

平成 19 年 4 月 20 日

平成 18 年度「隕石・彗星内ハビタブルゾーン WG」活動報告書

代表者所属・氏名：広島大学大学院生物圏科学研究科・長沼 毅

1. 構成メンバ

氏 名	所属
長沼 毅	広島大学 生物圏科学研究科
伊村 智	国立極地研究所 生物圏研究グループ
岩月 輝希	日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
川久保忠通	高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 加速器研究施設
小林 憲正	横浜国立大学 工学研究院
三枝 誠行	岡山大学 自然科学研究科
嶋田 和人	宇宙航空研究開発機構 宇宙基幹システム本部
白壁 義久	KEK 加速器研究施設
高野 淑識	北海道大学 理学研究科
高山 健	KEK 加速器研究施設
俵 裕子	KEK 放射線科学センター
許 玉福	広島大学 生物圏科学研究科
森田 洋平	KEK 国際社会連携部
保田 浩志	放射線医学総合研究所 放射線安全研究センター
山下 雅道	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学本部
吉田 英一	名古屋大学 博物館

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第 1 回：平成 18 年 10 月 31 日 (火)
於：高エネルギー加速器研究機構
- (2) 第 2 回：平成 18 年 11 月 17 日 (金)
於：高エネルギー加速器研究機構

- (3) 第 3 回：平成 19 年 1 月 17 日 (水)
於：日本学術会議 会議室

3. 活動目的

人類の宇宙進出において微小重力と宇宙放射線が大きな障壁になっており、特に後者は宇宙胚種 (パンスペルミア) の移動、月・火星ミッション、月面基地などで大きな問題となる。これまで、比較的小線量の低 LET*放射線について、人体への影響評価や人体防護に関する医学的研究が多く行われてきた [*LET: 線エネルギー付与]。これに対し、本 WG は高 LET および低 LET 大線量放射線の生物学的影響について「遮蔽」および「耐性」の観点で考察することを主目的とし、その一環として、「非 DNA 損傷」に関する実験を行うことにした。つまり「確率的影響」ではなく「確定的影響」、いわば、「細胞の火傷」のような損傷を対象とする。平成 17 年度の WG 活動として、ゲノム DNA を持たない特殊な生物等への放射線照射実験と、それに利用し得る施設や設備、そのための手続きや段取りなどの検討を行った。この検討自体がすでに可能性調査 (feasibility study, FS) であり、実質的な研究の端緒を拓くものであり、平成 18 年度は低 LET 大線量放射線の照射実験を実施したとともに、将来的な人類宇宙進出および地球圏外生命探査に向けた応用・展開を検討した。

4. 活動内容

【会合外活動】

本 WG では会合外にも電子メール等により、ハビタブルゾーンに関する考え方について、議論を行った。宇宙活動における放射線影響評価において NASA は加速器の聖地・ブルックヘブン国立研究所と密接に連携し、NASA Space Radiation Laboratory at Brookhaven を設置するほど積極的に加速器を利用きたのに対し、JAXA と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 等の連携は小規模にとどまっている。本研究は、JAXA-KEK の連携に新局面を創出するものであ

る。

低 LET 大線量放射線に関しては、KEK の放射光施設 (PF) における照射実験を申請し、採択された。以下に KEK-PF を用いた照射実験を中心に、会合の様子を報告する。

【第 1 回会合】(6 名)

KEK の放射光施設 (PF) における照射実験が担当者から紹介された。PF では X 線領域の放射光を照射する。放射光は幅 30 mm、高さ 5 mm 程度なので、試料もそれ以下のサイズにできるだけ薄く整形する。スライドガラスの上に試料を置き、それをカプトンやマイラーなど X 線透過性のよい有機薄膜で覆うような冶具 (照射試料サポート) をつくる必要がある。照射実験は数日に及ぶこともあるので、その間の交代を含む実験要員として合計 5~6 名程度のチームをつくる必要もある。

そこで、「ストレス耐性生物および生化学物質に及ぼす大線量放射光照射の影響に関する研究」という実験計画を作成し、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所に放射光共同利用実験課題として申請したところ、課題番号 2006G411 として、採択され、BL27 というビームラインでの使用が認められたので、そのことを報告した。BL-27 では大線量 (100 Gy min^{-1}) の X 線領域放射光 (波長 0.2 nm) による照射が可能であり、将来的な陽子線照射と並行して、X 線照射の生物影響評価を実施した。一次宇宙線 (重荷電粒子) の飛跡近傍に生じるような大線量での宇宙生物学的照射実験はほとんど行われていない。これは特に太陽フレアなどのイベントで突発的に増大した宇宙線の生物学的な影響評価において重要であることが指摘された。

【第 2 回会合】(8 名)

照射実験に用いる生物試料の検討を行った。本 WG では従来の「DNA 損傷」ではなく「非 DNA 損傷」を対象にすることを確認し、そのためのモデル生物として大腸菌 (*Escherichia coli*) の X-1488 株も使用することとした。この株から生じる minicell という細胞はゲノム DNA を欠くことが知られている。広島大学でこの株を入手し、実際に minicell をつくったことを紹介した。

E. coli X-1488 minicell に加えて、代表的な放射線耐性菌 *Deinococcus radiodurans* も照射実験に使用した。この微生物 (*D. radiodurans*) は DNA 損傷の修復能力が他の生物と比べて格段に高いが、全ゲノム解析その他の分子生物学的研究に

