

Radiological Sciences

放射線科学

2008.02

Vol.51

第51巻 第2号



特集

「第五福竜丸を振り返って」

ISSN 0441-2540



▲ 緊急被ばく医療施設



▲ 緊急被ばく医療施設内の一室



▲ 役割を終え昨年廃止となった 第1ガンマ線棟

▼ 水生動物舎および第2研究棟



Contents

- 04 **特集**
市民講座「第五福竜丸を振り返って」
緊急被ばく医療研究センター 明石 真言
- 17 **放医研シンポジウム**
「炭素線治療—物理・生物・臨床」
“Progress in Heavy Ion Radiotherapy”
重粒子医科学センター 物理工学部 金井 達明
- 22 **研究レポート**
「マイクロドーズ臨床試験の論理的・社会的意義 (2)」
—指針案の公示と今後の課題—
分子イメージングセンター 運営企画ユニット 栗原 千絵子
- 30 **印象記**
「米国 REAC/TS における
緊急被ばく医療コース受講印象記」
緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 石原 弘 安田 武嗣
- 33 SR Salon Photograph
三井 正紀
- 34 随想
市川 龍資
- 35 編集後記

特集

「第五福竜丸を振り返って」

—日本放射線影響学会第50回大会・市民講座—

緊急被ばく医療研究センター センター長
明石 真言

はじめに

平成 19 年 11 月 17 日、千葉市で開かれた日本放射線影響学会第 50 回大会（安藤興一大会長）に引き続き、同学会と放射線医学総合研究所（放医研）との共催で市民講座「第五福竜丸を振り返って」が幕張メッセ国際会議室で開催された。大会の閉会式のあとではあったが約 200 名の学会員や市民の方の参加があった。「昭和 29 年 3 月 1 日、この日何があったか知っていますか？」と副題をつけたが、50 余年を経た今どのくらい方が知っているのだろうか。この事件は、昭和 29 年 3 月 16 日の読売新聞が一面トップ記事で「邦人漁夫 ビキニ原爆事件に遭遇」「23 名が原子病」との見出しでスクープしたことから社会の脚光を浴びることになった。太平洋上ビキニ環礁で行われた米国の核実験により、23 名の日本人が放射線被ばくにより障害を受け、同年 9 月 23 日には 1 名が亡くなっている。またこの事件は、放医研設立の契機になったとされている。漁業の町として栄えていた焼津にとって「原爆マグロ」等放射性核種に汚染したとされるメバチ、キハダマグロなどが検査後廃棄され、さらにこの核実験以降も、ビキニ環礁付近で多くの漁船が操業しており、これらの漁船の水揚げも処分されるなど社会的にも受けた損害は非常に大きい。

市民講座「第五福竜丸を振り返って」では、53 年前の当時の状況を現代の科学、医学という立場からを振り返り、現在では当時とどう考え方が変わったのか、特に放射線影響という立場から現在の視点で可能な限り科学的な検証を試みることを目的とした。被害にあった一人である第五福竜丸の当時の漁労長の見崎吉男氏、この事件のあと設置された静岡大学理学部放射化学実験施設の元施設長である静岡大学名誉教授長谷川紈彦氏、そしてこの事件を追い続けている静岡新聞社会部記者の木村力氏がそれぞれの立場から講演を行ない、異なった視点からこの事件を振り返った。各氏の講演後に全員でパネルディ

スカッションが行われた。この稿では、講演とパネルディスカッションを紹介するとともに、この市民講座を通して浮かび上がったことを考察する。

講演から

明石（真言、緊急被ばく医療研究センター、司会）：はじめに事件の概略を紹介させていただきます。昭和 29 年 3 月 1 日、太平洋ビキニ環礁でマグロ漁に従事していた静岡県焼津漁協所属の第五福竜丸が、米国の熱核爆発実験（通称“キャッスル作戦”）に遭遇しました。そして当時 18～39 才までの 23 名が放射線に被ばくし、放射線障害を受けました。当時の記録によれば、この他にマーシャル郡島、現在はマーシャル諸島共和国の住民 239 名と米国人 28 名も放射線障害を受けたとされています。その後、第五福竜丸は 3 月 14 日に母港に帰港し、健康診断を受けました。23 名の方は 2 つの病院に分かれて入院し、9 月 23 日には 1 名の方が亡くなられた、というのがこの事件の概要です。



写真1：明石（司会）

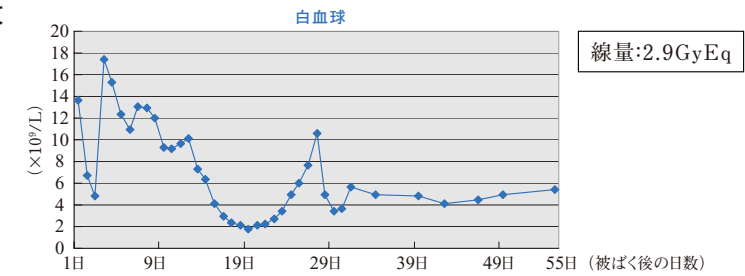
第五福竜丸は総トン数 140 t、長さ 28 m、幅約 6 m、ディーゼルエンジンで 250 馬力の木造船でそんなに大きな船ではありません。現在、東京夢の島公園内の第五福竜丸展示館に展示されています。マーシャル群島は

オーストラリアとハワイの間に位置し、多くの島が散在する非常に美しいところです。ここでマグロ漁に従事していた時に、第五福竜丸がこの事件に遭遇しました。この水爆実験は BRAVO（ブラボー）というニックネームが付いていました。非常に大きな水素爆弾で、実際に第二次大戦中に使用された広島市の the Little Boy や長崎市の the Fat Man の 1000 倍もの大きさです。非常に大きな核実験であったことがお判りになると思います。この核実験で非常に大きなクレータができました。大きなクレータができた事からもこの核実験がいかに大きいものであったかというのが改めて痛感されます。このシンポジウムの目的は、実際に事故で起きた放射線による被ばくが具体的にどのようなものであったのか、線量評価がどのよう行われたのか、つまりどのくらいの放射線に被ばくしたのかという事を再度振り返ることです。この線量評価については、文献を含めていろいろと探してみましたが、なかなか見つけることができませんでした。フォールアウト（放射性降下物）の分析、船の甲板に積もった降下物からどのくらい放射線が出ているのか、そ

れから乗組員の皆さんが船の上での行動に基づいた線量評価をされたということになっていますが、実はどのようなやり方をしたのかを正確に記載した論文は残っておりません。この市民講座では、当時第五福竜丸の漁労長という指導的な立場にあった見崎吉男さんに、自分達が受けた障害と症状の発症、船の上での状況、また病院でどのような状況についてお話を頂くことにしております。また当時どのような線量評価をしていたのか、1 日目はどのような線量であったのか、それから戻ってくるまでの 2 週間の船上での被ばく形態はどうであったのかを長谷川先生に検証していただき、静岡新聞の木村さんには、社会という視点からお話し頂ければと思っております。

まず健康影響に触れたいと思います。今から、8 年前茨城県東海村で不幸な臨界事故がありました。3 名の方が高線量の被ばくを受けたのですが、その中の一人の方の被ばく線量が γ 線に換算しておよそ 3 Gy でした。そして、第五福竜丸の中の乗組員の方の一人もだいたい γ 線にして線量が 3 Gy でした。この二人の白血球数の変化を比べてみると、東海村の事故での場合、白血球数は

東海村JCO事故



第五福竜丸事件

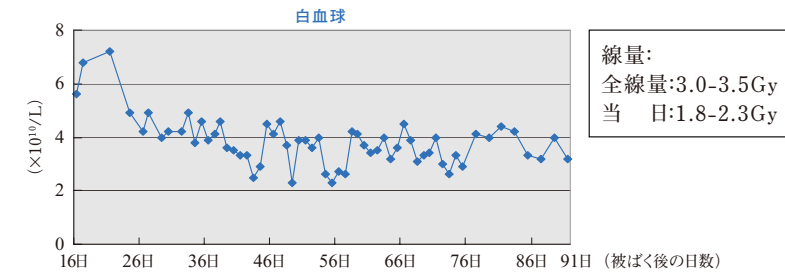


図1：急性被ばくと慢性被ばくによる白血球数の変化

3週間後には最小になりました。ところが、線量が同じであっても第五福竜丸の場合、白血球数の減り方は大変ゆっくりであり40日を過ぎた頃に一番少なくなっています。このように白血球数の減少パターンがこれだけ違うということから、被ばくの起こり方がかなり違うことが推定されます。つまり東海村の事故では非常に短時間の被ばくであり、第五福竜丸では長い時間をかけて被ばくした、と考えられます。第五福竜丸で被ばくした方では、事故当日に消化管の症状が現れ、時間がたつて皮膚症状、脱毛が現れました。発熱も見られましたが、これは白血球が減った為にできたのではないかと考えています。また、入院中に黄疸の症状も見られていますが、これは直接放射線によるものではなく治療として行われた輸血によるものであろうと考えています。

最後にどういう被ばくであったのかについて話します。この第五福竜丸の放射線被ばくは、主に放射性降下物による被ばくでした。それから、核分裂生成物を伴ったサンゴ礁などの破砕物からも被ばくをしました。長崎、広島、原爆と違うのは爆風や熱による障害ではなく、おそらく純粋な放射線の障害であろうということです。また、体表面に付着した放射性降下物からのβ線による、特殊な皮膚の障害ができています。そして、吸入と飲食物汚染による体内被ばくもあったのではないかと考えています。

この市民講座では、ビキニ水爆実験による第五福竜丸乗組員の放射線被ばくを現在の視点で検証し、この事件での放射線による障害がどういうものであったかを議論しようと思います。始めに第五福竜丸漁労長だった見崎吉男氏よりお話を伺おうと思います。当時見崎さんは漁労長という立場にあり、船長がハード面の責任者なら漁労長はソフト面の責任者といえます。よろしく願います。

見崎（吉男、当時の第五福竜丸漁労長）：みなさんにできるだけ、正直な正確な話をしたいと思います。遠洋航

海の漁師は探検家の仲間である。前後の状態をよく見てよく調べしっかりとした準備をし、できるだけ安全な策を選ぶ。遠洋航海は冒険ではない。しっかり海を調べ、進む方向を調べて進む探検家である漁師が、私は好きだった。遠洋航海の漁師が人生の目標だった。日本一の漁師になるぞ、と大きな夢を心にしっかり抱きしめて、目的に向かう時、心が振るい立ちました。そしていつの日か、焼津漁港にいい漁師がいるそうだ、と波しぶきで鍛えた男を体の奥に秘めていた。航海図を真ん中にして詳細な自分の考えを海図に描く。これが私の仕事でした。それが、大失敗をしてしまった。ちょうど第五福竜丸が東経180度線に近い所で漁をして、その漁を終えて帰ってくる途中でした。これからここで漁をしたらいいかもしれないと思った時にちょっと横道にそれる。海の様子はどうか、どんな魚がいるだろう、水温はどの位だろう、潮の流れはどっちに流れているだろう等いろんな細かい事を調べる。漁労長の判断のもと、次はいずこかに備える。真っ直ぐ帰ってれば、この事件に遭わなかった。北西に向かって帰ればよかったのに、ビキニ島めがけ西に向かってしまった。ビキニ島という島を私たち漁師は良い漁場であることをよく知っている。戦争が終わって7、8年位そこで核実験をしていたことは知っていた。しかし、私たちは今核実験を行っていることを知らなかった。そういう場合には出航する時に資料で知らせてもらいたかった。また航海中であっても、この島付近は危険である、と知らせてもらいたかった。しかし、アメリカとの関係で知らせる訳にはいかなかったと、後に聞いた。第五福竜丸ばかりでなく、どの船も知らなかったのである。しかし、アメリカはその前年の1953年の11月に日本政府に通告していた。1954年の3月1日にビキニ諸島において核実験を再開する、という事を。この重大な事実を日本政府は知りながら握り潰していた。太平洋上に何十隻という船がいるのに、全く知らせなかったのである。私が入港をして報告に行った3月14

日に「見崎くん、それは本当か？そんな事があったのか？そんな難しいめんどくさい事があったのか？」と言われた。海上保安庁も焼津漁港も知らない、これはおかしい。日本政府が事実を話さなかったのである。総理大臣が誰だったか忘れたが、日本政府の、漁師の3人や5人なんて死んでもどうって事ないという考え方、そういう安易な考え方があった。漁師ってものは、そんなばかりではない。ちゃんと海を調べて、世界の海を航海するのだから。しかし、なぜか焼津でもそうだが、漁師が軽く見られている。もっと大事な人間なら重大な事実を明かすはずである。日本政府が悪いんだ、という事は私は強く言いたい。非常に残念である。



