

10.10 JCO臨界事故とビーム物理

平田光司

hirata@soken.ac.jp

教育研究交流センター

「ビーム物理」は、加速器の物理学的研究のなかから抽象された概念である。加速器の設計、建設、運転は「単なる技術」ではない。そもそも「単なる技術」など無いと言いたい。ここでは「単なる技術」と言われている原子力技術との対比によって「ビーム物理」の新分野としての特徴を紹介したい。

10.10.1 はじめに：ビーム物理について

加速器ビームの研究を内に含む、より一般的な学問分野が存在するのではないか、という感じは昔から持っていたが、同じような考えの人がしだいに集まって最近「ビーム物理同好会」を結成した[1]。もちろん「ビーム物理」の定義というものは存在しない。そもそもどんな学問分野であれ、その外在的定義は存在しないのではないかと思う。例えば素粒子物理学を「もっとも基本的な物理法則を探究する学問」（岩波理化学辞典第5版）と言っても、「定義」したことにはならない。では、「定義」の定義は何だ、などという議論に陥らないで学問分野の説明をするには、隣接、類似の諸分野との比較をするのが实际的だろう。ここでは最近、臨界事故で有名な原子力との対比によってビーム物理というものを説明したい。これはビーム物理を加速器建設プロジェクトとの関連で解説するものであり、他の観点からの説明も参照されたい。たとえば高エネルギー物理学との関連では文献[2]があるし、物理学の一分野としての説明は文献[3]にある。

加速器には様々な用途のものがあるが、加速器の歴史的経緯からしても、高エネルギー物理学のための実験装置である高エネルギー加速器が最も典型的なものである。加速器はそれ自体が目的では無く、ある目的のための手段である。巨大科学装置はすべて多かれ少なかれ「手段」であって、この観点から、最も「手段」的な技術体系と言われている原子力装置の開発、運転の状況と対比することによって、加速器物理学、ビーム物理学の特徴の一端を明らかにできるのではないかと考える。原子力装置が最も「手段」的というのは、装置内で起きる現象はことごとく理解されていて、起き得るミスがすべて把握されていると主張されているからである。法規を遵守し、決められた手順を踏んでいけば安全、順調に開発できることになっている。加速器もかつて、そのようなものと考えられていた面がある。

とは言っても、原子力の実際について、もんじゅ、再処理工場火災、臨界事故などの詳細について、実は良く知らないのが、事実関係において誤りがあるかもしれない。今後の研究によって実証（または取り消し）するつもりである。

10.10.2 役に立つビーム物理

加速器の進歩によって高品質のビームが得られるようになり、それによって、ビームの品質に対する要求がますます高度化かつ広範化するに至っていることが、ビーム物理（という言葉）が人を引き付ける要因の一つであろう。（ビームの品質の基準は様々だが、例えばビーム粒子の総量は同じで、粒子のエネルギーが狭い範囲にそろっているなどがその例である）。諸々の要求に即座に対応することは困難で、近い将来必要となるであろう様々な超高品質ビームを確実に手に入れるためには、現存の加速器技術の量的、予算的拡大だけでは全く不十分であり、ビームそのものの物理的性質に対する基礎的理解を深める必要のあることが強く認識されるようになったと言える[1]。

ビーム物理自体は、ビームの性質を知ろうという「純粋科学」的なものである。しかし、加速器のための基礎学問という側面がビーム物理（少なくともその主要部分）にはある。純粋科学が市民権を得るためには、それが結局は役に立つということを主張しなければならなかったように、ビーム物理も、その有用性を主張し、実証することによって（特に加速器社会に）市民権を得つつある。KEKは日本の加速器技術の総本山とでもいうべき研究所であるが、加速器の学問的（理論的）研究が許容されるようになるには、さらに加速器理論グループが成立するには、なかなか大変なものがあつた¹。加速器に理論はいらない、と公言する人はかなりいたし、今でもそう思っている人も結構いるように思われる（最近では表立ってそういうことを言う人はいなくなった）。加速器の設計、建設、運転には工学的要素も多く、ものをきちんと作ることだけが問題であるように見えないこともない。加速器理論グループが成立するためには、加速器をきちんと設計し動かせるのに理論的研究が必須であり、それが一見不必要でペダントな遊びに見えようとも、また針小棒大の議論でさわいでいるだけに見えようとも、現実の加速器に役立つ、ということを実証する必要があつた。

