

環境物理学へのいざない

神戸大学 蛭名 邦禎

村瀬 : それでは時刻となりましたので、10分遅れですが、これから環境物理学のセッションを始めさせていただきます。講演者は神戸大学発達科学部人間環境科学科の蛭名先生で、タイトルは「環境物理学へのいざない」というところです。どうぞよろしくお願いします。

よろしくお願いします。神戸大学の蛭名と申します。今日は1カ月ぐらい前に坂東さんから突然「ここで話をするように」と言われまして、環境物理学ということでお話をさせていただきます。少し前から物理学会の領域13というところで、環境物理学という分科が立ち上がりまして、そこでいろいろな話が出始めているのですけれども、そこに来ていただいた坂東さんに、ちょっと興味を持っていただけたようで、「ここで話すように」ということで。

基研研究会「基礎物理学の現状と未来」
(2006.11.16-18)

環境物理学へのいざない

蛭名邦禎(神戸大学発達科学部)

[Slide 1]

内容

- ・基研研究会「環境物理学－先端境界領域の創出へ向けて－」の紹介
 - －研究会の開催:2006年6月12日～16日
 - －研究会の背景
 - ・「環境物理学」の理念
 - －研究会への経緯
 - －今後の課題

[Slide 2]

[Slide 1] 今日は「いざない」というのは、invitation toであって、introduction toではないということです。どう違うかといいますと、introduction toというのは、すでにあるものに対して、そこに来ていただくということです。invitationというのは、例えば結婚式なんかでも、みなさんが集まって初めてそこに存在するということで、これから出来るものに対して来ていただく、それがinvitation toということで、お話させていただきます。

先ほど高安さんが、「前期量子論だ」とおっしゃっていました。10年ぐらい前にお話を伺ったときは、確かケプラーの法則を発見したというようなお話だったと思うので、だいた、前期量子論まで来られたのかなという感じがいたします。私たちの話はまだそこまでいっていない。それよりもっとプリミティブな、こういうことを始めていますということで、聴いていただければと思います。

[Slide 2] これは今年の6月に、基研研究会として「環境物理学－先端境界領域の創出へ向けて」という研究会を、ここで実施しました。今日の話は、その研究会の紹介と、そこで話した話を、ほぼ繰り返しになるのですけれども、どうしてこういうことを立ち上げようとしているかということについて、話をさせていただきます。

[Slide 3,4] この研究会は、今年の1月に提案いたしました。いろいろな専門領域、いろいろな分野の研究者を招いて交流するということを目指している異分野交流である。それが環境科学をやっていく上で、非常に重要であるということからです。それと同時に、環境科学というのはいろいろな分野が参入していますが、そのためにlanguageが入り乱れていると。そこで何らかの共通のlanguageを創出しないといけないのではないかと。そのために物理学が何らかの役に立つのではないかと。それからその環境ということのをキーにして、物理学を広げていくことが出来るのではないかと。ということで、こういう世話人会を立ち上げまして、提案をして、今年の6月に第1

回目の研究会を開催しました。

基研研究会「環境物理学」

- ・ 基研研究会として提案 (2006年1月)
- ・ 基本方針
 - 各専門領域、関連諸分野の研究者を招き交流
 - 異分野交流
 - 環境科学全体の共通言語の創出 - 物理学を通じた寄与を
 - 環境科学としての物理学の可能性を明らかにする

[Slide 3]

基研研究会「環境物理学」

- ・ 世話人:
 - 本堂 毅 (東北大学大学院 理学研究科)
 - 池内 了 (総合研究大学院大学 葉山高等研究センター)
 - 高木 伸 (富士常葉大学 環境防災学部)
 - 池田 研介 (立命館大学 理工学部)
 - 村瀬 雅俊 (京都大学 基礎物理学研究所)
 - 山田 耕作 (京都大学 基礎物理学研究所)
 - 中岡 保夫 (大阪大学大学院 生命機能研究科)
 - 田中 成典 (神戸大学大学院 自然科学研究科)
 - 蛭名 邦禎 (神戸大学 発達科学部) – 世話人代表

[Slide 4]

基研研究会「環境物理学 — 先端境界領域の創出へ向けて」

(2006.06.12-16)

- ・ 12日(月): 太陽系・宇宙の中の地球圏自然環境
- ・ 13日(火): 気象・気候と物質循環
 - 生物過程・化学過程との関わりを含む
- ・ 14日(水): 生物の世界認識と生物間相互作用
 - 複雑適応系の空間構造と時間発展 その1
- ・ 15日(木): 人間の環境認識とメタ認識
 - 複雑適応系の空間構造と時間発展 その2
- ・ 16日(金): 環境ストレスと非線形応答
 - 環境因子の生体影響, 化学物質, 電磁場等

[Slide 5]

京大基研研究会

環境物理学 — 先端境界 領域の創出へ向けて

2006年6月12日～16日

開会講演
蛭名邦禎 (神戸大学発達科学部)

[Slide 6]

[Slide 5] いろいろな、多岐に渡ったテーマで、宇宙から始まって、気象・気候、それからその中でも、単に物理的な気象・気候だけではなくて、生物過程をいかに取り込んでいくかというのが、今重要なテーマになっていまして、そのあたりの話題。それからそれが生命にどういう影響を及ぼすかという認知、認識の問題。そしてその日常的な環境ストレスに対して、生体がどう応答するか、そういう非常に広い範囲の研究会を開催しました。今日はどうしてこういう研究会を開催するように至ったかという、その動機などを中心に、お話をさせていただきます。

目次

- ・ 背景
- ・ 環境物理学とは
- ・ 保存則とは
- ・ 時間発展原理を求めて
- ・ これまでの経緯
- ・ 本研究会

[Slide 7]

研究会「環境物理学」の目標と目的

- ・ 「環境」を物理学の対象へ
 - 物理学の境界の拡張
- ・ 非線形非平衡物理の成果
 - 具体的な環境問題への投影、発展
- ・ ミクロからマクロの空間構造形成や時間発展予測に関する新たな問題群
 - 物理学の問題として、新たに取り扱う

[Slide 8]

[Slide 6,7] 以下では、そのときの研究会で使ったものの、ほぼ繰り返しのものではすけれども、環境物理学というものをどういうふうに捉えたらいいだろうかということに関する問題提起、そしてその物理学の歴史というか、物理学がこれまでどういうことを明らかにして、これから何を明らかにしていくべきかということについて、お話をさせていただいて、それをどういう経緯でどういう研

研究会に至ったかということで、話をさせていただきます。

[Slide 8] これはさっきのものと同じものなので。

湯川 秀樹

- ・ 基礎物理学研究所の役割
- ・ 基礎物理学とは、・・・
基礎がぐらぐらしているような物理学の分野の研究である。



朝永振一郎

- ・ 湯川記念館は単なるホールではなく、京大に局所化されない非局所な共同研究の場である
- 基礎物理学研究所開所式典



[Slide 9]

[Slide 9] ここ基礎物理学研究所で開催させていただいたのですけれども、これは湯川さんの言葉で、「基礎物理学とは、基礎がぐらぐらしているような物理学の分野の研究である」。基礎物理学研究所とは、そういう研究をするところであるというふうにおっしゃったという、そういうところなので、まさにそういう研究を、我々はこれから始めようと。

[Slide 10]

[Slide 10] それからこれは朝永さんの言葉ですけれども、「湯川記念館は単なるホールではなく、京大に局所化されない非局所な共同研究の場である」という、これは基礎物理学研究所開所式典のときの言葉だそうです。

背景

物理学の世紀は終わったのか？

- ・ 20世紀は「物理学の世紀」
 - 偉大なる基本法則：相対論、量子論、統計力学、場の理論、・・・
 - 強力な応用：原子核物理、固体物理、化学物理、・・・
 - 新たな描像：最小要素の探求、繰り込み的見方の成立、・・・
- ・ 現状は：物理は人気を失いつつある？
 - 成功は過去のこと？
- ・ 学生の傾向の二分化
 - 社会的な関心 vs 論理的・数学的傾向
- ・ 社会に現れた新たな事態に対する学問の役割とは
 - 原子力、生命操作、環境問題、・・・
- ・ 物理は環境問題に対して、大きな役割を果たせるのか？
 - YES!

