

# 物理法則認識の分析と物理実験演示装置

有賀克明

## 1 科学観の形成素因と物理実験演示装置

### 自然科学と科学技術

今日の自然科学は、巷間言われる少青年層における「科学ぎらいの傾向」にもかかわらず、あいかかわらず非常にハイスピードで発達しつづけている。ヒトゲノム計画により、人間のDNAの解読完了も時間の問題と言われる。物質世界の根本原理の把握をめざす科学的認識活動は、小は素粒子から大は茫漠たる宇宙の全構造までを視野に納めて、理論の創造とその検証のための多岐にわたる実験・観測が世界中の科学者たちにより日夜続けられている。

自然科学とは、一言で言えば自然の構造および存在様式とその運動についての法則を解明するための認識活動により得られる知識と方法の総体である。人間は、自らを含む自然のすべてを知り尽くし、理解し尽くそうとするだろう。自然の完璧なまでに客観的な認識、あらゆる真理についての認識を獲得しようと努力するのが科学であり科学的な認識活動である。おそらくそれは永遠に続く作業として、人類の存続とともにあることだろう。

古典古代の個別科学、近代自然科学、そして現代科学と、科学は自分の認識対象の拡大や認識方法の発展など、それ自体として大いに変化し発展してきている。その時々々の認識の限界、方法の限界をやがては自覚しつつ、その教訓から自らを連続的に脱皮させてきているのである。したがって当然こんにち我々が手にしている科学もまた、今日的な限界を帯び、そこからの脱却をめざして日々格闘をつづけていることは言うまでもない。

さて、このような自然科学が否応なく強いられるひとつの宿命とも言える特長は、社会におけるその技術的な応用や活用である。科学は技術との関係で言えば、相互依存的とも言える関係にある。科学により法則が発見されれば、それを利用した技術が生まれるし、技術的な発見や発明が先で、それを説明するための理論が模索されて、あらたな科学の誕生をみることもある。あるいは、社会的必要や技術的な要請から、未開拓だった分野の科学が創出されることもある。

いずれにせよ、現代においていえることは、現代に近づけば近づくほど自然科学の成果の技術化のための時間が短縮されるようになってきていることである。商業目的や軍事目的で技術へと転化されることも非常に高い割合を占めているが、そこから回りまわって民生用として一般の人々の手に届くものも急速に増えている。そこまで要する時間も今ではたいへん短い。こうしたことから、科学の発達はそのままその応用技術という形で職場、家庭、学校、公共空間等大衆の場に顕在化するようになってきていると言える。それは悪いことではないが、このことにより自然科学とその応用技術とを区別して捉えるという理解の仕方が困難になっているのではないか。生活環境をも席卷している、さまざまな科学技術の恩恵をほとんど無意識に近い形で受け取ることから、

そのような混同化は世代を超えて普遍的になっていると思われる。

科学の発達がこんにちの便利でもあり危険でもある種々の機器や道具を生み出しているという認識（これ自体は正しい認識である）と、科学とはそのような「文明」を生み出すための活動であるという認識（これも全面的に間違っているとは言えない）とが、交流し溶け合って、結果として科学と技術とを完全に混同するという認識状況が、これまで以上に広まっているように私には思われてならない。

結局それは人々のあいだにどのような科学観が形成されてきたか、形成されつつあるか、という問題である。学校教育の中で、趣味の中で、仕事の中で、家庭生活の中で、日々われわれはさまざまな学習や経験などを通じて、ものごとについての観方を身につけることになる。個人的な経験の範囲の中で正しい認識や「観」を形成することもなくはないが、ふつうは意図的意識的な学習活動を通じてはじめて正しく形成されるものがほとんどであろう。科学観などはまさしくそういうもののひとつである。日夜発展を続け、人類の行く末にさえ重要な影響を及ぼすことになる科学や技術をどのようなものとして理解し、たとえ素人としても、その発展のコントロールにどのように関与するかを考える事は、こんにちという時代にあってはすでに国民的な課題であり、義務でさえあると言っているのではないか。

科学というものを正しく理解し、科学や技術の発展方向を批判的に読み取るということは、なまやさしいことではない。少なくとも、科学の中身について、たとえばほんの一部分であっても正確に理解している事がどうしても必要である。科学的な知識の量もさることながら、その質がほんとうは問われ続けなくてはならない。一体、個別の科学法則の身につけ方、いわばその認識水準といったものと、形成されている科学観との間にいかなる関係が存するのか、これははなはだ興味深いのであるが、その研究は非常な困難を伴うに相違ない。調査すべき対象があまりに広く深いからである。

