

- トップコラム/名古屋大学博物館館長 教授 吉田 英一
- イッテルビウム光格子時計を用いた長期運転の実現と国際原子時の校正/  
〔シリーズ3〕光格子時計を用いた国際原子時の校正
- 水晶体の評価方法やそのガイドラインについて/  
〔その2〕眼の水晶体の放射線防護に係るガイドライン
- お願い/登録変更依頼書のご返送について
- 製品紹介/〈microSTARii〉medical dosimetry system

ト  
ツ  
プ  
コ  
ラ  
ム  
225



吉田 英一

## 球状コンクリーションと地層処分

私の研究分野は‘自然現象から学んだ’地球科学的プロセスを工学的に応用する「応用地質学」である。ここでは、自然現象の1つである‘球状コンクリーション’と、その究極的とも言える岩石空隙シーリングプロセスの「放射性廃棄物地層処分」への工学的応用について述べてみたい。

球状コンクリーションは、炭酸カルシウム(カルサイト:  $\text{CaCO}_3$ )を主成分(約50%)とする球状体の岩塊であり、そのサイズは数センチ~数メートルと様々である(写真)。世界中の数億年前~現在までの堆積岩中から発見され、また保存良好の化石を内包し、その存在は約一世紀も前から地球科学の分野では知られていたものである。しかし、どのように形成されるのかなどのメカニズムは不明のままだった。近年、我々名古屋大学の研究グループによって、その形成メカニズムが明らかとなってきた。そのプロセスとは、内包される生物の有機炭素成分と、堆積物中の隙間水に含まれる海水由来のカルシウムイオンとの急速な沈殿反応で形成されるというものである。直径1メートルサイズでも数年程度で形成されることが解ってきた。海に棲む生物が死に、海底で堆積物に埋もれて腐っていくにつれ有機質部分が分解し、放出される炭素成分とカルシウムイオンが反応し、まるでカプセルのように自分を包み込みながら丸く成長するという仕組みである。例えば、世界的にも有名な産地の1つである北海道のアンモナイトもコンクリーションである。急速にコンクリーション化することから保存は非常に良好となる。

実は、これまで数十年もの間、コンクリーションは内包される化石殻の炭酸カルシウム成分の再沈殿によるものと考えられていた。それは、地学教科書にも記載されていたほどの‘既成概念’だったと言える。しかしそうであるなら、内包される化石は溶けているべきで、保存良好なはずがない(現在は、教科書等も修正されている)。コンクリーション中の

化石が保存良好なのは、急速に沈殿したカルサイトが堆積物の細かい隙間を充填・シーリングし、外部との化学反応を遮断するためである。このシーリングプロセスは急速かつ長期的に安定な化学的・物理的性質を有するため、地下トンネルなどのコンクリート構造物修復や、石油掘削、二酸化炭素貯留(CCS)及びLPガス備蓄等地下空間利用に伴うボーリング孔の長期シーリングといった工学技術にも応用可能である。現在、このコンクリーション化を応用したシーリング新素材を民間と共同開発し特許を申請中(公知済み)である。

コンクリーションに着目した理由もそこにある。非常に短時間で生じ、かつコンクリートよりも長期に渡って物質を隔離できる自然のプロセスを「地層処分」に応用できないか、というのが発想のスタートである。研究当初、我々もこれほど速くコンクリーションが形成されるとは思いもよらなかった。地層処分は、地下数百メートルよりも深い地下環境に放射性廃棄物を数万年以上、隔離・処分するものである。数万年以上もの間、放射性廃棄物を安全に隔離するためには自然の仕組み、隔離機能に委ねるしかない。



約5000万年前の地層から産出したコンクリーション  
(ニュージーランドの南島・モエラキ海岸)

コンクリーションは、近年、火星探査機によって火星の堆積岩中からも発見された。鉄を主成分とするものであり、火星の水の存在や古環境の理解のみならず地球外生命探査の観点からも注目されている。コンクリーションは、地球だけでなく、太陽系や宇宙に関することも含め、これからもいろいろな自然の‘不思議さ’を私たちに教えてくれるに違いない。

よしだ ひでかず (名古屋大学博物館館長 教授)

プロフィール●宮崎県生まれ。名古屋大学大学院理学研究科修了。核燃料サイクル開発機構(現・日本原子力研究開発機構)主任研究員を経て、2010年より名古屋大学博物館資料分析系教授。現在、名古屋大学博物館館長。専門は、環境地質学・応用地質学。とくに岩石や鉱物と地下水(水)との相互反応に伴う元素移動現象をテーマに、岩盤中の割れ目修復などの工学的応用化研究を進める。

# イッテルビウム光格子時計を用いた長期運転の実現と国際原子時の校正

## (シリーズ3) 光格子時計を用いた国際原子時の校正

産業技術総合研究所 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門 時間標準研究グループ 小林 拓実



