

Photo H. Fukuda

Index

「PETの効能 - 痴呆とパーキンソン病を例に」	館野 之男	1
放射線によるがん治療の変遷	大野 達也	6
IAEA「21世紀の放射線プロセス利用」国際会議	町 末男	11
〔休憩室〕		
森の精 - フィトンチッド		13
〔施設訪問記〕		
産業技術総合研究所		14
〔サービス部門からのお願い〕		
個人線量管理票のお届けについて		19

「PET**の効能 - 痴呆とパーキンソン病を例に」



館野 之男*

▶▶▶ はじめに

人類は何千年も前から、精神的にも肉体的にも、イヌ、ネコなどのペットに助けられてきた。現在の日本でも、どれほど多くの人がペットをこころの支えとしていることか。

何十年か前、高級ワイシャツ生地として華々しく売り出されたPET(ポリエチレンテレフタレート)は、今ではさらにペットボトルとして、食の分野にも深く食い込み、現在の日本では、PETなしの生活は考えることも出来ないほどである。

ここでお話ししようとする第3のPETはどうか。第1 第2の先輩ペットと較べるといちいち較べること自体が奇異に思われるくらい、未熟である。それでもわたくしたちは、このPETに魅せられるところがあって大事に育てている。その目でみたPETの効能は…。

▶▶▶ PETの出自

CT(コンピュータ断層、Computed Tomography)という医用画像装置がある。30年ほど前から使われはじめ、今ではその効能は社会に広く認知されて、頭を強く打ったときなど、自分から「CT検査をしてください」といってくる人がいるくらいである。

そのCTは次のようにして人体の断面を画像にする。

「人体にX線を照射して透過してくるX線の

強さを測り、そのデータをもとにコンピュータで計算して体内のX線吸収値の分布を画像にする」。

この際の「画像」とか「断面」は、初期の頃こそ文字通りの断面であり、画像であったが、現在では、それらの言葉から連想されるものを大きくはみ出して、立体像として、あるいはまたこれに時間データを加えて機能画像や、動画像としても利用されている。

CTには弟妹が何人もいる。MRI(核磁気共鳴CT)を初めとするそのなかの一組の双子がPETとSPECTである。画像の作り方を見ると、CTとの類縁関係がはっきりする。

「人体に放射性核種(で標識した化合物)を投与して核種から放射されてくるガンマ線の強さを測り、そのデータをもとにコンピュータで計算して体内の核種の濃度分布を画像にする」。

PET、SPECTとX線CTの大きな違いは、計測すべき放射線が身体を通り抜けてくる(transmission)か、身体の中から出てくる(emission)かである。そして、体内に投与する放射性核種として陽電子(positron)放射核種を使うものをpositron emissionCT、普通のガンマ線(single photon)放射核種を使うものをsingle photon emissionCTという。CTであるはずのPETにCがないのはどうしてか。X線CTがCATとよばれていた頃、CATに対抗

* Yukio TATENO 胸部CT検診研究会 名誉会長

** Positron Emission Computed Tomography

するシンボルとしてPETという語が使われたからである。

2▶▶ 効能を決めるもの

X線CTの場合、効能を決めているのはX線吸収値の分布の医学的な意味である。血液は出血して固まるとX線吸収値が高くなって正常組織と見分けやすいので、頭部の検査では特に、脳出血、くも膜下出血、外傷などの診断に威力を発揮している。

SPECT、PETの場合、効能を決めているのは、投与された放射性標識化合物の分布の医学的な意味である。現在、核医学検査、アイソトープ検査、RI検査、などといわれている検査は、ほとんど全部SPECT装置を使って行われているが、そこで利用されている核種は、装置との相性の問題があって、テクネチウム-99m、タリウム-201などが大部分である。

一方、PETで使える核種には、 ^{11}C 、 ^{18}F などがある。これらはSPECT用核種に比べ、生命現象を担っている多種多様な化合物に標識するのが比較的楽である。この点、PETの効能の多様性には無限の魅力があり、PET測定が期待されている領域は驚くほど広い。

身体の中で行われている物質代謝や酵素反応を画像にする。知りたい物質代謝、酵素反応は無数にある。これまた身体の中で進行している多種多様な情報伝達・生体機能調節反応のイメージング、遺伝子イメージングもそうであるし、脳の神経伝達機能イメージングだけで一冊の書物が出来るくらいである(例えば、小西淳二、館野之男編『脳の神経伝達機能イメージング』金芳堂、1994)

しかしこのPETが第1 第2の先輩ペットと並べて効能を云々出来るようになるまでには、気の遠くなるほどの努力がいる。

3▶▶ 物質代謝のイメージング

二つの要件

代謝画像には二つの要件が必要だ。一つは標識化合物そのもので、これが、目的とする代謝を調べるのに適していること。もう一つはその標識化合物で実測できる値から目的とする代謝パラメータを計算するための動態モデルである。妥当なモデルが作れて初めて、代謝過程の各種のパラメータが計算できるし、代謝画像の解釈も信頼性が上がる。

ぶどう糖の代謝画像

生命活動のエネルギー源として重要なぶどう糖。その代謝画像は、ガンマ線を出す核種でぶどう糖を標識すれば出来そうである。この標識がテクネチウムなどでうまくいけばSPECTが使えるが、これは成功していない。しかし、 $\text{C}-11$ や $\text{F}-18$ (いずれもポジロン放射核種)なら標識可能である。

したがって、天然のぶどう糖に $\text{C}-11$ を標識して使えばよさそうに思えるが、それではあまりよいデータは得られない。それなりの「画」は撮れるが、注射後引き続いて起きる代謝の進行が速すぎて計測が追いつかない。また複雑過ぎて動態モデルを作るのが難しい。

動物で脳の研究をしていた米国のソコロフは、2-デオキシグルコース(以下DGと略す)を利用して問題の解決を計った。血流のって脳に到達したDGは細胞膜(人間の場合、正式には形質膜という)を通して細胞内にはいり、細胞内に入ると代謝の最初の段階でリン酸化される。そこまではぶどう糖と同じである。しかし代謝はそこでストップし、DGは細胞内に留まる。

これはぶどう糖の局所代謝率を計測するのに都合がいい。第一、めまぐるしく進行している代謝のスチル写真を見るようなものだし、代謝モデルが単純になるのも良い。実験動物に一定の活動をさせてその時間にあわせてDGを注射し、後でDGの濃度分布を計れば、濃いところは、そのとき脳が活動してぶどう糖を沢山消費

したところ、淡いところは消費が少なかったところという話が成り立つ。ソコロフはDGにC - 14標識して用い、オートラジオグラフで濃度分布を測定した。

18F標識デオキシぶどう糖(FDG)

PET関係者がFDG(18F-2-Deoxy-2-fluoro-D-glucose)と呼んで愛用しているのは、ソコロフのDGにF18標識したものである(なお、そのF18標識を実現したのは当時米国にいてソコロフらとプロジェクトを組んで標識を受け持った井戸達雄現東北大学教授である)。

FDGは昨年4月、健康保険でも検査薬として使えることになった。もともと健康保険で使えるのは、いまのところ、悪性腫瘍の診断を中心とした狭い範囲でしかない。

本稿では健康保険より広く考えることにし、まず始めにFDG / PET(FDGを投与して行うPET検査)の効能の一つとして期待されている痴呆診断の現状を見よう。

4▶▶ FDG / PETの効用

アルツハイマー病

アルツハイマー病(AD)は、症状からいえば、初老期から老年期に発病して次第に進行する痴呆。老人痴呆の代表格で、患者数はきわめて多い。病理学的には、脳に老人斑など特殊な所見があることでもって、アルツハイマー病と診断する。

この病気は長らく打つ手なしと思われていたが、最近では治療薬も現れ始め、いずれ早期診断早期治療が要請される時代が来る。

ところでADは、大脳皮質(特に側頭葉 頭頂葉を中心とした部分)から血流量低下や萎縮がはじまることが知られている。そこで、画像診断では、CTやMRIを使って萎縮を、SPECTや

