

国際宇宙ステーションにおける曝露部施設を用いた 太陽紫外線の生物影響実験の重要性

奈良医大・生物 大西武雄、高橋昭久

The significance of the study about the biological effects of solar ultraviolet radiation using the Exposed Facility on the International Space Station

Takeo Ohnishi and Akihisa Takahashi

Dept. Biol., Nara Med. Univ. Sch. Med., 840 Shijo-cho, Kashihara, Nara 634-8521

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

Abstract: It is believed that ultraviolet (UV) radiation from the sun participated in events related to the chemical evolution and birth of life on the primitive Earth. Although UV radiation would be also a driving force for the biological evolution of life on Earth, life space of the primitive living organisms would be limited in the UV-shielded place such as in the water at an early stage of the evolution of life. After the formation of stratospheric ozone layer through the production of oxygen by photoautotroph, living organisms were able to expand their domain from water to land. As a result, now, many kinds of living organisms containing human beings are flourishing on the ground. In the near future, increased transmission of harmful solar UV radiation may reach the Earth's surface due to stratospheric ozone layer depletion. In order to learn more about the biological effects of solar UV radiation with or without interruption by the ozone layer, the utilization of an Exposed Facility on the International Space Station is required. Experiments proposed at this facility would provide a tool for the scientific investigation of processes involved in the birth and evolution of life on Earth, and could also demonstrate the importance of protecting the Earth's future environment from future ozone layer depletion.

Key words; Exposed Facility, International Space Station, UV, ozone layer.

生命の誕生・進化と太陽紫外線とのかかわり

今から約 36 億年前、原始の海では太陽紫外線のエネルギーなどによって無機物から有機物が生成され、自己と同じものを複製することができる生命体が誕生したと考えられている。一方、太陽紫外線は生命体の遺伝情報の保存物質の核酸に傷をもたらし、死をもたらし脅威でもあった。地球上に生命が誕生してまもなく、生命体は遺伝情報の傷を出来るだけ少量にとどめるよう、たとえ傷が出来ても元に戻すという修復能力を身につけてきたと考えられている。さらに、太陽紫外線による遺伝情報の損傷部位では、複製や修復過程でエラーが混入する可能性があり、結果的に元とは異なった塩基配列となることもある。生命誕生から今日までの生命の連続性を考えれば、幾世代にもわたるこのような突然変異による遺伝情報の変化は進化の原動力であったとも考えられる。さらに、やがて太陽光エネルギーを利用した光合成生物が出現して、大気中に酸素が増加し、紫外線のエネルギーを吸収した酸素はオゾンに変わり、そのオゾンによって有害な太陽紫外線が地上に降り注ぐことが遮られるようになった。このような劇的な地

球環境変化によって、やがて生命体は陸上へと生活圏を広げることに成功し、今日の多様性に富んだ地球生命の繁栄をもたらしたと考えられている。

しかし、有害な太陽紫外線を吸収してくれるオゾン層は成層圏に分布しているが、1 気圧に圧縮するとわずか 3.2mm ほどの少量にすぎない。近年、人類によるフロンガスの大量消費などにより、年々このオゾン層破壊にともなうオゾンホールが拡大し、地球上生物の存亡が危惧されている。

宇宙空間は過去と未来のモデル実験場

我々は、オゾン層で太陽光が遮られることのない宇宙空間こそが、原始地球上生命の誕生と進化の舞台となった「オゾン層形成前の原始地球光環境」、さらに近年危惧されている「オゾン層破壊後の未来地球光環境」のモデル実験場と考え、宇宙空間での太陽紫外線の生物影響研究を提案している。しかし、残念ながら日本の宇宙ステーション曝露部施設での生物学研究の利用予定が未だないのが現状である。

我々の提案する宇宙曝露部実験においては、培養装置に下記の各種フィルターを用いることで透過す

る太陽放射光を選択的に曝露すること (Table 1)、多くの生物材料について、様々な生物影響を検索することができるものとする (Table 2)。

Table 1. A various filter¹⁾

Filters	Note
Quartz alone (without filters)	All solar UV is absorbed ^{*1}
+ Mylar filter	Shielding for < 310nm ^{*2}
+ Kodacel filter	Shielding for < 290nm ^{*3}
+ Aluminum	Shielding (in dark) ^{*4}
+ Lead	Shielding (in dark) ^{*4}

^{*1} All UV is absorbed.

