

●トップコラム／徳島大学大学院

医歯薬学研究部放射線理工学分野 教授 阪間 稔

●放射線に強い生物の多様性／[第2回] *Rubrobacter radiotolerans*

●よくあるご質問にお答えします！／[その1] “M”、“M数”とは？

●お願い／登録内容の変更について

●製品紹介／ビジョンバッジ

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム
278

阪間 稔

最近の3D-CAD/CG、 すごいです！

CADとは、Computer Aided Designの略称、CGは、Computer Graphicsであります。3次元(3D)の付記でコンピュータ上の3次元空間に、この世に存在するオブジェクトから空想上もしくは建設予定まで、設計することができます。現在、私の研究活動の一つに放射線輸送解析PHITSを用いて、人体や次世代核融合炉を対象に放射線挙動を評価しています。正確な計算結果を得るには、オブジェクトを計算空間へ精密に3次元設計することが重要です。

3D-CADでは、Autodesk社のFusion(学生・教育機関は無償)を使っています。これは、2次元スケッチにてオブジェクトの断面像を作図し、フィーチャー編集(押し出しや回転など)することで、3次元トポロジーを設計します。体積ソリッド形状、面のみのサーフェス形状、粘土のように成形するスカルプト形状、三角や四角形表面形状を貼り合わせるポリゴンメッシュ形状、これら相互で設計することができます。

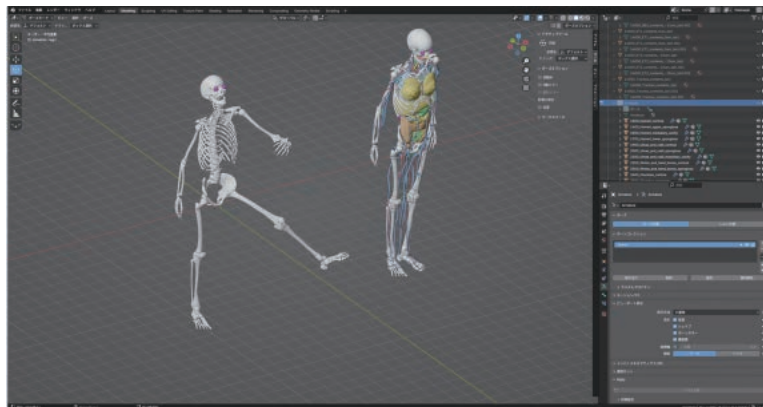
3D-CGでは、Blenderを使っています。Blenderは、高機能で動作が安定しています。全機能が無償で使用でき、アマチュア層で広く浸透しています。操作の基本は、三角や四角形のポリゴンサーフェスを扱い、トポロジー形状表面の

頂点、辺、面といった概念を把握することが必要です。人体四面体構造メッシュファントムMRCPS(ICRP Pub.145)を扱うことができます。ファントムは、皮膚や骨格、内臓などを、細かな三角ポリゴンサーフェスで構成されています。このトポロジー形状は立位姿勢のみの基本提供ですが、人体が放射線を受ける姿勢は、各関節を屈伸させた様々な姿勢をとる変形を伴うことから、その修正にBlenderが活躍します。

PHITSを含む世界中のあらゆる放射線輸送解析計算では、オブジェクトを取り込むためにサーフェスメッシュの内部構造に対して、三角形面で構成される四面体構造ボリュームメッシュ化を行わなければなりません。一般的な流体・応力解析計算で適用されるボリュームメッシュ化では、多少のサーフェスメッシュ不具合、つまりメッシュ同士またそれ自体が重なり合う交差があっても正常に計算が実行されてしまうが、放射線輸送解析ではこのような不具合は一切許可されません。これは、放射線の発生から物質との相互作用、エネルギー付与に至るまでの物理現象を、厳密に追跡していることに関係します。また、オブジェクト同士が接触する境界面は、必ず同じサーフェスを共有することも重要

です。このような不具合を未然に防ぐためにも、3D-CAD/CGでの編集が重要です。

近年、3D-CAD/CGの利用拡充は、今のPCマシンが世代前スパコン並みのCPU処理性能・画像処理GPU技術の革新に帰属します。一方、この延長でAI技術が急速に進展し、自動で



Blender上での人体ファントム編集画面

3D-CAD/CGモデリングする事例が出始めています。しかし、研究者自身でモデリングする独創性を忘れてはいけないと考えています。

.....