[Slide 11]

[Slide 12]

[Slide 11,12] さて、「20世紀は物理学の世紀」というふうによく言われます。もちろん我々がなぜ物理学を学び始めたかということ、相対論であるとか量子論であるとか、そういうものが出てくる、つまり基本法則みたいなものが新たに発見されるという時代であったと。さらにまた、それを深めていく、統計力学であるとか場の量子論というふうに進んでいく。それだけではなくて、それが現実に対してすごくインパクトを持つ。原子核物理学で、原子核の内部の出来事が、どういうしくみで何が起こるかということがわかる。また、固体物理学、あるいは化学物理学など、種々の応用に対してもすごくインパクトを持ち得たということです。それと同時に、物理学が提供する新たなものの見方というものが、いろいろな人々に対してインパクトを与えた。例えば20世紀後半ですと、繰り込みという考え方が、いろいろな面で非常に重要な考え方であるというようなことでインパクトをもたらした。「20世紀は物理学の世紀」というのは、いろいろな意味があると思えますけれども、そのような言われ方がなされます。

しかしながら、大学にいて学生を受け入れる立場で見ますと、あるいは高校での理科教育の現状などを見ますと、物理はどうも人気を失っているのではないかと。成功は過去のことであって、これ

から物理学というのはだんだん衰退していくのではないかというような心配も、大学にしていると感じることがあります。学生の傾向も、社会的な関心を強く持つ学生と、論理的、数学的な傾向を持つ学生とが二分化してしまうと感じます。社会的な関心を持つ学生は、必ずしも論理的な思考を好まない。逆に数学とか論理的な思考が好きな学生は、社会に対して目を開かないというような乖離が起こっている。

しかしながら我々が物理を学び始めたときに、先ほどの朝永さんであるとか湯川さんであるとかは、社会的な問題に対してすごく興味を持たれたし、そういう発言もなされた方であって、その両方の側面が必要なのではないか。

そういう、現在、社会で現れてきている新しい問題に対して、どうやって答えていくのかという、いろいろな問題がありますけれども、その中でも環境に関する問題というのは、今、世の中で大きな問題となっていますので、それに対して物理はどういう寄与が出来るのだろうかということを考え始めたのが、ひとつのきっかけです。

環境問題とは

- ・「地球温暖化」
 - － ホントなのかい？
 - ・「酸性雨」
 - － 日本むかしばなし？
 - ・「ダイオキシン」
 - － 誇大妄想？
 - ・「環境ホルモン」
 - － 消えかかった蜃気楼？
- － 『これからの環境論－つくられた危機を超えて』より

[Slide 13]

種々の懐疑論

- ・ Bjørn Lomborg: *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World* (2001)
- ・ 渡辺 正, 伊藤公紀, 林 俊郎 編集: シリーズ 地球と人間の環境を考える (日本評論社)
- ・ 槌田 敦: 『CO₂温暖化説は間違っている』(2006)
- ・ 池田 清彦: 『環境問題のウソ』(2006)

[Slide 14]

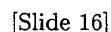
[Slide 13] 環境問題とは一体何かということで、いろいろな問題を思い浮かべることが出来ると思いますけれども、例えば地球温暖化っていうのは非常に有名な環境問題ですが、その地球温暖化というと、「ホントなのかい？」という声が出ます。それから酸性雨というと、それは昔のことじゃないの。今はそんなもんないよというような声が出てきます。それからダイオキシンというのは誇大妄想じゃないの？というようなレスポンスがあります。それから環境ホルモンっていうと、消えかかった蜃気楼であるというような、あるいは人心をかく乱した物質とかいう本も出ています。これらはそこに書いてある、『これからの環境論－つくられた危機を超えて』という渡辺正さんが書いた本の各章のタイトルからの引用なのですが、その中でいかにみんなが環境問題とって騒いでいることが、根拠がないものであるかということを議論している、そういうふうな状況です。

[Slide 14] そのほかにもいろいろな懐疑論が世の中にはありまして、特に懐疑論の中でも非常にきちんとした、かなり実証的な議論をしているのが、一番上にあげた Lomborg という人の本で、『環境危機をあおってはいけない』という日本語の訳が出ています。

[Slide 15] こういう現象自身が、実は環境問題の特性であると思います。環境問題の持っている性格の中に、そういう懐疑論が出たり、そうでない議論が出たり、非常にスペクトルの広い意見が出るような側面があるというふうに、この問題自身を捉える必要があるのではないかと。だから、「そんなことを言っちゃいかん」と、頭ごなしにそれを否定してしまってもだめであって、どうしてそういういろいろな考えが出てくるのかということ自身を考える必要がある。

どうしてかということのを少し考えてみますと、環境問題というのは、もちろん現実に関問題であることもたくさんありますけれども、多くの場合は、このままいったらどうなってしまうんだろう、

[Slide 15]



例えば生体影響の問題にしても、細胞に何か、例えば電磁波を与えたときに、そこで一体何が起るかということ、そう単純ではない。いろいろな状況で、いろいろな異なる結果が出てくる。ある人は、何か悪い影響が有ると言うし、別の人は無いと言う。そういう非常に複雑で、予測困難な問題にかかわっている。それは現在の自然科学の現状の力では、解答が出せるかどうかかわらないぎりぎりの、ぎりぎりというか、多分、限界を超えたところを問題にしなければいけない、そういう種類の問題である。しかもサイエンスだけに閉じていなくて、政治とか、それに非常に密着、密接に絡み合っている。そういうような場合に、じゃあサイエンスからはどういうことができるのであろうかということを、我々としては考えなければいけない。そうすると、先ほどの高安さんのお話にもありましたように、何が確かであるか、どこまで確実にものが言えるか、それをはっきりと述べるということが、サイエンスの役割ではないかということです。

[Slide 16] 1999年の『AIP ニュース』の「THE BACK PAGE」というところに、Freeman Dyson が「The Science and Politics of Climate」というエッセイを書いています。どういうことが書いてあるかと言いますと、1960年代にプリンストンで真鍋さんが大型コンピュータを回して、CO₂を2倍にすると温度が何度上がるという計算をしたわけですが、そのとき真鍋は「数値を信じるな」と言ったと、これは気候というものを理解するために、このモデルを動かしているのであって、これによってどういうことが起こるかを理解するのが目的である。でも政治家は、何度上がるのかという情報が欲しい。その何度上がるということを聞きつけて、それをすぐに政策に移すというようなことをする。そこが science と politics との非常に大きな違いである。science はそこがわからないと言うんだけど、politics はすぐに答えを出せと言う。そういう間に挟まって、科学者は一体どういうことをしたらいいのか。この Dyson の文章自身は、気候の問題というのは非常に複雑な問題であって、単なる力学的な問題ではないし、CO₂の扱いも単純ではないので、いろいろな基礎研究を積み重ねる必要があるということを、基本的にはここでは主張しています。

[Slide 17] その現状をまとめますと、もちろん社会的な要請は高い問題です。解決しなければいけないという意識、認識は社会の中で非常に行き渡っています。しかし、学問的課題としての定式化が不備であるようなケースが結構多い。つまり、政策を動かそうとすると、非常にショートカットな単絡した因果関係で、これはこうだからこうしなければいけないという世論を形成して、それで社会を動かすと。現実に対応しようとするとういうことが必要だというのが、politicianの知恵

というか、それはそれで、その業界のある種のやむを得ないやり方である。それに対して scientist は、そうは言っても実はこうなんじゃないかという割り切れないものを持っている、その割り切れない部分をもうちょっとちゃんと考える必要があるのではないか。だからそこは一面的な議論ではなくて、もう少し深めることが必要ではないかということを考えました。

現在の状況のまとめ

- ・ 環境問題解決への社会的要請
- ・ 学問的課題としての定式化の不備
 - － 単純化しすぎた問題提起
 - － 一面的議論
- ・ 異なる学問分野間のコンフリクト
 - － 共通言語の必要性 ⇒ 物理学への期待
 - － でも、そのためには、物理学の枠を広げることが必要
- ・ 興味深い実験・観測データの蓄積
 - － 新しい物理学の萌芽

[Slide 17]

湯川 秀樹



- ・ 基礎物理学とは何かというと、それはもともと簡単に自己限定できないものである。
新しい基礎的問題が、既知と未知の境界の移動に伴って、新しく生まれてくる。

[Slide 18]

それから、異なる学問分野がありますけれども、それらの間で conflict があります。そこで、共通言語が必要なのですが、いかんせん現在の物理学は、まだ全ての共通言語を提供するというふうにはなっていない。まだ枠組みを広げる必要があるのではないかということ。

