

セッション「新たな生物モデルをめざして」について

室蘭工業大学 一般教育数学 今野紀雄 (世話人)

§0 導言

このセッションでは、主に数理モデルの立場から新しい生物モデルを構築する場合、一体何が問題になるのかについて、実験の結果も踏まえ検討する、という主旨のもとに企画され、生物、物理、工学、等の各分野の研究者の方々に御講演をして頂き、幅広く活発に討論が行われた。ここではそれに関連して本研究会の後に私が考えたことを簡単に記したい。

尚、プログラムの都合上、松野氏には郡司氏のセッションで哲学的な理論の話をして頂き、こちらのセッションではそれと関連した実験の話をして頂いた。そもそも郡司氏のセッションとこのセッションとの明確な区別はなかったので、以下内容の点で重複する部分が出てくるが、その点に関してはご了解願いたい。

§1 生物の数理モデル

従来、生物現象を扱う数理モデルをつくる時に、「時間」という概念は余り真剣に考えられてなかったように思われる。生物を考えるときには、「時間」だけ独立して考えるのではなく、むしろ「時間」と「空間」との相互関係を考えることにより、生物の正確な概念が見いだせるのではないだろうか。

一般にそのような時間と空間の相互作用を考えなくてはならないのは、相対論のような日常レベルとはかけ離れた世界である。しかし、生物現象を記述する際においても、そのような相互作用が重要になってくるのではないか、という大きな「質問」があっても良いだろう。

この質問を考えるときに、生物をどの側面で考えるかによってかなり異なる。しかし、我々という生物が通常感じている日常世界において、実は「時間」も「空間」も極めてあやふやな概念であり、むしろ逆に（そうだからとは言わないまでも）そこから出発すべき科学の存在を我々は主張したいのである。

そしてこのような生物というもの（自分）を意識する日常体験が、通常の数理モデルを

生物現象に当てはめる場合に窮屈に感じさせる。例えばこのことは、あるすばらしい体験をしたことを他人に伝えようとする場合、しばしば言葉に表現することの不自由さ感じるときのそれに似ている。

この窮屈なねじれが時空間のねじれとなって現れたのが、我々のセルオートマトンのモデルとも言える [1][2]。通常の数理モデルの構成法は、ある実験データがあり、それらをうまく記述するように差分、あるいは微分方程式系等を作っていくというものであろう。データを重視すれば時系列解析のモデルになるだろうし、そのデータを作り出すシステムを重視すれば、力学法則などから構成するという具合になるだろう。但し注意すべきは、時として、これらの立場に対する別の立場からの批判は的はずれになるということである。

例えば経済学のモデルには、上記に対応する時系列モデルとマクロ計量経済学モデルがあるが、時系列ARモデルの係数が経済学の法則よりきちんとした意味がつかないからといって、その予測パワーに文句をつける人はいないであろう。

そして、ここではもうひとつ別の道を主張したい。それは科学哲学的な立場からのモデル作りである。抽象化された生物に対する思考実験を行うといっても良いかも知れない。

ところで少し話を戻すが、上記のデータというのは生物現象を扱う場合には非常に恣意的になりかねない。例えば生物の分類学といっても、そのどこの特徴（データ）に着目するかで非常に異なった分類が可能になるであろう。そしてもし生物がデータを取る我々の行動に対して反応し始めたら、ますます状況は複雑化してくる。ベイトソンの生物間コミュニケーションの問題もこの辺りから生じてくる。ここにおいては、観察者と観察されるもの、さらにそれを観察するもの…という無限のループが生じてくる。

この時、ひとつひとつのステップで矛盾を解消するようにシステムを作り、それでも矛盾が生じる場合にはそれを解消する拡大したシステムを作っていこうというのがヴァレラのひとつの考えであった。一方、その無限の果てにある矛盾を含んだ悪い言語の世界（*世界）を積極的に、特に生物現象に、用いようというのが我々の考えである。