PETを使って脳血流や糖代謝の変化を評価する。これらの中でも糖代謝の低下は早く強く表れるので、FDG / PETは早期診断にも期待されている。

FDG / PETによるアルツハイマー病の診断

とはいえ脳は大きさも形も個人差が大きい。さらに血流量・糖代謝率は「正常」とされる場合でさえ個人差が大きく、単純に量や率を測るのでは病的低下が見えにくい。そこでさまざまな工夫が凝らされている。

一つは、ADでは病気の初期には血流・糖代謝の障害が起こりにくい部位(橋、一次感覚運動野、一次視覚野、線条体、視床、小脳など)があるので、そこを基準にして同一人の脳の各部位の糖代謝量を相対的に表す方法である。こうすれば個人差に惑わされることが少なく、異常が来やすい場所の変化を早めに発見できる。

もう一つは統計学的画像診断法といわれるものである。名前の通り、多数の症例からなるデータベースの値を基準に異常部位を判定する。その際、脳のかたち・大きさの個人差を考慮して同じ部位同士を較べられるように、個々人の脳を標準脳の形に合わせて変換するという手順をとる。箕島聡が発展させた方法もその一種であるが、正常脳だけでなくADのような萎縮・変形を有する脳でも対応がうまく行くよう巧みな工夫がしてあり、極めて有用である。

5▶▶ アルツハイマー病の診断・・・ もう一つの指標

ところで、死後の脳を調べた研究によると、アルツハイマー病では、脳内のコリン系神経細胞(注)が選択的に脱落しており、脱落の程度はコリン代謝に関係している酵素の活性に反映されている。したがってコリン代謝に関係する酵素の活性をしらべれば、脱落の程度が分かる

はずである。

放射線医学総合研究所の入江俊章らは、候補となる何種かの酵素の中から、アセチルコリンエステラーゼ (AChE) を選び、その活性をPETで測る方法を編みだした。

AChEはアセチルコリンを加水分解する酵素であるから、基質であるアセチルコリンを放射性標識して使えばうまく行きそうに思えるが、残念ながらアセチルコリンは血液脳関門を通れない。入江の思惑を実現するには、次の性質を持つ化合物が必要である。

血液脳関門を自由に通過できる。脳内に入ったらAChEによって適当な速度で分解される。しかもその代謝産物はもはや脳血液関門を通過できずに脳のその場所に留まる。

このような分子に放射性標識して血管内に注射すると、その化合物は、血流に乗って脳の各所に到達して速やかに脳細胞の中に入る。脳細胞内では、酵素活性次第で比率は変わるが、一部は分解され、一部は分解されない。分解されなかったトレーサはそのまま血管に戻り洗い流される。分解された代謝物は脳内にとどまる。この経過をPETで測定して局所ごとの時間-放射能曲線を得、そのデータから局所ごとの酵素活性を算出する。

そのような性質を持つトレーサとして入江が選んだのはMP4AとMP4Pの二つである。反応速度はMP4AがMP4Pの約4倍速い。代謝速度の速いトレーサは酵素活性の低い脳部位の測定に優れ、代謝速度の遅いトレーサであれば酵素活性の高い脳部位の測定に優れている。

このPETもなかなか役立ちそうである。

6▶▶ 薬の効果をPETで測る

AChEの関連でいえば、最近出てきた痴呆薬にはアセチルコリンエステラーゼ活性を押し

えるものがある。MP4A / PETでその抑制効果を測ると、個人個人の服用量を最適に決めるのに役立つかも知れない。

7▶▶ パーキンソン病とPET

パーキンソン病とは

パーキンソン病は脳神経が変性する疾患の一つで、変性疾患の中ではアルツハイマー病について多い。1995年の統計では、総患者数9万5000人という。しかし、この病気は高齢者病の一つで、年齢とともに急速に増えるから、高齢化の進んだいまでは患者数はもっと増えているであろう。

症状としては独特のふるえがある(振戦)しなやかでない(固縮)うごきがにぶい(寡動)の三つが特徴的とされる。姿勢や歩き方が独特である。

パーキンソン病で変性するのはドーパミン系神経細胞^{注)}である。ドーパミン神経細胞の細胞体は、中脳の黒質とよばれる部位にあり、そこから神経線維を伸ばして末端を線条体、大脳辺縁系皮質及びその関連領域などに張り巡らしている。

PETによる早期診断

パーキンソン病では、発病以前から長い期間をかけて細胞の変性とドーパミンの減少が進んでおり、症状が出る頃には正常の20%以下になっているという。そこでPETで神経細胞の脱落やドーパミン代謝の低下を測定して早期診断に役立てようとする研究が行われている。

これらもすでに臨床研究の段階に入って久しく、社会的経済的な条件が整えば、一挙に普及すると思われる。

8▶▶ 再生医療の時代のPET

アルツハイマー病やパーキンソン病は、再生医療の第一のターゲットとして臨床研究が進め

られている。ここでは、移植した細胞がうまく付いているかどうかなどを評価することが必要で、PETはそうした役割も期待されている。

▶▶▶ おわりに

ここに紹介したPETが効用の点で第1、第2のPETの域に達するのは容易ではない。しかし、一步一步着実に進んでいるのは確かなので、「いまに見ているボクだって、お役に立って見せます」

(注)神経細胞同士の信号の受け渡し

脳はコンピューターに例えられる。しかし、コンピューターと決定的に違った点がある。それは神経細胞同士の信号の受け渡しに化学物質を使っている点である。その物質は神経伝達物質と呼ばれ、それぞれ働きが異なるものが十種類も知られている。そして例えば、アセチルコリンを神経伝達物質としている神経細胞はコリン系神経細胞、ドーパミンを神経伝達物質としている神経細胞はドーパミン系神経細胞と呼ばれる。また信号受け渡しの場所はシナプスという。

プロフィール

昭和9年栃木県生まれ
昭和34年千葉大学医学部卒業 インターン終了後、放射線医学に従事。X線検査の低線量化の研究に体系的に取り組み、また電子ビーム走査型超高速CTに関する先駆的な研究を行う。50年に放射線医学総合研究所に転じて58年臨床研究部長。半減期が極めて短いアイソトープ・ポジトロン核種を用いたCT(PETといわれる)研究の世界的先駆者の一人。同技術を用いて、脳の神経伝達機能の研究やがん診断に多くの実績をあげる。また平行して、放射線医学のリスク・ベネフィットの評価研究を精力的に行う。

現在は胸部CT検診研究会名誉会長。俳句を趣味として四十余年の一面も。主な著書編書「ポジトロンCT」(医学書院)、「超高速CT」(医学書院)、「医用X線像のコンピュータ診断」(シュプリンガー)、「放射線と健康」(岩波新書)、「画像診断」(中公新書)

Book紹介

「がん放射線治療とケア・マニュアル」

監修 辻井博彦

治療効果が高まり、温存療法としてのがん放射線治療が今注目を集めている

従来のX線照射の副作用とケア、腫瘍部位別の放射線治療とケアなど、看護師の果たすべき役割を詳述

手術療法、化学療法とともにがん治療の3本柱の一つである放射線治療は、どちらかといえば補助的な手段と考えられてきた。近年、治療装置やコンピューター・テクノロジーの進歩によって照射精度が格段に向上。また、本質的に放射線治療が身体の一部を切除したりする手術療法や、副作用の強い化学療法などに比べて侵襲の少ない治療であることなどから、放射線治療に期待が集まっている。しかし侵襲性が低いとはいえ、放射線にも有害反応(副作用)はある。患者にとって大きな苦痛となる有害反応に対するケアは看護師の重要な役割である。



定価 2,700円(税抜)

発行先: 医学芸術社

TEL: 03-3714-6161

放射線による がん治療の変遷



大野 達也*
辻井 博彦**

1. はじめに

がんの放射線治療が開始されたのは1896年であるが、これは、レントゲンによる放射線発見のわずか1年後である。先人達の数々の研究が積み重ねられた結果、「がん集中した、強い殺細胞効果を有する」治療法への発展が遂げられ、100年以上経過した今日では、手術や化学療法と共にがん治療の3本柱として認識されるようになった。ここでは、その歴史的歩みを紹介する。詳しくは、終わりに挙げた参考図書を参照されたい。

