

- トップコラム／高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 施設長 佐々木 慎一
- スーパーカミオカンデのこれまでとこれから／〔シリーズ2〕 カミオカンデが見る世界
- 個人報告書の見方
- お願い／「登録変更依頼書」へのご記入にあたり
- お知らせ／第56回 アイソトープ・放射線研究発表会
- お知らせ／2019年 製薬放射線研修会〔第21回製薬放射線コンファレンス総会〕

 ト
ツ
プ
コ
ラ
ム
210


佐々木 慎一

宇宙線量計測システムの 確立をめざして

最近、有人宇宙飛行に関する話題が多い。本稿を書いている3月には「スペースX商業宇宙船クルードラゴンの初フライト成功」、「NASA月周回基地計画へ日本参加」等が報道された。本稿では、これらの新たなフロンティアに思いを馳せながら、筆者のグループが開発してきた宇宙放射線線量計（以下、宇宙線量計という）について簡単に紹介したい。

有人飛行における障壁の一つに宇宙線被ばくがあり、端的に言うとな人の宇宙での滞在期間はその被ばく量によって最終的に制限されてしまう可能性が高い。一般人はこれからであるが、宇宙飛行士に対しては線量制限値が設定され、地上に比べて大きな値が取られている。それでも地磁気圏を超えた月や火星への長期有人飛行の場合には、制限値と同程度或いはそれ以上になることも想定される。太陽活動の変化等により宇宙放射線環境は大きく変化し、宇宙船構造体と宇宙線との衝突により発生する中性子や光子の量も変化する。被ばく線量やその変動を正確に把握することは今後の長期間宇宙滞在を可能にするために極めて重要で、能動型実時間線量計が必須となる。

宇宙放射線は、ISS (International Space Station) が飛行する地球低軌道（高度約300～500km）では、太陽系外からの銀河宇宙線、地球磁場に捕捉された陽子線、太陽活動によって生じる太陽粒子線が1次粒子線であり、地球外の場合には銀河宇宙線と太陽粒子線が主となる。これらは、電子や陽子、鉄核までの重荷電粒子から成り、エネルギーは最大10GeV/nに及ぶ。これに加えて先の中性子や光子の2次粒子線も存在する。従って、宇宙線量計で対象となる放射線は、電子、荷電粒子に加えて中性子や光子が含まれ、エネルギーも極めて広範である。地表では線種が既知な場

合が多くそれに感度を有する検出器を用いて線量評価できるが、宇宙ではそのようにはいかない。そこで、線エネルギー付与 (LET) と吸収線量 D を同時測定し、LET の関数として決定される線質係数 Q と D の積として求まる線量当量 H を決定する手法が取られる。これまで、JAXA・早大グループのRRMD-III等のSi検出器を用いたLETスペクトロメータが開発されてきたが、Si検出器は中性子に感度がなく組織等価でないことが欠点とされた。NASAのTEPCは組織等価物質で構成されるが原理上LETを測定できず、線量当量の推定には大きな誤差があると報告されている。

これに対して、我々のグループはJAXAと共同で位置有感組織等価比例電離箱 (PS-TEPC) と呼ばれる宇宙線量計を開発してきた。PS-TEPCは、並行平板電離箱構造を有し電極並びに検出媒体にはそれぞれ組織等価なプラスチック並びに気体を用い、電荷収集部にMicro-Pixel Chamber (μ -PIC) と呼ばれる微細2次元位置検出器を配置したTime Projection Chamber (TPC) である。 μ -PICは京大で開発され、同芯状のアノード (直径50 μ m)・カソード (同100 μ m) の電極対を400 μ m間隔で複数配置した構造を持ち、電極対で電子増倍された信号から生成電荷数の情報を、電極配置から入射放射線の位置情報を得るものである。時間情報を加えて入射粒子の3次元飛跡を構築し、同時測定された飛跡長とエネルギーからLET並びに吸収エネルギーを決定する。これまで宇宙線量計は簡便なもの好まれ、複雑なものは敬遠される傾向があるが、あえて最新の技術を導入してブレイクスルーを図った。試作を重ねて、高性能化、小型・軽量化を図り、最終的には有効検出部が26×26×50mmのフライト・モデルを完成させた。このモデルは2016年12月にISSに打上げられ、2018年4月まで運用が続けられた。打上げ前には増幅器関係の雑音対策に時間を要し打上げ後も幾つかのトラブルがあったが、計画期間を超えた運用が行え、現在データの解析が行われている。LET分布の測定精度が良いことから、宇宙放射線に対する実効線質係数を正確に導出できると考えられる。このことは宇宙における被ばく評価に重要な知見を与え、宇宙医学や生物影響の分野にも重要なデータになると期待したい。これからの有人飛行計画に寄与する線量計開発、線量計測システムの確立へと繋げて行きたいと考える。

