

●トップコラム／原子力安全研究協会研究参与、株式会社HATC COO
小川 喜弘

●ミューオン科学の進展／〔その1〕

ミューオンの基本的な性質と宇宙線ミューオンラジオグラフィ

●わかりやすい放射線の基礎／〔第4回〕放射線の健康への影響

●お願い／ルミネスバッジが届かない!?

●お知らせ／令和3年度 放射線安全取扱部会年次大会（第62回放射線管理研修会）

●ちょっと知っ得／へエ〜知らなかった!

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム

236



小川 喜弘

原子力から情報そして環境・まちづくり、最後に原子力

令和3年3月に40年以上お世話になった近畿大学を退職しました。近畿大学理工学部原子炉工学科を卒業後、大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻前期課程を修了し、近畿大学に就職しました。近畿大学では、理工学部原子炉工学科に20数年、理工学部情報学科に約10年、総合社会学部環境・まちづくり系専攻に10数年所属しました。大学内のいろいろな学部学科に所属しましたが、これは新しい出会いや発見の場であると常に考えました。

研究に関しては、原子炉工学科では専門の原子炉物理や原子力工学だけでなく保健物理や放射線管理を、情報学科ではネットワークやスーパーコンピューターを用いたシステム開発を、環境・まちづくり系専攻では地理情報システムを用いたコミュニケーションを研究テーマとしましたが、対象は必ず原子力や放射線でした。

原子力を勉強したい学生さん、コンピュータやゲームが好きな学生さん、数学や理科は嫌いだが環境問題に興味のある学生さんと一緒に研究に携わることで、教育に関していろいろな経験をさせていただきました。

このように、いろいろなことを経験できる機会を与えていただいた近畿大学には感謝しております。

退職後は、今までの経験を活かして「モンテカルロシミュレーションによる放射線治療施設設計の最適化」というテーマで研究を進めています。その一端をここでは紹介させていただきます。

現在対象としている放射線治療装置は、サイバーナイフとトモセラピーです。ロボットアームに小型のリニアック(6MeVに加速した電子線を標的に衝突させることによりエ

ックス線を発生する装置)を載せた放射線治療装置であるサイバーナイフは、標的的位置をリアルタイムに検出し、約100から200点の多方向からエックス線を照射することによって、効果的ながん治療を実施することが可能です。トモセラピーは、画像診断用CTとよく似た外観で、内部に小型のリニアックが組み込まれています。治療台を動かしながら、6MeVのエックス線を360度方向から連続回転しながら照射することによって、がんの病変部だけに集中した照射をすることができます。

この6MeVのエックス線を用いた放射線治療装置は、厚さ約2mのコンクリート壁と迷路のような構造からなる治療室内に設置されています。このような治療施設からの漏えい線量を精度よく計算することが、遮へい設計の最適化、すなわち建設コストや使用時間に大きな影響を与えます。

放射線を利用した治療施設からの従来の漏えい線量評価は、簡易計算式や経験式を用いて行われてきたため、過剰な厚さのコンクリート遮へいや追加鉄板などを必要とせざるを得ませんでした。遮へい設計を最適化するためには、形状の詳細な取り扱いや実際の放射線装置の使用方法を考慮した遮へい計算を行うことが必要です。この問題を解決するための方法として、モンテカルロ法による3次元の輸送計算コード(PHITS)を用いて解くことが考えられますが、モンテカルロ法固有の課題である十分な統計精度を得るためには膨大な計算時間を必要としていました。

今日、「富岳」に代表されるような数千台のコンピュータを用いたシステム(スパコン)を利用することで、計算時間を大幅に短縮することが可能となり、合理的な計算時間内でモンテカルロ法による施設からの漏えい線量評価の精度を改善することができるようになりました。具体的には、1,000台のコンピュータを用いた並列計算を行えば、10日程度必要であった計算が、数時間で実行することができます。

