

多体問題のすすめ

市野 悠

2008年5月24日

物理学とは還元主義の旗手だという誤解を解きたい。物理学以外の分野の人々にとって、素朴な還元主義は学問の存在そのものを揺るがす脅威だが、今やその不安は原理的に取り除かれている。物理学の内側ですら世界観は大きく変わった。原子の中に原子核があって、それは陽子と中性子からできていて、さらに解像度を上げるとクォークが見えてきて…という「素粒子論神話」は（物理の大事な一側面ではあるけれど）今や完全に崩壊している。象徴的なのが1970年代以降の統計物理・固体物理の台頭で、私がいまさら書くまでもなく完全な総説 [Anderson] が存在する。



しかし物理の問題に限らず、身の回りには**多体現象**があふれている。身近なところから言えば、何人かで集まるとなぜか話が弾むことがある、という例がある。また地形図で集落の分布を眺めてみると、ヒトという動物は群れる習性があるように見受けられる。

しかしこれらの「多体現象」が本当に「**多体問題**」かどうかは自明でない。物理学では多体問題というものを厳密に定義できる。見た目は「多体現象」でも、「**一体問題**」に言いくるめてしまうことができる場合があり、これは「多体問題」とは呼ばない^{*1}。

^{*1} 「私」以外の他人が effective に力を生み、「私」は実は他人ではなく effective な力を見ていた、という話だ。これは統計物理では平均場理論、固体物理ではフェルミ流体論と呼ばれている。ちなみに「私が私が」とばかり言っていて何の役に立つんだ？という批判は的外れだ。「多体問題」の定義は上述したように逆説的であり、**一体化理論**の拡張と深い理解が「多体問題」の認知につながったのだから。

上に挙げたような物理から外れた分野ではこうした一体化の formalism すらできていないというのが現状だから、そう簡単に「これは多体問題だ」とは言えない。

しかしどうやら本当に多体問題らしきもの^{*2}がある。社会では「欲望原理」とでも言うべきものが働いており、これは個人個人が持つ（べき）優しい心をかき集めただけでは説明できそうにない。「私」の尺度で集団に対処していると、大きな間違いを犯すことになる^{*3}。また、生物学でも同様の問題がある。生態系が織りなす集団的挙動（進化も含めて）を個体レベルから完全に説明づけるのは困難な問題だろう。その下の階層では多細胞生物が生まれ、死んでいくというプロセスがあるが、これも細胞ひとつを眺めてはいてもどうも理解できそうにない。それぞれの階層で新しい理論が必要とされているようだ。

Anderson も注意しているように、これは還元主義を否定するわけではない。たしかに集団は「私」からできている。「私」によって集団を説明する理論の存在を（原理的には）認めよう。しかし階層と

^{*2} ここで「多体問題っぽい」と言っている私なりの基準は、「相転移らしきもの」の存在だ。物理学が直接扱えない分野でも物理的な概念がコンセプトとしては有用な場合が多い、というのも、私が物理を気に入っている理由のひとつだ。

^{*3} 歴史上の過ちについてひとつひとつ例を挙げることはしない。蛇足だが、学部時代、私は英文学から「私」について多くを学んだ。「私」の徹底的な分析とコントロールは Jane Austen にはじまる伝統的英文学の真骨頂であり、時期的にも私の人格形成に大きな影響を与えてくれた。しかし「人々」のことを「私」によって説明するのは、ある程度は可能としてもやはり無理な課題なのではないか、と最近を考えている。もちろん「愛の共和国」という理想を絶対に忘れてはいけないが。

階層をつなぐ作業はものすごく困難だし、必ずしも有益とは限らない*4。熱力学のように閉じた美しさは特殊だとしても、自然の階層構造とそれぞれに自立した学問体系はきわめて一般的にみられる。これを還元主義で絨毯爆撃しても自然への理解は進まないということだ*5。

攻撃すべきものは素朴な還元主義で、この目的はAndersonが完遂したと言ってよい。彼が早いうちから重要性を指摘してきた**対称性の破れ**という概念は、私たち人間が**世界を眺める尺度**を変えたときにかなり一般的に成り立つもので、理論が撰動的に構築できるかどうか、あるいは一体化できるかどうか、という技術的な問題とは独立に使えるという力強さがある。定量性を求めるなら技術的にも難しくなってくるが、定性的な理解であれば「対称性の破れ」はとても役に立つ。そしてなにより人類を数段賢くして、還元主義を手なづけることに成功した。

純粋な多体問題が次々と発見されたことによって現代物理ははるかに難しくなった*6。しかしこれは還元論が進行して難しくなったという意味ではなく、理論が多様性を増したという別種の難しさだ。その上、多様性の各要素を結びつけるような「理論の理論」の存在まで見えてきている*7。還元主義だと思われていた物理学ですら、結局のところ「美しき多様性の科学」だったのだ。

もっとも古いところから言えば流体现象がよいのかもしれないが、分かりやすいのは相転移だ。対称性の破れをモチーフとする二次相転移の現象論、そ

*4 有益で自然への理解が深まった例（そしてそれはとてつもなく面白い）もあるが、物理の基本的な問題以外ではあまり知らない。物理学との単純なアナロジーでそういう**接続理論**を作れたとしても、たぶん理論そのものとしては面白くない。

*5 この種の悪は形を変えて今だに世界をうろろしているが、賢くなった私たちはこれを見抜く力を身につけた。

*6 もちろん量子論とか非平衡といった別の難しさも最近の物理学にはあるが、ここでは割愛する。

*7 あらゆる物理的な理論はこのメタ理論で結びつけることができるはずだ、とまで信じられている。これがいわゆる「くりこみ教」であるが、これに関してもこの記事では割愛する。

の先に見えてきた臨界現象の理論では無限にたくさん粒子が協同して新しい秩序をつくる様子が解析された。

上は統計物理の話だが、固体物理の分野ではボース=アインシュタイン凝縮が中心にある。これは量子効果による相転移とも呼べるもので、これを応用したのが超伝導の理論だ。以降50年、信じられないほど多様な現象と強力な手法が創られてきた。

物性物理学での多体問題が注目を浴びるにつれて、素粒子論の人々も徐々に考えを改めはじめた。その先駆者が南部陽一郎で、彼の提唱した「自発的対称性の破れ」は超伝導に着想を得ている。このメカニズムは今や素粒子論における中心概念として取り込まれている。

このように、現代物理学は素朴な還元主義からの脱却を（かなり定量的に）遂げた。しかもその過程では、一見無関係な三つの分野が経路積分という「ことば」を介して特異な出会いを果たした。その中で生み出したいくつかの「スケールフリー」なコンセプト、あるいは汎用理論が、今後自然科学全体に広まり、新しい世界観をもたらすだろうと思う。人類の思考が「私」中心主義から脱却すべき新しい局面に立っているのだ。

この記事では物理学の用語が使われているにもかかわらず説明が中途半端だ、と不満に思う方もいらっしゃるかと思う。また、恐らく大量に存在する参考文献も一切書いていない。私の無責任は認めた上で、あとは読者の（湧源クラブを含む）コミュニティの力にすべてを委ねたいと思う。

市野 悠

京都大学物理学第一教室 M1

web: <http://freeshells.ch/%7Ejuno/>

mail: yu.ichino@gmail.com

参考文献

[Anderson] P.W. Anderson, "More is Different", Science 177, 393-396 (1972).