写真2：講演する見崎氏

1954年3月1日、午前3時50分頃さそり座の中心にあるアンタレス（一等星、赤く輝いている）に感謝をしていた。その時、ふと西側の空を見ると真っ白になってきた。濁った白い色で、コンクリートのうすような色であった。東から西から南から北から空一面真っ白であった。自分一人だけ起きていて、他の船員はみんな休んでいた。しかし、みんな一斉にびっくりして飛び上がって外にでてきた。ドアの内側でみんな騒いでいたが外に出てきたら誰も一言もしゃべらない。「今、起きたのは何だ？この光は何だ？」という思いがきつとしていたのである。おっかない目つきで私を睨んでいた。天空を

覆った白い光が、さっとひいていった。光なので速いからすぐにひいてしまった。その後、西の空に太陽や夕日くらいの大きさの玉がうすく残った。さらにその9分後位に、すごい轟音がした。マーシャルの島が、いくつも崩れ海底に沈んでいく、海の底が抜けてマーシャルの水がグワーと流れていくようなすさまじい轟音であった。光でびっくりして、今度は轟音でびっくりした。みんな飛び上がった。私はすぐに、みんなに部所につくように指示し、警戒態勢に入り見張りを配置した。今何が起こったか、自分は説明できないが、何かが起こった事は確かである。アメリカ（軍機）が来るかもしれない、その頃にビキニ島といえばアメリカ、アメリカといえば核実験と想像はできていた。しかし、1時間たっても2時間たっても、アメリカの船も来なければ飛行機もない。ずっと静かであった。アメリカからも日本からも連絡が来ない。不思議な事もあるもんだ、これだけすごいことなのにと思った。それから3時間後、空は真っ黒になってきて、風も吹いてきた。風速は20メートル。波も高くなり非常に天候が悪くなってきた。おかしな事もあるものだと思い、さらに3時間後には雨風がさらに強くなった。横殴りの雨、波も大きくなり船に当たって砕けて、船内に飛び込んでくる。雨と一緒に飛んでくるものが当たると痛い。灰である。私はその当たるものをつかんで水に入れてみた。表面は真綿菓子みたいに溶けるが、中に芯が残る。噛んでみたり、舐めてみたり、つぶしてみたり、貝殻ではないかと思った。きっとその中に放射能が含まれていたであろう。そういう状態でサンゴ礁の破片が降ってきた。その後、ホースを使い船の上をきれいに掃除した。その為ちょっと見ただけでは、灰は残っていませんでした。

その日の午後5時、頭の痛い人や腹痛の人がでてきた。本当に重症のようならアメリカの基地もあるので、とりあえずは症状をしっかりと見よう判断した。また、船長には各船や日本と連絡をとってもらうようにした。

各船に対してはこっちから現場の状況を話すのではなく向こうから話をさせようとした。そして、日本へは話をしない。日本から話に来るのが当然であるからである。しかし、1日たっても2日たっても日本政府からの連絡は一切なかった。日本政府は握りつぶしていたのである。

1日目には身体の調子が悪くなったが、具体的には食欲がなくなり、美味しく食べたり飲んだりする事ができなかった。帰ってくるまでの2週間の間に皮膚に症状がでた人がいた。10日たった頃から主に頭に脱毛の症状がではじめた。港に入るまで、みんな冷静沈着に務めてはいたが、内心は相当動揺していました。

明石：見崎さんどうもありがとうございました。次に、長谷川先生お願い致します。長谷川先生は静岡大学放射化学研究施設の施設長をされ、現在は静岡大学名誉教授であり、NPO法人放射線教育フォーラム理事・副会長をされています。静岡大学は、第五福竜丸の「ビキニの灰」の調査研究に従事しました。



写真3：講演する長谷川氏

長谷川（園彦、静岡大学名誉教授）：第五福竜丸事件当時の線量評価は非常に難しい。なぜなら、データがないからである。そのような理由から本日は、“こうであった”と断言をするのではなく「こうであったであろう。」という話し方しか私はできません。

ビキニ事件の放射線量は核爆発によって発生した放射線が大部分で、その他には物質の中性子による放射化、残留放射能と爆発により形成された雲からもたらされた放射性降下物および核分裂生成物です。これから説明するデータは熊取敏之氏（故人）が放射線計測の重要性について書いたものを引用しました。被ばく線量の値は2週間の総線量で多い人は、6.6 Gy、少ない人で1.7 Gy位で、1日目はこれらの総線量の約60%であった。この推定値と各人の白血球減少の程度はよく一致し、線量の多い人々の白血球減少の割合は高かった。

当時、外部被ばく線量を計測するのに、ローリッツェン検電器や電離箱型ローリッツェン Cutie Pie、GMサーベイメータ、GM管計数装置などを使いました。そして、放射性降下物（灰）を支配する諸因子は、時間（核爆発からの時間など）、空間（核分裂生成物の空間分布、気象条件、海水への分布）、環境物質（海水、サンゴなど）がある。もちろん、当時のこのようなデータはないので線量評価というのはやはり、非常に難しい。要するに私の言いたい事は、核爆発の起こった瞬間に中性子過剰な短寿命核種の生成がおこり、β線、高エネルギーのγ線のしめる割合が大きいのではないかという言う事である。ミストやサンゴ礁についている海水があると中性子によって非常に高いβ線やγ線が生成される。このような事からこの事故の被ばくには、これらの非常に高いβ線が影響しているのではないかと考えられます。気道から肺に吸入された小さな核種による至近距離からの内部線量評価は核種や周辺臓器によっても変わってくる。非常に重要な問題ではあるがまだ分かっていません。

明石：長谷川先生どうもありがとうございました。線量に関する論文がなく、推定する以外にはないことがよくわかりました。最後に静岡新聞社会部の木村さん、お願い致します。木村さんは、静岡県内各地の支局勤務のほか、東京支社編集部、共同通信社出向、現在は静岡新聞

本社編集局社会部勤務をされ、これまでの企画連載に「顔の旅」「小泉八雲没後100年 魂のふるさと」等があり、「ルポ マグロを追う」では水産ジャーナリストの会2000年度賞を、また「第五福竜丸 心の航跡」で第9回平和・協同ジャーナリスト基金賞奨励賞などを受けています。



写真4：講演する木村氏

木村（力、静岡新聞社会部）：見崎さんとはもう十数年の付き合いになります。第五福竜丸というのは焼津漁港所属の船で、三崎さんは焼津市、私はその隣の藤枝市の出身です。ビキニ事件が起きた時、私は3歳でした。5歳から小学校卒業くらいまでは、雨が降るたびに放射能の雨には気を付けろと親に教えられたのをよく覚えている。ビキニ事件や第五福竜丸事件等、事件と呼び、被ばく事故となぜ呼ばないのかというと、これは被ばくだけの問題ではないからです。社会的な背景があるからではないかと思います。今回の取材で初めて第五福竜丸のカラー写真を公開することができました。ビキニ事件というのはいくつかの要素を持っていて、その一つが太平洋戦争の屈折した歴史の影響です。見崎さん達が遠洋漁業に出られた時期というのは、マッカーサーラインが撤廃され日本が独立を回復した直後でした。第五福竜丸は当時、やはりだしていた鉄鋼船ではなく木造の帆船でそろそろなくなりかけていた船種でした。現在は夢の島に

展示されています。当時の水爆実験を調べると米軍の予想をはるかに上回り、失敗に近い爆発をしているものだから、見崎さん達が被害を被る事になってしまいました。ここ（幕張メッセ）が第五福竜丸の位置だとすると、ブラボーはだいたい富士山よりちょっと遠い位置になる。よくキノコ雲を見た報道されるが、実際は見えていない。そのような誤った情報というのが後世にそのまま伝えられてしまっているのが、第五福竜丸の映画にもキノコ雲がでてきています。また、被害を受けたのは第五福竜丸だけではなく、他に856もの船が被害を受けています。戦後から冷戦状態に入った後の政治状況というのが、やはり事件にすごくかかわっています。原水爆禁止運動というのはこの第五福竜丸の事件から起こりました。世界的に原水爆禁止運動が広がっていくが、その契機になったのがこの第五福竜丸事件です。ここに見崎さん達が平和の象徴として巻き込まれていきます。そういう事でも見崎さん達は苦しんでいます。そして、原水爆禁止運動の分裂という社会党と共産党の世界情勢を反映した分裂も地元の焼津市に反映していきました。地元の焼津市で作っている平和運動と共産党系の原水協運動、社会党系の原水禁運動と3つの運動がからまるように進んでいきます。その中で乗組員みんなが翻弄されていきます。どんなに、平和を訴えても未だに核兵器は増えていくことが重くのしかかっていきました。このような事からも大事件だったなと痛感します。私は事件の意味を歴史的に書いていこうというわけではなく、苦勞した乗組員の方たちの気持ちを書こうという事で静岡新聞に60回位の連載をした。タイトルも「心の航跡」というタイトルをつけました。そういう事で見崎さんに寄り添ってきた訳だが、未だにふた月に一度位のお茶会をしながらお付き合いをさせてもらっています。

パネルディスカッションから

(3氏に壇上に上がっていただき、以降パネルディスカッション)

明石：被ばく直後、頭がボーとするとかだるいという症状があったようですが、具体的に気持ち悪くて吐いたという事はあったのでしょうか、またそれは続いたのでしょうか。

見崎：あまり聞いていないが、もしかするとあったかもしれない。体の調子は日が経つにつれだんだん悪くなってきた。それで入港してすぐ病院へ行きました。

明石：線量という点からどのような状態だったと考えられますか。

長谷川：線量評価はそれぞれみんなデータが違います。非常にエネルギーの高い核種ができてそれが優位であると私は思っています。このデータは被ばくして焼津に入港するまでの2週間たってからなので、核種はほとんど検出されていませんが、そのためこのような事も当時の福竜丸の被ばくに影響していると言う訳です。

明石：被ばく当時の皮膚の写真を見ると首や頭、耳には被ばくの影響がでているが、顔はどうでしたか。

見崎：顔はよく洗っていた。いわゆる漁師の面の皮は厚いというのである。顔は案外、丈夫です。

明石：放射性降下物が甲板にたまり、見崎さん達がデッキブラシで洗い流したとも考えられますが、実際床など洗ったりはしましたか。

長谷川：先程、見崎さんの話にもあったように粒子が当たって痛いというのは、サンゴの爆風によって顔に当

たったからです。サンゴの灰が顔に積もったというわけではなく、多分海水で洗ったのではないかと思います。第五福竜丸のマグロが汚染されていなかったのに、海水で洗ったとしても、海水自体は殆んど放射性物質がなかったのではなかろうかと、そういうふうには推測しています。

明石：今、長谷川先生から第五福竜丸のマグロは汚染されていなかった、とお話されました。見崎さん、焼津に戻られて第五福竜丸が捕ったマグロはどうされたのでしょうか。多分、私どもの理解では第五福竜丸のマグロが汚染されていてあれは捨てられたのではないかと多くの人は思っていますが、実際はどうでしたか。

見崎：マグロは穴を掘って捨ててしまいました、全部そうだったらいい。しかし後で発表されたのを聞くと、第五福竜丸のマグロは大丈夫であった、何も汚染されていないという事でしたが。それから後に入港した船の魚がみんな汚染されたとは聞いています。

明石：皮膚の写真を見ると、シャツを着ていた部分にはほとんど皮膚の障害がなく、直接付いた所に皮膚の障害が多いように見えるが、現実にはどうでしたか？

見崎：はい、そうですね。手首や首は帽子を被っていた。頭の後ろ半分がやはりやられていました。

明石： β 線熱傷と我々は考えていますが、やはり β 線核種が多かったと考えていいのですか？

長谷川： β 線だけという核種はほとんどなく、 β 線ができれば γ 線がでてくる、それらが皮膚に付き障害を起こしたと考えざるをえないとは私は考えています。

来場者 A：第五福竜丸の被ばくした方をずっと追跡して調査しているのは放医研だが、50年を振り返って乗組員が現在何名生きていて、どのような状態にあるのか等のデータが本日でも思ったが、そのような事は発表されないのですか？

明石：公表しない理由は、当事者は23名であって非常に特定しやすいという事、また第五福竜丸の乗組員であったという事を公にしていない人も中にはいらっしゃるからです。

平成17年度 放射線医学総合研究所 年報「ビキニ被災者実態調査」から

2.5.1 ビキニ被災者実態調査

明石真言、中山文明、富永隆子、田村泰治（研究生）、蜂谷みさを（被ばく医療部）
吉田光明（線量評価部）

昭和29年3月1日ビキニ環礁で行われた核実験で放射性降下物により静岡県焼津市の第五福竜丸の乗組員23名（当時18～39歳）が被ばくした。この実態調査はこれら被ばく者の健康状態を長期的に観察し、晩発性放射線障害を調査・研究するものである。50年近くに及ぶ被ばく例の調査追跡は世界でも稀であり貴重なデータである。被ばく様式は混合及び亜急性被ばくであり、推定線量は1.7～6.0Gyであった。最近では平成15年5月に1名が肝癌で死亡、これまでに死亡者12名となった（内訳は肝癌6名、肝硬変2名、肝線維症1名、大腸癌1名、心不全1名、交通事故1名）。

