

Title	Theoretical Natural Historyを目指して
Author(s)	大野, 克嗣
Citation	物性研究 (1998), 69(5): 742-747
Issue Date	1998-02-20
URL	http://hdl.handle.net/2433/96249
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

研究会報告

「Theoretical Natural History を目指して」

大野 克嗣 (おおの・よしつぐ) イリノイ大学 物理

(1997年12月22日受理)

1 はじめに

3月5日から7日まで(1997年)の三日間、生物学者と(理論)物理学者(おもに非平衡統計物理)が集まり、共通の問題意識がもてるかどうか(より基本的には対話がまず成立するか)を試みた(参加者名簿は末尾にある)。結論としては、物理側に知識のある人がもう少しいればつっこんだ対話が可能である、といえよう。

このレポートの目的は忠実な議事録を作るのではなく、筆者に印象的であったこと、及び今後のことを、反省を交えてまとめておくことである。これは極めて個人的なレポートであって参加者の意見をとりまとめたようなものでは断じてないことを明記しておく。今後何をすべきかと言うような話までは実際あまりでなかった。

2 理論博物学 (Theoretical Natural History) の存在理由

現代の生物の研究は、分子生物学に代表される普遍性の研究と進化、分類、生態などに代表される多様性の研究とに大きく分かれるように見える。前者は物理学にもなじみやすく分子集合体、細胞小器官の物理学(nanobiology)へと自然につながる。テクニカルな関心とも相まってこのような研究は今流行であり、普通の統計物理学者にも入って行きやすい分野でもある。これはこれですますます大規模になって行くであろうし、基礎物理学的に大きな問題、非平衡系の一般的な理解から始まって、大規模な系の *ab initio* 計算の実現(大域的性質の抽出)など、にも事欠かない。(から、物理屋は大いにやるべきであり、筆者もやっている)。

しかし、基礎科学者としてはその先を見ておくべきではないか、これがこの集会の背景である。いうまでもなく、生物は裸のDNAとして世界に存在するわけではなく、分子レベルから見れば極めて高次のレベルに最も生物学的な現象があると多くの人が考えているだろう。高次レベルの生物学である多様性の生物学、そして、普遍性と多様性の関係(分子と表現型の関係)の追究が究極の基礎生物学のテーマである(したがって基礎物理学のテーマでもなくてはならない)。

今更、理論博物学などと言うことはない。生物物理学という学問はすでに確立されているし数理生物学という学問も立派にあるではないか、と言う向きも多いだろう。生物物理は物理一般の傾向を反映して、ひと昔までは生物に由来する物質の研究(挽肉の物理)で

あった。幸いに、micromanipulation 技術の発展のおかげで、単なる物質の研究から、物質の集合状態の研究（たとえば、organelle の研究）へと脱皮しつつある（nanobiology へと脱皮しつつある）。しかし、さらに大きな現実的な分子集合体が研究対象になるにしたがって、生物側の要求と物理側の能力の乖離はますます歴然となりつつある。タンパク質の研究のように、物理側がなかなか良くやっていると自認しているらしい分野でさえ、生物側は評価していないことを直視すべきである（長谷川晃氏の生物物理批判（物理学会誌 1997 年 1 月）も参照）。

理論生物学は生物の物質的側面を重視することはしない。それならば、数理生物学と同じではないか？数理的面が濃厚であることは理論の行く先として当然である。では、何が、理論生物学を特徴づけるのか？それは現象論的アプローチである。われわれは、実際の世界の理解に多少とも寄与できるような理論を目指さなくてはならない。いろいろなモデルを使って artificial life のようなアプローチも可能であるかも知れない。しかし、Rosen が 'Life Itself' (Columbia UP, 1991) のなかで批判するように、これらはほとんどメタファーにとどまり、モデルまで行かない。そこでまず、現実を整理するということが大切であろう。熱力学のような体系があってはじめて、統計力学が作られた歴史を思い起こそう。理論生物学は理論生物学 (theoretical biology) に入れてよいのだが、その中でも巨視的現象により密着した部分と考えたい。「自然界にある大小のユニバーサリティクラス」を認知していくのが理論生物学の使命である（日本物理学会誌 1997 年 7 月号の拙稿参照）。もちろん、数理生物学に対立して新分野を提唱するなどと言うことが筆者の目的なのではなく、今まで数理生物学があまり精力を注いでこなかったように見える分類などのきわめて古典的博物学的分野の虚心な見直しに力点を置くことを提案しているだけである。

