

氏名・(本籍)	うちだともこ 内 田 智 子
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理博第2638号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)地学専攻
学位論文題目	The Last-Glacial to Deglacial ¹⁰ Be Flux above the Antarctica: Implication to Deep Layer Age (南極上空の最終氷期-退氷期の ¹⁰ Beフラックスの解明: 深層水の年代への示唆)
論文審査委員	(主査) 教授 箕浦幸治 教授 柴田康行 助教 堀内一穂(弘前大学)

論 文 目 次

Acknowledgement

Abstract

1. Introduction

1

1.1. Cosmogenic nuclides

1.2. ¹⁰Be records of ice cores

1.3. Ocean circulation changes

1.4. Last glacial-deglacial paleoceanography

1.4.1. *Changes in global climate and ocean circulation*

1.4.2. *The Mystery Interval and the paradox of age determination*

1.5. Purpose of the study

2. Environmental setting

12

3. Materials

14

4. Methods

17

4.1. $\delta^{18}\text{O}$ measurement

4.2. Sample pretreatment for ¹⁰Be analysis

4.3. ¹⁰Be measurement by AMS

5. Results

19

5.1. Oxygen isotope ratios

5.2. ¹⁰Be concentration

6. Chronology

22

7. Discussions

25

7.1. ^{10}Be flux	
7.1.1. Long-term ^{10}Be fluctuations	
7.1.2. Short-term ^{10}Be fluctuations	
7.2. Last glacial-deglacial ocean circulation changes	
7.2.1. ^{10}Be based $\Delta^{14}\text{C}$ variation ($\Delta^{14}\text{C}$ variation deduced from ^{10}Be concentration)	
7.2.2. Estimation of ocean circulation	
7.2.3. The age of deep layer of ocean (The ages of oceanic deep layer)	
8. Concluding remarks	42
References	43
Appendix A: Influence of snow accumulation rate on ^{10}Be concentration and ^{10}Be flux	54
Appendix B: Influence of dust on ^{10}Be concentration	
Appendix C: Estimation of ^{14}C production rate	
Modeling	

論文内容要旨

宇宙線生成核種である ^{10}Be や ^{14}C の生成率変動は、その生成過程から太陽活動変動や地球磁場強度変動を反映していると考えられている。この特徴を利用してこれまでに過去の太陽活動変動や海洋循環の変化を復元するために、極域の氷床や樹木年輪などから宇宙線生成核種の生成率変動の復元が行われてきた。特に、気候の激変期である最終氷期から最終退氷期にかけては、その気候メカニズムの解明の為に、グリーンランド氷床コアから復元された ^{10}Be フラックス変動が主に用いられてきた。しかしながら、この時代におけるグリーンランド氷床コアの ^{10}Be フラックス変動には、宇宙線生成核種の生成率変動だけでなく、局地的な気象の影響も含まれていることが海底堆積物から復元された地球磁場強度変動記録との不一致などから指摘されている。また、このことは、次に述べる最終退氷期の大気中の炭素同位体比 ($\Delta^{14}\text{C}$) 変動の研究においても指摘されている。

大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ 変動には、最終退氷期開始時において急減する変化が認められている。大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ 変動は、主に ^{14}C 生成率と海洋循環の強度の変化を反映していると考えられている。ただし、グリーンランド氷床コアの ^{10}Be フラックス変動から推定された ^{14}C 生成率変動には、この期間において目立った変化は認められなかった。そのため、最終退氷期開始時における大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ 急減の原因は、海洋深層水からの異常に古い炭素の供給によって引き起こされたと考えられている。しかしながら、海底堆積物を用いた研究では、この急減を説明できるだけの異常に古い炭素を含む海洋の水塊は未だ見つかっていない。そのため、この矛盾の原因としてグリーンランド氷床コアの ^{10}Be フラックス変動に含まれる局地的な気象の影響が挙げられている。そこで本研究では、先ず気候変動による影響が少ないと予想される南極ドームふじ氷床コアを用いて、最終氷期から退氷期における南極上空の ^{10}Be フラックスを復元する。次に、復元された ^{10}Be フラックス変動を基に、最終退氷期での深層水年代の推定を行い、最終退氷期での深層水年代の矛盾について検討した。

