

江沢 問題に気づいて困ったほうが偉いには違いないけれども、子供の前では困らなくてもいいんじゃないか。

高橋 しかし、困る子供なんか一人もないとは言いきれないでしょうし、私自身、むかし先生によって単位の記入・無記入、記入するとすれば記入様式が違うんで、大変に困った算数体験があります。

江沢 だから、その困り方をいまおっしゃった意味に解釈したわけですね。子供が a を量と思ったか数と思ったかで困っているに違いないと、高橋先生が解釈なさったんだと私は思ったのですが、違いますか。

高橋 それは解釈の問題じゃなくて、「黒表紙」の時代から、量の計算式に単位を記入するのかわらないか現場の先生方が実際に困っておられたように、私は記憶してるのです。

江沢 子供が「 a というのは数ですか量ですか。困ってゆうべ眠れなかった」と言ったわけではないですよね。それでは子供がうまく計算できなかったという現象があって、それを先生が見て、きっと困っているに違いないと解釈されて……

高橋 計算式に単位を記入するのかわらないのかは、他人事じゃなくて、かつての自分のこと。

江沢 それは大人になってからでしょう？

高橋 量と数の区別と関連について、いささかなりとも考え出したのは旧制高校生になってからです。それまでは単位の記入・無記入、記入するとすればその様式な

どは、ともかく先生にアワせておくのが、いちばん無難と考えていたようです。

江沢 教育とまた別ですね。教育と分離できません？

高橋 できますとも。しかし私は一応の分離は必ずしも現場との切断を意味しないという立場でしょっちゅうものを書いているんです。小島さんが挙げて下さった文献[3],[4]の各所に散在しています。

江沢 つまり、そこで教育の話ではなくなりましたね。

高橋 さあ、どうかなあ……。そこはそんなに切れないんであって、先生たるもの、その場その場で森さんのような多様な構えでうまくさばっているんじゃないんですか。

江沢 そうそう。だから先生には二面あるというのがぼくの理論なんですけどね。

森 それはそうに決まっているわけで、教師というのは大体だまさないといけない。あんまり真理の塔みたいにしようと思うとどうしようもない。

江沢 まったくそう思いますね。

森 私はいいかげんそのものであるわけで(笑)、そう言うと身も蓋もないから議論してるわけだね。

●電磁気学の量

齋藤 ちょっと別のことですが、さっき物理量の単位の話が出たけど、それを説明してください。

森 高橋さんが御本¹⁾の中で問題にして

1) 高橋利衛『基礎工学セミナー』現代数
学社。

いる話というのは猛烈に難しいし、ぼくもかねがね問題にしたいと思っていたのだけれども、ここで問題にすると大変だから、それは脇に置いておいて、こういうたぐいの話はどうなんですか。小島さんの話とちょっとレベルが変わるかもしれないけれども、電磁気学で MKSA 単位と何とか単位¹⁾ってあるでしょう。

江沢 いろいろあります。

森 あのうちどの単位を選ぶかによって、量が違うというとおかしいけれども、扱う立場自身が規定されるという説を聞いたことがあるんです。つまり、一つ一つの量は確定しているようであり、オームの法則はオームの法則で成り立つに決まっているけれども、電磁気学全体の構図としてはシステムが変わってくるという説を聞いたことがあるんです。

江沢 たとえば磁場というのと磁気誘導というので、字で書くと H と B なんです。単位系のとり方でどちらが基本的かが変わり、電磁気学の構成がちがってくるというんですけれども、……。どうですか。

高橋 歴史的には、磁荷を仮構しないで環電流を基礎におく流儀が定着してから、MKSA 運動が起ったんですね。60年代はそれが教育レベルに取り込まれて行く過程だったと思います。だけど、森さんの言うのはもう少し広い感じだな。