3 多様性の研究

理論生物学はより演繹的な現象の枠組みについての研究と、より帰納的な現象論の探求の二本の柱よりなる。

生物の多様性の研究は

- (1) 多様性の発現、存在理由の研究、
- (2) 存在する多様性の認識、記述、解釈、

に大別されよう。勿論この二つは密接に絡み合っているが、この研究会では主に (2) について活発な議論が交わされた。

この世の多様性を理解するためには、まずその記述から始めなくてはならない。しかし、ただ単にあるものを全て枚挙することは、世界の姿を「わかった」という気にはさせてくれまい。さらに、記述すべきものが多すぎる場合枚挙はその目的にさえ不十分である。古来、生物世界の多様性の認識は単なる枚挙をしてきたわけではなく、分類単位を認識しそれを枚挙してきたのである。こうして分類学が、生物世界の多様性の研究の中心となってきた。

多様性研究の基本問題は、客観的分類が可能かどうかということである。以下では、この基本問題について

- (1) 系統と分類の関係（基本問題の説明と研究会での関連討論のまとめ）、

(2) 生物側と物理側の今後の協働の可能性
の二点について議論を整理する。

4 分類学と系統学

「この世に何が可能であるか」を認識する学問として、記載的分类学は当然ながら、基礎的な学問である。しかし、生物の種の数は一億を越えるであろうから、高次分類群¹の助けなしには生物界の多様性を記述することは不可能である（記載することさえ不可能である）。リンネ式分類階層はさておくとしても、オサムシの仲間、キクの仲間とかまとまったグループは明らかに判然と認識できる（理由を明示的に述べられなくとも、見せられれば判る）。直観的に、大きな分類単位で認識できるもの、たとえば、刺胞動物とか単子葉植物とか、も多数存在する。したがって、伝統的に、分類学ではこれら直観的に認識できる単位を明確にしようという努力がされてきた。しかし、他方で、いわゆる高次分類群には、人為的分割の結果ではないかという危惧がいつもつきまどってきた。たとえば、今でも多くの図鑑類が採用している合弁花類、離弁花類が自然な分類単位ではないことが認識されて久しい。

あるものを分類するとき、そのどんな性質にもとづいて分類するかで結果は大きく異なりうる。これは一般に分類における形質の重み付けの問題とされている。これについての客観的基準が見いだされていないので、そもそも客観的分類は原理的に不可能であるという見方が広がってきた。その上、上記のように、しばしば、あまり‘よくない’大分類群が設定されてもきた。こうして（形態による）分類学はその客観性に重大な難点があるとみなされるようになった。

この困難を‘救う’ものとして系統分類学が登場してきた。この立場では分類的に近いということは、系統的に近い（近い祖先を共有している）と言うことである。系統樹を作って、その枝分かれをまとめていったものが、分類群なのだというのが、系統分類学の考え方である。

系統学は、分子生物学的手法の発展により、かなり明確に、系統関係を推定できるようになってきた。一方、形態のみに頼った分類で系統に肉薄するのが不可能なことはよく認識されている。そうすると、古典的分类学が系統を明らかにできる可能性はない。こうして古典的分类学が系統の推定に寄与することは何もないという系統学の主張が出る。系統を推定する前提として分類は不要である。さらに系統関係と独立の分類体系など存在もしないし、実際問題としても比較生物学には系統関係の情報があればよいのであって、分類体系は必要ではない、ということになる。系統学の立場からは、人間が生物界をどう認知するかを「生物の多様性の自然認知地図」として体系化したのが、古典分類学であり、それは認知科学の一分野である（最近の力作、三中「生物系統学」（東大出版、1997）参照）。

以下、議論を続けるに当たって、次のことを確認しておこう。われわれの自然知能にもとづく直感はいわれわれの進化してきた世界を反映したものである。数学や論理が理解できるのは、世界にすでにわれわれの有無を離れてそれらが存在するからである。したがって、（研究対象をよく見ている）専門家の直感を信頼する（その裏の客観的理由を追究する）のは生産的である。人間のパターン認識能力はあまりにも強力であるために（そして

¹ 種より上のレベルの分類群、属、科、目、綱、門、界など。

自然知能は言語の表現能力を超越しているために) われわれに認識できることを客観的かつ明示的に述べることは、たとえ可能な場合でも、容易ではない。それができていないことをもって、直感が信頼できないと見るのは早計である²。

