

加速器科学における大学院教育

平田 光司*

Graduate Education in the Accelerator Science

Kohji HIRATA*

加速器科学は物理学や化学のような伝統的専門分野とは異なる。加速器研究者の育成についても、加速器科学の特殊性を考慮にいれなければならない。加速器から見た加速器教育という内部論理だけでなく、加速器の利用者、さらに広く社会の中で加速器がおかれている状況も考慮しなければならない。このため、まず、日本の大学院教育のもつ問題点を整理する。その後、加速器科学の特殊性について論じ、加速器科学の大学院教育についての議論につなげる。

1. 日本の博士課程大学院の問題

日本の大学院は、1986年の帝国大学令によって帝国大学に設置されたのが始まりである¹⁾が、戦前の大学院は制度的には失敗に終わった。「コースワークも無く、学位制度とも結びつかず、就職までの待命期間に履歴書の上で空白を埋めるための仮の宿にすぎなかった」と言われている²⁾。戦後、アメリカの大学院制度にならって新制大学院が作られたが、教授会が学部を基礎としていたので、事実上、学部が付属しているものとなった。これは学問の後継者養成のためのシステムであって、コースワークと「独創的研究に基づく研究論文」である博士論文の提出が終了の要件であった。実際には、コースワークはほとんど無く、学生は先輩に教わりながら独自の道を切り開く、または教員の仕事を手伝いながら先生の技術を盗む、というようなところが多かったと思われる。要するにオンジョブ・トレーニングであった。

1990年代には、近い将来、知識社会が到来するという認識から、産業界から大学院の充実が要求され、政府も科学技術創造立国という国策を制定する、という流れの中で、大学院の重点化が行われた。博士論文の要件も、「自立した研究者であることを示すもの」

へと変わった。この大きな流れは、研究後継者の養成機関であった大学院を、広い社会的ニーズに答えられる高度な研究能力を持つ人材を育成する機関へと、その役割を転換するものであった。同じような理由によってポストドク等1万人計画が実施されている。博士号取得後、多様なスキルを身につけ、社会のさまざまな需要に応ずることが期待されていると言えよう。

大学院の重点化によって、博士課程の定員は飛躍的に増大した。1998年の時点で毎年1万5000人が、理学系だけでも1500人の博士が出る³⁾。このうち1/3は無職、ほとんどはポストドクとなる。ポストドクが増え、その就職先が無いというポスト＝ポストドク問題が引き起こされるなど、博士をとりまく状況は混乱している。博士号取得者のほとんどは研究職につくことを希望しているが、当然、毎年1万5000人の博士が研究職につけるはずは無い。ほとんどはポストドクを続けながら、研究職につけないまま、年をとっていく。ポストドク制度を活用して、新しい分野に転進し、そこで活躍することが望まれているが、期待どおりにはなっていない。それには様々な要因が考えられる。社会の各セクターにおける事情を考えてみる。

- ① 産業界：日本の博士は、採用しても戦力にならない⁴⁾と考えられている。一方、大企業が中央研究所で基礎研究を行って、製品に結びつけるという戦略が世界的に疑問視されるようになっており⁵⁾、博士の研究能力を必要とするような基礎研究は、ベンチャーや産学連携に求めることが世界的傾向となっている。博士号取得者が産業界で活躍できる舞台は、これからはベンチャー企業および産業界からの委託で大学が行う産学連携活動となるであろう。
- ② 政府、行政：科学技術創造立国のために、ともかく博士取得者を増やす政策を採った。博士号取得者

* 総合研究大学院大学葉山高等研究センター Hayama Center of Advanced Researches
(E-mail: hirata@soken.ac.jp)

の数が多きことは知識社会における産業構造を維持するために必要な条件であることは確かである。しかし、これは十分条件ではない。総合科学技術会議は博士活用のための進路として(1)研究者、(2)ベンチャー関係者、(3)科学コミュニケーター・政策関係者をあげている⁶⁾。(2)についてはすでに様々な外部資金が充実しつつあり、大学を産学連携に誘導する姿勢をはっきり見せているが、(3)については具体的な方策のないまま期待にとどまっている。