ささき しんいち (高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 施設長)

プロフィール●東北大学大学院工学研究科原子核工学専攻博士課程修了。博士(工学)。文部省・高エネルギー物理学研究所助手、助教、高エネルギー加速器研究機構助教授、教授、同共通基盤研究施設放射線科学センター長を経て2015年から現職。総合研究大学院大学教授を兼任。専門は放射線物理学、放射線計測学。「放射線検出器とその応用に関する研究会」を長年にわたって開催し、昨年はその2回目の国際会議としてISR2018を開催した。

スーパーカミオカンデのこれまでとこれから

(シリーズ2) カミオカンデが見る世界

東北大学 ニュートリノ科学研究センター 教授 岸本 康宏



前回から、スーパーカミオカンデとニュートリノについて紹介しています。前回ではスーパーカミオカンデの沿革とその役割について記しました。今回は、スーパーカミオカンデの仕組みをお話します。

スーパーカミオカンデは、主にニュートリノという素粒子の性質を研究しています。ニュートリノについては、次回詳しく解説しますが、この粒子は「幽霊粒子」とも呼ばれています。このように呼ばれる理由の1つは、ほとんど物質と反応しない点にあります。このほとんど反応しない粒子を、スーパーカミオカンデはどのようにして検出しているのでしょうか。

図1を見てください。極わずかな確率ですが、ニュートリノは、私たちの体を作っている原子を構成する原子核や電子と反応します。この時、電子やミュオンなどの粒子をたたき出します。たたき出された粒子はエネルギーが高く、高速で運動します。特に、プラスやマイナスの電荷を持った粒子が水中で光速を超えて運動するとき、光が放出されます。この光はチェレンコフ光と呼ばれ、青色から紫外線に及ぶ光です。スーパーカミオカンデはこのチェレンコフ光を測定しています。

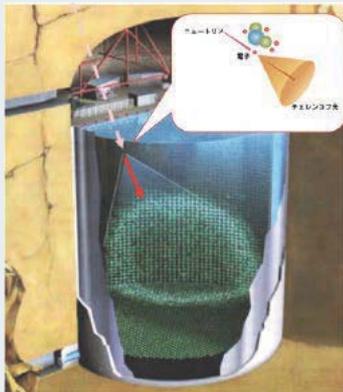


図1 スーパーカミオカンデ内での反応の概念図と反応の例

入射したニュートリノ(点線)が超純水と反応して、電子など(赤実線)がたたき出される(赤囲み内)。この時、チェレンコフ光が放射され、それがリング状の事象として検出される。

実は、この「水」と「チェレンコフ光」という組み合わせ、非常に良く考えられたものなのです。ニュートリノはほとんど反応しませんが、スーパーカミオカンデでは、この反応しない粒子のために、大量の水を用意しました。水は安全で、大量に用意できる上に、青から紫外線のチェレンコフ光を非常に良く透過します。つまり大量の水を用意しても、信号の光は劣化しません。更にスーパーカミオカンデでは、雑音の源である放射性不純物を削減するため超純水を用いています。超純水という、極めて高品質の水を大量に用意して、放出されるチェレンコフ光を検出するという意味で、水とチェレンコフ光の組み合わせは、ニュートリノ検出にとってベストマッチなのです。