しかし、たった一つの自然現象、たった一つの法則の理解の仕方を調べてみるだけでも、そこにはそれまでの自然科学の学びかたの特質、知識の了解の仕方、法則性の適用能力等々、かなりの事が推測できる材料が含まれることもあるだろう。問題はその調べ方である。

前々からこのあたりのことが気になっていたもので、そうしたことを調べるための有効な方法を考えることにした。その際、以下のようなことに留意した。すなわち、前提として科学観を問う意識調査は無論必要である。しかし、そのような調査における意識表明は直感的なものに過ぎなかったり、形成されてきた結果としての「観」であったりする。各自の「観」がそのように形成されてきたところの原因が表現されることは難しい。では、その形成要因とでも言うべきものを、アンケートにより意識調査すればよいだろうか。確かにその方法もあるかもしれないが、幼少時からの記憶をたどらせるなどが必要で、不正確さや曖昧さを伴う点でこれもやや困難に思われる。そこで意識調査については直截的で単純な設問のみに限定する方がよいと考えた。そして科学についての各自個人的な観方を支える無数の要素の中から、分析可能な代表的な因子をいくつか抽出して、これについて詳細に調べることにしたのである。それにより、科学を敬遠したり、科学

的労働を忌避する傾向が強まっているともいわれる青年たちの形成要因が那边にあるのかある程度判明することが期待される。

とはいえ、何をもちってその代表的な因子とみなすのか、これはまた簡単には決められない。先述したように、個人の過去の経験にさかのぼって調査するのも一法ではあるが、むしろ現在の自然や科学についての個別的な認識の状態を探るほうがより確実である。それには、単に記憶として蓄積されている知識量を測定するのではなく、ある課題に対して既得のどのような知識を用いながらどのように考えて判断や解決を図ろうとするのかを、実態的に調べる方がよいだろうと思う。そういう課題は、文章題として与えたり、実践的な解決を求めるための具体的な操作を伴うような形で与えたりと、さまざまなスタイルが考えられる。それらのひとつとして、ここではその中間的な方法であるが、演示実験による物理現象についての思考分析とそのための装置の開発を提案したいと思う。

### 科学観と科学への信頼感

ところで現代の青年層が科学についてどのように感じているか、とりわけ科学を人類の文化として信頼に足るものであるかどうかについては、たとえ漠然としたものであっても、科学観を形成する心情的な要素として重要である。そこで、後述する物理演示装置による調査に先立って、筆者の教養講義の受講生にアンケート調査を行った。

大半は本年度入学の1年生であり、この時の回答者は92名である。

科学を「信頼している」と答えた者は、全体の35.9%の割合であった。これに対し、「信頼していない」「わからない」とした者はそれぞれ17.4%、46.7%であった。なお、留学生7名（中国人6名、韓国人1名）は全員「信頼している」であった。これら留学生を除く日本人学生に限ると「信頼する」は30.6%、「信頼しない」が18.8%、「わからない」が50.6%であった（図1）。4割ほどの理科系学生を抱えるクラスで、ほぼ半数の学生が判断を留保していることは注目される。もしも文科系学生だけのクラスであれば、信頼度は更に下がることが予想される。信頼感のあるなしについての回答と、その根拠の具体的な内容を表1に示す。