平成17年度は放医研3名、焼津市立総合病院の協力の下に5名、計8名の健康診断を行った。上部消化管造影検査にて1名、胃に異常影を認め、内視鏡検査を行ったが悪性所見は認めなかった。また、上部消化管内視鏡検査にて1名に逆流性食道炎、胃潰瘍癒痕を認め、焼津市立総合病院で加療継続中である。眼科検査にて、白内障術後の後発白内障が1名、高血圧性変化を1名に認め、眼科にて加療中である。その他年齢相当の水晶体混濁を数名認めた。皮膚障害については1名に上肢に基底細胞上皮腫を疑う所見を認め、焼津市立総合病院皮膚科にて加療継続となっている。甲状腺腫、甲状腺機能の異常は認めなかった。肝機能異常が多くの例に認められ肝炎ウイルスの検査では、陽性率が非常に高い。しかし、腹部造影CT検査などでは肝細胞癌などの悪性腫瘍の所見は認めなかった。被ばく当時、全員が骨髄抑制や凝固異常に対して全血もしくは血漿の輸血を受けており、このことが一因となった可能性がある。肝機能については地域の病院で診療を継続している。さらに、1名にCEAの上昇があり、直腸癌の再発の可能性があったため、焼津市立総合病院外科にて経過観察の継続をしている。被災者は高齢化に伴い、糖尿病、高血圧症、心疾患、脳血管障害等に罹患している例が多い。今後も地域の病院と密接に連携し患者の病態に応じた調査を行ってゆく。



写真5: パネルディスカッション

来場者 A: 個人的な事ではなく全体的な事はどうであったのか？

明石: 放医研の年報で、亡くなられた方の中には肝臓の障害が非常に多い、悪性腫瘍も含めて数字なども発表しており、悪性腫瘍がどういう所にでたのかという事までは発表しています。しかし、現在生きている方と亡くなられた方と区別がついてしまうので、何名中何名は生きているとか数字はだしているが、時期に関しては公表していません。年報はオープンになっています。

来場者 B: 先生が最初に申された輸血による肝障害というお話があったが、放射線による障害と何らかのウイルスが係わった複合的な影響についてどのように評価していますか？

明石: 私どものこれまでの研究調査の中では、おそらく免疫機能がかなり落ちていた為にウイルス感染に影響していた可能性があると考えていますが、具体的にどの程度影響があったのかという事は私どもの調査では分かっていません。ただ、おそらく可能性として、肝臓障害の比率から輸血による障害の可能性があったであろう、と考えています。医療の目からみるとそう考えるべきであ

ろうと思っていますし、おそらく間違っていないと思います。ただ、免疫機能がどの程度関係したのかというデータについては持っておりません。

来場者 C: 今年か去年のビキニデーの頃だったと思うが、船員の方達の精子数の調査が行われ新聞記事になった。その時、乗組員のコメントで「たしかに調べられたけど、その結果は聞いていなかった」という記事を読んだ。精子数のデータというのはもっと前に学術書にでているというのは、知っていた。たまたま今年それを手に入れたら25年のフォローアップの時（多分、日米共同のシンポジウム）にその精子数のカウントのグラフもでていたし、これは本当にびっくりしたがみなさんの妊娠、出産のデータもでていた。先程、このようなデータは人数も少ないしみなさんに確認しないとだせない、と言っていたのに実際は確認しているのですか？検査をしてその結果を本人に伝えているのですか？

明石: 私がこの第五福竜丸の乗組員の健康診断に係わってからまだ17年であるので、それ以前に関しては分からないところがあります。私どもが関与するようになってからは、当初おそらく誤解が生じたとしたら、結果を言葉で伝えていたことにあると思います。ただ、肝臓に関しても輸血による肝炎であろうと話しています。こういう問題が生じてからは、健康診断を行う毎に全て文章でお送りして、どういう対応が必要か報告をしています。当時（25年前）はおそらく言葉で話していたので、分かりにくい部分があったのではないかと思うが、私どもはこれ以上コメントできる事はありません。

明石: 見崎さん、病院に入院をされて熱がでられた方も多かったと思いますが、その時にどんどん障害は悪くなってきたのですか？それともなんとなく気分が悪くなり、熱がでてきて、なんとなく治ってしまったという経

過だったのですか？

見崎: 病院に入って、私どもの病気は痛いとか痒いとか苦しいとかあまりなく、わりと平平凡凡と生活できた。その間に先生に診察してもらい、そして色々な注意を聞いた、こういう日が割とながく続いた。非常に大きな変化が波のように来る、そういう事はなかった。案外静かでした。

明石: 放射線の影響は、目に見えない味もないとか色々障害の出方も特殊であるが、ご自身で放射線に被ばくしたという事で社会的に何か気になる事を言われたとか、何かそういう経験はありますか。

見崎: ありません。むしろ、皆さんから叱咤激励をたくさん頂きました。しょんぼりしないで、元気を出せと言う激励をいただきました。だから困ったなという事より、ありがたいという事のほうが多かったです。

明石: 静岡では当時、この被ばくをどのように受け止めていたのでしょうか？

木村: 放射能について何も知らない状態で、伝染病のように思われていました。うつるのではないかと。今の狂牛病の騒ぎの比ではありませんでした。

明石: 今でも一般の方々の中には放射線というのは、X線被ばくでも体に放射性物質が残ってしまうと思っている方もいらっしゃる。今は当時に比べてそのような人が減っていると考えていいですか。

木村: かなり減っていると思います。原子力発電所の普及とかそういう意味でかなり勉強されている方やニュースになっているので、当時と比べて格段に知識は広がっ

ています。

来場者 D: 木村さんに質問です。ご本を拝見していないので失礼かもしれないが、被ばくされた方に個人的にジャーナリストとしてインタビューをなさったかどうか。医学者としてではなく素人として被ばくの方の健康の被害の問題をどのように取り上げたか？ 広島と長崎と第五福竜丸の3つの運動が分かれて存在したが、これに対する木村さんのコメントはありますか。

木村: 被ばく前に結婚していた人や被ばく後に結婚した人など状況は色々あり、被ばくに対する受け止め方というのは人それぞれでした。50年経った今、生の声を私は伝えようとしています。だから、それに対して私がどういう風に立場をとって、どうしなければいけないというような結論は本の連載記事の中では出していません。現状を知ってほしいという事です。運動の事については、今でも広島、長崎は分裂したままです。このように分裂した政治的な力の強い平和運動が地元の焼津に引き起こした騒動というのは、大変なものでした。これに参加している焼津市民はいなく、ほとんど市外、県外の人を実行委員会をつくり続けています。そこに地元の人が多少参加する程度です。焼津では、市民の平和集会というものも6月30日に毎年やっていますが、そこにほとんどの乗組員の方達が出席されています。しかし、分裂したままではよくないと私も思います。何らかの形で核兵器廃絶なり平和運動をしていかなければいけないと思います。何か新しい運動はないかと取材していたところ、長崎世界 NGO 平和会議というのを、個人の資格で参加する平和運動を作りました。個人で参加するというスタイルをとる市民運動にしたものですから、そこには原水協の方も原水禁の方も楽に参加しています。新しい動きとして成功してきています。最近、銃撃事件で亡くなられた市長が一生懸命やられていたものでどのような影響がで

るか心配していますが、長崎は新しい動きを見せています。よく長崎、広島、ビキニと呼ばれるが私が長崎や広島取材した限りでは、長崎や広島の人たちにとってのビキニ事件の意識はものすごく低い。だから一体感をもっていない。もし広島、長崎、ビキニ一体で語るのであればそこもやはり問題である、そんなふうに思いました。

明石：見崎さんは、1日目（事故当日）の被ばくから症状がだんだんにひどくなってきたと言われました。つまり、今ここので答えはだせませんが、前駆症状がないとは考えにくく、持続性の被ばくによって前駆症状が入港して入院されるまで引き延ばされてきたのか、それとも別の機序が働いていたのかという事に関してはまだ分かりません。そのような点に関しても私どもは今後研究していかなければならないと考えています。実はこのような持続性の被ばくは世界でもあまりない事例ですから、きちんとフォローアップを続ける必要があると思っています。本日はこの市民講座の開催にご協力頂きありがとうございます。これにて閉講とさせていただきます。

市民講座「第五福竜丸を振り返って」を終えて

放射線による被ばく健康影響を考える上で欠くことが出来ないのが被ばく線量である。しかしながら、疾病の治療や工業、農業における計画的な照射と異なり、事故などの不慮の放射線被ばくでは、被ばく線量を正確に求めることは非常に難しい。というのは事故現場で事故時と同じ条件を再現することの困難さと人の記憶の曖昧さである。また不慮の被ばくでは、全身が均等に被ばくすることはなく、各事故、各個人で被ばくの仕方が異なり2つとして同じ被ばくは無と言っても過言ではない。まして50年以上を経た被ばくを検証するに当たり、被ばく線量の評価の科学的な論文や根拠が無い以上困難さを極める。第五福竜丸の乗組員の被ばくに

おける線量評価に関しては、平成19年の初頭から資料を探すべく外国も含めて当時関係した方々に話を伺ったが、結局資料も中心となった研究者を見いだすことも出来なかった。実際にビキニでの放射性降下物の調査に関与され、すでに故人になられた静岡大学の諸先生方のもとで研究をされた長谷川先生からもその難しさを指摘された。今後地道に資料を探す以外にはない事を痛感した。

次に症状と線量との関係である。短時間に、つまり高い線量率で体幹を含む全身に γ 線にしておよそ1 Gyの被ばくがあった場合、数週間以内に現れる症状の病態を急性放射線症（acute radiation syndrome、ARS）と呼ぶ。 γ 線、X線や中性子線等の透過性の高い放射線により起こり、以前は「放射能症」と言われていた。骨髄障害はその代表的な病態の一つである。線量に応じて、被ばく直後から前駆症状である悪心（おしん、吐き気）、嘔吐、下痢、頭痛等他に多くの疾病でもみられる非特異的な症状が現れることがある。1999年に起きた東海村の臨界事故では γ 線にして20 Gyを超える被ばくが起きた。このような高線量であれば、数分で前駆症状が現れ、数日で軽減する。実際この臨界事故では数分で前駆症状が現れているが、2-3日後には軽減するなど典型的な高線量被ばくの経過をたどった。これに比べて、線量が γ 線で2-3 Gyであれば、前駆症状はかなり遅れて現れる。東海村の事故の約3 Gy被ばくされた方は、およそ5時間経って悪心が現れている。見崎さんの証言からは、第五福竜丸では頭痛や消化管症状は夕方5時ころ、つまり「空が真っ黒になって」から約10時間以上を経て乗組員に現れ出している。長谷川先生の「当日は高エネルギーの γ 線を出す放射性核種が多かった。」と言う推測を考慮すると、高線量率の被ばくが起きる可能性は高いと考えられるが、頭痛や消化管症状が現れた時間から推測すると、事故当日の被ばく線量が γ 線に換算して個人差を考慮しても4-5 Gyを超えることは無いと言える。またこの推測は、放医研の故熊取敏之元所長の論文に記

載されている事故当日の線量と合致する。帰国後も消化管障害が主症状にはならず、肺病変も観察されないなど、帰国までの船の上での被ばくと線量、特に体内汚染に関しては不明点があるが、概ね誤ってはいないと考えられる。いずれにせよより正確な線量評価は不可欠である。

市民講座の中で市民の方からご指摘された件にも触れたい。放医研では「実態調査」という調査研究として、健康診断を毎年ご本人にその意志を確認後行っている。現在生存している方全員が参加されているわけではないが、結果の公表に関して、放医研は20年以上の間調査の結果をまとまった形で科学的な報告として行っていない。しかしながら市民講座でも触れたが、毎年健康診断の結果を放医研の年報の中で公表している。また平成15年10月に京都市で開催された日本放射線影響学会第46回大会（内海 博司大会長）のシンポジウム「ビキニから50年：環境放射能研究の過去と未来」の中で「ビキニ水爆実験による第五福竜丸乗組員の被ばく」という演題で報告したがこれ以外はない。年報は一般に公開されたものであるが、ご指摘の通り一般の方からみて必ずしも入手しやすいわけではない。平成15年に米国の核実験に関する公文書が公開され、事件の約半年後に亡くなられた方の死因に関して、米国と日本が異なった見方をしていることが報道された。新聞は「事実関係の検証急務」（静岡新聞 平成15年12月9日）と言う記事を掲載している。これまでも報道されている肝炎の問題である。確認されたわけではないが当時治療のために行われた輸血を第一に疑うのが医学的には当然である。しかしながら当時の剖検時の組織等以外からは科学的な検証は不可能である。この症例については本人がすでに特定されており、個人情報に係る問題など多い。この件も含め、ご本人の家族及び関係者の協力を得て科学的な根拠に基づいた調査研究が行われ、公表される機が熟することが望まれるし、また調査に従事した研究者の義務かもしれない。

