

- トップコラム／東京大学環境安全本部 主幹 准教授 飯本武志
- 低線量被ばくのリスクについて／
〔シリーズ2〕発がんのメカニズム・放射線によるがんリスク
- 未来を拓く次世代加速器：国際リニアコライダー／
〔その2〕衝突実験とは？
- お願い／年度末により報告書等をお急ぎのお客様へ
- 製品紹介／CT線量計測定サービス

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム
147



飯本 武志

産官学民のさらなる力の結集を

東電・福島第一原発事故。サイトの内外で、サイトから遠く離れた地方でも、各々の困難を克服するための活動が現在も続けられています。事故直後からしばらくの期間、国や専門家の多くの目がサイトのごく近傍や福島県内に集中した時期がありました。その頃、福島県外の地域にも空間線量の上昇した箇所があるとの情報から、国の公式見解や支援が得られないまま、いくつかの自治体では独自の対応を迫られました。たとえば東京大学柏キャンパスのある千葉県東葛地区もそのような地域のひとつ。6つの市が後に汚染状況重点調査地域に指定され、現在も環境復旧活動が進められています。この地区では早い段階から自治体と専門家の連携活動が開始されています。連携は「東葛地区放射線量対策協議会（座長の柏市長を含む東葛6市長で構成。各市担当部課長と放射線専門家3名が支援）」の形で具現化され、空間線量率の測定に関する統一ガイドラインや自治体としての当面の政策方針等を策定、公表する役割を果たしました*1。2013年夏頃には自発的に線量調査を実施、除染活動を開始する精力的な市民ボランティアチームが現れ、前述の「官学」連携活動にほかに「民」が合流し、活動が力強く加速した印象があります。官民そして産から、専門家に対して多くの要望がありました。事故直後には測定機材貸出の要請や国の動きとは独立しての環境測定の実施や結果の解説。その後、保育園保護者や保育士向けの放射線・健康相談会の開催、自治体職員（全職員、環境政策／農政／保健／学校担当者等）や地域活動のリーダー向け、学校教員向け（管理職には学校運営上の判断に関する内容、理科教員には文部科学省

新指導要領に対応した授業に関する内容）、議員向けや医師会メンバー向け、さらには食品／流通／不動産等の業界向け放射線講習会の開催要望などが特徴的でした。原発事故があったからではなく、自然現象の物理として、科学技術のツールとして、長寿や健康リスクの話題のひとつとして、放射線の基礎についてはすべての国民が学ぶべきテーマのひとつであると私は確信しています。日本で、アジアで、さらには世界で、たとえば原子力発電を今後どのように位置づけるかの議論は、エネルギーセキュリティのみならず、政治的な思惑や経済的な視点などが複雑に絡み合い、ますます難しくなりそうです。が、基盤となる知識なしに、これらの議論、判断は到底できないと思います。家庭で、学校で、職場で、メディアで、放射線の問題をどのように扱うべきかに関しては、放射線の問題に近い私たち自身がその経験知見、人材資材をフル活用し、率先して整理し、提案していかなければならないと感じています。産学官民連携という意味合いでの私自身の活動としては、たとえば、放射線教育支援サイト「らでい」*2や、産業界からの支援に基づく「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動の支援事業」*3、国際的な活動の「IAEA・中高校生のための原子力・科学技術教育プログラム及びツールの開発に関する専門家会議」*4などへの参画があります。これらは世の中の活動のほんの一例ですが、さまざまな枠組みの壁をのりこえ、多くの方々と上手に連携できるよう皆で知恵を出し合いたいところです。

*1 飯本武志、他：福島第一原発事故に起因した環境放射能汚染に関する首都圏自治体の対策とその考察：放射線生物研究：48(1),15-38,(2013)等

*2 (公財)日本科学技術振興財団「放射線教育推進委員会」：
<http://www.radi-edu.jp/>

*3 NPO法人研究実験施設・環境安全教育研究会：
<http://www.rehse2007.com/koukousei.html>

*4 IAEA RAS0065「アジア／太平洋地域の持続性と国立原子力研究機関のネットワーク化の支援活動」の一環

いもと たけし（東京大学環境安全本部 主幹 准教授）

プロフィール●1968年千葉県生まれ。早稲田大学大学院理工学研究科（物・応物専攻）博士課程修了。博士（工学）。早大、東大、放医研、電中研の各研究員を経て、1998年に東京大学原子力研究総合センター助手、2007年より現職。専門は、放射線防護、放射線計測、線量評価、環境放射能、放射線教育、放射線管理。本部主幹として東京大学全体の放射線管理業務の実務とりまとめを担当。放射線防護分野の専門家育成のみならず、文部科学省や環境省等のプロジェクトを通じて教員支援、児童生徒への教育にも力を入れている。

