

国内研究員報告書

2023年8月30日
教養文化・学芸員課程研究室
宮原 ひろ子

研究課題：

太陽活動と地球周辺宇宙環境の変動が気候および気象に及ぼす影響についての研究

研究期間：2021年9月1日～2022年8月31日

滞在先：沖縄科学技術大学院大学

研究内容および成果の概要：

太陽活動には、基本となる十年スケールの変動に加えて、数十～数千年規模の長期変動があることが知られている。そういった変動は、太陽表面に現れる黒点の数であったり太陽フレアの発生数などの形で現れ、それに起因する磁場の擾乱が地球周辺の宇宙環境に多大な影響を及ぼすほか、銀河系内の超新星残骸から飛来する銀河宇宙線を遮蔽するなどの役割も果たしている。こういった太陽活動に付随する変動は、人工衛星の異常や故障を引き起こすことがあるほか、宇宙に滞在し活動する宇宙飛行士の放射線被ばく量に影響を及ぼすことなどが広く知られているが、それ以外にも、地球の大気に影響し、気候を左右している可能性が指摘されている。例えば、14世紀から19世紀半ばにかけて発生した小氷期は、太陽活動の長期にわたる低下が一因となった可能性があると考えられている。しかしながら、そのメカニズムは明らかとなっていない。太陽活動が低下しても太陽総放射量は $1\text{W}/\text{m}^2$ 程度しか減少しないため、それだけでは小氷期に確認された氷河の拡大や寒冷化を説明することができない。そのため、太陽総放射量変動の影響以外にも、いくつかの可能性が議論されてきている。

本研修においてはそのうち、太陽磁場によって遮られる銀河宇宙線が、雲核の生成や雲粒の衝突併合の促進によって気候に影響しているとする説について、人工衛星の雲データを基に研究を行った。今回特に重点を置いて研究を進めたのは、対流圏上層の雲についてである。銀河宇宙線によるイオン生成率は対流圏の上層ほど高くなっており、また CERN で行われた CLOUD 実験では、気温が低いほど宇宙線による雲核生成が起りやすいという結果も得られている。また既存のエアロゾルが少ないという点でも対流圏上層が有利である可能性が高い。解析の結果、低緯度域の特に陸域において、対流圏上層の雲が宇宙線の増加に伴い増えていることが確認された。応答が起こっていたのは、夏半球の特に沿岸域であり、

深い対流が存在し、また海洋起源のエアロゾル前駆体が存在することが宇宙線の影響を受容する条件となっている可能性が示唆された。

また、再解析データの解析により、そういった陸域の積乱雲への影響が、結果的に大気循環を強化させ海面温度分布を変化させている可能性があることも示唆された。エアロゾルの増加や衝突併合の促進はいずれも積乱雲の発達や長寿命化につながるため、それにより陸域の低気圧傾向が強まり、大気循環が強化され、貿易風の強化につながっている可能性が考えられる。以上の成果をまとめた論文は、2023年7月に *Frontiers in Earth Science* に掲載された（研究成果1）。

これに加えて、研修期間の以前より長年取り組んできている樹木年輪中の炭素14を用いた太陽活動研究にかかる成果についても論文化を進めた。炭素14の高精度分析により、13世紀に発生したウォルフ極小期と呼ばれる太陽活動の低下期の直前に、大規模な太陽フレアが3回発生していたことが判明したため、炭素循環モデルを用いて発生のタイミングの太陽周期依存性を詳細に解析し、論文にまとめた。いずれも、太陽活動が活発な状態から無黒点期に向かう過渡期で発生しており、太陽内部の状態変化により大規模なフレアが発生しやすくなった可能性と、大型黒点の出現により太陽活動の低下が後押しされた可能性とが考えられる（研究成果2）。今後他の極小期についても研究を進めていく予定である。

研究成果：

1. H. Miyahara et al., Response of high-altitude clouds to the galactic cosmic ray cycles in tropical regions, *Frontiers in Earth Science*, 11:1157753, 2023.
2. H. Miyahara et al., Recurrent Large-Scale Solar Proton Events Before the Onset of the Wolf Grand Solar Minimum, *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL097201, 2022.

社会への還元：

現在、気候変動予測や気象予測には、太陽活動や宇宙放射線の影響はほとんど組み込まれていない。その組み込みを実現するためには、太陽活動や宇宙放射線の影響の定量化だけでなく、その素過程を明らかにすることが必要であるが、これまで十分な理解が得られてこなかった。本研究はその理解を前進させるものであり、将来的には気候変動予測の確度向上や減災に貢献できるものと考えている。

学生への還元：

太陽活動や宇宙環境の変動が地球や惑星の気候に影響を及ぼしている可能性については、宇宙の科学Iや自然科学IIで例年取り扱っている。また、太陽フレアが地球周辺の環境や人類の宇宙活動に及ぼす影響については、宇宙の科学IIで取り扱っている。今後の授業では、本研究成果で得られた最新の知見を取り入れ、宇宙と地球との関わりについての理解を深めてもらえるよう努めていきたいと考えている。



沖縄科学技術大学院大学の研究棟



キャンパス内に併設されているレジデンス、カンファレンス・センター、保育園



キャンパス内に併設されたレジデンス（滞在先）