2. 出発点

「物体を透過する」X線の発見(1895年12月)は、翌年早々には世界中の大新聞で伝えられたが、その応用法に大きな期待がよせられるにつれ、X線は実験室の枠をこえて、一般大衆をも熱狂させることになった。パリの大通りのカフェでは、店内のホールを暗室に変えて、休みなくX線の公開実験が行なわれた。また、美術館や百貨店、行商のバラック小屋までもが「凄い実験をする」という宣伝をしては、多くの人々が押し寄せた。しまいには、X線で「脳を透視して」その人の思考を明らかにすることも真剣に議論されたという。ちょうど、日清戦争(1894-1895年)を皮切りに、日本が植民地支配・軍国主義を本格化させようとしていた頃のことである。

文献上は、進行した鼻咽頭がんに対してX線を照射して除痛効果が得られたというVoigtの報告(1896年)が最初の放射線治療である。過剰ともいえる期待の中で、その後もX線照射の試みは続い

た。しかし、照射法が暗中模索であり、生物学的知識も不十分で、進行癌ばかりを相手にしていたこともあって、多くは皮膚障害ばかりが目立ち、がんは治らないという結果が続いた。当時の透過力の低い、100kV足らずのX線では、そのほとんどが皮膚に吸収されてしまい、標的のがんにはろくに届かなかったのである。こうして、「いかにして標的(がん)に放射線を集中させ、正常組織は温存できるか」という放射線治療の命題が始まった。

3. 身体の深部を治療するために—物理学的観点からの改善

深部のがんを治療するため、初期の物理学的解決策としては、エネルギーの高いX線を使用すること、および、多方向から照射をして皮膚など健常部の障害をなるべく分散させることなどが考えられた。

Teslaは、X線治療に際し、皮膚障害が発生するのはX線管の電気的影響が原因であると考え、電気を遮蔽するためにX線管と皮膚の間にアルミ箔を置いた(1898年)。実はTeslaの推測は間違っていたのだが、結果的に、このアルミ箔によって低エネルギーのX線がろ過され、皮膚障害を軽減させることができた。その後、PerthesによるX線吸収率の研究(1904年)によって、アルミのフィルターを用いると、皮膚線量が減って深部の強度は相対的に増すことが確認された。さらに、深部に放射線を投与するには、アルミによる低エネルギーX線の除去に加え、焦点-皮膚間距離を長くした高エネルギーの放射線発生装置を開発することが必要であ

* Tatsuya OHNO ** Hirohiko TSUJII 放射線医学総合研究所 重粒子 医科学センター病院

ると考えられるようになった。

初期のX線管はガス入り管球が使われていたため、線量、線質ともに一定に保つことが困難であった。当時の放射線治療の絵には、しばしばガスパーナーを手にした操作者が描かれている。これは、管球をしばらく通電すると電気抵抗が過度に高くなって放電しなくなるので、その対策として、ガスパーナーで暖めていたのである。その後、Coolidgeが陰極にタングステンをを用いた真空X線管を発明した(1913年)ことによって、エネルギーの高い安定した200kV程度のX線までは得られるようになった。Coolidgeの発明は、1920年代の技術革新の要因となり、その後のX線診療には必要不可欠となっている。

一般に、X線や 線は高いエネルギーを持つほど強い透過力を持ち、身体の深部線量率が増すとともに、被照射体内で生ずる散乱線も前方(深部)へ向かう割合が増えて(ビルドアップ)皮膚線量は

減少してくる。コバルト線源からは1.17MeVと1.33MeV(平均1.25MeV)の 線が放出されるが、従来のX線に比べてエネルギーが高いため、ビルドアップによる皮膚線量の低下と深部線量の増加が得られた。1952年に、カナダでコバルト線源を用いた治療装置(テレコバルト装置)が開発され、これが普及して、本格的な高エネルギー放射線治療が開始された。さらに、回転式テレコバルト装置の出現は多方向からの照射を可能とし、がんに対する根治的治療が本格的に行なえるようになった。

直線加速器(ライナック)は、もとは1930年代に原子核反応や素粒子反応を起こさせる物理実験装置として開発されたものであった。医療用としては、1952年にイギリスのHammersmith病院に8MVのライナックが初めて設置され、本邦にも1964年に第1号機が設置された。その後加速器の小型化が進み、エネルギーもコバルトより大きな装置が出現して、さらなる深部線量の増加と皮膚線量の低下が得られるようになった結果、現在では、コバルト装置にとって代わり、放射線治療装置の主役となっている。

一方、皮膚をはじめとする健常部の線量を減らし、深部の癌に対して放射線を集中させるために、多方向から病巣をねらう照射法の改良も進んだ。Perthesは1904年に十字火照射を、Kohlは1906年に集光照射を考案した。さらに、X線管を動かしながら照射することによって照射野の数を無限に増やす運動照射法も考案されたが、アイデアが早く出た割には装置の開発が追い付かなかった。後に実用化したものとして、flaxの振子照射装置(1937年)、NeumanとWachsmannの回転照射装置(1942年)がある。日本の高橋が1960年に発表した原体照射法は、回転照射中にビームの入射角度に応じて照射野が腫瘍にマッチした形状をとるため、腫瘍に相似した線量分布が得られ、今日のIMRT(強度変調放射線治療、後述)の原形にもなっている。

治療計画関連で興味深いのは、1920年のSeitzとWintzの報告である。彼等は、皮膚障害を起こす線量を100%とした時に、癌の治癒線量および照射野内で障害を起こさうる健常臓器の線量が何%になるかをまず求めた。例えば、子宮癌では、皮膚の障害線量が100%の時、癌は90-120%で治り、腸は135%、筋は180%で障害をおこすという具合である。彼等は等線量分布図を用いて計画をたて、

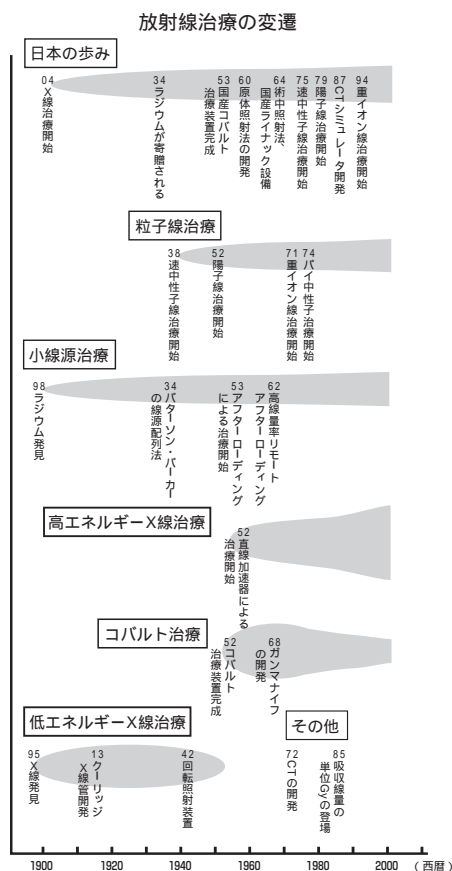


図 1

その計画に従って多門照射を行なった。照射は、「短期間に一気に全量を投与」するように計画されていた。当時、放射線治療を外科のメスのように見立てていたことがうかがわれ、現在の定位手術的照射(後述)に似ている。当時の治療装置では、照射に数時間を要し、有害事象もひどかったため、この治療法は短命に終わった。しかし、あらかじめ必要な線量を予測して、線量分布図で計画を立ててから照射を行なう、という治療のプロセスを創設したことは大きな功績といえる。

4. 効果的な分割照射のために－生物学的観点からの改善

最初のX線治療の成功例は、1899年、鼻に出来た皮膚癌に対する35回の分割照射であったが、意図された分割照射ではなかった。初期の治療装置は、X線の出力が低い上に、不安定で長時間稼働できなかったため、むしろ分割せざるを得なかったというのが正しい。当時、放射線の総線量が治療効果に影響することは知られていたが、治療期間や分割の影響はほとんど認識されていなかった。