### 1. 国際原子時の校正

国際原子時 (International Atomic Time:TAI) および協定世界時 (Coordinated Universal Time:UTC)と呼ばれる世界の標準時が、パリにある国際度量衡局 (Bureau International des Poids et Mesures:BIPM) によって維持、供給されています。図にTAIや、UTCの生成方法を示します。まず、世界各国約70の研究機関の約400台の原子時計のデータを使って、自由原子時 (Echelle Atomique Libre:EAL)という時刻が生成されます。このEALは、秒の定義であるCs原子時計が刻む時刻からずれており、Cs原子時計に合うようにずれを補正して、TAIが生成されています。現在、世界の複数台のCs原子時計がこの役目を担っており、1次周波数標準器と呼ばれています。UTCは、7月号で話しました「うるう秒」をTAIに足すことで生成されています。このUTCが各国の標準時の基準になっており、私たちの生活に密接に関わっています。

TAIの校正は、Cs原子時計の重要なミッションです。もし秒の定義が改定された場合、次の原子時計もTAIを校正する必要があります。実際に、国際度量衡局で開催されたメートル条約関連会議において、秒の定義改定に向けた条件の1つに、TAIへの定期的な貢献が挙げられました。また、この準備段階として、次の定義の有力な

候補である光格子時計と単一イオン時計は、既にTAIを校正することができる体制が整えられています。

TAIのような国際的な標準時を維持する際に考慮しなければならないのは、遠距離での時計の比較です。これは人工衛星を経由して行います。人工衛星を用いた比較は、ノイズが大きく、長時間かけて平均化しないと、意味のある時計の信号を取り出すことができません。現在のCs原子時計を用いた校正では、約1ヶ月の平均化処理を行っています。そのため、最低でも1ヶ月は時計を稼働させる必要があります。

前号で話したように、光格子時計は複雑な装置であるため1ヶ月以上動かすのは、まだ容易ではありません。産業技術総合研究所では、光格子時計の長期稼働を目標に研究をしています。

### 2. 光格子時計の長期運転に向けて

光格子時計の長期運転の実現に向けて、どのような工夫

を行っているのか、簡単にご紹介します。7月号で話しました光周波数コムを利用しています。これは、光周波数を計測するカウンターの役割を果たしていますが、レーザー制御に用いることもできます。産業技術総合研究所では、光格子時計のレーザー制御専用の光周波数コムを開発し、光周波数コム1台で、複数台のレーザーを制御しています。光周波数コムによる制御は、ユーザーにとって使いやすく、また長期間の堅牢性を確保できます。しかし、限界もありまして、たまに地震などの振動が起きると、レーザー制御に失敗してしまいます。失敗すると、人間の手で調整して、再スタートする必要があります。昼起きている時間帯であれば、それほど苦ではありませんが、深夜に地震が起きると大変です。この問題を回避すべく、FPGA (Field Programmable Gate Array) などのデジタル回路を使って、自動でレーザー制御をやり直す工夫も行っています。

### 3. 今後の展望

光格子時計の長期運転が実現した暁には、TAIへの貢献をスタートする予定です。また、光格子時計の長期運転が可能になると、新しい物理の探索が可能になることが期待されています。例えば、ダークマターの探索実験が挙げられます。天文観測からダークマターという正体不明の物質が存在していることは確実にされていま

すが、未だ直接的に検出されていません。ある理論によると、ダークマターが地球を通過すると、原子時計の周波数がわずかに変化することが予想されており、光格子時計を用いた探索実験が行われています。ダークマターがいつ地球を通過するのか予測することはできないので、光格子時計を常に連続稼働させておくのは重要ではないかと思っています。

アインシュタインの一般相対性理論によると、時計の周波数は重力によって変化します。そのため、光格子時計のような高精度な原子時計を使うと、重力の精密測定が可能になり、新しい測地学の分野を切り開くことになります。光格子時計を実験室外に持ち出して運転する必要があり、非常にチャレンジングな研究になりますが、光格子時計の長期運転に向けて培われた技術をこの研究にも応用できればと思っています。

