

東京大学放射線取扱者再教育資料 No.34 (2016)

- I. 放射線とノーベル賞
- II. 放射線管理区域内作業における関係法令と安全確保の留意点
- III. 放射性有機廃液（液体シンチレータ廃液）の廃棄における留意点
- IV. 原爆被爆者における固形がんリスク

I. 放射線とノーベル賞

2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故により、発電所から放出された大量の放射性物質による環境汚染と最大16万4千人もの人たちの避難があつて、事故後、放射線への不安を口にする人は多いです。そのため、放射線といえば医療と原子力ぐらいにしか役立っておらず、その原子力で問題が起きたのだから良い筈がない、と思う人が少なくありません。果たしてそうでしょうか。高性能半導体や自動車の高耐久性タイヤなど、放射線を利用したものは多数あります。また、基礎科学の最高の位置づけとされるノーベル賞の125年に渡る歴史の中で60件近くに放射線が関わっています。正に2年に一度の割合でノーベル賞が贈られているのです。

図1には、そのノーベル賞史を通して科学技術の発展を示します。もっとも、ノーベル賞の受賞はその対象の発見あるいは発明に遅れて授与されるため、厳密な意味での発見・発明史では有りませんが、社会的に認知された歴史という風にご理解願います。

(1) X線の発見とその後のX線研究

最初のノーベル賞は、1901年X線を発見したレントゲンに対するノーベル物理学賞でした。このX線が、今日の医学および医療に大変貢献していることはご存知のところす。即ち、彼の奥さんの指の骨と指輪がくっきりと映ったX線発見の象徴的な透視画像から骨折や病気の診断法が編み出されました。第1次大戦の最中には「レントゲン撮影機」を積み込んだブチキュリー号が、戦場を駆け巡り負傷兵の体内に残された弾丸や異物の除去に活躍したことは有名です。また、ピエール・キュリーは、自分の妻の手の被ばくによる傷から、放射線が細胞に影響を与える事を知って、医学教授らとの協同でキュリー療法と呼ばれるラジウム照射療法を実用化しました。これが、今日のがんの放射線療法です。存命であれば当然ノーベル医学・生理学賞を与えられても不思議ではありません。その後の放射線でのノーベル医学・生理学賞の少なさは、逆に彼らの業績の偉大さを物語っています。タンパク質や遺伝子等の構造解析を除けば、1946年の放射線低線量被ばく影響についてのLNT仮説のもとになったマラーによる放射線影響の研究、1979年のコンピュータ断層写真(CT)ぐらいです。

その後のX線の特筆すべき研究は、ラウエが見つけた結晶によるX線の回折現象(1914年物理学賞)をもとにしたブラッグ親子の結晶構造解析法(1915年物理学賞)、デバイによる分子構造の解析法(1936年化学賞)です。これが、金属結晶や高分子、さらにはタンパク質から遺伝子の構造解析に利用されて、物性研究や医学生理学の多くの成果を生み出しています。最近では、KEKのPhoton Factoryで行われたアダ・ヨナスらによるリボゾームの構造解析と機能研究(2009年)があります。さらにジークバーンが実験の基礎を築いたX線分光学(1924年)は、物理・化学からジャコニーによるX線天文学(2002年物理学賞)まで広がっています。

(2) 元素発見と中性子研究の基礎を担った核化学

核化学の分野では、今日の原子核モデルや周期律表の穴を埋める画期的な発見が行われました。その先鞭をつけたのは、ベクレルとキュリー夫妻による放射性同位元素の発見(1903年物理学賞)です。また、ラザフォードは、アルファ線とベータ線を発見し、放射性物質の性質に関する研究(1908年化学賞)をし、その後も弟子とともに原子核を発見して原子核モデルを立て、中性子を予言し、さらに原子核の人工変換に成功するなど、核化学の礎を立てました。その弟子のチャドウィックが中性子を発見(1935年物理学賞)して、ハーンによる核分裂反応の発見(1944年)とともに、今日の原子力エネルギーの基になりました。