低線量被ばくのリスクについて

〔シリーズ2〕 発がんのメカニズム・放射線によるがんリスク

公益財団法人放射線影響研究所 理学博士 中村 典



相対リスクと絶対リスク

放射線被ばくが怖いのは、発がんリスクが高くなるからである。しかしがんは珍しい病気ではなくなってきたので、もし自分が過去に放射線被ばくしていても、生じたがんが放射線被ばくの影響かどうかは判定できない。つまりある病気の放射線被ばくとの因果関係を調べるためには、集団についての疫学調査が必要になるということだ。疫学調査では、被ばく群の罹患率と対照群における罹患率とを比較して、両者の比をとる相対リスク(何倍という表示になる)と、過剰発生数(10万人を1年追跡した場合に何人余分に生じたかという単位で表示される。日本語ではこの過剰を「絶対リスク」と呼ぶが英語ではExcess Absolute Riskである)がリスクの表示によく使われる。

がんと白血病の発症の違い

原爆投下後の日本は敗戦による社会混乱の真ただ中にあったが、町の小児科医師が小児白血病増加の印象をもったことが発端で、大規模調査が行われ、その印象が正しかったと判明する。白血病増加(特に小児)は被爆後数年で増加が始まったが、10年以内にピークを迎え、その後は減少をたどった。他方、固形がんの増加がはっきりするまでには20年以上かかった。どちらも現在でも影響は続いている。

放射線による白血病誘発

自然に生じる白血病には特定の染色体間に生じた転座(染色体の一部が互に入れ替わった染色体)が観察されることが多い。最初に見つかったのが慢性骨髄性白血病に特有のPh1(フィラデルフィア)染色体と呼ばれるもので、後になって染色体9番と22番の間に生じた転座と判明する。染色体の切断はどこで起こってもいいというのではなく、転座の結果9番染色体にあるBCR遺伝子と22番染色体にあるABL遺伝子が融合して新しい機能をもつようになるところに特徴がある。先にも述べたように放射線にはDNAの2本鎖を切断する能力があるので、放射線被ばくによっていろいろな転座が生じる中にたまたま白血病は特異的な転座が生じて、発病するのではないかと考えられていた。

しかし近年、臍帯血バンクの試料について、小児白血病に特有な転座のひとつを生じていたかどうかについての遺伝子調査が英国で行われた(この裏には、骨髄移植ドナーがその後白血病になる場合があり、医者はその事実を移植された患者にどう告げるか悩むという現実がある)。その結果、500検体のうち6検体は陽性と判明した(調べた転座細胞を持っている新生児の頻度はおよそ1%となる)。しかし実際にこの転座を持つ小児白血病患者は1万人に

ひとり(0.01%)でしかないので、転座をもって生まれた100人の中で一人だけが実際に発病するという計算になる。つまりこの転座は白血病発症に必要なではあるが、それだけでは十分でないことを意味している。またこの陽性であった試料では転座細胞が増殖していた(複数個見つかった)というのも驚きであった。放射線によるDNA切断はランダムにしか起こらないので、細胞内のある2個の遺伝子それぞれに切断を生じ、誤った修復が行われた結果、それらがつなぎ替わる確率は極めて低い。しかし2個の細胞に同じ異常を作るとなると、更に更に低い頻度になる。つまり放射線は、自然に生じている事象(白血病特有の転座細胞を2個の細胞に作る)をまねることすらできないことになる。この矛盾は、放射線は白血病に固有の転座を誘発するのではなく、固有の転座を自然に生じていた少数の人に選択的に作用して、白血病を増やしたと考えれば解消する。放射線は誰にでも等しく作用すると思われていたが、不公平なこともあると思われる。

放射線被ばくによる固形がんリスク

白血病の潜伏期は短かったし、10年以内にピークを迎えたので誘発という表現が似合う。しかし固形がんの場合は先にも述べたように、影響がはっきりしてくるまでには20年以上という長い年月が必要であった。この場合、誘発なのか早期発症なのかは分かっていない(個人的にはがんの多くは早期化だろうと思っているが)。