それから今度は逆の側面なのですが、さっきの高安さんのお話では、データがすごく蓄積してきたので、経済物理学というのが成り立つようになったということなのですが、地球環境問題というのは、いろいろな国で関心が高いので、政府がものすごくお金を出すようになってきた。そうすると、衛星観測であるとか、大気とか海の観測であるとか、いろいろな観測が組織的になされるようになっていきます。あるいは生体に関しても、電磁波の生体影響に関するデータを EU なんかでかなり組織的に出すようになってきた。そうすると、今までは不十分であった部分に関して、複雑だと言って基礎科学では扱っていなかったような部分に対して、膨大なデータがこれからどんどん出てくるであろう。そういうところに、そういうデータを使ったいろいろな physics をつくることのできるのではないか、そういう考え方ができるかと思います。

[Slide 18] 基礎物理学というのは、それは自己限定できないものであって、新しい基礎的問題が既知と未知の境界の移動に伴って新しく生まれてくる。そういう生まれてくる素地があるのである。さっきの経済物理の話のように、ほら、ここにありますよということまではまだいえないわけですが、おそらくこれからそういう部分は、たくさん出てくるのではないかと考えています。

環境物理学とは

環境物理学 (狭い意味で)

- ・ 種々の環境問題への物理学の適用
 - － 種々の量を測定する計測法の原理を提供
 - ・ 分光学, 同位体利用, 質量分析, ...
 - － 問題の数学的モデル化の方法
 - ・ 力学的な方法, 場の理論, 確率過程, 統計的方法, ...
 - － 環境改善のための方法論
 - ・ 材料科学, 熱力学, ...
 - － ...
- ・ 応用物理学の一分野
 - － これらは、もちろん大事,
 - － 担い手を育てる教育も必要,
 - － だが, ...

[Slide 19]

[Slide 20]

[Slide 19] じゃあ、どういうふうにそれを考えたらいいかということなんですが、それにはいま

で物理学というのは一体何ができたかいうことをもう一回再整理して、それからじゃあ次のステップで何ができるだろうかということ、もう一回見てみよう。ちょっと物理学の復習みたいなことになります。

環境物理学とは(より根源的な意味で)

- ・ この世界で起こりそうなことで、何が確かで、何がそうでないか、を明らかにする
⇒ 物理学が果たすべき重要な役割責任を持って答えることが物理学者の務め
- ・ でも、従来の物理学で言えることには限界が、・・・
⇒ 物理学の境界を広げる

[Slide 21]

物理学者とは？

- ・ 「物理学」という一分野の専門的な研究者？
- ・ ものごとの根源的な問いを、徹底的に解明しようとする者？

[Slide 22]

[Slide 20,21] まず環境物理学というものを非常に狭い意味で規定しますと、応用物理学の一分野である。つまり物理学で得られた知見を、いろいろなところに適用して応用するという事です。例えば測定というのがどうしても必要になります。CO₂の量であるとか、オゾンの量であるとか、そういういろいろなものがどこにどれだけ存在しているかということ突き止めるということが、非常に重要なのですけれども、それを突き止めるための方法論というものは、物理学がずっと提供しているわけです。分光学であるとか、同位体分析、質量分析。さらに温暖化の問題なんかでも、地球システムを数学的にモデリングをして、それを扱う。それは基本的には力学から出発して、ナビエ・ストークスの方程式を土台にして、そういう力学の方法、そしてそれが空間に広がっている。そして場の理論、それから確率過程を導入したり、統計的な扱いをする、そういうモデリングの道具として、物理学は使われているわけです。実際にじゃあ、何か改良しようとしたときに、どうやってそれを改良するんだという手段、エンジニアリングのために、基礎科学としての物理学が必要である。これらはもちろん非常に大事で、当然やっていくべきことです。

こういうことの担い手を教育するということも、もちろん物理学者の仕事として重要なことなのですが、もう少し根源的な立場で考えてみると、結局はさっきのような不安というのは、いくら技術的に貢献しても、将来どうなるかわからないという社会的な不安というのが残っている、さっきの問題は解決しないわけです。したがって、物理学者が果たすべき役割として、一体何が確かで何がそうでないのかということをはっきりとさせていくということが、大事なのではないだろうかと考えます。

[Slide 22,23,24] ここでさっき、「もののことわり」という話がありましたけれども、物理学者というのは一体誰なのかというと、一つの考え方は、物理学といういろいろな分野の中の一つの分野があって、その一分野の専門家である、研究者であるという見方があります。しかしながら高安さんもあげられた「窮理学」という面からは、物事の根源的な問いを徹底的に解明しようとするという側面があると思います。ここではそういう立場で見たときに何が言えるかということです。世界で起こることについて、何か確かなことが言えるかということ、とうてい全てのことについて予言可能ではないわけですね。ですから何について予言可能であって、何について予言可能でないかという区切りを明確にしていくということが大事です。

そうすると、まず確実に言える、これは絶対に成り立つというようなことは一体何なのか。それは例えばエネルギー保存則というものがあります。これは場所を問わず、時、所を問わず、対象を問わず、あるいはミクロであってもマクロであっても成り立つ。生物であっても無生物であっても

成り立つというような、非常にユニバーサルな法則です。こういうものが物理学が提供し得る一つの重要なものである。

この世界で起こることについて、何か確かなことが言えるのか？

- ・ いつでも、どこでも、例外なく、必ず成り立つ「法則」があるか？
- ・ ある！
- ・ エネルギー保存則
 - 時を問わず
 - 所を問わず
 - 対象を問わず
 - ・ 無生物でも、生物でも
 - ・ ミクロでも、マクロでも
 - ただし、「質量＋エネルギー」保存則の形で

[Slide 23]

保存則とは？

[Slide 24]

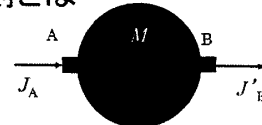
「エネルギー保存則」とは？

- ・ 「全てのエネルギーの総和は変化しない」
 - エネルギー保存の大域則
 - 実は、もっと強い形で成り立つ法則
- ・ 「あるところでエネルギーが増えたなら、そこへ向かってエネルギーの流入があったはず」
 - エネルギー保存の局所則

[Slide 25]

一般に保存則とは

次のようなもの:



$$\frac{dM}{dt} = J; \quad J = J_A - J'_B \quad (\text{一般に } J = \sum_i J_i)$$

M は「ストック」 J は「フロー」

局所的につじつまが合っているかどうかを確認すればよい
宇宙における総和を計算しなくてよい

[Slide 26]

[Slide 25] 保存則というのはどういうものかといいますと、もちろんみなさん方にはそういう説明をするまでもないのですけれども、「全てのエネルギーの総和は変化しない」という大域的なニュアンスを持った法則なのですが、もう少し実は局所的な意味で成り立っている。エネルギーは局所的に保存するということは、どこかでエネルギーが増えたら必ずそこに流入があったというかたちが成り立っているということになります。

[Slide 26] そうすると、[Slide 26] のような式で、一般的にはなされる。つまりあるところに外からインプットがあれば、その中にあったものが増えますよ、アウトプットがあれば、中にあったものが減りますよ、そういうかたちで保存則は理解することができる。そういうかたちの理解にすると、一般的に共有できる概念の共有が可能になります。だから物理の狭いジャンルでやっているのではなくて、非常に一般的なことを言っていると表現することができます。それはストックとフローという見方もできます。

[Slide 27,28] じゃあどういうものが保存量として扱えるかということを考えますと、要するにこの方程式で書けるものは全部、保存則である。つまりフラックスがちゃんと定義できて、インプットがあれば、持っているものが変化するというふうに捉えますと、例えばニュートンの運動方程式というのは、まさにその構造で、モーメントのフラックスがあれば、持っているモーメントが変化します。そういう見方が出来ます。これは今井功さんが強調した見方です。

ここに書いたのはファインマン・ダイアグラムですけども、これもそういう構造になっているわけですね。モーメントを受け取れば、モーメントが変化するという構造になっています。

エネルギーの保存則についても、エネルギーを受け取れば仕事というかたちでエネルギー、仕事率ですけども、エネルギーが時間変化します。そういうふうに見ると、熱力学の第一法則も、実

は同じ構造で書けるということがわかります。仕事のフラックスが入ったり、ヒートでフラックスが入れば、内部エネルギーが変化します。

何が保存するのか

- ・ 運動量
- ・ 角運動量
- ・ エネルギー
- ・ 物質

[Slide 27]

保存則の諸形

$$\frac{dM}{dt} = J$$

M , 保存量
 J , フラックス

Newton's Equation of Motion

運動量保存

Cf. 今井 功

Newton's Equation of Motion

エネルギー保存

The First Law of Thermodynamics

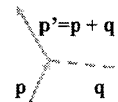
エネルギー保存

Cf. Bohren & Albrecht: Atmospheric Thermodynamics (1998)

$$\frac{dp}{dt} = F$$

$$\frac{dE}{dt} = J_w = F \cdot v$$

$$\frac{dU}{dt} = J_w + J_h$$



[Slide 28]