実例をあげる。加速器ビーム物理の問題の多くは自由度3で時間に依存する古典多体非線形問題である。自由度3ではあまりにも大変なので、まず1次元モデルを徹底的に調べ、できればその厳密解を求める、というのは物理学の手法としてはきわめてまっとうなものであり、その解法に系の一次元性を利用していてもなおかつ、3次元の現実の系を理解するうえで非常に有益なものである。しかし、昔風の加速器屋の世界では、こういうのは評判が悪い。基礎のはっきりしない近似（たとえば摂動論）と経験則を多用しても、3次元系についてもっともらしい答えを出すほうが意味があると思われる傾向があつた。1次元系の厳密解を求めようとするのは「遊び」であつて、休日に家でやれ、という風潮である。こういう風潮に一理あるのは、加速器の設計ではとにかく数字を出さなければならず、1次元系の厳密解では役に立たないのである。しかし、数字を出すことが重要なのではなく、信頼できる数字を出すことが問題なのであつて、ある近似的数字がどの程度信頼できるかを知るには、厳密解の分かっている場合に同じ手法によって得られた近似解と厳密解を比較するしかない。そこで、一見、遊びに見える1次元の厳密解が有益になるのである。物理学的にまっとうな「遊び」とは、このようなものである。

もうひとつ実例：昔風の加速器の教科書ではビーム粒子のエネルギーは一定であるとする仮定の上にすべての概念が作られていた。昔の加速器は実際、そういうものであつた。現代的な電子蓄積リングではこの仮定は大きく破られているにもかかわらず、概念は昔風のものを踏襲している。このためかえて、曲芸的な記述を必要とする。粒子のエネルギー変化（シンクロトロン振動）は横方向振動（ベータトロン振動）と全く別の記述をしなければならなかつた²。両者とも位相空間内の運動として同列にあつかうほうが良いにきまっているのだが、これはなかなか受け入れられなかつた。この一般的な定式化によってKEKではビームの拡がり「きちんと」計算できるコードが開発できた³。これも最初は不必要な「遊び」と思われていたものである。

もちろん、いくらデザインが良くても、ものをきちんと作らなければ加速器ができないことは言うまでもない。では、ものを「きちんと」作るとは、どういうことだろうか？ものを「きちんと」作るには学問的態度が必要である、と言いたい。ここで学問的態度というのは、与えられた仕事を言われたとおりにきちんとこなす、だけでなく、与えられた仕事の意味、目的までを考慮し、それにかなうよう最善の努力をし、より良い方法に気がつけば、与えられた方法を批判し改良法を提案する、というようなものであろう。

それは学問的態度というより職人氣質である、という人もいるだろうが、両者はそうかけはな

¹この記述ではビーム物理と加速器理論が縮退しているが、それは歴史的なもので、ビーム物理は加速器理論の一部も含むが、実験の部分も含むより広い概念である。

²Coutant-Snyder, Sandsなど。

³SADのemittance計算のこと

れたものでは無い。昔からすぐれた学者には職人気質があった。そのような意味で最近、最も印象的だったのは数年前にNHKで紹介された技能オリンピックにおける日本人金メダリストであった。与えられた設計図にしたがってある精密機械の部品を製作する競技である。彼はいち早く部品を完成するがうまく動かない。結局、いろいろ試した末、設計図が間違っていることに気づき、審査員にその誤りと正しい数値を指摘し、完璧な部品を作成した。彼の得点は100点に近い記録的なものであった。これが職人というものの原型であろう。

もう一つ印象的だったことがある。ある加速器研究施設で、若い「研究者」が制御システムを製作するにあたって、プロセッサを購入しそのまま実際の加速器制御システムに導入したことがあった。そのシステムはうまく働かず、調べてみると結局そのプロセッサはカタログ通りの性能を満たしていなかったのである。その研究者は（なんと）私の責任では無く、あやまったデータをカタログに載せていた企業の責任である、と言ったのである。それでも研究者か、と私は言いたい、みなさんはどう思いますか？これが企業の責任だと思う人は以下を読まなくて結構です。

