

私の理解している 板倉矛盾論と科学史研究

2017年9月25日

上田仮説サークル 渡辺規夫

はじめに

板倉先生の科学史の論文の大きな特徴は、矛盾論にもとづき論じられていることである。しかし、科学史学会の中では、矛盾論に注目している人はほとんどいないようだ。また、この矛盾論を継承して発展させているという科学史家も見当たらない。

板倉矛盾論は、科学史学会の中では、正当に評価されているとは言えないようだが、仮説実験授業を作り上げる上で大きな役割を果たしたことは確かである。この試論は、板倉矛盾論を科学史研究史上にどのように位置づけるべきかを明らかにしようというものである。そのような位置づけをすることができれば、今後の科学史および仮説実験授業の研究に生かすことができるであろう。

矛盾とは何か——AであるとともにAでない

板倉先生の言う「矛盾」は「社会の矛盾」などという言い方で使われている「矛盾」とは異なる。普通「社会の矛盾」と言われていることは、「社会の不合理」ともいうべき内容である。このようなことを矛盾という言葉で表すのは不適當である。社会の不合理はなくせばいいのであって、何も矛盾などという言い方をする必要はないのである。

板倉先生の矛盾は、AであるとともにAでないということである。

例 授業は子ども本位でなければならない。

授業は教科の系統性を重視しなければならない。

この2つは、どちらがなくても困ることである。しかし、これを両立するのは至難のわざである。子ども本位でいれば、現実にはいつまで経っても教えるべき（と教師が思っている）ことを教えられない。教科の系統性を重視すると、子どもの自然な発想を無視することになってしまう。これを両立させるのが優秀な教師ということになる。しかし、どうすればその優秀な教師になれるのかについては、教育学者も教育評論家も何も示していない。

この2つの命題は両立させるべきであるのに、両立出来ないのである。すなわち、これが板倉先生の言う矛盾である。

板倉先生は「矛盾が見えたらしめた」と言う。この矛盾のどこがしめたなのだろうか。

矛盾を含んでいない問題は、だれでも努力すれば問題を解決できる。矛盾を含んでいる問題は、長年解決しようとしているにもかかわらず、解決できずにいることが多い。

「こちらを立てればこちらが立たず、にもかかわらず両方を立てたい」という問題は、普通の発想では解決が難しい。「子どもを重視するか、教科の系統性を重視するか」という問題もこのような矛盾を含んだ問題なのである。

このような問題のこれまでの解決策は「清濁あわせのむ」という解決策であった。論理を立てて考える人は、このような解決策には納得しない。しかし、納得しないと言っても、解決策が示せるわけではない。

こうした時に解決策となるのが、板倉矛盾論である。この例では、仮説実験授業というのが、この解決策である。仮説実験授業では子ども本位であり、かつ教材の系統性を重視しているのである。

研究を進めるためには矛盾論が必要

研究においては論理的厳密性が求められる。しかし、研究を進めていくと、大抵何らかの矛盾にぶつかってしまう。研究においては、この矛盾を放置して「なあなあ主義」で行くというわけにはいかない。論理的厳密性のために矛盾を突破できないのである。しかし、ここを突破しない限り、研究は進まない。その突破のしかたを教えてくれるのが矛盾論なのである。

上記の例で言うと、

- ① 子ども本位で突き進んで、授業が成立しなくなる。
- ② 教材の系統性を追求して、科学嫌いの子どもを生み出す。
- ③ なあなあ主義でうまくやる。

ということ以外の道を示してくれるのが板倉矛盾論と言えるのではないか。

仮説実験授業に対して次のようなことを言って批判する人がいる。「仮説実験授業で教師が問題を子どもに与えるのは子ども本位でない。子どもにどんな問題を解きたいかを考えさせるべきだ。」というのである。

しかし、このような主張をする人の多くは「子ども本位とはどういうことか」ということをきちんと考えているわけではない。それに「子ども本位」という言葉自体が、ある概念を的確に表した言葉とは言えない。「こども本位」をある人は、子どもにやりたいことをやらせることだと考える。このとき、やりたいことの中身をきちんと考えているわけではない。「じゃあ、子どもが万引きしたいと言ったら、万引きさせることが子ども本位か」と聞かれると「私の言う、子ども本位はそういう意味ではない」と言う。こども本位を主張するときそこまで考えて、どのような意味で使っているのかをきちんと考えていないのである。