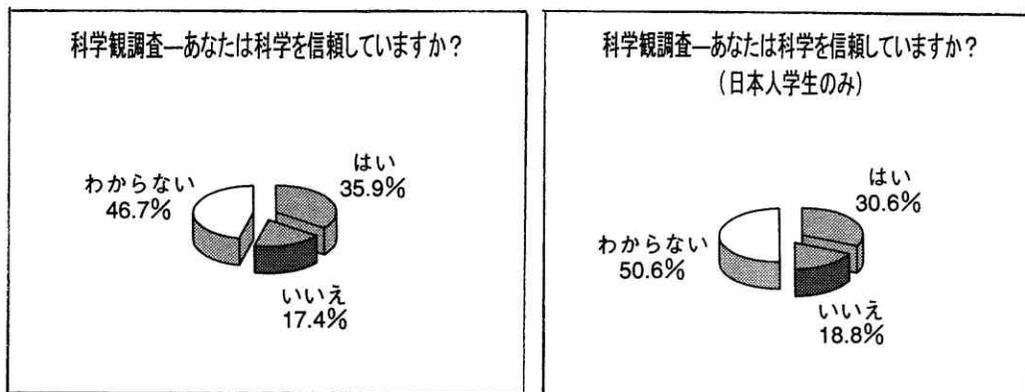


図1

表1 科学に対する信頼感についての回答

科学観調査—あなたは科学を信頼していますか？		
はい	33人（うち留学生が7人。）	科学的に証明されていることは間違いなくなりつつ、など。
いいえ	16人	・人間は科学でなく自然の産物だから。 ・100%正しいという結論が得られるとは思えないから。 ・月に行けたり長生き出来ても幸せとは限らないから。 ・すべてを科学で証明できるとは思えない。 ・盲信すると危険。理屈でない事も確実に存在する。 ・突き詰めて行くと説明しきれないようだから。 ・定義づけなどが絶対のものとは限らない。 ・この世の始まりを説明できるとは思えない。この世は仮想現実かもしれない。 ・なんでも科学でくくろうとする傾向はよくない。 ・所詮自然の一部に過ぎない人間が、自然をすべて理解できるはずがない。 ・おぼけなど、科学で説明できない事もある。 ・遺伝子組替え食品などの例。 ・正しいと思われていた理論が間違っていたとされることもある。 ・進歩しているので常に実験段階みたいで、副作用を知らずに進める事もある。
わからない	43人	・信頼しすぎるのもよくないと思うから。 ・信頼できるほどよく知らない。 ・科学の発展が人間にとってよいことかわからない。 ・たまに間違いがある。 ・両側面がある。 ・未知の部分もおおくあるから。 ・プラスにもマイナスにもなりうるから。 ・人間が勝手に言っていることだから。

科学を信頼すると答えた者の大半は「科学的に証明されていることは間違いなくなりつつ」というものや、それと大同小異の理由を挙げている。強固な科学的信念を持つとも考えられるが、漠然とそのように信じたいという気持ちの表明とも受け止められる。一方で理由を書いてないものも多く、結局、科学をなぜ信頼しようとするかについての厳密な検討は、自然認識の実態についてなどのより詳細な調査を必要としており、別の機会に譲りたい。

一方、不信感を持つ者の示す理由の中に目立つのは、科学を盲信するのは危険である、科学は即、真理であるとは限らない、といったある意味で当然の立場を表明するものと、科学=技術的成果、とみなすものと、大きく分けると二種類である。

後者については先に触れたように、明白に科学への誤解を含んでいる。一方、前者は「科学とは常に絶対的な真理を表現しているものである」というようにしか聞かえない科学主義的な立場への疑念の表明である。しかしそれは裏を返せば、<科学を信頼するということは、科学の今日的な到達点についてそのすべてを真理として認め、あるいは科学はかならず客観的な実在に関する真理を解明し尽くすに違いないという楽天主義のことである>というような誤解をしていることになる。それもまた、誤った科学観の変種であると言ってよいだろう。

さらに、科学への信頼についての判断を保留する者の多くは、そもそも科学を理解していないので判断ができないとする者、科学も誤りを冒すし、不明な事や行きすぎもあるから、とするものなどに大別できる。

こうしてみると、結局、多くの青年たちは、そしておそらくきわめて多くの一般の人々は、科学は理解不能と思いきまされていたり、科学へのいわば誤解や偏見を、長い学校生活の中でも矯正されることなく、むしろさまざまな場や時間にさらに植え付けられ強化されている可能性さえあるように思われる。

学校で学ぶ自然法則や自然科学の概念が、人々の日常的な生活行動や社会的判断などに生きて働くような形で習得されない限り、こうした、科学にとっては悲劇的な状況とさえ言うてよいような事態は改善されていくことがないだろう。

たとえば、たった一つの物理法則、力学の法則でもよいのだが、これについて徹底的に深い理解が図られ、繰り返し基本的な問題について応用され、それが有効な経験としてその人の記憶に刻み込まれていくことがあれば、彼の物理学理解、自然科学理解、自然理解は、おそらくそうでない場合と比べて大きく異なるものになるに違いない。そうした、数少ない学習内容の徹底的理解の教育が、情報過多ともいえそうなこんにちの時代には、とりわけ必要なのではないかと思う。

こうした事を考えるにつけ、さまざまな年齢及び発達の階層について、自然現象や法則に関する認識と思考の具体的なありようの実態を分析することがたいへん重要であることがわかる。そのためにより有効な演示実験装置を考案することが強く求められているのであって、拙論はその目的にふさわしい一つの装置の提案と、それによる調査の結果の一部分を紹介するものである。

## 2 超重失重演示装置の考案

### 演示装置による調査の利点

演示装置による課題の提示の利点はいくつかある。第一に、装置の機構やサイズなどにもよるが、一台で多数の観察者（被験者）に一度に課題を提示し、その意味を正確に理解させることができることである。第二に、従って安価に、また個別指導のわずらわしさもなく課題提示できることである。第三に、観察者による観察・思考対象は間違いなくひとつの全く同じ現象に対してのものであることが保証されることである。観察者による個別実験・観察などの場合は、一件一件の実験・観察が正しく同じ現象を結果しているかどうか十分に確認されなくてはならない面倒さが残る。