森 その話をちょっと拡大してぼくは考えたいんだけど、ぼくが状況派だというのも多少そういうところがある。電磁気なら電磁気という量のシステムがあって、その

量のシステムをシステムとして見ることによって、それぞれの量が規定されるということがある。ちょっと一般化しすぎて悪いかもしれないが、そういうことがありうるかと考えると、量そのものはシステムを離れてありうるかということがある。これが当たっているかどうかは別にして、ぼくにはこういうイメージがあるんですよ。同じ現象を認識しても、日本のカルチャーでやるのとヨーロッパのカルチャーでやるのと違うということもありえてね。

江沢 ハイゼンベルクがそんなことを言ってますね。

森 そうですか。ハイゼンベルク級だな、オレは。(笑)

江沢 物理量の話からはちょっと離れるけれども、量子力学を日本人が急速に受容し得たのは、量子力学でいう不確定のなかの確定みたいな考えが東洋思想によくなじむからではないかと書いているんです。

森 湯川さんが喜ぶような話だな。(笑)

江沢 湯川さんとか、あの時代の人たちが急速に量子力学を吸収したでしょ。ヨーロッパのほうでは古典物理に比べてけったいなものが出てきたなというので、量子力学をなかなか受け入れなかったのが、日本人は極めて自然に受け入れたというんです。

1) 長さ、質量、時間の単位であるメートル(m)、キログラム(kg)、秒(s)にさらに電流の単位としてアンペア(A)を加えて組み立てた電磁気量の単位の体系を MKSA 単位系という。しかし、電流の単位を加えなくても電磁気量の単位系はできるのであって、実際、静電単位系、電磁単位系、ガウス単位系とよばれるものなどがある。

森 そこまで行くと大変な話ですが、今の電磁気に絞って言いますと、そういうふうの一つの量そのもので量をとらえるという立場に関して、それはどうなんですか。ぼくはそう言われてもよく分からないけど……

高橋 それはどういう意味でしょうか。もう少しパラフレーズしてみてください。

江沢 MKSA 単位系というのは、電流を一つの基本的な物理量だと考えるんですね。そこで磁場というものも、それが電流におよぼす力の大きさで測ることになって、磁束密度 B が基本になるというわけです。そして、この単位系では——ガウス単位系とちがって——磁場 H と磁束密度 B の次元がちがいます。ガウス単位系では電流の単位も電荷の単位も m, kg, s の組み合わせで表わすのですが、電荷に相当する磁荷というものを仮に考えて、ただし磁荷というのは単独にあることはなく、必ずプラスとマイナスがペアになって存在する、ということをつけ加えて、その磁荷に力をおよぼすものとしてまず磁場 H という量を導入するわけです。

磁荷という仮構を MKSA は嫌って、まず電流から始めましょうとやったわけで、それだから B が基本になった。しかし、どちらの立場にもそれぞれ味わいがありまして、ぼくは両棲類かな。

高橋 ぼくの今度の本¹⁾の立場は SI で一貫しているんです。というのは、 H というのは本当にマイクロになると意味がなくなってしまって、 B のほうが出てくる。

これはマイクロになっても残りますから……

江沢 そこまで行けば単位系の違いというのとちょっとまた違いますね。要するに、原子の世界まで下って見れば、物質の磁気も結局は電子の並進や自転の電流によるのだから、電流が基本的な量だということなので……

高橋 そうね。いま森さんが言われたのからはちょっと掘りすぎたようですね。ついでに SI なり MKSA なりが、物理的に根拠が深いことぐらいには触れておいた方がよくはないでしょうか。

江沢 B か H かというのは、現象的には単位系の違いとして言われているけれども、もともとまでさかのぼれば、磁場とは何かということになる。

森 その場合、単に数学的な意味で、座標変換みたいにそれぞれの量を座標変換をしても、そういうかたちで捉えきれないんじゃないかという感じもするんですがね。

高橋 過去にはそれを換算でいろいろやっていたのですが、SI 統一単位系²⁾というものが、フィジカルにも、エンジニアリング的にも筋を通しやすいということがあって、国際的に採用されるようになったんです。それでも私たちははじめ、かなり抵

1) 高橋利衛『図説基礎工学対話』(現代数
学社)

