A demonstration of paradoxical aspects derived from the measurement problem under the finite velocity of observation propagation

Nakamura, Takashi

(Degree)
博士（学術）
(Date of Degree)
1993-03-31
(Date of Publication)
2008-05-16
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲1170
(JaLCDOI)
https://doi.org/10.11501/3070618
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001170

氏名・（本籍）　中村隆志（なかむらたかし）　（大阪府）

博士の専攻分野の名称　博　士（学術）

学位記番号　博い第210号

学位授与の要件　学位規則第4条第1項該当

学位授与の日付　平成5年3月31日

学位論文題目　A demonstration of paradoxical aspects derived from the measurement problem under the finite velocity of observation propagation
（有限観測伝播速度下における観測問題のもたらすパラドキシカルな様相とその例示）

審査委員　主査　教授　伊東敬祐
　　　　　教授　安川克己　教授　北村新三

論文内容の要旨

松野の報告する様に、観測伝播速度が有限で、しかも光に比べ、order で8～10桁程度遅いことを認めるならば、我々は、測定（相互作用）という問題を無視できなくなる。それは、dynamics を決定する際の相互作用の形式の選定、入力と switch の分別のための基準について、根拠を問うことを不可能にする。事後的な現象の報告は可能であるが、その報告を説明する dynamics の根拠は問うことすらできず、この時、a priori な予測が困難となる。

この測定に関する問題に対する、それを受け入れ、自ら構成することで、生物学的現象を例示する試みのひとつに AEB（Autonomously Emerging Boundary Model）があるが、このモデルの要になる概念として、ECA（Elementary Cellular Automaton）の時間逆行ルールについて、その決定の指標となる原始 FD（flow-diagram）の作成手続きについて述べた。ECA において、時刻 t，空間的位置 i での状態を $a_i{}^t \varepsilon \{0,\ 1\}$ とすると、その時間順行ルール f は $a_i{}^{t+1} = f\ (a_{i-1}{}^t,\ a_i{}^t,\ a_{i-1}{}^t)$ と表されるが、逆行ルールは空間遷移規則を全空間に適用することに依って得られる。空間遷移規則は、ルールの出力に矛盾しないように作られるが、多くのルール（非可逆なルール）において、矛盾を含む形で構成される。これは、たとえば $f\ (0,\ 0,\ 0) = f\ (0,\ 0,\ 1) = 0$ 等の場合のように $a_{i-1}{}^t$ の値が $a_i{}^t$ の値の決定に影響の無い場合に現れる。時間逆行ルールは $(a_i{}^{t-1},\ a_{i-1}{}^{t+1},\ a_i{}^t,\ a_{i-1}{}^t)$ によって定義される Box を順行ルール f に矛盾する大きさを最小にするように構成され、flow-diagram で表される。この逆行ルールはその矛盾を最小にするために、矛盾なく構成される（ただし、分岐数が2でなくなる Box もできる）原始 FD が構成のための指標となる。これを与えられたルール f から直接求められて、かつその対応を理解し易くするために、Box を

4 × 4 Matrix 上に並べ（44M)、Box 間の link を求める Theorem 1．を提示、証明した。この Theorem 1 を用いて、Konno の Box の分類分けを形式的に行った。又、この原始 FD が任意のルールで作ることができ、それが常に閉じていることを証明した。又、ECA の symmetric なルールの原始 FD での性質を調べた。また、この 44M と Theorem 1 を用いることにより、rule No.＝54 or 250 については、asynchronous な空間遷移規則を用いて逆行ルールを構成するならば、内包する矛盾が他のルールに比べて大きくなることをふせて示した。

記号操作の中で矛盾を構成するその一方で、生物学的現象を観察する中で矛盾を見いだす方法を模索した。それは外部観察者の立場を採ることができるものとする、つまり観測伝播速度無限大下で一瞬にして測定を完了できるものとすると、間接的ではあるが、その矛盾を示唆するかのような観察結果が得られる状況を用意した。連珠（五目並べ）は、各局面において、次手の候補数が限られており、盤面が碁石で埋まった時点で必ず終局を迎える有限ゲームである。但し、次手の候補が確定しているものの、未来に起こりうる場合の数が莫大であるため、player は at wild guess（見切り発車的）に次手を進めることになる。player は見切り発車的になされた手について、局が幾らか進んだ後に初めてその手の有効性や見込みの甘さに気づくことが多い。各局での「見切り」はさして根拠が無かったのである。これを上の文脈で表現するならば、予測体系が確定していたとして、その矛盾を自ら見いだしたことに置き換えられるだろう。無論これは我々の player としての経験から言えることである。これらの経験を手がかりに、この「見切り」の不確定さを露出させる為に、次の実験を行った。

1：player 2 人が game を 1 回行い、これを Sample Game（SG）とする。2：同じ player 2 人が、SG を第 i 局まで再現した局面から再び game を始める。これを i-Replay と表現する（0＜i＜N)。k 回繰り返したときの i-Replay の軌道を k 回 i-Replay と表す。

