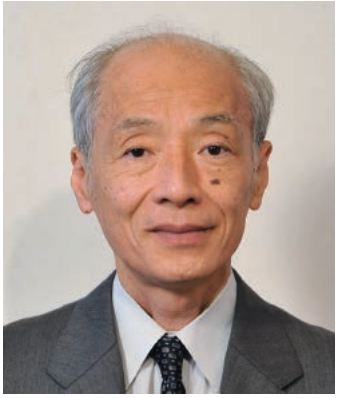
ナガセランダウア
NLだより
9
No.501
2019年9月発行

●トップコラム／〈株〉清水建設技術研究所・理化学研究所　上蓑 義朋
●スーパーカミオカンデのこれまでとこれから／〔シリーズ5〕
スーパーカミオカンデのこれから（SK-Gdプロジェクト/ハイパーカミオカンデ）
●航空機搭乗者の宇宙線被ばく管理／〔その3〕JISCARDによる被ばく管理
●お願い／ルミネスバッジが届かない!?
●お知らせ／保物セミナー2019（保険物理の未来を開く技術革新）
開催のご案内
●製品紹介／眼の水晶体被ばく線量測定〈ビジョンバッジ〉

トップコラム 213



上蓑 義朋

線量を分かりやすく

「放射線は分かりにくい」とよく言われるが、ある委員会でのことである。約10名の委員のうち3分の1は弁護士など文系の方、残りは自然科学系の研究者であったが、放射線に直接かかわっているのは私も含めて2名であった。被ばくに関する議論になった時、2名以外の方は一斉に、「私らには専門外でわかりませんから」と腰を引かれてしまった。そうそうたる学識の方々からの言葉であったので、少なからずショックであった。

放射線による人体の影響は、他のリスク要因に比べてきわめて広範な研究が行われてきたと思うが、現在でも分からないことだらけである。それでも何とか放射線防護を実施しなければならない中で、国際放射線防護委員会（ICRP）が果たしてきた功績は非常に大きい。多くの研究の精査と議論の結果、防護基準となる数値とその名称は変遷してきた。岩井（Isotope News 2011年11月号p58）によれば、作業者に対して大雑把には、1934年：約2mSv/日（耐容線量）、1954年：3mSv/週（最大許容線量、1958年に50mSv/年）、1977年：50mSv/年（実効線量当量限度）、1990年：50mSv/年かつ100mSv/5年（実効線量限度）とされてきた。被ばくの評価が精密になったこと、被ばくは少なくすべきという考えの導入によって名称は変化してきたが、値は50年以上も大きく変わっていない。

評価が精密になると、被ばく（実効線量）は評価する人によって異なることがある。放射線が人体の前面から後方に向かう（AP照射）と仮定した人はAP照射の換算係数を用いて実効線量を求め、周囲から一様に被ばく（ROT照射）すると仮定した人はROT照射の換算係数を用いるので、実効線量は異なった値になる。福島第一原子力発電所の事故後に行われた県民健康調査では照射条件の仮定は専門家の間で議論になった。

放射線被ばくをさらに分かりにくくしているのは、国際放射線単位測定委員会（ICRU）による実用量の導入であろう。実効線量は臓器ごとの被ばく量から算出されるので直接的な測定は不可能である。そこでICRUは、実効線量を大きめに（安全側に）表す値として、人体を球で模擬して定義する周辺線量当量などの実用量を導入した。放射線測定器は周辺線量当量を表示するように校正されている。しかし周辺線量当量も定義そのままに測定できるものではなく、放射線のエネルギー分布から計算によって値を出している。この状況は実効線量でも同じであり、測定器を実効線量で校正すれば同様に測定できるのである。

原発事故によって被ばくの単位であるSvは一般の人にもすっかり身近になった。しかしSvが様々な量に使われるため、一般の方、特に福島の方には、同じSvの値なのに、サーベイメータ等で測定される周辺線量当量の値より、県から発表される県民健康調査の実効線量が小さいことに、混乱と不信を少なからず招いた。

