

第3章

高エネルギー加速器と社会¹

平田 光司

hirata@soken.ac.jp

総合研究大学院大学教育研究交流センター

加速器は医療にも広く用いられるなど、直接、社会とかかわることも多くなってきた。しかし、本講では主に高エネルギー物理学のための加速器について論じたい。高エネルギー物理学は、いわゆる純粋科学であり、何らの応用をも目指すものではないので、社会との直接のかかわりは無い。しかし、少なくない税金を使って国家事業として行われている学問である、ということで、非常に社会的、国家的な学問であるとも言える。加速器は高エネルギー物理学の「道具」として実用的な価値を持つものである。加速器は高エネルギー業界に対しては実用的価値をもって存在意義を主張し、高エネルギー業界全体としては純粋科学のスタンスをとる、という複雑な状況にある。しかも、「役に立たない」高エネルギー物理学のための加速器が、医療などと結びついて社会の「役に立つ」という、複雑な構造になっている。講義では、このへんにポイントをおきつつ、高エネルギー物理学と加速器ソサエティーの関係を詳述する。

3.1 高エネルギー物理学をめぐる状況

まず、世界情勢について簡単にまとめておく。高エネルギー物理学を考える上で、戦後を冷戦時代とポスト冷戦時代に区別することが重要である（文献1など）。第2次大戦終結（1945）からソ連崩壊（1991）までを冷戦時代、それから現在までがポスト冷戦時代である。もともと、冷戦時代末期には、すでにポスト冷戦時代の特徴も現われており、1991年に何かが明確に変わった、というわけではない。

冷戦時代の科学を特徴づけるのは、国防を中心とする基礎科学の重視であり、軍事研究の周辺領域として、原子力、核融合、高エネルギー物理、天文・宇宙科学などに大きな投資がなされた。これには、戦時中の科学者動員によって、基礎科学の研究者が軍事研究に大きく寄与したという経験、特に原爆開発計画であるマンハッタン計画の成功（純粋科学である原子核物理学が原爆という非常に「役立つ」成果を生んだこと、また、そのための大プロジェクト方式がうまく機能したこと）が大きな影響を与えている。

MIT工学部長で戦時中は国防省研究開発局長であった V. Bush は戦後、大統領の諮問に答える報告書を作成し、それは「科学——限りなきフロンティア」として出版された。基礎科学の推進が国家にとって重要であることを主張し、戦後のアメリカ科学政策の主要路線となった。基礎科学の推進が応用科学を経由して社会への貢献を生み出す、というこのような見方は Linear Model と呼ばれ、冷戦時代の科学政策を特徴づけるものである。Bush 主義は、社会の役に立つものとして基礎科学を社会のなかに位置づけるものであり、好奇心による科学研究とは異質な観点である（文献 2）。しかし、すぐ役立つ成果が基礎科学に期待されていたわけではない。すぐには、役立つなくても、将来的には有用な成果を生む（ことが暗黙の仮定となっていた）ので推進する、というものである。

原子核物理学は冷戦型科学のひとつとして国家の手厚い保護を受け、順調に進歩した。その傘の下で大型の加速器が建設され、多くの素粒子が発見されたことから、原子力、核融合、核兵器開発と並んで、高エネルギー物理学が独立した学問分野として始まった。高エネルギー物理学は、好奇心主導の学問であり、物理学者は好奇心のおもむくまま研究を進めることができたが、これは linear model の仮定によるところが大きい。冷戦下にあつて、物理学者はむしろソ連との学術交流推進によって、冷戦の危険を緩和させるような運動に熱心にとりくんだ。学術交流推進による世界平和、という発想からヨーロッパの共同研究所 CERN も設立され、同じような考えから、ICFA (International Committee for Future Accelerators) も設立された。冷戦によって恩恵を受けていた高エネルギー物理学者が冷戦の緩和に熱心であったのは、皮肉でもある。ICFA は世界協力で大きな加速器を建設するための組

1 2003年4月24日総研大加速器科学専攻コアカリキュラムにおける講義。これは、博士課程の1年生が、加速器科学全体についての総合的な理解をもつためのもので、本講義はその一環として行われたものである。

