

日本における加速器の現状（その2）

田川 精一*

Present Status of Accelerators in Japan (Part Two)

Seiichi TAGAWA*

1. はじめに

「日本における加速器の現状（その1）」¹⁾において、加速器利用の拡大と多様化、最近の日本の加速器台数の変遷、分野別の現状等について報告した。今回の報告、「現状（その2）」では、さらに、加速器の社会への貢献、共同利用の状況等について記述する。

また、これまでの加速器の基礎科学や産業・医療への応用から、もっと広い分野への本格的な利用を展開してゆくためには、取り組み方に新しい大きな変革が必要で、量子ビームと異分野融合は加速器分野に新しい視点と切り口をもたらし、利用分野の拡大への大きなきっかけになると考えられる。また、最近の日本の産業界の短期的な利益最優先の風潮とは別に、国としてはただ乗りの政策でなく、長期的な戦略に基づいた「品格ある国」と「外国人からも敬意を払ってもらえる国」の実現を目指して、国力に見合った基礎基盤研究設備としての加速器設備の整備を行うべきだと思う。加速器関連の研究者も独創的な基礎研究の展開と併せて、社会や産業界にも貢献できる長期戦略に基づいた基礎基盤研究を充実すべき時期に来ていると思う。

2. 加速器の社会への貢献

2.1 知的貢献

加速器・放射線の社会への貢献としては、学校教育を中心に我々の世界観形成の上で、加速器・放射線もしくはその関連分野で、ノーベル賞受賞者をはじめとする多くの先人の業績が如何に役立っているかは明白であろう。また、最近の日本における最先端の加速器施設の建設と外国人への利用開放を含む世界への貢

献、IAEA や日本原子力研究所（原研）等の開発途上国への支援事業等も、経済効果だけでなく、知的貢献として、「品格ある国」、「外国人にも敬意を払ってもらえ、信頼される国」の実現に大きく貢献している。最近、日本の企業が基礎基盤研究を支援しなくなっている傾向があるのに反して、外国企業が日本の基礎基盤研究を支援するケースが出始めている。最近の日本企業の短期的な利益優先的な風潮に対して、国には短期的な効率をねらったただ乗りの科学政策ではなく、国力に見合った基礎基盤研究のための加速器設備の充実をすることにより、国際的に敬意と信用を勝ち取ることも大きく貢献して頂きたい。当然、加速器関連の研究者には独創的で革新的な外国人にも敬意を払ってもらえる基礎研究と社会・産業界にも貢献できる長期的な戦略に基づいた基礎基盤研究を実現するための変革が強く求められている。量子ビームと異分野融合には利用拡大への切り口として、また、一つのきっかけ、突破口としての役割が大いに期待される。

2.2 経済効果

現在では放射線利用は非常に広範な分野に広がり、文部科学省（旧科学技術庁）の委託を受けて、原研の放射線利用経済評価専門部会が行った本格的な調査²⁾で、日本では原子力発電に並ぶ、非常に大きな経済規模になっていることが分かった。日本の調査の少し前に行われた米国の調査³⁾でも同様な結果が報告されていたが、根拠の点で不明な点があったので、資料と評価基準が明確に調べられる工業、農業及び医学・医療分野の主項目について、改めて専門家が一年間かけて詳細な日米比較を行った。この調査結果⁴⁻⁶⁾でも、調査した項目については、先に報告されていた米国の放射線利用の経済規模の値が正しいことが再確認され

* 大阪大学産業科学研究所
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
(E-mail: tagawa@sanken.osaka-u.ac.jp)