フランスのRegaudは、羊の睾丸にラジウム針を刺し、長時間かけて弱く照射すると去勢できるのに、短時間に強く照射した場合には去勢されないことを報告した(1922年)。理由は、長時間弱照射法では、大きな壊死を作らずに分裂の盛んな精細胞を選択的に死滅させたが、短時間強照射法では、針の周囲に局所的な壊死が生じるだけで、針から少し離れた精細胞は障害されなかったためであると考えられた。Regaudの率いるParisのラジウム研究所では、子宮がんのラジウム治療に、この長時間弱照射法を取り入れて好成績をあげた。研究所では、X線治療も長時間弱照射法に近い形で行なおうとしたが、ラジウムのような低線量率の連続照射は行えないので、代わりに何らかの分割法を必要とした。Regaudらは、ウサギの睾丸にX線を照射して去勢させる実験の結果から、適当な分割期間は10日であると結論した。その後、研究所の事情により、1回1時間の低線量率X線照射を1日2回、合計で25-35回、20日以内に完了させるように改良されたが、患者の疲労や装置の問題で、実際には治療期間が30-40日に延びることもしばしばであった。

ラジウム研究所のCoutardが1932年に報告した頭頸部がんの治療成績は、当時としては大変すぐれていた。その中で、治癒した症例の治療期間は、扁桃がんでは30-40日、下咽頭がんでは24ないし31日、喉頭がんでは15ないし21日に多いこと、および、治療期間が10日から14日に延びると粘膜炎や皮膚炎が軽減されることを示した。Coutardが明らかにしたのは、Regaudの提唱した治療期間を遷延させても治療成績は低下せず、かえって有害事象は減らせるということであった。この治療は遷延分割照射法と呼ばれ、世界中に普及し、総線量と治療期間は治療の重要な因子として認識されるようになった。

分割照射の基礎となる生物学的知見はその後次々と発表された。スウェーデンのStraudquistは、皮膚炎を引き起こすのに必要な総線量は、治療期間が延びるほど多く必要となることを報告した(1944年)。また、Cohenは、分割回数を増やすことによって癌の治癒線量と皮膚の耐容線量の差が開くことを示した(1960年)。さらに、EllisのNominal Standard Dose (NSD)という概念の発表(1968年)により、治療期間と分割回数を分けて考えることの重要性が明確にされた。1967年のMarcialの報告によると、当時アメリカの放射線治療施設では、conventional techniqueとして、1回200rad、週5回法、6週間で総線量6000rad前後照射する方法が頭頸部がんに対して最も多く行われており、この頃すでに、現在に近い照射法は生まれていた。1980年代になり、WithersらによるLQモデル(直線-2次曲線モデル)が提唱されると、分割照射にとって重要な、低線量での生物効果の解析が発展し、多分割照射法など様々な分割照射法が生み出された。

放射線治療の科学的発展を振り返ると、1950年から80年代にかけてTexasのM.D. Anderson Hospitalで活躍したFletcherの功績は誠に大きいといえよう。外部照射装置がコバルトからライナックに移り変わる時代の中、治癒や障害について、がんの大きさや時間-線量分割効果などを加味した解析を行ない放射線治療の科学的基礎を確立した。また、子宮頸癌の腔内照射用に開発したアプリケーションは、Fletcher-Suit-Delclos タイプとして現代でも活用されている。頭頸部癌や乳癌は、近くのリン

バ節にしばしば転移するが、こうした「臨床的には発見できないが、顕微鏡的に存在する病巣に対する治療戦略」は、彼によって初めて提唱された概念であり、今日、我々が治療計画を立てる際に考慮すべき重要な因子の1つになっている。彼が著した「Textbook of Radiotherapy」は、当時、数少ない貴重な教科書であり、本邦でも多くの放射線治療医に読まれて放射線治療の発展に寄与してきた。

5 . 高精度放射線治療の幕開け

近年の新しい治療方法として、ライナックやコバルトを用いた高精度の放射線治療が開発されている。

(1 定位放射線照射

これは、細いビームを腫瘍に対してたくさん集中させる照射法であり、1-2 mm以内の固定精度を有する。1回で大線量を照射する場合を定位手術的照射 (Stereotactic Radiosurgery; SRS) といい、分割して照射する場合を定位放射線治療 (Stereotactic Radiotherapy; SRT) と呼ぶ。治療装置はガンマナイフ(線)を用いる場合とライナック(X線)を用いる場合がある。

ガンマナイフ

頭蓋内の小病変に1回で大線量を照射する装置。半球状に配置された201個のコバルト線源からのビームが1点に集中する構造になっている。定位脳手術の手法を応用しており、頭蓋骨にフレームをピンで観血的に固定する必要がある。

ライナック(X線)を用いる場合

照射は1回でも分割でも可能である。従来は脳腫瘍、頭頸部腫瘍が多かったが、近年では体幹部に対しても応用されはじめた。しかし、この部位では呼吸による移動など不確定な要素が多いため、様々な工夫が用いられている。簡単なものでは、腹部の圧迫、酸素吸入で呼吸を浅くする方法がある。呼吸運動をモニターして同期させた照射を行なう(呼吸同期)照射法もある。さらに、治療前に追跡用のマーカーを打ち込んで計画をたて、計画された部位に来た瞬間にのみ同期照射するものや、ロボットアームの先に取り付けられた小型の加速管が標的を追跡しながら照射する装置もある。小型肺癌や肝細胞癌で

良好な成績が報告されはじめている。

(2)強度変調放射線治療(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)

これまでの照射法は、均一な放射線を組み合わせることで行なわれていたが、コンピュータ技術の進歩により、不均一な強度に変化させながら照射を行なうことが出来るようになった。マルチリーフを高速で移動させながら照射することにより照射野内に線量の勾配をつけている。治療計画にあたっては、腫瘍への最高線量や最低線量、危険臓器への最高線量、またそれらの許容容積の割合などを指示し、コンピュータに最適化計算をさせる必要がある。

6 . 粒子線治療の変遷

ライナックなど、高エネルギーX線治療装置の登場は、多くのがん患者に恩恵をもたらしたが、一方で、その限界も明らかになってきた。1つは、X線や線には抵抗性のがんが存在することであり、もう1つは、がんが放射線に感受性の高い臓器と近接している場合、その臓器の耐容線量までしか治療できない(すなわち、がんを治す線量を投与できない)ことであった。こうした限界を突破するため、X線や線にはない特徴をもつ、新しい放射線(中性子、陽子、重イオンなど)の治療が研究されてきた。

中性子線は電離密度が高く、高LET放射線と呼ばれ、細胞に対する致死作用が強い。この利点を活かすべく、アメリカのStoneは1938年に速中性子線治療を開始した。1943年までに250例の治療が行われたが、当時の生物学的知識の不足もあって、予想以上に強い遅発性有害事象が出現し、臨床応用には適さないと結論された。その後イギリスで見直しが行われ、1968年にHammersmith病院で速中性子線治療は再開された。その後、アメリカ、ドイツ、日本などでもこの治療が行われ、唾液腺腫瘍、前立腺癌、骨軟部腫瘍、悪性黒色腫などに対する有効性が見い出されたが、深部の癌では線量分布が悪いために適応とならず、その役割を終えている。

陽子線は、病巣に対する線量集中度が優れている。体内に入射した陽子は、ある深さで止まる直前に密度濃く電離を引き起こす(ブラッグピーク)。

つまり、このピーク部分に腫瘍の位置が来るようにビームの形を整えることが出来れば、腫瘍に集中した線量分布となるのである。陽子線治療が最初に行われたのは、1952年のアメリカのBarkeley研究所で、乳癌患者の脳下垂体に対する照射であった。陽子線治療施設は増加傾向にあり、日本でも、放射線医学総合研究所(放医研)、筑波大学、国立がんセンター東病院、兵庫県立粒子線治療センター、若狭湾エネルギー研究センター、静岡県がんセンターに設置されている。

重イオン線治療は、Barkeley研究所で1957年に開始された。重イオンとは一般には、炭素イオン、ネオンイオン、シリコンイオン、アルゴンイオンなどを指す。重イオン線の特徴は、速中性子線が有する殺細胞効果の高さと陽子線が有する線量の集中性を合わせ持つことである。日本では1994年に放医研で炭素イオンを用いた治療が開始され、その良好な成績が報告されはじめています。