最後にこの市民講座の開催の意義に関して触れたい。ビキニ環礁における第五福竜丸乗組員の被ばくは、広島と長崎における原子爆弾による被ばくとは異なり純粋に放射線によるものであり、熱や爆風による影響はない。また肝臓障害についても放射線被ばくによる免疫機能の低下による影響は不明であるが、第一義的には輸血が原因として考えられる事などを、市民講座として伝えることが出来たことは大きな意味を持つと思う。また放射線障害を受けた見崎さんご本人から、これまでどういう気持ちでいたのかについて学会も生の声を聞くことが出来た。さらにこの市民講座では、今まで誤解されていたこともいくつか修正された。第五福竜丸のマグロには汚染が無かったこと、この実験ではキノコ雲は生じなかった事など、誤解をされていた学会員も多いかも知れない。今後こういう事件の無いことを祈るとともに、理解されにくい放射線の影響に関してさらに理解を深める意味で貴重な機会であったと思う。この市民講座の準備をしている段階で、見崎さんの著作から「読売新聞より先に事件について取材を始めた記者がいた。」ことも知った。私たちの仕事は放射線の影響を科学的に明らかにすることである。一方では、原子力や放射線は常に社会とかわりを持っており、こういう視点を忘れてはならないのである。

放医研シンポジウム

「炭素線治療－物理・生物・臨床」

－Progress in Heavy Ion Radiotherapy－

重粒子医科学センター 物理工学部 部長
金井 達明

参考文献

- 1) Friesecke I, Beyrer K, Fliedner TM, METREPOL team. Medical treatment protocols for radiation accident victims as a basis for a computerized guidance system. How to cope with radiation accidents : the medical management. Br J Radiol. 2001 ; 74 : 121-122
- 2) Fliedner TM, Friesecke I, Beyrer K, eds. Medical management of radiation accident - Manual on the acute radiation syndrome (METREPOL European Commission Concerted Action) . London : British Institute of Radiology ; 2001
- 3) Radiation-induced multi-organ involvement and failure : a challenge for pathogenetic, diagnostic and therapeutic approaches and research. (Fliedner TM, Meineke V, Akashi M, Dainak N, Gourmelon P, eds.) Br J Radiol : Suppl 27. London 2005
- 4) Hirama T, Akashi M. Multi-organ involvement in the patient who survived the Tokai-mura criticality accident. Br J Radiol. Suppl. 27. 2005 : 17-20
- 5) Akashi M. Role of infection and bleeding in multiple organ involvement and failure. Br J Radiol. Suppl. 27. 2005 : 69-74
- 6) Hirama T, Tanosaki S, Kandatsu S, Kuroiwa N, Kamada T, Tsuji H, Yamada S, Katoh H, Yamamoto N, Tsujii H, Suzuki G, Akashi M. Initial medical management of patients severely irradiated in the Tokai-mura criticality accident. Br J Radiol. 76 (904) : 246-253 (2003)
- 7) Akashi M, Hirama T, Tanosaki S, Kuroiwa N, Nakagawa K, Tuji H, Kato H, Yamada S, Kamata T, Kinugasa T, Ariga H, Maekawa K, Suzuki G, Tujii H. Initial symptoms of acute radiation syndrome in the JCO criticality accident in Tokai-mura. J Radiat Res : 42 Suppl : S 157-166, 2001
- 8) Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries Safety Reports Series No. 2 IAEA Vienna, 1998
- 9) 第五福竜丸心の航跡 静岡新聞社、静岡市 2004
- 10) 新妻博子、中村謙介（編・発行）千の波 万の波－元第五福竜丸漁労長 見崎吉男のことは－、静岡市 2006
- 11) 長谷川紈彦 ビキニ事件 50 周年－静岡大学との関わり合いを中心に－放射化学ニュース 第 10 号 9-11, 2004
- 12) Kumatori, T., Ishihara, T, Hirashima, K., Sugiyama, H., Ishii, S. and Miyoshi, K : Follow up studies over 24-year period on the Japanese fishermen exposed to radioactive fallout in 1954 ; In : Huner, K.F. and Fry, S.A. (eds) : The Medical Bases for Radiation Preparedness, Elsevier North Holland, New York, pp-33-54 (1980)
- 13) ビキニ被災者実態調査 放射線医学総合研究所 年報平成 17 年度 129, 2005



シンポジウム参加者一同

序

近年、放射線治療の中での重粒子線治療の位置づけが盛んに議論されるようになって来ました。重粒子線治療の本格的な実施は、1970年代半ばのアメリカ・ローレンス・パークレー研究所における臨床試行に始まりますが、今日まですでに40年近く経過しています。つづく、1994年からの放医研における炭素線治療開始からも13年が経過しています。放医研においては、非常に目覚ましい成果が得られていますが、その成果の割には十分な普及が実現されているとはいえていません。X線CT装置などの爆発的な普及に比べるとその歩みは、非常にゆっくりしています。これから、爆発的な普及が実現するかどうかについては、客観的に見て、微妙なところにあります。このような状況の中で、粒子線治療の問題点を整理し、次に進む方向を見定めることは非常に重要な作業になります。世界で炭素線治療を実現している2つのセ

ンター間で、重粒子線治療を取り巻くさまざまな分野で情報を交換し、数少ない重粒子線治療研究を加速させるためのシンポジウムを開くことは非常に有意義であり重要であると思われます。互いの重粒子線治療研究の発展を背景にして、重粒子医科学センターにおいて11月30日、12月1日に「炭素線治療－物理・生物・臨床」(Progress in Heavy Ion Radiotherapy)と題して、放医研シンポジウムを企画し開催しました。ここでは、本シンポジウムの内容を報告します。

シンポジウムは、11月30日(金曜日)の英語での講演と、医療関係者からの参加者を期待して12月1日の日本語での講演の変則的な形式で試みられました。英語での講演では、重粒子線治療では世界の2大センター日本とヨーロッパを中心に医学用加速器分野、物理分野、生物および臨床分野の4つの分野から11のシンポジストにより話題の提供がありました。2日目の日本語のシンポジウムでは、特に放射線治療のQA/QCや粒

子線治療における患者・放射線治療技師などがうける放射線防護上の問題を議論するために、IAEA から招いた Vatnisky さんを含めた6名の7名のシンポジストで、有意義な議論がなされました。当日は、所内、大学、公・私立研究機関、企業から160名以上もの参加者があり、活発な質疑応答がなされました。

シンポジウム議論の紹介

シンポジウムは、6つのセッションと1つの特別講演で構成しました。各々のセッションの内容を簡単に紹介したいと思います。

1. Innovation of Medical Accelerator

最初のセッションでは、医学用加速器に関する革新 (Innovation of Medical Accelerator) と題して、放医研、ドイツ DSI、イタリア CNAO、および群馬大学の4人のシンポジストによる講演が放医研の村上健氏の座長で講演が行なわれた。最初の放医研野田耕司氏の講演では、放医研の今期中期計画で必要になるさまざまな技術革新について述べられた。今期中期計画では呼吸性移動臓器への呼吸同期照射を可能にしようという意欲的な目的のもとに、加速器の開発としては、HIMAC の安定なビーム取り出し、取り出しビームの強度変調法の確立、さらには安定なビーム取出しを基本にした呼吸同期スキニング、などの新技術について説明があり、これについての活発な議論がなされた。ドイツのハイデルブルク大学に建設中の HIT プロジェクトについて、GSI 研究所 (Gesellschaft für Schwerionenforschung : Darmstadt) から招待した H. Eichhoff 氏から詳細に紹介された。HIT では、陽子線と炭素線治療の両方の治療を可能とするようにしていることや、年間1000名の患者治療を目標にしていることなどが述べられた。2007年3月には、シンクロトロンからのビーム取り出しに

成功しており、2008年の夏前には、治療を開始したいとしている。さらに、ガントリの建設は少し遅れて同時平行に行なっているということであった。昨年のイタリア・ミラノでの NIRS シンポジウムで CNAO (Italian acronym that stands for National Center for Oncological Hadrontherapy) の計画が進行中であるということが紹介されたが、今回のシンポジウムでは Sandra Rossi 氏により建屋がほとんど完成し、機器の搬入もされつつあるという現状の紹介があった。このセッションの最後には、群馬大学の山田 聡氏による群馬大学に建設中の普及型炭素線治療装置の紹介があった。この施設は、放医研での R&D (Research and Development) の成果をもとにコンパクトな施設を設計できたことが述べられた。とくに、入射器は IH 型ライナックや永久磁石を用いた ECR イオン源などの開発が成功し、群馬施設の取り込まれていることが示された。

以上の発表では、加速器の開発は、普及を念頭に置いた小型化で安価な施設の追及と HIMAC での開発に示されているようにさらに高精度な治療を目指す先鋭的な加速器施設の開発の2方向の開発が進んでいることが印象的なセッションでした。

2. Modeling

次のセッションでは、炭素線治療で使われる治療効果を予測し、治療ビームをデザインするためのモデリング (Modeling) について、金井達明の座長のもとに議論が行なわれた。炭素線治療の治療計画では、生物効果を考慮に入れた臨床線量で議論されています。したがって、炭素線の生物学的効果比 (RBE) を系統的に計算できる方法が必要不可欠となっています。この計算方法もドイツと日本では全く異なっています。放医研では、実験的な RBE のもとに導出した LQ モデルを使い臨床線量の計算方法を展開しています。一方のドイツでは、X線の LQ モデルにトラック構造の線量分布を考慮に入れ



シンポジウム会場の風景

た理論によって臨床線量を導いています。最初に GSI の Michael Scholz 氏は、重イオン生物効果はトラック構造を従った局所的な効果を平均化することによって説明できるとした理論 (Local Effect Model : LEM) を説明しました。さらに、この理論により、炭素線治療結果を説明できると主張しました。Chordoma の X 線・陽子線および炭素線による治療結果 (局所制御 : Tumour Control Probability) を LEM での臨床線量をもとに横並びでプロットすると、スムーズにつながり GSI での臨床線量表示が正しいことを示しています。次に、松藤成弘氏は、放医研における炭素線治療の RBE の導出方法を示しました。患者個々の感受性の違いを考慮した炭素線の治療成績を解析し、非常に予測と解析結果が一致していることを示しました。さらに、M.Scholz 氏による GSI における RBE と放医研の方法での RBE とでは 10-20 分割の治療で RBE に約 20% の違いがあることを示しました。この結果から、ドイツの治療結果と放医研の治療結果を比較するには注意が必要であると説明しました。Roland Hawkins 氏の開発した MKM (Microdosimetric Kinetic Model) モデルによれば、重イオンの生物効果を $1\mu\text{m}$ 程度のサイズのマイクロシメトリ実験の結果から直接計算できることを示しています。この結果は、従来の理論的な計算でしか臨床線量を決められないという

欠点を克服できる可能性を示しています。

以上の議論では、互いに平行線であり議論がかみ合わないているが、MKM 理論とマイクロシメトリの測定から放医研の臨床線量を再現でき、ドイツの LEM モデルもある程度説明できるという日本とドイツの共同研究も行なわれており、これからのもっと深い理解が進むことが望まれます。

3. Prescribing and Outcome

3 番目のセッションでは炭素線治療の臨床結果について鎌田正氏の座長で議論されました。日本とドイツの双方で治療されていて結果が出ている疾患は頭蓋底の Chordoma であるので、Daniela Schulz-Ertner 氏によるドイツでの治療経験と溝江純悦氏による放医研での治療経験が報告された。ドイツでは、週7日、20回分割、総線量 60-70GyE (臨床線量) のスケジュールで治療が行なわれてきました。至適線量は 60-65GyE であると結論しています。

日本では、1994 年以来線量増加試験を重ね、phase II 試験として週4回、16分割、総線量 60.8GyE (臨床線量) の治療を行ってきた。これらの臨床結果から至適線量は 60.8GyE 程度であると結論しています。

以上の2つの国での同じ疾患に対する治療で、双方ともに同程度の線量を至適線量としている。これらの結論は、治療スケジュールの違いの考慮や先に松藤が示した物理線量として 20% の違いがあると解析したことと矛盾なく説明できるのかさらに検討が必要であると感じられました。

4. Biological Comparison

放医研の安藤興一氏は、高 LET ビームの分割サイズと腫瘍と正常組織反応の生物学的ゲインについて、マウス実験を通じて論じました。ドイツ DKFZ の P. Peschke 氏は、同様に炭素線の分割効果について実験的な考察につ

いて論じました。双方の議論でも、臨床的に直結する結論を得るためには、腫瘍と正常組織に対するさらに詳しいRBE、分割照射効果、体積効果についての実験が必要であるということによって一致していたように思われます。