2) *Système International d'Unités*. 基本単位の選び方、次の通り。長さ(メートル, m); 質量(キログラム, kg); 時間(秒, s); 電流(アンペア, A); 熱力学的温度(ケルビン, K); 物質量(モル, mol); 光度(カンデラ, cd). 詳しくは日本規格協会発行『国際単位系(SI)の手引』参照。

抗していたんですよ。ただし全面抵抗というのではなく、工学的に必要なのにダメにされてしまう単位がだいぶあったからなんです。抵抗のかがあって、このごろ併用してもいいことになってきましたので、^{ほこ}銚を収めて受け入れるということにしました。

森 SI の話まで行くと大変だけれども、SI というふうに一元的なシステムにするのがいいかどうかという感じもちょっとあるんですがね。

高橋 初・中等教育面ではかなり苦しい場面も出てくるだろう、とぼくの本[4]にも書いてあるでしょう?

小島 SI だけでは苦しいというのは?

●熱力学の量

高橋 初・中等教育では先生方がたいへん苦勞する場面も出てくるだろうと思うんです。たとえば、熱量の単位がジュールになっちゃったんですよ。そうすると、熱力学の第一法則を知らない人や、エネルギー不減則を広い立場で捉えていない人に、どうやってジュールを力学のエネルギーと熱学の熱量とで共通の単位として教えていくのか。その教案たるや、初等教育では大変なものだと思います。あれは昔はカロリーとジュールできたんです。

森 そのカロリーの問題もよく分からないんだけど、熱というのは量か量でないか、という議論もある。熱というのは伝えられるけれども、それ自身自立していないというのはどういうことなのかな。ぼくは熱力

学が弱いからよく分からないんだけど……

江沢 確かに dQ という量は完全微分じゃないですから、自立していないということになります。

森 それで Q というもの自身を自立した量として考えていいかどうか……

江沢 ある一つの状態と別の状態というのがあったとして、その二つの状態の間で熱量がいくら違うかといわれても決まらないということですね。

森 そういう種類の自立していない量をどう考えるかということですが……

江沢 それはこの二つの状態をつなぐ道を決めれば決まることで、その道を決めた上で量が決まるわけですね。

森 あの問題もちょっと分からないんだなあ。

高橋 科学史としては、熱量を完全微分で書こうとする徒勞を経て辿り着くのが熱力学の第1法則(完全微分なのは内部エネルギー)ということになります。それを初・中等教育にそのまま持ち込むわけにはいかないので、熱量がいくぶん曖昧なまま残るのは致し方ないことだと思えます。だからといって熱量はまだ量じゃないなんてやるリゴリズムは不必要なのであって、もしそこまで言うとしたら熱エネルギーという言葉も使えなくなってしまふ。

江沢 そういうふうにおっしゃられると、高校の物理の先生のなかに、その辺の疑問を非常にシリアスに受けとめる方ができて、「熱」がタブーになる。それは困るん

だな。物理的状況と組にして考えれば熱だって有効な概念なのに、それを避けて、子供たちに七面倒くさいことを言うわけですよ。実際にぼくはそういう先生から質問されたことがあるからよく知っているんだけれども……。

高橋 そういう場合は困るでしょうね。

江沢 認識には段階があるわけで、このところをうまくやらなくてはいけないんだなあ。

高橋 私の本にも書いておいたのですが、ブラックが熱量概念を定立したときには、熱量は温度上昇かける水の量ですよ。カロリーですらないわけです。クーロンはクーロンの法則を発見したときもクーロンという単位は知らなかっただろうし、ニュートンが第二法則を発見したときも、ニュートンという単位なんか知らなかったでしょう。単位の問題がかなり早期に導入されざるを得ない現代の教育状況において、数値×単位というかたちで量がスパッと入ってくる。また、ある一面において、単位付きの文字が入ってくるわけで、ぼくがむかし参った以上に教育面では参っているんじゃないかと思う。

江沢 むかし物理の教科書を作っていたとき、ある物理量を a と書いたときに、この a は単位を含むのか含まないのかというのを神経質に言う人がいましてね。単位を含まない場合は〔 〕をつけるとか……。かえって面倒くさくなってしまっているんじゃないかという気がしたんです。

