

宇宙放射線の健康影響研究 –宇宙実験に求めるもの

大西武雄（奈良県立医科大学医学部）

Human health study for space radiations: Requirements for space experiments

Takeo Ohnishi

Nara Med. Univ., Kashihara, Nara 634-8522

E-Mail: tohnishi@naramed-u.ac.jp

Abstract: Space experiments have been generated from great interest worldwide in these 20 years in Japan in space shuttles and the International Space Station (ISS). The space environment contains two significant biologically important factors: space radiation and microgravity. Space experiments about space radiation have been designed for the physiological protection of astronauts against the deleterious effects of space radiation exposure during long stays in space. Some effects of space radiation on the human body have been reported to be chromosomal aberrations in lymphocytes, light flashes in the eye and central nervous system effects. Although the dose rate is quite low when compared to natural radiation on the ground, space radiation penetrates with a high level of exposure to space radiation which consists of various types of particles: electrons, X-rays, and heavy ions, and high linear energy transfer particles such as protons, neutrons, and α -particles. The high-energy particles induce serious DNA damage that introduces relative biological effectiveness, irreparable and then high cancer risk. Furthermore, it is expected that this project will provide useful data to help protect human life, not only in space, but also on the ground from aspects of risk such as Fukushima nuclear power plant-accident and benefit of radiation cancer therapy.

Key words; Space experiment, International space station, Space radiation, Human health.

1. はじめに

低線量/低線量率放射線の人体影響研究が今こそ求められている。正しく・平易に理解されることが科学的使命でもある。これまでの地上実験の成果から宇宙実験に求められるのは何か。また、これまでの宇宙実験や飛行士のリンパ球での染色体異常検出結果を生かして、今後の人類の宇宙進出に向けてどのような宇宙実験が期待されるかを考察する。

2. 地球磁気圏と宇宙放射線

宇宙放射線は銀河宇宙線、太陽粒子線、補足粒子線に3分類される。銀河宇宙線は粒子のエネルギーが非常に大きいのが特徴である。10GeV以上の高エネルギー粒子成分は90%が陽子、10%弱が α 粒子、1%程度が重粒子である。太陽から放出される太陽粒子線はほとんど陽子と電子で、数%が α 粒子と微量の重粒子である。太陽は11年周期で活動しており、太陽表面の爆発（太陽フレア）によって銀河宇宙線とは比較にならない程の大量の高エネルギー粒子線が放出されている。補足粒子線とは太陽粒子線などが

地磁気の磁力線に捕捉されたものである。赤道上空を土星の環のように地球を取り囲む平均高度が約3,600kmの陽子帯（内帯）と約18,000kmの電子帯（外帯）の2層の放射能ベルト（バンアレン帯）がある。内帯の一部は南大西洋上空に垂れ下がり、これをSAA（South Atlantic Anomaly）という。

3. 宇宙放射線の特徴

ヒトのLD50/30（30日の間に50%のヒトが死ぬ線量）は約4.5Gyである。したがって、Gyオーダーの放射線は高線量と言ってよい。それに比べて細胞に致死をもたらさない線量で、一般に約0.5Gy以下を低線量放射線と定義されている。生物は放射線に対して回復能（DNA修復能もその一つである）を持っている。したがって、同じ放射線量でも一度にその量を被曝したのか、二度三度にわたって被曝したのか、または少ない量で長期にわたって被曝したのかで、生物影響の現れ方が異なる。通常、研究室ではX線や γ 線を細胞や個体に照射する場合はGy/minのオーダーの線量率で照射している。低線量率とは

一般に mGy/min 以下の線量率を指す。最近の ISS 内は低線量率 0.5 mSv/1 day/低線量 100 mSv 以下(半年近い長期滞在)である。火星往復では 1~1.5 Sv/1 year と想定されている。宇宙放射線(陽子線/重粒子線/中性子およびそれらの 2 次放射線)は R-39 Plastic Nuclear Track Detector と ThermoLuminescence Dosimeter で物理的に測定することができる。