5. QA/QC

2日目は、日本語で講演がなされた。QA/QCのセッションとして、線量絶対値決定についての講演が2題と線量の第三者機関評価についての講演が1題企画されました。いずれも、粒子線治療の線量測定の基礎となる光子線についての内容です。日本の光子治療に関するQA/QCの分野では、世界に肩を並べていく努力をいろいろな面で行なっていかなければなりません。地味ですが重要な問題について、福村明史氏を座長にして活発な議論が行なわれました。最初に産業総合技術研究所の黒澤忠弘氏が、日本の放射線量決定における第1次標準研究所(Primary Standard Dosimetry Laboratory: PSDL)としての役割を果たす活動の紹介が行なわれました。日本の標準線量としては、空気カーマの校正を現在行なっていますが、2年後には、水吸収線量の値付けを行なう予定であることが話されました。IAEAのVatnitsky氏からは、IAEAのプロトコルで主張しているように、水吸収線量の係数 $N_{D,w}$ をPSDLは早く実現するべきであるというきつい主張が聞かれました。

PSDLで空気カーマのみの値付けがなされている日本の状況で、ユーザーに水吸収線量の値付けのサービスを行なうためのプロトコル「標準測定法01」を首都大学の斎藤秀敏氏が説明されました。

国立がんセンターの峰村俊行氏は、第三者評価による品質保証として、米国RPCにおける活動を中心にしたような第三者評価を行なっていけばよいのかの議論を行なった。TLDを用いた郵送調査の方法と体制について報告し、日本での活動の指針にしていきたいとの報告がありました。

6. Special lecture

IAEAでは、2000年に水吸収線量構成定数 $N_{D,w}$ を基礎とした線量測定プロトコルを発表しています。今回のシンポジウムには、IAEAからStanislav Vatnitsky氏を招いて、前のセッションから引き続いて福村明史氏の座長で標準線量測定法についての講演を行っていただきました。2000年以降特に陽子線線量についてIAEAとICRUの間で標準線量測定法にかかわる定数でギャップが存在していましたが、それらを埋めていく経過が報告されました。陽子線線量測定に関しては、阻止能比やW値などの実験が多数報告され、また、近年では信頼されるレベルでのモンテカルロの報告もなされています。特に、Vatnitsky氏はカロリメータでの直接の線量測定の重要性について強調していました。

7. Radiation protection in Heavy Ion Radiotherapy

シンポジウム最後のセッションでは、中村尚司氏の座長で厚生労働省の辻井班で研究してきた粒子線治療施設での医療放射線防護について、議論された。

まず、最初に放医研の米内俊祐氏により、陽子線・炭素線治療時における中性子線の線量測定の議論がなされた。この議論は、患者が治療中に受ける中性子線の評価であり、2次発がんに関係しています。マサチューセッツ総合病院のEric Hall氏の論文では、ブロードビームでの陽子線治療では、中性子の発生が多く、2次がん発生の観点からは注意すべきであると報告されています。これに対して、米内氏のグループでは、炭素線治療時・陽子線治療時の中性子線の評価実験を行い、Eric Hall氏の報告にある中性子線量は過大評価であり、十分にX線治療と同等以上に安全であることを示しました。

次には、兵庫県立粒子線医療センターの赤城卓氏が術者や公衆が受ける被ばくについての検討を報告しました。この検討では、日本で行なわれているブロードビームでの粒子線治療で使用され、術者の被ばくに大きく寄

与しているであろう補償フィルタおよびコリメータから受けるガンマ線・ベータ線の線量評価を行ないました。さらに、治療照射によって放射化する患者自身から家族・介護者などの公衆被ばくも検討されました。これらの結果、一般に障害防止法や医療法で規制されている以上の線量は観測されず、十分に安全な治療法であることを実験的に示しました。

最後には、理化学研究所の上義明氏によって粒子線治療施設における放射線防護と管理のあり方について、総合的な議論が行なわれました。諸外国でも、粒子線治療には、特別な規制を行っていないことが紹介され、粒子線治療であるからといって特別な法規制が必要であるとはいえないという結論が得られているとの方向がありました。

終りに

今回のシンポジウムでは、広範囲な話題の中で炭素線治療の先進国である日本とドイツの間のかみ合った議論を期待して企画しました。しかし、議論がかみ合うまでにはお互いがもう少し相互の事実をより多くつかんでいることが重要であるように思えます。まだまだ、相手のことがわかっていない状態ではないかなと思われれます。これは、成功している臨床結果にもかかわらず、どちらも不完全な部分が少しずつあり、完全には埋め切れていないというのが、原因にあると思われれます。もう少し、お互いの交流をもっと深める必要があるというのが実際の感想です。

第7回 放射線医学総合研究所 重粒子医学センターシンポジウム
7th NIRS Research Center for Charged Particle Therapy Symposium

炭素線治療—物理・生物・臨床
Progress in Heavy Ion Radiotherapy

Biological Modelling
Michael Scholz, Naruhiro Matsuji, Roland Hawkins

Biological Comparison
Koichi Ando, Peter Peschke

Prescribing and Outcome
Daniela Schulz-Ertner, Junetsu Mizoe

Innovation of Medical Accelerators
Koji Noda, Hartmut Eickhoff, Sandro Rossi, Satoru Yamada

Protection
米内 俊祐, 赤城 卓, 上義 義朋

QA/QC
黒澤 忠弘, 齋藤 秀敏, 峰村 俊行, Stanislav Vatnitsky

Dose

2007年11月30日(金) ~ 12月1日(土)
放射線医学総合研究所 重粒子治療推進棟 2階大会議室
Nov. 30 & Dec. 1, 2007
Lecture Hall, Research Building for Charged Particle Therapy 2F, NIRS, Chiba, Japan
National Institute of Radiological Sciences
International and Research Cooperation Section
E-mail: kokukou@nirs.go.jp
http://www.nirs.go.jp

シンポジウムポスター

研究レポート

「マイクロドーズ臨床試験の倫理的・社会的意義(2)」
-指針案の公示と今後の課題-

分子イメージングセンター
運営企画ユニット 客員研究員
栗原 千絵子

はじめに:指針案への意見募集

2007年12月25日、「マイクロドーズ臨床試験の実施に関するガイダンス(案)」が、厚生労働省医薬食品局審査管理課より公表され、同月28日より2008年2月8日までの期間、意見募集されることとなった。本稿連載第1回¹⁾では、医薬品の開発を進める候補化合物を選定するため、放射性同位元素(radioisotope: RI)で標識した化合物を微量用量人体に投与して薬物動態等を測定する「マイクロドーズ臨床試験」と、これより投与量上げて作用機序や proof of concept (POC) をみるけれども従来の第I相試験のように高用量で副作用の発現(認

容性)をみるところまでは計画に含まない「探索的臨床試験」をあわせた形での指針が作成されるとしていたが、「マイクロドーズ臨床試験」の部分だけが先行して作成・公示される結果となった。「探索的臨床試験」は追加的記載となるか、別の指針として作成されるか、「マイクロドーズ臨床試験」についての意見募集の結果次第であると思われる。本稿では、指針案の内容を概説しつつ、今後の課題を検討する。

なお、本稿においては「ガイダンス」を「指針」と記載する。また、本稿は「入門編」的な紹介なので、実際に試験を実施する方々は、より詳細な情報を収集した上で取り組んでいただきたい。

表1:「マイクロドーズ臨床試験の実施に関するガイダンス(案)」(厚生労働省)目次

<p>1. 基本的考え方</p> <p>(1) 定義及び適用範囲</p> <p>(2) 目的</p> <p>(3) 測定方法</p>	<p>5. 被験物質の品質管理に対する考え方</p> <p>(1) 基本的考え方</p> <p>(2) 測定方法に応じた留意事項</p> <p>(3) 治験薬の交付</p>
<p>2. マイクロドーズ臨床試験の実施に当たり必要な非臨床試験の範囲</p> <p>(1) 拡大型単回投与毒性試験</p> <p>(2) その他の非臨床試験</p> <p>(3) 留意事項</p>	<p>6. その他の留意事項</p> <p>(1) 実施体制及び審査体制</p> <p>(2) 被験者の選定及び適格基準</p> <p>(3) 被験者への説明と同意</p> <p>(4) 行政機関への届出等</p>
<p>3. 最高投与量設定の方法</p> <p>(1) 経験的な方法</p> <p>(2) 薬物動態学的情報を用いる方法</p>	<p>7. 引用文献</p> <p>《参考》マイクロドーズ臨床試験における放射性同位元素の取り扱い</p> <p>1. 障防法、医療法の規制の概要</p> <p>2. AMS用核種(主として¹⁴C)</p> <p>(1) ¹⁴Cを含む治験薬の製造、運搬等</p> <p>(2) 治験依頼者から病院等への交付</p> <p>(3) 病院等での扱い</p> <p>(4) 病院等からAMS測定施設への移送</p> <p>3. PET用核種</p>
<p>4. 放射性標識体による被験者の内部被ばくに対する考え方</p> <p>(1) AMSを用いる場合</p> <p>(2) PETを用いる場合</p>	

1.基本的考え方

表1に、指針案の目次を示す。まず、「基本的考え方」には、マイクロドーズ臨床試験は薬事法上の「治験」として実施すべきであり、当該化合物が承認申請まで辿り着けばその資料を申請資料として提出する必要性が記載されている。定義、目的、測定方法はほぼ本稿第1回に記したとおりであるが、適用範囲は主として低分子化合物であり、生物由来製品や、低分子化合物であっても新規で作用機序が予測困難なものには指針をそのまま適用できないとしている。

定義の注記に、現在ICH(日米EU医薬品規制調和国際会議)で臨床試験の各段階までに実施しておく必要のある非臨床試験についてのガイドライン²⁾の改訂が行われており、その合意にあわせて本ガイダンスの改訂も検討するとしている。ICHでは、マイクロドーズの定義について以下の2つを示す方向で議論されている。

・100 μ gを、単回投与に限らず、総量がこれを超えない範囲で最大5回まで分割して投与する方法

・1回につき100 μ g以下を投与し総量を500 μ gまでに制限する方法

これらの方法は、¹⁴Cで標識し加速器質量分析法(AMS: Accelerator Mass Spectrometry)を用いて薬物動態を測定する場合に限らず、陽電子放射断層撮影法(PET: Positron Emission Tomography)を用いて受容体結合やバイオマーカーを研究する際に有用であるとされる。一般的にPETは、投与量をさらに上げる「探索的臨床試験」の枠組みで活用されるが、これは、マイクロドーズの部分に関する指針が公示された後の課題となる。

2.必要とされる非臨床試験

マイクロドーズ臨床試験の前に実施しておかなければならない非臨床毒性試験は、「拡張型単回投与毒性試験」

であるとされた。一種類のは乳類の雌雄を用い、対照群を設け、当該動物における最小毒性発現量を確立するか、または、マイクロドーズ臨床試験における安全域を確立する。2週間の観察期間で毒性兆候を観察し、血液検査、病理組織学的検査を行う。

指針案作成に至る学術的議論では、反復投与を行わず、単回投与で病理組織学的検査等を行う「拡張型」の単回投与毒性試験から得られる有意義な情報は少ないとする見解³⁾も多くの支持を得ており、より多くの情報を得ようとするかどうかは実施者の判断に任せるべきとする意見もあった。また、指針案では毒性試験では医薬品としての予定投与経路を用いるとされているが、「医薬品」としての承認を申請する段階に辿り着いたときにいかなる予定投与経路を選択するか、マイクロドーズ臨床試験の段階では明確でない場合もある、との意見もある。これらは意見募集を経て検討されるが、最終化の後にも、状況に応じて指針をいかに柔軟に運用しうかが課題となる。

その他の非臨床試験としては、(1)局所刺激性試験は必要に応じて実施、(2)遺伝毒性試験は必ずしも必要ない、(3)毒性試験の他、薬効発現量推定のための薬理試験、(4)放射性標識体を用いる場合には被ばくレベルの評価のための試験が必要、とされている。被ばく量評価については後述する。

3.最高投与量設定の方法

マイクロドーズの投与量を設定するにあたり、薬効発現量を推測する方法としては、以下(1)(2)の2つが挙げられ、それぞれの方法につき①②のような内容が注記され、注記では(1)よりも(2)のほうが精度の高い方法として推奨されている。

(1)経験的な方法:動物における薬効発現量から体表面積換算する。

①体表面積換算方法は、米国食品医薬品庁（FDA）の初回投与量設定法ガイダンス⁴⁾に示される。

②FDAのexploratory INDガイダンス⁵⁾における、ラットの無毒性量（NOAEL）を体表面積換算した用量の1/50をマイクロドーズ臨床試験の初回投与量とする方法、欧州医薬品庁（EMA）文書における limit dose をヒトへ allometric scaling する方法の記述で、①が採用されている。