③ 大学：博士の生産機構としての大学の状況はどうか。大学院の重点化によって、博士課程の定員は飛躍的に増大したが、(1)大学院教育のためのポストが新たに得られず、従来、学部教育を行っていた教員が大学院も指導することになり、教育の負担が増え、十分な教育が行えない、(2)大学の研究が競争的環境におかれる様になり、大学院生を教育するというより、研究要員として働かせる圧力が生じている、(3)ポストを雇用するための資金は競争的資金として豊富に出回っており、ポストの職につくことは比較的簡単になっている。大学院の教員としては、修了生をポストにすれば責任は果たしたことになり、一種の責任逃れとなっている。

④ 研究者ソサエティー：一般的な科学研究者集団については「ジャーナル共同体」という規定が有効であろう⁷⁾。研究者は、これまでの知見に加えられべき新しい知識を専門の学術ジャーナルに投稿する。ジャーナルでは同じ専門家(レフェリー)によるピアレビューによって、その論文の(1)新規性(2)正しさ(3)先行研究を適切に引用しているか、(4)当該分野にとっての重要性、(5)そのジャーナルのカバーする領域の論文であるか、などをチェックし、適切と判断されればジャーナルの論文として出版される。論文出版は研究者の業績として、キャリアを助け、研究費の獲得における資源となる。これはなにより、新しい論文の生産にプラスに働く。ジャーナル論文による上記のサイクルをジャーナル・サイクルと呼ぼう。特に(3)の引用は重要であり、自分の論文が適切に引用されることは、勲章となるだけでなく、就職や昇進の基礎データとなることが多い。ジャーナル共同体はジャーナル・サイクルによって成立する。(4)および(5)によって、業績となる研究の範囲が共同体メンバーによって決められていて、その範囲を超える知識や研究はそのソサエティーでは意味が無い。ジャーナル・サイクルはその研究者集団が作り、研究者集団はジャーナル・サイクルを作る。ここに外部社会からのインプットはなく、研究

者がタコソボ型になるのはこのためと考えられている。

⑤ ポスドク：ポストの職が比較的豊富にあることから、早急な転進を考えなくとも、とりあえず研究も生活も可能である。このため、研究者指向のまま、他の可能性を考慮しない傾向がある。このような社会層が存在することは、ジャーナル共同体としては有益であり、常に、高度な研究能力を持つ「研究労働者」を確保できるし、必要が無くなれば解雇できる。博士論文を書くまでは指導教員が責任を持つが、ポスト以降は自己責任である。常に無政府的、競争的環境におかれるので、特に女性是不利であり、特別な考慮が必要とされる。アカデミックな職を得られず、研究者以外に転進しようとしても、可能性は広く開かれているわけでは無いので、リスクが大きい。ポストを雇用する教員・研究者はポストを研究競争の要員として確保するのであるから、ポストも教員と同じ競争的環境におかれ、あたらしい活動分野を切り開く余裕は無い。研究後継者養成コースからはずれた者は「落伍者」と見られ、ジャーナル共同体からは忘れ去られる(静かに消えていく)。

産業界が見る博士課程修了者の欠点は、大学院教育の問題点でもあろう。多様な場で活躍する人材の育成を期待して大学院定員が飛躍的に増大したにもかかわらず、大学院教員の側は「研究後継者の育成」という昔の理念のまま現在に至っている。「研究後継者の育成」とは、端的に言えば「ジャーナル共同体の再生産」のことであり、その教育目標は、広い社会的需要にこたえるべき人材の育成とは異なる。学生の意識も同様である。ジャーナル共同体は伝統的学問分野を形成してきたが、大学院をジャーナル共同体の再生産装置とみなす古い考え方がいまだに残っているといえる。ジャーナル共同体の価値観としてはジャーナル共同体の再生産にしか意味が無いのであるが、これは今日の社会的要請には答えられないものになっている。

