

- トップコラム／北海道大学名誉教授、
同大学安全衛生本部特任教授 関 興一
- 低線量被ばくのリスクについて／〔シリーズ1〕放射線とはどういうものか
- 未来を拓く次世代加速器：国際リニアコライダー／
〔その1〕ILC：国際リニアコライダーとは？
- お願い／名義変更（名変）について
- ご案内／クイクセルWebサービス

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム
146



関 興一

私の履歴：放射線・放射能の 安全管理の世界で生きて

今年の秋は例年になく、樹木の葉が美しく色づき、大学構内は清涼な空気に包まれた。これ程美しいキャンパス風景を眺めたのは、翌年には就職のためいよいよ北海道を離れようと考えていた1971年、修士2年の夏以来である。

結局就職することなく、博士課程に進学しアルカロイドの全合成研究に携わることにした。とは言え随分ふらふらしていたようで、大学院も終盤にさしかかったある日、指導教官だった伴義男教授に「君、学位はどうするつもりか？」と聞かれ、「学位はいりません、ただ勉強しに來ただけなので」と答えたとき、「それではぼくが困るんだよ!」とおしかりを受けるような始末であった。

放射能・放射線（RI）との出会いは、新設の私立大学薬学部就職して数年経って、研究室の整備もようやく終わり、研究体制が整った頃のことである。いつも懇め面をしている教授がいつもよりもっと渋い表情で「アイソトープ施設の開設を手伝ってくれる者がいなくて窮地に立たされているのだが…」と言って研究室に入ってきたとき、思わず「お手伝いぐらいいませんか」と答えてしまったことに始まる。1982年のことであった。

放射線取り扱い主任者となった当初は苦しいことの連続で、研究・教育のノルマは他のフル講座の教員と全く変わらない上に、光化学をメインテーマとしていたことから、「放射能の研究をやっていないではないか」と罵られたり、「主任者の業務は任務だ」と言われたりと、さんざ

んなものであった。これは当時、主任者に共通する悩みであったようで、主任者の地位向上が全国的にも大きな問題となっていた。

それでも徐々にではあったが研究体制も整い、研究成果もあがり、90年代半ばには放射性医薬品の分野にまで手を伸ばすようになった。こうして2003年に母校の北海道大学に移ることとなったが、実に28年目のことであった。折しも国立大学は独法化の荒波に直面していて、RIに関する安全管理体制の改革も喫緊の課題となっていた。この問題は、幸いにも多くの関係者の協力もあって、短期間のうちに片付けることができた。もう一方の使命としていたのが研究活動であったが、これについても素晴らしい仲間達に恵まれたこともあり、期待以上のものとなった。これは、与えられた仕事を必死にこなしてきた私学での長い経験による結果であると思っている。

こうして無事に定年退職したのだが、特任教授となって2年が経過しようとしていた2011年3月11日の東日本大地震による福島第一原発事故が起こした放射能汚染により、社会の大混乱は内側に向けられていた放射線管理者にきわめて大きな衝撃を与えることとなった。今、専門家にはこれまで以上に高度で多角的で、かつ正確な知識、技術の習得により、適正な情報を発信しながら、この混乱に向き合うことが求められているのだ。しかし、この厳しい時を乗り越えることにより、放射線・放射能に関わる者に新たな時代をもたらすであろうと思わずにはいられない。

とは言え、私自身はいよいよこれまでの世界から一歩退き、今度は自ら求める新たな人生に歩を進めたいと思っている。

昨日まであんなに美しかった紅葉も、昨夜の嵐ですっかり抜け落ちた。雪の降る新しい季節が始まろうとしている。

せき こういち（北海道大学名誉教授、同大学安全衛生本部特任教授）

プロフィール●北海道大学大学院薬学研究所博士課程を修了し、東日本学園大学（現北海道医療大学）薬学部にて28年間勤務。

2003年北海道大学アイソトープ総合センター教授（同大学医学研究科大学院教授兼務）となる。2009年同大学特任教授、2010年同大学名誉教授となり、2011年から1年間専門学校診療放射線学科に勤務後、2012年再び安全衛生本部特任教授として北海道大学に戻り、現在に至る。現在、北海道大学における放射性同位元素の安全管理に関する指導・助言等を行なっている。