仮説実験授業では、問題を与えることと問題を子どもに考えさせることがどちらが子ども本位であるかを子どもたちに聞くという手法をとっている。「子ども本位であるかどうか」という問題を哲学的、思弁的な問題でなく、実験によって決着がつく科学の問題にしているのである。

仮説実験授業では子ども本位を主張しながら、子どもに問題を与えるのは矛盾であると言える。矛盾はあってはならないものだと考えると、仮説実験授業のような理論は生まれない。仮説実験授業は矛盾があるべきでないものとはとらえていないのである。

仮説実験授業について「教えればすぐわかることを予想を立てさせていろいろ意見を言わせるのは時間の無駄で、教えるべきことをきちんと教えられないではないか。」と言って批判する人もいる。高校の教師などはそう言う人が多い。教えるべきことを能率よく教えるには、仮説実験授業のようなことをやっていたらいいと言っているのである。この批判にはどう答えたらいいのだろうか。

これについても、仮説実験授業は実験的にこの考え方が正しいかどうかを判定すべきであると考えるのである。授業の後で、教えるべきことを考えさせずに教えた場合と、仮説実験授業で授業した場合とで、どちらが学力が高くなっているか調べればいいのである。調べてみると、ある人たちにとっては意外すぎる結果かもしれないが、仮説実験授業を受けた子どもたちの方が理解度もはるかに高いのである。教師が一生懸命教えても、ほとんどそれが定着していないということに、多くの教師は気がついていない。

仮説実験授業で討論するとき、教師は正解の方に子どもを誘導することをしない。これを「教材の系統性を尊重していない。子どもがとんでもない考えを出しているのに、それを制止しないのは教育の放棄だ」というた批判がある。これも仮説実験授業が科学を系統的に教えようとしているが、討論のときには発言の自由を最大限に保証しているのは、矛盾であると言える。

これに対して「子どもが間違っただけの考えを持つのは、子どもが賢いからだ」と考える。「仮説実験授業は間違え方の教育だ」という形で反論するのは、「子ども本位で行くべきか、教材の系統性で行くべきか」という問題の立て方からすると答になっていない。しかし、このような問題解決のしかたが、本来の解決のしかたなのである。子どもの感想文を読めば、（すなわち子どもに聞くという実験をすれば）自由に討論させることが支持されるのである。

世の中で解決困難となっている問題の多くが、このように矛盾を含んでいる。そこで、研究課題をどのように発見したらいいかと言うと、このような矛盾が見えたところに焦点を合わせるとよいのではないかという予想が成り立つ。

板倉先生の科学史の論文はいずれもそうした矛盾に目をつけて問題設定したものなのである。

そこで、板倉先生の若いときに書いた論文の中で矛盾がどのように扱われているか調べてみることにしたい。

板倉修士論文「物理学と矛盾論」の検討

論文「物理学と矛盾論」を書く目的

板倉先生はこの目的を「ガリレイーニュートンの古典力学、ファラデーーマックスウェルの電磁場の理論、シュレーディンガーーハイゼンベルクの量子力学の形成過程において、共通に重要な役割を果たした問題のとらえ方の発展、重要な諸概念の変革を明らかにすることである。」としている。

その問題のとらえ方の発展、重要な諸概念の変革とは何か。

量子力学理論形成においては、

- ① 基本的矛盾を追いつめていったコース（ド・ブロイ、シュレーディンガー）
- ② 特徴的な運動形態の基本的運動法則への転積のコース（ボーア、ハイゼンベルク）

の2つのコースが存在した。

板倉論文の要旨は、古典力学にも電磁気学にも①基本的矛盾追求のコースと②転積のコースが見られるということである。

これは、新たに理論を作り上げようというときの問題のとらえ方、概念の変革はどのようにしたらいいかということに対する答なのである。

このことが明らかになることによって、どのようなことができると考えられるだろうか。以下の2つの効果があると考えられる。

- ① 物理学研究の成果がより挙がるようになる。

このことは、歴史的に検証されたと言えるだろうか。

→板倉理論に基づいて研究している人の数は多くない。しかし、東大自然弁証法研究会のメンバーは、板倉論文の主旨を把握し、その後の研究生活でその考え自分の研究に適用してきたと考えられる。この人たちのその後の研究を歴史的に評価することで、板倉説が正しいかどうかを判定できると考えられる。しかし、この判定は難しいとも言える。