専門研究者集団の認識と政府・産業界の認識がずれていることは確かであるが、大学院生の志向が研究者への道しか無いのが現実である以上、学生の研究者としての将来を考えると、指導教官としては、とにかく論文が書けるようにしてジャーナル共同体の入り口にまで持っていく必要がある。そのためには、当該学問分野についての広い知識はなくても良くて、何らかの最先端の話題について必要最低限の知識をつめ込むことが必要となる。これがタコソボ型研究者の再生産機構を動かすメカニズムである。これを研究者側の認識

不足とのみ断ずるわけにはいかない。しかし、タコツボ型研究者として育てられた博士の多くがポスドクとなり、将来への展望も無く、研究に欠かすことのできない人的資源として「プロレタリア化」しつつある。知識社会における産業界の国際競争力の観点からだけでなく、将来の学術設計の観点からも、何らかの組織的な解決をせまられていると言えるだろう。

2. 高エネルギー加速器と博士教育

加速器科学の状況は前章で述べたジャーナル共同体とは少し異なる。歴史的には、加速器の建設や運転は、原子核の研究者がその必要性から付随的にやっていたことである。これが学問である、学問的活動である、という認識は比較的新しいもので、KEKの加速器研究系でも、初期のころはたとえばBruckの教科書の輪講をやっていたら、「就業時間外にやれ」としかられた、という話を聞いている。

以下、話を具体的にするために高エネルギー加速器に特化して論じるが、他の加速器でも同様な議論が成立すると思われる。高エネルギー加速器は次に述べるような点で純粋なジャーナル共同体の概念からはずれている：(1)プロジェクト指向の研究者の存在⁸⁾、(2)クライアントである高エネルギー物理学集団の存在。加速器においてはプロジェクトが中心であり、ジャーナルに論文を投稿することはそれほど重要ではなかった。むしろプロジェクトにいかに関与したかが評価の対象になる。加速器の業績を個々に、また集団として評価する別の研究者集団（クライアント）の存在が一般のジャーナル共同体には無い特徴であろう。もちろん、クライアントを含めて考えれば、全体として高エネルギー研究者集団としてジャーナル共同体を形成するとも言える。理論、実験、加速器からなる広い意味での高エネルギー研究者集団を考えれば、ジャーナル共同体と考えることができる。

ジャーナル共同体の問題点は、ジャーナル・サイクルによって一般社会とは切り離された存在となる「象牙の塔」現象、タコツボ化にある。教育についても、ジャーナル共同体の関心はふつうは後継者の養成にしかない。「広い社会的需要にこたえるべき人材の育成」という発想は生まれにくい。大型科学としての高エネルギー物理学の場合には、しかし、古典的なジャーナル共同体とは異なる行動様式が要求されるようになってきたのではないか。純粋科学のために多額の資金を必要とする高エネルギー物理学は、その社会的必要性が問われているともいえる。SSC計画に対する社会および物理学ソサエティからの批判⁹⁾は大型

装置純粋科学に対する根源的かつ破壊的な批判にもなりえるものであり、この批判に正当に説得力を持って答えられなければ、近い将来には「分野としての死」もありえる。これは、一方、高エネルギー物理学のジャーナル共同体としてのありかたを変革する契機ともなり得るものでもある。