その*世界の例を1次元の有限サイズのセルオートマトンモデルで現したのが先に述べた我々のモデルである。そこにおいては、佐藤氏の講演にあったヒドラではないが、ルールと境界条件が独立ではなく、相互作用を行う場合も出てくる。また「通常の意味での時間」に対する逆行の概念も取入れている。その考え方の基盤にあるのが、松野氏の不断均衡化の概念である。

このモデルには様々な側面があり、全てを同レベルで議論することは、時として誤解を

招きかねない。そこで例えば、不断均衡化と可逆性の関係について着目しよう。このとき、次のような「向可逆的非可逆多体系」と呼んでもよいモデルを考えることにより理解が深まるであろう。(無限粒子系の構成及び可逆性に関しては、本報告集の香取氏の解説に述べられているので詳しいことはそちらを参照して頂きたい。)

まず無限粒子系のある時間ステップを考える。この時刻では非可逆であるが、次の状態では出来るだけ可逆になるように配置を事後的に決定するある操作を行う([1][2]参照)。配置空間を測る測度がコンタクトプロセスのような非可逆過程の定常分布であれば、可逆に向かう操作が結局は各ステップで無駄に終わってしまう。(細かいことを言えば、無限粒子系は連続時間でシステムサイズが無限なので、超準解析的处理が必要であろう。)しかし、むしろこのような操作及び可逆からのずれの残るといふ事実に着目すれば、これは不断均衡化のひとつの側面を表現しているとも言える。

さらに事後的に決定する操作を配置だけではなく、ルールも含めると、いわゆる「広い意味での」ルールダイナミクスと考えることもできる。但しここで注意しなければならないのは、従来のセルオートマトンのルールダイナミクスが、配置空間とルール空間の直積空間を考えることにより、時間の流れはやはり一方向であったのに対し、我々のモデルではそう考えても時間の流れは単純に一方向にはならないということである。

例えば、コンタクトプロセスでその伝染率 λ がその場所の λ の値(さらには配置によっても良い)によって変化させるモデルを考えたとする。もし伝染率の空間がコンパクトで、しかもその flip rate が場所、配置、伝染率に対して一様有界かつ finite range ならば同様にプロセスを定義することが簡単にできる。このような拡張されたコンタクトプロセスのモデルは、伝染率が自分の伝染率の状態によって決まるという意味で、セルフフィードバックがかかっているが、配置空間と伝染率の空間の直積空間で考えれば、コンタクトプロセスと同様に通常の無限粒子系の枠組みで話を進めることが可能である。即ち、伝染率がコンタクトプロセスのルールを決めているので、上記のルールダイナミクスも拡張された直積空間で考えればシステムの数学的な解析は同様に出来るということの例になっている。但し、伝染率を自分の伝染率(及び配置)によって変化させることによって、元のコンタクトプロセスでは現れなかった複雑な挙動が見られるとしたらそれは面白いわけで、それはまた別の問題である。

§ 2 結語

前節でも述べたように、生物現象を扱う数理モデルを考える場合に時間をどう扱うかは今後ますます問題になってくるだろう。無限粒子系の例が出たついでに言えば、実は無限粒子系の超準解析的構成は既になされている [3]。そこにおいて、離散時間と連続時間のギャップはなくなるのである。さらに言えば、有限系と無限系のギャップも同様に扱うことができる。この手法は、今後我々のモデルを完成させる上で重要な役割をはたすのではないかと考えている。

[謝辞] 最後になりましたが、本セッションにおいて貴重な御講演をされた、松野、佐藤、赤穂、池上、和田、各氏にはこの場を借りて謝意を表したいと思います。

参考文献

- [1] 郡司幸夫, 今野紀雄, 中村隆志: 自己創出系と2つの時間, 「地球」, 1991-5.
- [2] 郡司幸夫, 今野紀雄: 自己言及と自律的境界, 「数理科学」, 1991-6.
- [3] L.L.Helms and P.A.Loeb: Applications of nonstandard analysis to spin models, *J. Math. Anal. Appl.* **69** (1979)341-352.