個別実験・観察に比べて不利な点もちろんあるが、このように利点も少なからずあって、その長所を生かせるような演示装置を考えることが大切である。科学観形成の素因調査という意味で行う演示実験なので、そこにあらわれる現象としてはできるだけ基礎的で基本的な、そして広範に成立する法則性を包含しているものが望ましい。今回は私は、勤務する大学の学生たちと接する中でかねがね感じていた、物理学の中の力学分野における現象理解や認識の状態を調べることにした。学生たちが、基本的な力学法則をどのように理解し、もしくは応用能力を身につけてこんにちに至っているか知りたいと思った。それがわかれば、彼らの自然観、科学観の形成上の問題点の少なくとも一角に触れることができるだろう。それにはどのような演示装置を考案することがふさわしいか。しかし、これはそう簡単ではない。

私が自力でしかも比較的楽に調査することができるためには、自分の勤務校の学生を対象として行うのがもっともよいのは言うまでもなからう。受験学力で言えばまずまずの水準の学生たちである。そして私の今年度の教養教育の受講生の約4割は看護学部および芸術工学部の学生（およびごく少数の薬学部生）である。他は人文社会学部と経済学部であって、いずれもほとんどが

一年生である。理学部・工学部などに比べると、物理教養の程度は高いとは思えない。しかしそれにしては大学生であることを考慮すると、ひとつの演示装置で複数の法則性を含むものがよからう。こうしてさまざまに思案した結果考え出したのが、「アトウッドの天秤」の変形とも言える、「超重失重演示装置」である。

これは、中国長春市にある東北師範大学の物理系教授、韓長明氏との共同研究で開発したものである。中国では重力と逆方向の等加速度運動をする物体が見かけ上重くなる現象を超重といい、順方向への等加速度運動で見かけの重量が小さくなることを失重という概念で表している。それでこの新開発の天秤は、超重と失重の両概念を同時に現象するので超重失重演示装置と呼ぶことにした。

### アトウッドの天秤

アトウッドの天秤は図1に示すような装置である。おもり a、b、c の質量は各  $m$ 、 $2m$ 、 $3m$  である。また天秤の腕（アーム）、滑車、ひも等、重さはすべて無視できる程度に軽いとする。この時、アームの左右の両端にかかる重量は等しく、従ってアームは水平状態を保つ。さて、左右のバランスがとれている状態で糸 L を切断するとこのアームはどのように振舞うか？

この問題を正確に理解するのは高校生でも簡単ではない。そもそも図1の状態でもアームがなぜ水平を保つのか直感的にはわかるような気がする者も、しばらく考えているとかえって迷ってしまう事が多い。糸 L が曲者なのである。

おもり a と b はすべてつながってバランスがとれているので、重量を打ち消しあうのではないかと考えたりするのである。

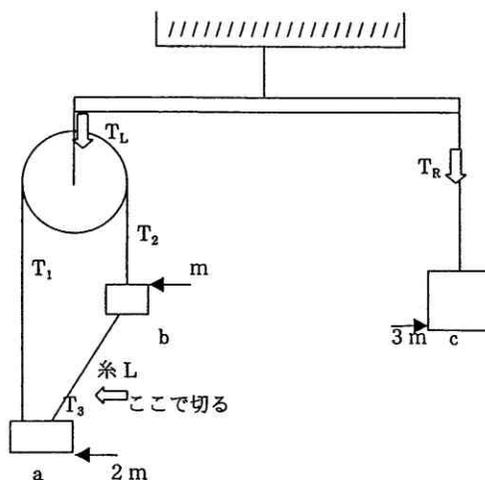


図2 アトウッドの天秤

この問題を解くには、それぞれのおもりについての運動方程式を考える必要がある。題意から言えば、最終的にはアームの両端の糸の張力  $T_L$  と  $T_R$  の大小の問題である。この数値の大きい方にアームは下がる事になる。そこで糸 L を切った時に、おもりの動きが  $T_L$  にどういふ変化を与えるかを考えればよい事になる。

そこで、ひとまずこの問題を解いてみる事にしよう。(糸 L がつながれている状態については省略する。)

