけの努力や跳躍なく、適応は可能である。何故なら適応のための環境の意味は、そこに存在するシステムにとって自明だから」、と主張したのがギブソンではなかったか。ここで考えるべきは、環境の意味の自明性、その理由である。徹底した試行錯誤をイメージする者は、システムが、環境と分離された理念的場所で設計され、創られ、完成したところでいきなり環境へと持ち出され、そこから適応過程が始まる事をイメージするかのようだ。もしそうなら、システムの

成立は環境と無関係であるため、システムは完成してから未知の環境といきなり対峙することになる。この場合、適応には試行錯誤しかない。このような状況で、環境の意味は環境に書かれている、ということができるか。もしできるというなら、アフォーダンスはミステリアスな神秘主義ではないか。そうではない。システムは以前からその環境で進化し、以前から適応し続けている。もし環境パラメータの一部がとつぜん変化し、これに適応することがシステムに求められる場合でも、システムはその環境の何たるかを歴史において知っているがゆえに、その変化に応じて自らの表現を変化させることができる。環境の意味の自明性は、意味を知るものが、その環境と分離して存在し得ない点に由来する。タバコを吸っていれば、みたこともない形の灰皿でも、それが灰皿であることにほどなく気づく事ができる。タバコという文化を知らないものは、灰皿の意味など皆目わからない。

すなわち、第一に、アフォーダンスとそれを知覚する者が、分離できないという点で、適応・学習過程は、極端な試行錯誤＝不断の跳躍、ではない。第二に、アフォーダンスとそれを知覚する者が、一体になっている、もしくは両者の関係がただ一つに必然的に決まる、のではないと言う点で、適応・学習過程は現実に存在する。こうして、不定性を伴う内包・外延対が、アフォーダンス・知覚対の動的階層性に関するモデルとなる。不定さ抜きに、動的階層性のモデルとなることはあり得ない。ここにこそ、筆者たちが企図した実験の意味がある。

2．4　構成される齟齬

不定性を伴う内包・外延対が、一元論的に回収される危うさを理解するために、偶数の内包・外延について考えてみる。内包は、2で割り切れる自然数、外延は、2、4、6、... となる。前述のように、数学では内包・外延間に矛盾はない。内包を仮定すれば外延が、外延を仮定すれば内包が帰結される。それは我々が自然数について知っていると考えているからだ。自然数という全体が未知としよう。このとき、内包においても、外延においても自然数に関する不定さが出現することになる。内包における不定さと、外延における不定さとは、異なるものとなる。内包、外延の各々において不定さを排除し、両者の同値性を導く事はもはやできない。偶数を概念化するための前提、自然数に関する不定さが、内包・外延間の齟齬と調停を駆動することになる。

アフォーダンス・知覚対において、自然数という前提に相当するものは世界全体である。或る特定の環境アフォーダンスが偶数の外延に相当するとき、或る環境を部分空間とする全体＝世界、の不定さが、自然数の不定さとなる。これが明示的に与えられない限り、動的階層性は顕在化しない。数学基礎論を知らなくとも、１、2、3、... が自然数だよ、と言われれば、納得してしまうだろう。自然数の不定さなどけっして意識されない。このとき偶数概念における内包・外延の齟齬は隠蔽され、両者は同値とみなされる。概念は一元論に回収されることになる。

同様の危うさが、アフォーダンス・知覚対を理解する場合にも、認められるだろう。アフォーダンスと知覚の関係を考えるとき、システムと環境の関係は目の前にある、現前である。それは世界において所与であり、自明であり、両者の関係性において不明なものなど、ないように思われる。しかしそれは、自然数において不明な点などないとして、偶数の内包・外延対を自明と考えることに同じであろう。動的階層性は隠蔽されるに過ぎない。

自明とするとき、われわれにできることは、たかだか自明な知覚の後付的解釈だけである。だからわれわれには、内包・外延間の齟齬を明示化することが必要である。それが予想外の変化、創発を理解する態度となる。あなたが森を歩いていると、何匹かの鳥に遭遇する。観察した鳥が全て黒かったとき、それが森にいる全ての鳥ではないにもかかわらず、あなたは「森の鳥は黒い」と言う規則を発想してしまう。個別な鳥体験の列挙が外延、規則が内包にあたる。体験が全てを網羅するなら、規則生成（外延から内包）＝帰納と、具体例の列挙（内包から外延）＝演繹、とは整合的である。しかし観察、体験は有限であり不定さを担う。だからあなたは、さっきまで森の鳥は黒い、と信じていたのに、しばらくたつと、森の鳥は白い、と信じ、黒い鳥は見間違いだった、と考えることさえ可能である。知覚は、普遍的規則を生成可能である。規則はあらかじめあるのではなく、知覚によって創られる。だから、それは揺らぎをつくること、見間違いだった、と考えること、エラーとみなすこと＝エラーを創ること、と不可分である。内包・外延対の動的階層性が、内包の頑健性・突然の変化と、外延に関する内的ゆらぎをもたらすのである。

この描像を、我々は地理把握に適用している。与えられた空間のアフォーダンスに対し、アフォーダンスの知覚とは、表現された地図、例えばサーヴェイマップに当たるのであろうか。しかしアフォーダンスと知覚の動的階層性を認めるなら、それはアフォーダンスと知覚を、厳格に分離することが困難であると認めることにもなる。知覚それ自体が、アフォーダンス的成分と、知覚的成分とに分けられることになる。すなわち空間にあるアフォーダンスは、外延的地理表現と内包的地理表現とに分けられることになる。この分節は限りがない。内包、外延のクリアカットが困難である以上、各々、無限に内包・外延的なものに分けられ続けることになる。だから、人間の地理把握の表現として、内包的地理概念と外延的地理概念との対があると想定することは妥当であろう。

内包的地理、それは局所的な指示の総体であり、局所の断片である。交番を北へ行くと、ポストがある。教会を左へ折れると、駅への三叉路がある、といったような。外延的地理、

それは地理全体としての具体的的地理概念であり、大域的描像である。さて通常このような内包的地理（ローカルな地図）と外延的地理（グローバルな地図）とは自明に整合的に対応すると想定されるだろう。部分を集めた総体が、全体であり、我々は生きている空間をそのように把握しているから。しかし前述のように、現前する内包・外延間の自明性に目を奪われるとき、地理把握の過程、地理把握の創発を理解することなどできないだろう。だから、我々は、ローカルな地図とグローバルな地図があえて矛盾するような実験環境を構成するのである。後述するように、それは全体の地理が 4 ブロックに分割され、各ブロックが回転する地理として与えられる。回転などするはずがないと考える被験者において、ブロックごとの、ローカルな地図の総体は、いつまでたっても全体としてのグローバルな地理（ブロック間の不変な関係）を帰結しない。ローカルとグローバルの齟齬があり続けるのだ。

もし内包・外延の動的階層性が、地理認知に重要な役割を果たしているのなら、人間は地理認知に際して、内包・外延間の調停を絶えずしていることになる。ならば、内包・外延が齟齬をきたす場合でさえ、その間を調停し、新たな関係を認識することが可能となろう。我々はそのような意図のもと、ローカル・グローバルの齟齬を実験環境に明示的に構成したのである。

2．5　実験の概要

被験者は、デスクトップ上の仮想迷路中でランドマークを探索する。その際に、被験者には知らせずに、迷路を 4 ブロックに分けてそれぞれ独立に一定の頻度で回転するようにする。Fig. 2. 1 は実験で使用した迷路の全体図であり、○印がランドマークの位置で、点線で囲まれ4つの部分がブロックである。ランドマーク a、b、c、d は同じブロックに、ランドマーク e は別のブロックに位置している。すると、Fig. 2. 1 の上図では e からまっすぐ進んで d に到達できたが、ブロックが回転した後の下図では e から同様に進んでも d に到達できないという事態を、被験者は経験することになる。この意味で、ブロックの回転を知らされていない被験者にとって、この迷路には齟齬が存在する。ランドマーク間のローカルな位置関係を足し合わせても、完全な地理把握には至らない。変化する迷路には完全なルートマップも完全なサーヴェイマップも存在し得ない。ゆえに、ルートマップとサーヴェイマップの調停といった様相が顕在化する。この調停とは表面的には「使い分け」を意味する。つまり、ブロック間の位置関係と、ブロック内のランドマークの相対的な位置関係は不変なので、ブロック間のグローバルな位置関係をサーヴェイマップとして、ブロック内のローカルな位置関係をルートマップとして把握して使い分けることが適応的な戦略となる。ただしここでの使い分けは、完全に分離した二つのマップがまずあって、その二つを見渡せる視点から使い分けるといったものではない。分離も被験者においてなされなければならない以上、被験者は分離しつつ使い分ける。このような事態においてはもはや、地理把握をルートマップやサーヴェイマップと呼ぶのは厳密ではないかもしれない。したがって我々は、地理把握におけるローカルな側面を内包的地理把握、グローバルな側面を外延的地理把握と呼び、内包と外延の動的階層として地理把握は進行すると考える。そして、この様相を解析する指標もまた、内包・外延対として定義した。

ところで、デスクトップ上での課題と実際の環境下での移動には大きな隔たりがあるのではないだろうか。確かに、身体的なレベルでの隔たりは大きいであろう。しかし、デスクトップ上の仮想迷路でも、ローカルな経験からグローバルな位置関係を把握する必要があることに変わりはなく、デスクトップ上の仮想迷路を用いた研究は我々以外にも幾つか行なわれている（Ruddle 1999, Osmann 2002 など）。仮想迷路上では、本実験のようなトリックを作ることや、被験者の移動経路を逐一記録することが簡単にできるという利点がある。

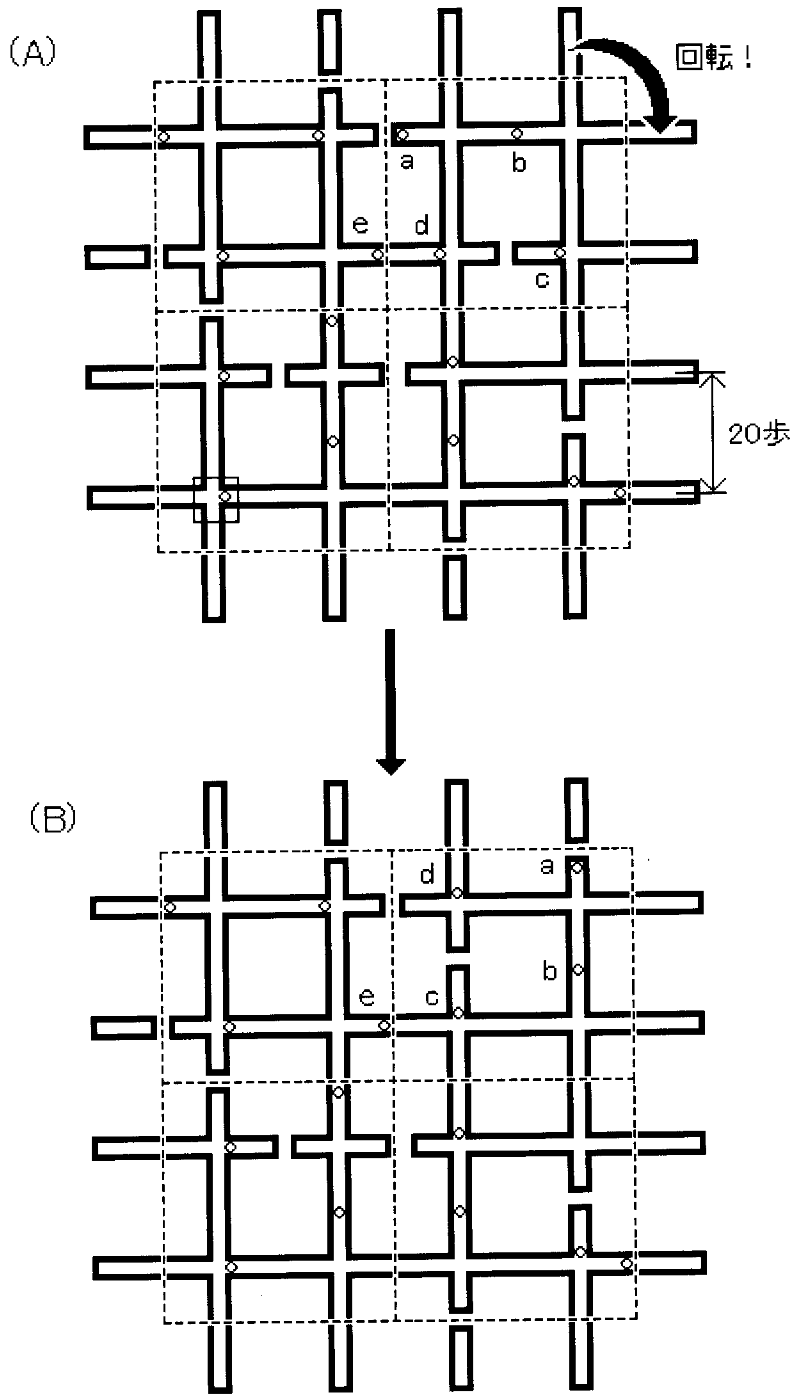

Fig. 2. 1　(A)迷路の全体図。(B)迷路のブロックを回転。

2．6　実験方法

被験者

被験者は、大学生および大学院生 40 人（平均年齢 25.0±3.2 歳）であり、実験群と対照群に無作為に振り分けられた。

刺激と操作方法

使用した仮想迷路は Fig. 2. 1 の一種類のみである。ある交差点から別の交差点までの長さを、仮想的に 20 歩と定義する。左下の実線で囲まれた四角い部分が、被験者にデスクトップ上で与えられる視界の広さ（7 歩×7 歩）である。操作はキーボードで行い、テンキーの｛↑，↓，→，←｝が｛進む，戻る，右を向く，左を向く｝に対応した。↑キーを押し続けると、0. 1 秒間に 1 歩の速度で視界中の映像が下方へ流れていく。→キーもしくは←キーを押すとそれぞれ時計回り、半時計回りに視界中の映像が回転する。つまり、視界中には主観的な映像が表示されていることになる。したがって、仮想迷路中を移動するのは被験者が操作するエージェントというよりも被験者自身といえる。ランドマークは１６個存在し、実際には１６種類の色と４種類の模様でそれぞれ識別できるようになっていた。ブロックに１つずつ全部で４つのランドマークだけは、４０歩×４０歩の広さの視界で見ることができるようにした。Fig.2.2 は被験者がデスクトップ上で実際に見る画像である。

手続き

実験の手続きは実験群と対照群では、先述のように刺激材料が違う以外はまったく同じである。

まず、2000 歩のプレタスクを実施した。プレタスクは、被験者に操作方法に慣れてもら

うと共に、迷路の地理をある程度把握してもらうことを目的としている。迷路の被験者に操作方法を説明したあとに、以下の内容を教示した。

・１６個のランドマークをできるだけ多く発見するようにしてください。決められた距離を移動すると終了です。
・ランドマークを４つ見つける度に、記憶や現在地を推定によって、その４つのランドマークの位置をデスクトップ上の小さな地図(Fig. 2. 2 左上)に、マウスで印を付けてください。
・今回はプレタスクなので、質問があれば適時してください。

次に、４０００歩のメインタスクを実施した。メインタスクで使用した迷路はプレタスクと同じものであった。被験者には、指定された４つのランドマークに到達するように指示した。それが達成されると別の４つのランドマークが指定され、これを４０００歩進むまで繰り替えした。４つのランドマークは４つのブロックに１つずつ配置されているように選んだ。プレタスクで作成した地図を参照することを許したが、メインタスク中に地図の変更は許さなかった。 教示内容は以下のとおりである。