7. 放医研における、がん放射線治療の変遷

放射線医学総合研究所(放医研)は、放射線による人体の障害ならびにその予防、診断および治療に関する研究をおこなう目的で1959年に設立された。当時は、ピキニ海域被爆事故の5年後で、核爆発実験による生活環境の汚染と人体に対する放射線の影響は深刻な社会問題であった。病院は1961年に開設されて以来、緊急被爆医療、および、がん放射線治療の専門病院として活動している。特に、後者については、高エネルギーX線、速中性子線、陽子線、重粒子線といった、常に最先端の治療装置が用いられてきた。

歴史的には、子宮頸がんの放射線治療が有名であり、2000人を超える患者の長期経過観察から得られた治療経験は、本邦の子宮頸がんの放射線治療に大いに貢献をしてきた。近年では、子宮頸がんの死亡率が高い近隣アジア諸国にもこの成果を役立てるよう活動に力を入れており、ワークショップやトレーニングコースなどが開催されている。

重イオン加速装置(Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba, HIMAC)は、わが国の「対がん10か年総合戦略」の一環として、1993年に建設された。翌年6月、炭素イオン線を用いたがん治療の臨床試験が開始され、2003年2月までに

1463名の患者が登録されている。これまでのX線や線では治療抵抗性とされていた腺癌、腺様嚢胞癌、悪性黒色腫、肉腫に対しても効果が認められており、線量分布の良さだけでなく、生物学的に細胞致死作用が強いという利点も生かされている。

8. まとめ

これまでの放射線治療の歩みは、「放射線はがんに効く」ことを明らかにする戦いであったともいえる。いかにして、がんに集中させて強力に治療するか-そのためには、相手(がん)をよく知り、放射線の特徴をうまく活かすことが肝要であった。

がんに対する放射線治療は、治療装置の発展や数々の生物学的知見とともに目覚ましく進歩してきた。これをなし得たのは、ここでは紹介しきれなかったが、線量測定、治療計画、さらには、腫瘍学や画像診断学といった幅広い学問の進歩のおかげである。高性能の乗り物であるほど操縦士の訓練が重要になるのと同じように、ハイテクの放射線治療にたずさわる我々日々の研鑽も大切であるといえよう。

参考図書

- 1)放射線治療物理学 西臺武弘 文光堂1996年。
- 2)放医研三十年史 放医研1987年。
- 3)放射線医学史 館野之男 岩波書店1973年。
- 4)放射線医学史 加藤富三監訳 講談社1994年。
- 5)Dedication to Gilbert H. Fletcher, M.D. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. Vol.14 603-604, 1988.

放射線によるがん治療の変遷 / 放医研 / 大野

プロフィール

1967年千葉県生まれ。1993年群馬大学医学部卒業。放射線医学教室に入り、新部英男教授の下で放射線腫瘍学を学ぶ。1999年群馬大学大学院医学研究科博士課程修了。群馬大学附属病院、栃木県立がんセンター、国立高崎病院、埼玉県立がんセンターの勤務を経て2001年から放射線医学総合研究所の重粒子医科学センター病院に勤務。がんの放射線治療に携わっている。日本医学放射線学会専門医。日本放射線腫瘍学会認定医。第一種放射線取扱主任者。

IAEA

「21世紀の放射線プロセス利用」 国際会議



町 末男*

「21世紀における新しい放射線プロセス利用」と題する会合が各国の代表的専門家約20人を集めてIAEA本部で4月28日から3日間に亘って開催された。そのハイライトと印象を紹介する。「放射線の利用」は「原子力発電」とともに重要な原子力の利用分野で途上国を含め順調に拡大している。

1 .途上国での放射線利用の進展が目立つ

IAEAは現在32もの放射線プロセスに関する「技術協力プロジェクト」を途上国に対して支援している。これまで続けてきたIAEAの努力が放射線照射技術の途上国での産業利用の拡がりをもたらした。その成果は高く評価される。

マレーシアは成功のモデル

同国の原研(MINT, Malaysian Institute of Nuclear Technology)は若い研究機関である。国、産業界のニーズを的確にとらえて、経済・社会効果のある原子力利用の実用化に取り組んできた成果が実りつつある。電子線による熱収縮材料、Co-60ガンマ線による天然ゴムラテックス、医療用具の滅菌をすでに実用化した。新分野での研究としてサゴ澱粉からのハイドロゲルの合成、ポリプロピレンの加工性改善のための放射線分解、排ガスの電子線浄化法、やし油生産の廃棄物の利用などの研究開発に取り組んでいる。このような順調な進展には筆者が担当していたJICA(日本国際協力事業団)プロジェクト協力による電子加速器の供与と研究指導、日本原子力研究所による協力研究が大いに貢献している。

エジプトの電子線利用は軌道にのりつつある

IAEAの協力による電子加速器の設置が様々な国内的理由で大幅に遅れたが、ポーランドのジューメック博士などの努力で加速器の運転・利用が実現した。今後の発展が期待される。ハイドロゲルの放射線による製造はすでに実用化段階に来ているが、現在、医療材料としての利用許可を申請中である。食品照射には熱心であり、にんにく、玉ねぎ、じゃがいも、香辛料については企業化が進んでいるという。

インドが電子線利用に動き出す

5年前IAEAからインドを訪問した際、BARC

(バーバ原子力研究所)や原子力委員会で電子線利用研究がほとんど行なわれていないことに驚き、その利用の重要性について講演し、チャウドリー原子力委員長(当時)に電子線産業利用を推進すべきだと進言した。

今回の会議のインド代表の報告を聞いて、その進展が著しいことを知った。現在、6台が運転中で、国産の2台(3MeV・30kW、10MeV・10kW)が建設中である。利用は電線の絶縁体の架橋、ビスコースレーヨンの分子量調節、テフロン分解、宝石の着色などである。Co 60による下水汚泥の殺菌は10年以上前から実施されている。医療用具の放射線殺菌は家庭での出産に必要な道具が一式入っている「出産キット」の衛生化のために、年間200万箱が照射され、新生児と母親を感染症から守っている。食品照射では香辛料、玉ねぎ、ジャガイモを照射し収穫後の損失を防いでいる。

2 .放射線プロセスの新しい利用は拡がりつつある

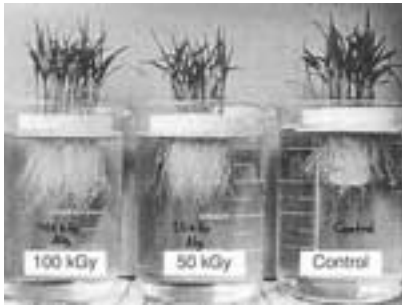
高分子の改質、環境保全、天然高分子加工など分野で新しい利用が討議された。

高分子の機能の高度化

ドイツBGS社(ベータガンマサービス)社長Zyball氏は同社が所有する電子加速器とCo 60装置を用いて実施している照射サービスが特に高分子材料について、順調に進展していることを以下の具体例で紹介した。

- 電線・ケーブルの架橋(ポリエチレン、ポリ塩化ビニル、ポリウレタン)
- ハロゲンを含まない無機物のフィラーを入れて放射線架橋することで火災の際有害ガスを発生しない難燃性絶縁体を製造している。
- 温水パイプ、ガス配管に用いる架橋ポリエチレンを製造している。この材料は耐熱性に加えて、耐ストレスクラック性が高いことが利点となっている。新しい照射装置で大口径で、12mの長さのパイプが照射できるようになった。このような長いパイプによって長距離のガス配管が可能になった。こ

*Sueo MACHI 日本原子力産業界常務理事



海藻から抽出したアルギン酸塩を照射して得た植物の成長促進剤の効果



販売されている商品

のパイプを使うことによって、より簡便な低価格の工事が出来る。

- 放射線架橋により作られたガラス繊維強化のポリアマイド樹脂が自動車、電機産業で利用されている。
- 放射線架橋したTPE(熱可塑性エラストマー)が耐熱性を必要とする複雑な形状のシール・パッキングに使われている。

筆者は日本における新しい開発とくに超耐熱炭化けい素繊維、架橋テフロン、海水よりのウランおよび希少金属の回収材、空気清浄剤(半導体製造・クリーンルーム用)、脱臭剤、ハイドロゲルなどについて紹介した。ハイドロゲルについては、マレーシア、エジプトからも報告があった。