計算結果の精度向上にともない、遮へいコンクリートの厚さを適切に評価することができ、施設設計の最適化や建設コストの大幅な削減が可能となりました。今後は、スパコンとPHITSコードを用いたモンテカルロ計算をいろいろな放射線治療装置へ適用していく予定です。

おがわ よしひろ (原子力安全研究協会研究参与、
株式会社 HATC COO)

プロフィール●大阪市生まれ。近畿大学理工学部、大阪大学大学院工学研究科前期課程で原子炉物理を学んだ後、1980年4月近畿大学理工学部に着職。1994年から1995年MIT原子炉研究所で外来研究員。2021年3月近畿大学退職。現在、スパコン・シミュレーション・深層学習をキーワードに放射線遮へい計算、フォトグラメトリによる3Dモデリングとハワイ語の自動翻訳を研究中。

ミューオン科学の進展 [その1]

ミューオンの基本的な性質と宇宙線ミューオンラジオグラフィ

大阪大学大学院理学研究科 助教 佐藤 朗



はじめに

最近、「ミューオン」がニュースや新聞等で取り上げられる機会が増えてきました。しかし、多くの方にとってミューオンはまだ馴染みのない存在です。そこで、本シリーズでは2回の連載に亘ってミューオンとそれを使った研究や応用についてご紹介したいと思います。第1回目は、ミューオンの基本的な性質と宇宙線ミューオンを使った透視技術を取り上げます。

ミューオンとは

ミューオンは、宇宙を構成する基本粒子「素粒子」の一つです。表にいくつかの粒子の性質をまとめました。ミューオンは、同じレプトンに属する電子とよく似ており、簡単に言うと電子の質量を207倍重くしたものと考えていただければ結構です。ミューオンは、電子・陽電子と同じように-1または+1の電荷を持ち、また、自分より軽い電子とニュートリノ、反ニュートリノへと崩壊します。平均寿命は約2.2 μ sですので、実験で観測するのにちょうど良い時間スケールですし、崩壊するまでに様々な反応を起こすことができます。このような特徴を持ったミューオンは、素粒子原子核物理学のみならず、物性物理、非破壊元素分析や大型構造物の透視、核変換、核融合など様々な分野で活用することができます。

	e	μ	π	p
呼び名 ()内は反粒子	電子(陽電子)	ミューオン ^[注]	パイオン ^[注]	陽子(反陽子)
種類	レプトン	レプトン	メソン	バリオン
質量 [MeV/c ²]	0.510999	105.658	139.570	938.272
電荷 [e]	-1,+1	-1,+1	+1,0,-1	+1,-1
スピン	1/2	1/2	0	1/2
磁気モーメント [$\times 10^{-26}$ J/T]	928.476	4.49045	—	1.41061
平均寿命	無限	2.197[μ s]	26.03[ns]	無限
主な崩壊過程	—	$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_\mu \bar{\nu}_e$	$\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$	—
相互作用	弱い力、電磁気力、重力		強い力、弱い力、電磁気力、重力	

表 電子、ミューオン、パイオン、陽子についての基本的な性質の比較

ミューオンを使用するには、まずミューオンを生成する必要があります。後述するように陽子と物質との反応により比較的容易に大量のミューオンを生成することが可能です。しかも、その反応は皆さんの頭上でも絶えず起こっています。

宇宙線ミューオン

宇宙空間を超高エネルギーで飛び交う陽子やヘリウム原子核の一部が地球の大気圏に到達すると、大気上空で原子核と反応し、多数のパイオンを生成します。パイオンは即座に崩壊し、ミューオンが生成されます。ミューオンはパイオンよりも約100倍長い寿命を持つので、相対論的効果もあり、地表まで到達することが可能です。これが宇宙線ミューオンで、手のひらの大きさに1秒間に約1個の頻度で、今も皆さんの元へ

降り注いでいます。

図(a)は地上における宇宙線ミューオンフラックスの運動量依存性を示したものです。宇宙線ミューオンの運動量は数百 MeV/c をピークに 1 TeV/c 以上の高エネルギー領域まで分布しています。強い力を感じないミューオンは物質に対して高い透過力を持っています。図(b)は、粒子の飛程を比較したものです。高エネルギーの宇宙線ミューオンは数kmの厚さも貫通できるほどの優れた透過力を持ちます。これが大型構造物の透視を可能とするのです。