ヒト由来の正常細胞を培養して放射線を照射してもがんは作れない(しかし何故かマウスなどの動物細胞では培養しているだけでがん化することが多い。理由は不明)。放射線の量を増やしても、細胞が死ぬだけでがん化は起こらない。他方マウスの実験から分かったことは、用いたマウスの系統によって、自然に起こるがんも放射線で増えるがんも、種類は決まっていることだ。自然に生じていないがんは放射線を照射しても作れない。言い換えると、白血病の場合と同様に放射線はゼロから単独でがんを作るのではなく、自然に生じているプロセスに便乗して頻度を高めることができるということだ。これは、放射線被ばくによってしか生じないがんが存在しないという事実と合うし、誘発よりも発症の早期化の可能性を示唆している。マウスの系統によって生じるがんの種類が決まっているのは、恐らく純系マウスを作るときの出発点となった個体の遺伝的な差異によるのであろう。昨今では哺乳類のゲノムを網羅的に解読できるようになってきたので、マウス系統に固有ながんとゲノムとの関連性について解明される日も近いだろうと思う。マウス系統間の発がん遺伝子の違いが明らかになれば、ヒトにおける発がんの個人差も遺伝子レベルで分かるようになるかも知れない。

未来を拓く次世代加速器：国際リニアコライダー

〔その2〕 衝突実験とは？

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 藤本 順平



前回に引き続き、国際リニアコライダー（ILC）についてご紹介いたします。ILCは、国際協力で世界にひとつだけ建設される次世代型加速器です。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。

2012年7月にヒッグス粒子を発見したヨーロッパの大型ハドロンコライダー（LHC）も、ILCも、ともにコライダー＝衝突型加速器と呼ばれる装置です。衝突させるのは「粒子」です。LHCでは陽子同士を衝突させ、ILCでは電子と陽電子を衝突させます。そもそも粒子を衝突させて何を知ろうというのでしょうか。

陽子も電子も通常物質の中に存在している粒子です。例えば水素原子は1個の陽子と、その周りを回っている1個の電子からできています。電子は電線のなかで動くことで電流を作り出すマイナスの電気を持った粒子です。一方、陽電子は、他の性質は電子と同じですが、プラスの電気を持った粒子です。陽電子は通常物質には含まれていないので、加速器で作成する必要があります。

ILCでは、通常物質から取り出した電子を加速器に通して高いエネルギーを与え、その電子から高いエネルギーの光子を放出させます。そして、その光子から、物質中で電子と陽電子を対で作ります。作った陽電子と電子を加速器で更に加速し、非常に高いエネルギーを与え、衝突させます。すると、プラスとマイナスが打ち消し合うようにして消滅し、非常にエネルギーの高い状態になります。その高いエネルギー状態から、いろいろな種類のプラスの粒子とマイナスの粒子の対や、中性の粒子などが新たに作られます。これが通常は観測することができない粒子をILCによって作り出す原理です。

ヒッグス粒子も通常では観測することができない粒子です。ヨーロッパのLHC実験では、陽子同士を衝突させて作り出しました。陽子は電子とは異なり、中に粒がたくさん入っています。研究者はその中身の粒をアップ・クォークやダウン・クォークと呼んでいます。地球上に存在する全ての原子は、結局、アップ・クォークとダウン・クォーク、そして電子のたった三種類の物質粒子でできていることが分かっています。しかし、LHC実験では、これら通常の三種類

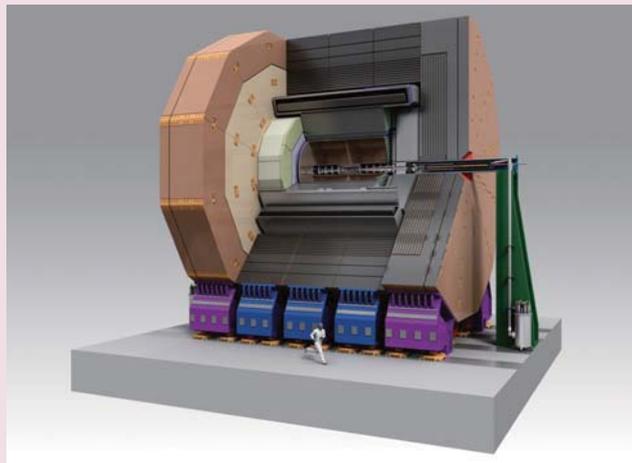
とは異なるヒッグス粒子が作られたのです。

同じように、ILC実験も、電子と陽電子を衝突させることで、今までに人類が見たことがない重い粒子を作り出し観測します。もちろん、ILC実験はヒッグス粒子も作り出すことができます。