さかま みのる

徳島大学大学院 医歯薬学研究部放射線理工学分野 教授

プロフィール ●神奈川県出身。2000年東京都立大学大学院核・放射化学研究室(中原弘道・海老原充研究室)博士課程単位取得退学後、同年徳島大学の助手として着任。永目諭一郎博士(JAEA)のもと、オンライン同位体分離器による中性子不足アクチノイド領域の新核種探索(Am-233)で博士(理学)(2004年)学位取得。ここで培った核化学的研究手法が、現在、教育研究の基礎となっている。

放射線に強い生物の多様性 (第2回)

Rubrobacter radiotolerans

東洋大学 生命科学部 学部長 生命科学科 放射線微生物学研究室 教授 鳴海 一成



今回は現在確認されている生物の中で最も高い放射線耐性を示す*Rubrobacter radiotolerans*のお話をいたします。

*Rubrobacter radiotolerans*は、抗生物質生産菌や嫌気性乳酸菌などが含まれるActinomycetota門に属するグラム陽性好気性短桿菌です(写真)。1973年に鳥取県三朝町を流れる三徳川の河川敷にある三朝温泉の名物「河原風呂」の温泉の注ぎ口に形成されていたバイオフィームから分離されました。分離された当初は*Arthrobacter radiotolerans*と命名されましたが、1989年に16S rRNA系統解析などから属名が変更され、現在は*Rubrobacter radiotolerans*と呼ばれています。*Rubrobacter radiotolerans*の学名は、「放射線に寛容な赤色の桿菌」という意味をもちます。標準株であるP1株の10%生存率をもたらすガンマ線の線量は25 kGy付近であり、前回紹介した*Deinococcus radiodurans*よりも更に高い放射線耐性をもつことが知られています。至

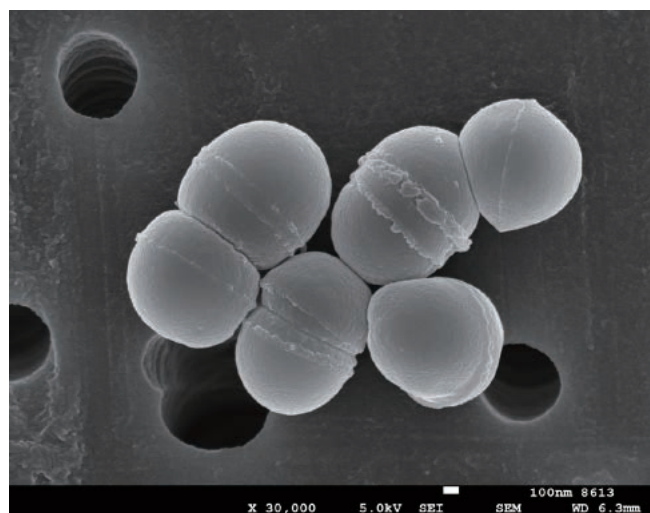


写真 *Rubrobacter radiotolerans*の走査電子顕微鏡像

適生育温度は47℃前後で、中等度好熱性という特徴もっています。2012年にアメリカエネルギー省の合同ゲノム研究所でP1株の全ゲノム配列が決定され、ゲノムデータベースで公開されています。一般的な栄養培地での増殖速度がたいへん遅く、寒天培地上で目視できるコロニーを形成するまで20日間程度を要します。もともと温泉でバイオフィームを形成していた細菌なので、培地の組成によっては、液体培養中にほぐれにくい菌塊を形成し、均一な菌濃度の培養液が得られない場合があります。このため、*Rubrobacter radiotolerans*を宿主として用いた分子生物学的研究はほとんど行われておらず、自然形質転換能、すなわち外部からDNAを取り込む能力があるかどうかにもまだに不明のままですし、遺伝子操作系の開発も行われていません。

*Rubrobacter radiotolerans*は赤色のカロテノイド色素を生産します。主要な色素は、高度好塩菌*Halobacterium salinarum*などが生産する色素と同じbacterioruberin

であり、これが細胞表層脂質部分に局在し、活性酸素除去剤として機能していると考えられています。高い抗酸化作用をもつbacterioruberinは、食品、化粧品、医薬品産業での応用が期待されています。また、ショ糖密度勾配遠心法を用いて分析すると、放射線照射後の*Rubrobacter radiotolerans*のDNA鎖切断の数量は他の細菌に比べて少なく、切断されたDNAのサイズは元に戻らないとの研究結果の報告があります。さらに、マンガンイオンおよび適合溶質として機能するトレハロースの高い細胞内蓄積濃度が放射線耐性に関係しているとする論文もあります。これらのことから、*Rubrobacter radiotolerans*の放射線耐性は、DNA修復機構よりも、DNA損傷防御機構の高機能性に起因するのではないかと考えられています。