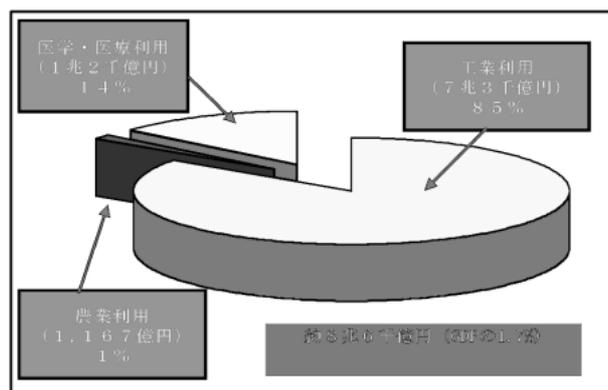


図1 我が国の放射線利用経済規模（平成9年度）
—各分野の割合—

た。

平成11年度に我が国の工業、農業及び医学・医療分野における放射線利用の経済規模、平成12年度に原子力先進国である米国における放射線利用の経済規模を、工業、農業及び医学・医療面からの把握を目的として調査が行われた。これらの調査の要点は、企業アンケートや各種公開統計資料等の系統的な調査結果を、専門家がそれぞれ一年間かけて評価基準をよく検討して行った初めての本格的な調査であった点である。工業利用を例にとると、(1)照射設備、(2)RI放射線応用計測機器、(3)放射線による非破壊検査、(4)放射線滅菌、(5)放射線加工、(6)半導体加工というように各項目ごとに調査・整理し、その結果を踏まえて、工業利用全体について検討している。放射線利用の経済効果は、図1に示すように、従来の原子力の業界団体による調査や漠然と考えられていた規模に比較すると、はるかに大きな規模（GDPの1.7%）であることが分かってきた²⁾。

加速器・放射線利用の経済効果が大きいのに対して、表1に示すように加速器を含む照射設備本体の経済効果は4600億円程度である。経済効果でみると加速器の本体の寄与はそれ程大きくないが、加速器を用いた応用分野の経済効果は大きい。また、表2に加速器を含む照射設備の日米比較を示す。合計だけを見ると、米国より日本が大きくなっているが、米国では未調査効果があるためである。両国で調査結果がある項目だけを積算すると、米国220台に対して、日本が143台となり、日米の放射線利用の経済規模の比率と大体よく対応している。しかし、米国では滅菌・食品関連の台数が多いことがある。これは食肉の照射が許可され、食肉だけでなく包装材の滅菌など、この分野では放射線を利用できる範囲が米国の方がはるかに広

表1 放射線工業の経済規模7兆3219億円（1997）
の照射設備の部分（単位：億円）
放射線の経済効果：工業利用作業部会部会長
田川精一

| | | 分 野 | 出荷高 | |
|---------------|--|-----------------|------------------|-------|
| 照射設備 4,620 | 工業用 927 | アイソトープ Co 施設 | 304 9 | |
| | | 低エネルギー電子加速器ラボ機 | 4 | |
| | | 低エネルギー電子加速器実機 | 30 | |
| | | 中エネルギー電子加速器実機 | 10 | |
| | | 高エネルギー電子加速器実機 | 10 | |
| | | サイクロトロン | 50 | |
| | | シンクロトロン | 50 | |
| | 直線加速器 | 160 | | |
| | 高エネルギーイオン加速器 大電流イオン注入装置 中電流イオン注入装置 | | 67 105 128 | |
| | | 医学用 3,693 | 診断用 X 線装置 | 2,051 |
| | | | 画像診断用核医学装置 | 102 |
| | 検査用核医学装置 | | 2 | |
| | 放射性同位元素治療装置 | | 18 | |
| | 医療用密封同位元素 | | 4 | |
| 治療用粒子加速器 | 107 | | | |
| 医療放射線関連装置及び製品 | 1,409 | | | |

表2 加速器を含む照射設備の日米比較

米国には未調査項目があるので、数値が判明している項目のみの比較では、米国220台に対して日本は143台となる。米国は滅菌・食品関連の台数が多い。

工業用電子加速器

| 分 類 | 台 数 | |
|----------|---------|-----|
| | 米国（推定値） | 日本 |
| 電線 | 50 | 51 |
| 発泡体 | 10 | 14 |
| 熱収縮 | 20 | 28 |
| タイヤ | 20 | 23 |
| 放射線硬化 | | 46 |
| 排煙処理 | | 4 |
| 滅菌・食品包装材 | 100 | 11 |
| 受託その他 | 20 | 16 |
| 研究開発 | | 115 |
| 合 計 | 220 | 308 |