「物質保存」に関する注意

- ・ バリオン数保存が基本
 - 陽子 + 中性子 + ...
- ・ 粒子-反粒子の対称性の破れ
- ・ β 壊変はあるが、通常は「核子数」が保存
- ・ 「質量 → エネルギー」の転化に歯止め
 - 核反応 → ほぼ全質量が廃棄物として残る

[Slide 29]

保存則の弱み

- ・ 「不変性」を記述するが、変化を記述できない
 - でも、保存則から、可能な変化を限定できる
- ・ 変化の「方向」を決定できない
 - 二重構造をもった保存則
 - 「質量」のフラックスを決定する「運動量」自身が保存量
- ・ 方向と程度を決める「時間発展原理」が必要
 - 時間発展原理とは、フラックス決定則にほかならない
 - どのような時間発展原理が既知か

[Slide 30]

[Slide 29] そういうふうな理解をすると、万人が理解可能なかたちでいろいろな概念を共通に理解するようなコンビネーションができるということになります。何が保存するかということ、先ほど言いましたように [Slide 27], 運動量, 角運動量, エネルギーとかいうことがいろいろと議論の対象になるのですが、環境では物質の保存ということが、割と重要な概念になってきます。

物質の保存については、もうこれは言わずもがなのことなのですが、一つだけ簡単な注意をしておきます。つまり質量保存というのは、エネルギーに転化するから、エネルギーと質量を合わせたものがようやく保存するんだとよく言いますが、それはあんまり言い過ぎてはいけません。つまり我々が扱っている質量保存というのは、実はバリオン数保存を見ているので、そんなに変わることはできないわけです。例えば核反応があっても、全質量はほとんど変わらないわけです。ですから 99.9 % 以上が廃棄物になるということです。エネルギーを取り出しても質量はゼロにはできないということです。これはついでの話ですけども。

[Slide 30] そういうふうな保存則というのがいろいろなものに対して成り立つということが、物理学が非常に確実なものを提供するという上で、非常に重要な、これは本当に成り立つと言って構わない、誰に対しても言って構わないことだと思います。²

しかしながら、保存則の弱点というものがあります。それは、保存則は物事が変わらないということを述べているわけですから、どうすることが可能かという範囲を限定することはできますが、どのように動くかということを積極的に言い切ることは出来ないということになります。それ

²これは、物理学者にとってはあたり前のことですが、この簡単なことが、世の中には必ずしも浸透していません。そのために、とんでもない議論がまかり通ったりしています。物理学者は、こういうあたり前のことをきちんと示し続ける必要があります。

を言うためには、それに加えて、また何か別の法則が必要になるということになります。さっきの保存則のフラックスを決める時間発展原理が必要になる。そういう見方でいくと、どういう時間発展原理が今までわかっているかということを、ちょっと復習をします。

新たな原理を求めて

- ・ そのためには、既存の原理の再整理を
- ・ 何がわかっているかを知る
- ・ 「時間発展原理」について、既知のことは何か？

[Slide 31]

John Harte



- *Physicists seek simplicity in universal laws. Ecologists revel in complex interdependencies. A sustainable future for our planet will probably require a look at life from both sides.*
- Toward a synthesis of the Newtonian and Darwinian worldviews

» John Harte, *Physics Today*, October 2002
» <http://www.aip.org/pt/vol-55/iss-10/p29.html>

[Slide 32]

[Slide 31] そうすると、それについてわかっていないことがあれば、それは新たな研究の目標になるということになります。

[Slide 32] ちょっとこれも休憩のつもりで入れたのですが、『Physics Today』の2002年に、John Harte という人が書いた「Toward a synthesis of the Newtonian and Darwinian worldviews」というアールクルですけれども、物理学者は非常に簡単さとか universal laws を求めます。Ecologists は、複雑なものの関係し合い方のようなものを明らかにしようとします。Sustainable future というのは、その両方の見方が必要ですということですね。ですが、我々は物理学者のサイドに立っているんで、一般的なシンプルな見方というもので、どこまで理解出来るかということをもう少しやってみようという。でも向こう側の考え方も必要だということは認識しながら、もう少しやってみようということです。

時間発展原理

[Slide 33]

何が既知か (1)

- ・ 運動量のフラックスは力である (Cf. 今井 功)
 - ⇒ 「力の法則」= フラックス決定則
 - ・ i.e. 力の法則とは、保存量である「運動量」の時間発展原理を与えるものである。
 - ミクロには、「運動量受け渡し」と「エネルギー受け渡し」とは一体
 - ⇒ ミクロ(素過程)では運動量・エネルギー受け渡し則
 - マクロでは、「運動量受け渡し」は隠せないが、「エネルギー受け渡し」は隠せる (多自由度の中に埋もれる)
- ・ 「運動量」自身が、「物質」のフラックスを与える
 - ガリレイの原理

[Slide 34]

[Slide 33,34,35,36,37,38] さて、何が既知かという、運動量のフラックスを決める受け渡し則は、物理法則として確実に成り立つものとして、我々は知っています。それはニュートン力学であったり、いろいろとあるわけですが、で、運動量の受け渡しが力の法則ということになるわけですが、それを知っていると、それから運動量自身が物質移動のフラックスを決める法則になっていますので、運動量があれば、物質が次の瞬間、どこにいくかが予言できる。そういう2段階のかたちで時間発展が予言できる。そういう構造になっています。

そうすると電磁気学というのも、実は運動量とエネルギーの担い手である真空との間で、運動量、エネルギーを受け渡すという理解ができ、あるいは真空の中で運動量とエネルギーが違う場所に受け渡されるというふうに理解することができます。こういう考え方を力学原理と呼ぶことにし

ます。それは要するにエネルギーと運動量と一体になるわけですが、その受け渡し則を決定する原理というものを、力学原理と呼ぶことにします。そうすると我々が知っている力学だけではなくて、量子力学も実はそういう構造をしているし、場の量子論もそういう構造をしているし、基本的な力についての理解が必要だというのも、そういうことになっている。

何が既知か (2)

- ・ 電磁気学も、真空の「運動量・エネルギー受け渡し問題」として理解できる (今井 功)
 - 真空も運動量とエネルギーの担い手になれる
 - 荷電粒子は、真空から運動量とエネルギーを受け取れる (⇒ ローレンツ力)
 - 真空中を、運動量とエネルギーは伝播できる
 - ・ 局所的な保存則が満たされる
 - ・ 電磁波

[Slide 35]

「力学原理」

- ・ 運動量(とミクロのエネルギー)受け渡し則によって時間発展が決定されることを「力学原理」と呼ぶ(ことにする)
 - 力学 → 量子力学 → 場の量子論
 - 力の法則: 4つの力, 力の統一, ...
- ・ 力学原理の限界
 - 決定論的カオス
 - 多体問題 ... 莫大な自由度
 - 初期条件を決定する能力がない

[Slide 36]

力学原理を超えて

- ・ 多自由度系を扱うには
 - 確率・統計的な扱い
 - ・ 個々のものは不確定でも、統計的に確実ならよい
 - ・ 保存則と相性がよい
 - 力学的混沌を積極的に利用
 - ・ エルゴード性, 等重率
 - 巨視的レベルでの確実な法則の発見
 - ・ 熱力学第2法則

[Slide 37]

統計原理

- ・ 平衡状態に関しては、確実な知見
 - 等重率に基づくギブスの統計力学
 - ・ 初期条件を知る必要がない
 - マクロに確実な法則: 熱力学
- ・ 統計原理の可能性
 - 非平衡状態の記述
- ・ 統計原理の限界?
 - 生命現象が記述できるか?