(2) 薬物動態学的情報を用いる方法⁶⁾：最大血中濃度（Cmax）又は血中濃度時間曲線下面積（AUC）を基準に推定する。

①適切な動物での薬効発現量における最大血中濃度（Cmax）を求め、血漿タンパク結合の動物とヒトとの種差を補正し、ヒトでの薬効発現量における Cmax を推定、さらに、動物の分布容積並びに動物及びヒトにおける血漿タンパク結合情報をもとにヒトにおける分布容積（Vd）を推定、最後に、ヒト推定 Cmax と Vd の積から、ヒトでの薬効発現量を計算する。

② AUC を用いる場合も、動物で薬効が得られた際の遊離型 AUC と同じ遊離型 AUC でヒトも薬効を示すものとして、投与量を推定する。

上記(2)は学術的には定説となっている方法であるが、(1)に示す欧米の場合のように行政文書で示されたことは日本ではこれまでになく、本指針に記載されたことの意義は大きい。

4.被験者の内部被ばくに対する考え方

被験者内部被ばくについては、(1) AMS、(2) PET を用いる場合につき記載されている。

(1) で用いる ¹⁴C は、一般に国際放射線防護委員会（ICRP：International Commission on Radiological Protection）による勧告⁷⁾に示される規制水準、またこれを受け入れた日本における「放射性同位元素等による

放射線障害の防止に関する法律」（以下「障防法」）第2条第2項に基づく放射性同意元素の下限数量よりも低い水準で実施可能であるとされる。

(2) は核種の種類によっても採用すべき計算方法が異なるので、個別の計画ごとに専門家の意見を聴くべきとされる。

被ばく量の推定と評価について注記では、米国核医学会（The Society of Nuclear Medicine）の内部被ばく委員会（MIRD：Medical Internal Radiation Dose Committee）により提唱されたミルド法（MIRD Dose Estimate）、日本で一般的に行われている手順などが記載されているが、これらは手順としては国内の専門家間で一定程度コンセンサスがあるものの、行政文書としていかなる記載とすべきか、未だ十分な議論がなされていない。現在、パブリックコメント募集を機に、専門家間で議論が深まろうとしている。このため、この論点については本稿次回においてより詳しく記すこととしたい。いずれにしても、医学研究の被験者の内部被ばくの評価についての考え方は、これまで国内で行政文書として明示されたことがなかったため、本指針の公布を機に、広く認められる公式見解がまとめられることを期待したい。

5.被験物質の品質管理に対する考え方

被験物質の品質管理については、(1)「基本的考え方」として AMS、LC/MS/MS、PET など種々の測定方法に共通する考え方、(2)「測定方法に応じた留意事項」として方法ごとの留意点、(3)「治験薬の交付」として医療機関への受け渡しと関連した GCP 省令⁸⁾の規定の解釈について、記されている。以下、それぞれについて概説する。

(1)「基本的考え方」では、標識していない化合物については非臨床試験で用いたものと同ロットで実施すること、治験薬 GMP⁹⁾を遵守すべきことが記載されて

いるが、ポジトロン放出核種放射性標識体は放射性半減期が短いことなども踏まえて、以下①②③のような基本的考え方が示された。なお治験薬 GMP については、本指針の作成も契機となって、従来の市販後の大量生産を想定した品質保証に限らず、少数の被験者に投与する量のみ製造する場合の柔軟な運用を可能にするための改正が行われ、本指針と同日に意見募集されることとなった。

①放射性標識体の製造方法に、標識していない被験物質の製造方法と異なる工程がある場合、当該製造工程の差異が品質に及ぼす影響、特に、不純物の有無、標識体の放射化学的純度などについて、検討する。

②放射性標識体による非臨床試験の実施は困難であることを踏まえ、当該放射性標識体と標識していない被験物質は同等のものとして取り扱う。

③1回の製造で必要量を賄うケースが一般的であるため、大量生産を前提とした「バリデーション」によるのではなく、「ベリフィケーション」による適性化を図る（その詳細は改正治験薬 GMP を参照）。

(2)「測定方法に応じた留意事項」では、AMS、LC/MS/MS、PET それぞれの留意事項が以下のように示された。

① AMS による測定では、¹⁴C の投与量は非常に微量であり標識していない被験物質で希釈するが、その希釈行程の品質管理はベリフィケーションによるのが適切である。

② LC/MS/MS による測定では、非標識の被験物質を投与するため、治験薬 GMP を遵守する。

③ PET による測定では、核種の半減期が極めて短いため、可能な限り治験薬 GMP を遵守するが完全には遵守できないことも踏まえ、標識前の化合物（前駆体）の純度の確認、不純物の混入の防止、合成装置を閉鎖系にすること、などのチェック・ポイントが挙げられている。注記において、FDG 製剤の品質管理についての既存の基準¹⁰⁾¹¹⁾が参考として挙げられているが、

これらは FDG など使用経験の多い製剤に関する自主基準であり、マイクロドーズ臨床試験の場合には個別状況に基づき必要な品質管理の手法を検討すべきであることが記されている。

(3)「治験薬の交付」では、GCP 省令第17条第2項で、治験薬は治験依頼者が治験実施医療機関に直接に交付することが原則とされるが、マイクロドーズ臨床試験では、半減期の短い放射性標識体の合成、医療機関への交付を、外部事業者に行わせる場合、また製造を実施医療機関で行う場合、などがあることから、上記第17条第2項の「やむを得ない事由」における例外規定を適用し依頼者が直接交付しなくてもよいとする考え方を示した。このような場合、GCP 省令第17条第1項に示される品質管理を行える外部業者に委託すること、同第12条第1項の規定に準じ依頼者が製造を委託する外部事業者又は実施医療機関の間で必要な契約を行うこと、を条件とした。これは、従来の治験における、例外的に外部事業者に交付を行わせる場合の考え方と同じである。

6.その他の留意事項

その他の留意事項としては、通常の治験と同様に留意すべきことが、(1)実施体制及び審査体制、(2)被験者の選定及び適格基準、(3)被験者への説明と同意、(4)行政機関への届出等、の4つの観点から説明されている。

(1)「実施体制及び審査体制」では、個別の計画ごとに適切・安全に行える体制で実施すべきこと、治験審査委員会では、内部被ばく、用量設定、測定機器その他マイクロドーズ臨床試験に特有の事情についても十分に検討すべきことが記されている。また、通常の治験と同様、当該治験審査委員会が必要とされる知識を補う方策について、①専門家の出席を求めて意見聴取する、②外部の治験審査委員会に審査の一部又は全てを委ねる、などの方法が、GCP 省令上可能であることが紹介されている。

これは義務ではなく、実施医療機関の長が必要と判断した場合に採りうる手段の紹介であり、この場合の依頼先の委員会との契約手続き等については、省令及びその解説である運用通知¹³⁾を参照されたい。

(2)「被験者の選定および適格基準」では、通常の治験と同様にリスク・ベネフィットの比較考量に基づき明確な適格基準を設けるべきとした上、妊娠可能な女性、妊婦、小児、特定の患者などの集団に対する実施はより慎重を期すべきであり、実施する場合にはその妥当性を理由とともに計画書に明示すべきであり、この場合に、集団の特性に応じて、安全係数を大きくとる、非臨床試験の項目を追加する、検査項目を吟味・追加する、などの措置をとるべきとの注意事項が記載されている。

(3)「被験者への説明と同意」では、治験第I相試験実施の判断に資するという目的（すなわち開発候補化合物のスクリーニングが目的であること）、微量投与であるため非臨床試験のデータは通常の治験第I相と比べ限定的であること、内部被ばくのレベル（日常生活レベル、健康診断レベル、これを僅かに超えるレベル、など）などを説明すべきとされている。

(4)「行政機関への届出等」は、通常の治験と同様に、開始、変更、中止・終了時に届出を行うこと、副作用報告を行うことなどが記されている。

7. 参考事項

ガイダンス案巻末には、《参考》として、RI取扱いに関する法令の解釈が記されている。ここには法令の改正や新たな解釈を含むものではなく、従来どおりの解釈をいかに適用するかを説明している。特記すべきことは、障防法関連規制の2005年の改正で、医療機関で使用する放射性の医薬品及び治験薬が障防法の対象外とされ、医療法、薬事法の下に置かれたが、マイクロドーズ臨床試験に用いる放射性の被験物質も同様の扱いとされた点

である。放射性の診断薬・治療薬の開発を目的とせず、化合物の特性をみるためにRIで標識した物質は、一般的な治験薬と同様に扱うか、放射性治験薬として扱うか、両論考えられたが、行政判断として放射性治験薬として扱うことを前提とする取扱である。

このため、RIを含む治験薬を、障防法に基づく許可業者が病院等の非許可業者へ交付する場合に販売業の届出を行う、非許可業者が規制数量又は濃度以下のRIの交付を行う場合は販売業の届出は必要ない、とされ2005年法改正に伴う文部科学省の行政指導が踏襲された形で本指針案注記に記された¹⁴⁾。この点は、「治験」という営みが、これから厚生労働省より「製造販売承認」を得ようとする行為であるにも関わらず、その受け渡しについて、「販売業」の届出を文部科学省に提出するという制度設計に違和感がある。人体への投与を前提に未承認の製造物を「販売」という位置づけになるとしたら、こうした行為を禁じた薬事法第55条の規定とも矛盾する。また、文部科学省の行政指導としても、法律ではなく事務連絡レベルで「販売業の届出」を求めるという制度設計には行政法的な法理論上の無理があり、法体系を崩すことになる恐れがある。

筆者を含む「マイクロドーズ・探索臨床試験研究会」（下記の受託事業としては有限責任中間法人医薬品開発支援機構（APDD）内設置の「探索的臨床試験実施に関わる指針（草案）作成委員会」）では、厚生労働省が指針案作成のために設置した研究班の主任研究者から受託して下案を提出する際に、この「販売業の届出」に替わる手続きとして、障防法施行規則第24条の規定を「準用」し、同規定の目的とするRIの流通経路の記録・管理を、GCP省令第16条及びその運用通知の示す手順書に明記することで実現する、という方法を提案した。また、従来は許可事業者から非許可事業者への受け渡しが禁じられているため販売業者を介して受け渡しが行われる場合もあったが、この点についてもGCP省令第16条に基づ

く管理体制を前提に直接の受け渡しを可能とすることを提案した。

もう一つの問題点として、治験依頼者が外部事業者にRI標識のための合成を行わせ、これを外部事業者が医療機関に交付する際に、運搬における安全確保（運搬する作業員及び環境への影響）のために、製造販売される放射性医薬品に適用される、薬事法下の「放射性医薬品の製造及び取扱規則」に基づく「放射性物質等の運搬に関する基準」（以下、「運搬基準」）を、完全適用ではなく「準用」することを筆者ら研究会では提案したが、この運搬基準に関する解釈は指針案に明示されなかった。この提案でも、安全確保のために講じる手段を、GCP省令第16条及びその運用通知の示す手順書に明記することを前提とした。

上記二点は、2005年法改正で、放射性治療薬・放射性診断薬の「治験」についても法令が整理されたものの、法改正の中心が「治験」の規制整備ではなかったために、積み残しとされた領域に対する追加的整備の提案であるといえる。「治験」という全ての手続きが手順化され、記録に残る、完結した世界の中で実施することにより、治験薬概要書、治験実施計画書、GCP省令第16条による手順書や記録によって、流通・運搬・保管における安全性が確保され、記録が残されるという考え方である。これらの論点は、指針案の最終化に向けてどの程度再検討されるかは予想できないが、将来的には、RIを用いる臨床研究を推進していくためにも、より合理的で整合性のある制度設計を目指すべきであろう。

この他に、¹⁴Cを用いるマイクロドーズ臨床試験では、一人の被験者の内部被ばくの安全性の面からは、法令上の放射性同位元素として扱う下限数量を超えずに実施できる場合がほとんどであるが、一つの治験計画で複数被験者に投与する場合や、複数のプロトコルを受注する場合には、施設における総量が下限数量を超える場合も多々ある、との意見も聴く。指針案の《参考》では、施

設における数量が下限数量以下であるのが当然であるかのように記載されている点は修正されるべきであろう。

おわりに：医薬品開発新時代への期待

上述のような課題については、指針案公表を機に広く議論が喚起され、指針自体に十分反映されずとも、実施者の共同体において共通認識が形成されることが望まれる。種々の課題を残しながらも、指針案が行政当局から示されたことで、日本における医薬品開発が新たな時代を迎えるための大きな前進を遂げたといえる。筆者は、こうした指針が作成されなくても、個々の実施者と行政当局とが、既存の法令・通知の正当な解釈に基づき科学的合理性と被験者の安全性を論証できれば、マイクロドーズ臨床試験は実施可能であると主張してきた¹⁵⁾。規制当局側からも、指針作成以前に治験相談を経て受け入れる体制のあることが示されていた¹⁶⁾。このため、本指針で全ての課題が解決されなくても、各実施者が当局との相談により科学的合理性と被験者の安全性を論証し、より合理的な実施体制を築いていくことによって、科学的・倫理的水準を落とすことなく、医薬品開発を迅速化し、成果を社会に還元できることになると考える。指針案の公表を機に、APDDでは「我が国における早期探索臨床試験の夜明けを迎えて」と題するシンポジウムを企画している（表2）。ここで、行政担当官と指針作成に携わった専門家が参画し、指針の解釈や実施面での問題点、今後の開発戦略の展望などについて議論される予定である。