出典：日本データは昨年の調査結果に基づく。
米国データはWG推定値

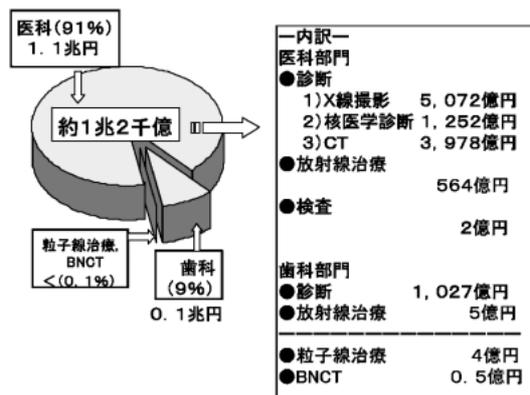


図2 放射線の医学・医療利用

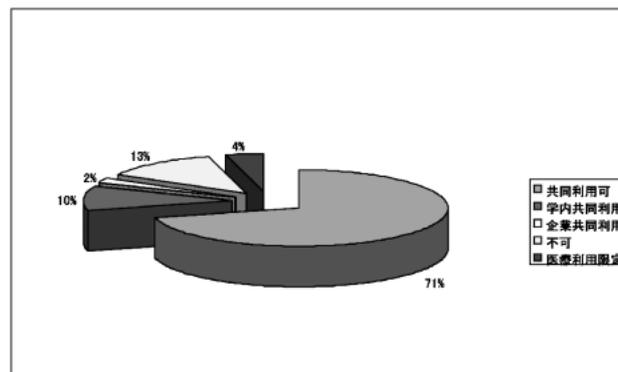


図3 各加速器施設の共同利用の可否

ためである。

2.3 国民生活への寄与

半導体、自動車などの産業分野などのように、経済規模も大きく、国民生活全般に影響する分野の放射線利用もあるが、経済規模は小さいが、医療をはじめとする国民生活に密接した分野でも非常に広範に放射線は利用されている。図2に放射線の医学・医療利用を示す。日本では診断に比較して、放射線治療の割合が小さいことが分かる。また、米国に比較すると癌患者に対する放射線治療の割合が半分程度に止まっている。

最近では、新聞やテレビで報道されることも多く、茶の間での話題にも出るほど、放射線もずいぶん身近になった。放射線の性質を最大限に利用して豊かで、快適な生活を確保するために、今後もっと放射線利用の高度化を考える必要がある。また、放射線利用の高度化とともに小型で安価で利用目的に特化した性能を持つ専用加速器の開発が重要であろう。

3. 共同利用

日本アイソトープ協会・量子ビーム専門委員会の日本の主として研究・教育機関(一部、医療機関を含む)に存在する加速器施設に対して行われたアンケート調査⁷⁾によると、研究機関、教育機関の加速器施設の83%が公募型の共同利用を行っていることと公募型の85%が全国共同利用の形態をとっている。また、加速器・放射線を取り巻く研究・施設維持の環境が厳しくなっている現状の中で、加速器利用への強い要望があること、個々の加速器施設での新しい意欲的な活動が盛んであること、よく稼動している加速器施設は形式上ほとんどの施設が共同利用可能であることなどが分かった。図3に各研究・教育機関の加速器施設の共同利用に関する結果をしめす。

