

小特集

宇宙気候学

Space Climatology

1. はじめに

1. Preface

草野 完也^{1,2)}, 長谷川 裕記³⁾KUSANO Kanya^{1,2)} and HASEGAWA Hiroki³⁾¹⁾名古屋大学太陽地球環境研究所, ²⁾独立行政法人海洋研究開発機構システム地球ラボ,³⁾自然科学研究機構核融合科学研究所

(原稿受付: 2013年8月31日)

アポロ8号の乗組員が撮影した月の地平に浮かぶ「地球の出」は、最も影響力のある環境写真といわれている。「地球の出」は地球が青く輝く美しい天体であると共に、広大な宇宙という環境の中に我々が生きていることをあらためて認識させる。

本小特集で取り上げる「宇宙気候学」は、我々の生存環境が実際に宇宙から様々な影響を受けていることを科学的に探る学問領域である。すなわち、宇宙気候 (space climate) とは太陽や天体の活動に基因した地球と地球近傍宇宙を含む人類の活動領域全体の環境とその長期的変動現象を意味する。1977年に打ち上げられたボイジャー1号は最近、太陽風が届く空間領域である太陽圏を脱出した。今や人類の活動領域は地球の表層 (大気・海洋) にとどまらず、電離圏、磁気圏、惑星間空間および地球以外の惑星系を含む太陽圏全域に及んでいるといえる。その意味で宇宙気候学は地球と太陽圏の長期的環境変動を扱う学際領域とも考えられる。

広い意味で宇宙環境変動を「宇宙天気 (space weather)」と呼ぶ場合があるが、気象と気候のアナロジーから「宇宙天気」と「宇宙気候」は考察する現象の時間スケールの違いによって使い分けられている。明確な定義は存在しないが、通常、年単位以上の変動を宇宙気候と呼ぶ場合が多い。本誌「小特集 宇宙天気予報[1]」で議論されたように、主な宇宙天気現象は太陽フレアに代表される太陽面爆発や太陽風の急激な変化に起因する地磁気・電離圏・宇宙放射線の乱れによって引き起こされる。これに対して宇宙気候現象は約11年の周期をもつ太陽黒点の周期活

動や、この太陽周期活動のさらに長い時間スケールにおける変動に伴う現象をいう。あるいは恒星としての太陽活動の変化に伴う数十億年スケールの環境変動も含んでいる。

現代における地球環境変動として、人為起源の温室効果ガスによる温暖化に国際社会は注目してきた。急速な産業発展に伴う大気環境の変化はこれまで人類が経験したことがない現象であり、その影響を科学的に理解する取り組みは社会的に重要である。一方、地球史において大規模な環境変動はこれまでに何度も起きており、それが生物進化に多大な影響を与えてきた事実がある。自然起源の環境変動の原因は未解明の部分が多く、謎に包まれている。それゆえ、人為的環境変動の影響を正しく把握し、信頼性の高い未来予測を実現するためにも、人為的影響と自然変動およびそれらの関係を明らかにすることが求められる。

地球環境は太陽放射を主なエネルギー源とする刺激応答システムである。宇宙気候学はこの刺激応答過程とそのメカニズムを明らかにすることを目的としている。もちろん、太陽放射が地球表層環境にとっての主たるエネルギー源であるため、太陽総放射量は地球環境の維持にとって第一義的に重要な物理量である。しかし、地球の大気と海洋におけるエネルギーの流れと変換過程は極めて複雑であり、総放射量変動以外にも様々な変化が環境変動の原因と成り得る。例えば、環境変動の原因となる天体活動としては、①11年周期として知られる太陽黒点の周期活動、②マウンダー極小期などの大極小期 (grand minima) を生み出す太陽黒点活動の長期変動、③核融合反応に伴う太陽の恒星進化、④惑星の公転軌道変動および歳差を含む自転変

¹⁾Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Nagoya, AICHI 464-8601, Japan²⁾Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Laboratory for Earth Systems Science³⁾National Institute for Fusion Science, Toki, Gifu 509-5292, Japan

authors' e-mail: kusano@nagoya-u.jp, hasegawa.hiroki@nifs.ac.jp

動, ⑤小惑星や彗星などの天体衝突, ⑥暗黒星雲との遭遇など星間空間の環境変動, ⑦太陽系近傍で発生する超新星爆発や突発的に強力なガンマ線を放出する天体現象であるガンマ線バーストなど恒星の爆発的活動, などが考えられる。

これらは形態や規模, 時間スケールを様々に異にするが, いずれも我々の環境に何らかの影響を与え得る現象であると考えられている。特に, こうした現象が長い時間スケールの環境変動に実際に重大な影響を与えた可能性がある。また, 地球環境が本来もっている様々なモードと結合することにより, 地球環境という刺激応答系は非線形的に振る舞い, 宇宙からの影響が増幅される可能性も考えられている。すなわち, 宇宙気候学は地球環境を閉じたシステムとしてではなく, 宇宙と繋がった大きなシステムとして捉える新たな環境科学なのである。