小島 何か了解してしまえばどっちでも

いいようなものだけれども、ひとたび分からないと思えば全然分からないですね。あれは実際困りますよ。

高橋 工学界でも統一がとれているわけじゃありません。機械系では $f = 1.3 \text{ N}$ 式の書き方が正統のようだけれど、電気系では $e = 0.3 \text{ [V]}$ 式のものが多い。

江沢 普通の式の場合は、 m であろうと cm であろうと、すべての量を一つの単位系で解釈すれば、筋が通るようにできているんですよ。いちいち m と書くとかえって窮屈になってしまふ。

高橋 SI でも 10^{-2} m を 1 cm と書いていいことは従前通りなのです。現実的に困るのはいろんな計器の目盛板を書き変えるのに、大変な経費がかかるということです。ところがもう、工学界では SI 単位系に切換えることがそろそろ日程に登ってきたという感じです。少なくとも不慣れな間は、 ρ は圧力 [Pas] を示す、といったような表示が有効なんじゃないでしょうか。

江沢 長さなら $a[\text{m}]$ と書くわけですか。

高橋 小島さんの調査によると ([7] 参照)、高校課程でもそういう風にした物理教科書が多数あるそうです。そこで気になってくるのが、 a は長さそのものか、係数なのか、ということです。

齋藤 [] はどういう意味があるんですか。

高橋 私の場合は単位名がメートルだという意味を表わし、単位量 m と区別したいからです。単位量を cm に変えたいと

きには、また [cm] とやればいいわけて、それほど窮屈なもんじゃないと思います。ただし以後、なるべく SI 単位系の範囲内で考えていこうという含みはあります。単位名の注意書を付けておかないと、式中の次元をもつ定数の値が違ってきちゃうことがあるでしょう。

江沢 たえば次元解析なんていうのは、そういう単位を固定しないところで成り立つわけですよ。単位を変換しても式の表わす内容は変わらないというのが次元解析ですからね。いちいち m と書きゃったらダメでしょう。

森 あれは単位を固定する意味ではないんじゃないですか。複雑な単位が出てきたときに、その次元は何かというのを了解するのに一つのシステムでやっているという意味のほうが、多分大きいと思うんです。

小島 そうですね。具体的に単位をつけるとすればこうだということで、いま何をやっているかということが分かる。

高橋 「以下に挙げる数値は SI を使っていることを前提にした数値なんだぞ」というわけです。

森 ただ、そのときに SI に一元化すること自体に、ちょっと無理があるような感じがぼくはするんです。

高橋 それはありえますなあ。

森 何か一種の文化帝国主義的雰囲気が出ちゃうわけです。

高橋 SI に限らず、総じて国際単位系なんてもんは、まさに一つの文化帝国主義なんで、発見的なニュアンスを重視する

場面ではかえって手枷足枷になる、ということはあると思います。それだけにエスタブリッシュメント側にとっては実に扱いやすい単位なんですね。

江沢 しかし、MKSA なんていうのは、原子物理学をやるときに非常に不便ですね。いちいち e_0 なんて書かなくちゃならないし……。

森 うちの入学試験の理科の問題では、物理の先生だけが SI に完全に従っていませんね。地学はもうできないんです。天文があって、地質があって、レベルが違いすぎるから。

江沢 太陽まで何 km、ではどうしようもないか。

森 物理だけが普通みたいになってね。

江沢 それはむしろ大学の先生がそれを望んでいるというよりは、高校の教育がそうなっちゃったということでしょう。それ以外で問題を出すと、受験生が困るという配慮ですね。

高橋 そうなんです。高校ではだいたい前に MKSA になってしまったんです。10年も前のことですが、私がコンダクタンスの単位名をモー (U) なんて書くと、学生から「先生オクレテルー」なんて言われちゃったりしたことがあります。彼らはすでに MKSA ではジーメンズ (S) なことを知っていたのですね。

江沢 教科書がそうってしまったんです。

森 便利な面も悪い面も多分あるのでしようが、ちょっと窮屈な感じがしてね。