趣味：硬式テニス、水彩画。

低線量被ばくのリスクについて

〔シリーズ1〕放射線とはどういうものか

公益財団法人放射線影響研究所 理学博士 中村 典



放射線とは

放射線は、大別すると電磁波と粒子線に分けられる。電磁波は広義には電波や可視光、紫外線、電子レンジで使われるマイクロ波も含まれるが、通常は人体にとって健康上よくないもの（電離放射線）を指す。具体的にはX線とガンマ線である。X線は高速の電子が標的の金属に当たった際、その方向が曲げられる時に生じる。他方ガンマ線は、不安定原子（放射性同位元素）の原子核が崩壊する際に、原子核から余分なエネルギーとして放出される電磁波である。原子崩壊に際しては、内殻電子が原子核に捕獲されて空席ができ、そこに上の軌道の電子が落ちてくることもあるが、そのような場合に放出される電磁波は原子核外の現象なのでX線と呼ぶことになっている。紫外線や粒子線（ α 線、 β 線、中性子線、重粒子線など）については紙面の都合で割愛する。

X線やガンマ線はエネルギーによって体を通り抜ける力が違う。レントゲン撮影で肺の異常が見つけれられるのは、肺は空洞なのでX線はあまり吸収されないでフィルムに到達できる（黒くなる）が、結核病巣にはカルシウムの沈着が起こるため低エネルギーX線は透過しにくくなる（フィルムまで届かない）からである。もしもコバルトガンマ線のような高エネルギーのガンマ線を使うと、肺だけでなく骨も通り抜けてしまうのでコントラストがつかなくて目的は達成されないことになる。

放射線の作用機序

X線もガンマ線もそれ自身は電荷をもたないので細胞に影響はもたらさない。しかしそのエネルギーをもらった生体分子からは高速電子が放出され、この放出された電子が細胞内を通過する際に、周囲にエネルギーをばらまいて飛跡にそって電離を生じる。この電離こそが放射線影響の開始点である。

電離放射線とは、イオン化を生じる (ionizing) 放射線という意味である。イオンなど体の中にもいくらかあるので、電離がどうした？と思われるかも知れないが、ここでいう電離はラジカルのことを指している。NaClを水に溶かして生じる Na^+ と Cl^- とはちょっと違う。普通軌道電子は2個が対になって安定しているが、ラジカルはその対となる電子を失った（不対電子をもつ）原子または分子なのである。ラジカルは大変不安定で、たちどころに近傍の原子や分子と反応する。またラジカルは照射された細胞のDNAやタンパク質に直接生じるだけでなく、細胞中の水分子にも生じて、それらが間接的にDNAなどを傷つける。ちなみに種々のフリーラジカルの中で最も反応性が高いのはOHラジカルで、反応時間は1/1,000秒という

素早さである。

ラジカルとなった原子や分子により、でたらめな化学反応を生じる結果、化学結合が切れたり近傍の別の分子と化学結合を生じたりして、本来細胞の設計図にはなかったような分子（傷害）ができる。中でも重要なものがDNAの2本鎖切断である。DNAはよく知られているように2本の互いに逆向きの鎖状分子から成っている。酸素呼吸する生物は活性酸素という有難くない代謝産物を細胞内に作るが、細胞はDNAが活性酸素により少しくらい傷ついても十分耐えられるしきみを獲得している。つまり一方の鎖に生じた傷の部分を確認し、切り取り、正常な反対側のDNAの情報を使って傷を元通りに修復できるのである。しかし困ったことに放射線は、2本鎖DNAの同じところで切断を生じさせる能力がある。それは電子の飛跡に沿って電離が起こるという性質に由来している。このような場合、両方の鎖が同じ場所で傷ついているので正常に修復するための手本がないことになる。もしも修復されないままだと細胞は分裂できないし、細胞の種類によってはアポトーシス（自殺プログラム）の引き金となる。多くの細胞では、死を避けるために誤りを承知の上で切れたDNAをつなぐことも行われる。もし切断部位が遺伝子内であれば、突然変異を生じることになる。がん化を抑制している遺伝子に突然変異を生じると、がん化が促進される可能性がある。

