

【原子力ポイント94】宇宙放射線研究と「きぼう」日本実験棟で実施の生命科学研究(その1)

朝日新聞は2017年3月25日「宇宙旅行の実現が迫りつつある」と記事を掲載しました。さまざまな放射線が混在する宇宙で、放射線の強さ（実効線量）はどのように測定され、宇宙飛行士の放射線管理はどのように行われているのでしょうか。宇宙航空研究開発機構（JAXA）の取組みから探ってみましょう。

ゆりちゃん：宇宙にある放射線ってどんなものですか？

タクさん：ゆりちゃんは、「宇宙飛行士の大西卓哉さんが2016年10月30日、国際宇宙ステーション（ISS）から約4カ月ぶりに帰還」、というニュースを覚えていますか。ISSは、地上約400km上空に建設された人類史上最大の宇宙施設です。日本実験棟「きぼう」もここにあります。図1を見てください。ISSにはさまざまな種類の放射線が降り注いでいます。これを一次放射線といいます。その種類は、①太陽系外から入り込む銀河宇宙線、②地球磁場に捕捉された陽子線（捕捉粒子線）、③太陽活動によって生じる太陽粒子線、に大別されます。一次放射線は、ISS船壁などに衝突すると中性子線等を発生します。これを二次放射線といいます。宇宙飛行士は、これらの一次および二次放射線によって、「1日で地上半年分の量の被ばく」をします。宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、ISSに搭乗する日本人宇宙飛行士を対象にして、生涯に受ける「実効線量」に制限値を設け、安全な被ばく管理を行っています。その制限値は、初めて宇宙飛行を行った年齢および性別によって区別されていますが、これらの数値を見る限り、原子力発電所作業員などの放射線業務従事者の年間の線量限度に比べると高めに見えますが、生涯線量で見るとほぼ同じ値となっていることがわかります。

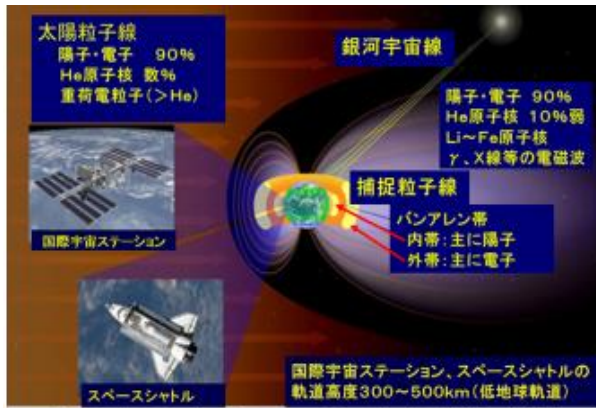
ゆりちゃん：「実効線量」って何ですか？

タクさん：とても大事な質問です。少し詳しく説明しましょう。放射線による影響の受けやすさは、組織や臓器によって違うのです。そのため、国際放射線防護委員会（ICRP）は1990年、組織や臓器の放射線影響を加味して、これと同じがんリスクをもたらす全身線量を、「実効線量」と称し、放射線防護の基準（防護量）とすることを勧告しました。図2を見てください。測定器を使って測れる物理量は、「放射線が組織や臓器に与えるエネルギー」だけです。これを吸収線量と呼び“グレイ”単位で表します。ここで気をつけることは、「同じ大きさのグレイであっても、放射線の種類によって、組織や臓器に与える影響は違う」、ということです。そこでICRPは、組織や臓器に与える影響を同じ尺度で表すため、「吸収線量に、放射線の種類別に与えられた特別な補正係数（放射線荷重係数）を乗じること」、を提言しました。これを等価線量と呼び“シーベルト”単位で表します。実効線量は、これらの等価線量に、組織や臓器ごとに定められた「放射線による影響の受けやすさ（組織荷重係数）」をそれぞれ乗じ、合算して求めます。実効線量も“シーベルト”単位で表します。ICRPは、1990年勧告で12の代表的な組織や臓器、および作業の内容によって被ばくを受けやすい他の組織・臓器を抽出することとし、それぞれについて「組織荷重係数」を与えています。

