

- トップコラム／大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
共通基盤研究施設 放射線科学センター センター長 教授
総合研究大学院大学 加速器科学コース 教授 佐波 俊哉
- 球状コンクリーションと地層処分／〔第1回〕化石を保存するバリア機能
- 外部被ばく線量の算出方法／〔その2〕体幹部被ばく
- お願い／ご連絡の際は、事業所番号を！
- 製品紹介／新型ハイブリッドサーベイメータ RaySafe 452



佐波 俊哉

二次粒子のエネルギー分布測定

原子核反応により生成した粒子を、反応を起こす粒子を一次粒子として、二次粒子という。一次粒子のエネルギーは原子核反応を経て二次粒子に分配される。二次粒子のエネルギーや種類、状態は一次粒子のエネルギーがどのような原子核反応を起こしたかを推定する手がかりとなる。二次粒子が一次粒子とは異なる種類の粒子である場合、一次粒子とは異なる挙動により物質内を移動する。二次粒子のエネルギー分布測定は、核反応の種類により異なる様相を見せること、測定法を工夫する必要があること、そして測定したデータが役に立つ様をみられること、などから研究対象として興味深い。

研究を始めて、最初に相手にした一次粒子は中性子、二次粒子は陽子やアルファ粒子のような比較的軽い電荷を持つ粒子（荷電粒子）であった。核分裂や核融合、加速器のビーム損失により生じる数メガ電子ボルト以上のエネルギーを持つ中性子は、透過力が大きく物質を透過していくが、物質を構成する原子と原子核反応を起こすと、二次粒子として荷電粒子を生成することがある。生成した荷電粒子は中性子と異なり、物質中で直ちにそのエネルギーを付与し、そこにとどまる。つまり、原子核反応により一次粒子のエネルギーが二次粒子を経て物質中に付与され、水素やヘリウムがその中に生じるのである。

東北大学工学部の高速中性子実験室で実施した、中性子が素素原子核と反応して陽子を生成する反応の測定では、陽子のエネルギーを測定することにより、測定対象以外の事象（バックグラウンド）を取り除くことが出来た。また、ニッケル原子核からのアルファ粒子生成の測定では、アルファ粒子のエネルギーを細かく測定することにより、核反応の描像を確認することが出来た。どちらの測定でも窒化物やニッケ

ルの薄膜試料を内包し効率よく測定できるグリッド付き電離箱を工夫して用いる必要があった。

一次粒子のエネルギーが上がると、起こりえる原子核反応と二次粒子の種類が増える。QST放医研や大阪大学RCNPで、数10から数100メガ電子ボルトの陽子を一次粒子として実験し、ヘリウムより重たい二次粒子を測定した。この測定では二次粒子の種類を決定してエネルギーの測定を行うので、ブラックカーブ検出器を新たに開発して用いた。ブラックピークの高さで粒子の種類を弁別して得た粒子種毎のエネルギー分布は核反応の様子を示唆してくれた。

このような高いエネルギーの陽子により生成した二次粒子には中性子も含まれる。陽子ビームを物質に照射する陽子加速器の状況と同じであり、生成した中性子は透過力が大きいので、陽子の場合に比べ何倍もの厚みのコンクリートを透過していく。スイスにある欧州原子核研究所の陽子シンクロトロン施設を使い測定した、様々な厚さのコンクリートや鋼の遮蔽体を透過した中性子のエネルギー分布の変化は、中性子の物質透過の様相を明確に示してくれた。

電子加速器ではどうであろうか。電子が物質中に入射した場合に生成する粒子の主要なものは光子である。電子に比べ透過力が高く、物質中を透過していく。電子のエネルギーが十分に高い場合は、この光子が核反応を起こし、中性子を生成する。兵庫県立大学ニュースバル加速器を用いて取得した中性子のエネルギー分布は平衡状態からの放出に加え、平衡状態に至る前の中性子放出を示唆するものであり、この中性子の放出角度分布は入射光子の偏光に強く依存していた。偏光への依存性はすでに予想されていたものの、どのような過程を経て偏光の性質を保持しながら粒子放出に至るのかは興味のあるところである。今後、その様相を明らかにするための測定を実施していく。