・次は、デスクトップ上に表示されている４つのランドマークを探してください。４つを全て発見すると、次の４つが表示されます。先程の倍の距離を移動すると終了です。
・迷路は先程と同じです。先程作成した地図を参照してください。ただし、今回は地図を変更することはできません。

以上の条件の下で実験を実施し、一歩進むごとに迷路中の被験者の位置を計算機で記録した。

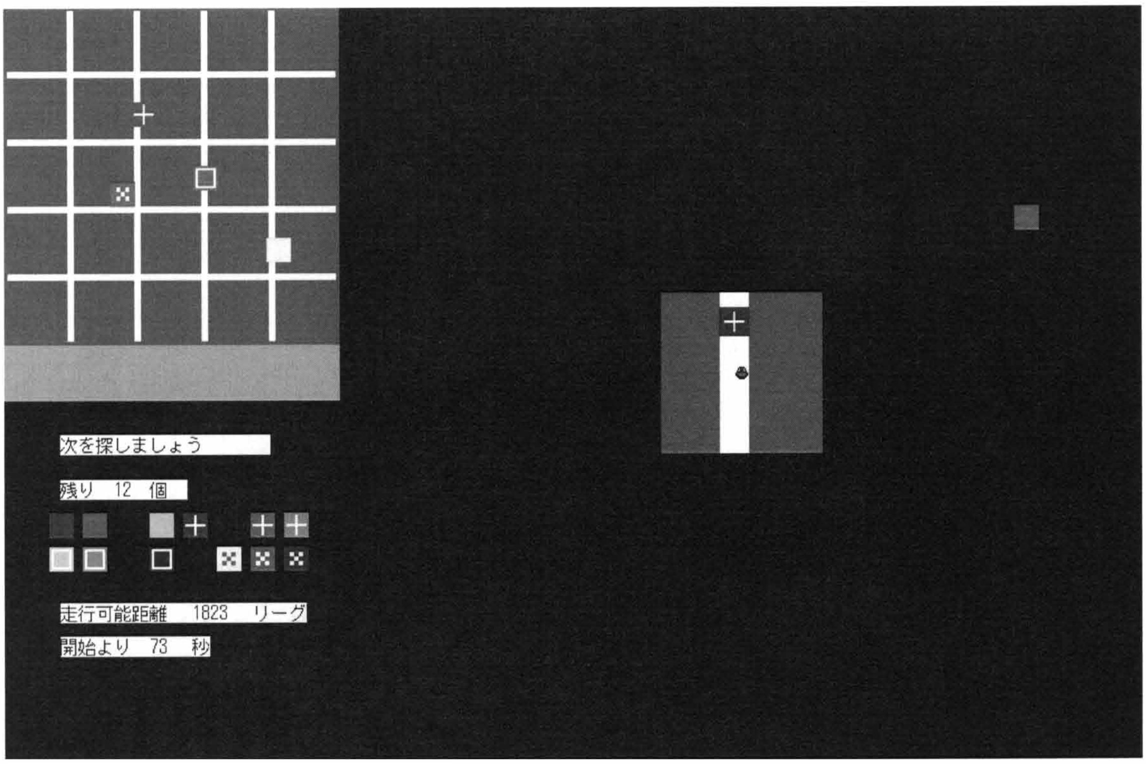

Fig. 2. 2 デスクトップ上の実際の画像。

2．7　解析方法

まず、被験者が迷路中で移動した軌跡をビット列に変換した。２１歩ごとに迷路中の位置の相対的な移動方向に応じて、２ビットの数を割り当てた (Fig. 2. 3)。メインタスクでの軌跡の長さは４０００歩であるから、この変換により、4000÷21×2＝380 ビットの長さビット列が得られる。

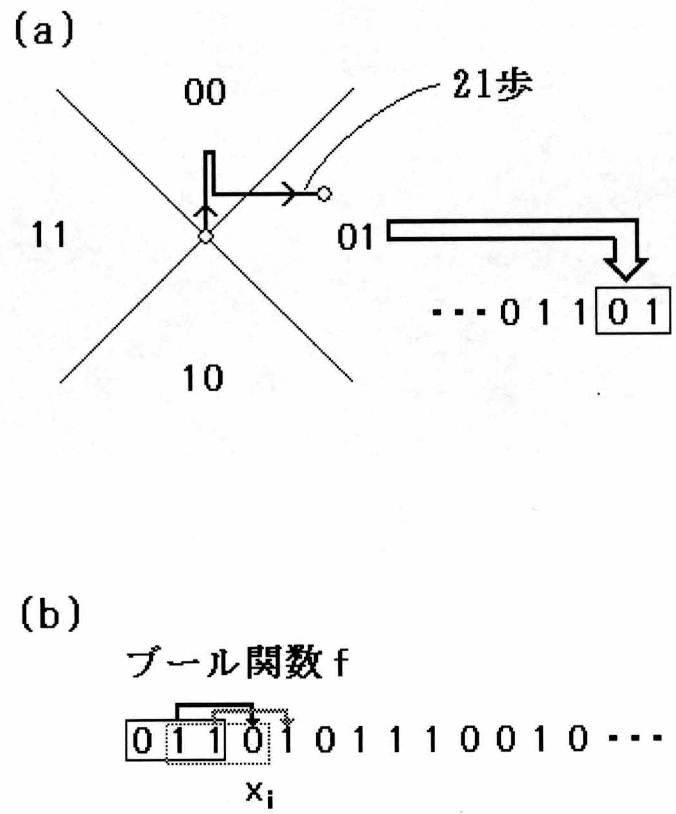

Fig. 2. 3　(a)軌跡からビット列への変換 (b)ビット列からブール関数の推定

次に、得られたビット列を算出するような関数を推定した。実際の解析では 6 ビットから 2 ビットへの関数を用いたが、簡単のために、以下では 3 ビットから 1 ビットへの関数

を用いて説明する。ビット列中のビットをx_i（i=1, 2, ･･, 380）で表記すると、関数fは、

$$f(x_{i-3}, x_{i-2}, x_{i-1}) = x_i \tag{1}$$

をなるべく満たすように決定される。ビット列中には$(x_{i-3}, x_{i-2}, x_{i-1})$と$(x_{j-3}, x_{j-2}, x_{j-1})$が同じでも、$x_i$と$x_j$が違う場合が存在するが、その場合は、$x_j$（$i<j$）を採用した。つまり、推定された関数は最終的な行動パターンと対応している。ビット列中に存在しない$(x_{i-3}, x_{i-2}, x_{i-1})$については、$x_i$=0とした。

例えば、ビット列 0011010110101 ついて、最初の 4 ビットは 0011 であるから、f(0, 0, 1)=1 となる。同様に、f(0, 1, 1)=0、f(1, 1, 0)=1、f(0, 1, 0)=1 となる。また、101 については、1010 が最後に出現するので、f (1, 0, 1)=0 となる。最後に 000 と 100 と 111 は出現しないので、f (0, 0, 0)=0、f (1, 0, 0)=0、f (1, 1, 1)=0 となり、関数は Table 2.2 のように決定される。以後、簡単のために$x_{i-3}, x_{i-2}, x_{i-1}$を$x$、 y、 zと表記する。

Table 2.2　推定されたブール関数（例）

$x\ y\ z$	000	001	010	011	100	101	110	111
$f(x, y, z)$	0	1	1	0	0	0	1	0

この関数の複雑さの指標を 2 種類定義し、それを計算した。2 つの指標はそれぞれ関数の内包と外延の複雑さに対応すると考えられる。

内包的指標は、関数を表現する最小のプログラムの長さとして定義される。一般に、2 値の多変数から 2 値の 1 変数への関数はブール関数と呼ばれ、ブール多項式で表現することができる。Table 2.2 の関数は式(2)のようになる。

$$f\ (x, y, z) = (x^c \wedge y^c \wedge z) \vee (x^c \wedge y \wedge z^c) \vee (x \wedge y \wedge z^c) \tag{2}$$

ここで、$\wedge$ はANDを、$\vee$ はORを、^{c} はNOTを意味する。式（2）は式（3）のように簡約化できる。簡約化とは、関数としての同値性を保ちながら項の数を減らすことである（$\vee$ で仕切られた‘( )’が１つの項である）。

$$f\ (x, y, z) = (x^c \wedge y^c \wedge z) \vee (y \wedge z^c) \tag{3}$$

式（3）はこれ以上簡約化できないので、最簡式と呼ばれる。最簡式を最小のプログラムとみなし、その項数（式(4)では２つ）を関数の複雑さの内包的指標として採用し、‘プログラムの長さ’と呼ぶことにする。任意のブール関数の最簡式を得る方法はクワイン=マクラスキーの方法として知られている(付録を参照)。

外延的指標は、ブール関数が算出するビット列の長さとして定義される。000から111まで、全ての初期値について、再帰的に関数を適用してビット列を算出し、周期的になるまでのビット列の長さの平均を計算した。これを関数の複雑さの外延的指標として採用し、‘周期の長さ’と呼ぶことにする。式（3）の場合、算出されるビット列はTable 2.3のようになる。ビット列の長さの平均は3になるので、‘周期の長さ’は3である。

実際の解析では6ビットから2ビットへの関数を用いた。6ビットからの関数を用いた理由は、簡約化の前後で項の数がなるべく変化するようにするためである。2ビットへの関数を用いた理由は、Fig. 2.3のように定義した方向の情報を縮退させないためである。この関数は、２つのブール関数（6変数）で表現することができる。項数は最大で$2^6 \times 2 = 128$個であるが、関数空間全体に対して０と１は対称であるから、項数の最大数は事実上64となる。ビット列の長さも最大で$2^6 = 64$となる。実際の計算では、最簡式の項数のよい近似になっ

ている主項の数を計算した。同様の解析法はWolfram（1986）がセルラーオートマトンに適用している。ブール関数の一般的な知識については松本（1980）が平易で詳しい(付録を参照)。

さらに、6ビットから2ビットへの関数空間全体の内包的指標と外延的指標の平均的な関係を表す基準線を算出した。まず、6ビットから2ビットへの関数で、「プログラムの長さ」が1～40までのものをそれぞれ1000個、合計40×1000＝40000個の関数を無作為に抽出した（プログラムの長さが41以上のものは数が少ないので40以下に限った)。それぞれの関数について「周期の長さ」を計算し、プログラムの長さごとに周期の長さの平均値をプロットしたところ、ほぼ直線上に分布した（寄与率0.998）ので、これを最小2乗法で推定した。この操作を10回繰り返した。その結果得られた関数の平均値は、$y=0.174x+3.364$であった。標準偏差は傾き0.0003、切片0.005であったので、本実験の解析に使用するには、十分に安定であると判断した。

基準線の意味は、プログラムの長さで見積もられる内包と、そのプログラムが出力する平均周期で表されるところの外延、の平均的関係である。だから、基準線より上位の領域では、平均よりも短いプログラムで長い周期のビット列が生成できることを意味する。つまり、移動軌跡をより簡約化されたプログラムで表現できることになるので、内包的地理把握が卓越していると考えられる。下位では逆に、外延的地理把握が卓越していると言うことができる。

Table 2.3　ブール関数によって再帰的に生成されたビット列（例）

初期値	ビット列	周期の長さ
000	0	1
001	10101	5
010	10	2
011	0101	4
100	00	2
101	010	3
110	101	3
111	0101	4

2.8　結果

×印と○印は、それぞれ実験群と対照群の迷路で、最短距離のルートを常に選択した場合の軌跡について解析した結果である。どちらも基準線の近くにプロットされている。△印は実験群のデータを、□印は対照群のデータを解析してプロットしたものである。それぞれのマークから基準線までの距離を正負の符合付で計算した（基準線より上を＋、下を－）。その結果、対照群の方が実験群より平均距離が大きかった（Table 2.4）。Welch の t 検定によって、実験群の平均値と対照群の平均値に有意な差があると判断した（p 値=0.0015）。次節でより詳しく考察するが、この結果は、対照群では内包的地理把握が外延的地理把握よりも卓越していることを意味する。

Fig.2.4 は横軸は基準線からの距離（符合なし）で、縦軸は発見することができたターゲットの個数である。マークの対応は Fig2.3 と同じである。基準線からの距離が小さい方がより効率的に探索している傾向がある。

Table　2.4　基準線からの距離

	基準線からの平均距離
実験群	－0．66
対照群	＋3．18

(p<0.01)

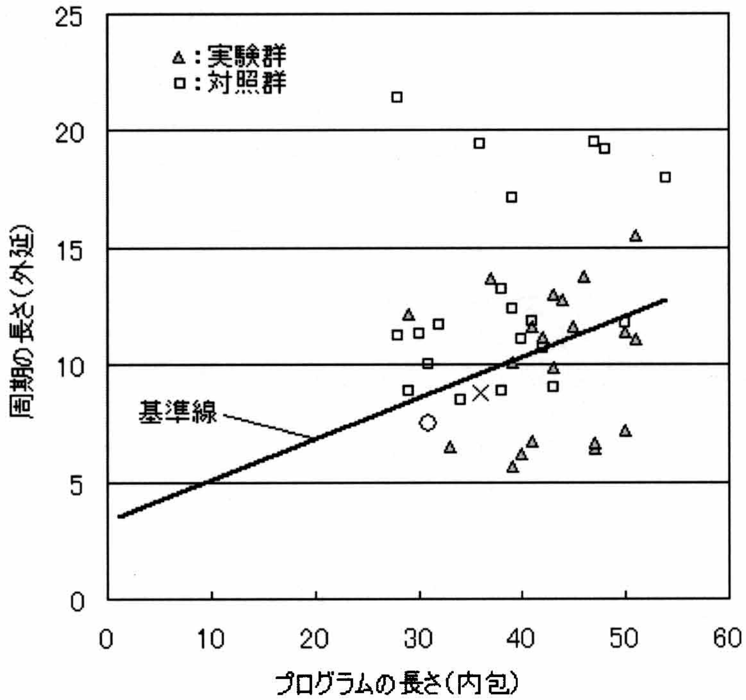

Fig. 2. 4　実験群と対照群の解析結果と基準線

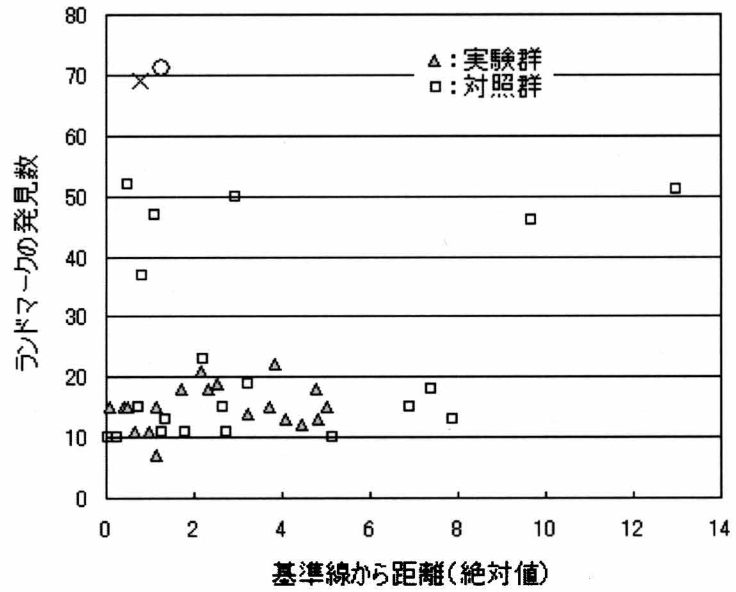

Fig. 2. 5　基準線からの距離 v. s. ターゲットの発見数

2.9 考察

Fig. 2.4 で、地理ブロックの回転を伴わない対照群では、分布が内包側にシフトしている。つまり対照群では、迷路上を正確に歩くとき、全体としての鳥瞰図的地理把握より、局所間の関係を正しく集めることが重視されていると考えられる。一方、迷路を分割して回転した実験群では、ルート（内包的地理）は寸断されたため、外延的地理を援用せざるを得ない。得られた結果は基準線を平均値として分布している。この結果は、内包と外延の調停が実現していると解釈でき、著者らの実験の意図と合致する。