研究者の資質の一つは、既存の通説など、特に権威者の言うことを鵜呑みにせず、自分で考え、自分の責任において理解することではないだろうか？私が書いた教科書が間違っていて、それを鵜呑みにした人が「動かない」加速器を作っても、そいつの責任であろう。もうひとつの研究者の資質は、問題を特殊、個別的なものとし、一般的な問題の現れだと感じる能力ではないだろうか？これがマンガ的に現れると、失恋したショーペンハウエルが女性論を書いて、女性一般をこきおろす、という事態にもなる。しかし、電波受信器における雑音の除去という与えられた仕事から、宇宙背景輻射を発見したのも同じ能力である。

10.10.3 工学部と理学部：物理学帝国主義

物理学者は何にでも興味を持ち、あらゆる分野に××物理学をでっちあげて進出し、領土（大学の講座など）を拡大するという物理学脅威論が「物理学帝国主義」という言葉の語感ではないかと思う。桑原武夫氏が言い出したとされているが、理工系学部拡充の時期でもあり、文科系の講座が理工系にくわれていく時代にあつては、実感をもって言われていた言葉であろう。（現在はその反動ともいえる時期で理科系が守勢にたつてサイエンスウォーズを起こしている）。しかし、この言葉の意味するものはもっと深い。

1999年度の湘南レクチャー「社会の中の科学」の講師の一人であった中井浩二氏は、物理学帝国主義の例として「国際会議でのLadies Program(会議参加者の同伴者をもてなす遠足、パーティなどのプログラム)の立案・実行まで自分でやらないと気がすまない」というのを挙げた。私もLadies Programを担当したことがあるので実感としてよくわかる。物理学者は人まかせができず、すべて自分でやらなければ気がすまないし、人に頼んだことも自分でチェックしないと気持ち悪い。他人の間違いを見つけてかってに改良する、などなど。他人がやった計算は信用するな、とよく先輩に言われたものである。買った物でも分解して完全に動作を確認しないと気がすまず、研究のために必要な装置が市場に無ければ自分で作ってしまう、というのが典型的な帝国主義的物理学者である。社会生活では摩擦を起こす原因ともなるものであるが、学問というのは一般にそのようなものであるべきではないだろうか？

「御冗談でしょうファインマンさん」にはプリンストンのサイクロトロンにファインマンが感激するところがある[4]。

…その混雑ぶりはまさに想像を絶するものがあった。…僕はこのときはっとした。なぜプリンストンの実験室から、どんどん報告が出ているのかに思い当たったからだ。彼らは実際に自分たちの手で造りあげた装置で研究しているのだ。だからこそどこになにがあり、何がどう働いているのか、ちゃんとわかっているのだ。

「帝国主義的物理学者」が加速器を作れば、こういうことになるであろう⁴。

通常の能力を超えるビームおよび加速器をつくり出すためには、予算とマンパワーを投入しただけではダメで（それはおびただし報告書を生み出すだけであり、SSCではそれが起きた）、ビームおよび加速器を学問の対象として研究する必要がある。学問の対象として研究するとは、研究対象を限定せず、必要なら他の人の担当分野にも口を出し（侵略し）、定説を鵜呑みにせず、すべてを（頼まれたわけでもないのに）自分の責任としてcheckする、というようなことである。これが「ビーム物理」の主張の一端である。同じことは加速器だけではなく、高速増殖炉をはじめ、すべての大規模装置の開発にもあてはまるだろう。

こういうことは、小規模な研究においては先生から学生に、先輩から後輩へと受け継がれてきた伝統であろう。大規模な研究においてもそのような研究態度を貫徹するのは無理かもしれない。しかし、これがなければ先端的大型装置の開発は望めない。この矛盾を発展的に解決することが今後の加速器技術、ひいてはすべての巨大装置開発を成功させるキーポイントではないだろうか[5]?