マイクロドーズ臨床試験の実施体制について合意形成がなされ、さらに用量を上げる「探索的臨床試験」についての考え方が明確になることで、RIを用いた臨床試験の実施体制は日本において格段に整備されるであろう。ここから派生して、放射性治験薬、放射性診断薬の開発が促進され、さらに、治験第II相、第III相における分子イメージング技術の活用が促進され、より確実なバイオ

マーカーを代替的な評価尺度として採用することが可能になれば、従来の治験よりも被験者数を減らし、製造販売承認を早めることもできると期待される¹⁷⁾。FDA（米国食品医薬品局）などではこうした開発戦略を積極的に議論しているが、日本においても、欧米諸国で決定されたことを取り入れるばかりでなく、自ら理論構築し、国際的な科学者共同体に新たな知識や方法論を提示できる体制へと革新するため、今回のマイクロドーズ臨床試験の指針が力強い契機となることが、望まれる。

今回は、研究被験者の内部被ばくに関する考え方について、考察する。

謝辞

本稿は、厚生労働省医薬食品局審査管理課より2007年12月25日公表された「マイクロドーズ臨床試験の実施に関するガイダンス（案）」の意見募集の要綱に記載される厚生労働科学研究「我が国における探索的臨床試験等のあり方に関する研究（主任研究者：大野泰雄・国立医薬品食品衛生研究所副所長）」がガイダンス案を検

討する際に、同研究班の主任研究者から委託を受けた有限責任中間法人医薬品開発支援機構が同法人内に設置した「探索的臨床試験実施に関わる指針（草案）作成委員会」がガイダンス案を作成する過程で議論した内容に基づいて、公表されたガイダンス案の内容を解説し、今後の課題を示したものである。上記委員会メンバー各位に深く謝意を表するとともに、上記研究班、及び上記委員会以前に学術的な場で検討を重ねてこられた方々に敬意を表する。

参考文献

- 1) 栗原千絵子。マイクロドーズ臨床試験の倫理的・社会的意義（1）：指針作成の背景。放射線科学 2008；51（1）：28-31
- 2) ICH harmonised tripartite guideline：Maintenance of the ICH guideline of non-clinical safety studies for the conduct of human clinical trials for pharmaceuticals M3（R1）.Current Step 4 version dated 9 November 2000.〔日本国内通知：医薬品の

臨床試験のための非臨床安全性試験の実施時期についてのガイドライン。平成10年11月13日医薬審第1019号：医薬品の臨床試験のための非臨床安全性試験の実施時期についてのガイドラインの改正。平成12年12月27日医薬審第1831号〕

- 3) 馬屋原宏。マイクロドーズ臨床試験の安全性。臨床評価 2006；33：679-94
- 4) U. S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER). Guidance for industry, Estimating the maximum safe starting dose in initial clinical trials for therapeutics in adult healthy volunteers. 21 July 2005
- 5) U. S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER). Guidance for industry, investigators and reviewers, Exploratory IND studies. 12 January 2006
- 6) 加藤基浩、杉山雄一。ヒトにおける予想臨床薬効果量の推定方法。マイクロドーズ臨床試験：理論と実践-新たな創薬開発ツールの活用に向けて-。杉山雄一、栗原千絵子、編。じほう 2007：69-81
- 7) ICRP Publication 68. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers：Replacement of ICRP Publication 61. Annals of the ICRP 1994；24（4）：1-83.（日本アイソトープ協会、ICRP 翻訳検討委員会、訳。ICRP Publication 68. 作業員による放射性核種の摂取についての線量係数。丸善 1996）
- 8) 平成9年3月27日厚生省令第28号。医薬品の臨床試験の実施の基準に関する省令
- 9) 治験薬の製造管理及び品質管理基準及び治験薬の製造施設の構造設備基準について（平成9年3月31日薬発第480号）
- 10) 日本核医学会。院内製造されたFDGを用いてPET

検査を行うためのガイドライン。核医学 2001；38：131-37

- 11) 日本アイソトープ協会医学・薬学部サイクロトロン核医学利用専門委員会。サイクロトロン核医学利用専門委員会が成熟技術として認めた放射性薬剤の基準（2001年改定版）。RADIOISOTOPES 2001；50（5）：190-204
- 12) 日本アイソトープ協会医学・薬学部サイクロトロン核医学利用専門委員会。サイクロトロン核医学利用専門委員会が成熟技術として認定した放射性薬剤の基準と臨床使用の指針。RADIOISOTOPES 1999；48（12）：i-xxvi
- 13) 平成18年9月21日薬食審査発第0921001号。医薬品の臨床試験の実施の基準の運用について。
- 14) 「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律の一部を改正する法律及び関係法令の施行について」（平成17年6月文部科学省学術政策局原子力安全課放射線規制室事務連絡）」の別添1「放射線障害防止法及び関係政省令等の改正の内容」p22のQ&Aの抜粋を注記に記載。
- 15) 景山茂、栗原千絵子。マイクロドーズ臨床試験とGCP法制の課題：ICH-M3、E8、治験薬GMP、IRBについての考察。In：杉山雄一、栗原千絵子、編。マイクロドーズ臨床試験：理論と実践。じほう；2007：225-35
- 16) 森和彦。規制側の考え方・マイクロドーズ臨床試験を治験として行う前に。In：杉山雄一、栗原千絵子、編。マイクロドーズ臨床試験：理論と実践。じほう；2007：209-14
- 17) 矢野恒夫。マイクロドーズ/PET試験の効果的な活用、開発戦略への一考察。In：杉山雄一、栗原千絵子、編。マイクロドーズ臨床試験：理論と実践。じほう；2007：261-73

表2：有限責任中間法人医薬品開発支援機構（APDD）主催シンポジウム案内

<p>医薬品開発支援機構 第2回 APDD シンポジウム『我が国における早期探索臨床試験の夜明けを迎えて』</p> <p>日時：2008年3月13日（木）9：00-18：30 場所：共立薬科大学記念講堂（2号館4階） 協賛：日本薬物動態学会 / 共立薬科大学 ◆事前登録費（2月26日（火）まで） 一般 12,000円 アカデミア・行政 8,000円 ◆当日登録費（2月27日（水）から当日まで） 一般 17,000円 アカデミア・行政 10,000円 ◆懇親会費：10,000円（芝パークホテル 18:50-） 詳細：http://www.apdd-jp.org/symposium/2nd/index.html ◆お問合せ先：第2回APDDシンポジウム事務局 担当：山崎 均 〒338-0001 さいたま市中央区上落合2-3-2 新都心ビジネス交流プラザ710号 （有）研究者サポートネットワーク内 TEL:048-851-5789 FAX: 048-851-5790 E-mail:yamazaki@sci-support.jp</p>

印象記

米国REAC/TSにおける緊急被ばく医療コース受講印象記

緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部
 教育情報室 室長 石原 弘
 障害治療室 主任研究員 安田 武嗣



写真1:会場の入口で出迎えてくださる現地スタッフ

Oak Ridge Institute for Science and Education (ORISE) の Radiation Emergency Assistance Center / Training Site (REAC/TS) において実施された Radiation Emergency Medicine (緊急被ばく医療) コースに安田は2007年3月6日から3月9日まで、石原は2007年4月17日から4月20日まで研修生として参加した。筆者は放医研で被ばく医療セミナー等の講義・実習等に教える側として参加してきたが、米国における類似コースを実際に、その講義および実習内容を研修生の立場から観察することができ、得られる事項も多かったため報告する。

コースの講義および実習について

講習は3.5日のプログラムであり、講義室およびその側に整備された複数のトリアージ室を使用して、講義および実習がなされた。除染・外部被ばく・内部被ばくという緊急被ばく医療に関する事象のうち、本コースの目的は医療関係者を対象とした事故時の患者の身体からの放射性同位元素の除染であり、放医研の被ばく医療セミナーに相当する。米国ではプログラム内容を大幅に変更することが多いそうなので、以前参加された方が体験したプログラム内容と異なるところもあるかもしれない。ここでは今回我々が受講した内容を詳しく紹介したい。

2007年4月の緊急被ばく医療コースの研修生は21名

であり、筆者の他は臨床医2名、行政職の医官1名の他、正看護師7名、課程中の看護師2名、放射線技師5名、訓練課程中の技師3名であった。米国内向けのコースであり、地元のテネシー州が4名、近接したノースカロライナ州、サウスカロライナ州およびアラバマ州からそれぞれ3名、2名および1名、遠地のニューメキシコ州、ミネソタ州およびコネチカット州からそれぞれ2名、1名および2名が参加していた。米国外からはカナダおよび英国それぞれ3名および2名が参加した。また、2007年3月の緊急被ばく医療コースの研修生は22名であり、米国以外に、イギリス、ブラジル、台湾、南アフリカからそれぞれ1名、2名、1名および1名が参加した。

第一日目午前中は「概要説明」でREAC/TSのミッション等の説明があり、筆者がいることを配慮して放医研での染色体分析の取り組みを含め緊急被ばく事故への米国や各国での対応を紹介した。引き続き、「放射線・核ハザードの例示と実態」の講義では米国等における事故等の件数や医療スタッフとしての注意点の概要を総論的に説明し、「緊急被ばく担当者における保険物理の基礎」では放射線の基礎について軽く説明した。続いて「放射線測定器の基礎」では、実習室でGM管およびポケット線量計を使用して測定の実習を行った。計測器はいずれも日本では旧式の部類であり懐かしかったが、頑丈で特に訓練を積まなくとも故障しにくい点が利点と思われる。日本の国産品は機器の世代を経るに従い次第に軽薄短小化すると同時に物理的に脆弱になってしまう傾向は家電に限ったことではないと感じた。また日本と同様に、米国の医療機関でも測定器の普及は不十分であると同時に、配備された場合であっても測定校正がなかなか実行できないという問題があるということが、研修生からの質疑で明らかになった。

第一日目午後は「放射線の検出、モニターおよび防護」という実習があり、測定器を使用して線量測定を行った。また、処置室にスタッフ達が隠した線源を実習生に見

させるゲーム的要素を入れてつつトリアージ室の説明がなされた。引き続き、「チームの編成」ということで、放射能除染チームの構成について大まかな説明がなされた。

第二日目午前は主に講義が中心で、「急性放射線障害」では放射線の生物影響から人体影響までを簡単に説明し、「内部汚染の処置」では除染剤の紹介と処置法、「局所被ばく障害の事例概説〜ペルー」では実際に持ち出されるリスクのある線源の説明と、予想される生物影響、最後にペルーにおけるイリジウム線源持ち出しの事例を主に写真を使用して説明した。それまでの講義内容の延長という流れで研修生とのやりとりで起こりうることを想像させた後、ショッキングな写真で視覚的に理解させてゆく、という有機的に連結した構築であり、講義の構築や説明の戦術として非常に参考になった。「事例概説〜ゴイアニア」ではブラジルでの放射性セシウム拡散事故の事例が説明された。興味深かったこととして、研修生の多くは患者の汚染には興味があるものの、環境汚染の把握やその除染については自分達の仕事ではないという風であった。

第二日目午後は主にトリアージ室で「推奨される緊急被ばくの用具と装具類」「放射線緊急被ばく処置室の設置法」「リハーサルとデモンストレーション」ということで、配備された物品の説明や装着法、床張りの説明やダミーを用いた除染をスタッフが研修生に見せた。また、作業のフローチャートの説明があり、それに従って粛々とやればよい、という気楽な感じであった。その後、翌日の除染実習のために研修生は二チームに分けられ、チームの研修生同士の話し合いで各員を医師・看護師役、測定担当者役として除染チームを作成した。筆者は薬剤師免許等を所持するものの法令上業務として患者に直接接触することは認められていないが、チームにMDが不足しているし、どうせ実習だし、PhDなのだから動物実験は慣れているだろう、とのことで無理矢理医師役を担当させられた。

第三日目午前、筆者らのチームは朝一番から実習となり、救急車からの連絡から2名の患者の搬入に始まり、除染から非汚染患者の搬出までを行った。ダミーの汚染傷口を装着した研修担当者が患者役となって除染室のベッド2台に運び込まれたので患者毎に更に2チームに編成が分けられ、汚染した傷口に残留するガラスや血液等を除去しつつ除染した。作業自体は前日のデモンストレーションと殆ど変わらなかったが、患者役が騒いだり、冗談を飛ばしながら和気藹々と進んだ。作業自体については、米国人は放射線や放射能について日本人ほど神経質ではない様子であり、除染と廃棄物の隔離に徹していた。最後に処置室退出者について、研修生が順番に汚染のチェックを行った。スタッフが退出する研修生のポケットに線源を隠し入れ、測定者に発見させるという、クイズの要素を入れることで研修生を飽きさせなかった。