- ② 科学教育において、この考え方をもとに授業をすることで、これまでより大きな成果を挙げることができる。

→これについては、仮説実験授業の成立そのものが、板倉説の正しさを裏付けている。しかし、その具体的な内容はどうなっているのだろうか。これはこれから研究するべき課題である。

1. 量子力学における粒子性と波動性の矛盾

「光は粒子か、波動か」という問題は光が電磁波であることが解明されることによって、波動であることが確定した。

しかし、19世紀末から20世紀初頭にかけて、光が粒子性を示すことが明らかになった。このことにより、一方では光量子説を必要とするとともに、他方では古典的な波動説を必要とすることが明らかになった。つまり、光は波動性と粒子性という矛盾した性質を同時に持つことが明らかになったのである。この矛盾をどう解決したらいいかが、当時の物理学界での大問題であった。

ド・ブロイは光が粒子として波の上に乗っているという解決策を示した。この考えを手がかりにして、シュレーディンガーは、波動力学を完成させた。

この理論では光や電子は量子力学的状態 ϕ で表され、その現象形態として、粒子性や波動性を持つとされたのである。粒子性と波動性は一段と高い概念、状態概念によって統一された。このとき、波動性と粒子性の矛盾がなくなったわけではない。

ド・ブロイが成功したのは、光や電子の波動性と粒子性の矛盾を、矛盾した概念としてそのまま認め、状態概念によって把握したからなのである。

このような「基本的な矛盾を認識することで、理論が成立した」ということは量子力学に固有のことなのだろうか。板倉聖宣氏はそうではないと言う。そこで、古典力学と電磁

気学においても基本的矛盾の認識が理論形成のキーポイントであったことを明らかにすることがこの論文の目的である。

2. 古典力学における力と運動の矛盾

要旨 古典力学成立のために力と運動の矛盾を解明することが、最重要な観点であった。

アリストテレスの「力の一元論」の失敗

アリストテレスはすべての運動を力によって説明しようとした。アリストテレスによれば、「力が原因で運動が結果である。運動しているものには必ず運動の原因である力が働いていなければならない。」と考えた。このような考え方を「力の一元論」と呼ぶことにする。

それでは、投げた石の運動をこの「力の一元論」からどのように説明したらいいだろうか。手から離れた後は石には力が働いていないように見える。しかし、「力の一元論」からすると、飛んで行くという運動をしている以上、石には外力がはたらいていると考えるしかない。石に接触しているものは空気だけだから、空気が（動くのを邪魔するのではなくて）石を後ろから押していると考え以外に説明の方法がなかったのである。

結局、「力の一元論」では力学法則を正しくとらえることはできなかったのである。

なぜできなかったのだろうか。

板倉先生はその理由を「一元論では、力と運動の矛盾をとらえられなかったから」と言っている。すなわち、「ある物体の運動状態が運動そのものであると同時に力でもあるという立体的な論理で把握しなければならない。」^{*1}というのである。これは何を言っているのだろうか。

運動状態が運動でもあり、力でもある

運動状態が運動でもあり、力でもあるという考えではどうだろうか。

投げられた石は飛んで行くという運動状態が運動であるとともに力であるということである。そこで外力がなくても「飛んで行く力」を持っていて、この運動状態が力として現れた「飛んで行く力」によって飛び続けると考えることができる。

運動とは、ある物体の内的状態を表しているのに対して、力というものは、その物体に対して外的な作用と考えられるものである。力と運動は別物である。しかし、運動状態は運動でもあり力でもあるという矛盾した考えにより、正しい力学法則に近づいたのである。