[Slide 38]

しかし力学原理の限界というのがあって、ひとつは決定論的なカオス、小数自由度であっても、先がどうなるかわからない、あるいは多体問題の莫大な自由度の下で、将来を予測するのは難しいということがあるのですが、もう一つ重要な点は、初期条件を決定する能力を持っていないということが、力学原理の一つの問題です。それを超えるために、多自由度系の扱いとしては、確率、統計的な扱いで、統計法則を用いる。力学的な混沌を積極的に利用することで、統計力学的な考え方、それを巨視的なものに適用することで、物体の熱力学的ふるまいがわかるということで、そういう記述が統計原理と言うことができると思います。

[Slide 38] 統計原理で平衡状態については非常によくわかっているし、非平衡についても、かなり研究が進められている。しかしそれで全てが明らかにできるかどうかということ、ちょっと考えてみたい。

[Slide 39] 生命現象を統計原理の範囲で理解できるのかどうかということを考えます。基本的にエルゴード的なもので生命現象が理解できるかといいますと、エネルギー的に等価な二つの可能性のうちのどちらか一方を何らかのかたちで prefer するようなものを積極的に利用するということが生命現象だとすれば、それはその破れというところを使っている。それは一体どういう基本原理によって起こっているのかということを知る必要がある。それは細胞の中で何が起こっているかというようなことを明らかにするということになります。それから情報としてどういう意味を持ったことがそこで行われているかということ、それがさらに地球史的なタイムスケールでの時間発展、進化ということになるわけですが、それが一体どういうふうになっている

のかということを見る。そこに大きな今後の課題があります。

新たな原理を求めて 1

- ・ 生命情報原理
 - エルゴード性を破る「情報」
 - ・ エネルギー的に同等な2現象のうち、圧倒的に高い確率で一方を起こす仕組み
 - ⇒ 情報+対称性の破れ
 - 細胞内情報伝達・発現過程の基本原理は？
 - 情報の発生と取捨選択の基本原理は？
 - ⇒ 進化的過程
 - ・ 地球史的なタイムスケールでの時間発展

[Slide 39]

新たな原理を求めて 2

- ・ 生命情報原理だけでは足りない？
 - 人間の「意図的行動」は、細胞内情報伝達過程に支配されるのか？
 - 人間の意図的行動の根源は？
- ・ 意図的行動原理
 - 環境問題を理解する上で非常に重要
 - “anthropogenic effects”をもたらすもの

[Slide 40]

[Slide 40] じゃあそれが解明できたら OK かということ、そういう生物的な細胞レベルでのメカニズムがわかったとしても、最終的に人間の意図的な行動というものがありますので、それは一体どのようにして決まってくるかということまで、明らかにしないとイケないのではないかな。特に環境問題で「anthropogenic effects」と言われますけれども、人為的な影響、例えばそこにある石油を掘って、こっちに移動するかしらないかということは、何によってその物質移動の時間発展が決まるかということ、誰かがそれをしようと思うか思わないかということで決まってくる。それによって、気候システムの変化に影響を与える可能性がある。そういうことを組み込んだような物事の見方をしなければいけない。

時間発展原理の現状

- ・ a) 力学原理
 - かなり確立
- ・ b) 統計原理
 - 非平衡現象に関して鋭意追究中
- ・ c) 生命情報原理
 - まだまだ混沌？今後期待
- ・ d) 意図的行動原理
 - これからの重要課題

[Slide 41]

村瀬 雅俊

- ・ 歴史としての生命
 - 自己・非自己循環理論の構築



[Slide 42]

[Slide 41] そこまでを整理してみますと、力学原理についてはかなり物理でわかっていて、統計原理についてもわかっていて、非平衡現象に関しては、かなりの研究が進んでいる。しかしその先の生命情報に関しては、まだ混沌とした状態で、これは今後も物理学者がそこに入っていく一つのターゲットなのではないかと考えられます。さらに意図的な行動がどのようにして決まるかということまで扱う必要があるのではないかということです。

これらは、従来は非常に難しい問題として避けてきた問題なのですが、先ほどの最初の環境に関する問題に対して、何が起こり得て、何が起こり得ないかということをも明らかにしていくということからは、こういうことを明らかにする必要があるんじゃないかということになります。

[Slide 42] 例えば村瀬さんなんかはそういう一つの試みで、生命現象を理解するということをやってきた。

Erwin Schrödinger

- ・ われわれは、すべてのものを包括する統一的な知識を求めようとする情熱を、先祖代々受け継いできました。
 - ・ 学問の最高の殿堂に与えられた総合大学(university)の名は、古代から幾世紀もの時代を通じて、総合的な姿こそ、十全の信頼を与えられるべき唯一のものであったことを、われわれの心に銘記されます。
- 『生命とは何か』(1944)、岡・鎮目訳(1951)



基研研究会「環境物理学 — 先端境界領域の創出へ向けて」の経緯

[Slide 43]

[Slide 44]

[Slide 43,44] このように、環境の議論をする上では、いろいろな分野のことが必要になってくるわけです。それを、総合的にいろいろなことを扱うことが必要だということで、Erwin Schrödingerの『生命とは何か』の序文の中に書かれている、「統一的な知識を求めようとする情熱」というものがありますけれども、そういうものと繋がってくるものがあるのではないだろうかということが、ちょっと長くなりましたけれども、そういう経緯の下で、先端境界領域の基礎科学としてのこの環境物理学の研究会を始めようということです。

物理学会とその周辺でのできごと (勝木資料による)

- ・ 第1回理研シンポジウム:「物理学者にとってのエネルギー問題」(1977)
 - 槌田敦、豊田利幸
- ・ 槌田敦:『資源物理学入門』(1982)
- ・ エントロピー学会創設(1983)
- ・ 勝木渥:「環境問題への(物理学の)寄与」(1994)

[Slide 45]

その後の経緯

- ・ 日本物理学会における「環境物理」分科の提案(2001年)
 - 加納誠ほか、世話人会の活動
 - 2003年より、領域13の中に「環境物理」分科開始
- ・ 基研研究会「電磁場と生体への影響」
 - 世話人代表:村瀬雅俊
 - YITP-W03-01, W-04-01, W-05-01
 - 物理学以外の分野との共同研究の進展

[Slide 46]

[Slide 45] 環境問題に対する物理学者の取り組みというのは、少し歴史がありまして、1977年に理研シンポジウム「物理学者にとってのエネルギー問題」というものが開かれたということです。そのあと、槌田敦さんの議論とかエントロピー学会の創設とか、勝木渥さんが物理学会として何ができるかというようなことを議論したという歴史があります。

[Slide 46] 最近の動きとして、2001年から、加納誠さんの提案により物理学会の中に環境物理というものを立ち上げたらどうかということで、領域13の中で分科会を開始しました。それから2003年から村瀬さんが中心となって、「電磁場と生体への影響」という基研研究会を開催しました。ここで重要なのは、物理学とその周辺領域とのインタラクションがすごく重要だということで、その共同研究を進展するのきっかけをつくらうということです。その結果として、どういうことが出てきたかということ、たとえば電磁場の生体影響の特性として、いろいろなことが明らかになってきた。つまりいままで電磁場の生体影響ということに関しては、生体影響が有るといふのと無いといふのが非常に混乱した状態である。それはデータの扱い方とか状況設定とかのキャラクタリゼーションがなかなかコントロールされていないということがあります。つまり物理実験としてコントロールするということと、生物実験としてコントロールするということの両方をコントロールした実験をしないと、そのキャラクタリゼーションがわからない。例えば時間的な変動に関して、い

いろいろな振動数を分解して与えても、実際の時系列がどうなるかということによって変わってきたりするわけです。そういうものを「ウインドウ効果」といったりします。それから細胞の型によって、どういう感受性があるかということが違う。それから時間変動のいろいろなものとの間に関係がある。その生体のリズムと地球環境の間に、何か関係があるのではないかと。そういう考え方で、村瀬さんが電磁場が作用するときに、ホルモンのような作用の仕方をするのではないかと。という考え方を示して、それに基づいたいろいろな議論が、具体的な細胞レベルの中での議論を進めていくということが行われつつあります。

基研研究会とその発展 (2003-)

- ・ 電磁場の生体影響特性の明確化
 - ウインドウ効果／細胞型による感受性の違い／時間変動との相関 (生体リズム, 地球環境)
 - 電磁場ホルモン作用説 (村瀬)
- ・ 物理学・生物学・医学・工学・宇宙空間物理学の研究者ネットワーク形成
 - 日本臨床環境医学会 (2005)
 - 「電磁波による健康障害」シンポジウム
- ・ 生物環境に関する研究の展開
 - ソウリムシ行動への電磁場の影響 (東北大, 東北学院大, 大阪大)
 - 環境電磁波の生細胞への影響評価法開発計画 (神戸大)
- ・ 日常閉鎖環境における人工電磁場のシミュレータ開発・実測実験

[Slide 47]

今回の研究会へ

[Slide 48]

それから物理学, 生物学, 医学, 工学, 宇宙空間物理学の研究者の間に, ネットワークを作って, その電磁波がどういうふうに健康障害をもたらすのかというあたりについて, 明らかにしつつある。さらにもうちょっと日常的なのですけれども, 例えば携帯電話の電磁波がどういう影響を持ち得るかという基礎物理学の, 本当に簡単な物理学のことなのですが, 閉鎖空間の中で電磁波がどういうふうに広がるかということが, なかなか社会的に認知されていないということがあるので, それはシンプルな物理で示せることを東北大の本堂毅さんたちが示している, という事などが, その 2003 年からの展開としてありました。

