


論文内容要旨（和文）

平成18年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 共生圏発達科学講座
氏名 _____ 菊地 聡 

論文題目 地表観測による宇宙線生成核種Be-7の大気中濃度変動に関する研究

地球大気中に入射する宇宙線は、主に太陽圏外から飛来する粒子（銀河宇宙線）で、エネルギーは 10^{20} eV 以上にまで及び、その組成は90 % がproton である。

銀河宇宙線が太陽圏内に侵入してくると、太陽から吹き出す荷電粒子の風（太陽風）が生み出す磁場の乱れが宇宙線に対して散乱体として働く。太陽活動は常に変動しているため、銀河宇宙線の強度は太陽活動による変調を受ける。このように、地球における宇宙線の強度変動と太陽活動の変動には密接な関係がある。更に、地球近傍にまで到達した宇宙線は、地球磁場の影響も受けることになる。宇宙線はそのエネルギーと入射方向に応じて、地球磁場内で時には複雑な軌道を描き、あるものは地球表面に到達し、あるものは地球表面に達すること無く再び遠ざかって行く。大気頂上にまで到達した宇宙線は大気構成元素と衝突し、二次宇宙線を生成する。これはシャワー状に大気中で発達するので、air shower（空気シャワー）と呼ばれている。二次宇宙線のうち主に陽子、中性子が大気の成分である窒素、酸素、アルゴン、ゼノンなどと核破砕反応や中性子捕獲反応を起こしてC-14、Be-7、Be-10、Na-22、I-129などの同位元素を生成する。これらの宇宙線によって作られた同位元素は宇宙線生成核種と呼ばれ、気体または大気浮遊塵（エアロゾル）に付着した状態で大気中に分散し地表へ降下してくる。宇宙線生成核種の濃度は宇宙線強度のエネルギースペクトルの積分値を示しており、その強度変動は地球全体へ降り注ぐ宇宙線の変動を表わしている。そのため、宇宙線全強度測定としても重要である。

大気中で生成され、年輪、極地域の氷床、湖底や海底の堆積層のように時間刻みが分かった試料中に捕獲された長寿命の宇宙線生成核種の濃度変動は、過去の宇宙線強度や太陽活動の変動が要因と考えられるため、過去の太陽・宇宙環境の探索に近年盛んに用いられている。更に、大気中の宇宙線生成核種は大気や地球環境の状態変化の影響を受けて変動するため、過去の地球環境や大気状態を調べるためのトレーサーとして重要な役割を担っている。このように宇宙線生成核種は、過去の地球、太陽、宇宙の環境探索をするための重要なツールである。しかし、宇宙線生成核種の濃度変動から過去の環境を確度高く探索するためには、地球、太陽、宇宙の種々の観測データが蓄積されている現代の環境中において宇宙線生成核種の濃度変動を観測し、それらの相互関係を明らかにする必要がある。

本研究は、成層圏および対流圏において宇宙線によって生成され、地表において大気浮遊塵として捕集できる宇宙線生成核種Be-7の大気中濃度を日単位で長期連続観測し、濃度の時間変動と太陽活動及び宇宙線強度の時間変動の関係について、年変動を中心に調べる事を目的としている。


大気中で生成されるBe-7は約10 MeV以上の陽子や約20 MeV以上の中性子により生成され、半減期が約53日と比較的短い放射性同位元素であり、生成後すぐに酸化され、大気浮遊塵に吸着し、大気浮遊塵として地上に降下する。大気中Be-7はこのような高エネルギー粒子によってのみ生成されるため、人為的影響を受けない優秀な大気トレーサーでもある。そのため、地球規模の大気運動トレーサーとして気象学の分野でも広く研究されている。

(10pt 2,000字程度 2頁以内)

本研究の大気中Be-7濃度観測は以下のように行った。1) 2000年の太陽活動極大期から2007年の極小期にかけて8年間、山形にて地表面の大気中Be-7濃度を日単位で連続観測した。この観測期間は第23太陽活動周期の極大期から極小期に当たり、太陽活動による宇宙線生成核種への影響を調査・研究する上で適している。2) 山形と同緯度帯のアメリカ・ユタ州(2005年10月観測開始)と高緯度帯のアイスランド(2003年9月観測開始)において、山形と同じ捕集システムにより大気中Be-7濃度の連続観測を行った。

これらの観測結果から、次の事が分かった。1) 山形におけるBe-7濃度変動は、極域(グリーンランドのThule)で観測された地上中性子強度変動と変動率が異なっているが、8年間のスムージングデータによる変動パターンはよく似ており、強い相関関係にある事が分かった。この結果はBe-7が太陽活動により変調を受ける銀河宇宙線により生成されている事を示している。2) 8年間の観測データから、太陽活動の変化に起因するBe-7濃度変動は極域での地上中性子強度変動よりも高い変動率を有している事が分かった。大気中におけるBe-7の生成シミュレーションと他観測データとの比較からBe-7の源と大気輸送について議論し、高変動率の原因を解明した。3) 山形におけるBe-7濃度変動とThuleの地上中性子強度変動は、8年間のスムージングデータによる変動パターンは全体的によく似ているが、2002年～2004年頃にかけて、約2年間だけ両者の変動が異なることが分かった。地磁気の擾乱を表す地磁気活動度指数や人工衛星観測による太陽風速度との比較を行い、その原因について議論する。4) 降水に伴って地表面のBe-7は空気中より除去される。この除去効果がBe-7濃度の年変動率に与える影響は数%程度であることが分かった。5) ウェーブレット解析による日データの周期解析からBe-7濃度には19日と36日の周期性があることが分かった。種々の気象要素に対する周期解析から、相対湿度との関係が分かってきた。

論文内容要旨 (英文)

平成18年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 共生圏発達科学講座
氏 名 菊地 聡 

論 文 題 目 Study of time variations of cosmogenic nuclide Be-7 in surface air at Yamagata

Cosmogenic nuclides with long half-lives, such as ^{14}C and ^{10}Be , are useful tools for reconstructing the earth environment and the solar activities in the past.