天然高分子の高度利用

海藻類からのアルギン酸塩、甲殻類からのキトサン、サゴ澱粉(マレーシア)など多糖類の照射による分解で付加価値の高い新材料を作る研究が注目されている。ベトナムは日本の原子力研究所との協力でアルギン酸塩溶液を照射し、分解によって低分子量化した材料が稲などの植物に生理活性を与え成長を促進することを見出し、すでに実用に供している。(写真)

また、マレーシアのMINTは「さご澱粉」の溶液に超微粒子を混合して照射し、機械強度の十分なハイドロゲルを得ており、医療品、コスメティクスとしての利用を研究中である。

環境保全への利用が実用化

筆者とポーランドのキメレフスキー(現在IAEA)は電子ビームを利用した石炭、火力発電の排ガス浄化技術がすでにポーランド、中国で2年間実用規模で使われていることを報告し、今後の利用拡大が見込まれることを報告した。また、ロシアのマカロフと筆者は韓国でパイロットプラントで成功した染色廃液の電子ビームによる浄化について報告し、現在EBTech社で提案されている実用規模装置の実現を期待すると述べた。これらの応用は環境保護の要請にこたえる将来有望な分野である。

3. 照射装置の開発競争

Co-60照射施設は主に医療用具や食品照射に用いられている。Nordion社はより低価格で小型の装置を提案している。電子加速器では100keV以下の超低エネルギー加速器について筆者が日本の東洋インクと岩崎電気の新しい装置を紹介、アメリカからはAdvanced Electron Beams社の開発が報告された。これらは表面処理や印刷により使いやすい低価格の加速器を提供するものである。処理コストでUV(紫外線)に競争できる。一方、高エネルギー(10MeV)電子加速器についてはIBA社が大型化を進めており、700kWの装置の設計を完成したと報告している。これをX線に変換して利用することも提案している。このように用途に合わせ、より安価で使いやすい照射施設の開発競争が展開されている。

4. おわりに

先週はスリランカでIAEAの「アジア・太平洋協力(RCA)に関する政府代表者会議」があり、これに出席するため、コロンボを20年振りに訪問した。高速道路もない発展途上の国だが、原子力庁には70人の職員が働き、放射線・RI利用の研究にも取組んでいる。日本原子力研究所で1年近く勉強したことがあり筆者もよく覚えている研究者SamanthaとRanjithの2人が活躍しているのが嬉しかった。Ranjithは放射線防護の部長であり、「ガラスバッジ」のことも勉強していた。

このように途上国でも拡がりつつある放射線利用を「安全」にすすめるために、「放射線防護」もしつかりと技術移転していく必要がある。

(2003年6月2日記)

プロフィール

1959年京都大学大学院工学研究科修士課程終了、1963年日本原子力研究所入所、1968年米国メリーランド大学客員研究員、1980年国際原子力機関(IAEA)工業利用化学課長兼RCAコーディネーター、1983年日本原子力研究所企画室次長、1989年日本原子力研究所高崎研究所長、1991年IAEA原子力科学・応用局担当事務次長、2000年日本原子力産業界会議常務理事

休憩室

森の精 - フィトンチッド -

1年に一度、牽牛星が天の川を渡って織女星とデートする七夕の頃は、梅雨明け前で土砂降りの雨になりやすい。これは、^{こよみ}曆が陰曆から陽曆に変わり、諸行事がひと月以上も繰り上がってしまったからである。しかし、まもなく長雨をもたらした停滞前線も、太平洋の大きな夏気団に押されて北上し、前線が日本海から南下できなくなると梅雨明けとなり、朝から入道雲がまぶしい毎日となる。

この季節を迎えると、動・植物の生命活動は春にも増して一層活発になるが、季節に関係なく毎日忙しく暮らしている現代人の中には、自律神経に変調を来す病気が増加してくるという。

自律神経は、内臓や血管などの器官をコントロールする不随意神経で、人間の生命現象の基本的な機能を司る重要な役目を担っている。この神経が失調する病気は、専門医でも度々お手あげになるといわれるほど原因が多彩で厄介なものである。通常は、治療に自律神経遮断剤などといわれる薬が用いられるが、薬石効を奏しないこともある。

西ドイツをはじめヨーロッパの国々では、現代医学では回復困難なこのような患者を、“森”の中に建てた小屋に住まわせて療養させるケースがあるという。この方法は100年も前から実施されていて、クナイブ療法と呼ばれ、効果のほども上々である由である。また、昔から、きこりは風邪をひいたり腹痛などがあっても、“森”に入り、木々の発散する馥郁^{ふくいく}たる香りを嗅ぐと、その症状が和らぎ、二日酔などは半日もあれば治ってしまうといわれている。

そこで、森には何かがあると睨^{にら}んで、これを科学的に解明したのが、レニングラード大学のB.P.トーキン教授である。そして、森の木々から発散される“活力素”たる物質を、フィトンチッドと命名した(フィトン^{フィトン}は植物、チッドは殺すの意味のギリシア語)。1949年、教授は底に少量の芥子^{かいらし}を入れた容器にゆでた

卵を入れておいたが、この卵は36年を経過しても腐っていなかったそうである。フィトンチッドの威力である。

フィトンチッドの正体は、不飽和炭化水素のテルペンという揮発性物質であるが、その殺菌力は大変なものである。よく揉んだ^も檜の葉を腸チフス、コレラ、結核、ジフテリア等の細菌に近づけると、これらの細菌は数分間で死滅するし、赤痢やパラチフス腸はワレモコウを煎じた汁で5分間で死滅するほどである。

我が国でも、柏もち、桜もち(木の葉)、ちまき、押し寿司(笹の葉)、魚(ヒノキやヒバの葉)等植物の葉で食品を包む習慣がある。人々は植物の殺菌・防腐効果を正しく知っていたのである。かつての結核療養所が松林の中に建てられたのも同様な理由からであろうか。ちなみに、トドマツのテルペンの含有量はヒノキやスギよりも多い。

フィトンチッドは細菌の殺し屋だけでなく、最近の研究では、肝臓のミクロゾームという酵素を活性化させる働きもあることが分かってきた。きこり達の二日酔が良くなるはずである。さらに、空気中の陰イオン量を増やし、動脈硬化、高血圧症、頭痛、不眠症などの要因ともなる細胞内の陽イオンの量を減少させる効果もあるという。

このような森の木々の実力に目をつけて、我が国でも1981年に「森林浴」という言葉が当時の林野庁長官により提唱され、今ではすっかり定着している。フィトンチッドの発散量は7月頃が1年中で最も多いという。1haの杜松^{ねず}の森は1昼夜に310kgものフィトンチッドを発散し、それらは空気中で1~10億倍に希釈され、人々の肺から体内へ入ってくる。人々が心身共に健康であるためにも森を、緑を大切にしたいものである。公園に、山に、樹蔭に涼を求めながらの散策が素晴らしい季節でもある。

(健康子)



産業技術総合研究所の巻

最先端の技術を用い
計量標準100周年

今回の施設訪問は、わが国における放射線標準の原点である産業技術総合研究所計測標準研究部門量子放射科（以下略称として産総研と記します）に伺いました。

ここは常磐自動車道桜土浦インターチェンジから車で10分、東方約10kmに霞ヶ浦、北方約20kmに筑波山を望む筑波研究学園都市の中にあります。

JR常磐線特急電車を利用する場合は、上野と水戸のちょうど中間に位置する土浦駅で下車します。そこから車で20分ほどです。

土浦は海運が盛んで物の集散地として栄えていたそうです。また、産総研がある、以前桜村と呼ばれていた地域は少し高台になっているのですが、それでいて荒川が暴れてできた沼が点々としています。もちろん荒川が暴れたのは昔の話です。そういった、あまり手を加えられていない土地、ある意味では取り残されていた土地を国が徐々に買い取って、現在の筑波研究学園都市の敷地になったとのことです。