本小特集では上記の様々な天体活動のうち, 太陽に関係した①, ②, ③に主な焦点をあて, 地球表層環境に対するその影響について考察する。図1は小特集の概要を示している。はじめに, 「2. 宇宙気候学の現状と課題」では宇宙気候学の研究領域について整理し, 宇宙気候学の全体像を俯瞰する。また, 太陽活動の長期変動とそのメカニズムについては, 「3.1 太陽活動の長期変動」で概説する。太陽活動が地球表層環境に影響を与える主要なメカニズムとして考えられている放射(電磁波)と宇宙線(粒子)という2つの異なる物理プロセスに関して, 「3.2 太陽放射変動と気候変動」および, 「3.3 太陽活動に伴う宇宙線変動と

気候変動」で議論する。特に, 宇宙線などによる大気電離の影響に関する最近の研究については, 「4. 大気電気学-全地球回路-」および「5. 宇宙線による微粒子形成」において多角的な検討を与える。さらに, 気象と気候の中間的な時間スケールの変動に太陽活動が影響する可能性について, 「3.4 27日太陽周期の雲変動と太陽活動」で紹介する。

一方, 初期地球の環境について, 恒星物理学による予想と地球科学から見出された結果の間には大きな隔たりがあることが知られている。このことは我々が太陽地球環境を支配するメカニズムをまだ十分に理解できていない可能性を示唆しているため, 宇宙気候学における重要問題でもある。この問題について「3.5 天文学的視点から見た『The Faint Young Sun Paradox』」で考察する。

宇宙気候学は天文学, 地球電磁気学, 気象気候学, 海洋学, 古環境学, 地質学など様々な学問領域の連携によって成り立つ学際分野である。特に, 太陽, 惑星間空間, 磁気圏, 電離圏の変動ダイナミクスの理解にはプラズマ物理学が重要な役割を果たす。また, 宇宙線による大気電離は雲や大気化学反応にとっても重要な過程である。それ故, プラズマ物理学を通じた宇宙気候学研究は本学会が貢献すべき研究領域である。本小特集がそうした新たな学際研究の契機となることを期待したい。

参考文献

[1] 亘 慎一, 永岡賢一: プラズマ・核融合学会誌 82, 737 (2006).

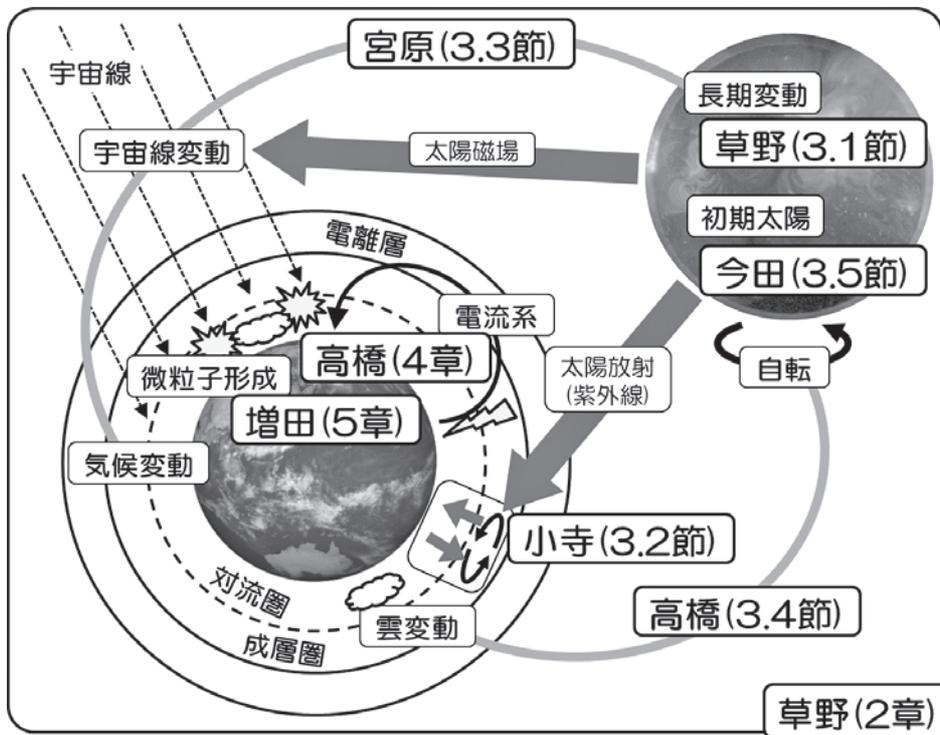


図1 太陽と地球環境の関係における本小特集各章の位置づけ。