より、その驚異的な DNA 修復機構が解明されているほか、最近では「非 DNA 損傷」に対する耐性も高いことが示唆されている*。これは本 WG の方向性に大いに関係する新知見である。

*Daly et al. (2007) Protein oxidation implicated as the primary determinant of bacterial radioresistance. PLoS Biol 5(4): e92. doi:10.1371/journal.pbio.0050092

<http://biology.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pbio.0050092>

また、クマムシという微小動物が「樽」という休眠状態になると、驚くべきストレス耐性を示すことが紹介され、照射実験の生物試料に用いることが提案された。

放射線耐性に関する議論から、新たなテーマが浮上した。それは、水分の状態 (固液) の問題である。放射線照射で生成したラジカルが生物に損傷を与えやすいのは固体よりも液体においてであろう。液体の水 (H_2O) は放射線環境ではラジカルの供給源となる。むしろ、「パンスペルミアの方舟」においては脱水状態の方が、宇宙放射線環境では生存に好都合であろう。この考えは「乾燥生物学」(dehydration biology) という新しい研究分野を予感させるものである。平成 18 年度の照射実験では、風乾した生物試料を用いた。

【第 3 回会合】(5 名)

現在の宇宙放射線測定法には、たとえば宇宙放射線のうち粒子線によるプラスチック薄板のエッチング痕跡を画像解析で測定する PADLES などがあるが、これは放射線種の特定制が難しく、宇宙放射線のうち電磁波を測定できない。一方、本ミッションに用いる「微生物ドシメータ」は放射線照射による微生物殺滅、換言すれば、放射線照射による微生物の生残を指標とするものであり、ともに微生物にダメージを及ぼすので原理的に粒子線・電磁波どちらの照射線量も測定することが可能である。さらに、微生物の種類ごとに粒子線・電磁波への感受性 (換言すれば耐性) が異なる上に、粒子線の中でもアルファ線・ベータ線、中性子線、プロトンおよび重粒子線などへの感受性が異なると考えられ、同様に電磁波の中でもガンマ線・エックス線 (ならびに紫外線) への感受性も異なることが想定される。したがって、放射線感受性 (放射線耐性) の異なる微生物種を組み合わせることで、照射放射線の線種と線量を同時に推定することができることになる。この考えに基づく微生物

ドシメータについて広島大学（産学連携センター知財部門）により特許出願の準備中であることを報告するとともに、および、「きぼう」船外実験プラットフォーム第2期利用に向けた候補ミッションに応募準備することを申し合わせた。このミッション応募案では、「宇宙放射線の微生物ドシメータ」（MICRAD）を宇宙放射線環境に曝露した後の測定結果を、初期ミッションのSEDA-AP（物理的な宇宙放射線計測ミッション）により取得された宇宙放射線測定値と比較することを目的とする。宇宙放射線とは線種・線量ともにコントロールされていない混合放射線なので、その照射の影響は総和として評価せざるを得ないが、線種・線量ともにコントロールされた地上での照射実験による結果を参照することで、宇宙環境で得られた結果をできるだけ要素還元論的に評価することを目標とするものである。

【平成19年度およびそれ以降の課題】

(1) 生物試料への照射実験

－KEK-PFでの放射光照射実験

2007年も引き続きKEK-PFを利用させていただく予定である

－KEK-全種イオン加速器での重粒子線照射

現在KEK-500MeVブースターシンクロトロンが全種イオン加速器への改装の準備が進んでいる。H20年の秋頃からビームがユーザーへ供給される予定である。80MeV/auのAr, Auが材料科学専用に供給される。この材料科学のビームラインを用いた照射実験の計画をビームコミッショニングに併せて行う予定である。

－放射線医学総合研究所 HIMAC の利用

放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置HIMAC（He, C, N, O, Ne, Si, Arなどを800 MeV 核子⁻¹まで加速）を用いた重荷電粒子の照射実験申請を準備する。2007年6月に平成18年度下半期の利用申請を行う予定である。

－凍結および凍結乾燥した試料への照射実験

(2) 既存知見の網羅的調査（インベントリー）

－放射線耐性生物

－生物過程の時定数

5. 成果

【特許出願】（1件）

長沼 毅「放射線または紫外線測定法」、特願

2007-48073（出願日2007年2月27日）

【応募】（1件）

長沼 毅 他（「隕石・彗星内ハビタブルゾーン」ワーキンググループ）「宇宙放射線の微生物ドシメータ（MICRAD）[microbial cosmic radiation dosimeter]」「きぼう」船外実験プラットフォームの第2期利用に向けた候補ミッション。

【口頭発表】（1件）

長沼 毅・伊村 智・岩月輝希・川久保忠通・小林憲正・三枝誠行・佐藤 皓・嶋田和人・白壁義久・高野淑識・高山 健・俵 裕子・橋本博文・森田洋平・保田浩志・山下雅道・吉田英一・金子竹男・谷内俊範・佐藤康之・林 徹・許 玉福・中井亮佑（2007）隕石・彗星内ハビタブルゾーンにおける大線量X線照射の影響評価に関する予察的研究. 第23回宇宙利用シンポジウム, 2007年1月17日, 日本学術会議, 東京都, プロシーディングス, 印刷中.