ゆりちゃん：宇宙飛行士の実効線量(シーベルト)はいったい、どのようにして測定・評価されるのですか？

タクさん：これも大事な質問ですね。少し時代は遡るのですが、藤高和信博士（元放射線医学総合研究所）は1997年、3種類の受動型放射線検出器（熱蛍光線量計（TLD）、プラスチック固体飛跡検出器（CR-39）、ガラス線量計）を組み合わせて、さまざまな放射線を含む宇宙放射線を測定できるシステムを構築しました。そして1998年、旧ソビエト連邦によって打ち上げられた国際宇宙ステーション（ミール）に「人体ファントム（人体模型）」を据付け、15個の臓器の位置に59個の線量計（システム）を埋め込み、実効線量

の測定を試みました。そして胸に着けた「個人線量計」との比較を行い、通常は簡単に測定できない「実効線量」を、個人線量計の指示値から求める実用的な方法の開発を目指し、良好な結果を得ました。これにより、私たちがいつの日か、宇宙旅行に行くときがあれば宇宙飛行士と同じように、胸に着けた個人線量計の指示値を読めば実効線量を知ることができ、地球に帰還してから旅行社からはっきりと、「放射線影響を心配することはありません」と教えてもらえることができそうですね。（原産協会・人材育成部）



国際宇宙ステーション (ISS)、スペースシャトル軌道における宇宙放射線環境 (出典: JAXA 有人宇宙技術センター)

体外(胸など)に装着した個人線量計で実効線量を正しく評価できる?



宇宙飛行士の体内で起きえる核反応のイメージ (保田 浩志, 京都大学宇宙総合研究ユニット 第4回シンポジウムより引用)

日本人宇宙飛行士の運用基準

表. 国際宇宙ステーション (ISS) に滞在する日本人宇宙飛行士に列して運用されている生涯実効線量制限値。

初めて宇宙飛行を行った年齢	男性 (mSv)	女性 (mSv)
27~29歳	600	600
30~34歳	900	800
35~39歳	1000	900
40歳以上	1200	1100

* 線量制限値は、次の放射線種別を考慮したものを対象として適用する。
 (1) 宇宙飛行による放射線種別
 (2) 地上における放射線暴露による放射線種別
 (3) 航空機による高高度飛行訓練における放射線種別
 (4) ISS 滞在宇宙飛行士に特有の医学検査による放射線種別
 (保田 浩志, 京都大学宇宙総合研究ユニット第4回シンポジウムより引用)

図1. 宇宙環境放射線と日本人宇宙飛行士の生涯の実効線量制限値

吸収線量「グレイ (Gy)」とは!

- * ある任意の物質中の「単位質量あたり」放射線により付与されたエネルギーの平均値
- * 1グレイ (Gy) = 1ジュール (J) / キログラム (kg)
- * 放射線が 1kg の物質と相互作用した結果、1J のエネルギー吸収があるときの吸収線量

放射線の単位 (吸収線量)

実効線量「シーベルト (Sv)」とは!

- * 等価線量を「組織荷重係数」によって補正し、全身の放射線影響 (発がんリスク) の指標となる量
- * 人体の15の組織・臓器における「等価線量」×「組織荷重係数」の総和

放射線の単位 (実効線量)

等価線量「シーベルト (Sv)」とは!

- * 組織・臓器における放射線の影響を、放射線の種類やエネルギーによる違いを補正し、共通の尺度で表現する量
- * 『組織・臓器の平均吸収線量 (Gy)』 × 『放射線加重係数』

放射線の単位 (等価線量)

組織荷重係数

- * 全身が均等に被ばくした場合の影響に対する、それぞれの組織・臓器が被ばくした場合の影響の相対的割合

組織・臓器	放射線荷重係数	組織・臓器	放射線荷重係数
赤色骨髓	0.12	食道	0.04
結腸	0.12	甲状腺	0.04
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
乳房	0.12	脳	0.01
生殖腺	0.08	唾液腺	0.01
膀胱	0.04	その他の組織	0.12
肝臓	0.04		

ICRP 勧告 (Publ. 60) に定められた「組織荷重係数」

図2. 測定可能な放射線量 (吸収線量 “単位はグレイ”) からヒトのがんリスクを算定する防護量 (実効線量 “単位はシーベルト”) を求める方法