これまでに*Rubrobacter*属細菌には、*Rubrobacter radiotolerans*とは異なる菌種が10種類報告されています。台湾・南投県の廬山温泉から分離された*Rubrobacter taiwanensis*(至適生育温度が60℃)、イギリス・ウィルトンの絨毯製造工場の温廃水から分離された*Rubrobacter xylanophilus*(至適生育温度が50℃)、ポルトガル・ブラガのヴィラル・デ・フラデス教会の生物劣化した内壁から分離された*Rubrobacter bracarensis*(至適生育温度が28℃)、ポルトガル・アゾレス諸島サンミゲル島の温泉から分離された*Rubrobacter naiadicus*(至適生育温度が60℃)と*Rubrobacter calidifluminis*(至適生育温度が60℃)、地中海の海綿動物*Aplysina aerophoba*から分離された*Rubrobacter aplysinae*(至適生育温度が25℃)、ハワイ島の火山カルデラ付近の土壌から分離された*Rubrobacter spartanus*(至適生育温度が50℃)、インド洋の海成堆積物から分離された*Rubrobacter indicocéani*(至適生育温度が28℃)、南シナ海の深海底堆積物から分離された*Rubrobacter marinus*(至適生育温度が28℃)と、*Rubrobacter tropicus*(至適生育温度が28℃)です。また、兵庫県の有馬温泉から、*Rubrobacter taiwanensis*に性状が類似している*Rubrobacter*属細菌の新種AA3-22株が分離されています。

これらの*Rubrobacter*に属するすべての菌が放射線に耐性を示すのかどうかは不明ですが、*Rubrobacter taiwanensis*と*Rubrobacter xylanophilus*については*Rubrobacter radiotolerans*と同様にガンマ線に対して著しい耐性を示すことが報告されています。ゲノム解読が完了している菌も複数報告されているので、放射線抵抗性をもつ*Rubrobacter*属細菌に特異的な遺伝子群を他のバクテリアと比較解析することで、放射線耐性に重要な遺伝子が明らかになってくると思われます。*Deinococcus radiodurans*がもつ放射線耐性に重要な遺伝子で、*Rubrobacter radiotolerans*には存在しないものが少なからずあるため、放射線耐性に関する主要なメカニズムは両者の間で大きく異なっていると推察されます。

よくあるご質問にお答えします!

(その1) “M”、“M数”とは?

本シリーズはお客様に毎月お届けする外部被ばく線量測定算定報告書(以下、報告書という)や普段ご利用いただいているB-Web^{plus}サービスでよく目にする用語のうち、専門的で分かり難く、意味が明確に把握できてないという声をお聞きする用語をご説明・解説いたします。取り上げる用語につきましては、毎年恒例の「NLだよりのお年玉アンケート」や、お電話、メールでお問い合わせを頂いたものの中からご紹介いたします。弊誌では、これまでも定期的にQ&Aとして解説記事を掲載して参りましたが、今回はこれまで以上に分かり易く、詳しく説明するように努めます。

第1回目は“M”と“M数”についてご説明いたします。

“M”とは?

測定値(1 cm線量当量・3 mm線量当量・70 μm線量当量)や算定値(実効線量・等価線量)の欄に表示される“M”は、Minimumの略で、測定値や算定値が最小検出限界値未満であることを意味しています。最小検出限界値とは各線量計で測定可能な最小の測定値で、ルミネスバッジの場合、X・γ線は0.1 mSv(測定値が0.01 mSvの場合あり)、β線は0.1 mSv、中性子は0.2 mSv(NGタイプは0.1 mSv)となっています。この最小検出限界値に達しない場合、報告書に“M”と表示しています。そのため、“M”は線量が必ずしも0という訳ではありません。

例えば、ルミネスバッジのX・γ線の場合、最小検出限界値は0.1 mSvですが、その下の位を四捨五入して報告しておりますので、報告値が0.1 mSvの時、実際の測定値は0.05 mSv～0.14 mSvです。つまりこの場合の“M”は、業務上受けた正味の線量が0.05 mSv未満であったということになります。測定値が“M”であれば、業務上の被ばくはほとんどなく、適切に放射線防護がなされているといえます。言い換えれば、着用期間に被ばくした放射線量は、日常生活で受ける自然放射線と相違ないレベルであったということの意味しています。これは、体温計で測定した体温が0℃ではなく、平熱と比べて高くなか

ったということと同様、安全な領域であることを裏付けるものです。

なお、ルミネスバッジにつきましては、β線の測定値が最小検出限界未満の場合、報告書に表記しておりません。

算定値は、0.1 mSv単位で測定値を基に計算していますので、“M”であれば実効線量や等価線量は0.1 mSv未満であったということになります。

線量測定機関によっては、“M”ではなく、最小検出限界未満を“X”と表記しているところもあります。が、意味は同じです。

“M数”とは?

