

この冊子をお読みになる前に

基礎科学と人々の暮らし

人類はたえず未知のものに向かって探究し、発展してきました。このような未知への挑戦は今も続いていますし、これからも続くでしょう。研究活動を支えるルーツは、この未知への探究心です。

研究者は、未知の現象の発見に興奮したり、こうあるべきだという現象の確認に安堵したり、あるいは、実験する試料作りに専念したり、実験を行なう装置の建設を行なったり、といった日常生活を送っています。このような研究者の生活は、人々の暮らしと無縁なものに見えます。

しかし、これらの研究は、人々の暮らしと繋がっているのです。一つの例を挙げてみましょう。19世紀は製鉄技術が人々の暮らしを大きく変えました。そこで、鉄を作る溶鉱炉の温度を光の色から測定する温度計が必要となり、温度と色の関係に対する研究が始まりました。その研究の中で量子力学という学問が誕生したのです。量子力学の研究そのものの発展はごく地味な研究によって進展を遂げましたが、その研究の中からレーザーや半導体という概念が生まれました。これらが再び人々の暮らしを変えたことは良く知られていることです。このように、基礎科学と人々の暮らしの間には、長い時間の眼で眺めれば深く結びついていることに気付きます。

この報告書は原子力委員会の中の部会によって作成されたものです。人々の暮らしに役立っている原子力エネルギーも、元をたどれば、原子核反応の地味な研究の中で核分裂現象が発見されたことに始まりました。そして、この原子力が、ふたたび未知なものに向かう研究を生み出す源にも繋がっているのです。

基礎科学と加速器

未知への探究心の方向はさまざまです。物理学においては、より小さい素なものや、より大きな宇宙への探究心がその一つです。物質は原子から構成され、その内部は原子核と電子から成り立っています。原子核を詳しく眺めると、陽子や

中性子から成り、その陽子や中性子もクォークという素粒子から成り立っています。さらに、謎の粒子と呼ばれるニュートリノと呼ばれる素粒子も存在します。最近のことですが、このニュートリノは宇宙空間に満ち満ちていて、宇宙全体ではクォークの何億倍ものニュートリノが存在することも分ってきました。一方、広大な宇宙は150億年前に小さな火の玉が爆発して出来たといわれていますが、最近では、この150億年前の宇宙の描像も次々と解明されつつあります。

このような研究にとって、加速器の存在は必要不可欠な役割を果たしてきました。より小さな素粒子を研究するためにより大きな加速器が必要になるのは皮肉なことですが、大型加速器が素粒子物理学の基礎を作り出したことは、良く知られていることです。

加速器とは？

では、加速器とはどんな装置でしょうか？ 原子番号の一番小さい原子は水素原子ですが、その中を覗くと中心部に正電荷（プラス）の陽子があり、まわりを負電荷（マイナス）の電子がまわっています。この二つを引き剥がし、外部電極に正の電圧をかけると、負電荷の電子が電極に引き寄せられ、電子は運動エネルギーを持ちます。このような装置を一般に加速器と呼び、電圧が1ボルト当り加速されるエネルギーを1電子ボルトと決めておきます。この例は電子を加速する電子加速器ですが、もし外部電極に負の電圧をかけると、正電荷の陽子が引き寄せられ、陽子加速器となります。さらに、水素原子よりも大きい炭素・カルシウム・金といった原子の中心部には原子核が存在し、このような原子核を加速すると重イオン加速器となります。

加速器からのエネルギー

加速器の技術は二十世紀に飛躍的に発展しました。多くの種類の加速器があり、詳しくは本文で述べますが、良く使われている二つの典型的な加速器を紹介しましょう。一つは、沢山の電極を直線上に並べ、荷電粒子を高エネルギーまで加速する線形加速器と呼ばれる装置で、リニアックとも呼ばれます。もう一つは、電極は一つしか用意しないのですが、磁石の中で荷電粒子をぐるぐると何回もまわ

し、元の電極に戻ってくるたびに同じ電極で何度も加速する円形加速器で、サイクロトロンやシンクロトロンがこれに相当します。

このような装置を用いることにより、粒子を数百万電子ボルトにまで加速することは、比較的たやすくできるようになりました。このエネルギーでは、装置の大きさも数メートル以内に収まり、コンパクトであることから工業用や医療用に広く使われ、日本では1千台ほど存在するといわれています。