糸 L を切ると、おもり a は下に動き b は上昇する。滑車は十分に滑らかに回るとして、a の下向き加速度（絶対値）を  $\alpha$  とすれば b の加速度（上向き）も  $\alpha$  である。そこで

$$a \text{ について } 2m g - T_1 = 2m \alpha \quad \text{①}$$

$$b \text{ について } T_2 - m g = m \alpha \quad \text{②}$$

$$\text{①} + \text{②} \quad m g + T_2 - T_1 = 3m \alpha \quad \text{③}$$

ここで、糸の重さは十分に軽いので、滑車にかかる糸の左側と右側の張力  $T_2$ 、 $T_1$  は等しい。

よって③は  $m g = 3m \alpha$

$$\therefore \alpha = \frac{1}{3} g$$

$$T_1 = T_2 = m g + m \alpha = m g + \frac{1}{3} m g = \frac{4}{3} m g$$

ここで、問題のアームの両端の糸の張力  $T_L$ 、 $T_R$  を比較することになる。定滑車についての性質から

$T_L = T_1 + T_2 = \frac{8}{3} m g$  となる。これは明らかにアーム右端の糸の張力  $T_R = 3m g$  より小さい。すなわち

$$T_L < T_R$$

以上から、アームは右側が下に傾くことになる。(アトウッドの天秤に関しては川勝博著『川勝先生の物理授業』上巻 海鳴社を参照した。)

このようにアトウッドの天秤は、物体の加速度運動や糸の張力の比較など、力と運動についての基本概念や法則の初歩的応用問題としてなかなか優れている。しかし、滑車周りの糸で結び付けられた二つの重りの挙動に伴う天秤棒（アーム）の動きを予測する際に、①糸を切るという不可逆過程が入るので、実験の再現・繰り返しが少し面倒なこと ②基本的に必要なのはアーム左端の重りの挙動についての思考にとどまるので、天秤という装置を利用する必然性が薄いこと。③つまりアームの一方の端にかかる重量（糸の張力）変化にさえ着目すればよいため、大学生レベルでの思考に期待される水準としてはやや単純すぎる、などの問題点がある。

そこで、構造としてはもっと単純に見える装置ではあるが、もう少し天秤全体に思考をめぐらせるような、そして複数の要素が絡み合っているようなものを考えたいと思い、案出したのが、以下に述べる超重失重演示装置である。

### 開発した超重失重演示装置

図2にその構造模式図を示す。見ての通り、非常に単純な構造である。天秤のアームの両端には摩擦の少ない滑車があり、これに非常に軽い糸  $L$  がかかっている。糸の両端にはおもり  $a$ 、 $b$  がついている。  $a$  の質量は  $M$ 、 $b$  は質量  $M$  のおもりに質量  $m$  の補助おもりが接合してある。したがって、糸  $L$  は自由に動く状態にあれば、 $a$  がアームに到達するまで向かって右側に動くことは明らかである。

一方、アームの左端の糸の作用点にはやはり質量  $m$  の補助おもりを固定してある。したがって、アーム両端にそれぞれかかっている重量はまったく等しい。糸が動かない状態になっている時、天秤はバランスがとれていて、アームは水平状態を保っていることになる。

観察者（被験者）に課す問題も以下の通りきわめてシンプルである。

今、天秤を手で支えてアームを固定した状態でおもり a を下げられるだけ下げてその状態を維持する。つまりおもり b がアームの右端に接するまで糸 L を左に移動させることになる。次にアームをフリーにすると同時におもり a を解放する。するとおもり b のほうが a より重いので糸は右側に向かって運動することはさきに述べた通りである。ではその時、つまりおもりと糸の糸が運動中、天秤のアームはいかなる動きを示すか。その動きを予想させ、理由を考えさせるのがこの装置の開発の目的である。