復元された南極ドームふじ氷床コアの ^{10}Be 記録では、長期トレンドは海底堆積物から復元された地球磁場強度変動記録と、短周期変動は $\Delta^{14}\text{C}$ 記録の短周期変動と、それぞれ一致が認められた。地球磁場強度変動や $\Delta^{14}\text{C}$ 変動が ^{10}Be フラックス変動と共通する現象は、 ^{10}Be 生成率変動しか考えられない。従って、

最終氷期から退氷期におけるドームふじ氷床コアから復元された ^{10}Be フラックス変動は、大気中の ^{10}Be 生成率変動をより良く反映していると言える。

本研究では、復元されたドームふじ氷床コアの ^{10}Be フラックス変動を用いて、海洋深層水の年代を推定した。まず、ドームふじ氷床コアの ^{10}Be フラックス変動を基に計算された大気 $\Delta^{14}\text{C}$ 変動と、測定により得られた大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の差から、海洋表層水と深層水の交換率の変化を推定した。求められた海洋表層水と深層水の交換率は、1,000年スケールでの変動を示し、海底堆積物から復元された海洋循環の強度の変化や北半球のミレニアム古気候イベントと調和的であった。この結果は、推定海洋表層水と深層水の交換率の変化が妥当であることを支持している。

推定した海洋表層水と深層水の交換率を基に、ボックスモデルの深層水と表層水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の差から海洋深層水の年代を計算した。得られた年代は 1000~2500年であった。この年代は、赤道太平洋西部の堆積物の浮遊生有孔虫と底生有孔虫の $\Delta^{14}\text{C}$ 差から求められた深層水の年代とほぼ一致する。従って、最終退氷期における大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ の急減現象が、これまで予想されていたような異常に古い深層水がなくとも、 ^{14}C 生成率の変動と海洋循環の強度の変化によって説明できることを示唆している。

論文審査の結果の要旨

宇宙線生成核種である ^{10}Be の生成過程は過去の太陽活動変動や地球磁場強度を反映していると考えられている。グリーンランドや南極大陸の氷床コアを用いて復元された ^{10}Be 変動記録には、 ^{10}Be 生成率変動だけでなく、局地的な気象の影響も含まれていることが指摘されてきた。特に、最終退氷期を網羅する詳細な ^{10}Be 記録がグリーンランド氷床コアからしか得られておらず、一方でグリーンランド氷床コアの ^{10}Be 記録を基に推定された海洋深層水の年代推定には大きな矛盾が生じており、南極氷床コアに関する ^{10}Be 変動記録の復元が期待されていた。内田智子提出の論文では、南極ドームふじ氷床コアを用いて最終退氷期における ^{10}Be フラックスを復元し、他の古気候プロキシデータとの比較により、以下に述べる最終氷期から最終退氷期にかけての古環境に関する新規の結果が見いだされた。

南極上空での最終氷期から退氷期期間中にかけての ^{10}Be フラックスの復元により明らかとなった地球磁場強度変動と ^{14}C 変動の比較から、地球磁場強度が大気中での ^{10}Be 生成率を反映している事実が明らかとなった。さらに、復元された ^{10}Be フラックス変動を基に、最終退氷期での海洋深層水の年代がこれまで予想されていた年代を 500 年程度下る事実が見いだされた。

以上のように、内田智子の論文では、最終氷期から最終退氷期にかけての海洋循環を、宇宙線生成核種のフラックスから解明している。現在、地球温暖化がもたらす環境変化に対する理解が急務とされている。最終氷期から最終退氷期での ^{10}Be フラックス変動と海洋との関係が解明できたことにより、将来の気候変化を予測する道筋が描けた意義は非常に大きい。これらの成果は国際的なレベルで古気候変動研究の発展に貢献すると考えられる。内田智子は自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、内田智子提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。