一部の専門家は以前から周辺線量当量は不要であると指摘してきた。同感である。動機は異なるが、ICRPとICRUは共同で新しい周辺線量当量の検討を始めている。さまざまな照射条件の実効線量への換算係数のうち、エネルギーごとに最も大きい条件の値を周辺線量当量への換算係数として使うことを提案している。こうなれば高エネルギーの加速器施設などは別として、周辺線量当量はもっとも一般的なAP照射の実効線量と同じになり、かなりすっきりする。しかし実際には一部のエネルギーの放射線だけが違う方向から照射されることはない。そもそも生物影響の不確実性を考えると、防護のための被ばく評価を過度に精密にするのは意味がない。加速器施設も含め、人が被ばくするほとんどの放射線場で最も大きな値になるAP照射の実効線量換算係数を用いて評価すれば十分であり、周辺線量当量はやめてしまえばよいと、私は思っている。そうすれば、「放射線は分かりません」という言葉を聞くことが少しは減るのではないかと期待している。

うわみの よしとも（〈株〉清水建設技術研究所・理化学研究所）

プロフィール●1953年金沢市生まれ。大学で放射線物理と原子炉の基礎を学んだ後、研究も続けながら放射線医学総合研究所では防護や利用のための講習会を担当、東京大学原子核研究所（現在はKEKに統合）と理化学研究所では放射線管理や一般安全管理に従事した。理研・仁科加速器科学研究センターでは世界に冠絶する性能の重イオンサイクロトロンの建設と運営に参加できたのが自慢である。現在は〈株〉清水建設技術研究所と理化学研究所で嘱託として勤務。

スーパーカミオカンデのこれまでとこれから

〔シリーズ5〕スーパーカミオカンデのこれから
（SK-Gdプロジェクト/ハイパーカミオカンデ）

東北大学 ニュートリノ科学研究センター 教授　岸本 康宏

皆さん、こんにちは。「スーパーカミオカンデのこれまでとこれから」の連載は、今号で最終回となります。今回は将来のお話です。

スーパーカミオカンデ（SK）は今、大きく変わろうとしています。SKは、超純水を用いてチェレンコフ光を観測していますが、これに超高純度のガドリニウムを添加しようとしています（SK−Gd計画）。

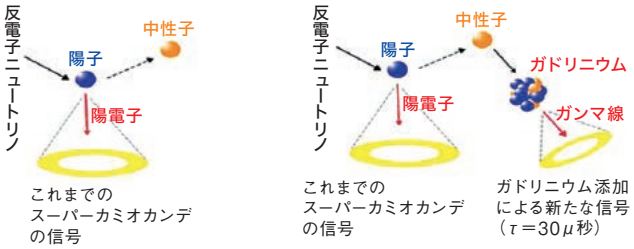


図1：SK（左図）とSK−Gd（右図）での、電子型反ニュートリノ信号の違い。SK−Gdでは複数の光信号が測定される。

ガドリニウム導入によって何が変わるのでしょうか。これまでは反ニュートリノ反応の際の中性子は何も使われないままでした（図1左）が、中性子はガドリニウムと反応し、ガンマ線を複数放出します。（図1右）。このガンマ線は、エネルギーが高く、中性子発生の直ぐ後に（約30μ秒の間）生じます。そのため、反ニュートリノは、短時間に複数の連続したチェレンコフ光として観測されます。この特徴によって、今までは雑音に埋もれていた信号、即ち、超新星背景ニュートリノの信号を取り出すことができます。この新たなニュートリノ信号について解説しましょう。

宇宙は生まれてから現在までの138億年の間、成長を続けています。宇宙が生まれた直後は光の塊でしたが、やがて冷えていくうちに、水素原子などの軽い元素が作られます。この段階で宇宙には、我々の体の主成分である炭素は存在しません。炭素は太陽等の恒星内部で作られます。この意味では、我々は「恒星のかけら」でできているのです。さて、太陽より10倍程度重い恒星の場合、炭素に加えて、地球岩石の主成分となるケイ素も作られます。そして、その重い恒星が死を迎える時、超新星爆発と呼ばれる激しい爆発を起こして、内部で作られた元素を宇宙に放出します。宇宙では、このように星が元素の工場となり、作られた元素は超新星爆発のような激しい天体活動によって、宇宙空間にバラまかれています。