更に、スーパーカミオカンデはもう1つのベストマ

ッチを使っています。それは、チェレンコフ光と光電子増倍管の組み合わせです。光電子増倍管は光センサーの一種で、青から紫外線の光に対して非常に高感度です。どのくらい高感度かという、月で懐中電灯を点滅させると、それを地球上で検出できるほど

です。スーパーカミオカンデでは、直径約50cmという世界最大の光電子増倍管を使用しています(図2)。スーパーカミオカンデでは、この光電子増倍管をなんと約11,000本使用して、ニュートリノのチェレンコフ光を捉えます。



図2 カミオカンデに使われている光電子増倍管

スーパーカミオカンデの特徴の最後の1つは、地下に設置した点です。大量の超純水を用意しましたが、「幽霊粒子」を捉えるためには、それだけでは十分ではありません。地上には、宇宙からの放射線(宇宙線)が降り注いでいます。皆さんの手のひらに一秒に1個位、ミュオンと呼ばれる宇宙線が突き抜けています。これが雑音となって、信号を覆い隠してしまいます。宇宙線から逃れるには、地下深くにもぐるしかありません。スーパーカミオカンデは、岐阜県飛騨市の池の山という山の下1,000m

の位置に設置されています。スーパーカミオカンデは、地下1,000mに膨大な量の超純水を満たし、高感度で世界最大の光電子増倍管で測定しています。稀に生じるニュートリノ信号は、リング状の特徴的な幾何学模様です(図3)。スーパーカミオカンデでは、この美しい信号からニュートリノの性質を研究しています。

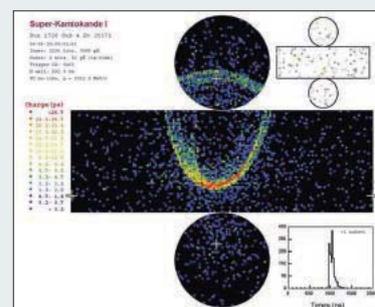


図3 スーパーカミオカンデによるニュートリノ信号の例(実際のデータ)

円筒形のスーパーカミオカンデを展開図として表している。小さな点1つ1つが光電子増倍管に対応しており、光の強度を色で表している。中央のリング状の構造が、ニュートリノによって生じたチェレンコフ光による信号。

う山の下1,000mの位置に設置されています。

スーパーカミオカンデは、地下1,000mに膨大な量の超純水を満たし、高感度で世界最大の光電子増倍管で測定しています。稀に生じるニュートリノ信号は、リング状の特徴的な幾何学模様です(図3)。スーパーカミオカンデでは、この美しい信号からニュートリノの性質を研究しています。

個人報告書の見方

外部被ばく線量測定算定個人報告書(以下、報告書と言う)の名称ですが、NLだよりNo.493、494に掲載した「線量測定サービス事業者向け試験所認定制度」取得のため、2018年11月着用以降の報告書のタイトルには「算定」の言葉を挿入し、今後は認定シンボルを報告書に記載します。

報告書は、放射線業務従事者の被ばく線量の測定値、算定値および過去の被ばく線量の集計値等を関係法令に基づき個人に通知する書類であり、その見方を説明いたします。

着用期間の測定値について

着用期間における放射線種毎の被ばく線量および積算期間(四半期計、単年度計)の積算値を記載しています。

①注記

評価に影響する支障等は記号で表示しています。記号の意味は報告書の裏面または当社HP等をご参照ください。

②測定値区分

【H1cm】 身体表面から深さ1cmの位置における線量当量です。主に実効線量の評価に使用。

【H70 μ m】 身体表面から深さ70 μ mの位置における線量当量です。主に皮膚組織の等価線量の評価に使用。

③測定値：線種

【X \cdot γ 線】 X \cdot γ 線による被ばく線量(H1cm、H70 μ m)を表記しています。なお、測定

値が最小検出限界値未満の場合はM(Minimum)と表示。

【 β 線】 H70 μ mのみを測定しています。なお、リングバッジを除き全てのバッジで常に β 線による被ばく線量を測定していますが、被ばく無しの場合、報告書は空欄としています。但し、リングバッジは線種分離用フィルタが無いので、「X \cdot γ 線」または「 β 線」のいずれかで評価することを選択します。 β 線を選択した場合は全く被ばくがなくてもMと表示されます。