どの実験も手法を工夫してデータを得るものであった。測定されたデータは、理論モデルや経験式の確認に用いられ、その理論モデルや経験式は、高エネルギー加速器の遮蔽設計や応用に利用されていく。引き続き、加速器の設計に役立つデータの取得を目的に、総合研究大学院大学での研究指導とともに実施し、学生にもその面白さを伝えられればと思う。

さなみ としや

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
共通基盤研究施設 放射線科学センター センター長 教授
総合研究大学院大学 加速器科学コース 教授

プロフィール●1999年3月東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻博士課程修了 博士(工学)、1999年4月より高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 放射線科学センター助手。助教(改組による)、准教授、教授を経て2021年4月より現職。2006年には米国スタンフォード線形加速器センターで放射線物理グループに所属。専門は放射線計測、核データ、加速器放射線安全。

球状コンクリーションと地層処分

〔第1回〕化石を保存するバリア機能

名古屋大学博物館教授（館長） 専門：応用地質学 吉田 英一



2020年9月発行（No.513）の本紙トップコラム上で「球状コンクリーションと地層処分」と題して、現在行っている研究と地層処分への応用の可能性についてその概要を紹介させてもらった。今回は、その後の調査研究で明らかになったコンクリーションの最新情報と、コンクリーション化の応用編として「地層処分」への活用も考え開発した人工コンクリーション化剤（地下岩盤亀裂シーリング剤）について、2回に分けて紹介したい。

球状コンクリーションとは、炭酸カルシウム（カルサイト： CaCO_3 ）を主成分とする海性堆積岩中に生じる球状体の岩塊であり、そのサイズは数ミリ～数メートルと様々である。特徴は、内部に保存良好の化石を内包することである。なぜ球状になるのか？それは、内包される生物の有機炭素成分の分解・拡散と、海底堆積物中の海水由来カルシウムイオンとの急速な過飽和・沈殿反応で形成されることによるものであり、現在も世界のみならず日本各地から相次いで確認されている。その中でも、近年の新たな発見の1つに、男鹿半島鶴ノ崎の直径1メートルから5メートルものクジラ化石を内包する100体を超える世界的にも稀な巨大コンクリーション群が挙げられる（写真1）。これらは「小豆岩」との愛称で、



写真1 男鹿半島の鯨コンクリーション群

地域の方々にも親しまれていたものであるが、初春の限られた時期にしか全貌を調査することができず、なかなかその詳細を確認することができなかった。それを男鹿半島ジオパークメンバーとの共同調査によって、クジラが素となってきたことが明らかとなった。なぜ、このような世界規模の大きさ、量や産状でのコンクリーション群が形成されたのか。この地域の地層は、約1600万年前の当時、ある程度深い海底に堆積したものであり、全体の産状から、いわゆる「鯨の墓場」のような場所に集まった鯨の死骸を基に急速にコンクリーション化が進行したと考えられる。

もう1つの発見は、名古屋港の海底^{しゅんせつ}浚渫土から産出したコンクリーション群である。1980年代に名古屋港の拡大に伴う浚渫工事が行われた。その際、名古屋港を深くするために当

時の海底を浚渫した土砂の中から数～10センチサイズの大小数百を超えるカニ、ウニ、二枚貝などのコンクリーションが産出した。このコンクリーションの形成年代を調べるために放射性炭素で測定したところ、約7000年という世界的にも最も若い年代を示すことが判明した。浚渫した土砂は未固結状態であるにもかかわらず、コンクリーションは完全に岩石化した状態となっている。

これらの発見から言えることは、コンクリーション化は非常に速く進むと同時に、一旦形成されると長期にわたって安定に存在し続けるということである。例えば名古屋港から産出するカニコンクリーションは、足や爪などが欠けることなく綺麗に折畳まれた状態で保存されている（写真2）。海底でカニ