超新星爆発は、宇宙で最も激しく、美しい現象の1つですが、光による観測では、理論的に予測される数の半数程度しか観測されていません。我々や地球を構成する元素を創造し、バラまく頻度が足りないのです。いったい何が起こっているのでしょうか。超新星爆発では、元素だけでなく、ニュートリノも放出されています。SK−Gdは、これまで観測できなかった、この超新星背景ニュートリノを観測することで、この謎に迫ります。ガドリニウムを0.1%濃度で導入した後、5年間で4〜20個程度の超新星背景ニュートリノを世界で初めて検出する計画です。私たちの起源に迫る研究です。期待して待ちましょう。

さて、将来の実験では、ハイパーカミオカンデ（HK）が最も重要な実験と言えます。HKは、SKの大成功を受け、これを発展させた実験です。HKは直径74m、高さ60m、タンク体積は26万トン、使用する光電子増倍管数は4万本に及びます（図2）。桁外れの大きさに驚かされます。

このHK、大きいだけではありません。例えば、光電子増倍管の光への応答効率は約2倍に向上しています。SKの研究成果、ノウハウが全てつぎ込まれます。この超高性能、超大型の装置によって、人類は新たな物理学へ挑戦します。

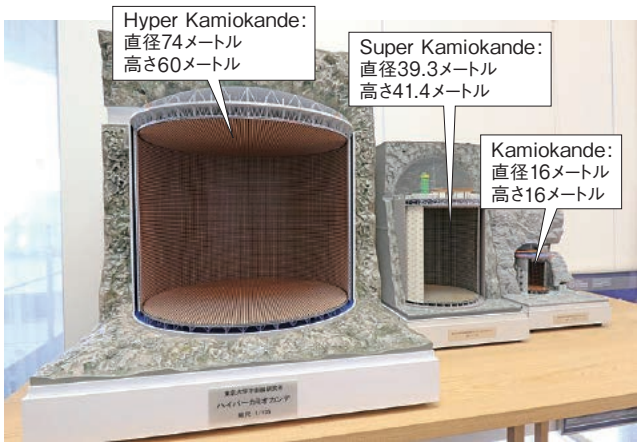


図2：HK、SKカミオカンデ、カミオカンデの大きさの比較。宇宙線研究所6階の展示スペースにある1/135模型の写真。

1例は、前回T2K実験で取り上げたニュートリノと反ニュートリノの振動の精密検証です。この他、HKでは非常に多くの成果が期待されていますが、特に私は「陽子崩壊」の世界初発見に期待しています。陽子崩壊とは、水素原子核が寿命を迎え、より軽い電子などに崩壊する現象を言います。元素にも寿命があるのです。この反応は未発見ですが、これを詳しく調べることで、この宇宙でなぜ「クォーク」と「レプトン」*という2つのグループに分かれているのか？という謎を解明する手がかりとなります。これは、なぜ世代が3つあるのか、という謎とも密接に関連していると私は考えています。

SK−Gd、更にはHK。宇宙と素粒子の謎に迫る将来のニュートリノ観測に注目してください。

＊クォークとレプトンについては、7月号（シリーズ3）の表をご参照ください。

航空機搭乗者の宇宙線被ばく管理
〔その3〕JISCARDによる被ばく管理

広島大学 原爆放射線医科学研究所 保田 浩志
量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門 矢島 千秋

保田 浩志

矢島 千秋

1. 乗務員の被ばく管理

現在、我が国では、2006年に文部科学省の放射線審議会（当時）が定めたガイドラインに従って、国際線を運航している航空会社3社において、2007年度から乗務員の宇宙線被ばく管理が実施されている。その線量管理には、本シリーズ〔その2〕で解説した航路線量計算システムのExcel版（JISCARD EX）が使用されている。