【熱中性子、高速中性子】 中性子線のエネルギーにより熱中性子線と高速中性子線に分けて被ばく線量を表示。

④測定値：積算

【四半期計】 4～6月、7～9月、10～12月、1～3月の各3ヶ月間の積算値。

【単年度計】 4/1を始期とする1年間の被ばく線量の積算値。

【M数】 最小検出限界値未満の回数。

実効線量と等価線量の算定値について

測定されたH1cmおよびH70 μ mに基づいて実効線量と

等価線量を算出しています。

算定値は今回、1ヶ月計、四半期計、単年度計、5年累計および2001年4月以降の累計値の6区分で集計しています。

①実効線量

体幹部均等被ばくの場合は胸部(女子は腹部)に着用したバッジのH1cmが実効線量になります。一方、体幹部不均等被ばくの場合は複数個着用したそれぞれのバッジのH1cmを算定式に当てはめて実効線量を求めています。(算定式は当社ウェブサイトをご覧ください。)

②等価線量

【水晶体】 眼の水晶体の等価線量です。外部被ばくによる測定値のH1cmまたはH70 μ mのどちらか適切な方の値を採用。

【皮膚】 皮膚の等価線量です。外部被ばくによる測定値のH70 μ mの値を採用。

【腹部】 女子の腹部表面の等価線量です。腹部に着用したバッジのH1cmの値を採用。

③集計項目

【今回】 記載の着用期間の実効線量、等価線量。

【1ヶ月】 腹部に着用した女子に限り、当月1ヶ月の実効線量、等価線量のそれぞれ積算値。

【四半期計】 4～6月、7～9月、10～12月、1～3月の各3ヶ月間の実効線量、等価線量

のそれぞれ積算値。

【単年度計】 4/1から1年間の実効線量、等価線量の各積算値。

【5年累計】 2001年4/1始期の5年毎の実効線量の積算値。

【累計】 2001年4/1以降の実効線量の積算値。

旧法令における集積線量について

被ばく線量測定に関して1989年の法令改正と2001年4月の現行法令への改正があり、旧法令に基づく被ばく線量のデータは、累計開始年月日および現行法令になるまでの線量を1989年法令改正の前後に分けて記載しています。

①累計開始年月日

個人線量計の着用開始年月日を表示しています。

②'89以前3月以前の線量

集積線量をミリレムからmSvに換算し表示しています。

③旧法令実効線量当量

'89年4月から'01年3月までの実効線量当量を積算した値を表示しています。

外部被ばく線量測定算定個人報告書													
氏名: 長瀬 太郎		業務所属: 2017年3月1日～2017年3月31日		事業所番号: 90000		所属: AB		個人番号: 00001		性別: 男			
バッジタイプ	着用部位	測定値区分	X \cdot γ 線	β 線	熱中性子	高速中性子	合計	四半期計	M数	単年度計	M数		
SG	胸部	H1cm	0.1				0.1	0.1	2	2.2	3		
		H70 μ m	0.1				0.1	0.1	2	2.2	3		
SG	腹部	H1cm	0.5				0.5	0.9	0	6.7	0		
		H70 μ m	0.5				0.5	0.9	0	6.7	0		
算定値			集計項目										
			今回	1ヶ月計	M数	四半期計	M数	単年度計	M数	5年累計	M数	累計	M数
実効線量			0.1			0.1	2	2.4	3	8.0	5	15.0	140
等価線量	水晶体		0.5			0.9	0	6.7	0				
	皮膚		0.5			0.9	0	6.7	0				
累計開始日			1986年4月1日		'89年3月以前の線量(mSv)とM数		0.8	32M	旧法令実効線量当量(mSv)とM数		2.7	128M	