10.10.4 動燃の工学部的体質

高速増殖炉「もんじゅ」では、温度計が破損して大事故となった。動燃（当時）側では、仕様書を書いて発注した。その製作にあたって下請け（のまた何段階か下の下請け）工場では、何に使うのかもわからずに製作したようである。何に使うのかもわからず物が製作できるとは驚きである。まともな技術者であれば、ものを作るにあたってその目的を知らない、ということはいえぬはずである。また動燃側でも納入されたものをそのまま使って疑問を持たない体質があるとすると、深刻な事態であるといわねばならない。仕様書だけでものができる（はずである）、製品はカタログどりの性能を持つはずである（べきである）、というのは学問的態度（つまり物理帝国主義者の態度）とはいえない。しかし、世の中ではそれがむしろ普通になっているようで、そのため、次のような文章が現れるのではないだろうか[6]?

一般に、技術者にとって自らがかわっている技術の全体的ヴィジョンを把握することは、その技術にまつわる倫理的・社会的コンテクストの理解のためにはもちろん、当該技術を成功裏に開発するためにもきわめて重要である。「全体的ヴィジョン」は「心眼」とも言いかえられる。科学的工学の教育を受けただけの技術者（その多くは大学工学部の出身者である）は、この「心眼」をもたない傾向性が強い。

工学部が全体的傾向として「もの」を作らなくなり、変に「学問化」しているように感じる。知り合いで重力波検出装置を建設している（帝国主義的）物理学者は、「最近、工学部の人は何ものを作らないようだ。ものづくりなら理学部だ」と言っていた。個別的な問題に一般性を見いだすと、ほかの研究領域にも似たような問題を見つけ、そこを侵略するのが帝国主義的だとすると、逆に「平和主義的物理学者」は、他人の領分を侵さず、それぞれの「分」を守って、他人にインパクトを与えないあたりさわりのないテーマでアリバイ的に論文を書く。この意味で「平和主義的に学問化」しているのだろうか。ものを作るには帝国主義的にやらなければならない。

仕様書的世界観とでも呼ぶべきものがあって、工学部の発想はこの仕様書的世界観（またはカタログの世界観）に毒されているように思われる。ものを作るには設計図、仕様書をきちんと書いて（またはカタログを見て）発注すれば良い、というような発想である。受注してものを製作する側からすると、仕様書の性能さえ満たせば良く、仕様書に書いてないことで文句を言われる筋合いはないので、とても便利な習慣である。実際に物をつくろうと思えば、しかし、無限の情報を必要

⁴ただし、その後に、プリンストンのサイクロトロンはあまりに乱雑であったために火事になり消失したことも書いてある。ここに大型装置科学と帝国主義的物理科学との関係という一大テーマが潜んでいる。

とするのではないだろうか。職人の修行は、技術は習わずに盗め、というようなものだと言われている。一緒に作業することによって、教えなくても教えようのないもの、無限の情報を伝えることが教育であり、共同作業ではないか。

無限の情報とは、文章化できず、譬えとか詩によってしか伝えられないもののことである。電子メールと手紙、電話でのやりとりと実際に会って話すことの違い、というような譬えで分かっていたらだろうか？目を見つめ合うだけで伝わるのが無限の情報である（ただし、誤解も生ずるが）。こういうのを「暗黙知」というのだろうか[8]。

私の知っている「まともな」加速器研究者は、たとえば磁石の製作にしても仕様書は規則だから一応は書くものの、実際には製作現場に出向いてあれこれ指図し、うるさがられていた、ということは無くて、製作企業の技術者と真に共同作業をしていた。その結果、仕様書とはちょっと違うがすばらしい磁石が安価に製作できた。こういう作業を不要だとする発想による大規模システムには弱点があるのではないだろうか？動燃の技術者、研究者にしても、そのような共同作業をやっていたら、製作側にも温度計の用途がわかり、発注側も設計のミスに気がついたはずである。

昔の職人なら無意識に獲得していた「ものづくり」のセンスが失われつつあり、仕様書の世界観に工学部が汚染され、大型科学装置の建設も汚染され、動燃も汚染されているのだろうか？ビーム物理は、加速器に関して、この汚染を取り除き、もの作りの本質に立ち返ろうという「復古主義的」学問運動とも言える。