高エネルギー加速器研究機構(KEK)、SPRING-8、原研、理化学研究所(理研)、放射線医学総合研究所(放医研)などの大型加速器施設の中で、KEKとSPRING-8は全国共同利用型、原研は施設共用、理研は連携研究、放医研は夜間、週末の利用という形で大学等の外部の研究者に開放され、世界最先端の研究成果が出ている。原研と核燃料サイクル開発機構統合後の原子力新法人の加速器も業務の中に施設共用が取り込まれ、外部の研究者への利用が行われることになっている。一方、研究・教育用の中・小加速器は大学を中心に設置され、多くの加速器は工夫して非常に広範な分野で活発に利用されているが、予算的には加速器建設への手当てがこの二、三十年得にくくなっている。その上に既設の加速器の維持費もほとんど打ち切られているので、国立大学法人化後、大学での研究・教育用加速器の維持・保守管理が今まで以上に厳しくなってくると予想される。最近では、小型や手作りの小型加速器やビーム発生器のように、制作費も維持費も安く放射線発生装置として許可を受ける必要のない装置による特徴のある研究が、大学などでは盛んに行われている。

4. 量子ビームと異分野融合

量子ビームと異分野融合は加速器の利用研究に活力を与え、新しい変革を促すよい切り口と思っている。特に、加速器の利用の拡大、特に基礎研究だけでなく、国民生活や産業界にも本当に役立つ応用研究に展開してゆくのには、量子ビームと異分野融合は非常に有効的である。量子ビームという言葉が20年以上前に、盛んに使い出され始めた時から東京大学で関与し、その後、大阪大学産業科学研究所で、1995年に2研究分野からなる量子ビーム科学研究部門、2002年にはナノテクノロジーと量子ビームとの異分野融合

で3研究分野からなるナノ量子ビーム研究部門を立ち上げ、現在、2大研究部門に量子ビームと言う名前を冠して運営している経験に基づいて、日本発の言葉である「量子ビーム：quantum beam」について記述したい。最近では、この言葉を盛んに使用し始めた最初のグループの思惑を越えて、もっと強力に多くの研究グループが量子ビームの分野で活躍され、立派な成果を挙げられているのに、量子ビームという日本で本格的に使用され始めた用語の定義に混乱があるようなので定義についても触れておきたい。最近では我々とも関係の深いナノテクノロジーでもそうであったが、日本で育って来たものを軽視し、後発でも外国人が言ったことを今でも、ありがたがる風潮があるので、日本で育ってきた量子ビームという明快な用語にはそうなってほしくないと思う。

量子ビームの定義は単純明快で、量子のビームのことである。量子は20世紀の最重要科学であった量子力学で使用されている言葉で、quantum という字の示すように、分量、特に微小な分量という意味である。量子ビームではどの程度の微小な分量までを量子というのかは厳密な定義があるわけではないが、常識的にはマクロな物理が破綻して、物質が粒子性と波動性の両方を示す程度、もしくは量子効果が顕著に現れる量子ドット程度の大きさを考えるよいと思う。そう考えるとクラスタービーム、微粒子ビーム、ほぼすべての2次ビームも含めた加速器で発生できるビームのほぼ全部が量子ビームと考えてよいことになる。

量子ビームという言葉を使用するメリットはたくさんある。例えば、従来の放射線や光よりも、新しく生まれてきた革新的なビームという側面を強調すると、最先端の研究分野での独創的な新しい研究が生まれる可能性があり、古くからある放射線や光も包含する非常に広い範囲のビームを包含する点では、実用的な研究での異分野融合で、広い範囲の量子ビームの中から最も適切な量子ビームを多角的に選択できる等のメリットがある。

量子ビームは粒子性と波動性を持つとは言え、便宜上、粒子性と波動性のどちらかがより顕著に現れるか、粒子性の強いものでは荷電をもつか、中性であるかなどを考慮して、下記のような分類が行われることが多い。

- 1) 荷電粒子ビーム（電荷を有する全ての粒子・素粒子、及びその集合体・クラスターなど）
- 2) 中性粒子ビーム（中性子、中性原子・粒子など）
- 3) 光量子ビーム（X線、 γ 線、放射光、各種レー