お願い

「登録変更依頼書」へのご記入にあたり

(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

着用品の追加や取消のご連絡の際、「登録変更依頼書」にご記入いただいておりますが、「着用開始日」、「着用取消日又は変更日」欄に日付が記入されていない場合がございます。

ご記入がない場合、何月分からのバッジを追加あるいは取消または変更すればよいのか判断がつきかねますので、着用開始日・終了日・変更日を必ずご記入ください。

なお、着用期間の開始・終了・変更日の記載日は以下の通りとなります。

	記載日
着用開始日	○月1日
着用終了日	○月末日
着用変更日	○月1日

登録上、着用期間内での月途中の変更・取消はできませんのでご注意ください。

お知らせ

第56回 アイソトープ・放射線研究発表会

- 会期 2019年7月3日(水)～5日(金)
会場 東京大学弥生講堂、他
(東京メトロ南北線「東大前」駅より徒歩1分)
参加費 (Web要旨集含む)
事前登録7,000円、当日登録9,000円、学生無料
主催 (公社)日本アイソトープ協会
◆一般発表(口頭およびポスター)約170題
◆特別講演(2題)
◆パネル討論(2題)
◆放射線基礎セミナー
その他、様々な企画をご用意しております。
詳しくは、本研究発表会特設Webサイトをご覧ください。
https://www.jrias.or.jp/isotope_conference/
【問合せ先】
第56回アイソトープ・放射線研究発表会事務局
(日本アイソトープ協会内 学術振興部学術課)
TEL 03-5395-8081
E-mail gakujutsu@jrias.or.jp

皆様のご来場をお待ちしております。

*企画内容は予告なく変更になる場合がございます。

2019年 製薬放射線研修会
(第21回 製薬放射線コンファレンス総会)

- ◆会期: 2019年6月28日(金) 10:30～17:45
◆会場: 大田区産業プラザPiO 3F 特別会議室
(東京都大田区南蒲田1-20-20)
・総会 PRC活動報告等
・研修会
特別講演 「放射線障害防止法関連の最近の動向(仮題)」
原子力規制庁担当官
招待講演1 「軟β核種(H-3、C-14等)による内部被ばくの測定・評価について」 馬田敏幸(産業医科大)
招待講演2 「RI廃棄物の現状について」
日本アイソトープ協会 環境整備課担当者
公開対談 「事故発生!そのとき主任者はどうする?」
矢鋪祐司(日本たばこ産業)、
池本祐志(日本農薬)
・交流会 大田区産業プラザPiO 4Fレストラン「コルネット」
(18:00～20:00)

参加申込: <http://www.web-prc.com/>
よりお申込みください。

会場の関係で席には限りがありますので、
事前申込をお勧めします。
事前申込締切日: 6月14日(金)



編集後記

私を含め子供の頃、宇宙を舞台にしたSF小説やSF映画等に夢中になった方も多いと思います。当時は「うちゅうせん」と聞けば、まず頭に浮かぶのは宇宙船の方でした。数十年が経ち、宇宙は空想の世界よりも現実のニュースで接することが多くなり、今では「うちゅうせん」も宇宙線をまず思い浮かべるようになりました。

まだまだハードルがあるとはいえ、宇宙旅行がビジネスになりそうな時代です。しかし、ISSでは1日当たり0.5～1mSvの被ばくがあるそうですから、放射線を含めた諸条件を考慮すると興味よりも不安が勝ってしまいます。いつの日か、空気の心配も少なく、宇宙線も気にせず、子供の頃に憧れた宇宙に行ける日が来るのでしょうか。もちろん費用もお手頃でないとい困ります。(A.S.)

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.498
2019年(6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
の場 洋明