

氷床コア中の ^{36}Cl 測定による 11 ka 付近の宇宙線強度変動の分析

黒住和奈¹、笹公和¹、末木啓介¹、高橋努¹、松四雄騎²、木下哲一¹、
戸崎裕貴³、堀内一穂⁴、松崎浩之⁵、本山秀明⁶

¹ 筑波大学

² 京都大学

³ 産業技術総合研究所

⁴ 弘前大学

⁵ 東京大学

⁶ 国立極地研究所

Analysis of the cosmic-ray intensity fluctuations around 11 ka by ^{36}Cl measurements in the ice core

Kazuna Kurosumi¹, Kimikazu Sasa¹, Keisuke Sueki¹, Tsutomu Takahashi¹, Yuki Matsushi², Norikazu Kinoshita¹,

Yuki Tosaki³, Kazuho Horiuchi⁴, Hiroyuki Matsuzaki⁵, Hideaki Motoyama⁶

¹University of Tsukuba

²Kyoto University

³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

⁴Hirosaki University

⁵The University of Tokyo

⁶National Institute of Polar Research

^{36}Cl is a cosmogenic nuclide (half-life: 301 kyr) produced mainly by a reaction of ^{40}Ar ($p, n\alpha$) ^{36}Cl in the upper atmosphere. The cosmogenic nuclide falls on the Earth's surface at a rate depending on the nuclide production rates and hence reflecting the cosmic ray intensity. Therefore we can reconstruct fluctuations of cosmic ray intensity, by determining the past ^{36}Cl depositional flux. Such fluctuations of cosmic ray intensity may indicate paleo solar activity and/or variations in the Earth's geomagnetic field. This paper presents the results of cosmogenic ^{36}Cl measurements during 10.54-12.00 ka in the ice core drilled at the Dome Fuji station, Antarctica ($39^{\circ}42'12''\text{E}$, $77^{\circ}19'01''\text{S}$, 3810 m above sea level). ^{36}Cl in the ice was measured with the Accelerator Mass Spectrometry (AMS) system on the 12UD Pelletron tandem accelerator at the University of Tsukuba. The maximum of ^{36}Cl depositional flux (3.0×10^4 atoms cm^{-2} yr^{-1}) was observed around 11 ka, corresponding to the ^{10}Be enhancement found in the same ice core. The variation in ^{36}Cl flux shows similar fluctuations in ^{10}Be flux reported previously. $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ is estimated to be nearly constant at about 10.2 during 11.21-11.37 ka for the data obtained here.

宇宙線が大気中を通過するとき、N、O、Arなどの種々の原子と核反応することによって、 ^{14}C や ^{10}Be 、 ^{36}Cl などの宇宙線生成核種が生じる。本研究で分析を行う ^{36}Cl (半減期: 30.1万年)は、主に $^{40}\text{Ar}(p, n\alpha)^{36}\text{Cl}$ の生成過程により大気上層で生成され、2年程度で地表に降下する。宇宙線生成核種の生成率は宇宙線強度に依存しているため、過去の宇宙線生成核種のフラックスを決定することで、宇宙線強度変動を復元することが期待できる。

これまで、弘前大学のグループによる研究で、南極ドームふじ基地($39^{\circ}42'12''\text{E}$, $77^{\circ}19'01''\text{S}$, 標高 3810 m)で掘削された氷床コア中の測定結果から 11 ka 付近で ^{10}Be フラックスの増大が確認された。本研究では、 ^{10}Be 測定をすでに行った氷床コアの切削片試料を用い、11 ka 付近の宇宙線生成核種 ^{36}Cl の測定を加速器質量分析 (AMS) により行った。この ^{36}Cl 測定は、筑波大学の 12UD Pelletron タンデム加速器に付設されている AMS システムを利用した。150 g 前後のサンプルを融解させた後、各サンプルに応じた Cl キャリアを添加している。サンプルに硝酸銀を加えることにより、塩化銀 (AgCl) が約 2 mg 生成され、それを 120°C で乾燥させ、タンデム加速器に装填し測定する。

本研究では、10.54-12.00 ka の期間で ^{36}Cl の測定を行った。11.21-11.37 ka の約 160 年の期間に、 ^{36}Cl のフラックス(最大フラックス: 3.0×10^4 atoms cm^{-2} yr^{-1})の増大が確認された。弘前大学のグループが測定した ^{10}Be と比較したところ、11.21-11.37 ka 間のフラックスの増大部分が一致することが確認できた。また、GISP2 の ^{10}Be との比較でも、フラックスの増大部分がほぼ一致している。IntCal09 の $\Delta^{14}\text{C}$ との比較では、 $\Delta^{14}\text{C}$ と ^{36}Cl にはフラックスの増大が見られるが、年代が異なっていた。これは、年代軸にずれが生じているのではないかと考えられる。そのため、IntCal09 の $\Delta^{14}\text{C}$ を用いた年代軸の補正ができると期待できる。また、 $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ 比の平均が 10.2 であり、フラックスの増大部分である 11.21-11.37 ka の間でも $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ 比が一定となっていることから、 ^{10}Be と ^{36}Cl のフラックスは同じ変動をしていることがわかる。 ^{36}Cl のフラックスの変動が ^{10}Be や ^{14}C のフラックスの変動と一致したこと、 $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ 比が一定であることから、11.21-11.37 ka の期間のフラックスの増大は宇宙線強度の変動が原因であると考えられる。さらに、 $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ 比を用いて氷床コアの新たな年代軸に使用できると期待できる。