SG での攻撃権の移行と 1 回 i-Replay の優勢 A（i，k）の間に相関がみられた。このことと連珠の性質から、明らかに player は何等かの学習をしたといえる。これを外部観察者の立場で言うならば、player の予測体系が transform したといえる。ところが、この transformation system は、外部観察者には書ききれるはずであるが、もし、その学習過程（transformation system）が定まるならば、Replay を繰り返して行く内に、その軌道は収束するはずである。これは、次手の候補が常に有限であるという連珠の性質から導ける。ところが、得られた data はその期待を裏切る形をとりうる。事実、自ら play してみれば、何度か繰り返して、SG より良い手は見つかるが、繰り返していく内にさらに良い手が見つかることはよくあることであることがわかる。得られた data だけを説明する体系の構築はもちろん可能だろうが、では、player に一体何回繰り返させれば、期待どおりの学習過程の軌道に収束するか、その基準の決め難いことを得られた data は示すのである。そして、SG の軌道を辿っていく Replay に於て、手詰りになる step から遡って情報量を計ったところ、手詰りになるまでの step 数、及びその間の SG での攻撃数との間に相関が得られた。これは、手詰りになる前に player がどれだけ ’もがいた’ かを示す。つまり、我々は、外部観察者の立場をとれるものとして、観察を行うも、その矛盾に対面する。そして、我々は player が ’考えている’ と考える、つまりそこに主体を見いだすのである。

論文審査の結果の要旨

本研究は、「生物が生きているとはどういうことか」という極めて根元的な問題を取り上げた意欲的な研究である。それに答える立場として、本申請者は「観測伝播速度が有限である」という、自明ではあるのに、何故かこれまで問題にされて来なかった事実を重視して、出発している。

第1章は、全体の要約である。

第2章では、「生命とは何か」を考える上での基本的な観点を議論している。申請者は、伝統的な二元論とその基になっている素朴な実在論を批判し、ゲーデルの不完全性定理に基づいて、客観と主観の二分を批判する。そして、外部観察者の観察と、観察されるものが内部からする「観察」とを区別し、「観察」の伝播速度が有限であるために、外部観察者の形式言語を使う記述と内部「観察」に従うダイナミクスとの間には、必ず食い違いを生ずるというパラドクスを提示する。このパラドクスを認めた上で、生命現象をデモンストレートするために、出願者は、第3章で時間逆行ルールを使った自律的境界モデルを提示する。そしてその実例として、第4章では連珠ゲームを取り上げ、ゲームの対戦者を内部観察者になぞらえて、ゲームに見られる不確実性を議論する。

第3章は、時間逆行のセルオートマトンのルールを使った自律的境界モデルの説明である。通常の非可逆系モデルでは、境界条件と時間発展ルールがあらかじめ与えられている。申請者らは、時間発展ルールが境界条件を変え、境界条件が内部ルールを変える「自律的境界（AEB）モデル」を提唱してきた。その具体的なモデルとして、セルオートマトン$a_i^{t+1}=f(a_{i-1}^t, a_i^t, a_{i+1}^t)$を取り上げる。AEBモデルは、局所的な時間順行ルールfと、それに対する大域的な時間逆行ルールgとの組み合わせとして構成される。gは複数あり、かつ多くの場合矛盾を含む。gの表示法として、$(a_i^{t+1}, a_{i-1}^t, a_i^t, a_{i+1}^t)$からなるBoxをfと矛盾する大きさが最小となるように作り、流れダイアグラム（原始FD）として表示する。申請者は任意のルールについて、原始FDを作るための数学的操作を考察して、いくつかの定義及び定理としてまとめている。特に、原始FDが常に閉じていることを証明し、このBoxルールの論理性を確かめた。この手法は、計算機上で可能なすべての時間逆行ルールgを求める時に、有効な方法となっている。

第4章は、連珠ゲーム（五目並べ）による実験の紹介である。第3章が理論的形式の中で矛盾を構成するデモンストレーションであるのに対し、ここでは現実の現象を観察する中で矛盾を見出す試みになっている。そのために以下の実験を考案して行なった。

1．対戦者2人がゲームを1回行なって、これをサンプルゲーム（SG）とする。

2．同じ対戦者がSGの第i局まで再現した局面から再びゲームを始める。

連珠に勝つには攻め手を取ることが必要条件なので、再ゲームで攻め手を奪い取る場合にのみ学習がなされたとみる。また、SGと同じ手なら学習していないとみる。SGに比べての最初の再ゲームでの優勢度Aを、この基準で定量化してみると、Aが極値を示す局面とSGで攻め手が交替する局面との間に強い相関が認められた。そのことから、上記の基準とAが学習を定量化する良いパラメーター

であると分かる。ついで、再ゲームを繰り返す過程での学習を示すために、SGだけでなくそれ以前の再ゲームとの違いをも考慮したパラメーターFを定義して求めた。もしも対戦者が機械であるならば、連珠が有限手のゲームであることから、Fは再ゲームを繰り返すことで0に収束する筈であるが、実験ではそうならない。このことは、対戦者の予測体系が、第2章の自律的境界モデルと同様に、いつまでも矛盾を含みながら変転していることを意味する。本研究ではその他にも、連珠ゲームでの学習の不確実さを示すいくつかの特徴を定量的に明らかにしている。この実験は、観測伝播速度の有限さからくる不確実性を直接的に示すものとは言えないが、現実の生物学的現象から状況証拠を定量的に示した創意ある実験である。

第5章は結論とまとめである。

本研究は、生命の不確実性を理解する上で極めて根元的な問題にチャレンジし、形式理論的なアプローチに留まらず、心理学的な実験も合わせ行なった独創性の高い研究と言える。本論文の第3章は、国際学術誌に既に受理されており、共著の関連論文3編が国際学術誌に印刷されている。理論の構築から初めているために、実験結果の解析に不確実な点は残るものの、理論生物学、認知科学の分野に新しい知見と方法を与える価値のある集積であると認める。よって、学位申請者中村隆志は、博士（学術）の学位を得る資格があると認める。