具体的には、毎月各航空会社から航路毎の詳細な飛行情報（飛行時間に対する緯度・経度・高度のデータ；通称「フライトプラン」）が量子科学技術研究開発機構（量研）に対して提供され、著者らはこれらのフライトプランと太陽磁場強度の月平均値に基づいて当該航路の飛行で受けた線量を計算し、その結果を返す。各航空会社では、受け取った航路毎の線量値を個人の飛行履歴と照らし合わせて積算し、各乗務員の宇宙線被ばくによる個人線量を年度毎に算出、個人の健康に関わるデータとして記録するとともに、要望に応じて本人に開示している。なお、線量は飛行する経路や高度に応じて大きく変化するので（図1）、乗務の時間が長い人ほど線量が高いとは限らない。

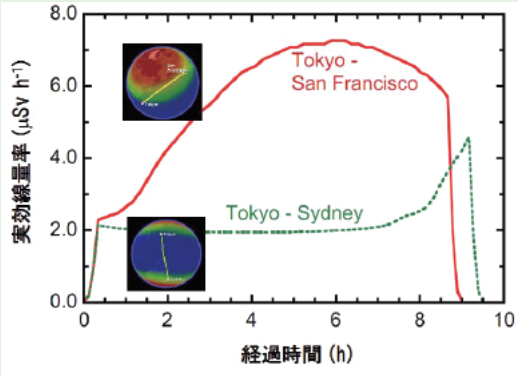


図1：JISCARD EXで計算した、成田～サンフランシスコ便と成田～シドニー便の飛行中の宇宙線線量率の推移．飛行時期や巡航高度等の条件はすべて同じ。

2. 高頻度旅客の被ばく管理

本シリーズ〔その1〕で、乗客として頻繁に航空飛行をする人（高頻度旅客）についても、宇宙線被ばくに関する一般的事項の情報収集や自主的な被ばく線量評価が勧告されていることを紹介した。しかし、これを適切に実施するのは容易ではない。

高頻度旅客としては、旅行会社の添乗員や国際企業の渉外担当者等が想定される。通常こうした方々は非常に多忙で、パソコン画面に向かう時間も限られている。したがって、携帯電話などを用いて、簡便な操作で自身の宇宙線被ばく線量を自動で計算・記録するようなツールが必要になってくる。こうした問題意識から、著者らは、JISCARDをベースとして、スマートフォンで搭乗年月日と渡航先の都市名又は便名を入れるとすぐに線量値が表示され年間線量を積算してくれるようなプログラム（図2）の設計・開発に取り組んでいる。

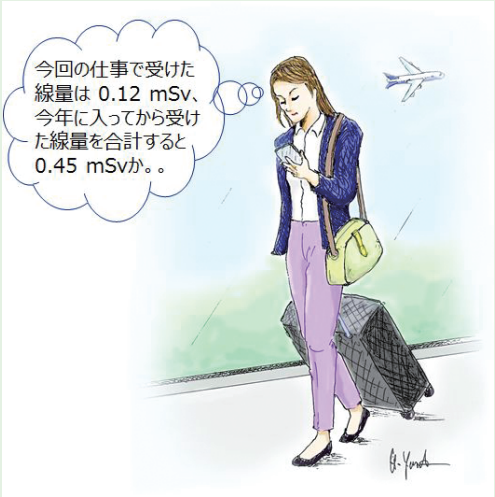


図2：スマートフォンで自身の宇宙線被ばく線量を確認している旅客（イメージ）。

3. 低頻度旅客の被ばく管理

外国へ行くのは数ヶ月に一度かそれより少ないという人（低頻度旅客）には、航空機利用に伴う宇宙線被ばくは地上で普段受けている自然放射線による被ばくと比べてごくわずかな増加なので、線量を評価し管理する必要はないと言える。ただ、今は低頻度でも異動や転勤などで海外へ行く機会が急に増える可能性のある人は、日頃から宇宙線被ばくに関する基礎的な知識を持っていることが望まれる。そうした関連知識の修得にJISCARDが役立てば幸いである。