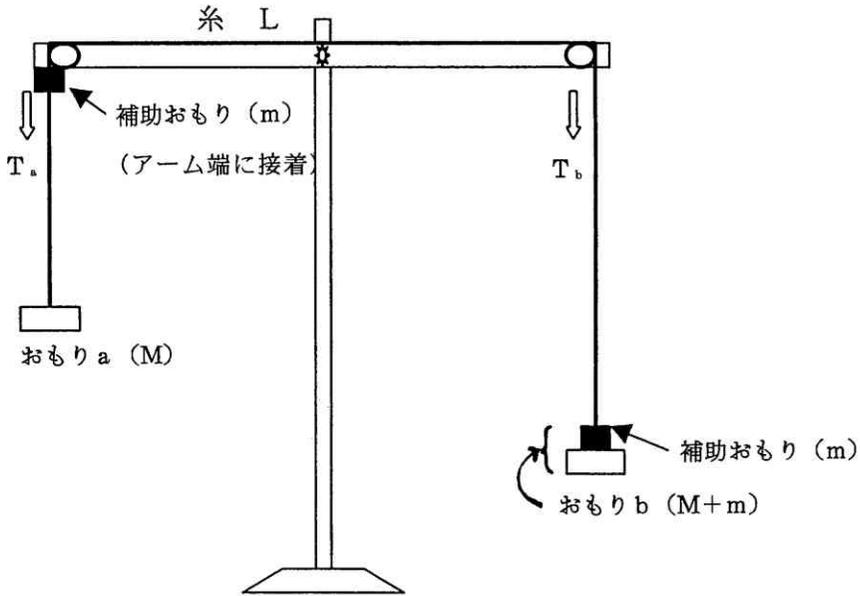


図3 超重失重演示装置模式図 ( ) は質量

### 天秤のふるまいについての理論

この超重失重演示装置の実験について、アームの左側が下に傾く理由を考えてみよう。基本的にはアトウッドの天秤で論じた理屈と同じである。

おもり a、b、糸の糸が自由な状態にある時、これらは右に向かって、すなわち b が下向きに落下するように移動する。この時の加速度を  $\alpha$  とすると

$$\text{まず、おもり a についての運動方程式は、 } T_a - M g = M \alpha \quad \text{①}$$

$$\text{おもり b について } (M+m) g - T_b = (M+m) \alpha \quad \text{②}$$

糸は十分軽いので、 $T_a = T_b$ 。

$$\text{よって、①+②から、 } T_a - T_b + m g = (2M+m) \alpha \quad \therefore \alpha = \frac{m}{2M+m} g$$

アームの右側作用点にかかる力は

$$F_{\text{右}} = T_b = (M+m)(g - \alpha)$$

同じく左側作用点の力は、糸の張力  $T_a$  に補助おもり  $m$  が加わるので

$$F_{\text{左}} = T_a + m g = M g + m \alpha + m g = (M+m) g + m \alpha > (M+m) g - (M+m) \alpha = F_{\text{右}}$$

つまり、アームの両端にかかる力は、 $F_{\text{左}} > F_{\text{右}}$  で、アームは左に下がることがわかるのである。

## 観察者の思考の特徴

この装置を勤務校での私の教養科目「人間形成と自然認識」の講義に持ち込み、教卓上で構造の概略を説明した後、上述のような課題を示してアームの動きを予想させ、あらかじめ提示した四つの選択肢（表2、図3参照）から予想と一致するものを選びせ記録させた。次に実験を行って、結果を確認させたが、アームの動きは大半の学生の予測を裏切るものであったので、彼らは再三にわたりこの動きを再現するよう要求した。

全員がアームの動きを確認したあと、①自分が最初に出した予想とその根拠についての評価、②実験結果から見て天秤のこの振る舞いの理由をどう考えるか、の二点について記述させた。（学生数118名）。

学生たちの実験時の反応からもわかるように、学生による予想はその多くが実験結果とは異なるものであった。天秤は向かって左側が下がると正しく答えた者は表1に示すように②の27名、約23%である。そこそこの正答率とも見えるが、実はその根拠とするところをみると、大半は物理法則からみてまったく不適當な理由をあげ、あるいは不明としている（表3参照）。逆に言えば、力学の基礎法則に関して、人々の陥りやすい認識の誤りが表現されていることになり、重要な分析対象と言えるだろう。

表2 学生の回答—天秤の動きについての予想分析

①右が下がる		②左が下がる		③左右に振動する		④水平のまま		計	
37人	31.4%	27人	22.9%	21人	17.8%	33人	28%	118人	100%