急性影響と遅れて生じる影響

大量の放射線（10Gy以上）を全身に被ばくすると、現代の最先端医療技術でも患者の命を救うことはできない。その理由は、私たちは細胞分裂なしでは命をつなげないからである（ただし脳や筋肉細胞は大人になって以降ほとんど分裂しないため、これらは放射線には大変強い）。つまり皮膚や腸では、組織構造の中に分裂能力を備えた幹細胞が含まれており、一定速度で新しい細胞を生み出してくれている。放射線はこの幹細胞を破壊するので、被ばく直後は異常がないように見えるが徐々に組織が正常状態を維持できなくなる。即ち、分化した細胞は消耗品として捨てられていく運命にあるが、新しい細胞が供給されないので、組織がやせ細ってしまうということだ。腸からの出血（絨毛がなくなる）、脱毛（毛根にある幹細胞の枯渇による）、感染症（骨髄にある造血幹細胞の枯渇による白血球の不足）などが主たる急性症状である。これらの影響は細胞一個が傷ついたのでは生じないもので、低線量では影響が出ない。しきい値がある反応で、線量効果関係はシグモイド曲線を描く。

被ばく後2か月くらい経過すると急性症状は回復して、一応生命の危機からは脱する。この時期以降に生じる影響を慢性影響あるいは晩発影響という。体細胞ではがん、生殖細胞では突然変異が代表的である。

未来を拓く次世代加速器：国際リニアコライダー

【その1】 ILC：国際リニアコライダーとは？

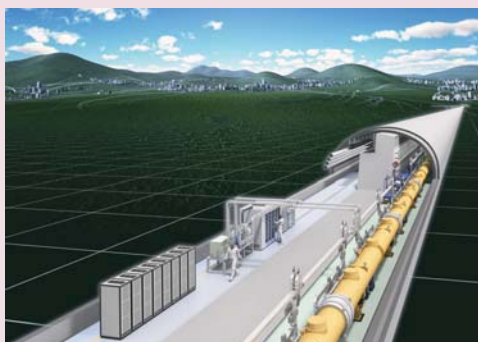
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 高橋 理佳



2013年10月8日、ノーベル物理学賞が発表されました。受賞したのは、ベルギー・ブリュッセル自由大学のフランソワ・アンブレール名誉教授と、英エディンバラ大学のピーター・ヒッグス名誉教授の2人の理論物理学者。アンブレール氏は1964年、私たちが存在するこの宇宙にある物質を形作っている最小の構成単位「素粒子」が質量を持つ仕組みを説明する理論を発表しました。ヒッグス氏は、そのメカニズムがあるとしたら、これまで見つかっていない新粒子が見つかるはずだ、と予想しました。

「ヒッグス粒子」と呼ばれるこの新粒子の発見は、理論の発表から半世紀にわたる研究の成果であること、また、この粒子が、私たちの考える「宇宙」という概念を一変させてしまうかもしれない、とてつもない粒子であることから、素粒子物理学者の間では「革命」とも呼ばれています。

この革命の立役者となったのが、スイスとフランスの国境に位置する大型ハドロンコライダー（LHC）加速器です。このLHC加速器での発見をさらに発展させる、LHCの後継とも言われる次世代型加速器が国際リニアコライダー（ILC）です。国際協力で世界にひとつだけ建設されるILCの最有力建設候補地として、今、日本が世界からの熱い視線を集めています。これから数回の連載で、この国際リニアコライダーについてご紹介していきたいと思えます。



ILCの完成予想図

「加速器」とは、電子や陽子といった粒子に大きなエネルギーを与える装置の総称です。あまり馴染みの無い装置に思えますが、広い意味では、蛍光灯やブラウン管テレビも加速器と言えます。また、病院で行われるPET診断やガン治療にも使われており、日本国内には大小合わせて1450台を超える加速器があります（2012年3月末時点）。ヒッグス粒子を発見したような、素粒子物理の実験に使われる加速器は非常に規模が大きく、茨城県のつくば市にあるKEKB加速器は周長3kmの円形をしています。LHC加速器も円

形の加速器で、その周長はなんと27km。東京の山手線とほぼ同じ規模です。ILCはそれらとは異なる形をしており、「リニア」という名の通り、約31kmの直線型加速器です。

ILCはなぜ直線型なのでしょう？それは、実験で使う粒子の種類が「電子」と「陽電子」だからです。電子は、照明や電力システムなど、現代の私たちの生活には欠かせない粒子です。陽電子は、電子の「反粒子」と呼ばれる粒子で、粒子が持つ電荷という性質が、電子とは逆（電子はマイナスの電気、陽電子はプラス）の粒子です。電子も陽電子も、内部構造を持たない粒子であるため、衝突させると非常に分かりやすい実験データを取ることができるのです。

一方、LHCで衝突させているのは陽子。陽子は電子と異なり、クォークなど複数の素粒子が集まって構成される複合粒子です。LHCでは、いわば、大福餅と大福餅をぶつける実験が行われています。研究者