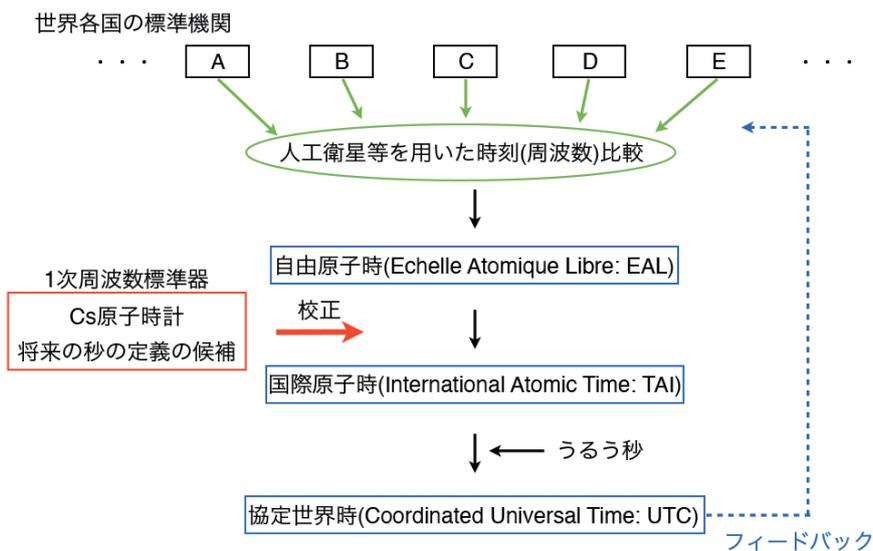


図 世界の標準時の生成原理

## 水晶体の評価方法やそのガイドラインについて

### (その2) 眼の水晶体の放射線防護に係るガイドライン

藤田医科大学 横山 須美



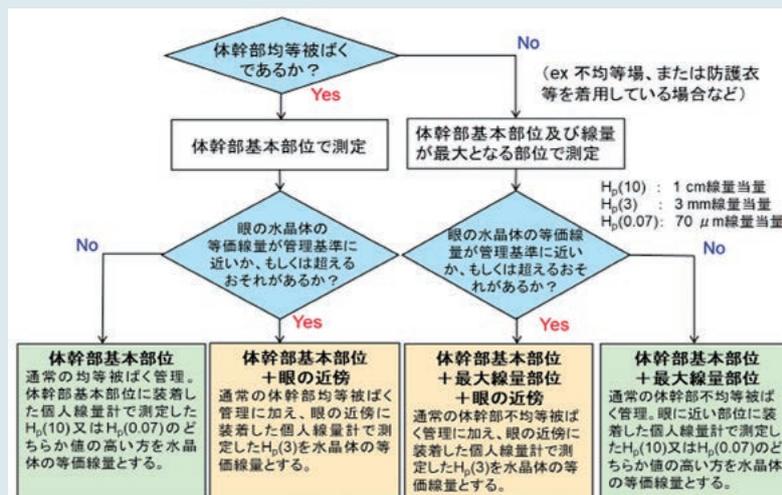
2019(平成31・令和元)年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業では、重点テーマとして放射線規制関係法令の運用に係る共通の課題の調査研究の実施が挙げられた。特に、計画被ばく状況下における職業人の眼の水晶体の等価線量限度の取り入れに関するガイドラインの作成が重要であるとされた。当該研究事業において、筆者らは、「円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成」と題し、課題に取り組んだ。そして、関連する2つのガイドラインを準備した。

まず1つは、放射線・放射性同位元素等を取り扱う事業所の管理責任者等を対象とした眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインである。眼の水晶体の等価線量限度に関する法令が改正されると、線量限度が現行の150mSv/年から5年間で100mSv、かつ1年間で50mSvとなる。これは、等価線量か、実効線量かで違いがあるが、実効線量限度と同じ値である。また、眼の水晶体の等価線量を算定する実用量として、現行法令で定められている1cm線量当量と70 $\mu$ m線量当量に加えて、3mm線量当量による算定が可能になる。さらに、算定する部位について、「眼の近傍」が追加される。どのような状況において、どの実用量を用いて、どの部位で眼の水晶体の等価線量を算定するかを判断することはこれまで以上に複雑となる。今回の法令改正とは直接関係がないが、眼の水晶体の等価線量を算定する際に、実効線量の算定と照らして問題がないようにもしておく必要がある。実際の作業場においては、全身が一寸も変わらず均等に被ばくするケースはまれである。眼の水晶体の等価線量を厳密に算定しようとすると、従事者全員が眼の近傍に線量計を着用する必要がある。しかし、それは実際的ではない。実際の作業場での測定や実験データ等から各作業場の実態を把握し、文献等を踏まえ、いかに法令を遵守し、適切な管理が行えるかを考えておく必要がある。そこで、モニタリングのガイドラインでは、に示すよう眼の水晶体の等価線量を算

定するため、「均等被ばく管理」か、「不均等被ばく管理」かで場合分けをし、さらに、それぞれの管理下において、眼の水晶体の等価線量が「管理基準に近いか、もしくは超えるおそれがあるか」かどうかでモニタリングを判断する方法を示した。この根拠等は解説に、具体的な事例等は例題に付記した。判断基準となる線量レベル(管理基準)は、事業所により状況が異なることから、数値を示すことはせずに、参考となる考え方や数値レベルを解説等に示し、事業者が判断するものとした。