織で、その検討の中からさまざまな提案がうまれた。大型電子陽電子衝突型蓄積リング（コライダー）、超伝導陽子コライダー、リニアコライダーなどは ICFA のワークショップのなかから生まれたものである。

冷戦終末期になると、この Internationalism が nationalism に急変貌する。ソ連が強敵でなくなった以上、Internationalism はアピールしなくなった。ICFA で検討されていた超伝導による陽子コライダー（SSC）をアメリカが単独で建設することになったのもその現われだろう。SSC については文献（3-7）を参照。SSC は SDI（戦略的防衛構想）とほぼ同時期に始まったものであり、超伝導技術の開発がアメリカの国益に貢献することも期待されていた。SSC の建設にあたっては軍や軍需産業から多くの要員が管理者として送り込まれ、磁石の開発・製作も軍事産業に発注（まるなげ）されたことも、SSC を考える上で無視できない。これによる伝統的物理学者との軋轢については文献5を見よ。SSC 計画は、冷戦末期で軍事予算が縮小され、落ち目だった軍・軍需産業の受け皿を引き受けることで、冷戦型科学の延命をはかったものという見方もできる。

1991 年のソ連崩壊にともなってポスト冷戦時代がはじまる。ほぼ同時に SSC 計画が中止される（1993）。これは冷戦的科学の衰退の典型として語られることが多い。その側面は否定できないが、SSC はポスト冷戦をにらんだ軍・軍需産業の受け皿の役割も果たしていたもので、この観点からは、冷戦終結によって、SSC が中止されるのはむしろおかしい。同じく 1991 年に行われた湾岸戦争で、通常軍事兵器の重要性が再認識され、そうなると軍・軍需産業としては「かったるい」科学計画などにかかわるより、本業にもどるほうが良い、という面があったのではないかと筆者は疑っている。（超伝導磁石の生産ラインを作っても、SSC 以降の需要は見込めない、ペイしない。SSC はもうからない、というのが産業界の見方であり、計画を中止して補償金をもらったほうが得だった）。冷戦末期で落ち目だった軍・軍需産業と密接にかかわらざるを得ない状況で、SSC 計画は、軍・軍需産業が凋落するにせよ復活するにせよ、その事情にひきまわされる結果となったものではないか。

ポスト冷戦期には、経済の国際化にともない、科学も市場経済の中に置かれる傾向が強くなる。しかも、国民国家の枠を超えて超国家的、国際的な市場が形成された。国家が科学に直接投資するのではなく、産業が投資して利益に結びつける傾向が

強くなりつつある。特にバイオ産業、IT産業にこの傾向が見られる。一方、短期的には産業的利益にむすびつかない基礎科学や人文科学で、大学の講座が減るなどの影響がアメリカでは出ている。ここに至って Linear Model は完全に過去のものとなったが、すでにSSCの計画段階でSSC建設に反対する論調には Linear Model を疑問視するものが現れている（文献3のロイ氏の議論など）。

上記の過程が日本ではちょっとずれていることは指摘しておかなければならない。日本は冷戦期には基礎科学への国家支出が少なく、「基礎科学ただ乗り論」で非難されていた。冷戦期に入って、「欧米先進国」が日本と同じ応用重視の傾向になりつつあった1995年に、日本では科学技術基本法、96年に科学技術基本計画が出され、基礎科学への投資を増やすことが政策となった。もともと、ここでいう基礎科学は、かなり広い意味で使われているもので、高エネルギー物理学などが推進される、と期待してはいけなない。その後の国立大学法人化や産学連携の強化等は、学術の市場原理化というグローバルな傾向に沿ったものであり、科学技術基本計画の目指すものが、高エネルギー物理学などの基礎科学ではなく、産業に役立つ「基礎科学」であることは明らかである。

もうひとつふまえておかなければならないのは、国策としての原子力である。世界が原子力からはなれて行きつつある中で、先進国では日本だけが核燃料サイクル路線に基づく原子力政策を堅持している。ここでも日本はちょっとずれているが、日本の科学政策を考える上で、この点は無視できない要素である。