(3) 電子の発見と放射線の測定技術や加速器の開発

今日のエレクトロニクスの担い手である電子の発見は、トムソンによる「陰極線の電界による進行方向の変化」の定量的な測定によって粒子性と質量が確認されたこと(1906年)によります。その後、放射線を検出する装置や利用技術が多く発明され、さらなる成果が生まれました。まず、放射線教育によく用いられる霧箱ですが、これが3つのノーベル賞を生み出したことは、特筆すべきことです。最初のノーベル賞は、放射線の飛跡を可視化することに成功し、この分野を画期的に発展させることにつながったウィルソンの功績(1927年)、2つ目はアンダーソンによる電子の反物質である陽電子の発見(1936年)、そして3つ目は、ブラケット博士の改良型霧箱による光が電子と陽電子を対生成するという現象の観察(1948年)に対するものです。これは、質量とエネルギーが等価であることを示す象徴的な現象です。また、グレーザーによって泡箱が発明され(1960年)、シャルバックによる多線式比例計数管の発明(1992年)とともに、その後の原子核・素粒子実験物理の飛躍的な発展に貢献しました。

(4) 高エネルギー電子や陽子による素粒子研究

この頃に、線形加速器やシンクロトロンなど、いろいろな加速器が開発され、加速した電子や陽子、さらに荷電粒子を用いた研究が行われました。紙面の関係で、日本人の研究を中心に紹介します。1939年には、中間子の理論で湯川秀樹が日本人として初めてのノーベル物理学賞を受賞しました。その喜びの声の中に、「物理学は紙と鉛筆があればできる。」ということで、若い俊才が、素粒子研究を目指して京大の湯川や名大の坂田昌一、東京教育大の朝永振一郎らの下に集まり、老若入り交じって日夜議論しました。その結果、朝永は、超多時間論を基に「くりこみ理論」の手法を発明し、量子電磁力学の発展に寄与した功績によりノーベル物理学賞を受賞しました。南部洋一郎は、素粒子が質量を持つ由来である「自発的対称性の崩れ」でノーベル物理学賞を受賞しましたが、彼の頭は俗人（物理学者）をはるかに超えていて、素粒子の統一理論の基となるクォークが多次元のひもで結ばれているという「ひも理論」と強い相互作用を記述する「量子色力学」の基となる理論も創った研究者です。考えが先端すぎて、実験的な検証が難しいために受賞が遅れたものです。

一方、日本の経済力が上がるにつれて、方々に加速器が建造されるようになりました。そして、実験物理研究者の声に押されて1971年に高エネルギー物理学研究所（KEK）ができ、高エネルギー物理用の電子加速器トリスタンと陽子加速器PSが建造されました。前者は、トップクォークを創出することを意図していましたが、予算上の制約からエネルギーを抑えざるを得なくて、実現できませんでした。それを挽回するため、トリスタン跡地にB中間子の大量生産研究施設のKEKBが建造されました。そして、スタンフォード大学の電子線形加速器と激烈な実験競争が始まりました。所員は、毎週報告される積分ルミノシティの値と測定結果を見守り、ついにKEKが圧倒的にリードできた時には快哉を叫びました。その結果は、KEKの小林誠と京大の益川敏秀がこの世に反粒子の世界がなぜないかの説明にもなる「小林-益川理論」の検証をしたものです。即ち、B中間子のCP対称性の崩れが検証され、その結果理論の正しさが証明されて、2008年に二人は神とも仰ぐ南部と一緒にノーベル物理学賞を授与されました。