もう一つのガイドラインは、眼の水晶体の被ばく管理を中心とした医療スタッフの放射線安全管理に係るガイドラインである。医療分野では、放射線審議会等でも、線量管理の徹底が指摘された。これは、眼の水晶体の被ばくに限ったことではない。放射線診療の手法は診療科ごとに開発されてきた経緯がある。このため、診療科によって、放射線防護に関する情報量や臨床現場での放射線安全

への配慮が大きく異なる。そこで、大野和子先生(京都医療科学大学)が中心となり、わが国初となる診療科を横断した医療スタッフの安全に特化したガイドラインを作成した。ガイドライン作成には20の学協会が参加するとともに、個人線量測定機関協議会等にも協力を得た。ガイドラインでは、医療



 眼の水晶体の等価線量算定のためのフロー

スタッフの中でも線量が高くなることが予想される検査・治療における防護衣、防護メガネの効果、立ち位置や装置の設定による被ばく低減方法を示し、解説を行った。歯科領域の放射線検査における放射線防護方法についても同様に、防護方法や被ばく低減方法が示された。この医療スタッフの安全管理のガイドラインでは、情報量が多くない診療科のスタッフでも受け入れが容易なように、を多用するとともに、平易な言葉で解説するなどの工夫をしている。

現在、各事業者は法令改正に向けて施設に合ったマニュアルや規定の準備を進めていることであろう。そして、法令改正後も、現場ではいろいろな課題に直面するだろう。両ガイドラインが、これらの課題解決の一助となることを願っている。そして、ガイドラインが活用されることにより放射線防護文化が醸成されることを期待している。

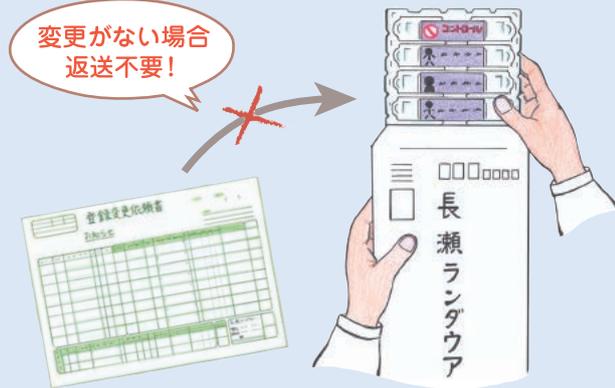
現在、各事業者は法令改正に向けて施設に合ったマニュアルや規定の準備を進めていることであろう。そして、法令改正後も、現場ではいろいろな課題に直面するだろう。両ガイドラインが、これらの課題解決の一助となることを願っている。そして、ガイドラインが活用されることにより放射線防護文化が醸成されることを期待している。

お願い

登録変更依頼書のご返送について

(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

「登録変更依頼書」は、バッジのご着用者に変更が生じた場合にご利用いただいております。登録内容に変更がない場合、「登録変更依頼書」を当社にご返送いただく必要はございません。測定依頼の際は、バッジのみご返却ください。また輸送中のバッジの保護のため、専用トレイに入れてご返送くださいますよう併せてお願いいたします。



製品紹介

microSTAR ii  
medical dosimetry system

- ★microSTARiiは、OSL (Optically Stimulated Luminescence) 技術を用いた線量計測定システムです。
- ★nanoDot線量計を測定するために設計されたポータブルリーダーです。
- ★測定時に加熱や窒素ガスが必要なく、家庭用100V電源さえあれば、施設内外のどこでも設置・測定が可能です。



画像は商品イメージです。実際の仕様とは異なります。



microSTARii本体

nanoDot線量計は、ルミネスバッジと同様の酸化アルミニウムを素子に用いています。X線画像に写らないため、放射線治療や診断時の患者線量の評価に適した最小のOSL線量計です。



nanoDot線量計

お問い合わせは営業課まで Tel. 029-839-3322

編集後記

数ヶ月前まで当たり前だった日常が、新型コロナウイルスの影響により仕事・学校等の生活が大きく一変した方が多かったのではないのでしょうか。そんな私も在宅勤務を経験いたしました。自宅で仕事をする事など考えたこともなく不

安の中で始まりましたが、いざ始めてみるとメリット・デメリットを実感しつつ私にとっては貴重な体験でした。今後もいつ何が起きるか分からない世の中で、働き方について見直されていく中、時代の変化にも対応していきたいものです。(To.I.)

9月のハッジデザイン



月見団子は地域によって様々な形があるそうですが、白く丸い団子が広く知られています。十五夜にちなんだ15個の団子をお供えするのが主流です。この団子を一段目に9個、二段目に4個、三段目に2個とピラミッド状に高く積み上げるのは、豊作祈願と収穫の感謝を実りの象徴である月に届けるという説が一般的なようです。

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](mailto: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.513  
2020年(9月号)

毎月1日発行 発行部数: 40,200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  
の場 洋明