が本当に見たいのは、大福餅の餡の中の小豆同士がぶつかって何が起きるのか、なのですが、餡や皮など、他のものも衝突するので、衝突反応が非常に複雑になり、高度なデータ解析を行う必要が生じます。ILCは、小豆と小豆を衝突させるので、LHCで見つかったヒッグス粒子を詳しく調べることはもちろんのこと、餡や皮に邪魔されてLHCでは見つけにくい現象や、全く予期されない現象の新発見の可能性もあります。

この電子・陽電子衝突をするには、直線型が有利なのです。円型加速器で電子を加速すると、電子がカーブする際にせっかく与えたエネルギーが放射光（電磁波）として大量に放出されてしまいます。電子を直線的に加速するILCは、原理的に放射光によるエネルギーのロスが無くなり、非常に効率的な実験を行うことができるというわけです。

しかし、この直線型の加速器を実現するのは、容易なことではありません。これからの連載で、ILCを実現するための、一般にはあまり知られていない最先端技術の数々や、ILCでの実験によって解明される物理学の謎について、詳しくお伝えしたいと思います。

お願い

カスタマーサービス課より

名義変更(名変)について

「名義変更(名変)」とは、お送りしたバッジを従来の着用者に代わり、新たな着用者に名義を変え継続して使用することです。新たな着用者は、従来の着用者とは異なる個人番号で登録され、測定データ等も別々に管理されます。人事異動等によりバッジ着用者の交代がある場合、「名義変更(名変)」をご利用いただくと、追加費用がなく、期を空けずに着用を開始することができます。

【名義変更の手続き】

- 名義変更をするバッジと同一着用期間の

「登録変更依頼書」にご記入の上、Fax(または電話)にてご連絡ください。

- 記入済みの「登録変更依頼書」はバッジご返送の際に同封してください。

【手続き上の注意】

- 一つのバッジを複数人でお使いになることはできません。
- 「登録変更依頼書」のお知らせ欄の締切日時を過ぎてご連絡いただいた場合、翌月も従来の着用者の名義でバッジが送付されますので、前着用者のバッジをご着用ください。

ご案内

タイクセルWebサービス

カスタマーサービス課

タイクセルWebサービスは、お客様ご自身がインターネットでバッジの追加、変更等ができるサービスです。サービスは無償で提供しています。(通信料はお客様負担)

＜主な内容＞

- ・バッジの追加、変更、取消など
- ・バッジ登録された方全員の氏名、積算線量の確認
- ・電離放射線健康診断個人票の記入に役立つ、被ばく線量集計表の印刷
- ・外部被ばく線量測定・算定記録表の印刷
- ・外部被ばく積算線量証明書書の印刷
- ・外部被ばく線量測定報告書(PDFファイル)のダウンロード
- ・当社内でのバッジ測定状況の確認
- ・個人一括登録(CSVファイルのアップロード)

なお、セキュリティ面におきましてはSSL-VPN接続を採用しています。ご興味をお持ちのお客様は当

社カスタマーサービス課までご連絡ください。詳しい資料をお送りいたします。

対応OS: Windows2000 SP4/XP/VISTA/7

推奨ブラウザ: Internet Explorer6.0 SP1以降

お問い合わせ: カスタマーサービス課

Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441

E-mail: mail@nagase-landauer.co.jp



編集後記



今月から国際リニアコライダーのシリーズが始まりました。原稿の冒頭を拝見して、改めて物理学の発展に興味を持ちました。インターネットで調べてみると、元々物理学は哲学の一部であり、紀元前にレウキッポス・デモクリトス達が「原子論」という分割可能な存在があるという仮説を立ててから、約2500年で現在の

最先端技術に辿り着きました。昨年の9月には、1977年に打ち上げた人工衛星ボイジャー1号が太陽系圏を出たという報道がありました。これは凄いことです。2500年と言うと長く感じるかも知れませんが、地球が誕生してから46億年で考えると、2500年は僅か一瞬の時間でしかありません。それを考えると、この後の数千年先の発展に大きく興味を引かれるところです。(八木 信行)

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<http://www.nagase-landauer.co.jp>
E-mail: mail@nagase-landauer.co.jp

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は
本社 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441
大阪 Tel.06-6535-2675 Fax.06-6541-0931

NLだより No.434
平成26年<2月号>
毎月1日発行 発行部数: 35,400部

発行 長瀬ランダウア株式会社
〒300-2686
茨城県つくば市諏訪C22街区1
発行人 中井 光正