何故、ヒッグス粒子は通常には自然に存在しないのでしょうか。それは、ヒッグス粒子が非常に重い（質量が大きい）からです。高いエネルギー状態を一点に集中して作ることができれば、重い粒子を作ることができます。しかし、現在の宇宙ではそのような高いエネルギーを一点に集中させることは、加速器を用いた実験でしかありません。更に、重い粒子は、重ければ重いほど、軽い粒子に変化しやすいという性質があり、作られたとしても結局はアップ・クォークやダウン・クォーク、電子などに変わってしまうので、通常は見ることができないのです。

そうしたヒッグス粒子や重い粒子とは一体何なのでしょう。それらは実は宇宙の誕生直後には普通に見られる粒子として存在していました。宇宙は138億年前に、大変エネルギーの高い状態で誕生したとされています。その

の当時はヒッグス粒子



ILC実験で粒子の衝突反応を検出し、記録する装置想像図

や、今では重くなっている粒子も、自然に作られたり、消えたりを繰り返していたと考えられています。時間が経ち、宇宙が冷えていくにつれ、そうした粒子はもはや作られることがなくなり、現在では見られなくなってしまったのです。宇宙がどのように誕生し、どのように成長していったのかを知るためには、こうしたヒッグス粒子や重い粒子の存在を詳しく知る必要があります。ILC実験が「ビッグバン（宇宙の誕生）を再現する」といわれる由縁です。

ILC実験では、電子と陽電子の衝突点を囲むように測定装置を配置（図）し、衝突してできた粒子達を、ちょうどデジカメのCCDのような仕組みで、その通過時間や位置、エネルギーや粒子の勢いを、電気信号として記録します。ヒッグス粒子やこれまでに見た事がない重い粒子は、作られてもすぐに他の軽い粒子に変化してしましますが、測定器が捉えたそうした軽い粒子たちの情報を再構成することで、ヒッグス粒子や重い粒子が作られたことがわかり、それらの性質が詳しく解明されるのです。

お願い

カスタマー
サービス課より

年度末により報告書等をお急ぎのお客様へ

当社ではお客様よりバッジをご返送いただ
いてから2週間以内に外部被ばく線量測定報
告書をお届けできるよう努めておりますが、
年度末で至急処理が必要な場合は下記手順
にてご依頼ください。

- ①当社まで電話にてご連絡ください。「至急測
定」の受付をいたします。
- ②バッジの“返送封筒”または“箱”の表面に

「**至急測定**」と朱書きして、“速達郵便”また
は“宅配便”にてご返送ください。

バッジ返送後に電話連絡をいただいてもご
希望に添えない場合がございます。まずは電
話にてご一報くださいますようお願い申し上
げます。

●お問い合わせ

カスタマーサービス課 Tel.029-839-3322

製品紹介

CT線量計測定サービス

X線CT装置の線量測定を行ないませんか？

X線CT装置の線量測定を実測値として測定することができる
ようになりました。

CT線量計では、実測値としてCTDI₁₀₀を簡単に求めることがで
きます。また、あわせてビームプロファイルを得ることができます。

従来のCT用電離箱では、CTDI₁₀₀を評価するのみでビームプロ
ファイルを得ることはできません。

*CT線量計はクイクセルバッジと同じOSL法を用いた線量計です。

*アクリルファントムに挿入し撮影（照射）後、ご返却ください。後
日、報告書をお送りいたします。

*医療被ばくガイドライン（低減目標値）と直接比較することがで
きます。



詳しくは営業部までご連絡ください。Tel. 029-839-3322

編集後記



加速器を使った実
験を行っていた学生
時代。加速した粒子
ビームが約10m先の
標的にもなかなか当たらず、苦労したこ
とが思い出されました。

全長30kmにおよぶILCで電子と陽電
子を衝突させるには、いったいどれほど
緻密な準備が必要なのでしょう。また、
この実験を記録する測定器にはどんな

新技術が組み込まれているのでしょ
うか。今後の連載が非常に楽しみです。

学生時代、まだ見ぬ未来の話だと思っ
ていたILC計画。これが着実に進んで
おり、しかも日本が最有力建設候補地に
なっていることには驚くばかりです。早
くILCが建設され、宇宙の謎を解き明か
すような成果が出てくることを期待し
ています。

(岡崎 徹)

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.435
平成26年<3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