10.10.5 JCO事故

JCO東海工場は通常は軽水炉用のウラン燃料再転換加工を行うものである。事故を起こした時は、しかし、高速実験炉（高速増殖炉の予備的研究のための炉）常陽のためのブランケット作成にあたっていた。電気事業法改正によって電力業界に競争原理が持ち込まれたことから業績が悪化し、コスト削減、リストラにはげんでいたようである。経験者が確保できていたのか疑問である。

発注した動燃（核燃料サイクル開発機構）側でも研究者を派遣し、作業を監督する、というか、JCO側の技術者と共同作業すべきでものものであったろう。そもそも研究用の重要な資材は動燃内部で製作すべきものであって、なぜ外注するのか理解しがたい。常陽の仕事は基礎データを取るだけで研究では無い（動燃は研究所では無い）、というかもしれないが、高速増殖炉のように潜在的危険性があり、技術として未完成なものを、研究ではなく事業として行うところに根本的な問題があると思えない。研究所では知識を追求し、事業団は事業を行う、というのは、「研究所では（役に立たない）知識を追求し、事業団では（それと無関係に、仕様書的に）開発を行う」と言っているようなもので、無責任きわまる。本来なら研究所と事業団は一体であるべきものである。または、事業団は研究所＋実務であるはずではないだろうか？高速増殖炉を開発するのなら、多くの研究者が、研究として帝国主義的に「遊び」ながら、慎重に、学問的に開発すべきものであろう。

原子力研究の初期の段階では、多くの優秀な若手物理学者が集まった。原子力研究所を原子力研究から疎外し、別個に動燃を発足させた経緯は有名であるが、その過程で、また、原研の体質を嫌って、優秀な研究者が原子力を離れた。動燃を研究所ではなく、事業団としたのは誤りであった。高エネルギー物理学において、もし高エネルギー物理学（だけ）の研究所と、加速器（だけ）の「事業団」を並列したら、なにが起きるか明らかではないだろうか？初期の段階では、加速器開発部門は事業団的に取り扱われていたが、そのなかから学問的集団が自然発生的に（または、指導部の慧眼によって）生まれてきたように、動燃にもそのような研究者集団が育つ可能性はある。原子力研究の今後のありかたを考えると、加速器におけるビーム物理のような学問運動が必要とされていると感じる。

以上、論じてきたことは学問の新分野と呼べるような質のものではないが、このようなテーマ（大型科学装置技術論）を学問として確立したいと夢見ている。

文中、工学部の方には不快と思われる文章があるかと思いますが、工学部の一面を強調したためであり、決して「工学部はダメ、理学部はヨイ」などと主張しているわけではありません。私も工学部出身です。良い方の理学部と悪い方の工学部を比較したまでで、悪い理学部と良い工学部があることも併せて論ずるべきでしたが、それが中心的テーマではないので、別の機会にゆずりたいと思います。また、原子力関係の事実認識に誤りがあれば指摘していただければ幸いです。

文献

- [1] ホームページ <http://www-acc-theory.kek.jp/BP/BPclub.html> 参照。
- [2] 平田光司「ビームの物理」KEKニュース1999年2月（高エネルギー加速器研究機構）。これは以下のURLでも見ることができる。

<http://koryu.soken.ac.jp/home/staff/teacher/hirata/beamphys.html>
- [3] 安東愛之輔、井上信、片山武司、平田光司、「ビームの物理」、日本物理学会誌第52巻2号(1997)。
- [4] ファインマン（大貫昌子訳）『御冗談でしょうファインマンさん』岩波書店、(1986)。
- [5] 平田光司、「大型装置純粹科学試論」、年報『科学・技術・社会』、第8巻。
- [6] E.S.ファースン『技術屋の心眼』、佐々木[7]より（ただし、引用の意図は必ずしも同じでない）。
- [7] 佐々木力『科学論入門』岩波新書（1996）。
- [8] M. ポラニー著／佐藤 敬三訳「暗黙知の次元」紀伊國屋書店（1980）。