4. さいごに

本世紀には、様々な分野・活動においてグローバル化が進み、航空機を利用した人の行き来はさらに活発になってくると予想される。それに伴い宇宙線に被ばくする機会が増え、自身の被ばく線量を正確に把握しておきたいという人も増えるだろう。そうしたニーズの高まりに、専門家としてタイムリーかつ丁寧に対応していきたいと考えている。

本シリーズは本号で終了します。拙文をお読みくださった皆様、ありがとうございました。

お願い　ルミネスバッジが届かない!?

〔お問い合わせ：お客様サポートセンター〕
Tel.029-839-3322　Fax.029-836-8440

当社ではお客様の着用周期に合わせ、ルミネスバッジを継続的にお届けしておりますが、お客様より「ルミネスバッジが届かない」とご連絡をいただくことがございます。その際は速やかに再発行いたしますが、その後「別の部署に届いていた」など、見つかることもあるようです。

ルミネスバッジがお手元に届かない場合には、今一度、事業所内を確認の上、ご連絡ください。

なお、未着の原因として、送付先変更処理がされていない場合がございます。ご担当者や送付先住所など変更がございましたら、早めにご連絡をお願いいたします。

お知らせ

保物セミナー2019（保健物理の未来を開く技術革新）開催のご案内

開催日時：令和元年11月29日（金）10：00～19：30
会　　場：大阪科学技術センター8階 大ホール
（ボイリング・ディスカッションは地下1F）
〒550-0004 大阪市西区靭本町1-8-4
参 加 費：5,000円（ボイリング参加者は別途5,000円）
主　　催：「保物セミナー2019」実行委員会
テ ー マ：1.人工知能技術の活用と将来展望
2.電磁界における最新技術
3.低線量放射線の健康影響
ボイリング・ディスカッション

連 絡 先：認定NPO法人安全安心科学アカデミー内
保物セミナー2019事務局
〒542-0081 大阪市中央区南船場3-3-27
サンエイビル2F
Tel. & Fax. 06-6252-0851
E-mail：seminar@esi.or.jp

＊詳しくは、安全安心科学アカデミーのホームページまで。
http://www.anshin-kagaku.com/

製品紹介

眼の水晶体被ばく線量測定

ビジョンバッジ

ビジョンバッジは、防護メガネによる遮蔽の効果を反映した眼の水晶体の3㎜線量当量を測定するために開発された線量計です。検出素子にはリングバッジと同じTLDを採用しており、小型・軽量で視界を邪魔せず、防護メガネへの取付け・取外しを容易に行うことが可能です。

注）眼の水晶体の等価線量限度引き下げは、今後の法令改正で予定されています。

【ビジョンバッジサービスのお問い合わせ】
営業課 Tel.029-839-3322

「暑さ寒さも彼岸まで」と言いますが、9月と言えば、秋彼岸お墓参りです。私は子供の頃から、親に連れられ、お墓参りに行っていたので、今では行くのが当たり前の行事になっており、大変だと思ったことはありません。お墓を掃除し、お花を供え、お線香をあげ、ご先祖様に元気でいることの報告をします。きれいになったお墓と立ちのぼるお線香を見ていると、ご先祖様もきっと喜んでくれているだろうといつも思います。毎年、彼岸の時期は、祖先を敬い亡くなった人を偲ぶ日にしています。お彼岸は、迷い・悩み・煩悩に惑わされている人間が悟りの世界と通じる時でもあるそうです。いつも、煩悩に惑わされっぱなしですが、今年もお墓参りに行くので、悟りが開かれればと思います。

（C.O.）

長瀬ランダウア㈱ホームページ・Eメール
https://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.029-836-8440
大阪 Tel.06-6535-2675　Fax.06-6541-0931

NLだより　No.501　2019年〈9月号〉
毎月1日発行　発行部数：39,400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　的場 洋明