それでは「力と運動の矛盾」という考え方は板倉さんの勝手な考え方であろうか。板倉

*1ここで板倉先生はこの力のことを慣性力と言っているが現在の用語では、慣性力というのは、非慣性系においてあるように思われる力のことであって、ここでの意味とは異なる。ここでの議論を整理すると、運動している物体を止めようとしたときに、その物体は他の物体（止めようとした物体や摩擦力を及ぼしている地面）に対して力を及ぼす。だから、運動している物体はそのような力を持っていると考えることができる。さらに止められる物体は外力によって進行方向と逆向きの加速度が生ずるので考えている進行方向に慣性力がはたらく。この慣性力はその物体の立場から見ると、止めようとする力に抵抗して、止まらないように前に進む力のように感じられるであろう。

先生はこの仮説を、科学史上の資料をもとに裏付けている。

科学史上に表れた力と運動の矛盾

力と運動を物体の内部で結びつける残留力 (vis impressa) や勢い (impetus) の考え

① フランチスカ・デ・マルキアの残留力 (vis impressa) の理論

ものを投げるときものに加えられた力は手から離れてかのもしばらく投げられたものの中に残留していて、その残留力によってものは飛び続ける。この残留力は力と運動の中間的なものである。ただし、この残留力は時間とともに自然消滅するものと考えられた。

② ビュリダンの勢い (impetus) の理論

impetus は自然消滅しない。ものを動かす性質そのものである。

アリストテレスの媒体説の否定からただちに力学の法則が確立したのではなく、物体の中にありながら、その物体に対して外的な機能を持ったものとして、vis impressa や impetus が考えられたのである。これは力と運動が内的なものとして結びついたのである。

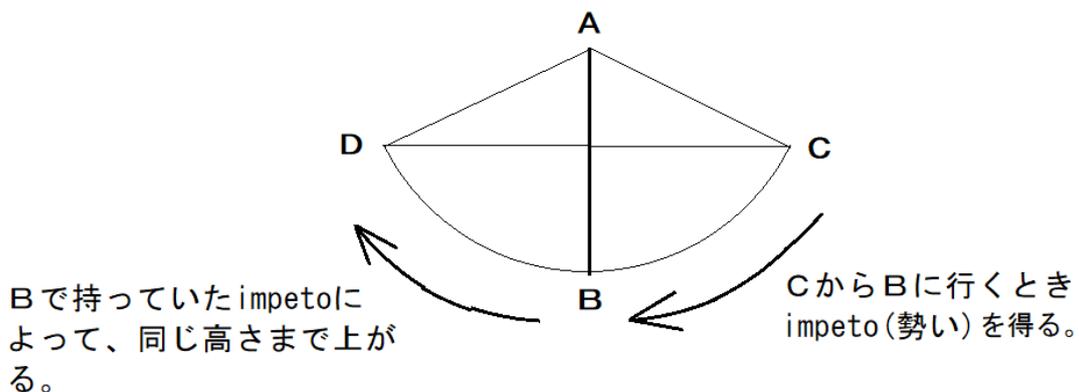
しかし、ビュリダンの impetus の理論も、「impetus がものを動かすという仕事をするによって消費する」と考えられていたという点でアリストテレスの理論の枠組みに入る理論であった。

ガリレオの考え——impetus は消費しない

ガリレオはこの impetus は運動によって消費しないと考えることで慣性の法則に行き着いたのである。

それではガリレオはいかにして、「impetus は物体を運動させることによって消費させられない。」ということを確認したのだろうか。

それは、ガリレオ・ガリレイ著『新科学対話』岩波文庫下巻 31 ページ～32 ページに書かれている。



振り子のおもりが下に向かって振れるときに、impeto を得て、その impeto によって振り子のおもりは同じ高さまで上がる。

振り子は左右対称だから、 $D \rightarrow B$ のとき得られた **momento** は $B \rightarrow D$ に引き上げる **momento** に等しい。

つまり、

$D \rightarrow B$ では、力 \rightarrow impeto \rightarrow 運動

$B \rightarrow D$ では、運動 \rightarrow impeto \rightarrow 作用

と考えることによって、運動が力でもあることを明らかにした。

これはどういうことだろうか。ガリレオ以前の科学者たちは、**impetus** は運動によって消耗すると考えていた。しかし、振り子でB点での運動は、同じ高さまで持ち上げる力であるのだから、**impetus** は消耗しないということになるのである。そう考えれば、慣性の法則は自明のことになってしまう。