測定値や算定値の横に記載されているM数とは、それぞれの期間において、これまでに“M”という報告結果が何回あったかを表わしています。毎月ルミネスバッジを着用し、1年の間、毎月の測定結果が全て“M”であると、単年度計のM数は

「12」になります。

例えば、1年間で7月の実効線量だけが0.1 mSvだった場合、7月を含む四半期計の“M数”は「2」、単年度計の実効線量は「0.1 mSv、M数11」になります。さらに、7月の0.1

mSvに加え、11月の実効線量が0.3 mSvだった場合、7月や11月を含む四半期計の“M数”は「2」、単年度計の実効線量は「0.4 mSv、M数10」になります。

なお、弊社の測定サービスを利用している2023年度の着用者約25万人のおよそ78%の方の実効線量の“M数”が「12」でした。

*

前述のとおり、測定値や算定値の“M”は業務上の被ばくは低く、適切に放射線防護がなされている証左です。同様に“M数”は“M”が続くほど、理想的な防護体制が維持されていることになります。“M数”は5年累計や2021年以降の累計にも表示されますので、今後は測定値・算定値だけでなく“M数”に注目してみてください。

次回は「コントロールバッジ」についてご説明いたします。

線種 及び 積算	測定値						エネルギー
	1 cm 線量当量 (H1cm)	M 数	3 mm 線量当量 (H3mm)	M 数	70 μm 線量当量 (H70 μm)	M 数	
X・γ線 合計	M				M		
四半期計	M	2			M	2	
単年度計	M	10			M	10	
X・γ線 合計	M				M		

お願い

着用者の名義変更について

（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

「名義変更」とは、お送りしたバッジの名義を、新たな着用者に変更し、継続して使用することです。名義変更により新たな着用者は、従来の着用者とは異なる個人番号で登録され、測定データ等も別々に管理されます。

人事異動等によりバッジの着用者に変更がある場合、「名義変更」の手続きをすることで、追加費用がかからずにご着用することができます。

【名義変更の手続き】

●バッジと同一着用期間の「登録変更依頼書」にてご連絡いただくか、B-Web^{plus}よりご登録をお願いいたします。

【ご着用の注意】

●バッジを複数人で着用することはできません。
●「登録変更依頼書」の＜登録内容変更締切＞に記載されている日時を過ぎてご連絡いただいた場合、翌月も前任者名義でバッジが届きます。ただし測定データは新たな着用者として管理されますので、そのままご着用いただけます。

製品紹介

ビジョンバッジ®



2021年4月から眼の水晶体の等価線量限度が 50 mSv/1年かつ100 mSv/5年に引き下げられました。ビジョンバッジは防護メガネによる遮へいの効果を反映した眼の水晶体の3 mm線量当量を測定するために開発された個人線量計です。検出素子にはTLD素子を使用しています。眼の水晶体の等価線量限度を超過する恐れのある方は、ビジョンバッジのご着用をご検討ください。

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

ご案内

日頃より、弊社広報誌「NLだより」をご愛読いただきまして、厚く御礼申し上げます。

さて、弊社にて毎月バッジと共に「NLだより」をお届けしておりますが、SDGsへの取り組みの観点から、この度「NLだより」の送付について、見直しをさせていただく運びとなりました。つきましては、誠に心苦しいのですが、2025年4月号から「NLだより」の送付部数を1部のみとさせていただきます。なお、弊社ホームページに、毎月「NLだより」を掲載しております。2006年（平成18年）4月号から最新号まで閲覧することが可能です。今後はそちらをご活用いただければ幸いです。

https://www.nagase-landauer.co.jp/nl_letter/index.html

お知らせ

お年玉アンケートにて、毎年、多くの読者の方から「放射線の基礎知識について知りたい」と、ご要望をいただいております。こちらにつきましても、弊社ホームページに掲載しておりますので、ぜひ、ご活用ください。

<https://www.nagase-landauer.co.jp/faq/index.html>

編集後記



今月号のトップコラムの中でお話がありましたCADやCGの技術は、今では日常生活の中に当たり前存在し、ごく自然に目にしています。CG技術が進化してきたことにより、私たちの生活は大変便利になりました。例えばインターネットで服を購入する時、バーチャル試着を利用して着用イメージを確認したり、また家具

の購入時にはサイズ感や色合い、レイアウトなども確認することができます。今まで購入前に頭の中でアレコレ考えていたことが、CG技術の便利なツールを使用することで、簡単に視覚化できる時代となりました。すごく便利ですね！これからさらに技術開発が進み、私たちの生活に新たな驚きや便利なツールが生み出されることでしょう。この先の進化が楽しみです。（M.Y.）

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

■弊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.566
2025年（2月号）

毎月1日発行 発行部数：44,600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 浅川 哲也