実習終了後は、博物館見学ということで、オークリッジの来歴や原子力全般を展示する博物館に移動しての見学会があった。展示の施設・設備は全般に旧式で、1980年頃の日本の博物・展示館を彷彿させた。日本と異なると軍関連の展示が豊富であり、原子力兵器の展示や威力を示すビデオ映像に見学者がはしゃぐなど、国民性や原子力に対する印象の相違を見せつけられた。

第三日目午後はランチをとりながら、実習風景のビデオを見て講評や問題点などを議論した。「放射線テロおよび一般の放射線源〜概観」という講義があったが、放射線の利用という内容であり、午前の博物館の内容の続きという感じで、致死線量を招くような線源は数が少ないことを指摘していた。

第四日目午前の最終のセッションでは、講義「放射線・核に関する事件に対する公衆衛生への考慮」で原子力兵器について簡単に触れた後、英国で発生したポロニウム汚染についての説明があった。内容は放医研緊急被ばく医療センターにおいて数度行われた説明内容とほぼ同一であった。続いて「放射線事故における公開情報」とい

うジャーナリストによる講義があり、事故等の発生時に事業所側担当者をいかに精神的に揺さぶって真相を聞き出すか、というノウハウが説明された。その後簡単なペーパーテストがあり、各自答え合わせをした後に逐次解散となった。

初対面の医師、看護師、技師と、職能や知識の隔たりのある研修生に同時に行う短期集中講義は所内の医療セミナーにおいても難しいが、今回のコースでも専門的講義への集中度において研修生側に多少のむらが発生していた。しかし、多くの講義においてはテキストの文言に縛られることなく、ジョークを多数織り交ぜてリラックスさせるのみならず、眠そうな研修生に即座に話題を振ったり研修生と問答しながらの説明が多く、楽しませながら重要なところはしっかりと抑えたとともに、飽きさせないようにする配慮がなされていた。初日の夜の懇親会では講師陣が研修生に積極的に話しかけ、研修生の興味を探ることで、翌日以降の講義の話題に反映させるなど、研修生として参加することで、従来とは逆の立場からコースを把握でき、新しい発見や学ぶところは大きかった。

その他

オークリッジはノックスビルの空港からハイウェイで30分程度、広大な土地に研究機関が散在している。機関間の移動は車が基本であり、歩道も殆ど整備されておらず、道を歩く人を殆ど見かけない。公共の交通機関は皆無に近く、コースのスケジュールも研修生が各自車で移動することを前提としていた。今回（ICRR-SF2007より前であったので）筆者はレンタカーを使用した。到着した日はバージニア州の大学で32人が射殺されたニュースが流れ、公的機関を初めとして星条旗は全て半旗になっており、空港に掲げられている何十本もの星条旗が全て半旗となっているのは異様であった。今回通過・滞在したシカゴ、ノックスビル、オークリッジでは、レストラ

ンやホテル、空港で、テレビニュースで犯人の顔写真が出る度に、あちこちから”Woooop”とか”Kooorean”とかいううめき声が聞こえ、また聞こえてくる客の会話の中にも”Virginia’s attack”とか、”Korean attack”とかいう言葉が混ざり、公衆においても相当にインパクトのある事件であることが伺えた。（石原）

今回の研修では、日本人の参加者は私一人だけだったため当初は少し心細かったが、他の参加者やスタッフの方々に非常に親切にして頂いたことにより楽しく研修を受けることができた。初日の夜、懇親会会場のメキシコ料理レストランは研修所から離れていたのだが、アメリカ人の参加者Aさんが、同じホテルに泊まっていた私と台湾からの参加者Bさんを彼のレンタカーに乗せてレストランまで送ってくれた。Aさんには二日目以降毎日、ホテルから研修所まで車で送って頂くこととなった。またBさんは、日本人の多くが英語を苦手であることを知っており、私が聞き取れなかった英語をゆっくりと説明してくれた。研修所には、パンや果物、ジュースなどが無料で置いてあり、参加者達は休憩時間にそれらを食べたり飲んだりしながら話をして打ち解け合うことができた。このように研修はリラックスした雰囲気で行われたが、参加者達は非常に熱心に研修を受けており、講義中の質問も多く、また夜にピザを食べながら実習のためのグループミーティングをしようという意見がでるほどであった。（安田）



写真2:緊急被ばく医療の実習室

SR Salon Photograph



驀進

只見線 SL会津只見号
只見線 会津大塩～会津塩沢にて

只見線。新潟県小出駅から福島県会津若松駅を結ぶローカル線である。過疎化のため、列車の本数が極端に少なく、特に新潟県と福島県の県境を結ぶ列車は1日4往復と極端に少ない。この只見線は、四季を通してすばらしい風景の中を走るので、鉄道写真家の間ではとても有名である。そんな只見線に、蒸気機関車を走らせるイベントが持ち上がり、2001年秋、すばらしい紅葉の中を蒸気機関車が走行した。車両は、何と栃木県にある真岡鐵道に所属するC11325を借りての運転であった。

「SL&DL 会津只見号」（※DLはディーゼル機関車の略で、当時只見線には転車台と呼ばれる機関車の向きを変える設備がなかったため、帰りの列車はディーゼル機関車が牽引していた）として運転されたイベント列車は大成功し、さらに只見駅にあった転車台も復元され、「SL 会津只見号」として、毎年、主に夏の新緑の時期と、秋の紅葉の時期に真岡鐵道からC11325が出張してきて運転されている。

ところで、この只見線沿線は、日本有数の豪雪地帯として知られているが、一度だけこの豪雪季に「SL&DL 会津只見号」として運転されたことがある。運転されたのは2004年の2月だったが、なかなか撮影できない雪の中のSLを撮影しに行き、一晩で自分の身長ほども降ってしまう雪に唾然。カメラのピントが雪に合ってしまって苦勞したが、ほとんど奇跡的にピントが合い、何とか撮影した写真には、豪快に雪を跳ね飛ばし驀進する、普段は雪とは無縁のC11325が写っていた。ちなみにこの直後、C11325に雪をぶっかけられたのは良き思い出である。

企画部企画課 三井正紀

ドストエフスキーと政治犯の妻たち

市川龍資

セミパラチンスクという地名は原子力や環境放射能に関する分野の人達によく知られている。すなわち西シベリアの中国国境に近い町で、この近くの地域には旧ソ連が米国に次いで1949年8月はじめて原爆実験に成功した場所がある。北極海のノヴァヤ・ゼムリヤ核実験場と並んで旧ソ連の二大核実験場の一つである。セミパラチンスク核実験場では長年にわたってぼう大な数の核実験が行われ、1953年8月には旧ソ連最初の水爆実験も行われている。1962年末をもって大気圏内核実験を停止するという米ソ2国間の協定が成立した以降は、ここでもすべての実験は地下に移行した。

特別な核実験として挙げられるのは、平和利用目的と称して、人工的にダムを建設するためにセミパラチンスク核実験場の東側地域の地下100mで核爆発を実施した事業である。実際にここには爆発後に人工湖が出来ていて、住民達は「原子の湖」と呼んでいる。当然のこととしてセミパラチンスク核実験場には長寿命の放射性核種が存在して調査の対象となっている。セミパラチンスクの町は文学史の上からも極めて興味ある場所である。ぼく達が青年期においてその作品を読みふけたドストエフスキーがシベリア流刑の後半の期間をおくった場所であり、また彼が最初の結婚をした場所でもある。

人は青年時代、数多くの古典に接するが、中でもドストエフスキーは誰もが夢中になった作家の代表的な一人である。「罪と罰」、「カラマーゾフの兄弟」など、人間の生き方と神について深く考えさせられる作品だからである。彼の生きた19世紀における帝政ロシア政府は国内における社会主義思想の拡がりに強い警戒感を持っていた。青年ドストエフスキーも西欧の社会主義に興味を抱き、社会主義の本の読書会に顔を出すことがあった。

政府は1949年にこの読書会の集まりを一斉検挙し、青年達は捕えられて死刑を宣告された。彼らは処刑台に目隠しをされて柱に縛りつけられた。兵士達が銃を発射しようとした時、皇帝からの伝令が現れ、死刑を免じて

懲役を賜わると告げたのである。その中にいたドストエフスキーも死を免れシベリア流刑8年の刑に処せられ、初めの4年はオムスク監獄での懲役、あとの4年はセミパラチンスクの囚人部隊での兵卒勤務となった。

ドストエフスキーの娘エーメの回想録によると、クリスマスの夜ペテルブルグを離れ、シベリアに到着した最初の駅舎で、二人の婦人がドストエフスキーに近寄って来たそうである。彼女達は獄中で許される唯一の書物である聖書を彼に手渡した。そして憲兵が背を向けた瞬間に、ひとりになった時すぐこの聖書の中を調べなさいとフランス語で言ったという。帝政ロシア時代は上流階級、知識階級の人達はフランス語を知っていたのである。聖書の中には25ルーブル紙幣が貼ってあったという。ドストエフスキーが監獄生活で少しでも食事を良くしたり白パンを入手できたのはこのお金のおかげだったとエーメは書いている。この二人の婦人は十二月党員の妻達であった。徒刑場におくられた夫を追ってシベリアに行き、政治犯たちを助けることを使命としていた女性達であった。十二月党員(デカプリスト)とは、1825年12月帝政ロシアでの農奴の解放などの革命を起そうとして軍隊に鎮圧され捕えられてシベリアにおくられた人達である。オムスク監獄では鉄の足枷をつけられて労役に服した。この時の4年間の徒刑生活をドストエフスキーは作品「死の家の記録」として書いている。

4年後ドストエフスキーは鍛冶工によって足枷を切断され、セミパラチンスクの国境守備隊に兵士として勤務することになった。もともと将校に任官していた彼もここでは一囚人兵となったのである。しかしオムスク監獄における生活よりもかなり自由が与えられ、読書や執筆が許され、彼は大層な意気込みで勉強したそうである。

シベリア流刑8年間の経験は彼のその後の作品に大きな影響を与えているとぼくは思う。

ICHIKAWA RYUSHI(元放医研科学研究官)

編集後記

最近アメリカからのニュースで関心を持って見ているニュースと言えば、サブプライム問題と地球温暖化に対する取り組みに関するものだ。サブプライム問題はいかに深刻な問題と言っても経済に限られた問題であり、日本もそうだったようにそのうち何とかなるだろうと思いつつながらニュースを見ているだけである。ところが地球温暖化の問題は人間生活のすべてに関係し、ますます深刻になってきている。又、なかなか良いかつ強力な解決策は見つかりそうにない。ただ救いなのはアメリカもこの問題にやっと真剣に取り組み始めたことではないだろうか。一つには、実際温暖化と関連すると思われる巨大ハリケーンの頻繁な出現とそれによる被害が世論を動かし、他方いろいろな研究結果が進み温暖化効果ガスの影響が確かな事実として受け入れられてきたことがあるようだ。ところで放射線に関する生物効果に関してはどうだろうか。わかっているようで、実は効果が外に現れるまでの、一つ一つの過程については良く理解されていないのではないだろうか。この雑誌では、この一つ一つの過程に対する理解が少しでも進むような話題を提供できたらと思っている。

「1月訂正のお詫び」
放射線科学1月号において下記の箇所に誤記がありました。
● Contents 17 照射後研究センター → 放射線防護研究センター

次号予告

シンポジウム「放射線の環境影響を考える」
(第2回放射線防護研究センターシンポジウム)
放射線防護研究センター 環境放射線影響研究グループ 吉田 聡

研究レポート 1)「放射線で誘導される生物効果のバイスタンダー効果の線質依存性」
重粒子医学センター 粒子線生物研究グループ 鈴木 雅雄
2)「マイクロドーズ臨床試験の倫理的・社会的意義 (3)」
- 被験者内部被ばく評価についての考え方 -
分子イメージングセンター 運営企画ユニット 栗原 千絵子

放射線の知識「中性子線照射に関する物理的な側面」
(1) 中性子の基礎知識 (その1)
基盤技術センター 研究基盤技術部 平岡 武 / 高田 真志

《編集委員会》

委員長	酒井 一夫		
委員	内堀 幸夫	金澤 光隆	石井 伸昌
	白川 芳幸	小橋 元	立崎 英夫
	高田 真志	菊池 達矢	鈴木 敏和
	玉手 和彦	長谷川純崇	杉森 裕樹
	加藤 博敏	神田 玲子	
事務局	岡本 正則		

放射線科学

第51巻 第2号

2008年2月15日発行

《編集・発行》

独立行政法人 放射線医学総合研究所
〒263-8555 千葉市稲毛区穴川4-9-1
電話 043(206) 3026 Fax.043(206) 4062 Eメール info@nirs.go.jp

(禁無断転載)



<http://www.nirs.go.jp>