もちろん対照群においてすら、探索は内包的地理把握と外延的地理把握の不断の調停を通して実現されると考えられる。しかし、仮想迷路という実験系において、回転を伴わない対照群では外延的地理を意識する必要はあまりない。記憶にしたがって或る経路を辿るだけなら、局所的な方向指示の集まり、内包だけで事足りる。

一方、ブロックが回転する実験群では、なかば強制的に、内包的地理把握と外延的地理把握が調停された。そして、現実の地理に近いのはむしろ、トリッキーな仕掛けがある実験群の仮想迷路であると我々は考える。なぜなら、現実の地理では、移動範囲が広域におよんだり、移動方法が多様であったり、環境が変化したりする。例えば、久しぶりに帰省するとしよう。最寄りの駅まで徒歩で移動し（内包的）、そこから電車に乗る（外延的）かもしれない。故郷の駅前はすっかり寂れていて、ランドマークであったスーパーマーケットがなくなっているかもしれない。とりあえず、大体の方向だけを頼りに歩き出す（外延的)。「あっ、そうそう、この散髪屋の角を右に曲がればいいんだ」(内包的)、という様に移動は進行するだろう。我々がいう内包的地理把握と外延的地理把握の調停とはこのような様相である。

迷路のような環境下でも記憶力に限りがある以上、内包的地理把握と外延的地理把握の

両方を使う方が、効果的であろう。あくまでも推測の域を出ないが、Fig. 2.5 はこのことを示唆しているように思える。右上の二つを除くと、ランドマークを多く発見したサンプルが基準線に近くに分布している。右上の二つは極端に内包的なサンプルであるが、仮想迷路という環境下では、内包一辺倒な地理把握も（もしそれが可能であれば）有効であるということであろう。

被験者の軌跡を再現するようなモデルがあれば、本実験の解析法とその結果について、より深い議論が可能になるであろう。どうようなモデルを考案すべきであろうか？実験結果によって、内包的地理把握と外延的地理把握の両方を使っているという事は明らかになった。しかし、ただ単に使い分けていると考えることは出来ない。なぜなら、使い分けるためには、両者を見渡すメタプログラムのようなものが必要だからだ。我々は、地理把握とは異なる文脈においてであるが、内包と外延の微妙な関係を、数学的にモデル化することを以前から試みており、現在も進行中でもある（例えば Uragami 2006）。これらのモデルを地理把握に応用している論文もある(Gunji 2002)。本論文の実験結果とこれらのモデルの直接的な対応を議論することは、今後の課題の一つである。

実験のデータは被験者の移動軌跡から得られたもので、被験者の地理把握そのものではないと考えるかもしれない。もちろん我々は、被験者の脳内にブール関数がある、と主張するつもりはない。これらについての議論を補足して、それを結語としよう。

人間の地理把握の研究において、地理把握の仕方を被験者に表現してもらったものを解析する研究も多い。この結果生まれたのが、ルートマップとサーヴェイマップという概念である。このマップという概念は、地理把握そのものではないということに注意するのであれば、決して無意味なものではない。特に、2 つのマップの動的階層性に着目するのであれば、それは有意義な概念になるであろう。ただし、先に我々は、マップという概念は表象主義的すぎると指摘した。そこで我々は、移動軌跡の解析を通じて地理把握の理解を試

みた。移動軌跡の解析から得られるデータは、表象主義とは無縁である。移動軌跡は地理把握そのものではないが、そもそも、移動軌跡＝行為と独立な地理把握＝認識そのものなどあり得ない。ただし、行為＝認識でもない。常に重要なことは動的階層性である。そして、動的階層性とは分節が不可避であるにもかかわらず、クリアカットできない様相である。その一つがアフォーダンスと知覚であり、より端的な例が内包と外延である。１つの概念が内包と外延に不可避的に分節される。内包や外延はそれ自体では概念ではない。にもかかわらず、これが内包ですよと言われれば納得してしまう。いわば内包が概念化してしまう。すると、内包の内包と内包の外延と不可避的に分節される。この分節には際限がない。この際限のなさは、そもそもこの分節がクリアカットでないことに由来する。内包の外延は、先行する内包と外延の分節の名残である。言い換えると、クリアカットでない分節という微妙な様相の表現が、際限のない分節である。

本実験の最も新奇な点は、実験結果が内包･外延対（プログラムの長さ･周期の長さ対）として明示的に分節しているところにある。動的階層性を理解する第一歩は、分節の不可避性に真摯であることに始まる。そして、分節の不可避性に留意しながらも、それを混同してしまう様相を、形式として理解するためには、内包･外延といった二項関係では概念装置として不十分である。二項関係に加えて、その間の齟齬自体をも形式化すること、三項関係を形式化することが必要だ。次章は、三項関係を形式化することから始まる。

付録　ブール関数の簡約化

定理の証明など、詳細は松本 1980 の第 2 章を参考にして頂きたい。

定義 1　$x \wedge y$ と $x \vee y$ 、x^c の値を表により定める。

x	y	$x \wedge y$	$x \vee y$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1

x	x^c
0	1
1	0

定義 2

x または x^c を文字という。

異なる文字を$\wedge$で結合したものを積項という。

積項を$\vee$で結合したものを積和式といい、積和式に含まれる積項の個数を項数という。

定義 3　変数および関数のとる値が集合{0，1}の元であるような関数をブール関数という。

定理 4　n 変数のブール関数 $f(x_i, \cdots, x_n)$ は次の形で表すことができる。

$$\bigcup\{f(e_1,\cdots,e_n)\wedge x_1^{e_1}\wedge\cdots\wedge x_n^{e_n}\}$$

ただし、$e_1 \in \{0, 1\}$、$x_i^0=x_i$ 、$x_i^1=x_i^c$ とし$\bigcup$は$(e_1, \cdots, e_n)$に関するすべての 0、1 の n 個の順列についての$\vee$をとることを意味する。この式は、積和式であるが、特に積和標準形とい

う。

定義5　積和式Φが最簡式(simplest equivalent)であるとは、Φと同値などんな積和式Ψに対しても、Φと項数がΨの項数より少ないときをいう。ただし、項数が同じものがあるときは、より文字数が少ないときをいう。

定義6　積和式Ψが積和式Φを含むとは変数に0、1の値にどのような与え方に対しても、Ψが1で同時にΦが0の値をとることはない場合をいう。

定義7　積項αが積和式Φの主項(prime implicant)であるとは、αから任意の文字を取り除いた積項をβとすると、αはΦを含むが、βはΦを含まない場合をいう。

定理8　積和式Φのすべての主項を積項とする積和式ΨはΦと同値である。

定理9　積和式Φと同値な最簡式Ψは次の(1)、(2)を満たす。

(1)　Ψの各積項はΦとの主項である。

(2)　Ψのどの積項をのぞいてもΦと同値にならない。

定義10　積項αが積和式Φについて積項βの完全形であるとは、βの文字がすべてαに現れ、Φの変数がすべてαに現れる場合をいう。

定理11　積和式Ψの積和標準形をΦとするとき、積項αのすべての完全形がΦの積項として現れるための必要十分条件は、αがΨを含むことである。

以上にもとづいて最簡式をえる具体的な手続きは、クワイン=マクラスキーの方法として知られている。大筋は次のようになる。

（１）　与えられたブール関数を積和標準形に直す。

（２）　積和標準形のすべての主項を列挙する。

（３）　いくつかの主項を∨で結合した積和式で、与えられたブール関数と同値なものの中から、できるのだけ項数の少ないものを選ぶ。

第3章　モデル：

束で駆動されるセルオートマトン

3.1 階層性・全体性・局所的意味論

学習や適応を取り上げる場合は常に、階層間の相互作用が問題になる(郡司 2004)。生物学においては、細胞や個体との関係といった階層性が、一つの焦点であり続けてきた（メイナード・スミス 1995)。表現型と遺伝子型の分離独立が硬く信じられていた進化においてさえも、その分離独立が保証されない証拠として、バクテリアの適応的進化が発見されている(サピロ 1995)。脳活動では、知覚と行為の相互作用こそが最大の関心事である(ラマチャンドラン 1998)。前章では、人間の探索行為において、ローカルな情報獲得とグローバルな地理把握の動的な相互作用について論じた（浦上 2006)。CA の研究者であったジェンは安定性と頑健性を区別し、後者を階層間の相互作用によって実現されるシステムの持続性であるとし、頑健性は学習や適応へと開かれていると指摘している(Jen 2003)。

これらのシステムは少なくとも 2 つの階層を持っている。1 つはシステムの周囲の環境を観測する階層で、もう 1 つはシステムの挙動を決定する階層である。また、学習や適応は、システム＝部分と環境＝全体の動的な調和であると一括できるだろう。本論文では、階層間の動的な相互作用を通じて全体性が創発する様相を、数学的に形式化し、且つ計算機実験によって例示することを目指す。

自己組織化現象は部分と全体との関係に新たな視点もたらした（Bak 1997)。そこでは、局所的に相互作用する多数のエージェントからなるシステムを取り扱う。個々のエージェントはあくまでも局所的に相互作用するが、相互作用の規則を共有することにより、システムは大域的な挙動を示す。ここにも 2 つの階層を見ることができよう。1 つは各エージェントの状態で、それは相互作用において局所的にしか参照されない。もう 1 つは相互作用の規則で、それはシステム全体で共通である。しかし、システム全体に渡る規則の共有

は、如何にしてもたらされたのか？アプリオリな規則の共有を認める訳にはいかない場合、各エージェントは近傍の状態遷移を模倣するようにして規則を推定するといったモデルが考案されている(安富 1995)。しかし、このようなモデルは規則を推定する規則、つまりメタ規則を各エージェントが共有していることを前提としている。このような議論は無限退行を避けられない。そもそも、規則の共有によって全体性はもたらされるのか？本論文では、無限退行に陥る議論とは違った視点を提案するため、規則と状態の二項関係に対する第三項として意味論を取り上げる。

通常、意味論とは統語論、つまり規則の適用方法に一義的な解釈を与えるものとされる。しかし、それもまた無限退行する。本論文では、意味論を次のような役割を果たすものとして定義する。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する。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う。階層間の齟齬と調停の両義性を担うものを如何に構成するかが、動的な階層性を理解する鍵となる。階層間に齟齬が存在しない、つまり階層間が整合的に対応するのであれば、1 つの階層で事足りるので、そもそも階層の存在自体が無意味になる。また、無限退行は各階層自体に齟齬が内在しない、つまり数学的に厳密に定義されていることを前提としている。しかし生物システムではありえない前提であるから、それは無意味な想定である。

明らかに、齟齬を内在しない階層性は無意味である。したがって、本論文では階層の数学的表現に齟齬を導入する。具体的には、規則と状態という 2 つの階層間の齟齬と調停の両義性を担う意味論を、「束」(バーコフ 1967、Davey 2001) と呼ばれる数学的構造で表現する。束では、規則は順序集合上の極限操作で定義される。下の階層の極限として上の階層を構成しようという試みは幾つかある (ローゼン 1991)。しかし、これらの試みは些か静的すぎる。郡司らはこの極限を弱めることによって、階層間の動的な相互作用を実現しようと試みている (郡司 2001a, 2001b, 2002, 2005, 春名 2005a, 2005b, 浦上 2006)。本論文でも同様に、極限を弱めることから出発する。束上の極限を弱めると規則と状態は一意に対応

しなくなる。しかし、規則と状態間の不一致の程度は束が与える可能性内に限られるので、システムの時間発展が破綻することは免れる。このような意味で、束によって表現された意味論は階層間の齟齬と調停を両義的に担う。

我々の意味論は、階層性と並んで生命現象の争点である自己言及性についても新たな視点を提供する。自己言及的なシステムとして生命を論じる試みは多い(マチュラーナ 1980、リテライアー2003)。どのようにして自己言及的なシステムは環境へと適応するのだろうか？意味論を俎上に上げると、不可避的に自己言及的な仕組みを取り扱うことになる。なぜなら、意味論は規則と状態を同時に指定するから。自己言及は 2 つの階層を同時に指定することから生じる。一方、我々の意味論は極限を弱めることによって階層間の調停と齟齬を両義的に担う。したがって、我々の意味論は自己言及的な構造を持ちつつも、システムを決して閉じさせない。極限を全体性と言い換えるならば、システム＝部分は自己の全体性を欠くからこそ、環境＝全体への適応へと開かれたシステムでありえるということになる。

本論文では、上記のように束で表現された意味論を Elementary Cellular Automata(ECA)（ウルフラム 1983, 1984, 2002）に実装し、それを Lattice-Driven Cellular Automata(LDCA)と呼ぶことにする。以下の章では、まず LDCA の数学的な定義を通じて、階層間の相互作用についての我々の新しい視点をより詳細に論じる。さらに、LDCA の計算機実験の結果を通じて、我々が論じるような階層間の相互作用が動的な全体性をもたすことを例示する。以下、2 節ではモデルの定義の概要を述べる。3～7 節では、数学的な詳細を説明している。8 節において、モデルの定義と結果を踏まえた上で、1 節の議論はより具体的に論じられる。

9 章とそこで参照されている Fig. を見れば、計算実験の結果の概要がわかる。

3．2　LDCA の要点

この節では、我々が提案するモデルすなわち LDCA の要点を直感的に述べる。数学的に厳密な定義は4節で与える。

LDCA では、規則と状態と意味論の３項関係を次のように表現する。

規則：束多項式で表現される ECA の局所規則。束多項式自体は全てのセルにおいて共通かつ不変である。

状態：束の元で表現された各セルの状態。

意味論：束。各セルにはそれぞれ異なった束が与えられていて、それらは相互作用を通じて変化する。

束が変化すると、局所規則を表現している束多項式は不変でも状態遷移は変化する。つまり、規則とは規則自体を意味するだけでなく、規則を適用して状態を決定すること(top-down プロセス)をも意味することにするならば、束の変化によって規則は変化することになる。また、束が変化すると、束の要素として表現されているセルの状態、自身を含めた環境の状態の解釈も変化する。加えて、状態から規則を推定する方法(bottom-up プロセス)も変化することになる。整理すると、意味論を表現している束は規則の適用方法と、状態の解釈方法の両方を担う。従って、束を変化させることによって、規則と状態を同時に変化させることが可能になる。この仕組みが、規則と状態の循環から生じる無限退行を無効にする。

局所規則によってあるセルの次の状態を決定するとき、そのセル固有の意味論すなわち

束上で束多項式を計算する。束多項式は上限と下限と呼ばれる極限操作によって構成されているが、我々のモデルではこの極限操作を弱める。その結果、束多項式は一意に計算できなくなり、ここに規則の不完全さが生じる。それを補うため、近傍のセルの状態遷移を参照する。しかし参照する範囲(意味論上のパラメーター*SR*)が十分に広くないならば、セルの次の状態は一意に決まらなくなり、ここに状態の不完全さが生じる。ただし、セルの状態の不定さは束が与える状態空間に限られるので、システムの時間発展が破綻するわけではない。このように意味論は不完全な規則と不完全な状態の間の齟齬を調停する役割を担うが、齟齬の影響で意味論自体が変化する。その結果、意味論が多様になる。意味論の多様さは規則を多様にし、規則と状態の新たな齟齬を生む。以上が我々のモデルにおいて実装される規則と状態と意味論の動的な三項関係である(Fig. 3. 1)。