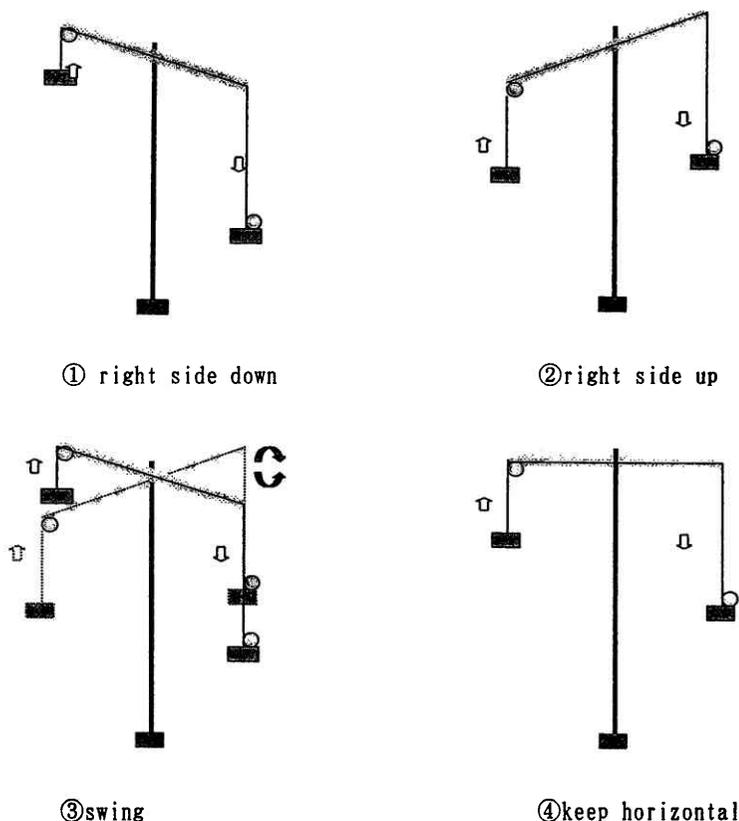


図4 天秤のふるまいについての予測

実験結果から見た時、アームの動きの物理的な根拠をどう考えればよいかについての記述も、彼らの認識状況や思考様式を探る上で、たいへん興味深いものであった。詳細なデータと議論は別稿にゆずるが、実験の前と後とでアームの動きについてどういう解釈をしたかを、筆者の簡単なコメントを含めた形で次に一覧表にまとめた。

表3 演示装置による実験前後における見解とその特徴

失重・超重演示装置—実験前予測とその特徴	
アームのふるまいの予測分布	①31.4% ④28% ②22.9% ③17.8%
①の根拠	「おもり(糸)の動きに引きずられる」が圧倒的多数(89.2%)で、その他は論理性に欠ける見解。
④の根拠	「おもり(糸)の動きとアームの動きは独立」と考える者が大半(66.7%)で、1割あまりは天秤の性質に帰着。
③の根拠	「おもり(糸)の動き(振動)による影響」「水平を保とうとする天秤の性質でしばらく振動」が、各33%、24%。糸の長さの変化の影響をあげるものも。
②を正解した割合	全体の約23%、4人に一人が「正解」したのは、結果としてはかなり高率。
②を選んだ理由	正解者が比較的高率であるにもかかわらず、その根拠を見ると間違った考え方に基づくものが大半であった。多数が「おもり(糸)の動きとアームの動きは独立」を選択(37%)。作用点からの糸の長さの変化がモーメントに影響を与えたとする者がそれに次ぐ(22.2%)。論理上問題のある見解も少なくなく(空気抵抗、重さの移動、他)、正解に近い根拠を示したものは2人(7.4%)。
各予測を通じて示された根拠の特徴	最多は「おもり(糸)の動きに引きずられる」の約30%。次いで「おもり(糸)の動きとアームの動きは独立」のほぼ27%。この二つで6割近いことになる。まっこうから異なる見解が拮抗していることになる。また、天秤というものは水平を保とうとするという本性があると考えられる者や、作用点(プーリー)からの糸の長さ(おもりまでの距離)がモーメントに影響を与えると考える者がいずれも約10%、7%と意外に多いのも特徴的である。これら一見、物理学的法則と錯覚しそうな見解が持たれやすい事は、十分に注意される必要がある。

失重・超重演示装置—実験後の見解とその特徴	
②の「正解者」があげる根拠	4割が「おもり(糸)の動きとアームの動きは独立」をあげているのをはじめ、多くが実験前の見解を保持している。②を選択した者27名のうち、見解を保持した者は25名、92.6%にのぼる。選択が「正解」であることに満足して、初めから理由のわからなかった者を含め、より深い検討を放棄していると言える。
当初予測①の者が採った根拠	「天秤のアームはバランスを保とうとする」から、と②の根拠を推測する者が最多の27%である。これと同率で並んでいるのが、わからなくなって判断を保留してしまったものであり、それは「おもり(糸)の動きとアームの動きは独立」21.6%を上回る。いずれもそのほとんどが、おもりの動きに引きずられて右が下がると考えたことからの判断の切り替えだけに戸惑いをかくせないのだろう。
当初予測④の者が採った根拠	判断をあきらめた者が30.3%にのぼる。①の者よりさらに戸惑いが強いのか。最多は天秤の「本性」に頼ろうとする者で実験前にも約12%あったが、21.2%に増えている。その多くは「おもり(糸)の動きとアームの動きは独立」からの移行である。ということは、これが否定されたので、アームはその平衡状態から、いったん右おもりの落下により①の状態にはいろうとしたが、反動で大きく左にバランスを移したと考えたのであろう。④で「独立」事象としたものも②でもその見解を保持した者が22名中5名あった。これは、独立だから、水平を保っていると考えたが、おもりが動く間は糸の張力がプーリーにかからなくなると考えたようである。 注目すべきは、②の根拠としてはほぼ正解と言える「失重・超重」「下向きに加速するものは軽くなる」などの見解が、この当初予測④の中からのみ出てきていることである(15.2%)。
当初予測③の者が採った根拠	わけがわからなくなってしまったと思われる者が、最も多かった。当初③の根拠を示せない19%を含め、最終的に52.4%に達する者が根拠を保留しているのである。とくに、「おもりの動きや振動の影響で」アームも振動すると考えた者の7割が②についての判断を放棄している。根拠を挙げたものはやはり大半がおもり(糸)の動きの間は荷重がかからないとする見解を支持している(33.3%)。これは、当初予測で②を挙げた者のその見解の支持率37%に匹敵する。