写真2 名古屋港浚渫工事で産出したカニコンクリーション
上：クリーニング後、
下：クリーニング前。カニ横幅約8センチ

などの生物が死ぬと、他のスカベンジャーによって大抵は数週間でバラバラに食い尽くされる。それがこのように残っているということは、食い尽くされる前にコンクリーション化が終了することを意味する。逆にコンクリーション中の化石が保存良好なのは、急速に沈殿した炭酸カルシウム（鉱物：カルサイト）が生物周りの砂・泥の隙間を充填・シーリングし、外部との化学反応を遮断するためである。

これらから学べることは、コンクリーション化によるシーリングプロセスは、急速かつ長期的に安定な化学的・物理的性質を有し、形成後の内部の化石を保存する「バリア」として効果的に機能しているということである。このような長期に安定したシーリングプロセス（バリア効果）を工学的に応用しない手はない。その考えの元、このコンクリーション化に応用したシーリング新素材を民間企業と共同開発してきた。次回では、なぜコンクリーションを研究しているのか、「地層処分」とどう関連するのかも含め、その開発した素材の特徴と実証試験結果について述べる。

外部被ばく線量の算出方法

〔その2〕体幹部被ばく

前回に引き続き、外部被ばく線量の算出方法の特集です。今回は体幹部被ばくにおける線量当量から実効線量及び等価線量を算出する方法について解説します。

体幹部被ばくの測定に用いる線量計

体幹部被ばくの測定にはルミネスバッジを用います。このルミネスバッジからは、1 cm線量当量と70 μ m線量当量という二つの測定値を求めることができます。先月号のその1でも述べましたが、1 cm線量当量は体の表面から1 cmの深さにある組織・臓器が受けた被ばくに相当する線量、70 μ m線量当量は体の表面から70 μ mの深さにある皮膚が受けた被ばくに相当する線量です。これらの数値より全身の被ばく線量である実効線量と各組織・臓器の等価線量を算出します。

体幹部被ばく

体幹部の被ばくは

1のように、末端部を除いた部位、すなわち体幹部の三つの部位（頭頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部）が、均等に被ばくする「体幹部均等被ばく」と、防護衣等の使用によって被ばくが少ない部位と多い部位が生じる「体幹部不均等被ばく」に分かれます。

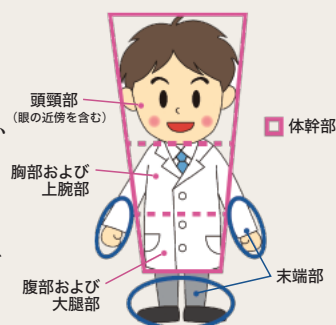


図1 体幹部と末端部

体幹部均等被ばく

体幹部均等被ばくでは、三つの部位が均等に放射線を受けるので、実効線量及び等価線量を算出するために着用する線量計は一つで済みます。この場合、図2のように男性は胸部、女性※1は腹部に線量計を着用します。この着用部位を基本部位といいます。

※1 妊娠する可能性がないと診断された者等を除く

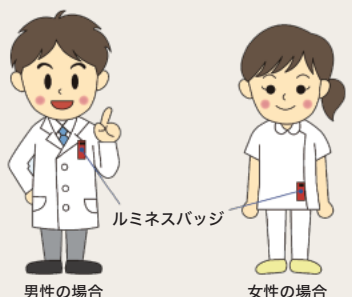


図2 体幹部均等被ばくの線量計着用

表1 体幹部均等被ばくの線量算出方法

防護量	算出方法
実効線量	1 cm線量当量
皮膚の等価線量	70 μ m線量当量
眼の水晶体の等価線量	1 cm線量当量と70 μ m線量当量の高い方
腹部表面の等価線量(女子)	腹部の線量計の1 cm線量当量

眼の水晶体の等価線量は、1 cm線量当量と70 μ m線量当量のうち、安全側に考慮して高い方の値を採用します。

体幹部不均等被ばく

体幹部不均等被ばくでは、三つの部位で被ばく線量が異なるので、複数の線量計を着用する必要があります。この場合、実効線量は次のような式で計算されます。

実効線量 $E =$

$$0.08 \times H_a + 0.44 \times H_b + 0.45 \times H_c + 0.03 \times H_m \cdots \text{式(1)}$$