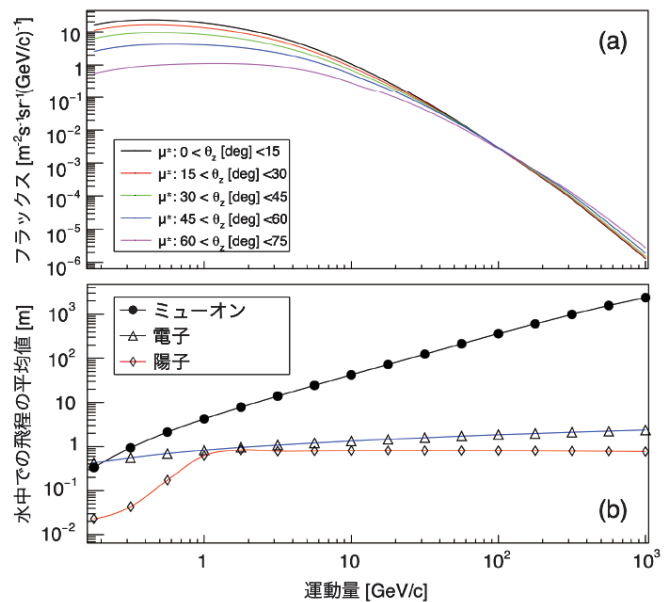


図 (a) 地上における宇宙線ミューオンフラックスの運動量及び天頂角依存。PARMAモデルで計算した。(b) ミューオン、電子、陽子の水中での飛程。入射粒子が消失した位置の平均値をGeant4で計算した。

宇宙線ミューオンによる大規模構造物の透視

ミューオンを照射して物体の画像を撮影することをミューオンラジオグラフィと呼びます。ミューオンイメージング、ミュオグラフィと言うこともあり、特に3次元画像が得られる場合にはミューオントモグラフィとも呼びます。ミューオンラジオグラフィは、「透過法」と「散乱法」の2種類に大別されます。ミューオン検出器を測定対象物の下手に置き、X線レントゲン撮影のように、宇宙線ミューオンが物質に遮られた陰影を撮影するのが透過法で、福島第一原子炉やピラミッド、火山などの透視に使用されてきました。一方、散乱法では、測定対象物の前後に検出器を配置することで、入射ミューオンが物質により散乱される様子を記録します。この情報から物質内部の散乱体の位置を同定し、内部物質の分布情報を持つ3次元画像を作成します。

現在、ミューオンラジオグラフィ技術を地中や海底の構造や資源、インフラ構造物の調査など、様々な領域に適用する検討が進められています。

[注] ミューオンは、ミュオン、ミュー粒子、 μ 粒子と呼ぶ場合もあり、また、パイオンは、パイ中間子、 π 中間子、 π 粒子と表記することもあります。

わかりやすい放射線の基礎

〔第4回〕放射線の健康への影響



東北大学名誉教授 工藤 博司

人体への影響

大量の放射線は確かに危険ですが、どのくらいで許容できるのでしょうか。「1ミリシーベルト (mSv) 以下なら安心だが、それを超えたら危険だ」とよく言われますが、本当はどうかを考えてみることにします。

図1に人体が“全身”に放射線を受けた(被ばくした)ときの線量 (mSv) と関連事象を示します。広島・長崎の原爆投下から75年以上にわたって蓄積された多くの科学的データの分析結果ですが、

