

# パネルディスカッション：まとめ

ノート作成 二階堂 愛

## 1 復習と議論

### 1.1 Day 1: 生物学的空間の問題

- チューリングと ising がスケール変換で繋がっている。
  - チューリングの方程式は、2つの分子を表現しているが、上位スケール、マクロの現象が出てきます。チューリングと Ising の話はマイクロからマクロな方程式が出てくる点で理論としては優れています。しかし、生物学では、相互作用だけでなく場の変化も表現したいのです。そのような数学があるのでしょうか。
  - 確率論か？ 可積分系？ 可積分系でも進化や分化の問題にトライしたいという気持ちはあります。特殊な状態しかみていないが解があります。もしかしたら解カオスという分野が非一様性を扱えるかもしれません。微分方程式ではやりにくいと思います。離散系は特異性を越えてアプローチできるのではないかと。数値計算ではゼロ除算を避けるために、行列を分けるという操作がありますが、これは分化と関係があるかもしれません。
- 生物では、場が変わる、ということが出てくるのが本質です。数学は場がきまっただけで定式化が可能となります。この2つを組み合わせるのは難しいが、数学がトライすべきテーマではないでしょうか。
  - 小林さんが特異点解消の話をしたが、生物もいつも場がわかるわけではなく特殊な状況でかわる、という話と関連があるのではないのでしょうか？ 空間のコンパクト化、無限遠点、特異点っぽいものが出てきます。バウンダリでは次元が落ちています。本質的な nature は同じ。どのような性質が保たれるか、を扱うという数学はあります。超離散系、無限遠点ではオートマトンが出てくるものがあります。発生を理解するヒントになるのではないのでしょうか。
  - 井上さんどうですか？ 生物学の話を始めて聞いたが、なるべく細かい情報を盛り込み、出てくる現象を説明したい、という欲求が強いように思えました。ここでは統計力学が威力発揮します。しかし相互作用がかわらない系を扱うので生物とはちょっと違うかもしれません。外場を変えると相転移する、などを扱う非平衡統計力学が使えるのではないのでしょうか。生命現象のオーダーパラメータがなにかよくわかりません。物理では磁化率がゼロになるかどうか、相転移をつかまえるという行為になります。

- 何百点の相転移を動くというような系を扱う数学があるのでしょうか。
- ないと思います。でもまずは1 stepを説明する Toy modelを立てるのが重要なのではないのでしょうか。生命科学でも、現象の詳細をみたいひと、引いてみたい人の両方がいます。
- 1ステップの分化はチューリングで満足しています。
- 新しい数学とは。必要なのは新しい視点ではないでしょうか。物理に較べて生物学はデータ過多だと思います。もっと視点を変えた理論研究が必要なのではないのでしょうか。
- 発生で大切な問題とは。チューリングは現象をマクロに見ています。長い距離と時間を見ているが、分子実体を無視しています。例えば、拡散が理論と実験で同じようなオーダーであることを実証した例がありますか？
- 知りません。
- 平面内の極性を見ているが、1つ1つの細胞や分子から見ることが重要ではないですか。拡散方程式を使わない説明の仕方があるのではないのでしょうか。例えば、スケールを変えて見ることができると思います。これは最初のチューリングと ising のつながりと関連していて興味深いと思います。

## 1.2 Day1: 生物的時間の問題

- 老化に興味があります。生物学的にはDNA やストレス耐性などが言われていて、進化的には酵母あたりから出てきます。
  - 寿命は、非対称分裂と関係があると考えれば分化や発生と関連するのではないのでしょうか。老化の分子の実体はわかっていますか？ 砂時計のようなものと捉えるとそれはどこにあるのでしょうか？ 現在のところ老化は不可逆にみえます。
  - スケールの違う時計があると捉えると良いかもしれません。スケールを変えても保存量が保たれるという (保存量を保つようにスケールを変える?) 数学研究があります。この数学と老化と関連するかもしれません。
  - 別の捉えかたをすれば細胞のキャパシティを使いきる、ということが寿命なのかもしれません。
  - これは力学系が大きくなって破綻するということでしょうか
  - 大きくなるというか、複雑になりすぎるという印象。学習の力学系と関係があるかもしれませんね。
- ゆらぎとトレンドについて戸田先生に聞きたいです。どのあたりが重要な問題なのでしょうか。