この研究会では、論理的にも実際的にも、系統の研究は分類を前提としないことは認識されていた。では、生物学的に意味のある分類学は、系統学派が上に主張するように、系統学に完全に従属したものしかないのであろうか？論理的には、系統と関係ない分類はあってもよい。問題はそのような分類が、自然な分類(=裏に実体のある分類)であるか否かということである。

5 物理側は何かいえるか？

分類一般について物理側が言っていることは、ユニバーサリティ(クラス)の考え方である。物理学者に極自然に見える物質の分類は、しばしば、ある種の極限における特異性(singularity)の分類にもとづく。このとき同じ singularity をあたえる系をまとめてユニバーサリティクラスと言う。このとき、どのような極限をとるかには確かに任意性があるが、そうそういろいろあるわけではない。さらに、この極限が、いくつのパラメタで支配されるかということはわれわれの勝手にはならない。つまり、形質が張る空間(形質空間)さえわれわれの自由にならず、分類対象そのものが決定してしまう。いいかえると、形質の重み付けの問題は分類対象が解決している。抽象的一般論として考えると、われわれの恣意を離れた自然分類など原理的にあり得ないように見えるが、現実はその一枚上手を行っているようである。いずれにせよ、抽象論として、自然分類の原理的不可能性を云々すべきでないことを、物理は教えている。

原理的には、生物学的に意味のある分類学と系統学とは独立な分野であってよいし、系統と上の意味での自然分類が一致しないからといって、もしくは、分類が系統推定に寄与しないからといって、分類が意味がないということには勿論ならない。多様性が在れば(それが何であるにせよ)系統は分岐してはならない。これは論理的な関係である。しかし、逆は、系統が違うことそのものを多様と定義しない限り(形質空間に離散位相を入れるようなものである)、論理的に主張出来ない。つまり、分類学が多様性の理解の学問であるならば、論理的には、系統学に従属しないのである。もちろん、形質空間の次元が高いときは、その空間の中での進化の道筋に偶然の要素が重要であると(そして実際に重要と考えられているが)、系統関係と分類関係の並行性がよいのは自然である。一方、逆に形質空間の次元が低いと、偶然の働く余地が少なくなるから、分類は系統と独立な固有の論理に支配されることになろう(系統的に違っていても本質的に同じであり得る)。形質空間の次元が意外に低いのではないかと思わせる節もある(最近のオサムシの研究を見よ)。つまり、伝統的分類学者が持っているように見える(系統学派のいう)「生物の多様性の自然認知地図」のうらに生物学的実体があるという信念を真剣に検討すべきであろう。

物理学者の立場から見ると、分類学は生物界のユニバーサリティクラスのいれこ構造を認識することで生物の多様性を理解する学問であろう。この意味の自然分類が真面目に論

² 言葉による記載を読んでその非論理的不完全さ(たとえば、被子植物の亜綱レベルの記載を読んで見よ、対象を知らなければ意味をなさない)をあげつらうことには何の意味もない。

じられるようになったのは物理のような簡単なものを扱う世界でもここ20年の話である。生物については、我々はほとんど何も知らないから、今自然分類が出来なくても驚くに当たらない。とはいえ、このような分類学を構築するには何をしなくてはならないか？実はこれを考えるのが基本的問題なのである。そのためには我々がある程度対象を知っていること（つまり、生物物理、とくに多様性の生物物理、を志す人間は生物の少なくともあるグループについて「博物学的」知識を持っているべきである）と、専門家の話が聞けるだけの知識がなくてはならない。（要するに生き物が好きでない人間はやるべきではない。）

6 今後に向けて

具体的には何をすべきか？そもそも抽象的に生物一般を考えることがどれほど有意義であるか疑わしいから、いつでも研究は具体的な（実際の）ものの徹底した研究を核とすべきである。

分類学に関した、具体的で共同研究が直ちに可能なプログラムは、大きく二つに分けることができよう。

- (1) (数理) 分類学に関する技術的問題、
- (2) (多少なりと) 新しい見方を加味した解析法の模索。

(1) については、系統樹の構成法などに、最適化問題が多々見られるが、これを、物理学的モデル（たとえば力学モデル）として解くというようなことが考えられる。ここでは物理屋は、応用数学コンサルタントになると言ってもよい。この様な関係からでも原理的な話が始まることがあるから無視すべきではない。今の場合のように、(常識的な見方からは) 真にかけ離れた諸分野間の共同研究が軌道に乗るためには、各分野の人が、それぞれのより conventional な分野でも意味のある（俗に言えば、論文になる）仕事が、本当の共同研究ができる前にも可能であることが実際的には大切だと思われる。つまり、ある分野の人が滅私奉公しないと軌道に乗らないような共同研究はうまく行かないだろう³。したがって、今の例では、われわれが、この分類の問題に絡んだ、統計物理的諸問題を考えるのは当然のことである。