上記のような意味論を局所的意味論と呼ぶことにする。意味論の局所性には３重の意味がある。１つめは束上の演算における極限操作を弱めるという意味で、２つめは参照する近傍の範囲を制限するという意味であり、３つめは各セルごとに意味論すなわち束が異なるという意味である。もちろん、これらは分離しがたく関連している。Fig. 3. 1 に図示したように我々のモデルでは、束における極限操作と近傍の範囲がリンクしている。これらを制限した結果、各セルごとに束が異なることになる。

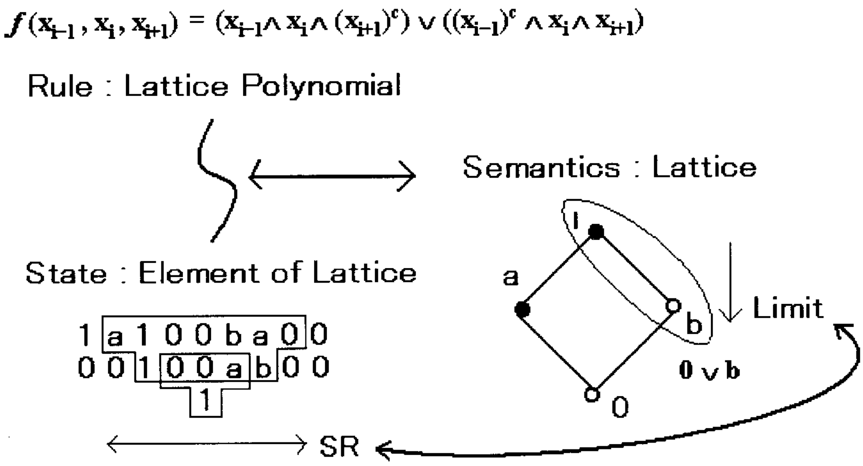

Fig. 3. 1 本論文で提案するモデル、Lattice-Driven Cellular Automata (LDCA) の概念図。 束多項式と束の要素と束自体が３項関係を表現している。パラメーター*SR* は意味論上の視野の広さである。*SR* は束上の極限とリンクしていて、*SR* を制限すると３項関係は動的になる。

3.3　束と ECA

この節では数学的準備として、束の定義と束と ECA の関係について述べる。ここでの説明は、次節以降の表記を識別できる限りで最小限のものである。より詳しい説明が必要な読者には、束については(Davey 2002)が、ECA については(ウルフラム 2002)が参考になる。

まず、順序集合について述べる。順序集合 P とは二項関係$\leq \subseteq P\times P$ を伴う集合で、任意の $a, b, c \in P$ について以下(ⅰ)〜(ⅲ)の条件を満たす。(ⅰ)$a\leq a$, (ⅱ)$a\leq b, b\leq a \Leftrightarrow a=b$, (ⅲ)$a\leq b, b\leq c \Rightarrow a\leq c$　。任意の$S\subseteq P$についてSの上界S^uは以下のように定義される。$S^u:=\{x\in P \mid \forall y\in S, y\leq x\}$。下界 S^d も同様に、$S^d:=\{x\in P \mid \forall y\in S, x\leq y\}$。つづいて、$a$ と b の上限とは$\{a, b\}^u$ の最小元のことで、$a\vee b$ と表記する。同様に、a と b の下限とは$\{a, b\}^d$ の最大元のことで、$a\wedge b$ と表記する。我々のモデルにおける第一の着想は、この「最小」や「最大」といった極限操作を弱めることにある。

次に、束の定義を述べる。

定義 3.1(順序集合としての束)　$P=(P,\leq)$を順序集合とする。任意の $a, b \in \mathrm{P}$ について、$a\vee b$ と $a\wedge b$ が存在するときに、P は束である。

上限と下限の組み合わせからなる式を束多項式と呼ぶ（例えば$(a\vee b)\wedge c$ など)。

次の定理は、上の束の定義と同値な条件を与える。

定理 3.2(代数構造としての束)　ある集合 L とその集合上の２つの二項演算 $\vee, \wedge$ によって定義される代数構造$(L; \vee, \wedge)$が束であるための必要十分は、任意の $a, b, c \in L$ について以下の

(1-1)〜(1-4)の条件を満たすことである。

$$a \vee a = a, \quad a \wedge a = a \tag{1-1}$$

$$a \vee b = b \vee a, \quad a \wedge b = \mathrm{b} \wedge a \tag{1-2}$$

$$(a \vee b) \vee c = a \vee (b \vee c), \quad (a \wedge b) \wedge c = a \wedge (b \wedge c) \tag{1-3}$$

$$a \vee (a \wedge b) = a, \quad a \wedge (a \vee b) = a \tag{1-4}$$

我々のモデルでは上限と下限の極限操作を弱めることに呼応して、(1-4)が変更される。

次の定理も束との定義と同値な条件を与える。

定理 3.3(不動点としての束) P を順序集合とする。P が（完備）束であるための必要十分条件は $P \cong C(Pow(P))$である。ここで、$Pow(P)$は P の冪集合であり、C は閉包操作の一つで、任意の $A \subseteq P$ について、

$$C(A) := (A^{\mathrm{u}})^{\mathrm{d}} \tag{2}$$

と定義される。我々のモデルでは、定理 3.2 の条件と同様に、上限と下限の極限操作を弱めることに呼応して、C も C^*へと変更される。$\cong$は同型対応を意味し、同型射は任意の $x \in P$ について、次の式で定義される。

$$x \mapsto \{x\}^{\mathrm{d}} \qquad \text{for } x \in P \tag{3}$$

以上で束について、互いに同値な３通りの条件を与えたことになる。次に、束の１つの特別なクラスを定義する準備として、幾つか用語について説明する。ある束 L について、

最小限と最大限を０と１で表記する。ある要素 $a \in L$ について、a の補元とは集合 $\{z \in L \mid z \wedge a = 0\}$ の極大元のことで、a^c と表記する。

$$a^c = \max\{z \in L \mid z \wedge a = 0\} \tag{4}$$

定義 3.4（ブール束） ある束 L について、0 と 1 が存在し、全ての $a \in L$ について a^c が一意に存在し、全ての $a, b, c \in L$ について $a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$ を満たすとき、L はブール束である。

直感的には、ブール束において上限と下限と補元はそれぞれ OR と AND と NOT に対応する。ブール束の例を Fig.3.2 に示す。

続いて、ECA の定義と ECA のブール束による拡張について述べる。

定義3.5(ECA) Elementary Cellular Automata (ECA) とは１次元２状態３近傍のセルオートマトンのことである。時刻 t における i 番目のセルの状態を x_i^t とする。それぞれのセルは次の式で更新される。

$$x_i^t = f(x_{i-1}^{t-1}, x_i^{t-1}, x_{i+1}^{t-1}) \tag{5}$$

ここで $x_i^t \in \Omega = \{0, 1\}$、$f: \Omega^3 \to \Omega$ であり、 Ω は状態空間である。f は局所規則で、０から２５５までの番号が振られている。

状態空間 Ω を２元のブール束と見なす事により、式(5)を次のように束多項式で表現することができる。

$$f(x_{i-1}^{t-1}, x_i^{t-1}, x_{i+1}^{t-1}) = \vee_{(e1,e2,e3)} \{ x_{i-1}^{t-2,e1} \wedge x_i^{t-2,e2} \wedge x_{i+1}^{t-2,e3} \wedge f(e_1,e_2,e_3)\} \tag{6}$$

ここで $e_i \in \Omega$, $x_i^{t,0}=(x_i^t)^c$, $x_i^{t,1}=x_i^t$ である。さらに、Ω を任意のブール束に拡張することができる。そのとき、式(6)を変更する必要はない。そして重要なことは、状態空間のこの拡張はブール順同型射によっていつでもキャンセルできるため、実質的な意味を持たないということである(Fig.3.2)。

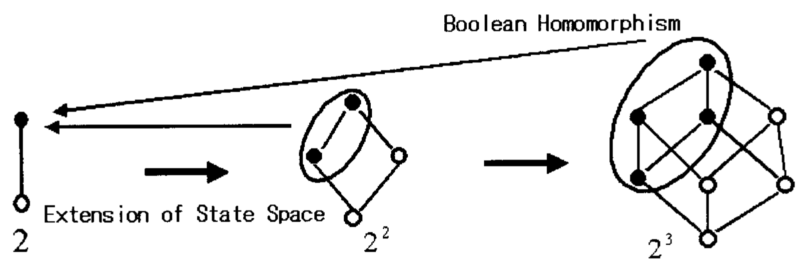

Fig. 3. 2 ブール束の例。LDCA では ECA の状態空間をブールへと拡張する。しかし、ブール準同型射によっていつでもキャンセルできるので、この拡張はそれ自体では意味を持たない。

３．４　LDCA の定義

我々のモデルでは、ECA における状態空間Ωと局所規則 f を、それぞれ以下のように、セルごとに多様に時間発展する L_i^t と F_i^t へと拡張する。

定義 4.1(LDCA) L_i^t を時刻 t における i 番目のセルに固有な束すなわち状態空間とする。特に時刻 t=0 において、それはブール束である。L_i^t は状態空間であるだけでなく、局所規則の適用方法を決めるものでもあるので、L_i^t を意味論と呼ぶことにする。x_i^t を時刻 t における i 番目のセルの状態とする。 したがって、 $x_i^t \in L_i^t$。

各セルの状態 x_i^t は $F_i^t:(L_i^t)^3 \rightarrow L_i^t$ によって更新される。ここで、$F_i^t:(L_i^t)^3 \rightarrow L_i^t$ は式(6)の$\vee$と$\wedge$を$\vee_i^t$と$\wedge_i^t$に置き換えることによって得られる。

$$
\begin{aligned}
x_i^t &= F_i^t(x_{i-1}^{t-1}, x_i^{t-1}, x_{i+1}^{t-1}) \\
&= \vee_{i\ (e1,e2,e3)}^t \{ (x_{i-1}^{t-1})^{e1} \wedge_i^t (x_i^{t-1})^{e2} \wedge_i^t (x_{i+1}^{t-1})^{e3} \wedge_i^t f(e_1,e_2,e_3)\}
\end{aligned} \tag{7}
$$

$a\vee_i^t b$ と $a\wedge_i^t b$ は$\{a, b\}^u$ と $\{a, b\}^d$ からランダムに選択される。ただし、式(1-1)-(1-3) と次式を満たすようにする。

$$
x_k^{t-1} = F_i^t(x_{k-1}^{t-2}, x_k^{t-2}, x_{k+l}^{t-2}) \qquad \text{for all } k\ (i-SR \le k \le i+SR) \tag{8}
$$

ここで SR は重要なパラメーターであり、意味論上の視野の広さを意味する。

各セルの意味論 L_i^t は擬閉包操作 $C^*:Pow(L_i^t) \rightarrow Pow(L_i^t)$によって更新される。$C^*$ は閉包操作 C において、任意の $A, B \subseteq L_i^t$,について、A^u を$\le_{\vee,i}^t$ によって定義し、B^d を$\le_{\wedge,i}^t$ によって定

義したものである。ここで、

$$a \le_{\vee,i}{}^{t}\, b :\Leftrightarrow a \vee_i^t b = b \tag{9-1}$$

$$a \le_{\wedge,i}{}^{t}\, b :\Leftrightarrow a \wedge_i^t b = a, \tag{9-2}$$

これは connecting lemma として知られている。 擬閉包 C^* の A^{u} と B^{d} は以下のように定義される。

$$A^{\mathrm{u}} := \{x \in L_{\mathrm{i}}^{\mathrm{t}} \mid \forall y \in A,\ y \le_{\vee,i}{}^{t}\, x\} \tag{10-1}$$

$$B^{\mathrm{d}} := \{x \in L_{\mathrm{i}}^{\mathrm{t}} \mid \forall y \in B,\ x \le_{\wedge,i}{}^{t}\, y\} \tag{10-2}$$

L_i^{t+1} は C^*による $Pow(L_i^t)$の像である。

$$L_i^{t+1} = C^*(Pow(L_i^t)) \tag{11}$$

以上のように定義されるシステムを Lattice-Driven Cellar Automata (LDCA)と呼ぶことにする。

注意 4.2 以下に数学的な注意を列挙する。

(a) L_k^{t-1} と L_i^t が同じでない場合は、L_k^{t-1} の要素を L_i^t の要素へ翻訳する必要がある。その翻訳は式(3)に従う。一つの例は Fig.3.5 である。

(b) $\vee_i^t$ と $\wedge_i^t$ が条件(1-1)-(1-3)を満たすとき、そのときに限り、$\vee_i^t$ と $\wedge_i^t$ から導出された$\le_{\vee,i}{}^{t}$ と$\le_{\wedge,i}{}^{t}$ が順序の定義を満足する。条件(1- 4)は$\le_{\vee,i}{}^{t}$ と$\le_{\wedge,i}{}^{t}$ が同一であるための条件であるが、LDCA ではこの条件が除去されているため、$\le_{\vee,i}{}^{t}$ と$\le_{\wedge,i}{}^{t}$ が異なる場合が生じる。

(c) 式(10)における上界A^{u}と下界B^{d}は$\vee_i^t$と$\wedge_i^t$と整合的になっている。$\{a, b\}=A=B$とすると、

$a \vee_i^t b$ は A^u の最小元に、$a \wedge_i^t b$ は B^d の最大元になっている。

(d) $\leq_{\vee,i}^t$ と $\leq_{\wedge,i}^t$ から擬閉包 C^* によって生成される L_i^{t+1} は一般的には常に束である訳ではない。ただし、初期値における束 L_i^0 が８元までのブール束であるならば、L_i^{t+1} は常に束になる。本論文の以下の部分では、L_i^0 が４元のブール束である場合のみを扱う。

(e) 全ての k について式(8)を満たす $\leq_{\vee,i}^t$ と $\leq_{\wedge,i}^t$ が存在しない場合は、できるだけ多くの k で式(8)を満たすようにする。

(f) L_i^{t+1} がブール束でない場合、補元は一意であるとは限らない。

3.5　直感的な性質と意味

意味論上の半径 SR が十分に大きいとき、LDCA は ECA と一致する。そして SR を十分に大きくすることは、$\vee_i^t$ と $\wedge_i^t$ の計算における極限操作に対応する。これらのことは、ECA に潜在する大域的な視点と極限操作の存在を明らかにしている。SR を制限すると、局所**規則**を表現している束多項式はセルの**状態**遷移を一意には決定しなくなる。また、式(８)は各セルの近傍における**状態**遷移を意味するが、式(８)と局所**規則**中の $\vee_i^t$ $\wedge_i^t$ は互いに一方が他方を定義しているので、両者の整合性は結果的かつ部分的なものになる。式(８)は式(1-4)の代わりを果たしているとも考えられるので、SR を制限すると、$\vee_i^t$ とから導出される $\leq_{\vee,i}{}^t$ と $\wedge_i^t$ から導出される $\leq_{\wedge,i}{}^t$ が一致しなくなる。その結果、各セルの**意味論**を表現している束 L_i^t は擬閉包 C^* の不動点ではなくなり、C^* によって L_i^t は 新しい束 L_i^{t+1} へ時間発展することになる。以上が LDCA における、**状態**と**規則**と**意味論**の３項関係、すなわち動的な階層性である（Fig.3.1)。