ザーやコヒーレント光など）

当然、量子の特性としての粒子性と波動性、荷電の正負と中性という区分だけでなく、スピンの有無とスピン大きさも、今後の量子ビームの有効利用の中で重要になってくる。

5. 最後 に

前回と今回の2回に渡って「日本における加速器の現状」と題して、利用研究の側面に重点をおいて解説し、利用の拡大と多様化、研究機関・教育機関での加速器の現状、その共同利用の形態・現状といった切り口からまとめた。また、社会への貢献という面からは、知的な貢献はもとより、経済効果としても、加速器本体の寄与はそれほど大きくないとしても、加速器を用いた応用分野の経済効果が極めて大きいこと、さらに、半導体、自動車などの産業分野や、医学・医療分野への利用の拡大が目覚ましいことを見てきた。SPRING-8やJ-PARCなどの大型の装置が建設され、外部の研究者への利用が大いに推進されていくなかで、多くの世界先端の研究成果が得られようとしている。また、一方、大学などに設置されている比較的小型の研究用加速器では、今後引き続いて、予算面ではかなりの困難が予想されるものの、持ち前の機動性を発揮して个性的で優れた研究成果が生まれていくことが期待される。

また、加速器を使用した独創性の高い基礎研究や国民生活・産業界への貢献を大きく展開させてゆくためには、大きな変革が必要である。量子ビームと異分野融合は加速器利用に新しい視点と切り口をもたらし、利用分野の拡大のきっかけになると考えられる。また、最近の日本の産業界の短期的な利益最優先の風潮とは別に、国としてはただ乗りの政策でなく、長期的な戦略に基づいた「品格ある国家」と「外国人からも敬意を払ってもらえ、信頼される国家」の実現を目指して、加速器のように最も多くのノーベル賞学者を輩出するのに役立った、他の研究設備と比較して、巨額な費用を必要とする基礎基盤研究設備に対しては、国力に見合った整備を行うべきだと思う。一方、加速器関連の研究者も独創的な基礎研究の展開と併せて、社会や産業界にも貢献できる長期戦略に基づいた基礎基盤研究と国際協力・国際支援を充実すべき時期に来ていると思う。また、巨額な費用を必要とする基礎基盤研究設備の建設や大型設備の適切な整備や効率的運用、国際協力・国際支援等は競争資金に馴染まない点もあるが、個々の研究者の研究に対しては他の分野と同様に適切な競争要素を盛り込んで、切磋琢磨してゆ

く必要がある。非競争的資金と競争的資金の2つの異なる要素を両立させる仕組みを如何に構築してゆくということが今後の加速器関連の研究の発展と国民生活・産業界への貢献を増大して行くための大きな課題であろう。

謝辞

本報告は、日本アイソトープ協会・量子ビーム専門委員会が実施したアンケート調査、原研放射線利用経済評価専門部会が行った本格的な調査結果を参考にした。

参考文献

- 1) 田川精一, 「日本における加速器の現状 (その1)」, 「加速器」Vol. 1, No. 1, 2004 (31-35)
- 2) 日本原子力研究所放射線利用経済評価専門部会: 平成11年度放射線利用の国民生活に与える影響に関する研究(I)報告書 (文部科学省委託事業 (1999))
- 3) Management Information Service Inc., “The Untold Story: Economic and Employment Benefits of the Use of Radiative Materials”, (1994)
- 4) S. Tagawa et al. “Economic Scale of Utilization of Radiation (I): Industry Comparison between Japan and the USA.”, J. Nucl. Sci. Tech., 39, No. 9, 1002-1007 (2002)
- 5) T. Kume et al. “Economic Scale of Utilization of Radiation (II): Agriculture Comparison between Japan and the USA.”, J. Nucl. Sci. Tech., 39, No. 10, 1106-1113 (2002)
- 6) T. Inoue, et al. “Economic Scale of Utilization of Radiation (III): Medicine Comparison between Japan and the USA.”, J. Nucl. Sci. Tech., 39, No. 9, 1114-1119 (2002)
- 7) 日本アイソトープ協会理工学部会量子ビーム専門部会, RADIOISOTOPE, 52, 340-361 (2003)