2001年のニューヨークテロ以降、アメリカの国策は擬似冷戦体制といえないこともない事態になっているが、これがネオ冷戦体制として今後も続くのか、一時的なアナクロニズムなのかは、現時点では不明である。これが科学政策に与える影響も、注目していく必要があるだろう。

3.2 純粋科学としての高エネルギー物理学

高エネルギー物理学は典型的、かつ、ほぼ唯一の「大型装置純粋科学」（文献4）である。大型装置純粋科学は大型科学、かつ装置科学、かつ純粋科学のことであるが、以下のように定義しよう。

大型科学 大型科学という時には、予算、人員の規模だけではなく、研究が高度

に組織化されていることも意味するものとする。すなわち組織化科学でもある。初の大規模科学であり、その典型となったマンハッタン計画に見られたように、あるはっきりした目的のために、さまざまな分野の研究者を集め、組織することによって、目標の達成を目指すものである。大規模科学の特徴をあげると以下になるだろう。

- 1 個々の研究者には研究テーマが与えられており、その問題を解決することが業務となる。
- 2 仕事の評価も、いかに学問に貢献したか以上に、いかにプロジェクトに貢献したか、が重要視される。

これらは、伝統的な研究者の行動様式とは矛盾するものであり、mode2（文献8）と呼ばれるものの特徴の一部である。

装置科学 高エネルギー物理学の現在の局面では、世界最新鋭の装置でしか新しいことは研究できない。世界で一番性能の良い加速器がすべての成果を独占する。（新素粒子の threshold よりエネルギーが上か下かで、大違いであるから）。装置の優劣が研究成果に直接むすびついているのは、軍事と似ている。兵器が劣っているのは人数が10倍でも勝負にならない。このように、装置の優劣が決定的に重要な科学を装置科学と呼ぶ。最先端の装置でなくても、ファシリティとしての利用で十分である分野のほうが多い（放射光利用施設など）。

純粋科学 好奇心をみたくするための (curiosity oriented) 科学である。高エネルギー物理学は典型的な純粋科学であって、その目標である「物質の根源形態」が発見されたところで、人類の福祉はもとより新兵器の開発にさえ貢献しないだろう（文献9）。純粋科学においては専門分野における新しい知識を得ることだけが要求される。この知識は論文の形で発表、蓄積される。純粋科学では論文による業績競争が起きる（「出版か死か」といわれる）。この論文を審査するのも専門家であり、専門家は「ジャーナル共同体」を形成している（文献10）。良い論文かどうかは、専門家的判断によってのみ判断され、社会への影響などは、まったく考慮されないのが普通である。純粋科学の逆は任務遂行型科学 (mission oriented) であり、典型的には核融合科学だろう。

3.3 高エネルギー物理学の社会学

高エネルギー物理学は装置科学なので、論文を出版するためには、新型（「大型」）の加速器の開発が必要である。これまでの加速器を上回る加速器を作るには、規定路線の延長上で勝負するのがもっとも能率が良い。ここで、戦艦大和を生んだ大艦巨砲主義と同じことが必然的に起きる。つまり、加速器の大型化によって性能を上げることである。このためには予算獲得が必要であり、また、資源の効率性から主要研究所への集中が必要となる。この新加速器を建設するために加速器研究者集団が存在する。逆に、新加速機構の実用化などによって、安く、性能の良い加速器を時間をかけても開発しようという発想は高エネルギー集団では生まれにくい。開発している間は業績を出せず、純粋科学における業績競争で落ちこぼれるからである。

大型科学の常として、研究者の組織化が行われ、研究者の持つ伝統的アカデミズムとは矛盾することが多い。SSCでも深刻な事態が起きた（文献5）。加速器が大型化するにともない、研究の組織化は必然的に必要となるが、日本では、これまでは家内工業的、中小企業的な運営を行ってきた。今後、より大規模な計画に対しては、プロジェクトの運営をどうするか、大きな課題である。