同様の３項関係は束によって表現された意味論自体の中にも、束の 3 通りの定義という形式でも発見できる。LDCA では、これらの定義をそれぞれ少しずつ弱めつつ ECA とリンクさることにより、束が時間発展する仕組みになっている。順序集合としての束(定義 3.1)は状態に、代数構造としての束(定理 3.2)は規則に、不動点としての束(定理 3.3)は意味論に近しい概念である。不動点としての束は閉包 C に関して自己言及的な構造をしている。$x^d=\{y \mid y\leq x\}$ かつ $x\leq x$ なので、式(３)の同型射は、ある要素からその要素自身を含む集合への対応になっている。

以降の節では、簡単だがトリビアルではない例として、L_i^0 が４元のブール束（Fig.3.2 中央）の場合のみを取り上げる。その場合、可能な順序集合 $\leq_{\vee,i}{}^t$ と $\leq_{\wedge,i}{}^t$ は Fig.3.3 に示すように

それぞれ４通りである。これらの順序集合から擬閉包 C^*よって導出される束 L_i^t を Fig.3.4 に示した。いずれの束も補元は式(４)に従って一意に決定される。異なる束間における要素の翻訳(式(７)中の tr)は式(３)に基づいて Fig.3.5 のように決定される。この翻訳に含まれる１対多対応は、内在的な摂動を与えることになる。２元のブール代数への翻訳において１に対応する要素を黒で、０に対応する要素を白で表示している。

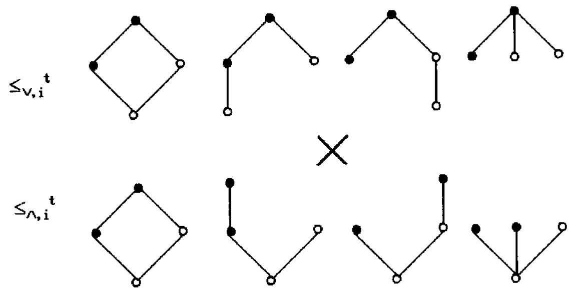

Fig.3.5 ４元のブール束から生成可能な 4×4 種類の順序集合。それぞれの順序集合$\leq_{\vee,i}^t$と$\leq_{\wedge,i}^t$は擬上限$\vee_i^t$または擬下限$\wedge_i^t$をから式(10)によって定義される。さらに$\leq_{\vee,i}^t$と$\leq_{\wedge,i}^t$のペアから擬閉包 C^* によって次の時刻の束を決定する。

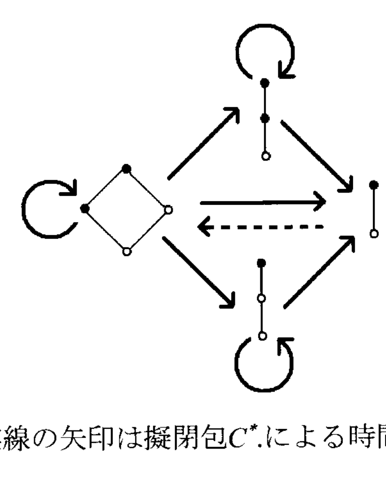

Fig.3.4 束の流れ図。実線の矢印は擬閉包C^*.による時間発展。点線の矢印はLDCAの方法的仮定による。

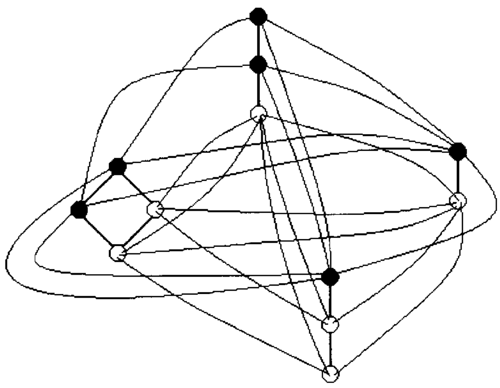

Fig.3.5 異なる束間の要素の翻訳。一対多の対応を含むので、内的な摂動になる。翻訳によって、２元のブールの１と０に対応する要素をそれぞれ黒と白に塗った。

３．６　簡単な例

この節と次節では、簡単だが興味深い例として、ルール番号が１２２番の場合のみを取り上げる。ルール１２２に対応する式(7)の $f(e_1,e_2,e_3)$は、$f(0,0,0)=0$, $f(0,0,1)=1$, $f(0,1,0)=0$, $f(0,1,1)=1$, $f(1,0,0)=1$, $f(1,0,1)=1$, $f(1,1,0)=1$, $f(1,1,1)=0$ となる。これらを式(7)に代入すると次の式が得られる。

$$x_i^t = (w^c \wedge x^c \wedge y^c \wedge 0) \vee (w^c \wedge x^c \wedge y \wedge 1) \vee (w^c \wedge x \wedge y^c \wedge 0) \vee (w^c \wedge x \wedge y \wedge 1) \\ \vee (w \wedge x^c \wedge y^c \wedge 1) \vee (w \wedge x^c \wedge y \wedge 1) \vee (w \wedge x \wedge y^c \wedge 1) \vee (w \wedge x \wedge y \wedge 0) \qquad (12)$$

ここでは簡単化のために、w, x, y と$\vee$,$\wedge$を $x_{i-1}^{t-1}, x_i^{t-1}, x_{i+1}^{t-1}$ と$\vee_i^t$,$\wedge_i^t$ の代わりに使用した。

以下では具体例によって LDCA の時間発展を説明する。意味論上の半径 SR=2 の場合、x_i^t と L_i^{t+1} は Fig.3.6 左の情報から決定される。

Step 1: 各セルの状態はそれぞれ異なった束の要素で表されている（Fig.3.6 左において、状態は四角で囲われている)。それを L_i^t= 4 元のブール束の要素へと翻訳する。 その結果が Fig.3.6 右である。

Step 2: 各セルの時刻t–2からt–1への時間発展を列挙する. Fig.3.6右から、以下が得られる。

$$(1, 0, 0) \mapsto 1, \quad (0, 0, b) \mapsto b, \quad (0, b, a) \mapsto 0 \qquad (13)$$

これらは式(8)に対応する条件である。

Step 3: $\vee_i'$ と $\wedge_i'$ を条件(1-1)-(1-3)と式(13)を満たす限りでランダムに決定する. Fig.3.7 の左から２つ目はその一例である。通常の場合と一箇所だけことなり、四角で囲まれた要素が a から０へと変更されている。式(４)に従って $\vee_i'$ から導出される補元を次の表に示す。

Table 3.1 x^cは$\vee_i'$ から式(4)によって導出されたxの補元。()内は通常の補元。

x	1	a	b	0
x^c	a (0)	1 (b)	a	1

Step 4: 式(１2)に(1, b, 0)を代入し、補元および$\vee_i'$ と$\wedge_i'$ とを今決定した表にしたがって計算することにより x_i' を決定する。

$$x_i' = (1^c \wedge b^c \wedge 0^c \wedge 0) \vee (1^c \wedge b^c \wedge 0 \wedge 1) \vee (1^c \wedge b \wedge 0^c \wedge 0) \vee (1^c \wedge b \wedge 0 \wedge 1)$$
$$\vee (1 \wedge b^c \wedge 0^c \wedge 1) \vee (1 \wedge b^c \wedge 0 \wedge 1) \vee (1 \wedge b \wedge 0^c \wedge 1) \vee (1 \wedge b \wedge 0 \wedge 0)$$

$$= (a \wedge a \wedge 1 \wedge 0) \vee (a \wedge a \wedge 0 \wedge 1) \vee (a \wedge b \wedge 1 \wedge 0) \vee (a \wedge b \wedge 0 \wedge 1)$$
$$\vee (1 \wedge a \wedge 1 \wedge 1) \vee (1 \wedge a \wedge 0 \wedge 1) \vee (1 \wedge b \wedge 1 \wedge 1) \vee (1 \wedge b \wedge 0 \wedge 0)$$

$$= 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee b \vee 0$$

$$= b \tag{14}$$

その結果、 $x_i' = b$ となる。通常だと次式のように $x_i' = 1$ になる。

Step 5: 式(9)に従って$\vee_i^t$と$\wedge_i^t$ から$\leq_{\vee,i}^t$ と $\leq_{\wedge,i}^t$ を導出する。その結果が Fig.3.7 の左から 3 列目である。

$$\begin{aligned} x_i^t &= (0 \wedge a \wedge 1 \wedge 0) \vee (0 \wedge a \wedge 0 \wedge 1) \vee (0 \wedge b \wedge 1 \wedge 0) \vee (0 \wedge b \wedge 0 \wedge 1) \\ &\quad \vee (1 \wedge a \wedge 1 \wedge 1) \vee (1 \wedge a \wedge 0 \wedge 1) \vee (1 \wedge b \wedge 1 \wedge 1) \vee (1 \wedge b \wedge 0 \wedge 0) \\ &= 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee a \vee 0 \vee b \vee 0 \\ &= 1 \end{aligned} \tag{15}$$

Step 6: 式(11)の擬閉包 C^* によって、$\leq_{\vee,i}^t$ と $\leq_{\wedge,i}^t$ から L_i^{t+1} を以下のように決定する。

$$\begin{aligned} &\{1, a, b, 0\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \quad (\{1, a, b, 0\} \text{ by normal } C) \\ &\{1, a, b\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{1, a, 0\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{1, b, 0\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{a, b, 0\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{1, a\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{1, b\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{1, 0\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{a, b\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{a, 0\}^{\mathrm{ud}} = \{1, a\}^{\mathrm{d}} = \{0\} \quad (\{a, 0\}\{a\ 0\} \text{ by normal } C) \\ &\{b, 0\}^{\mathrm{ud}} = \{1, b\}^{\mathrm{d}} = \{b\ 0\} \\ &\{1\}^{\mathrm{ud}} = \{1\}^{\mathrm{d}} = \{1, b, 0\} \\ &\{a\}^{\mathrm{ud}} = \{1, a\}^{\mathrm{d}} = \{0\} \\ &\{b\}^{\mathrm{ud}} = \{1, b\}^{\mathrm{d}} = \{b\ 0\} \end{aligned} \tag{16}$$

$\{0\}^{ud} = \{1, a, b, 0\}^{d} = \{0\}$

$\varnothing^{ud} = \{1, a, b, 0\}^{d} = \{0\}$

以上を整理すると、$\{0\} \subseteq \{b, 0\} \subseteq \{1, b, 0\}$の３種類の集合が得られる。$\subseteq$を$\leq$と見なす事により、Fig.3.7 右端の順序集合が得られる。式(３)に従って、要素の対応は次のようになる。

$$0 \to 0^{d} = \{0\}, \quad b \to 0^{d} = \{b, 0\}, \quad 1 \to 1^{d} = \{1, b, 0\}. \tag{17}$$

以上によって、x_i^t と L_i^{t+1} が決定された。LDCA の時空間パターンは、空間 i と時間 t について Step 1-6 を繰り返すことによって得られる。

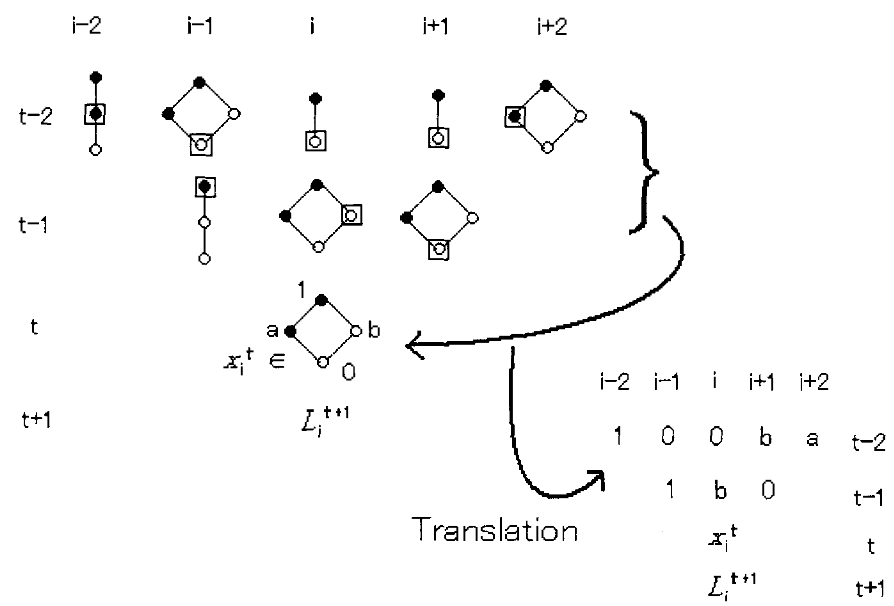

Fig.3.6 *SR*=2の場合、x_i^t と L_i^{t+1} を決定するのに必要な情報の例。各セルの状態は四角で囲われている。

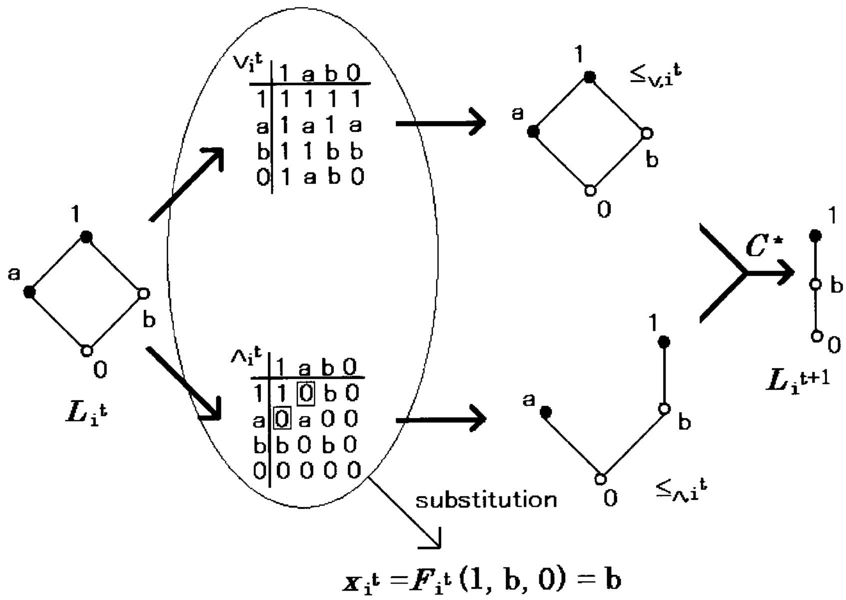

Fig.3.7 L_i^t から L_i^{t+1} への時間発展の例。四角で囲まれている 0 のみが通常と異なる。

３．７　ルール１２２の計算結果

ルール１２２の LDCA の時空間パターンを Fig.3.8 に示す。システムのサイズは１００セルで周期的境界条件を採用している。初期値はランダムで、最初の５００ステップを表示している。各セルの状態を２元のブール束の０と１に変換し、それぞれを白と黒で表示した。右端のパターンは通常の ECA で、それは意味論上の半径 *SR*=10 の LDCA（右から二番目）と完全に一致している。このことは、５節で LDCA の定性的な性質の一つとして述べたことだが、*SR* が十分に大きい極限では LDCA と ECA は一致するという事を裏付けている。*SR*=2 における LDCA のパターンは複雑で、ウルフラムによる CA の分類におけるクラス４の様である(ウルフラム)。ECA の全てのルール中に、クラス４は存在しないことが知られている。ECA より状態数や近傍を増やすと、クラス４のパターンが発生することが可能になる。ただし、状態空間をブール束に拡張しただけではクラス４は発生しない。なぜなら、ブール準同型射によって ECA に等しくなるので、この拡張は実質的な意味を持たないので。LDCA では、SR が十分に大きくないとき、すなわち束の演算において極限操作が弱められたときに限り、多様な束が出現する。その結果、システムは状態数が増えたかのような挙動を見せる。