一方、陽子加速器PSは、1987年に完成し、高エネルギー陽子が生み出す中性子、ミュオン、ニュートリノを用いての原子核・素粒子実験と物性研究、さらに医学応用研究が行われました。ニュートリノは、神岡鉱山の地下深くに建造されたカミオカンデに設置された巨大な水タンク中の水にニュートリノが衝突した際に出るチェレンコフ光を検出することで測定されます。1987年2月23日午後4時35分、大マゼラン星雲中の超新星SN1987A爆発に伴う電子ニュートリノが観測されました。これが宇宙ニュートリノの初観測であり、2002年に東大の小柴昌俊にノーベル賞が授与されました。そのグループに梶田隆章が加わり、宇宙ニュートリノの観測を続けました。ある時、自分の観測結果に不思議な結果を認めました。天空から来るものに対して地球を貫通してくるものの方が少ないということです。この頃、ニュートリノは3種類の型があり、質量を持たないと言われていました。一方、坂田らによるニュートリノ振動も予言されていました。梶田は、実験と理論の両面で慎重に検討して、ニュートリノ振動を観測できたと結論しました。さらに、その後の追加実験で確証しました。

未だニュートリノの質量の観測には至っていないため、KEKの陽子加速器PSで生み出されたミュオンニュートリノをカミオカンデ、さらにその後継のスーパーカミオカンデに打ち込んでのK2K実験が行われ、ニュートリノの存在確率が変わ動している状態を直接的に確認し、2004年に質量があることを確実なものとししました。これらの結果に対して、2015年にノーベル物理学賞が梶田に授与されました。

(5) あとがき

ノーベル賞は当然華々しいですが、何に役立っているのかわからないとの声もあります。これを生み出すために開発された科学技術の中で、我々の日常生活にも活用されているものには、原子力エネルギーの他、医療診断ではレントゲン検査から最新のがんのPET診断が、がん治療ではX線治療から最新の重粒子線やホウ素による中性子捕捉療法があります。電子顕微鏡と放射光や中性子回折による物質や生体分子、DNA遺伝子などの構造解明に伴って新材料、機能材料創成や創薬が期待できます。放射線によって材料の高品質化、微細加工、非破壊検査などの工業利用、農業分野では作物の品種改良と害虫の不妊化、医療器具の滅菌・殺菌、環境浄化等に利用されています。加速器技術による電子レンジやテレビのブラウン管もあります。また、これらノーベル賞研究を支えた放射線以外の技術からも画期的な技術が派生しています。例えば、素粒子研究者間でやりとりされたバケツリレー方式の通信手段と大規模情報処理技術から今日のインターネット技術が生み出され、冷凍技術と高温超伝導材料はリニアモーターカーの実現に繋がっています。その他、高エネルギー加速器における高精度ビーム制御技術は産業分野の工作精度の飛躍的発展を促し、例えば、過酷な環境に耐えうる材料は、高温下でも丈夫で長持ちする強靱材料を生み出しています。基礎科学の分野でも、物質科学、生命科学、原子核・素粒子科学、宇宙科学、環境科学、農学、さらに考古学を含めた人文科学の発展に貢献しています。

以上、放射線が多くの分野で貢献していることを述べました。今後、放射線に対する誤解を解く上での一助になれば幸いです。最後に、筆者は、小林-益川理論とニュートリノ振動の検証のために日夜実験が進められていた頃にKEKに居あわすことができました。その中心人物だった戸塚洋二も今回のノーベル物理学賞の候補者として挙げられていたことを伝え、さらに今後、若い人がそれに続くことを期待してペンを置く次第です。