純粋科学として、高エネルギー物理学の成果は、要するに論文である。その延長上にノーベル賞による国威発揚などもありえる。産業への波及効果も当然ありえるが、波及効果のためにプロジェクトを行うほどのものではない。高エネルギー物理学が社会にもたらす「恩恵」としては、実は大学教員、産業技術者などへの人材供給も無視できないし、また医療、産業用の実用的な加速器のノウハウ獲得が大きい（文献11）。

3.4 高エネルギー物理学における加速器研究

高エネルギー物理学は社会に対しては純粋科学のスタンスを取り、なんらかの任務を遂行する、というものではない。しかし、その中であって、加速器研究グループは加速器建設という任務がある。

一般に任務遂行型の科学研究では、任務に期限が定められている。期限内になんらかの結果を出すには悠長に構えてはられない。文献に出ている知識を利用して、

グラムを並列して使うなど、安直な設計をした。さらに、超伝導磁石の作成に関して甘い見直しを採用し、SSCの建設費見積もりを安く抑えたと思われる。建設が決定してから、デザインを大きく変更し、建設費がほぼ1.5倍になったことは、SSC中止に大きく寄与している（文献6）。

「もんじゅ」の事故では、ちょっと考えれば誰にでもわかりそうな誤りがチェックをうけずに実用化され、大惨事となった。日本の原子力「開発」は当初から予算先行で、問題を抱えている。基礎から積み上げてきた技術ではないので、底が浅いのである（文献14）。任務遂行のプロジェクト研究に対する考え方が甘かったのか、加速器研究者集団にあたる研究者グループを形成しようとしなかった。要するに、研究者は言われたことだけやっていたらよい、よけいなことはするな、という方針だったようだ（この辺の事情については文献5に引用されている中井浩二氏の発言を参照）。加速器についても、同じようなことを言う人は今でもいるが、高エネルギー加速器に限ってはそのような意見は徐々に死滅しつつある（軌道放射光施設では文献15に報告されているように、ユーザーからそのような意見が出ることがあるようだ。軌道放射光を用いる科学は装置科学ではないからであろう）。

高エネルギー集団は社会に対して純粋科学のスタンス、加速器は高エネルギー集団に対して任務遂行型のスタンスをとるが、加速器集団でも加速器理論は加速器に対して純粋科学のスタンスを取る。実は、純粋科学と任務遂行科学の違いは、研究者のスタンスの違いだけであって、「良い」純粋科学と「良い」任務遂行科学の差は無いのではないか。悪い純粋科学の典型は「正しいだけの」論文を量産するような研究、悪い任務遂行科学の典型は「言われたことしかやらない」式の投げやり研究であろう。

3.5 持続可能な高エネルギー物理学---ビームの物理

ポスト冷戦期の状況を考えると、高エネルギー物理学の将来は暗いと言わざるを得ない。科学が限りなきフロンティアだとしても、「もうかるわけでもなし、わざわざ苦勞してフロンティアに行かなくてもいいんじゃない？」というのがポスト冷戦期の風潮である。高エネルギー物理学が学問分野として活気と魅力にあふれたものだったのは、冷戦のもとで予算が増え続け、研究者の拡大再生産が可能だったから、という側面が大きい。今後、予算が減らないまでも、増えていかないとすると、

要するに、教授一人が一人の後継者を養成すれば良い、という定常状態の中で、学問の魅力と活気をどうやって保っていくかが問題となるだろう。

高エネルギー物理学の研究所として出発したKEKだが、ビームの医学利用、放射光施設の建設など、高エネルギー物理学の本流からみれば「道しさ」であるプロジェクトを行い、それによって広汎な社会的支持を集め、その基礎の上に本業が立ち行くようにした機構化（文献16）も、ポスト冷戦期に対応するための方策とも言える。これは高エネルギー生き残り策として有力なものであろう。

「高エネルギー物理はなくても加速器屋は食える」という意見もあるが、これは違う。先端加速器の開発を常に必要とし、ボトムアップのアイデアを出せるような加速器研究者集団を恒常的にかかえる必要があるのは今のところ高エネルギー物理のみである。将来、たとえばブライトネス競争が起きて、ブライトネスがあるthresholdを超えると何かできる、というようなことがもしおきれば、放射光化学も装置科学となって強力な加速器集団を必要とするだろうが、ちょっと現実には考えにくい。