基研研究会「環境物理学」

- ・ 基研研究会として提案 (2006年1月)
- ・ 基本方針
 - 各専門領域, 関連諸分野の研究者を招き交流
 - 物理学の記述により環境科学全体の共通言語化を図る
 - 環境科学としての物理学の可能性を明らかにする

[Slide 49]

基研研究会「環境物理学」

- ・ 12日(月): 太陽系・宇宙の中の地球圏自然環境
- ・ 13日(火): 気象・気候と物質循環
 - 生物過程・化学過程との関わりを含む
- ・ 14日(水): 生物の世界認識と生物間相互作用
 - 複雑適応系の空間構造と時間発展 その1
- ・ 15日(木): 人間の環境認識とメタ認識
 - 複雑適応系の空間構造と時間発展 その2
- ・ 16日(金): 環境ストレスと非線形応答
 - 環境因子の生体影響, 化学物質, 電磁場等

[Slide 50]

[Slide 48,49,50] そういうことをバックにして, 今年の 6 月に新たな研究会を行いました。これはさきほどの, 最初に挙げた 5 日間のメニューなのですが, ここでやはり, 地球が置かれた状況というのを, 宇宙の中で, 太陽系という中で, 地球が置かれた状況, つまり太陽から地球にくる, ある種の影響, どういうふうに太陽が地球に影響を与えているかというところから理解をしていく必要がある。それが地球の中で, 気象現象とか気候の問題に繋がりますけれども, そのなかで生物的な植生がそれに影響を及ぼす。水の循環に対して植物があるということが, 非常に大きな影響を持つ。あるいは海の中のプランクトンが海のダイナミクスに対して大きな影響を持つというよ

うなことを含めて理解する。

今度はもう少し人間に近いところで、生物が世界をどういうふうに認識しているかということ、理解していく必要がある。同じような環境に置かれても、環境をどう認識するかということの違いによって、影響が違ってくる部分がある。そこを捉えないと、単に物理系の中にある電場をかけたらどうなるかというような実験のセッティングだけでは、結果が得られないような問題である。もうちょっとミクロなところで、環境ストレスが細胞レベルで一体何を起こしているのかというようなことを総合して、理解をしていく。

1日目:
太陽系・宇宙の中の地球圏自然環境

- ・大陸スケールの気候・生命圏相互作用 — 物理的地球と生物的地球の統合をめざして (安成哲三)
 - 太陽・大気圏・水圏・生命圏の相互作用
 - 生命圏が環境を維持・形成
- ・宇宙線・雲・雷の関連性と超高層雷放電の地球大気へ与える化学的インパクト (佐藤光輝)
 - Sprite, Elves, Blue Jet, ... メカニズム, 化学的インパクト
 - 雷・気候・宇宙線のリンク
- ・総合討論 1
 - 環境影響のウィンドウ効果
 - 「モデル化」が内蔵する問題
 - 何を信用したらいいのか?

[Slide 51]

2日目:
気象・気候と物質循環の物理

- ・気候システムの物理とモデリング (渡部雅浩)
 - 気候システム(流体力学ベース+パラメタ化)/リアリティ/課題
 - 温暖化予測と熱帯対流活動の組織化
 - 再現・予測するモデルと理解するためのモデル
- ・物理気候モデルへの陸域生態システムの導入と圏間相互作用研究 (馬淵和雄)
 - 植物と大気間の物質交換・エネルギー交換/大気運動への抵抗
 - 植生組込モデルBAIMによる数値実験/植生の気候への影響評価
- ・海洋大循環の熱力学とその応用 (下川信也)
 - 熱力学とMEP/MEPの理論的背景
 - 海洋大循環の力学モデルとMEP/その他の応用(長期気候変動・生命系)
- ・緯度系列に沿った土壌分解系の変化 (武田博清)
 - 生態系の2つのリサイクルシステム/光合成・土壌中分解系
 - トロピカルによる解析/組成変化(糖・セルロース・リグニン):C/N比/寒帯・温帯・熱帯
- ・総合討論 2
 - 気候・生命圏は環境を変える/ガイア/光合成
 - 余田: 気候変動・変化の理解のための数値モデル/メタ・モデリング (→ 理解, 認知)
 - 塩谷: 大気微量成分の輸送と化学変化 (メタン → 水)

[Slide 52]

[Slide 51] 少し中身に立ち入った議論になるのですが、そのような議論を、この研究会で行いました。この報告は、近いうちに出す予定ですので、中身に関してはそこで見ていただければと思います。

[Slide 52] 非常に興味深かったのは、2日目の気象と気候に関するセッションで、気候というものにどういうふうに対応したらいいのかということがかなり議論になりました。ここでは気象学の専門の方とか、地球物理の専門の方とか、生態学の専門の方など、いろいろな分野の方が集まりまして、気候というものをいろいろな側面から捉えていくという議論をしました。そこで非常に面白い議論がありました。つまり気象学の研究者は、要するに現業的な要求が大きいので、つまり答えを早く出さなければいけないという要請のなかで仕事をしている。ですからどうなるのかということ、とにかく答えを出すということを一所懸命やっている。そうすると、その根拠について、じっくりと非常に詳しく追求している余裕がないということなのです。

こういう研究会で、そういうところを根掘り葉掘り議論をすると、そういう議論をあまりしたことがなかったというような話が出てきます。そうすると、物理屋は何が出来るかということ、例えば地球温暖化とか気候変化の問題に対して、例えばスーパーコンピュータを使って何年後に何度上がるという議論ではなくて、そこどころに、どこにわかっていないところがあって、そこをどう考えたらいいのかということ、一步後ろに下がったところで地道に足場を固めていくと。

そういう作業に参画することが出来るし、そのへんをやらなければいけないということが、この議論で出てきた印象的なことです。

[Slide 53] 3日目には、生物の世界認識と生物間相互作用という観点から2つの記念講演も含めて興味深い議論がなされました。

[Slide 54] 4日目には、脳・身体・環境のトリレンマということで、どういう現象が起こるということを理解しなければいけないということで、医療人類学とか社会学とかというようないろいろな側面から議論がなされました。

3日目:

生物の世界認識と生物間相互作用
複雑適応系の空間構造と時間発展 その1

- セッション 3A
 - 進化学と生態学から環境問題へ (山村 則男)
 - 植物揮発性物質が媒介する生物間ネットワーク (高林 純示)
- 総合討論 3 (~13:00)
- 湯川・朝永生誕百周年記念講演会午前の部(9:15-10:30)
 - 日高敏隆博士(RIHN):「主体とイリュージョン」
- 湯川・朝永生誕百周年記念講演会午後の部(15:30-17:00)
 - 北山 忍 博士 (U.Michigan):「文化と自己:心理学からのアプローチ」

[Slide 53]

4日目:人間の環境認識

複雑適応系の空間構造と時間発展 その2

- セッション 4A
 - はじめに:脳・身体・環境のトリレンマに挑む (村瀬雅俊)
 - 視覚意識のダイナミズム (村田 勉)
 - 環境認識と文化差 (村本由紀子)
- セッション 4B
 - ト라우マと医療人類学 (宮地 尚子)
 - メンタライジングの発達 (板倉昭二)
- セッション 4C
 - デジャヴとしての創発 — 生成認知意味論 (郡司幸夫)
 - 複雑性における<社会性> (大沢真幸)

[Slide 54]

5日目:環境ストレスと非線形応答
(環境因子の生体影響, 化学物質, 電磁場等)

- セッション 5A
 - はじめに (本堂 毅)
 - 疫学論文の批判的吟味について (津田 敏秀)
 - 臨床環境医学の現在 (坂部 貢)
- セッション 5B
 - 環境毒性の分子生物学 (石堂 正美)
- セッション 5C
 - 生体電子物性と環境応答 (田中 成典)
 - BZ反応と磁場の効果 (北畑 裕之)
- 総合討論 5
 - 本堂 毅, 山田 耕作, ほか

[Slide 55]

朝永振一郎

- 物理学は普遍的な法則の追究に向かって一途に進み,そして非常に発展した...
- しかし,われわれのすぐ身近にある自然現象というのは,そういうアプローチの仕方ではとらえられるものだけじゃない...
- ベールをはがさないで,ベール自身の性質をもっとよく調べなければ...
- 「物理よもやま話」(1973)



[Slide 56]

[Slide 55] 最終日の5日目には,今度は生体への影響について,その疫学的なものと分子生物学的なものとの間にどのような関係があるのかというようなことをなんとか繋いでいこう.先ほどのミクロとマクロのあいだをどうやって繋ぐかという問題があるのですけれども,生体の応答に対して,そこそこには大きなギャップが開いていて,そこを繋いでいく必要があるということだと思います.