## おわりに

本来はここからが本論として期待されるべきところで、20歳前後の青年たちが過去の学校教育での理科学習を中心とした場で形成させてきた物理現象理解や物理法則の認識の実態を、詳細に分析すべきなのであるが、拙論はまずはそのための演示装置を考案開発したことを報告する事に主眼がある。その目的とするところの上述の件は、調査数の上積みを得て、より詳細に分析して報告することにする。

なお、本演示装置の開発は、先にもふれたように本学部外国人客員研究員として招請した韓長明教授との共同研究の成果である。同教授とは投影式PV自動記録演示装置も開発し、これら二つの装置は株式会社内田洋行による全国教職員発明考案懸賞にて、それぞれ入賞・審査員特別賞を受賞した。また、本演示装置は99年8月の物理教育国際会議（ICPT；中国・桂林）にて、本演示装置による実験結果の考察については2000年8月の同会議（GREP；スペイン・バルセロナ）にて報告し、少なからぬ関心を示されたことを併せて報告しておきたい。

最後に本演示装置の正確な構造図を以下に示しておく。

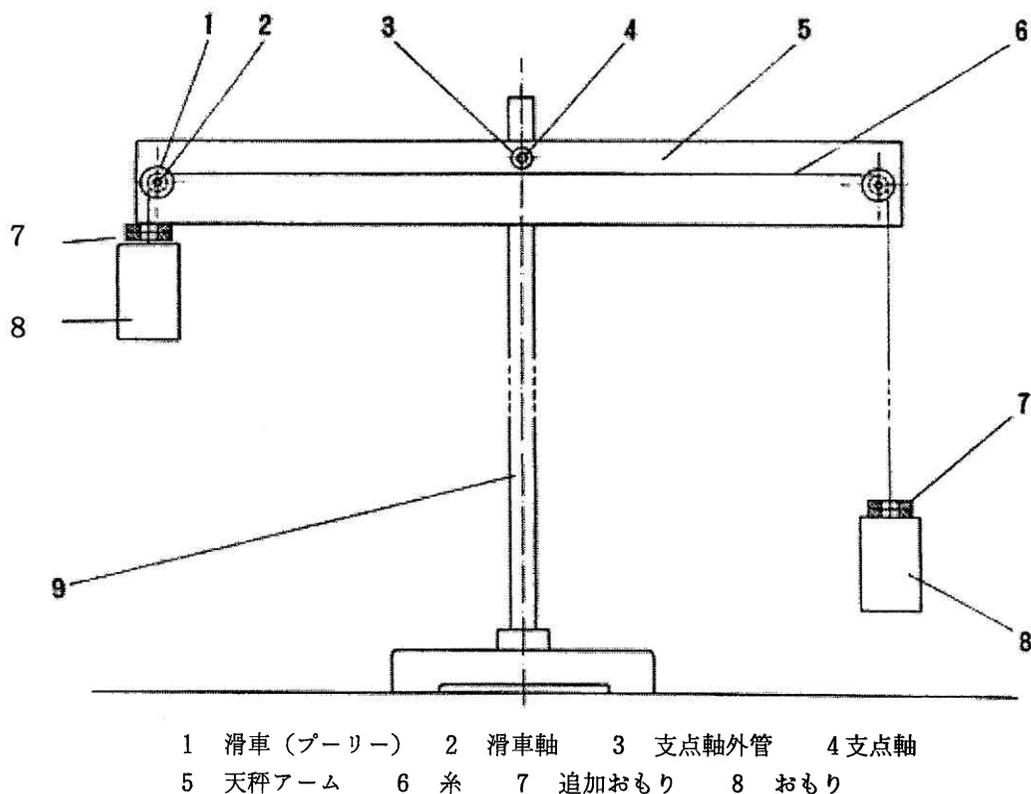


図5 超重失重演示装置構造図