

氷床コア中の宇宙線生成核種 ^{36}Cl の変動記録

笹 公和¹、松四雄騎²、戸崎裕貴³、黒住和奈¹、高橋努¹、末木啓介¹、
松崎浩之⁴、堀内一穂⁵、東久美子⁶、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 東京大学、⁵ 弘前大学、⁶ 国立極地研究所

Variations of cosmogenic ^{36}Cl in the ice core

Kimikazu Sasa¹, Yuki Matsushi², Yuki Tosaki³, Kazuna Kurosumi¹, Tsutomu Takahashi¹, Keisuke Sueki¹,
Hiroyuki Matsuzaki⁴, Kazuho Horiuchi⁵, Kumiko Goto-Azuma⁶ and Hideaki Motoyama⁶

¹ University of Tsukuba, ² Kyoto University, ³ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
⁴ The University of Tokyo, ⁵ Hirosaki University, ⁶ National Institute of Polar Research

Cosmogenic nuclides in the ice core provide useful information about the history of the cosmic ray flux in the atmosphere, the past solar activity and the past earth environment. Cosmogenic ^{36}Cl ($T_{1/2} = 3.01 \times 10^5$ yr) is mainly produced via ^{40}Ar spallation, with a global mean production rate of only $\sim 18\text{--}20$ atoms $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. We present here variation records of the cosmogenic ^{36}Cl concentrations and depositional flux over the past 720 kyr in the Dome Fuji ice core, Antarctica. The apparent ^{36}Cl depositional flux at Dome Fuji Station was estimated to be approximately $1 \sim 4 \times 10^4$ atoms $\text{cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$. If the ^{36}Cl flux has been essentially constant over time, the apparent ^{36}Cl flux in the Dome Fuji ice core should decrease exponentially with increasing core age, reflecting post depositional radioactive decay. We have been also engaged in a collaborative research project to measure cosmogenic ^{36}Cl in the NEEM ice core. We have attempted to help with the dating by investigating $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ ratios. There are two aspects. 1) To measure $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ in the deepest ice as a dating exercise, and 2) to measure $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ in several periods where the ice seems disturbed, to try to identify inclusions of older ice or overturned ice.

宇宙線生成核種 ^{36}Cl は主に大気上層において、陽子や中性子等の 2 次宇宙線と Ar との核破砕反応により生成される。地球大気圏に到達する銀河宇宙線の強度は、太陽活動の変動を反映し、地球磁場強度等の影響を受ける。また地上に降下堆積する輸送過程で、気候変動に基づく大気循環変動などの影響を受けることになる。気候ノイズの少ない南極内陸域の氷床中の宇宙線生成核種分析により、氷床に記録されたこれらの地球古環境変動シグナルが明瞭に検出できると期待される。我々の研究グループでは、ドームふじ氷床コアの切削片を試料として用い、深層氷床コア中の宇宙線生成核種 ^{36}Cl の分析を実施している。 ^{36}Cl では 1 回の測定に約 150 g の氷試料を用いる。南極氷床試料 1g 中に存在する ^{36}Cl 原子数は 10^4 個程度であり、通常の実験手法では検出不可能である。 ^{36}Cl 分析には、加速器質量分析法(Accelerator Mass Spectrometry: AMS)が用いられる。本研究では、筑波大学タンデム加速器に設置された AMS システムを用いた。筑波大学 AMS システムでの同位体比検出限界は $^{36}\text{Cl}/\text{Cl} \sim 10^{-15}$ であり、 ^{36}Cl 測定では世界最高レベルの検出限界と効率を有している。放射性核種である ^{36}Cl の半減期は 301 kyr であり、72 万年の歴史を記録したドームふじ氷床コア(H. Motoyama, 2007) においては、その放射壊変減衰に基づくコア年代の制約条件を与えられると期待される。これまでに得られた ^{36}Cl 濃度は、最終氷期最盛期(LGM)付近では 1.7×10^4 atoms/g と最も高く (K. Sasa et al., 2010)、最深部の 3,000 m 付近では 0.14×10^4 atoms/g であった。氷床試料の酸素同位体比を氷床涵養量の指標として ^{36}Cl フラックスを求めた結果、全体の ^{36}Cl フラックスは深層部にかけてモデル年代に従って減少し、 ^{36}Cl 半減期と調和的な減衰曲線を描いた。また、南極ドームふじでの ^{36}Cl 初期フラックスは 72 万年間で $1 \sim 4 \times 10^4$ atom $\text{cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ の範囲でほぼ一定であった。これは、緯度からみた ^{36}Cl フラックスの予測と良く一致していた。 ^{36}Cl は、ドームふじ氷床コアの堆積速度を放射壊変に基づいて独立に推定するために適当な核種とも言える。また、これまでの解析結果から、 ^{36}Cl 初期濃度変動は氷期と間氷期の気候変動パターンを示す酸素同位体比と相関があり、古気候変動研究における一つの指標と成り得ることがわかってきている。

本研究発表では、グリーンランド NEEM 氷床コア (Buchardt, Susanne L. et al., 2008)での宇宙線生成核種分析プロジェクトの研究状況についても報告をおこなう。我々の研究グループでは、NEEM 氷床コアでの切削片試料を用いた ^{36}Cl 分析研究を計画している。南北両極の氷床コアを用いた宇宙線生成核種分析により、宇宙線強度変動比較によるコア年代軸の詳細な検討や大気循環変動の研究が進展すると期待されている。また、 $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ 比の測定による NEEM 氷床コアの年代測定やコア年層の逆転が無いかの確認を実施予定である。

References

H. Motoyama, *Scientific Drilling 5*, (2007) 41–43.

K. Sasa et al., *Nucl. Instr. and Meth. B* 268 (2010) 1193–1196.

Buchardt, Susanne L., Dahl-Jensen, Dorte, *Annals of Glaciology*, Vo. 48, 1, 2008, 100–102(3).