[Slide 56] そういうことを通じて,ここの研究会で取り扱ったことの一つは,物理学は普遍的な法則の追究に向かって一途に進み,そして非常に発展した.しかし我々のすぐ身近にある自然現象というのは,そういうアプローチの仕方だけでとらえられるものではない.ベールを剥がさないで,ベール自身の性質をもっとよく調べる必要があるのではないかということで,それは我々が今までいろいろな,さっきの研究会のようなことで,いろいろな話を聴いて,地球の中では,どういうふうになっているのかということについて,あまりにも知らなかったことを認識する.そこにはこれから我々が参画しなければいけない研究課題というものが,いろいろとあるということがわかってきました.

[Slide 57] これは Richard P. Feynman のものです.これは当日,あとで懇親会があったので,これを出したのですけれども,物理,生物,天文学,心理学と分けているけれども,自然はそれを知らないのだから,それを一つに戻そうじゃないかという言葉です.

[Slide 58] これはケンブリッジの地球流体力学者 Michael McIntyre さんが挙げているものです.そこでいま,我々が課題としなければいけない,非常に複雑なシステム,いろいろと難しいシステムがいっぱいある.それはなかなかよくわかっていないということで,それがいくつか列挙され

ています。その難しさの簡単なほうから並べてみますと、まず原子核、それから水の分子、タンパク質の分子、政府のコンピューターシステム、それから一匹のバクテリア、真核生物の細胞の一つ、線虫、昆虫の一匹、そしてほ乳類の脳、それから生態系の中に人工的なゲノムが入った場合と入らない場合のそれぞれの生態系、そして人間の社会と挙げて、一番最後に気候システムというのが挙がっています。このへんはすごく複雑なシステムだと思うのですが、気候システムというのは、それにも輪をかけて非常に複雑なシステムであるということになっていると思います。

Richard P. Feynman



- ・ ある詩人がこう言った・・・“グラス一杯の酒の中に全宇宙がある。”
- ・ ... 便宜のために、あさはかな人間が、この宇宙たる一杯の酒を——物理学、生物学、天文学、心理学等にわけたとしても、自然はそれを知らないということを忘れてはならぬ！
- 『ファインマン物理学 1 主として力学』 (1965) 坪井忠二訳(1967)

[Slide 57]

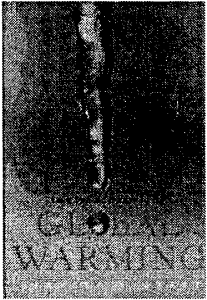
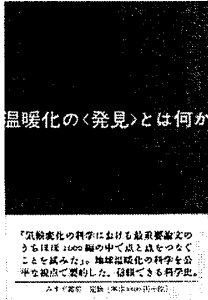
Michael McIntyre



- When exploring unknown territory, or trying to understand complex systems—say, roughly in order of complexity,
 - an atomic nucleus,
 - a water molecule,
 - a protein molecule,
 - a government computer system,
 - a bacterium,
 - a eukaryotic cell,
 - a nematode worm,
 - an insect,
 - a mammalian brain,
 - an ecology with or without artificial genomes,
 - human society,
 - the Earth's climate system
- — we are confronted with an ever-branching tree of possibilities.

<http://www.atm.damtp.cam.ac.uk/people/mem/>

[Slide 58]

Spencer R. Weart (2003) The Discovery of Global Warming
(『温暖化の〈発見〉とは何か』、みすず書房、2005)

[Slide 59]

湯川 秀樹



- ・ 基礎物理学とは何かというと、それはもともと簡単に自己限定できないものである。
- 新しい基礎的問題が、既知と未知の境界の移動に伴って、新しく生まれてくる。
- そういう意味で、いつまでも若さを保ちうるし、保っていなければならない、いったん老化しても若返りうるし、また、若返るための努力を続けてゆかねばならない学問である。

[Slide 60]

[Slide 59] これは最近あらわれた本で、『温暖化の〈発見〉とは何か』という本なのですが、これはちょうど気候変動における『スピンはめぐる』みたいな感じの本で、これまでどういう研究が、どういう人たちによってやられてきたかということを書いています。この本は非常にいい本なのですが、最終章については非常に不満があります。つまり現代、1990 年以降のことについて、まだ十分に我々はこの問題に対してどう捉えたらいいかということが練られていないという感じがします。つまりそこまでは scientific にどこまで明らかになってきたかということが議論されているのですが、1990 年代以降は、それをどのようにして合意に達するかという議論になってきます。ですからサイエンスではここまでしかわからない、先はもう合意の問題である、それが 1990 年代以降の話なのです。そここのところに対して、どこまでもう少し、もう一歩明らかにするかということ、地道にやっていくという必要があるのではないかと思います。

[Slide 60] これが最後ですが、先ほどの境界が新しく生まれてくるということなのですが、そういう意味で、「基礎物理学というのは、いつまでも若さを保ちうるし、保っていなければならない。いったん老化しても若返りうるし、また、若返るための努力を続けてゆかねばならない学問である」。そういうふうなことを環境物理学ということで、いろいろと展開していきたい。気候

の問題というのは大きな問題の一つだと思いますが、それだけではなくて、生体影響の問題であるとか、いろいろなフィールドがあります。そしてそれぞれのフィールドで精密測定がどんどん増えています。そのデータがどんどん蓄積されてきているので、その中にいままで見えなかったものを見るチャンスというのが、いろいろなところで出てくるのではないかと思います。ぜひ多くの物理学者の方が、こういう問題を、評論家的に論評するのではなくて、自分の問題として捉えていただくと、今までにない前進があるのではないかと考えています。興味を持った方には、私たちと一緒に、研究会とか、その他の機会にぜひ議論などができればと思います。どうもありがとうございました。

村瀬：どうもありがとうございました。ご質問、ご討論、お願いします。はい、佐藤先生。

佐藤_文：コメントですが、先ほどの朝永さんのベールという、ベール自身の、あれの講演の、実はテープがありまして、京都での、岩波の講演会だったらしいのですが、全編非常にきれいなテープが残っております。あなた（村瀬さん）コピー録ったね。返してよ、今日。ここで湯川・朝永 100 年の講演会をやったときに、休み時間に聴かせていたのですが、僕の話よりは朝永先生の話のほうが。ですから村瀬さんがコピーを録って、最近はあるけれども、文章にはなっているけれども、音で聴くと非常に説得力があります。ちょっとあそこのベールという話の前には、ノーベル賞のデザインの話から始まるのです。女神のベールを剥ぐと。ずいぶん失礼なことをやっていますよね、という朝永さんの話が、物理学者は失礼なことをやっていますよね、人のベールを剥ぐというような。そんな話からこうきて、それで剥ぐだけじゃなくて、ベール自身の研究をしないといけないのではないかということに繋がるのです。あのベールというのは、女神の、美人の、昔の人がベールで隠しているのを剥ぐと、物理学者はそういうえげつないことをやってきたんだという話が先にあって、ベール自身という。いずれにしろテープがありますので。あなた今日返してね。僕、忘れかけていた。

村瀬：今コメントがありましたテープですが、当研究所の図書室で保管していまして、そこで業者に今ダビングを委託しています。ちょっと時間がかかって、今日はお返しできないのですけども。ちゃんと今、記録していますので。

坂東：今のエネルギー保存の法則、物理学の一番大事な法則やというので、いくつかの保存則を出されたのですが、私は環境問題を考えるとき、もう一つ、やっぱりエントロピーの法則が大事なんじゃないかと。それがないと、なかなか資源問題、廃棄物問題が解決しないだろうし、今のリサイクルというのは嘘ばかり言っていますので、そういうところでエントロピー的にそういうふうになんと計算できるのかということが非常に大事なんじゃないかというのが一つ、コメントなんですけれども。