一方、エネルギーが1億電子ボルト以上の加速器は、主として大学や研究所において基礎科学の研究用に使われています。大きなエネルギーを得るためには、線形加速器ではその長さを長くし、円形加速器では半径を大きくする必要があります。長さや半径が百メートル以上の大型加速器になると、その数は世界的にも限られてきます。

加速器が拓く新たな研究分野

二十世紀の加速器の進展を眺めると、主流は加速する粒子のエネルギーを上げることに置かれ、そのため、より大型化へと進んできました。その流れは今も続いています。しかし、加速器の進展の中で、加速器技術が生み出すまったく新たな分野も出てきました。その例を図1に示しました。

たとえば、電子加速器では、磁石の中で円形軌道を描く時に微弱なX線を放射することが知られています。このため、電子はエネルギーを失い、円形加速器では電子を超高エネルギーに加速することが出来ません。しかし、これを逆の立場から眺め、このX線を物質科学や生命科学に積極的に使う動きや工夫が生まれました。大型放射光施設がその例です。

また、加速された重イオンビームを物質に照射すると、重イオンはある一定の距離を走るとそこで止まり、止まった地点でエネルギーを放出するという特性を持っています。人体に照射し、がん細胞の存在する場所で重イオンが止まれば、がん細胞だけを焼き切って正常細胞には損傷を与えずに済むのでしょうか。このような観点から、医療用重イオン加速器が建設されました。重粒子線がん治療装置とも呼ばれます。

今後、切望される新たな研究領域もあります。その一つは、中性子ビームを用いる科学です。陽子加速器からの陽子ビームを原子核に照射すると、原子核の構

成要素の中性子が原子核の外にはじき出されます。この中性子を「ビーム」として取り出し、それを用いて研究を展開するのです。中性子ビームは、物質科学や生命科学に大きな役割を果たすと言われています。さらに、放射性原子核に照射することによりその放射性を消してしまうと性質を持っています。そのため、原子炉からの放射性物質の処理という観点からも、中性子ビームは注目されています。

このように、エネルギーを上げることにより素粒子物理学の究極を極めるだけでなく、放射光・重粒子線・中性子ビームを用いた新たな科学や医療に、加速器は大きな役割を果たしつつあるのです。

なぜ日本が加速器を？

加速器を用いる研究の主流は、やはり基礎科学にあります。しかしながら、加速器も近年大型化し、また多様化し、アメリカのような大国ですら、すべての種類の加速器を整備することができなくなってきました。そこで、世界的に加速器の建設に関する相談が国際機関を通じて始まりました。まず、数十キロメートルもの電子ビーム線形加速器といった超々大型の加速器に関しては、世界に一ヶ所あればいいでしょう。また、超高エネルギーの重イオン加速器は米国に置き、超高エネルギーの陽子加速器は欧州に置く、エネルギーは高くないがK中間子ファクトリーは日本に置く、といった国際的な分担を決める議論も進んでいます。さらに、利用者の多い放射光施設や中性子ビーム施設に関しては、米・欧・日を主軸に世界で三極構造を作りながら整備していく、といった考え方が浸透しつつあります。

日本では、基礎的な研究や原理の発見は外国で行なったものを流用し、国内的にはそれを使った応用研究を進めれば良いという、いわゆる「ただ乗り論」が第二次大戦後流行しました。しかし、今や世界の中で日本は大きな位置を占める国となり、その国力に見合った投資が、科学の分野でも求められています。そのため、大型加速器の建設には、国際情勢をよく眺め、日本もそれ相当に国際的に分担するという姿勢が必要になってきます。基礎科学進展のための国際分担と言ってよいでしょう。

一方、放射光施設・医療用加速器・中性子ビーム施設といった加速器は、国内

の産業や日本の人々の暮らしに密着しています。したがって、世界の情勢を眺めつつも、国内的な要望や必要性を俯瞰し、順次整備することが必要です。

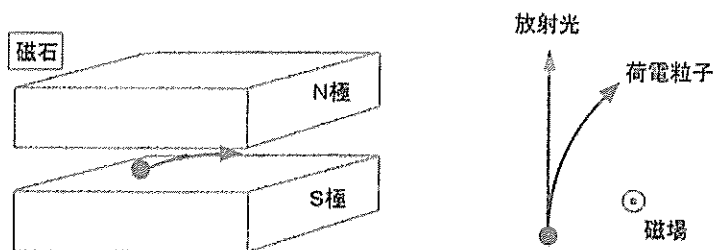
このように、基礎科学を深めていくのみならず、人々の暮らしを向上していく上で、日本における加速器の整備は必要なのです。