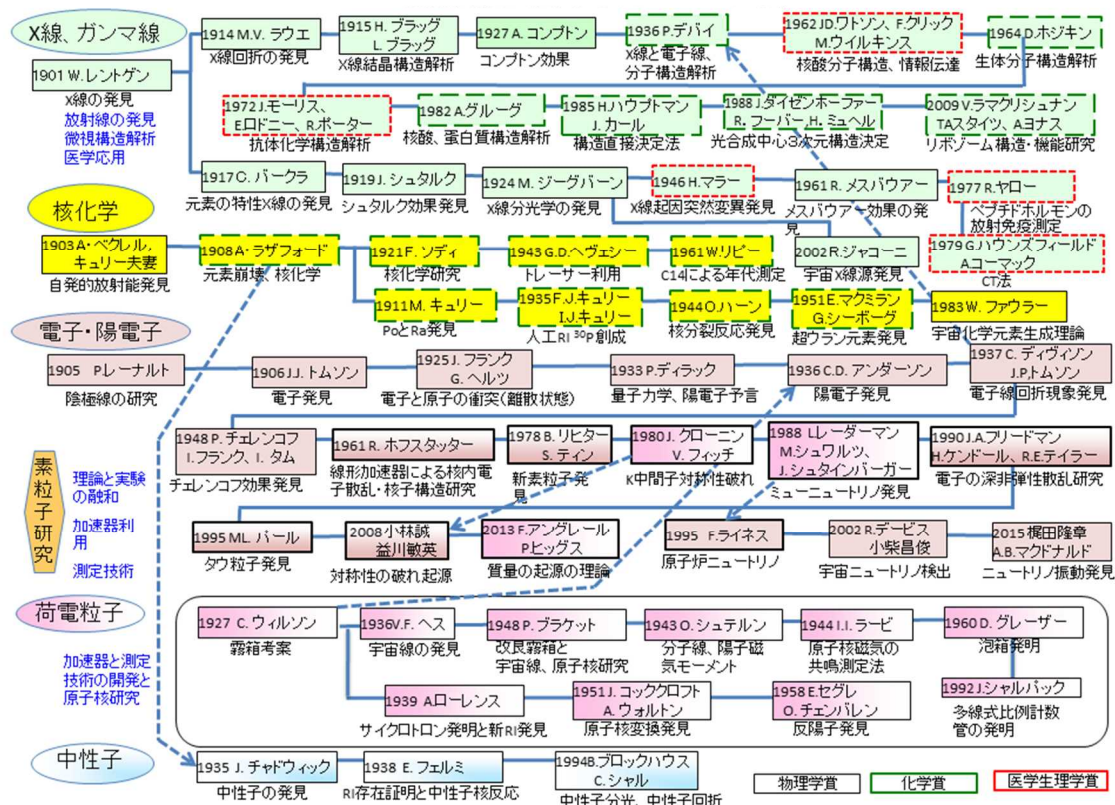


図1. 放射線が関与したノーベル賞

◆参考文献

- [1] 大宮/信光著「現代科学の大発明・大発見 50」ソフトバンククリエイティブ 2012.6; スティーブン・ワインバーグ、電子と原子核の発見 20 世紀物理学を築いた人々、ちくま学芸文庫
- [2] Ada Yonath, "Large facilities and the evolving ribosome, the cellular machine for genetic-code translation," J. R. Soc. Interface, **6**, (2009) S575-S585.
- [3] Karl Manne Georg Siegbahn: "Nobel Prize in Physics 1924 - Presentation Speech". *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. Web. 16 Mar 2016.
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1924/press.html
- [4] James Chadwick, "Possible existence of a neutron," *Nature*: 129 (1932) 312.
- [5] "C.T.R. Wilson - Biographical". *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. Web. 16 Mar 2016,
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1927/wilson-bio.html
- [6] Carl D. Anderson. "The positive electron," *Phys. Rev.*, **43**, (1933) 491- 494
- [7] もう一度読みたい: <初のノーベル賞 湯川秀樹 1>敗戦国日本 受賞に沸く
<http://mainichi.jp/articles/20151105/org/00m/040/019000c>
- [8] Jim Nishimura, "どこがスゴイか 南部陽一郎,"
http://jimnishimura.jp/soc_per/mg_atm0811/nambu.html
- [9] Belle実験の最新の結果について -着々と進む「CP対称性の破れ」の解明-, KEK プレスリリース 2004年8月20日
<http://www2.kek.jp/ja/news/press/2004/Bellepress5.html>
- [10] 鏡の中の法則 ~Belleが発見した新しいCP対称性の破れ~, KEK News 2006年4月6日
<http://www2.kek.jp/ja/newskek/2006/marapr/belle-cp3.html>
- [11] H. Kurishita, et al., Development of nanostructured tungsten based materials resistant to recrystallization and/or radiation induced embrittlement, *Materials Transactions*, **54**, No.04 (2013) pp.456-465

高エネルギー加速器研究機構
名誉教授 川合将義
【再教育項目：話題】