筑波研究学園都市は東京山手線内に相当する広大な面積を有し、大学や研究所が立ち並ぶ文字通りの研究学園都市として躍動しています。

筑波と言えば筑波山で、筑波山と言えば誰で

もガマの油を連想します。それほどに有名になりましたが、筑波山には確かにたくさんのガマ蛙がいるそうです。

ほかにも、このあたり一帯は栗林が多く、筑波の栗も有名とのことでした。

また、ねぶた祭りと言えば青森が有名ですが、筑波の新しいお祭りとしてねぶた祭りが数年前から始まっているそうです。今度是非来てみたいと思います。

..... 産総研の歴史

わが国における放射線の標準に関する組織的な研究は、昭和12年に電気試験所において開始されました。電気試験所は明治24年に当時の通信省電務局に設置され、その時の所員は総勢30数名であったとのことです。

その後、予算、人員とともに急速に増大し続け、大正12年には、所員数850名に達しました。

創立から79年が経過した昭和45年に、電気試験所は電子技術総合研究所と名を改めました。試験所から研究所へ、電気から電子技術への呼称変更は、当時関係された方々の並々ならぬ決意を感じます。

昭和55年、都内の永田町、木挽町、田無市に分散していた施設がつくば市に集中されました。

さらに、平成13年4月には他の七つの研究所と共に独立行政法人産業技術総合研究所として生まれ変わり、現在に至っております。現在の所員は3千人を超えているとのことです。

創立から現在まで、産総研は常に世界の先端を行く技術開発に取り組み、結果として多くの新技術を生み出し、国内外に広めてきました。



写真1 計測研究部門事務棟

..... 計測標準研究部門量子放射科

産総研設立時に、旧計量研究所、物質工学工業技術研究所、さらに電子技術総合研究所に所属した標準関連の組織は、計測標準研究部門として統合され、放射線標準関連の研究は量子放射科が担うことになりました。

計測標準研究部門量子放射科は、計測標準研究部門事務棟(写真1)から200mほど離れたところにあります。

今回ご案内頂いたのは、高田信久主任研究員(写真2中央)、桧野良穂主任研究員(写真2左)、瓜谷章主任研究員(写真2右)の三人の方です。量子放射科は男性13名、女性2名の15名で運営されているとのことでした。

独立行政法人化以前は、サッカー観戦やディズニーランドツアーなどのレクリエーションや年1回のソフトボール大会など職員の親睦を図る行事が開催されていたそうですが、現在ではそれらの催し物はなく、ちょっと寂しそうな感じでした。

..... トレーサビリティー

さて、ここからが今回の本題である、産総研における放射線標準の紹介となります。

少し堅い内容が続きますが、ご了承下さい。よくトレーサビリティーという言葉を目にします。トレーサブル(traceable)の名词がトレーサビリティー(traceability)ですが、トレーサブルとは次のことを言うそうです。

測定器は標準器によって校正されます。その標準器は、より正確な(不確かさがより小さい)標準器によって校正されます。さらにこの標準器も、より正確な標準器によって校正されます。このように、より正確な標準器を求めていくと、国家標準にたどり着きます。

測定器が校正の連鎖によって国家標準にたどり着けることが確かめられている場合、この測定器は国家標準にトレーサブルであると言えます。

つまり、計測器を校正する標準器が国家標準までたどれることが確保されていることを証明されている、認定された校正機関を利用することによって、途中の校正の連鎖を意識することなくトレーサビリティーが確保されます。

...放射線標準及びその供給と産総研の役割...

産総研における放射線標準の供給には、次の



写真2 ご案内頂いた方々

二種類があります。

1. 認定事業者への供給

放射線認定事業者が所有する特定二次標準器を、産総研が所有する特定標準器で校正します。測定器の校正を望む者は、この認定事業者に校正を依頼します。現在では、これが放射線トレーサビリティーの基本となっています。

2. 依頼試験希望者への供給

認定事業者で校正サービスができない内容については、産総研が直接校正を受け入れることがあります。これを依頼試験と呼んでいます。

これらのことや、わが国における放射線標準の現状と産総研の役割について、さらに詳しく伺いました。

産総研では、X線とγ線の照射線量または空気カーマ、中性子のフルエンスと放出率、200余りの核種の放射能について、標準の設定と供給を行っています。

線量標準では、現在、4機関((財)日本品質保証機構、(株)千代田テクノル、(社)日本アイソトープ協会、(財)放射線計測協会)がjcss*による認定事業者となっており、認定事業者が所有している特定二次標準器電離箱の校正を行っています。認定事業者申請を希望している機関の参照標準器についても、特定二次標準器と同様な校正、特性試験を行っています。

また、国内の医療機関で使用されている電離箱の参照標準器や、放射線測定器の校正機関、メーカー、放射線照射事業者、研究機関等の電離箱や測定素子についても、依頼試験として校正や標準照射を行っています。

放射能標準では、標準線源付加圧型電離箱、線スペクトロメータ、液体シンチレーション



写真3 大 線源標準照射装置



写真4 小 線源標準照射装置

カウンタ、荷電粒子測定装置などの標準器を所有し、認定事業者(現在1機関:(社)日本アイソトープ協会)に放射能標準を供給しているとのことです。その他、依頼試験によっても放射能標準の供給を行っています。

中性子については現在jcssは無く、依頼試験として標準の供給を行っています。

近年、計量のトレーサビリティの重要性が広く認識されるようになってきました。国家計量標準を担っている産総研は、現在、計量標準の国際相互承認協定の対応を進めています。

この協定は、国家計量機関による標準の同等性と校正証明書を国際的に互いに認め合うというものです。このために、ISO17025に従った標準の品質システムの確立、BIPM(国際度量衡局)や他の国家標準機関との相互比較結果の公表が求められています。

このほか、外部のそれぞれの標準の専門家に検討・評価して頂く、ピアレビューを受けることが求められています。産総研では、放射線関連標準について、今年の9月にピアレビューを受けることが予定されているそうです。

今後、より高精度な標準を目指すとともに、産総研の放射線関連標準に対する外部の要望に対応できる標準の確立と供給を目指して行きたいとのことでした。

近い将来、わが国の認定事業者で校正された測定器を国際相互承認協定に調印した国に持ち込んで使用しても、国内と同等の評価を受け、胸を張って使用できるようになることはうれしいことです。

もちろん、このことは国際相互承認協定に調印した外国から同様の手続きを踏んだ測定器を日本に持ち込んで、同様に認めるということになります。

*計量法トレーサビリティ制度のことで、平成5年11月に施行された改正計量法により導入された、国家計量標準供給制度と校正事業者認定制度からなる制度です。先端産業分野をはじめ、工業生産における高精度の計測や品質管理の信頼性確保を目的として、創設されました。

..... 産総研における放射線標準

産総研における放射線標準供給と供給量についてご紹介します。放射線の標準はX線、線、中性子、放射能に分かれます。

これらについての詳細は次の通りです。

1 .大 線源標準照射装置と小 線源標準照射装置

^{137}Cs は、1.85GBq, 18.5GBq, 222GBq, 34TBqによる $6.7 \times 10^{-10} \sim 5.1 \times 10^{-4} \text{Gy/s}$ 、

^{60}Co は、3.7GBq, 18.5GBq, 185GBq, 148TBqによる $3.6 \times 10^{-9} \sim 7.9 \times 10^{-2} \text{Gy/s}$

の空気カーマ率範囲をグラフィイト壁空洞電離箱によって設定し、校正を行っています。

写真3に大 線源標準照射装置、写真4に小 線源標準照射装置を示します。

2 .X線標準照射装置

軟X線標準照射装置として管電圧10~40kVで $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-3} \text{Gy/s}$ 、



写真5 中硬X線標準照射装置



写真6 粒子加速装置ベレトロン前方から



写真7 粒子加速装置ベレトロン後方から

中硬 X 線標準照射装置として40 ~ 250kV で $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-3} \text{Gy/s}$ の空気カーマ率範囲を平行平板型自由空気電離箱を用いて設定し、校正を行っています。写真5に中硬 X 線標準照射装置を示します。

3. 線源

^{90}Sr - ^{90}Y (370MBq)、 ^{204}Tl (185MBq)、 ^{147}Pm (7.4GBq) の線源があります。

4. 速中性子フルエンス

2種類の加速器を用いて、以下のエネルギー点における単色中性子フルエンスの校正が可能です。

- ・粒子加速装置ベレトロン(公称値 加速電



写真8 粒子加速装置ベレトロンターゲット

圧 4 MV, 電流150 μA)