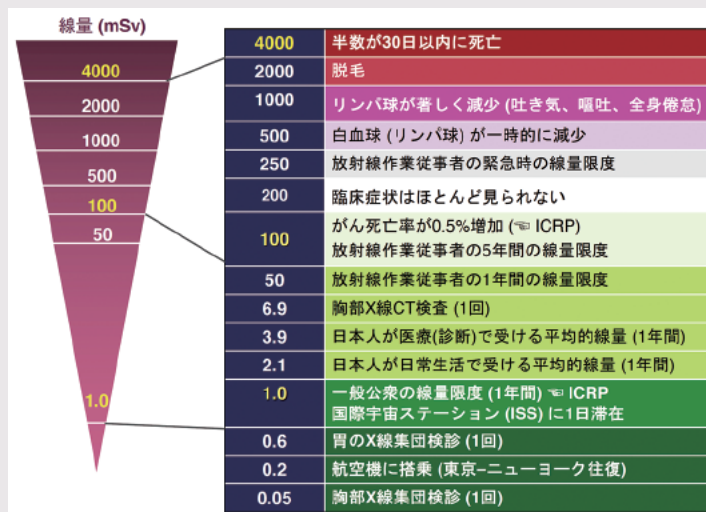


図1 被ばく線量(全身)と関連事象

200 mSvまでは影響の有無の明確な医学的知見は得られていません。しかし、500 mSvを超すと、白血球が減などの明らかな影響が現れます。4,000 mSvでは半数の人が30日以内に死亡します。被ばく線量が増えたと間違いなく危険です。

放射線による健康被害を防ぐことを目的とする

国際放射線防護委員会(ICRP)は、全身被ばくを100 mSv以下に抑えるよう勧告しています。これを受けて日本では、放射線を扱う職業人(放射線作業従事者)の被ばく限度を5年間で100 mSvと法律で定めています。公衆の許容線量として、ICRPは日常生活における被ばく(日本では年に約2 mSv)を除いて年間1 mSvという値を提示しています。これはあくまでも“安心”の目安であって、それを少しでも超えたら危険ということではありません。

同じ線量でも全身被ばくと局部被ばくとは臨床症状に大きな違いがあります。全身に4,000 mSvの放射線を受けると死に至りますが、皮膚の一部や指先の被ばくでは脱毛(3,000 mSv)や紅斑(5,000 mSv)のような症状が現れるものの、死亡することはありません。

医療による被ばく

日本人の医療被ばく(治療は含めない)は一人当たり年に約4 mSvと世界で最も高いのですが、それが世界でトップクラスの長寿国であることにもつ

ながっています。図2に示すように、X線断層診断(CT)では腹部で13 mSv、最近話題のPET(陽電子放出断層診断)では全身に3.5 mSvの放射線を受けます。PETでは、がん細胞に集まりやすい糖分子に放射性フッ素(^{18}F :半減期2時間弱)を付けた(標識した)放射性薬剤(FDG- ^{18}F)を被験者に注射し、 ^{18}F から出るガンマ線を測定してがんの位置を可視化します。その際、2億ベクレル(Bq)ほどの ^{18}F が全身を巡るので内部被ばくは3.5 mSvくらいになります。

がん治療での被ばくは60,000 mSv(60 Sv)とかなり高い線量に達します。全身被ばくなら死に至る線量ですが、何回かに分けて、がん細胞に焦点を絞って(数ミリメートル内に制御)放射線を当ててがん細胞だけを死滅させ、通常の細胞への影響(放射線障害)を極力抑えるように工夫されていますから過度の心配は要りません。とはいえ、医療被ばくのリスク低減に注意を払うことも大切で、その上で恩恵にあずかりたいものです。

診断時の被ばく		
	検査部位	線量 (mSv)
X線検査	胸	0.05
	胃	0.6
	骨	0.6
	腰	1.5
X線CT	胸	6.9
	腹	12.9
PET (190 MBq ^{18}F)		3.5
治療時の被ばく		
がん治療(局所)		60,000 mSv