基礎科学に投資すれば、それが応用科学の成果につながり社会をうるおす、というユニアモデルに依拠して大型装置純粋科学が存在意義を主張できた時代は過去のものとなり、産学連携が社会からの養成として声高に叫ばれる中で、高エネルギー物理学は存在意義を再定義する必要にせまられている。このとき重要となると思われる観点のひとつは人材育成能力¹⁰⁾である。世界最先端の研究をすることによって一流の研究者を育てれば、その資質は社会の別のところにも生かされ得る。たとえば、大学の教員としてすぐれた応用物理学者、工学者を育てることに貢献する。金融工学を立ち上げた人たちの中にはSSCで職を失った高エネルギー物理学者（ポスドク）が多く居た、といわれている。高エネルギー物理学の共同体にとって、分野としての生き残り大学院教育の問題はかなり接近している。「広い社会的需要にこたえられる人材の育成」を偶発的なスピノフ（金融工学）や、生活上の義務（大学での授業）としてではなく、正面からとらえる必要が生じているといえるだろう。

社会の要請にこたえられる人材を育成する教育として、総合研究大学院大学は創設以来、高い専門性をつけることとともに総合教育を理念としてきた。2002年に出された総研大タスクフォースの報告¹¹⁾では総合教育を次のように分類している。

レベル1（専門の総合性）：各専攻でカバーする専門領域において総合的な理解をもつ

レベル2（科学の総合性）：各研究科でカバーする学問領域において総合的な理解をもつ

レベル3（人間の総合性）：学問全般、社会とのかかわり、などについて総合的な理解をもつ

これらの総合性は、博士号を持つ研究者が社会の幅広いニーズに答え、さまざまなキャリアに進出することを助けるだけでなく、研究者としてそのジャーナル共同体で指導的な立場で活躍するためにも必要とされる能力である。これらは当然のことながら、各専門分野において博士論文が書けるのに十分な深い専門知識を持つことを前提としているのであって、専門性の無い総合性は単なる教養・博識を意味するだけである。

加速器科学専攻を例として考えれば、レベル1はたとえば、加速器全般についての知識であり、加速器

プロジェクトを遂行する上で必要不可欠なものである。レベル2は、たとえば高エネルギー実験、素粒子理論、原子核物理学、光物性などに関する知識であり、加速器プロジェクトの目的を正しく理解して研究に生かせる能力である。レベル3は社会に対して自分の専門領域の意義を説明したり、社会の観点からそれを捉えなおすことができる能力（社会リテラシー）のようなメタレベルの能力である。作文能力やプレゼンテーション能力もふくまれるだろう。

総研大加速器科学専攻では、総研大の方針とは独立にレベル1教育を推進してきた。1999年からはじめて加速器コアカリキュラムである。これはもともと、加速器で博士をとっても、たとえば高周波導波管のことは知っていても加速器のことはまるで知らない、という批判に答えるためのものであった。2003年度加速器科学専攻コアカリキュラム¹²⁾は以下のようなもので、それぞれ2時間から6時間（実習を含む）の講義であり、博士課程後期1年目の前期に事実上の必修として課せられている。

近藤健次郎	「放射線と物質の相互作用」
平田光司	「加速器と社会」
木原元央	「将来の放射光加速器」
高田耕治	「高エネルギー加速器の動向」
神谷幸秀	「加速器の基本概念」(2回)
早野仁司	「加速器システム」
森 義治	「陽子加速器」
鎌田 進	「ビーム物理学：講義」(4回)
大見和史	「ビーム物理学：演習」(3回)
佐々木慎一	「放射線に関わる物理と計測」
中山久義	「常伝導電磁石—設計、計測」
山本 明	「超伝導電磁石」
伊沢正陽	「RF システム 1—基礎」
赤井和憲	「RF システム 2—KEKB」
加藤茂樹	「真空システム」
平松成範	「ビームモニター」
佐藤康太郎	「ビームトランスポート」

加速器の研究者のレベル1の総合教育としては妥当な内容であろう。なお、「加速器と社会」はレベル1というよりレベル3に属するものである。これは2003年度から加えられた。

レベル3については、総研大全体として学生セミナー、サマースクール、湘南レクチャーなど、分野横断的な講義および他専攻の学生・教員との交流プログラムが存在する。しかし、レベル2の教育については、現在のところ不足している。高エネルギー加速器を学ぶ大学院生にとって高エネルギー物理学、測定