Fig.3.9 のような進行波を大域的パターンの出現の目安として採用するとする。ルール１２２において、$f(001)=1$ と $f(100)=1$ が進行波を成長させる役割を果たし、$f(111)=0$ が成長を止める役割を果たす。２つの部分が競合することにより、乱雑なパターンが生まれる。その結果、長い進行波が出現するときもあるが、それは稀である。無制限に進行波を成長させると、時空間パターンは一様に黒くなってしまう。つまり、全体性は部分の多様性を犠牲にしてしまう。したがって、成長を抑制する仕組みが必要だが、それは同時に大きな進

行波の出現を妨げてしまう。ここには、部分と全体の対立がある。

このような問題を解決した有名な例の一つは、G.H.モデルである。そこでは中間状態を導入することでこの問題を解決している(Greenberg and Hastings, 1978)。 Fig.3.9 を見よ。興奮状態は待機状態のセルにのみ伝播する。そして興奮状態は休止状態を経てから待機状態へと戻る。この仕組みによって、興奮状態が伝播することと待機状態を保つことを両立している。興味深いことに、*SR*=2 の LDCA も同様の仕組みを実現している。灰色に見える部分は実際には白と黒のメッシュであるが、あたかも中間状態を持っているかのようだ。繰り返しになるが注意すべきことは、この振る舞いは、状態空間を 4 元のブール束に拡張した直接の結果ではなく、*SR* を適当に制限したときにのみ出現するということである。Fig.3.9 の右端の図は各セルの束を表示している。*SR*=2 における複雑なパターンは、束が変化した結果であることが観察できる。

進行波の長さと頻度の関係を Fig.3.10-左に図示した。LDCA の方が ECA より長い進行波の出現頻度が高いことが判る。さらに、LDCA は冪分布を示している。その証拠に、片対数グラフ（Fig.3.10-右）において、ECA は明らかに直線なのに対して LDCA は曲線上に分布している。

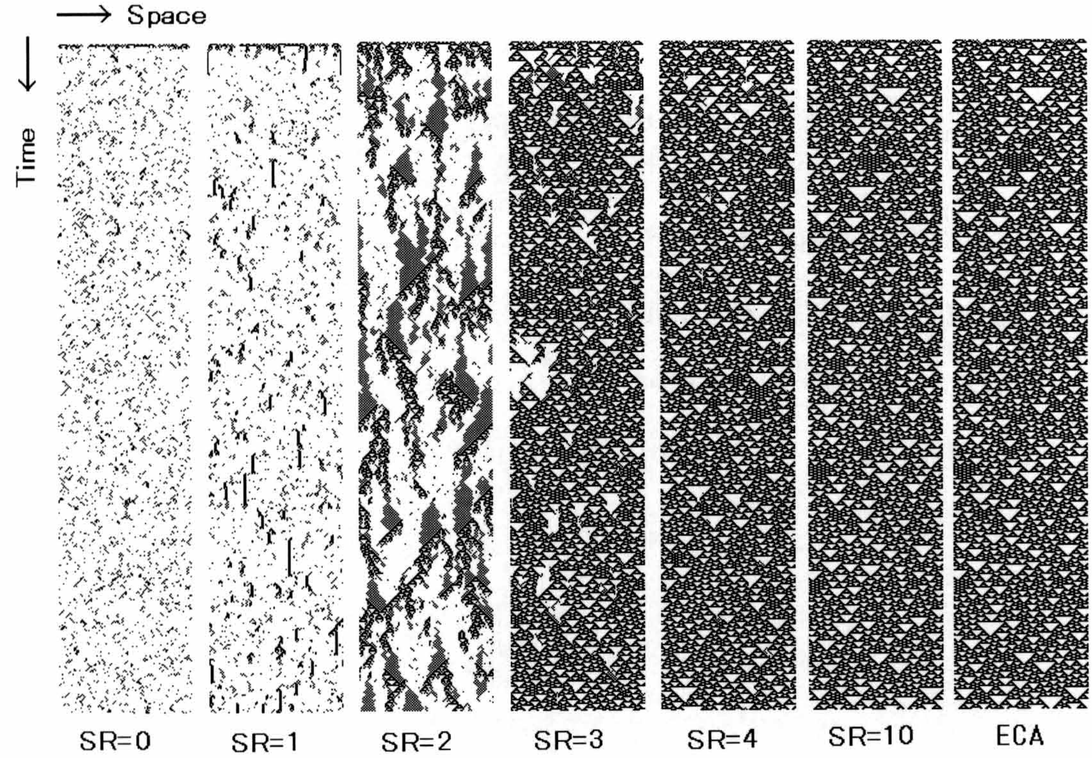

Fig.3.8 ルール122のLDCAの時空間パターン。システムサイズは100、初期値はランダムに与え最初の500ステップを表示。ECA(右端)と*SR*=10のLDCA(右から二番目)は厳密に一致している。*SR*=2のパターンは複雑でウルフラムによる分類のクラス４のようである。

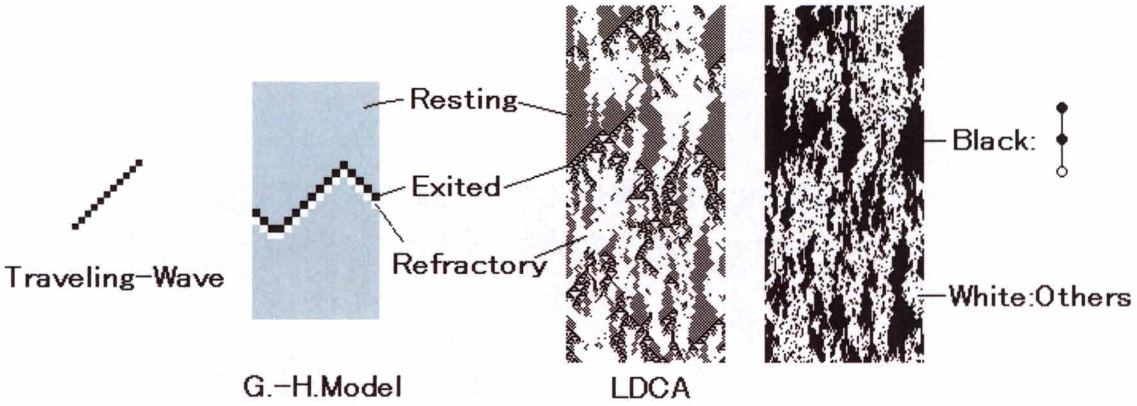

Fig.3.9 進行波(左端)を成長させる仕組みについて、G.H.モデルと LDCA の比較。どちらも 3 状態(待機・興奮・休止)あるかのようである(中央)。LDCA においてその仕組みは、束の変化によってもたらされている(右端)。

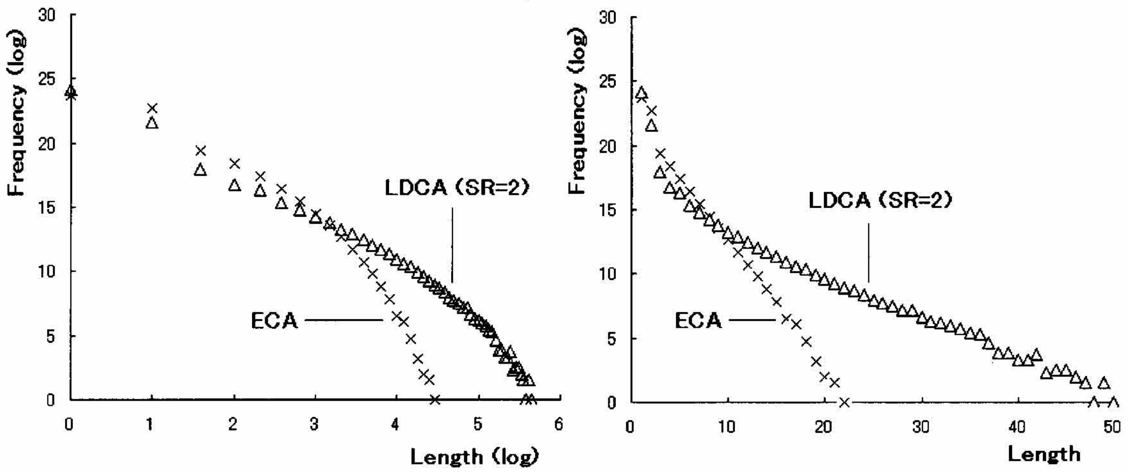

Fig.3.10 進行波の長さに対する出現頻度の両対数プロット(左図)。LDCA のほうが長い進行波の頻度が大きい。加えて、LDCA は冪分布を示しているようだ。その証拠に片対数グラフ(右図)において、ECA は明らかに直線的なのに対して、LDCA は曲線的である。

３．８　ルール空間全体における計算結果

この節では、意味論上の半径 *SR* の変化に伴う、ルール空間全体での LDCA の挙動の傾向を調べる。その指標として、インプットエントロピーを取り上げる。時刻 t におけるインプットエントロピー E^t の定義は次式で与えられる。

$$E^t = -\sum_{i=1}^{8}\left(\frac{Q_i^t}{N} \times \log \frac{Q_i^t}{N}\right) \tag{18}$$

ここで、N はシステムサイズ、Q_i^t は i 番目のトリプレット（０１１など）の出現数である。

Fig.3.11 に、典型的な例として、時空間パターンとインプットエントロピーの時間的な変化のグラフを並置した。ルール３６の ECA の時空間パターンは規則的で、インプットエントロピーは比較的小さい値で一定している。ルール４３の ECA も同様である。ルール９０の ECA の時空間パターンは乱雑であり、インプットエントロピーは最大値付近で一定している。ルール１２２も同様である。ECA では、規則的な場合であれ乱雑な場合であれ、インプットエントロピーの時間的な変化は小さい。一方 LDCA では、インプットエントロピーの時間的な変化は比較的大きい。Fig.3.11 の下段はその例である。ルール１５１*SR*=4 のように徐々に乱雑なパターンの範囲が減少するものは、インプットエントロピーの時間的な変化が例外的に大きいが、時間スケールに依存する。（同様の振る舞い示すものは、ルール１５１*SR*=5、ルール１８３*SR*=5、ルール１８３*SR*=6 である。これらのデータは Fig.3.12 から除外している。）

インプットエントロピーによって CA の挙動を以下のように分類することができる (Woensche 1999,　春名 2005)。

一様：インプットエントロピーの平均と小さく、標準偏差も小さい。

複雑：インプットエントロピーの標準偏差が大きい。

乱雑：インプットエントロピーの平均が大きく、標準偏差が小さい。

一様な時空間パターンは部分の多様性を喪失することによって、システム全体に渡る同期を実現している。一方、乱雑なパターンでは部分は多様だが、大域的な挙動は出現しない。複雑なパターンは部分における多様性と大域的な挙動を両立している。インプットエントロピーの時間的な変動が大きいということは、システムが全体として一様になったり多様になったりしているということである。このような意味で複雑さは、'動的な全体性' と言い換えることができよう。

Fig.3.12 は、上の分類に基づいたルール空間全体の傾向を図示している。横軸はエントロピーの平均で縦軸はエントロピーの標準偏差とし、各 *SR* ごとに２５６個全てのルールをプロットした。*SR* の意味は既に詳しく述べたが、要するに *SR* は、各セル固有の束すなわち意味論が一致している範囲を意味する。*SR*= 0 or 1 のとき、各セルの束は他のセルとは無関係に変化する。このとき、S.D.＝約 0.2 以下に分布している。これを一つの基準として考えることができよう。*SR*= 2 ～ 4 のとき、複雑な挙動を示すルール（S.D.＝0.2 より上の方に位置する）が多く存在することが見て取れる。更に SR を大きくすると、分布は徐々に下方へ移動する。ECA は LDCA において *SR* が十分に大きい場合に対応するが、全てのルールがグラフの下方に分布している。要約すると、「*SR* を適当に制限した場合にのみ LDCA は複雑な挙動を示す。」と、言うことができる。