しかし、ガリレオの慣性の法則は **vector** 的なものとしてとらえていないので不完全である。これは、慣性の法則の導き方が位置エネルギーの運動エネルギーへの変換により証明されているため、運動の向きの重要性に気づくことができなかつたことと、天体運動の円運動の慣性を力学的に転写しようとしたことによるのである。

慣性の法則の定式化はデカルトによって行われ、遠心力はホイヘンスにより明らかにされた。しかし、デカルトもホイヘンスも運動を渦動という別の物体の運動により説明しようとした。この考えでは渦動の運動をまた別の物体の運動により説明しなければならない。運動を運動によって説明しようとするのはいくらやってもきりが無いことになる。この考え方、運動を運動により説明しようとする考え方を運動一元論と呼ぶことにしよう。すなわち、デカルトとホイヘンスは運動一元論の立場をとったために、失敗したのである。

まとめ

力と運動の矛盾をどうとらえるか。運動を力だけで説明しようとしたアリストテレスは失敗した。運動を運動だけから説明しようとしたデカルトやホイヘンスも失敗した。ガリレオは **impetus** を導入することで、力は運動であり、運動は力であるという矛盾をとらえて追求することにより、力学を作り上げることができた。ニュートンはそれを数式化したのである。

付記

ニュートン力学と微分学

微分学は「ある点に無限に近づくが、その点ではない」という概念、その点Aでなく、その他の点非Aでもなく、Aに限りなく近づく点Bでなければならない。

力と運動の矛盾は、矛盾がたえず解決されるとともにそれが作り出すところの運動形態をとらえなければならない。

参考資料

ガリレオは impeto と、momento という言葉を使っている。この意味について、板倉さんが話していたライターから採録することができたので、紹介したい。

板倉談話

言葉を選び取る能力が大事

1989年1月5日 仮説実験授業冬の大会（京都）ライター テープ起こし 渡辺規夫

物理学でも力の概念とかモーメントという概念がある。。ガリレオの使ったモーメントは今のモーメントとは違うんです。

モーメントという言葉の意味は「契機（チャンス）」、「瞬間」、「社会の運動の力のモーメント」です。全然違う意味だけれども、もとは同じ言葉から来たんです。ガリレオは3つの混然とした意味を実験を通じてだんだんと整理することによって、力学を作るんです。実験しながらふさわしい言葉を選び取っている。科学と文学は関係ないと思っている人がいるけれども、言葉を選び取るとすいう能力が科学者ではすごく大事なんです。

言葉を選び取ることによって初めていろいろな実験ができる。つまり実験というのはね、1回きりの現象はだいたいウソだと思った方がいい。1回きりの現象をもとにして議論を立てる人がたくさんいるんですよ。「こういう事実があるんですよ。」という話から始める人がいますが、私はそういう話は一切信用しない。たとえば、1回きりの現象はみなさんが知っているのは「オオカミに育てられた子ども」の話、1回きりの現象でしょう。これはまったくウソだ。作り話だという話を信用します。

例外的な1つの事象というのはそれが本当かウソかを検定するのは非常に難しいんです。たくさんあれば、いつもそうだということであれば、繰り返し実験すればいいんです。仁丹は電気を通すというのは、みなさんが追試できるんです。1回きりのはいくらでもごまかすことができる。

解説

新しい理論や概念をつくろうというときに、それを表すふさわしい言葉はまだありません。しかし、言葉がなければそれを人に伝えることができません。そこで、これまである言葉の中から今言おうとしていることに近い意味の言葉を持って来ることになります。ガリレオの場合、それがモーメントだったのです。モーメントのもとの意味は動きです。そこから、動いているある瞬間を表す意味になり、その瞬間が重要な瞬間ということから重要という意味が派生したのです。ガリレオはこのモーメントという言葉をだんだん整理することを通じて力学を作り上げたのです。「言葉を選び取ることによって初めて実験ができる」というのは、仮説実験授業の授業書の問題の言葉が選び抜かれているから、実験が成立するということを示唆しているように思われます。多くの生徒実験で生徒が何をやったらいいかわからないというのも、この点をよく考えればいけないということを示しているように思われます。（渡辺記）