144 keV, 565 keV, 5.0 MeV

- ・コッククロフト型加速器(公称値 加速電圧300 kV,電流 1 mA)

2.5 MeV, 14.8 MeV

粒子加速装置ベレトロンの前方からの写真を写真6に、後方からの写真を写真7に、ターゲットの拡大写真を写真8にそれぞれ示しました。また、コンソールを写真9に示しました。

5. 中性子放出率

標準 ^{241}Am -Be線源との比較法により、 ^{241}Am -Be、 ^{252}Cf の中性子放出率の校正が可能です。

6. 熱中性子フルエンス率

標準黒鉛パイルを用いて、 $50 \sim 1 \times 10^4 \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲の熱中性子フルエンス率の校正が可能です。

写真10に熱中性子標準黒鉛パイルとマンガバスを示します。

7. 線放出核種放射能

4 - 同時測定法により、 ^{60}Co などの放射能を高精度(誤差約0.1%程度)に校正します。

^{137}Cs のように、線と線を同時に放出しない核種、あるいは線を放出しない核種は、線を同時に放出する核種と混合し、線効率を100%に外挿して定量する効率トレーサ法を用いています。

写真11に4 - 放射能絶対測定装置を示します。

8. 純 / 核種放射能

7. の4 - 同時測定の効率トレーサ法であらかじめ校正された液体シンチレーションカウンタにより、校正を行ないます。

9. 荷電粒子放出率

面線源あるいは電着線源から放出される線及び線を、窓無しマルチワイヤー式2ガ



写真9 粒子加速装置ベレトロンコンソール

スフロー比例計数装置、または表面障壁型検出器で校正します。

写真12に2 ガスフロー比例計数装置を示します。

10. 線放出率

密封小線源の放射能あるいは線放出率を、高純度Ge検出器により校正します。

..... 終わりに

さすがに国家標準の設備・機器はすばらしく、圧巻でした。また、国家標準を維持・管理し、国内に供給するのは大きなプレッシャーが伴うのではないかと察します。

今後も我が国の放射線文化の健全な発展に貢献して下さることを確信し、産総研を後にしました。



写真10 熱中性子標準黒鉛バイルとマンガンバス

今回の施設訪問をご承諾頂いたばかりでなく、詳細な部分までご説明下さった高田主任研究員、桧野主任研究員、瓜谷主任研究員に厚く御礼申し上げます。

平成15年3月、宮本、福田の2名が伺いました。



写真11 4 - 放射能絶対測定装置



写真12 2 ガスフロー比例計数装置

メンバー紹介

仲間は語る

高田 信久(たかだ のぶひさ)

1944年7月1日生まれ

1967年国際基督教大学卒業。1969年東京工業大学修士課程終了後、電気試験所に入所し、放射線研究室配属。所属先は電子技術総合研究所(1970年)、放射線計測研究室(1980年)と改称。現在、(独)産業技術総合研究所 放射線標準研究室所属。気体中のイオンの移動度とクラスター反応に関する研究で東京工業大学より工学博士号授与。電離箱の諸特性に関する研究を行い、現在、放射線線量標準の設定と校正を担当。趣味は犬の散歩、ドライブ。モットーは、前の橋から渡る。できることから始めようと心がけている。

桧野 良穂(ひの よしお)

1951年10月26日生まれ

東北大学工学部原子核工学科を1974年に卒業。同大学院を経て、工学博士号取得。1980年より、西ドイツ(当時)カールスルーエ原子力研究所の客員研究員としてスプレージョン反応により発生する中性子の計測を行う。1983年4月に電子技術総合研究所(当時)に採用され、放射能標準に関する研究を行い、今日に至る。現在は、(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 量子放射科 放射能中性子標準研究室長。ICRM(国際放射能測定委員会)副会長。趣味は40の手習いで始めたゴルフだが、ようやく100を切れる程度でもがいている。

瓜谷 章(うりたに あきら)

1961年1月24日生まれ

名古屋大学工学部を1984年に卒業。同大学院を経て、工学博士号取得。1990年、同大学に助手として奉職。同大助教授を経て、2001年4月に(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門に主任研究員として赴任。専門は放射線計測であり、現在は中性子関連量の標準の維持・供給、中性子計測法の開発に携わる。Isotope News誌、日本原子力学会誌、応用物理学会誌の編集委員、応用物理学会放射線分科会副幹事長を務める。趣味はバドウォッチング、将棋、バックギャモン、アクエリアムなど。

サービス部門からのお願い

個人線量管理票のお届について

四半期および年度の『個人線量管理票』は、それぞれ該当四半期の測定がすべて終わった時点で作成し、報告書と共にお届けしております。

この度、平成14年度『個人線量管理票』が未出力の方を対象に、測定の終わっていないご使用期間について「未測定」と表示して、『個人線量管理票』を作成し、送付させていただきます。

なお、この平成14年度『個人線量管理票』のご送付は7月中旬になる予定です。



編集後記

4月初めに急増したSARSの新規感染者は、その後もあっという間に増え続け、世界で8,360名以上の疑わしい患者と764名の死亡者が報告されています。(5月31日現在、WHO)死亡率は9.1%で、短期間の患者増加と死亡者発生割合は、他の感染症には見られない脅威的な数値に達し、未だ感染源の究明が遅れている状況です。対策の鍵は、感染ルートの特定と早期隔離とされています。幸いなことに、我が国では現在までに発生報告はありません。しかし、台湾の医師が日本に入国し各地を旅行していたことにより、訪れたと思われる観光地施設が公表され、自治体による安全宣言が行われたものの、風評被害が深刻な状況です。このため、SARS流行地からの帰国・入国者に対して「10日間は人と会うのは最小限に」を周知徹底されました。今のところSARS対策の決め手は院内感染対策の徹底とされており、早期の終息宣言が待たれます。

今月号は、PETによる放射線診断と放射線治療をテーマとしました。元放射線医学総合研究所 臨床研究部長の舘野之男先生に「PETの効能 - 痲呆とパーキンソン病を例に」と題してご執筆いただきました。アルツハイマー病は長らく打つ手なしと言

われていましたが、最近では治療薬も現れ始め、いずれ早期診断早期治療が要請される時代が来るとされています。また、放射線医学総合研究所 重粒子医学センター病院の大野先生に「放射線によるがん治療の変遷」と題してご執筆いただきました。放射線治療は手術や化学療法と共にがん治療の3本柱として認識されるようになったとしておられます。

7月号から、東北大学名誉教授の中村尚司先生に編集委員に加わっていただくことになりました。先生は京都大学工学部原子核工学科を第1期生として卒業後、同学工学部、東京大学原子核研究所助教授、東北大学サイクロトロンセンター教授を歴任され、最先端の中性子高度利用・計測技術の開発の研究に携わってこられました。また、日本保健物理学会会長、文部科学省放射線審議会会長代理、原子力安全委員会原子炉安全専門審査会委員などを歴任され、原子力・放射線の分野で尽力されました。本誌11月号には「BSSの法令体系への取り入れ」(仮題)についてご執筆いただく予定になっていますので、どうぞご期待下さい。

(宮本)

FBNews No.319

発行日 / 平成15年7月1日

発行人 / 細田敏和

編集委員 / 宮本昭一 中村尚司 久保寺昭子 佐々木行忠 寿藤紀道

藤崎三郎 福田光道 大登邦充 田中真紀 池田由紀

発行所 / 株式会社千代田テクノル 線量計測事業部

所在地 / 〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル7階

電話 / 03-3816-5210 FAX / 03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp

印刷 / 株式会社テクノサポートシステム

営業所 / 東京 TEL 03-3816-2245
FAX 03-5803-4890

大阪 TEL 06-6369-1565
FAX 06-6368-2057

名古屋 TEL 052-331-3168
FAX 052-339-1180

福岡 TEL 092-262-2233
FAX 092-282-1256

仙台 TEL 022-224-1113
FAX 022-217-8796

札幌 TEL 011-733-1501
FAX 011-733-1502

広島 TEL 082-261-8401
FAX 082-261-8448

モニタリングサービスのお問い合わせは上記の営業所で承っております。
- 禁無断転載 - 定価400円(本体381円)