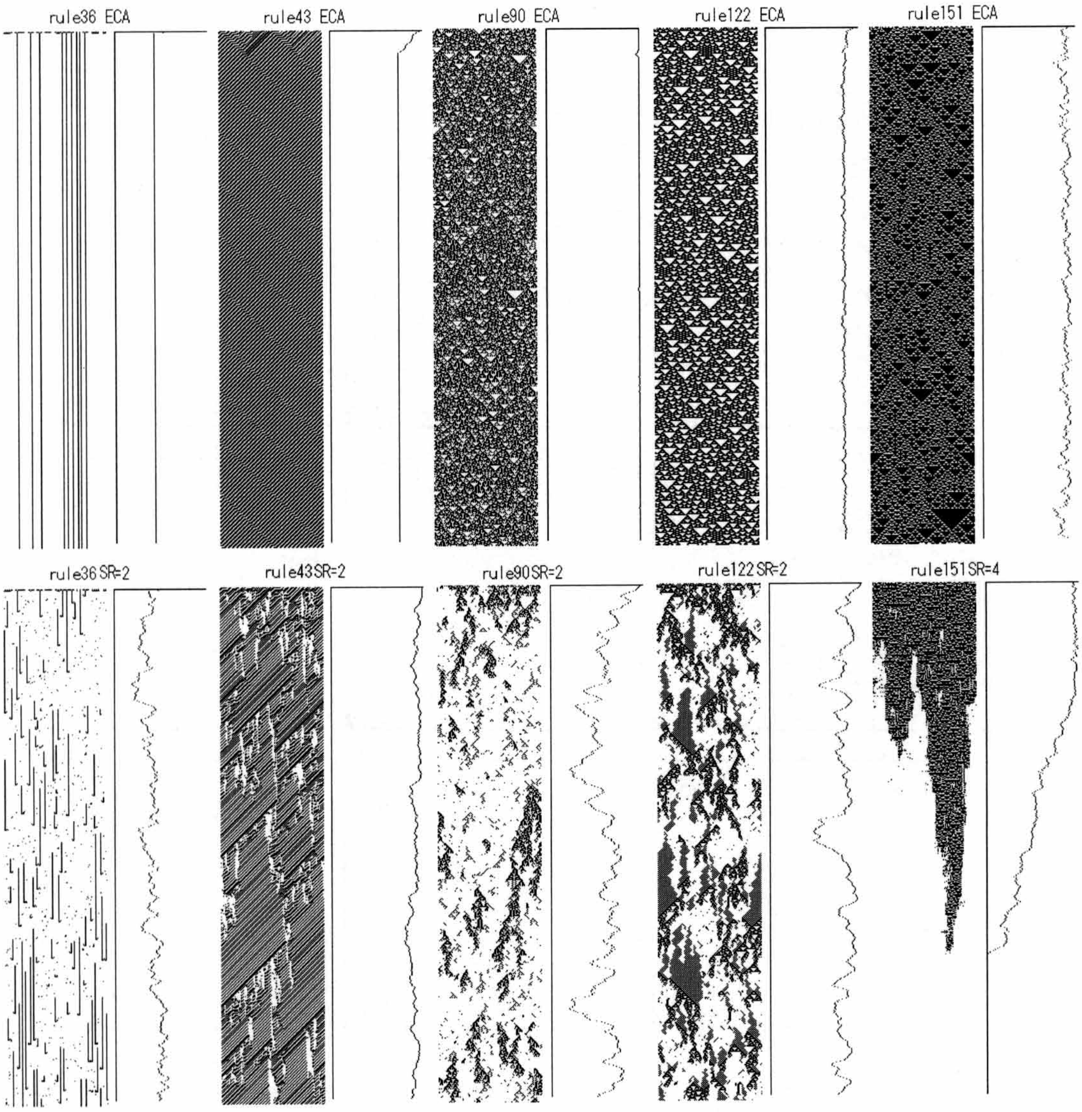

Fig.3.11 時空間パターンとインプットエントロピーの時間変化の典型例。

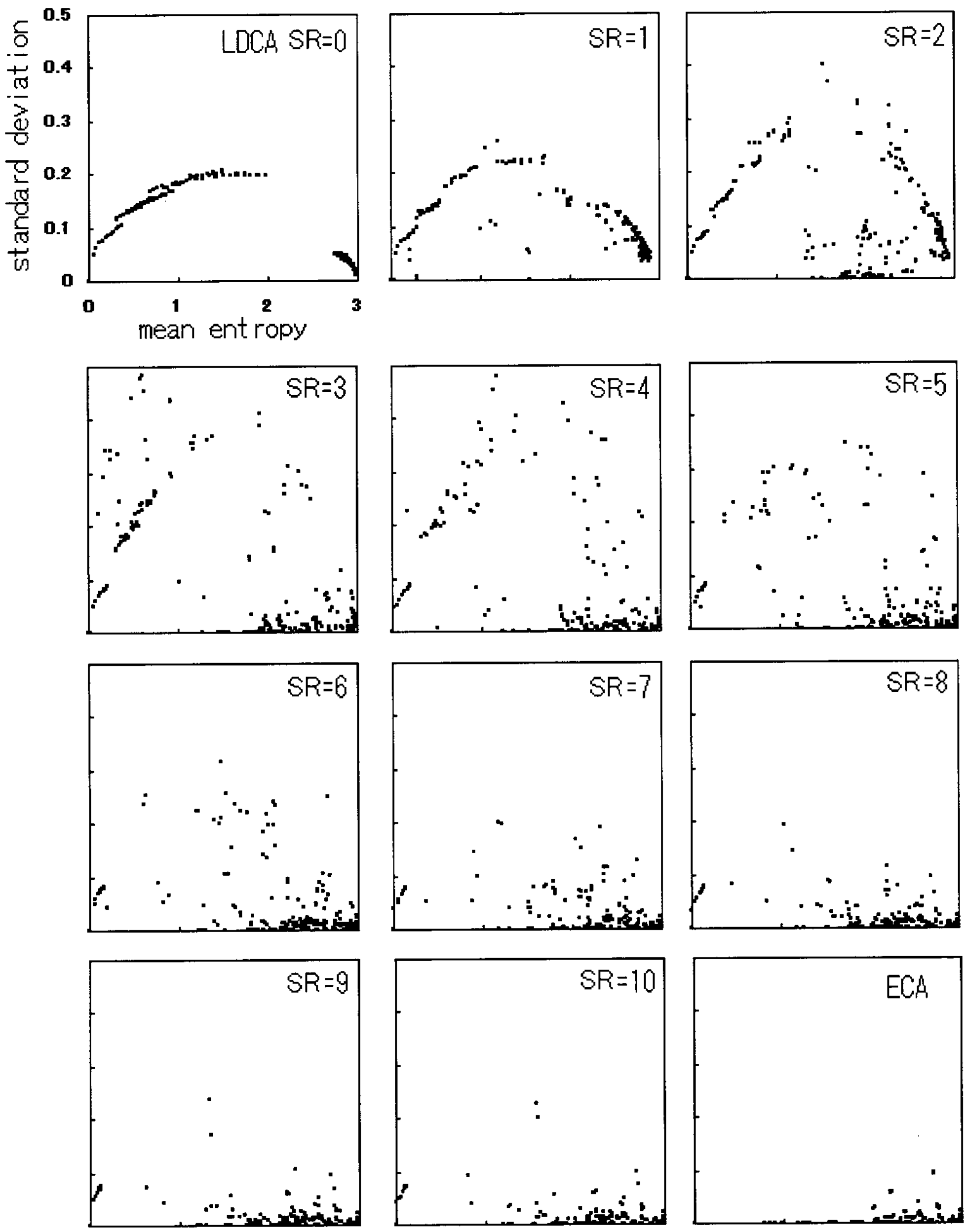

Fig.3.12 横軸はエントロピーの平均、縦軸はエントロピーの時間的な標準偏差。*SR* ごとに、２５６通りのルール全てをプロットした。直感的には、縦軸は時空間パターンの複雑さの程度を表し、*SR* は各セル固有の束すなわち意味論が一致している範囲を表す。*SR*= 0 or 1 のとき、各セルの束は他のセルとは無関係に変化する。*SR* が十分に大きい場合は ECA に一致する。*SR* を適当に制限した場合にのみ、複雑な時空間パターンが観察される。

3.9 議論

束は閉包 C に関して自己言及的な構造をしている。イントロでも述べたように、自己言及的なシステムとして生命を論じる試みは多い。しかし、これらの試みは些か静的すぎる。一方、郡司らは、自己言及とフレーム問題の接合から生命を論じている(郡司 印刷中)。フレーム問題とは主に人工知能の文脈において提出されたアポリアで、あるエージェントが参照すべき範囲（フレーム）に際限がない事態をいう。LDCA においては意味論上の半径 SR がフレームに呼応し、SR を制限することにより閉包 C (自己言及)は擬閉包 C^* として動的なものになる。LDCA においてフレーム問題は、自己言及的矛盾を解消し、システムを環境へと開くといった積極的な役割を果たすことになる。

内部観測（松野 1989）や内在物理学（レスラー1998）では、フレーム問題を理論の限界として扱うのではなく、むしろそれを出発点にした議論を展開している。ECA のように相互作用の範囲を制限することによって、内なる視点を実装しようという試みは多い。しかし、そこでは、システム全体を見渡す視野＝全体と各セルの視野＝部分を外部から使い分けることができる観測者（外部観測者）の存在を前提としている。外部観測者は、ECA における相互作用の局所性と規則の普遍性のように、システムの部分と全体を外部から使い分ける。内部観測理論はこのような前提が成立しない事象を対象とする。LDCA ではシステムに意味論を導入することによって、ECA が前提としている外部の観測者を、まずはパラメーターSR（意味論上の視野の広さ）の極限において炙り出した。十分に大きい視野を持つ意味論とは外部観測者のことである。そしてそれを、SR を制限することによって解体した。この解体は、規則と状態の階層間に動的な相互作用をもたらした。松野は、内部観測は運動方程式と境界条件の非分離性をもたらすと言っている。本論文の文脈では、運動方程式と境界条件の非分離性は、規則と状態の動的な相互作用と言い換えることができよう。

そして、局所的意味論を持った各セルは内部観測者である。

意味論を表現している束は、LDCA の計算過程において２つの役割を同時に果たしている。束は状態空間であり且つ規則の適用方法である。計算機で例えるなら、束はメモリ（記憶装置）であり且つ CPU（処理装置）である。人工物である計算機においては、両者は分離独立であるが、生物システムでは両者は不可分である。例えば生物では、状態はたんぱく質などあり、規則は DNA である。両者が物質である限り、直接的な相互作用は避けられない。厳密に言うのであれば、計算機においてさえメモリと CPU の相性といったものが問題であろうし、CPU 自体がその性能をビット（処理容量）とヘルツ（処理速度）で表すように両義的である。つまり、両者を何らかの物が担っている限り、両者の完全な分離独立を想定することは、まったく無意味である。

コンラッドは計算機のこの様な側面、いわば質料性を強調し、そこに計算機と生物システムとの連続性を見ている（コンラッド 1983）。松野は、物質を見直すことが内部観測をもたらすと言っている。外部観測者とは自身の質料性を捨象した観測者のことである。量子力学から得られる一つの教訓は、どんな観測装置もその質料性を（理論においてさえ）捨象することはできないということである。このような意味での質料性こそを形式化しなければならない（郡司 2006）。束によって表現された局所的意味論は、正にこの様な意味において、規則と状態の直接的な相互作用を担うという意味において、質料性の形式であり、内部観測者である。

いわゆる人工生命はこの点を見落としている。人工生命では生命の形相のみを取り扱い、形式としての質料性を捨象する（ラングトン 1988）。それに伴い、状態と規則の不可分性、齟齬と調停をも捨象してしまった。その結果、特定の規則においてしか、複雑な時空間パターンは発生しない。ここでいう複雑さとは、部分における多様性と全体における同期性

の両方を備えた現象を形容する。一見、両者はトレードオフの関係にあるように思える。CA の分類において、パターンが均質的なものは全体における同期性のみを、カオス的なものは部分における多様性のみを実現している。そして、均質的なものとカオス的なもの境界においてしか、いわゆるカオスの縁においてしか複雑なパターンは発生しない（カウフマン 1993)。

一方、LDCA では（ECA と比べて）普遍的に複雑な時空間パターンが発生した。LDCA と ECA の違いは、質料性すなわち意味論の局所性にある。局所的な意味論は、規則と状態という２つの階層に動的な相互作用をもたらす。LDCA では、先述のトレードオフ、いわば部分と全体の間の齟齬を、各セルに内在する階層間の齟齬へと反映さる。そして、階層間の相互作用を通じて各セル固有の意味論を変化させ、各セル＝部分を環境＝全体へと適応させる。このような仕組みによって実現される全体性は、動的な全体性と呼べるであろう。以上のような意味で LDCA は、動的な階層性によって動的な全体性が実現される様相を例示している。

最後にもう一度、本章で成し遂げたことを、確認しておこう。まず、我々は動的な階層性を数学的に形式化するために、規則と状態と意味論の３項関係を束として表現した(Fig.3.1)。そして ECA における各セルが固有の束を持つモデルを考案し、それを LDCA と呼んだ。そこでは、意味論すなわち束における極限操作と近傍を観測する範囲(意味論上のパラメーター*SR*)がリンクしていて、この *SR* を制限すると３項関係は動的なものになり、束は時間発展して多様になった。この仕組みを局所的意味論と呼んだ。

次に、我々はルール 122 を典型例として取り上げ、その時間発展を観察した(Fig.3.8-Fig.3.10)。そこでは束すなわち意味論が動的に変化することによって、動的に全体的な時空間パターンが発生した。それは中間状態を持つかのような挙動を示した。ただしそれは、状態空間をブール束へと拡張したことからの直接の帰結ではない。*SR* が十分に大

きいとき、すなわち束上の演算で極限を取る限り、LDCA は通常の ECA と全く同じ挙動を示す。*SR* を制限したときにのみ、すなわち意味論が多様な場合にのみ、状態数が増えたかのように振舞う。言い換えると、LDCA では意味論が多様なことと状態が多数なことが分離できない。このことが、意味論が多様なほうが全体的なパターンが発生するというパラドキシカルな様相を、理解可能にする。

最後に、我々はルール空間全体における LDCA の時空間パターンの傾向をインプットエントロピーによって判定した。インプットエントロピーの時間的な偏差を、複雑さの指標とした。その結果、*SR* を適当に制限したときにのみ、複雑な時空間パターンが出現することが確認された(Fig.3.12)。この結果は、局所的意味論によって実現された動的な階層性は、局所の多様性と大域の同期性が共立するような全体性をもたらすことを例示している。

第４章　結論：

階層性と全体性

階層性と全体性という視点から、第１～３章の議論を整理しておく。

第１章では、全体性を内部と外部の関係性として論じた。まず我々が退けたのは、外部を積極的に語ってしまうことだ。外部を積極的に語ってしまうと、外部の窺がい知れなさ、いわば外部の外部性はすべて失われてしまう。かといって、まず全体があって、その一部分として内部を規定し、その残りとして外部を規定する、という立場もまた退けなければならない。全体を措定してしまうことは、実は外部などないのだと見なすことに等しい。内部から出発して外部を示す迂遠な方法が、柄谷=ゲーデル的脱構築であった。それは内部を徹底して形式化することから始まる。形式化とは二つの階層の混同を禁じることである。プログラムとデータを峻別することによって、計算は形式化される。いったん階層を峻別してから、二つの階層をコードする。その結果、一つのプログラムによって全てのプラグラムを模倣するといったことが可能になる。一つのプログラムによって内部の全体が規定されたことになる。ただし、自身を含む全体を規定することは、自己言及のパラドックスを帰結する。そして、パラドックスの含意として外部を示すことが、柄谷=ゲーデル的脱構築であった。しかし、このような方法は、あまりに内部の全体性に固執し過ぎではないだろうか、という批判を我々は認めた。階層性における自己言及のパラドックスに対して、全体性におけるパラドックスはフレーム問題と呼ばれる。自己言及のパラドックスは、内部の全体性におけるフレーム問題を無視した結果に過ぎない。我々は、フレーム問題を、他者や、否定性それ自体、齟齬と呼んだ。そして、それを装置として積極的に構成するといった方法の有意義性を認めた。「二つに階層と齟齬それ自体からなる三項関係を、積極的に構成する」、それが第１章で確認された我々の方法論である。

第２章では、認知実験において三項関係を構成した。まず、動的階層性を不定性が伴う内包･外延対として一般化した。内包とは規則に近い概念であり、外延とは状態に近い概念

である。次に、生態心理学において、アフォーダンスと知覚を動的階層性として捉える重要性を指摘した。続いて、動的階層性という視点から地理把握を理解するために，仮想迷路を使った認知実験を試みた。地理把握は、全体性を獲得する認知過程の典型例であるといえよう。我々の実験では、被験者が探索する迷路を分割し、回転させることによって第三項としての齟齬を積極的に構成した。このような実験環境では、階層間のコード関係は成立しない。その結果、地理把握の動的階層性が露わになる。実験結果の動的階層性を解析する指標を，ブール関数の内包的程度と外延的程度の対として定義した。この指標によって迷路中の軌跡を解析した結果、地理把握は内包的把握と外延的把握の両方を用いて行われるという事が判明した。「齟齬を伴う全体においては階層の動的な側面が露わになる」、ということが第２章で確認された実験結果の解釈である。

第３章では、三項関係を数学的に構成した。第三項として導入されたのは束と呼ばれ数学的構造である。一方、階層を構成するものは、規則を表現する束多項式と、束の要素として表現された状態である。束とはある極限操作について閉じている数学的構造で、この極限操作を弱めることにより、階層間の齟齬と調停を両義的に構成した。その結果、二つの階層は、コード関係のような全体性とは無縁の形式で、直接的に相互作用する。このような役割を果たす束を、我々は局所的意味論と呼んだ。そして、局所的意味論を ECA に実装し、それを LDCA と呼んだ。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動的に相互作用する。シミュレーションの結果、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ということが判明した。ここでいう複雑さとは、局所の多様性と大域の同期性が共存することである。「階層間の直接的かつ動的な相互作用がもたらす全体性は、局所の多様性と大域の同期性が共存する全体性である」、ということが第３章のシミレーションモデルで例示された様相である。

本論文で一貫して退けてきた態度は、階層間の齟齬を確認した地点で思考を停止することであった。階層間の齟齬を調停する何物かがあるはずだ、と言い放って終わりにすること。階層間の結節点に名前を付けて議論を終わりにすること。一般にこのような態度は二元論と呼ばれる。二元論はありふれている。本音と建前、理想と現実、個人と社会といった二元論に慣れていくことが、大人になることであると言えよう。わざわざデカルトを引用するまでもなく、心身二元論は現代人の日常的態度である。自然科学的唯物論も、実際は二元論として機能している。物理学の知見によれば、すべては素粒子の集まりにすぎないはずだ。太陽や月といった天体はもちろん、空や海も、植物や動物も、友人や家族、私自身を含む人間も。人を殺してはいけない理由も、自然を破壊してはいけない理由も、客観的には存在しない。もちろん、人を殺さなければならない理由もない。唯物論を徹底するのであれば、「人を殺してはいけない」と発言するときでさえも、それは脳や神経系の電気化学的なプロセスの総和にすぎない、と主張することができるであろう。にもかかわらず、科学的好奇心を肯定し、科学者の倫理を論じ、科学的活動の意義を信じ、それで得た収入で家族を養う。客観的で中性的な科学的世界像と、主観的で価値や意義を含む生活世界の二元論が、科学者のみならず現代人の一般的な態度だ(エンデ 1991)。

「客観的な世界と主観的な世界の結節点、それが人間だ」と、言い放って思考を中止しないこと。少なくとも本論文を書いている間は、かような態度とは無縁であったと言えるだろう。本論文が成し遂げたことは、ただそれだけのことだ。僅かな成果を除くならば。

まだだ！まだ終わらんよ！

引用文献

第 1 章

ジル・ドゥルーズ，フェリックス・ガタリ，市倉宏祐(訳) 1986 アンチ・オイディプス，河出書房新社.