本報告書の内容

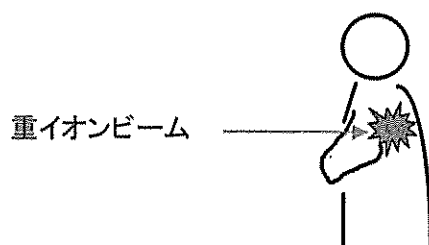
本報告書では、日本や世界の加速器を用いていかなる研究や応用がなされ、また、どのような種類の加速器が存在するのかを、まずレビューします。そして、これらの加速器はいったい何に使われるのかを、考えたいと思います。さらに、今後加速器を用いた科学やその応用において何を重点的になすべきかについて考え、述べることにします。

原子力予算は、加速器技術が切り拓いた新たな分野の整備に重点を置いて加速器分野を育ててきました。その例が、第4節で述べる4つの加速器です。これらの加速器は、現在の日本の加速器の中で大きな位置を占めています。本報告書ではこの4つの加速器をレビューし、今後の方向を探ります。

図1：加速技術の進展により生み出された新たな分野の例

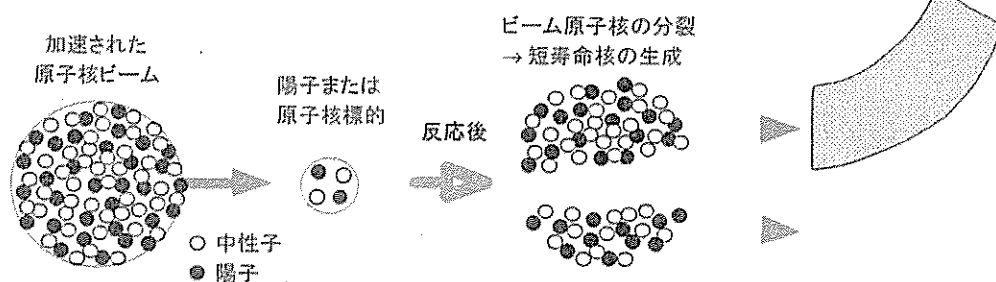


電子は磁場によって曲げられる時に光（放射光）を出す。（放射光科学）

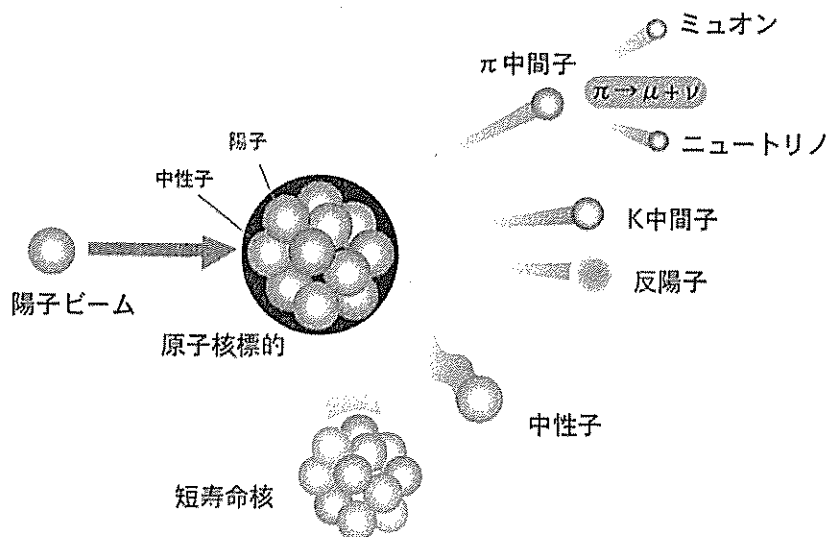


重イオンは一定の距離を走った後急速にエネルギーを放出する。（粒子線治療）

重イオン加速器を用いた短寿命原子核の生成と
短寿命核ビーム (RI ビーム) の生成



重イオンビームは核反応後にアイソトープビームとなる。（RI ビームファクトリー）



陽子は多様な粒子を作り出し、多彩な二次ビームを作る。（大強度陽子加速器）