^{*2} To clarify the effects of UVA, a Mylar filter will be used.

^{*3} Since the ozone layer blocks solar UV (< 290nm) on the Earth's surface, the spectrum of solar particles transmitted by a Kodacel filter serves as a control for exposure at the Earth's surface.

^{*4} By using different thicknesses of lead or aluminum, space radiation can be selectively blocked to adjust exposure for quality and quantity.

Table 2. Outline of space biological experiments proposed at the Exposed Facility on the ISS¹⁾

Material or organisms	Assays to be used
DNA	DNA damage, repair, mutation, transformation
Prokaryote (<i>E. coli</i> , etc)	DNA damage, survival, repair, mutation, <i>umu</i> -induction
Eucaryote Yeast	DNA damage, survival, repair, mutation
Insect (fruit fly, silkworm, etc)	DNA damage, repair, developmental abnormalities, mutation
Plankton (<i>paramecium</i> , <i>euglena</i> , etc)	DNA damage, repair, growth rate
Plant (thalecress, etc)	DNA damage, survival, repair, growth rate

このような本研究をすすめることで、生命は太陽紫外線エネルギーによって創成されたという生命誕生のドラマと進化の原動力のひとつであったことを明らかにするとともに、オゾン層破壊後の未来の地球光環境のおよぼす生物影響を考察することができるであろう。さらに、宇宙ステーション曝露部利用実験が現在の環境問題からも地球を守るのにいかに重要であるかを示すことができるであろう。

これまでの地上実験の取組みとその成果

我々は太陽紫外線の生物影響として「光回復」に注目した。光回復は太陽紫外線で生じた DNA 損傷のピリミジン二量体に光回復酵素が特異的に結合し、可視光のエネルギーを利用して損傷を修復することができる。一つの酵素で修復反応が完結でき、その反応様式がシンプルなのが特徴である。光回復は約 4 億年前の原始地球光環境のオゾン層形成前から生物に持ち備えられ、細菌から植物、昆虫、脊椎動物に至る幅広い生物種に存在している。我々は宇宙実験を想定し、小型で取り扱いやすい動物プランクトンのゾウリムシおよび植物プランクトンのミドリムシをモデル生物として用い、現在はオゾン層で遮られている UVC および弱められている UVB 人工紫外光の線量率を変えて、太陽光とともに照射することで、オゾン層のない「未来地球光環境」をシミュレートし、光回復能の限界について調べた。

その結果、ゾウリムシは現在の 2 倍、ミドリムシは現在の 3.5 倍の DNA 損傷を引き起こす紫外線量の増加までは光回復によって増殖率に大きな影響を与えないことを明らかにした^{2,3)}。もちろん生態学的にはゾウリムシもミドリムシも、太陽紫外線に強制的に曝されることはなく、高線量の光に対して、回避反応を示すこと、体内時計により主観的昼間は紫外線に抵抗的な細胞周期にとどまることなどが知られている。さらに、あらかじめの光環境の違いによって光回復能も異なることから、実際はもっと太陽紫外線の影響は少ないのであろう。

ここで注目すべきは現在より強い紫外線量に対しても光回復によって抵抗性を示すことから、これらの生物の誕生と進化の過程における太陽紫外線とのかかわりを垣間見ることができたと思われる。

今後の課題

曝露部利用宇宙生物実験実現には温度制御、ガス交換・濃度制御やサンプリング手法など技術的に克服しなければならない点があるが、魅力ある実験となることに間違いはないであろう。

参考文献

1. Takahashi A, *et al.* The significance of the study about the biological effects of solar ultraviolet radiation using the Exposed Facility on the International Space Station. *Biol Sci Space* **18**, 255-60, 2004
2. Takahashi A, *et al.* Photoreactivation in *Paramecium tetraurelia* under conditions of various degrees of ozone layer depletion. *Photochem Photobiol* **81**, 1010-4, 2005
3. Takahashi A, *et al.* UV-B light induces an adaptive response to UV-C exposure via photoreactivation activity in *Euglena gracilis*. *Photochem Photobiol Sci* **5**, 467-71, 2006