When we try to estimate the solar activity in old times using the cosmogenic nuclides, it is important to know in detail the relationships between the time variations of the cosmogenic nuclide concentrations and of the sunspot numbers and the cosmic rays at the present time. Hence, we have been continuously observing daily ^7Be concentrations in surface air since 2000, at which time the solar activity was maximum in the 23rd solar cycle. The observation location is in Yamagata in Japan (38.25° N, 140.35° E). Although the half-life of ^7Be is 53 days shorter than those of ^{14}C and ^{10}Be , it is reliable to investigate time variations shorter than one year for air-mass motion. Moreover, ^7Be is a well-known tracer in the atmosphere that is unaffected by artificial effects such as atomic bomb experiments.

Using the daily ^7Be concentrations over 8 years up to 2007, at which time the solar activity was almost minimum, the yearly profile of ^7Be concentrations is derived and is compared with the yearly time profile of neutron-monitoring data at Thule, which represents the galactic cosmic-ray intensity. However, the variability of the ^7Be concentrations between at the maximum and the minimum is so large that it cannot be explained by the variability of the neutron-monitoring data. Hence, considering the solar modulation of the cosmic-ray energy spectrum and the geomagnetic cut-off rigidity, the production rates at several latitudes are calculated for the troposphere and stratosphere in the northern hemisphere using the simulation program. The yearly profile of ^7Be concentrations in Yamagata from the solar maximum to minimum implies the transport of air mass at the higher latitude and/or the zonal transport effect from the ^7Be production.

(12pt シングルスペース 300 語程度)

別紙

専攻名	地球共生圏科学専攻	氏名	菊地 聡
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本論文は、宇宙線によって地球大気中で生成される放射性核種Be-7について、第23太陽活動期の極大期である2000年から極小期に向かう8年間にわたっての地表における精密観測に基づき、宇宙線生成核種Be-7の大気中濃度年変動の詳細構造を太陽活動および宇宙線強度変動との相関関係により明らかにしたものである。論文は以下の5つの章で構成されている。</p>			
<p>第1章では、本研究の目的・意義を示している。</p>			
<p>第2章では、本研究の背景として必要な宇宙線、太陽活動、地球磁気圏、大気浮遊塵、大気運動、気象等についての基礎概念を本研究のテーマである宇宙線生成核種との関係で記述している。</p>			
<p>第3章では、本研究で実施した観測方法およびデータ解析の方法について記述している。具体的には、1) 宇宙線生成核種Be-7の観測についてのサンプリング、測定などの実験方法、2) Be-7の濃度変動を太陽活動、宇宙線強度変動、地磁気変動、気象要素と比較するためのデータベース、3) 宇宙線生成核種Be-7の生成量について、宇宙線スペクトル、太陽活動、地磁気緯度効果を考慮したシミュレーション4) 濃度変動データの時系列解析</p>			
<p>第4章では、本研究の目的である地表大気中宇宙線生成核種Be-7濃度の年変動を中心とした観測結果とその考察を記述している。8年間の平均濃度は、3.97 mBq/m³であり、太陽黒点数の変動および宇宙線強度変動とそれぞれの相関係数が-0.84および0.94と非常に高い相関があることが観測として明らかにした。しかし、変動解析により太陽活動に関連した宇宙線強度の増加率が12.2%であるのに対してBe-7濃度の増加率は37.4%と大きな値であることを示し、宇宙線からのBe-7の生成量のシミュレーション結果との比較から山形（中緯度）の大気中Be-7は、高緯度（50～60度）帯から流入している可能性を太陽活動に伴う変動から初めて示した。さらに、年変動の詳細構造の解析から、太陽風速度変化および地磁気擾乱に関連していると考えられる変動成分を検出した。また、Be-7濃度の季節変動とオゾン濃度変動の考察から春、秋の二山構造と大気鉛直運動の関係を明らかにした。</p>			
<p>第5章では、本研究の結論をまとめて記述している。</p>			
<p>本研究に関する中心となる研究成果は、申請者を筆頭著者とする英文論文1編が国際専門誌に掲載済みである。また、国際会議では3件の研究成果発表を行っている。以上より、本論文の内容は十分に博士学位論文に値すると判断し、合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>公聴会における学位論文の内容を要約した約1時間の口頭発表を最終試験とした。研究の目的、意義、方法、結果、考察、結論の発表内容は関係する専門分野について十分な深い知識を持ち、順序立ててまとめた説明ができた。また、内容に関わる多数の質疑に対して、すべて自分の蓄積した知識を基に的確に回答しており、課程博士として十分な能力を有していると認め、最終試験を合格と判定した。</p>			