宇宙放射線に含まれる高 LET (Linear energy transfer) 線エネルギー付与放射線 (α 線、重粒子線、中性子線など)は X 線や γ 線に比べて生物影響の「めやす」を表す RBE (相対的生物効果比)が高い。RBE は放射線の線質よりも LET により大きく依存している。低 LET 放射線と同じ線量の高 LET 放射線を被曝した場合、RBE (生物効果比 Relative biological effectiveness; X 線やガンマ線の影響を 1 とした時生物影響の比較)が大きく現れる。より高 LET の放射線ではアポトーシスによる細胞死が増すことを我々のグループが発見した。放射線防護の立場からは過去の RBE データの最大値に近い値を線質係数 (Q 値) として定め、吸収線量 (Gy) との積で表した線量 (Sv) という概念が用いられている。高 LET 放射線がヒットした細胞に隣接した細胞にも巻き添えの影響 (bystander effect) が見られることが知られている。多種の放射線種の混合場である。今後、高 LET 放射線の生物影響について、さらなる科学的解明が望まれる。

4. 宇宙放射線影響を調べる目的

重粒子線は高い生物効果比を示すので、がん治療から注目されている。また、重粒子線は比較的副作用が少なく、がん病巣の部分に選択的にエネルギーを与えられるので高い治療効果が期待されている。宇宙放射線は線質・線量・線量率とも地上の放射線と異なり、微小重力環境で被曝するためである。宇宙放射線に対する安全値を実験的に示すことは、地上のこれまでの放射線被曝と違い、人の疫学的データがほとんど無いことから困難な側面もあるので、宇宙放射線生物学的研究として真剣にしかも早急にとりかかるとともに、これまでの宇宙実験での研究成果の分析も急ぐべきであろう。物事を「正しく」怖がるのがいかに難しいか、宇宙放射線研究は物語っていると言える。微小重力環境は放射線の生物影響を増幅させるのか。物理的放射線線量が測定する方法が確立しているので、生物学的宇宙実験に求められるのは生物学的線量測定である。そのことが全てのファクターが考慮した結果となる。

5. 宇宙実験をすることによる利点

放射線による人体影響を低くするには、できるだけ放射線から距離をおき、曝される時間を短くし、遮蔽することで不必要な放射線被曝を避けることが

できる。しかし、医療のための放射線被曝は現状では避けがたい。いかに安全に原子力エネルギーを平和利用できるかが今回大いに問題にされた。今回の福島原発事故にたずさわる人々や付近住民の健康に最大限の注意を払うことは言をまたない。ISS での宇宙飛行士の長期滞在に対する健康維持に注意を払うのも当然である。現在世界的な基準で放射線作業従事者の放射線被曝の規制が行われているが、それをそのまま宇宙に持ち込んで宇宙飛行士に対する被曝管理に適用することは難しい。最近では先進医療として注目されている。重粒子線がん治療がん治療は日本においてはすでに千葉・播磨・群馬の三カ所で炭素線治療が行われており、さらに施設が計画されている。我々のグループは宇宙で 133 日間冷凍保存させたヒト細胞で、宇宙放射線が細胞核の中に DNA の二本鎖切断 (DSB) を連続的に重篤な遺伝子損傷 (DSB のトラック) をおこすことの可視化に成功した。このトラック形成の頻度を測定することによって、宇宙放射線被曝を世界で初めての生物学的に線量測定した。低線量・低線量率放射線影響研究は地上においても極めて重要であり、放射線リスク研究として原爆放射線研究についての日本の貢献は世界に先んじている。今回の福島原発事故に伴う放射性物質の拡散による住民や原発で事故対策に働いておられる作業従事者の不安や健康に大いに役立ってきた。放射線には現在の医療が放射線なくしては成り立たない程に大きなベネフィットがある。しかし、放射線診断/治療においてもその使用法を間違えると副作用も見逃せない。放射線はその働きを熟知してこそ、文明の利器となる。そのような両局面をもつことこそ、科学/科学技術そのものであると言える。

参考文献

- 1) Takahashi, A., et al.: The first life science experiments in ISS: Reports of "Rad Gene"-space radiation effects on human cultured cells-. Biol. Sci. Space, 24, 17-41 (2010).
- 2) 大西武雄ら: 国際宇宙ステーション Kibo 利用宇宙実験「Rad Gene」の成果報告. 放射線生物研究, 45: 103-126 (2010).
- 3) 大西武雄: がん治療増感の化学的新戦略から宇宙研究へ. 化学工業, 61, 609-614, 2010.
- 4) 大西武雄: 地震と津波による福島第一原子力発電所で大事故発生: 大気・土壌・食料・水道水・海水の放射能による汚染. 食品・食品添加物研究誌 FFI ジャーナル, 216, 250-257 (2011).
- 5) The disaster at Japan's Fukushima-Daiichi nuclear power plant following the March 11 earthquake and tsunami, and the resulting spread of radioisotope contamination. Radiat. Res., in press (2012).