茂木健一郎 2006 クオリア入門，ちくま学芸文庫.

ジョン・R・サール，山本貴光・吉川浩満(訳) 2006 マインド、心の哲学，朝日出版社.

ジャック・デリダ，林好雄(訳) 2005 声と現象，ちくま学芸文庫.

柄谷行人 1988 内省と遡行，講談社学術文庫.

柄谷行人 1989 隠喩としての建築，講談社学術文庫.

東浩紀 1998 存在論的、郵便的，新潮社.

浅田彰 1982 構造と力，剄草書房.

スラヴォイ・ジジェク，鈴木晶(訳) 2000 イデオロギーの崇高な対象，河出書房新社.

マルティン・ハイデガー，細谷貞雄(訳) 1997 ニーチェ，平凡社ライブラリー.

郡司ペギオ幸夫 大田宏之 浦上大輔 (印刷中) ただ流れる時間へ:いかにして辿りつけるか，ジル・ドゥルーズの哲学(小泉義之・編) 平凡社.

Verela, F. 1979 Principles of Biological Autonomy, Elsevier-North Holland, New York.

Rosen, R. 1993 Life itself, Pergamon press.

松野孝一郎 2000 内部観測とは何か，青土社.

柄谷行人 1992 探求 I，講談社学術文庫.

ソール A クリプキ，黒崎宏(訳) 1983 ウィトゲンシュタインのパラドックス，産業図書.

ウィトゲンシュタイン，野矢茂樹(訳) 2003 論理哲学論考，岩波文庫.

ウィトゲンシュタイン，藤本隆志(訳) 1976 哲学探究，ウィトゲンシュタイン全集８，大修館書店.

郡司ペギオ幸夫，松野孝一郎，オットー・E・レスラー 1997 内部観測，青土社.

澤宏司 2006 淡路島ゼミ合宿，神戸大学非線形研究室.

郡司ペギオ幸夫 2004 原生計算と存在論的観測，東京大学出版会.

第２章

Bickhard, M. H. & Terveen, L. 1995 *Foundational issues in artificial intelligence and cognitive science : impasse and solution*. Amsterdam, New York, North-Holland.

Dawkins, R. 1989 *The selfish gene* (2nd edition). Oxford, University Press, Oxford.

Gibson, J. J. 1986 *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (Original work published in 1979)

郡司 ペギオ - 幸夫　2004 原生計算と存在論的観測―生命と時間、そして原生，東京大学出版会.

郡司 ペギオ - 幸夫 2003 私の意識とは何か―生命理論Ⅱ,哲学書房.

Gunji, Y.-P., Kusunoki, Y., Aono, M. 2002 Interface of global and local semantics in a self-navigating system based on the concept lattice. *Chaos Solitons Fractals*, Vol. 13, Pp.261-284.

Hart, R. A. & Moore, G.. T.　1973　The development of spatial cognition: A review. In R.M. Downs & D. Stea (Eds.) *Image and environment*, Pp. 246-288.

Kripke, S. A.　1980　*Naming and necessity*. Cambridge, Mass,　Harvard University.

Kripke, S. A.　1982　*Wittgenstein on rules and private language : an elementary exposition.*

Oxford, Blackwell.

松本 和夫　1980　情報数学 1　束と論理，森北出版.

Matsuno, K. 1989 *Protobiology: Physical Basis of Biology*. CRC Press Boca Raton, FL.

McGinn, C. 1984 *Wittgenstein on Meaning*. Basil Blackwell.

Pick H.L., et al. (1988) Landmarks and coordination and integration of spatial information. In C.C.(Ed)Special Section ; Landmarks in spatial development. British Journal to Developmental Psychology, 6, pp369-393.

Petra Jansen-Osmann (2002) Using desktop virtual environment to investigate the role of landmarks. Computers in Human Behavior 18, pp427-436.

Osmann, P. J. 2002 Using desktop virtual environment to investigate the role of landmarks. *Computers in Human Behavior 18,* Pp. 427-436.

Rössler, O. E. 1997 *Endophysics: The World as an Interface*.　World Scientific Pub Co Inc.

Ruddle, R.A., et al. 1999 The Effects of Maps on Navigation and Search Strategies in Very-Large-Scale Virtual Environments. *Journal of Experimental Psychology: Applied Volume 5, Issue 1,* Pp. 54-75.

佐々木正人・三嶋博之　2005　生態心理学の構想：アフォーダンスのルーツと尖端.　東京大学出版会.　特に三嶋博之，生態学的であること (Pp. 209－211)

佐々木正人　1997　知性はどこに生まれるか　ダーウィンとアフォーダンス.　講談社.

Shemyakin F.N. (1962) Orientation in space. Psychological science in the U.S.S.R.Vol.1, pp186-255.

Sigel A.W. & White S.H. (1975) The development of spatial representation of large-scale environment. Advance in the child development and behavior, Vol. 10, pp9-55

Tolman E.C. (1948) Cognitive maps in rats and Men. Psychological Review, 55,　pp.189-208.

Turvey, M. T., & Shaw, R. E.　1995　Toward an ecological physics and a physical psychology, In R. L. Solos & D. W. Massaro (Eds.), *The science of the mind: 2001 and beyond*. New York:

Oxford University Press. Pp. 144-167.

Uragami, D & Gunji, Y.-P. 2006 Emergent Synthesis in Dynamical Lattice-Driven Cellular Automata. Proceedings of the 6th International Workshop on Emergent Synthesis, Pp. 125-132.

Wolfram, S. 1986 Random Sequence Generation by Cellular Automata. *Advances in Applied Mathematics 7*. Pp. 123-169.

Wright, C. 1986 Rule-following and Constructivism. in *Meaning and Interpretation* edited by C. Travis (Blackwell). Pp. 271-297.

第3章

Y.-P. Gunji & M. Kamiura, Observational heterarchy enhancing active coupling, Physica D 198 (2004) 74-105.

J.M. Smith & E. Szathmary, The Major Transitions in Evolution, Oxford University Press, 1995

J.A. Shapiro, Adaptive Mutation: Who's Really in the Garden?, Science 268 (1995) 373-274.

V.S. Ramachandran & S. Blakeslee, Phantoms in the Brain: Probing the Mysteries of the Human Mind, William Morrow & Company, 1998.

D. Uragami & Y.-P. Gunji, Heterarchical Cognitive Maps: Anticipatory System in Virtual Maze, International Journal of Computing Anticipatory Systems, in press.

E. Jen, Stable or Robust? What's the Difference, Complexity 8 (2003) 12-18.

P. Bak, How Nature Works: The Science of Self-Organizing Criticality, Oxford University Press, 1997.

A. Yasutomi, The emergence and collapse of money, Physica D 82 (1995) 180-194.

G. Birkoff, Lattice theory, American Mathematical Society Colloquium Publication, 1940, 1967 3rd.

B.A. Davey & H.A. Priestley, Introduction to Lattices and Order, Cambridge University Press, 1990, 2002 2nd.

R. Rosen, Life Itself, Columbia University Press, 1991.

Y.-P. Gunji, M. Aono, H. Higashi & H. Takachi, The Third Wholeness as an Endo-observer, in: Science of the Interface, H.H. Diebner, T. Druckrey & P. Weibel (Eds.) (2001) 111-130.

Y.-P. Gunji, M. Aono & H. Higashi Local Semantics as a Lattice Based on the Partial-all Quantifier, in: Computing Anticipatory Systems, D. Dubois (Ed.), AIP Conference Proc (2001) 479-490.

Y.-P. Gunji, Y. Kusunoki & M. Aono, Interface of global and local semantics in self-navigating system based on the concept lattice, Chaos Solitons, Fractals 13 (2002) 261-284.

Y.-P. Gunji, T. Haruna, T. Shirakawa & K. Sonoda, Open limit: a wholeness with vagueness driving ver-handlung in: Endophysics, Time, Quantum and the Subjective, R. Buccheri et al. (Eds.), World Scientific Publishing Co (2005) 57-72.

T. Haruna & Y.-P. Gunji, Autonomous indefiniteness versus external indefiniteness, Physica D 202 (2005) 71-94.

T. Haruna & Y.-P. Gunji, Local Cellular Automata as an Abstract Model of Self-Organization, in: Computing Anticipatory Systems, D. Dubois (Ed.), AIP Conference Proc (2005) 361-373.

D. Uragami & Y.-P. Gunji, Emergent Synthesis in Dynamical Lattice-Driven Cellular Automata, in: Proceedings of the 6th International Workshop on Emergent Synthesis (2006) 125-132.

H.R. Maturana & F.J. Varela, (1980). Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living, D. Reidel.

J.C.Leteleir, G. Marin & J. Mpodozis, Autopoietic and (M,R) system, Journal of Theoretical Biology 222 (2003) 261-272.

S. Wolfram, Statistical mechanics of cellular automata, Reviews of Modern Physics 55 (1983) 601-644.

S. Wolfram, Universality and complexity in cellular automata, Physica D (1984) 1-35.

S. Wolfram, A New Kind of Science, Wolfram Media, 2002.

J.M. Greenberg & S.P. Hastings, Spatial patterns for discrete models of diffusion in excitable media, SIAM Journal on Applied Mathematics, 34 3 (1978) 515-523.

A.Wuenshe, Classifying Cellular Automata Automatically, Complexity 4 (1999) 47-66.

Y.-P. Gunji, M. Aono, S. Kamiya & K. Sasai, Time-Space ReEntrant System: No-where=Now-Here, BioSystems, in press.

K. Matuno, Protobiology: Physical Basis of Biology, CRC Press, Boca Raton Florida,1989.

O.E. Rossler, Endo-Physics: The World as an Interface, World Scientific, Singapore, 1998.

M.Conrad, Microscopic-macroscopic interface in biological information processing, BioSystems 16 (1984) 345-363.

Y.-P. Gunji, T. Haruna & K. Sawa, Principle of biological organization: Local-global negotiation based on "material cause", Physica D 219 (2006) 152-167.

C. Langton, Proceedings of the Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems, ALIFE '87, Addison-Wesley, 1989.

C. Langton, Computation at the edge of chaos, Physica D 42 (1990) 12-37.

S. Kauffman, The Origin of Order, Oxford University Press, 1993.

第4章

ミヒャエル・エンデ，アインシュタイン・ロマン6 エンデの文明砂漠，日本放送出版協会，1991.

謝辞

指導教官である郡司ペギオ幸夫先生に感謝します。

研究生活を共にした神戸大学の非線形研究室の人たち、小松崎民樹先生、院生および学部生の皆さんに感謝します。特に、公私に渡って助言を頂いた青野真士先輩と高地康宏先輩をはじめ、東英樹先輩、野村収作先輩、石川正樹先輩、藤巻慎一先輩、渡辺尊紀先輩、高田耕造先輩、楠芳之先輩、右田正夫先輩、北林伸英先輩、篠原修二先輩、中嶋義裕先輩、森山徹先輩に感謝します。また、本論文を精読して有意義な指摘をしてくれた白川智弘君、計算機の面倒を見てくれた松永康佑君、Visual C++を教えてくれた若槻淳一郎君、投稿論文の英訳を手伝ってくれた北村有人君、数学的な質問に答えてくれた春名太一君、哲学的な議論を聞いてくれた高橋達二君、引用文献を整理してくれた澤宏司君、僕の書いた文章を誉めてくれた上浦基君、唯一人の同学年である桑本久美子君、郡司研へのきっかけをくれた長岡敏君、研究室で多くの時間を共にだべって過ごした脇坂崇平君、太田宏之君、深野毅雄君、津田宗一郎君、笹井一人君、西川麻樹君、園田耕平君、辰巳信平君、田内有賀君に感謝します。

学部の頃の指導教官である園田英徳先生及び、神戸大学理学部物理学科で共に学んだ人たちに感謝します。

高専の頃の指導教官である大西章先生及び、大阪府立工業高等専門学校の先生方、共に青春を謳歌した仲間たち感謝します。特に、哲学的な議論をよくした田中空也君と瀧谷誠介君、半田章太郎君、有田良君、福島康人君、梶原康一君、理論家だから実験はやらないと言っていた僕の代わりに実験をしてくれた内田一也君、アインシュタインを気取って授業時間中に図書館で本を読んでいた僕にノートを貸してくれた人たちに感謝します。

長い学生生活を支援してくれた人たち、家族をはじめ多くの人々に感謝します。なによりも、多くの本を買い与えてくれた母に感謝します。

著者略歴

浦上　大輔　（うらがみ　だいすけ）　　昭和５２年生まれ

学歴

平成 10 年 3 月　大阪府立工業高等専門学校　工業化学科　卒業

平成 10 年 4 月　神戸大学理学部　物理学科　3 年次編入学

平成 12 年 3 月　同　卒業

平成 12 年 4 月　神戸大学自然科学研究科博士前期課程　地球惑星科学専攻　入学

平成 14 年 3 月　同　修了

平成 14 年 4 月　神戸大学自然科学研究科博士後期課程　情報メディア科学専攻　進学

平成 19 年 3 月　同　修了　理学博士取得　(見込み)

研究履歴

大阪府立工業高等専門学校工業化学科では、卒業研究として、ニューラルネットワークによる温度制御に関する研究に携わる。神戸大学理学物理学科では素粒子理論研究室に所属し、経路積分による量子力学の定式化を習得することに励む。大学院の修士課程から現在に至るまで、神戸大学の郡司研究室に所属し、認知実験（[1][2][a][b]）とシミュレーションモデル([3][4][c][d][e])の二本柱で研究を行う。これらの研究が本博士論文として結実。

論文

[1]Daisuke Uragami, Yukio-Pegio Gunji: Heterarchical Cognitive Maps: Anticipatory System in Virtual Maze. International Journal of Computing Anticipatory Systems. Vol.18, 135-144, 2006

[2]浦上大輔, 郡司ペギオ幸夫: 地理把握における動的双対性－不定性を伴う内包・外延対とアフォーダンス－. 生態心理学研究. (投稿中)

[3]Daisuke Uragami & Yukio-Pegio Gunji: Emergent Synthesis in Dynamical Lattice-Driven Cellular Automata. Proceedings of the 6th International Workshop on Emergent Synthesis, 125-132, 2006.

[4]Daisuke Uragami & Yukio-Pegio Gunji: Lattice-Driven Cellular Automata implementing Local Semantics. Physica D. （投稿中）

学会発表

[a]日本認知科学会第 18 回大会. 2001/6. (ポスター発表)

[b]The 7th International Conference on Anticipatory Systems. 2005/8. （口頭発表）

[c]計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会. 2005/12. （口頭発表）

[d]The 6th International Workshop on Emergent Synthesis. 2006/8. (ポスター発表)

[e]Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan. 2006/11 (ポスター発表)

郡司ペギオ幸夫先生(右から 3 人目)と著者(左から 3 人目)、沖縄県阿嘉島にて。