- まず生命現象を階層に分けて考えます。次に階層間のつながりをみたいのです。例えば、生命が成長するのはなぜか、その必然性とは、という問いがあると思います。繰り返しのある階層がドライビングフォースになっていると考えています。ポテンシャルの山越えするにはエネルギーが必要でその元は振動です。振動をうけるにはタイミングをはかる必要がありますが、その設計のメカニズムを知りたいです。発生の場合はエネルギーのアナロジーは難しいが、スケールを引いてみなければならぬかもしれないですね。
  - 発生と成長の必然性を逆に聞きたいです。
  - 個体がなぜできたのかという問題も関係するという考えもあります。均一の集団で環境に対応することもできるが、分化というのは一部を犠牲にする行為ではないでしょうか。
  - 物理ではエントロピー増大が基本ですが。生命は逆です。逆の例は囲碁と似ていると思います。最初はどこに碁石を置いてもよいが、最後は(ルール上)碁石をどこにも置けなくなります。それが死と似ていると感じます。生命の有限性の表現としても良いアナロジーかもしれませんね。
- ゲーム理論と生命の繋がり。
    - ゆらいでいる環境で賭けをすると視点もあります。エントロピーが増大するのは閉じた環境であるが生命は開いています。環境も生きていないといけません。非平衡的なゆらぎを考えてもよいのではないのでしょうか。
    - 有限の時間で考えないといけないゲームと捉えることもできます。進化の場合はルールが変わります。無限のフィールドでオセロゲームで相転移するような系は、パーコレーションと近いかもしれません。
    - 組み合わせ論や有限集合で考えることができます。無限だと問題が簡単になります。対称性がない組み合わせ論というのがあり、この問題の役に立つかもしれません。
    - ガイドなしにランダムサーチするのは難しいです。NP完全になるためです。数学できれいだと思われているのは対称性があります。群論などがそうですね。ランダムサーチでもポテンシャル関数があると辿りつけます。ここにやくぎな(対称性がない)数学手法をもちこんで説明がつくかもしれません。
    - 確率論も関連します。例えば、マルコフ決定プロセスや強化学習などがそうです。盤面の変化のしかたを確率過程だと思い、期待される得点を最大化するという発想です。バックギャモンをその手法でplayするという研究があります。
    - ルールがあれば解析可能であるが、相手もルールを変えるゲームは解析が難しいです。シミュレーションに頼らざるをえません。ルールのかわるゲームの数学は新しいかもしれません。ルールの時間的スケール変化やゲームと学習の同値性などがキーワードになると思います。
    - 得点最大化と生命のしていることが同じでしょうか。ゲーム理論にきれいな数学はあるのでしょうか?

- アルゴリズムと数学も関連するでしょうね。特に計算論。有限があつかいにくいのでやくざな数学として扱われている。選択公理など前提が別の数学がたくさんあるので、分野外にアピールしなければならないと思います。
- どこにいけばどのような数学をしているひとがいるのかマップが必要です。あるいはマップを持っている人が必要ですね。
- ゲームのルールを変えるとは:どのようなことですか?
- 例えば相互作用を変えることが生物では一般的にあります。
- 確率微分方程式でルールが変わることを表現できるため、数学(確率論)で扱うことができるはず。むしろ生物側からルールを提示してほしいですね。もちろん仮説で良いです。
- 生物学はメタファーできるためのデータは出しているのに、数学者がそういったルールを考えるほうが良いのではないのでしょうか。
- しかし、モデルの正しさは数学側では評価できません。生物学でもそうかもしれませんが、数学も対象が明らかなほうが良いのです。あと長期の履歴をみているような現象は数学的扱いは難しくなります。

### 1.3 Day2: シグナル伝達と符号・暗号

- error correction のために冗長性を保つ点は、生命とのアナロジーが成り立つと思います。
  - シグナル伝達分野で残された問題は、シグナル伝達の情報エントロピーとは? という問いです。
  - 情報の定義が違うのではないのでしょうか。
  - 生物における情報とは、物のあるなし、物を作るダイナミクスにあるかどうか、などです。例えば、時間変化、極性はどうか、位置情報、自分(細胞)の記憶、アイデンティティ、シグナルをカテゴリ化する力などですね。
  - error correction は生物と本当に関係あるのでしょうか。むしろロバストネスと関連するのではないのでしょうか。シグナル伝達は既存のシステム(電気回路)との違いは何ですか? 数学者にとってはそこを整理して欲しいです。
  - 電子回路との違いとしては、まず生物の部品には個性があることです。また配線が部品や全体のアクティビティによって変化します。例えば、新しい配線ができるときには似たもの同士を自動的に繋げる機能があります。
  - シグナル伝達をマルコフ過程と捉えて機械に学習させて再構成できるかどうかにも興味があります。
  - ニューロンのコネクションから概念がどのような構成されるか、という問題は重要だと思います。

- 概念を構成するネットワークとはどのようなものでしょうか。それを扱う数学とはどのようなものが考えられますか。この現象の面白いところは、ミクロなネットワークからマクロな現象が浮かんでくる場所だと思います。
- ホフバウワーの本では、力学系 (反応拡散) と KL の関係を書いた本があります。
- 進化の面白いところは歴史と多様性が生まれるメカニズムです。これは難しい問題です。必要な数学のイメージがつかないです。そもそも仕組みが難しいところに、なぜ、という問いはさらに難しいです。
  - 進化はうまくいかないものもたくさん作っています。いったいどのように、うまくいくメカニズムを知るのでしょうか。
  - これを解くには比較生物学が必要だと思います。その結果が数学をモチベートするのではないのでしょうか。
  - 人間と大腸菌どちらが賢いか、というのは進化と脳どちらが賢いか、という問題になります。多様性を作る数学はあまりないです。単に多様性をつくるだけではなく、進化の連続性をもつようなものをつくる数学が必要ではだと思います。

## 1.4 まとめ

ありえないミーティングスタイルでした。もし改善点があればどうぞ。参加者がコミットする仕組みがあればもっとよかったかもしれません。また、異分野の研究者が議論するために、耳が慣れるで継続することが重要だと考えています。