高エネルギー物理学が生き延びるためには、KEK方式を生かしつつ、加速器の小型化、低額化を計らなければならない。そのためには、長期的な視野にたった真剣な基礎研究を必要とする。そこで次のようなシナリオが可能かもしれない（文献4）。

- (1) 戦艦大和路線から身を引き、そのような加速器研究は自粛する。
- (2) 冒頭に書いたように、そうなると高エネルギー集団は業績競争から落ちこぼれる。ここは将来のためだから、あきらめてもらう。一部は国際協力で外国の加速器実験に参加して、命をつなぐ。もともと、この状況は世界的なものだから、国際的なとりきめによって、新たな加速器の建設を凍結する、ということも可能である（ICFAが決める）。
- (3) 高エネルギー集団は加速器開発に転換する。
- (4) 長期的に、先の見えない加速器開発を続けると、他の物理学分野に比べて高エネルギー業界が失墜する恐れがあるので、加速器開発を学問化する。つまり、純粋科学としての加速器開発のスタイルを取り入れ、ジャーナル共同体を形成する。大学の高エネルギー研究者にとっても、業績を上げなければなら

らないので、加速器開発の学問化は、高エネルギー物理研究から加速器研究への転換を促進するだろう。

- (5) ビーム物理学の応用として、実用的な加速器（小型でハイパフォーマンス等）のイノベーションも行う。これは高エネルギー加速器の小型化にも役立つだろう。

このような観点から、加速器の学問化ともいえるビームの物理（文献17）は高エネルギー物理学の将来にとって、非常に重要なものだろう（文献7）。実際、ビーム物理研究会（文献18）には高エネルギーの研究者もすでに多数参加している。物理学会にもビームの物理分科会が新領域として認められた。

本稿のような議論は、科学と社会の関係についてのものであり、そのような議論の場として物理学会に、「物理学と社会」の分科会も新設されている。また、より本格的には科学技術社会論学会（STS学会）（文献19）が2002年に創設されている。

【参考文献】

- (1) 中山茂、吉岡斉編集 「科学革命の現在史」 (2002)。
- (2) 村上陽一郎 「文化としての科学/技術」岩波新書 (2001)、Ⅲ章
- (3) 平田光司、高岩義信「SSC—巨大実験の科学」岩波講座「科学/技術と人間」第2巻所収 (1999)
- (4) 平田光司「大型装置純粋科学試論」年報科学技術社会、第7巻 (1999)
- (5) 平田光司 「SSCと大型装置科学の現在」岩波「科学」1999年3月号 (1999)
- (6) 平田光司 「SSCとカオス」新分野の開拓'99、平田光司 「シミュレーションと社会」 科学と社会 2000
- (7) 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)
- (8) M. ギボンズ編 小林信一監訳 「現代科学と知の創造」丸善ライブラリー (1997)
- (9) 佐藤文隆「科学と幸福」岩波書店 (1995)
- (10) 藤垣裕子 「科学的合理性と社会的合理性」、小林傳司編「公共のための科学技術」

(2002)2章

- (11) 平田光司「「大型科学」論と STS の課題」科学技術社会論研究、第 1 号、68 (2002)
- (12) 総研大ジャーナル 2 号 (2002) 特集の生出氏の記事参照。
- (13) M. ポラニー著／佐藤 敬三 訳 「暗黙知の次元」紀伊國屋書店 (1980)
- (14) 高木仁三郎、「原発事故はなぜくりかえすのか」、岩波新書 (2000)
- (15) 濱広幸「Beam Dynamics Activity on the UVSOR Storage Ring」ICFA Beam Dynamics Newsletter vol. 15 (1997) 27.
- (16) 平田光司「大学共同利用機関の統合と学術交流への新しい試み」バイオサイエンスとインダストリー Vol. 61, No. 2 (2003)
- (17) 平田光司 「加速器とビームの物理」岩波講座「物理の世界」(2002)
- (18) HPは <http://home.hiroshima-u.ac.jp/ogata/index.html>
- (19) HPは <http://www.cs.kyoto-wu.ac.jp/jssts/>