器、素粒子理論の知識はある程度必要不可欠なものであろう。Bファクトリーに関して言えば、CPの破れとは何で、それをどうやって測定するのか、ということを理解しておくことは、自分の研究を社会に説明する上ではもちろん、Bファクトリー加速器の性能向上のためにも必要である。実際、現在の高エネルギー加速器研究者の多くは（狭義の）高エネルギー物理学、素粒子理論の出身者であり、そのことが高エネルギー加速器の性能向上に果たしている役割は大きいと思われる。

レベル1, 2, 3の総合教育を受け、博士論文で最先端の業績をあげた学生にとっては、加速器の研究者以外に、多様な進路が考えられるであろう。これからの博士教育にとって、研究後継者の育成ではなく、広範な社会的ニーズにこたえられる高度な知識人の養成が求められているのであり、このことは研究後継者育成と矛盾するものではなく、これから必要とされる加速器研究者にとっても必要な教育である。

3. 加速器科学と加速器教育

さて、レベル1, 2, 3の総合教育を受け、博士論文で最先端の業績をあげるだけでは加速器のもつ利点を生かしていない。社会リテラシーを持つ多様な人材を育成するうえで、加速器には特に有利な面がある。加速器プロジェクトの経験である：

- (1) 狭い専門的知識だけでは、プロジェクトを遂行できない。他の専門分野についても相当の知識を要する。多くの専門分野の協力で新しい問題に対処しようというプロジェクト研究に適応できる能力が養われる（レベル1, 2の実践的教育）。
- (2) プロジェクトの一員として教育されることで、プロジェクトのマネージメント、人間関係の築き方などに豊富な知見を持てる。逆に専門の異なる研究者に自分の専門的意見を説明する必要から、プレゼンテーション能力が養われる（レベル3の実践的教育）。
- (3) 最先端加速器はデザイン通りに作っても予期したような性能を出すとは限らない。ここに加速器科学の存在理由がある。問題がデザインどおりに物を作るだけであるなら、学者は要らないだろう。この点を深く認識するためにもプロジェクトの経験は重要である。

プロジェクト研究の経験をつむためには、現実のプロジェクトの遂行にかかわることが必要である。現に存在しているBファクトリーの性能向上やJ-PARCの建設に、その一員として加わることによって得られ

る経験は、他の専攻ではなかなか得られないものだろう。

加速器プロジェクトは、常に何かのためのプロジェクトであり、(狭義の)高エネルギー物理学、原子核物理学、光物性物理学などの物理・化学、さらには医療など、目的は様々である。クライアントの存在を考えると、ジャーナル共同体としては高エネルギー物理学、原子核物理学など、別々のジャーナル共同体を考えなければならない。ここに、加速器学会がふつうのジャーナル共同体とは異なる点がある。ジャーナル共同体こそが学問の正しい姿である、という古典的な観点に立てば、加速器科学というものは無くて、高エネルギー物理学、放射光科学、医療用加速器科学などの形をとらなければならない。実際、物理学会でも、加速器研究者はこのような形で分断されて別々の分科会で講演をしてきた。ビーム物理が試行的新領域として3年の期限付きで認められたことによって、はじめてこのような状況から脱することができた。

しかし、一方、加速器だけではジャーナル共同体は作れない。無理やり作っても純粹加速器(加速器のための加速器)のような無意味なものとなるだろう。ジャーナル共同体という古典的研究者集団のありかたが批判され、新しい科学のありかたが模索されている現在、加速器科学は科学者集団の新しい形を示しているものかもしれない。加速器学会はジャーナル共同体という閉じた集合ではなく、複数の閉集合の共通部分として新しい形の研究者共同体を目指すべきである。加速器学会は、ジャーナル共同体としての伝統的な学会(たとえば日本物理学会)と並列するものではないだろう。加速器という学問分野が前提として持つ社会との関係を十分に生かし、加速器科学をジャーナル共同体としてではなく、社会に開かれ、社会に支持される学問領域として推進していかなければならないだろう。