H_a : 頭部又は頸部における線量計の1 cm線量当量

H_b : 胸部(腹部)における線量計の1 cm線量当量

H_c : 腹部(胸部)における線量計の1 cm線量当量

H_m : H_a 、 H_b 、 H_c のうち最大となるおそれのある1 cm線量当量

防護衣等の着用により、その内側の胸部と腹部が均等被ばくであれば線量計の胸部と腹部への着用は基本部位だけで済む

($H_c = H_b$) ので、

3のように二つの線

量計で評価できま

す。通常、最大とな

るおそれのあるの

は防護衣等の外側

で測る H_a となるた

め ($H_m = H_a$)、この

場合、実効線量は

次のように求められ

ます。

$$\text{実効線量 } E = 0.11 \times H_a + 0.89 \times H_b$$

皮膚の等価線量は基本部位の線量計と頭頸部の線量計から得られた70 μ m線量当量のうち、高い方を採用します。

眼の水晶体の等価線量は、眼に近い位置にある頭頸部の線量計から得られた1 cm線量当量と70 μ m線量当量のうち、高い方を採用します。

まとめると体幹部不均等被ばくにおける実効線量及び各等価線量は表2のように算出されます。

表2 体幹部不均等被ばくの線量算出方法

防護量	算出方法
実効線量	式(1)のとおり
皮膚の等価線量	基本部位の線量計と頭頸部の線量計のうち70 μ m線量当量の高い方
眼の水晶体の等価線量	頭頸部の線量計の1 cm線量当量と70 μ m線量当量のうち高い方
腹部表面の等価線量(女子)	腹部の線量計の1 cm線量当量

(次回は局所被ばくにおける線量の算出方法について) 解説します。

お 願 い

ご連絡の際は、事業所番号を！

（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

お客様サポートセンターへお問い合わせいただく際は、事業所番号をお伝えください。またご着用者についてのご連絡は、併せて個人番号をお伝えください。

弊社では事業所番号と個人番号でお客様の

情報を管理しています。事業所番号は「登録変更依頼書」「外部被ばく線量測定算定報告書」の左上、「請求書」の右上に記載されています。

正確なバジサービス提供のため、何卒よろしくお願いいたします。

製品紹介

〔新型〕ハイブリッドサーベイメータ

RaySafe 452



半導体とGM管の技術を組み合わせで開発された新しいサーベイメータ『RaySafe 452』の登場です。1台で様々な測定環境に対応することが可能です。その高い可能性や簡便性は、お客様のコスト削減、生産性向上を実現します。



●様々な測定用途にご使用いただけます。

- ・ X線装置からの漏洩線量測定
- ・ 管理区域の漏洩線量測定
- ・ 撮影室内の散乱線測定
- ・ 表面汚染の検出
- ・ 環境放射線測定
- ・ 非破壊検査用X線管の線量測定など

製品情報はこちら



お問い合わせ：営業部 Tel.029-839-3322

編集後記



トップコラムで一次粒子が物質と核反応を起こし、二次粒子を生成するお話がありました。校正前の原稿を読ませていただいた2月、ちょうど畑にジャガイモを植える準備をそろそろ始めようと考えていました。

植えた1個のジャガイモが一次粒子で土の中で核反応が起こり、いくつかの二次粒子として新たなジャガイモが初夏に生まれ

てくる。核反応は土の状態が変わります。土質、水分、pH、養分などの条件で二次粒子の大きさや数が変わってきます。ジャガイモは弱酸性の乾燥土壌を好み、肥料をやりすぎると葉ばかり大きくなってイモが大きくなりません。初夏にはかわいい白い花が咲き、すこし深めの大きいプランターでも栽培できます。冷蔵庫の中で芽が出てしまったジャガイモは、捨てずに植えてみてはいかがでしょうか。（T.Is.）

長瀬ランダウア(株)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.545
2023年〈5月号〉

毎月1日発行 発行部数：41,700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
浅川 哲也