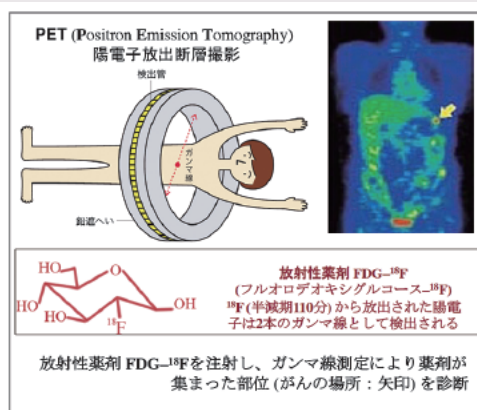


図2 医療による被ばくとPET診断の概要

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て、ルミネスバッジを継続的にお届けしておりますが、電話やFaxにて「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、未着の原因といたしまして、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の変更が生じた場合は、必ずご連絡をお願いいたします。

お知らせ

令和3年度 放射線安全取扱部会年次大会 (第62回放射線管理研修会)

開催日: 令和3年10月28日(木)、29日(金)

会場: WEB開催

参加費: 事前登録のみ 6,000円(学生会員 2,000円)

新型コロナウイルス感染拡大のため、今年度の年次大会もWEB開催となりました。担当は九州支部です。

プログラム概要(予定)

◆特別講演は、原子力規制庁から「放射線安全行政の現状について(仮題)」、また九州ならではの話題として、「熊本地震から5年~どのようにすれば災害・教訓を伝え続けられるか~」及び「超免疫不全マウスの生命科学研究への活用」の話題を紹介していただく予定です。シンポジウムでは「福島原発事故から10年」、「放射線施設の新設から廃止まで」及び「コロナ禍や法令改正における放射線施設のチャレンジング」のテーマで企画中です。ポスター発表はシンポジウムの中で、ショートプレゼンテーションとして演題を募集します。

【連絡先】

(公社)日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会事務局

Tel. 03-5395-8081 E-mail nenjitaikai@jrias.or.jp

・詳しくはホームページをご参照ください。

https://www.jrias.or.jp/annual_meeting/index.html

ちよつと知っ得 ? へエ~知らなかった!

お肉には何故、馬:さくら、猪:ぼたん、鶏:かしわ、鹿:紅葉のようにそれぞれ別称がついたのか。それは江戸時代前期のこと。当時豚や牛以外にこの4つの肉を食していました。江戸幕府第5代将軍徳川綱吉が戊年生まれで特に犬を愛護し、犬を殺した者に重刑に処したことから1685年「生類憐れみの令」を発令。動物を殺し食べることも売ることも禁止。急なことで肉料理屋は困り、考えたのが「薬屋」。当時の薬屋では、滋養強壮に効くとされる猪肉など獣肉を販売。そこで幕府にバレないように表は薬屋にし、肉を売る為、隠語で呼ぶようになったそうです。由来ですが馬肉は桜色なので桜、猪は並べ方が牡丹の花に、鶏は枯れた柏の葉に似ているから、また鹿は花札の絵柄がルーツとすることです。(諸説有り)。



さて、私の「知っ得」は今号でひとまず終了。お役に立ちましたでしょうか。今後ともNLだよりをよろしく願いいたします。(M.K.)

編集後記

先日、娘が歯科医院でレントゲン写真を撮影しました。パノラマ撮影と言われているもので口内の様子がよくわかります。今後生えてくるであろう歯の本数や歯茎の中の歯の様子など、目で見ることができないものが映し出されて大

変不思議がっておりました。昨今、科学館等では小さい子にもわかりやすく丁寧に身の回りの放射線についての展示や説明がされているように思えます。未だ勉強中の大人の私は工藤先生の「わかりやすい放射線の基礎」を目下熟読中です。(S.A.)

8月のバッジデザイン



8月のラベルは向日葵です。学名に使われているHelianthusには「太陽の花」という意味があるそうです。太陽の方角を向くことで有名ですが、これは茎に秘密があり若い茎の時にこのような現象が起こるのだとか。成長して茎が固くなると太陽を追いかけることはしないそうです。今年も太陽の光を浴びた大輪の花を見たいものです。

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

■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.524
2021年(8月号)

毎月1日発行 発行部数: 41,200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

発行人 浅川 哲也