もう一つは、環境問題には、何て言うんですかね、三つの段階があると思っているのですが、それは初期の段階は原因がわからなかった時代。それから原因がわかって対策を立てられる時代、それから先のことを予測できる時代という。科学の発展に応じて、そういう段階を踏んできていて、我々は今第3段階に至っている問題もでてきた時代だと。そういうときの、先の予測ということに対して、政治とか経済とかいろいろ、それも一つの社会現象と見ますと、それがどういうふうに対応していくべきかとかいうか、プリンスプルとかいうか、そういうものですね。日本ではやっぱり武谷さんとかそういうところが、安全性というものをどういうふうに提示するのかとか、いろいろとやっておられると思うのですが、やっと最近ヨーロッパなんかでも、予防原則とかたちで確立しつつありますよね。ですからそういう観点で、科学が発展したらものすごく環境が悪化するという話が多い中で、そういうところをきちんと踏まえてやっていくことが大事なんじゃないかなと思うのですけれど。

蛭名 : エントロピーに関しては、全く重要だと考えています。一応、統計原理というやつの中に含まれているということで。もちろん個々の具体的な問題では、エントロピーの概念を使うことが非常に重要だということになりますし、私たちの研究でも光合成の収率をどう計算するかということをやっていますけれども、そこではエントロピーの生成率がどうなっているかということを考えています。

坂東 : もう一個だけ。先ほど経済物理学では就職率 100 % という話が出たのですけれども、環境物理学はちょっと無理かなという気がして、そこらへんはどうですか？ただ、うちなんかは文系の大学で私は一般教育をうけてもっていますが、ゼミは持たせてもらっているのです。ゼミ生が環境問題にずっと取り組んで、実際に名古屋市なんかと提携して、いろいろなとりくみをしていると、結構就職を早く決めてくるんですよ。それでもものすごく有利なんだけれども、大学院まで行ったら、どういうものなのでしょう。

蛭名 : 環境物理学で就職したというのは今のところないと思いますけれども、我々のようなところだと、具体的な問題について興味があって、かなり現実を知っていると。しかも物理的な、割とファンダメンタルなところからものを議論するという訓練も積んでいるというのは、いろいろなかたちで適応ができるというか、いろいろなかたちで社会に入っていくことができるのではないかと思います。

山田 : 僕も研究会に参加しているのですが、今の議論を踏まえて感じるのは、僕の聴いているイメージはもう少しシビアで、ちょっとのんびりしておられるんじゃないかというような気がするんです。そういうことで僕は定年のときの最終講義を、物理の話はしないで、一つは僕は、今一番問題になっている原発の耐震設計の問題なんですね。ずっと。実際、小浜原発で観測すると、耐震設計で安全だと思っていた最大の想定地震よりも大きな振幅、振動が観測されて、どうしたらいいかというのは、耐震設計は今、大問題になっています。実際、地震ではどう壊れるのかというのは、そのマグニチュード、エネルギーだけでは決まらなくて、実際にゆれ方の周波数分布とか、そういうところが問題だと。

それからもう一つ、僕が深刻に思うのは、さっきの Lomborg とかいろいろと言っているのは非常に無責任な本であって、そういうところをやっぱり突き詰めて、本当かどうかというのをやっぱり我々は真剣に、文献だけでも真剣に追求する必要があるし、電磁波の生体への影響についても、誰が真面目な実験をやっていて、どこまでのものかというのは、ある程度の論文を読めばわかることなのだと思います。

今の環境ホルモンの、幻惑させたとかいう感じの説明がありましたけれども、基研で研究会をやってきた中で、黒田洋一郎さんとか田代朋子さんなんかの話だと、マイクロアレイとかいうので、神経のシナプスが伸びていく段階に PCB が入ると、転写のメカニズムが狂いますよということを、ミクロに証明されていると。僕はだから、そういうことが行われると、中西準子さんの「環境ホルモンから騒ぎ」というものもあるわけで、あれはけしからんと思って、あれを撤回してもらわないといけないじゃないかと思うような、そういうような類でですね。

それが文科省のような発表でも、発達障害というのは 6 % ぐらいであるもので、それはだから 4 人家族だと、24 % の国民が影響を受けると。いろんな環境周りですね。だからそれはもう教育にしても、将来の、未来の問題にしても、本当かどうかとか、そういうことが非常に、緊急の問題であると思うのです。だからいろいろな見解はもちろんあるんですけども、一方では真面目にマイクロアレイを使ってミクロに本当に影響があるだろうとか、去年呼んだブランクさんとか、僕はデータを調べる限りは、非常に低磁場の真面目な実験というのは、どうもブランクさんのグループ以外では、なかなか見出せなかったのです。そういう意

味で、我々は一般論もちろんそうなんですけど、具体的な分析というのをもう少し細かく、真理はやっぱり具体的なところ、具体的なところに真理があって、それを還元論で細かく分けてしまうだけじゃなくて、想像して物事を考えないといけないのですけれども、そういうところで環境問題をやるときは、やっぱりなかなか、個々のところは個々のところで真剣にやらないと、どうしても答えが出ない部分があるんです。

僕が僅かに調べた範囲では、やっぱり真面目にいろいろと調べている研究が、なんだそんな怪しげな理論で、やっぱりまだわかっていないということにいつもされているのがあって、そのへんを非常に真面目に分析しないといけないのではないかという印象を持ち得たので、ぜひみなさんと一緒にやっていきたいと思っています。

村瀬：ありがとうございます。ほかにコメント、質問はございませんか。どうぞ。

田中：これは今日お話があった、いろいろな、こういうこととは少し、だいぶ次元が違った話かもしれないのですけれども、環境問題を哲学的に検討する必要があるだろうという、そういう非常に誠実な人たちが議論する場合に、なぜ環境を守らなければならないのかという、非常に基礎的なところに、様々な議論が一致していないという事情も、やはり知っておいたほうがいいかなと思うのです。どう一致しないかと言いますと、環境を守るのが、人間が健康に生存し得るために、環境を守るために必要なのであると。そういう意見と、いや、そうではなしに、極端に言えば人間の生存の可能性、人間が生きていくために必要な条件ということとを離れて、例えば地球そのものを大事にしなければいけないんだ。人以外の生物そのものが損なわれないようにしなければいけないんだという議論。それは一つ、極端な見解だと思っています。

もう一つは、人が生きていくために、健やかに生きていくために環境を守らなければならないんだという議論。そのあいだに様々な見解があるということも、一つの知識として知っておいたほうが、我々としてはいいんじゃないかなという気がしますので、一言だけ申しあげます。

蛸名：ありがとうございます。

村瀬：ほかにご質問、ご討議、コメントは。最後に紹介された本のタイトルの中で、「発見」というのが括弧に入っていたのは、強調の意味なのですか。それとも発見されたということ。

蛸名：あれはもとの英語にはついていない括弧なのですから、(原題は)『The Discovery of Global Warning』といいます。発見というのは何度もなされた。違うレベルでなされた。ですから最初は憶測にすぎないことがあって、すぐに潰れたと。もう少し確実な証拠もあるけど、説得力が足りないで潰れたと。そういうことが何回にも何重にも出てきて、1990年代になって、ようやくそれを「発見」と呼んでよいレベルまでできたというのが、あの本の「発見」という言葉に対する主張です。ですから温暖化を見出したということが、simpleなあることをすぐにわかったということではなくて、何重もの議論の積み重ねの総体が「発見」であるという意味づけだったのです。

坂東：もう一つだけ。かなり温暖化についてはここで議論されたみたいなのですが、今、要するに地球をメッシュに切ってシミュレーションをやっていますよね。その場合に私は、一番の問題点は、問題じゃないかと思っているのは、中間スケールのストラクチャーというか、そういうことがほとんど今のところ無視されていますね。そこらへんはやっぱり物理屋は、phase transitionとか、いろいろなことを経験しているので、もうちょつと言えるのではないかなというのがあるのですが、そういう議論はなかったのですか。

蛸名：それについては地球シミュレータの草野さんが来られていまして、草野さん自身は物理屋ですから、そういう凝結とか何かの、要するにミクロなプロセスがマクロにどう繋がっていく

かという、その途中の繋ぐところをぜひやりたいということで、そのあたりをコメントされました。そこは非常に重要な問題だと思っていて、大きくメッシュで切ってしまうと、そういうファインストラクチャーが見えないのです。でも現象としては物理法則に従って、水滴が出来たり氷が出来たりするということの集積が、あるところに雲が出来るということになるわけで、そこを繋ぐというのは、すごく重要なことです。それは統計物理とか、さっきの繰り込みとか、そういうことと関係してくるので。地球シミュレータは、階層間連結分野というものをつくって、そこに草野さんが行かれて、そういうことをやっているということです。

村瀬 :ほかにありませんか。そうしましたら定刻となりましたので、このセッションをここで終わらせていただきます。どうもありがとうございました。



ph08 村瀬/蛭名//川崎/中野//佐藤勝/梶田//南部, 佐藤文/小林, 関