加速器科学は、ある意味では分野横断的またはモード²¹³⁾と呼ばれる「新しい」学問形態の特徴を持つ。分野横断的な分野における研究者養成には固有の問題がある。分野横断的な分野ではさまざまな(伝統的な意味での)専門家が集まって協力する。ここで育成された人材がその分野の専門的研究者としてキャリアを進めることは、しかし、難しい。集まってきた専門家が引退すると、その後は、同じ専門家によって占められる傾向がある。「分野横断的な分野の専門家」というのはある種の形容矛盾である。そこで加速器学会における後継者育成においては、次のような観点が重要となるであろう。

- (1) 加速器科学の専門家ではなく、高エネルギー加速器など、ジャーナル共同体的な専門家を育成する。
- (2) しかし、他のタイプの加速器にも容易に移れるような(レベル1の)広い総合教育を行うとともに、レベル2的な教養を自習できるよう訓練しておく。
- (3) プロジェクトにかかわることによってレベル1,2だけでなくレベル3的な能力を身に着けさせる。
- (4) 加速器学会として、研究者の流動性を確保し、たとえば高エネルギー加速器から医療用加速器に変わった「新参者」が居心地悪くない雰囲気を確保する。
- (5) 特に、個別の加速器研究から離れた研究者(たとえばメタレベルで加速器にかかわる筆者のようなはみ出し者)も「仲間」として居心地悪くない雰囲気を確保する。

加速器学会にとって、後継者育成策は重要な試金石となるであろう。高エネルギー加速器で博士号を取った人間が、高エネルギー加速器しかできず、他の加速器を無視するようでは、加速器科学は衰退せざるを得ない。むしろ、科学政策、科学ジャーナリズムなど、科学と社会のコミュニケーターとしてのキャリアや、他の科学分野にも進出できるだけの基礎教養と社会性をつけることができれば、加速器科学という学問分野の社会的意義もまた、明確なものになるであろう。学会を立ち上げるということは、同好の士が集まって交流するだけのものではなく、社会的責任を自ら引き受けるものでなければならない。学会の今後に期待する。

参考文献

- 1) 羽田貴史「戦後改革と新制大学院」通史「日本の科学技術2」p. 210 (1995).
- 2) 中山 茂「高度成長への道」通史「日本の科学技術2」p. 1 (1995).
- 3) 広島大学高等教育研究開発センター高等教育統計データ集
http://rihe.hiroshima-u.ac.jp/data_category.php
- 4) 博士課程修了者を企業が採用する場合のマイナス要因としては、専門分野では無い問題への柔軟な適応能力の欠如(53%)、基礎研究や学術研究活動へ偏重する傾向(49%)、計画性・コスト意識など経営感覚の欠如(39%)、その他が挙げられている。科学技術庁「民間企業の研究活動に関する調査」(平成10年度)。
- 5) 西村吉雄「いまなぜ産学連携化—企業の研究開発の視点から」(第39回「科学技術社会論研究会」ワークショップ(2004年)の講演。

- 6) 総合科学技術会議「科学技術関係人材の育成・確保について(案)」(2004).
- 7) 藤垣裕子「専門知と公共性」東京大学出版会(2003).
- 8) 平田光司「大型装置純粋科学試論」年報科学・技術・社会 **8** pp. 51 (1999).
- 9) 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 **2** (1999).
- 10) 平田光司「大型科学と STS の課題」科学技術社会論学会誌 **1** (2002).
- 11) 総研大タスクフォース「総研大の将来像」平成 14 年.
- 12) <http://acc-physics.kek.jp/soken/CORECURRICULUM.html>
- 13) マイケル・ギボンズ編著 小林信一監訳「現代社会と知の創造」丸善ライブラリー (1997).