(2) については、たとえば、多次元尺度構成法 (MDS) による形質空間の構成と解析などがアルゴリズムの開発をも含めて実行されつつある。どこまでこれが発展するかわからないが、これは、この研究会から始まったプロジェクトである。分子と表現型の関係についての理解を深める為には、表現型のレベルでの現象の整理も必要である。いずれにせよ、理論博物学の精神からは、現象の整理がきちんとされなくてはならない。

これに関する技術的のみならず、概念的にも極めて重要かつ焦眉の急の問題は、生物多様性の種の記載に頼らない記述法の開発である。なにしろ、種としては二億位は覚悟しなくてはならず、新しい門が例えば海洋中深度域の meiofauna から続々期待されるし、昆虫などでも後五千万種くらいは記載されておらず新しい科は無数にあるはずである。今までのように、種を記載していくやり方では多様性の全容をとらえることは絶対的に不可能である（今まで二百万種程度記載されているにすぎない）。物理系の学者がこんなことに寄与できるはずはないというのもっとも聞こえるが、ひよっとすると、対象に密着して

³ ただし、筆者としては、理論物理屋にはるかに多くの献身を求めるのは当然のことだと思う。

いないということが異なった発想の源泉になるかもしれない。

いづれにせよ、生物系の学者と非生物系、特に数理側の専門家とが協働出来るよう努力することは二十一世紀の自然科学全体のためにも大事なことではないだろうか。具体的な協働の出発点として、筆者は数理科学者用の程度の高い生物の教科書を生物側と数理側の徹底した討論の下に作るということを考えている。

これは物理系の雑誌にでる報告であるから、物理に言及するようにしてはいるが、「物」に言及するところはなかった。ただし、これを還元主義に対する批判だと受け取ってもらっては困る。異なった個人間で共有できる「理解」には単純な物や事柄への還元以外の道はない。何に還元するかが問題なのである。理論物理学は「物」への還元ではなく「別の何か」への還元を考えるための実験場であるのかも知れない。結果として得られるものは物理ではない、と読者はいうかも知れないし、筆者は物理でなければならないなどとも思っていない。しかし、森羅万象の裏にある本質を明らかにするのが物理であるというならば、やろうとしていることこそ「真の生物物理」と呼ばれるべき分野ではないか。生物は本質主義とはなじまないといわれているが、本当にそうなのかどうか見極めるのが物理学者の役目であろう。物理学は、化学や地質学など他の分野と違って、研究対象によって特徴づけられる分野であるべきではなく、そのアプローチの仕方によって特徴づけられる学問であるべきだと筆者は信じているから、いわゆる物理をやることと以上に提案していることとは、全く矛盾しない。

参加者は以下の通り(アイウエオ順)。

阿部勝巳(静岡大学・理学部・古生物学教室) kabe@sci.shizuoka.ac.jp
池上高志(東大・広域) ikeg@sacral.c.u-tokyo.ac.jp
大野克嗣(イリノイ大・物理) yoshi@kolmogorov.pt.uiuc.edu
片倉晴雄(北大・院理・生物) katakura@bio.hokudai.ac.jp
金子邦彦(東大・総合文化) kaneko@cyber.c.u-tokyo.ac.jp
北原和夫(東工大・理・応用物理) kazuo@aa.ap.titech.ac.jp
甲山隆司(北大・地球環境科学研究科) takashi@eesbio.hokudai.ac.jp
佐々真一(東大・総合文化) sasa@jiro.c.u-tokyo.ac.jp
白山義久(京大・理附属瀬戸臨海実験所)(tentative) yshira@bigfoot.com
関本 謙 (京大・基研) sekimoto@yukawa.kyoto-u.ac.jp
田口善弘(東工大・物理) tag@granular.com
団まりな(大阪市大・理学部) mdan@sci.osaka-cu.ac.jp
中島久男(立命館大・物理) nakajima@bkc.ritsumei.ac.jp (Hisao Nakajima)
松井正文(京大・人間環境・動態環境論) メールアドレスなし。電話:075-753-6846(直)
馬渡峻輔(北大・院理・生物) shunfm@bio.hokudai.ac.jp
三中信宏(農水省・農業環境技術研究所) minaka@affrc.go.jp
村上哲明(京大・院理・植物) k53870@sakura.kudpc.kyoto-u.ac.jp