

氏 名 川又 基人

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 2239 号

学位授与の日付 2021年3月 24日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Reconstruction of deglaciation history since the Last Glacial
Maximum along the southern Soya Coast, Lützow-Holm Bay,
East Antarctica

論文審査委員 主 査 菅沼 悠介
極域科学専攻 准教授
土井 浩一郎
極域科学専攻 准教授
三浦 英樹
極域科学専攻 准教授
澤柿 教伸
法政大学 社会学部 准教授
松四 雄騎
京都大学 防災研究所 准教授
香月 興太
島根大学 エスチュアリー研究センター 講師

(様式3)

博士論文の要旨

氏名 川又基人

論文題目

Reconstruction of deglaciation history since the Last Glacial Maximum along the southern Soya Coast, Lützow-Holm Bay, East Antarctica

Geological reconstruction of the retreat history of the East Antarctic Ice Sheet (EAIS) since the Last Glacial Maximum (LGM) is essential for understanding the response of the ice sheet to global climatic change and the mechanisms of retreat, including a possible abrupt melting event. Such information is key for constraining climatic and ice-sheet models that are used to predict future EAIS melting. However, data required to make a detailed reconstruction of the history of the EAIS involving changes in its thickness and lateral extent since the LGM remain sparse. The lack of geological constrain makes it difficult to estimate the mechanism of EAIS fluctuation and leads to uncertainty in predicting future EAIS melting.

The Soya Coast is located on the eastern side of Dronning Maud Land, East Antarctica, and faces the Cosmonauts Sea, including Lützow-Holm Bay. This geographic configuration is considered suitable for investigating the potential impact of ocean–ice interactions on the deglaciation of the EAIS. In addition, numerous numbers of glacial lakes in ice-free oases along the Soya Coast are suitable for reconstructing regional environmental changes and retreat history of the EAIS. The author conducted field-based geomorphological surveys on the southern Soya Coast during 2015–2016, 2017–2018 as a part of the 57 and 59th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE). This thesis presents a detailed ice-sheet history for the southern Soya Coast (Skarvsnes, Skallen, and Telen), Lützow-Holm Bay, East Antarctica, based on geomorphological observations, surface exposure ages, and lake sediments characteristics. This combined approach yields not only a timing of retreat, but also the more detailed reconstruction of the spatial variation of ice-sheet history and mechanism of the thinning and retreat of the EAIS.

Field-based geomorphological observations, surface exposure dating of erratic rocks, and lake sediment analysis, including high precision ^{14}C dating provide clear evidence for an abrupt thinning and retreat of the EAIS along the southern Soya Coast during the Early to Mid-Holocene (between 10 and 9 ka to 5.4 ka). These results also indicate that the ice-free areas (Skarvsnes, Skallen, and Telen) along the Soya Coast were all covered by the EAIS before deglaciation, most likely during the LGM. However, the exposure ages of bedrock from Skarvsnes (18010905 at 21.2 ka and 16012401 at 14.4 ka) show ages that are older than those of the erratic rocks. These differences in

the exposure ages of the bedrock-erratic pairs from the same location suggest inheritance in the exposure ages of the bedrock acquired during ice-free periods prior to the last deglaciation. This interpretation is consistent with the difference in weathering features between bedrock and erratic rocks. This indicates that the subglacial condition of the ice sheet that overlaid this area was nonerosive cold-based ice and/or warm-based ice, which not sufficiently to erode the bedrock to completely reset the inherited component of exposure ages. Although the author cannot directly constrain ice thickness during the last glacial period (certainly LGM), evidence from weathering features and inherited exposure ages of bedrock at Skjegget (400 m a.s.l.), Skarvsnes, provides the first-order estimation for the upper limit on the former ice sheet thickness that overlaid the summit of Skjegget less than ~300 m.

The timing of the abrupt ice-sheet thinning and retreat is probably consistent with the intrusion of modified Circumpolar Deep Water (mCDW) into deep submarine valleys in Lützow-Holm Bay, as inferred from a published record of fossil foraminifera data of marine sediment cores. Thus, the author proposes that the mechanism of the abrupt thinning and retreat of the EAIS along the southern Soya Coast was marine ice-sheet instability caused by the mCDW intrusion into the deep submarine valleys. Based on this hypothesis, the slight differences in the timing of the initiation of the ice-sheet retreat between the northern and southern sides of Skarvsnes can also be explained by the geographical configuration of this area. The Telen submarine valley, southern side of Skarvsnes, is a large submarine valley with more than 1000 m deep, while the Honnör submarine valley is slightly shallower and smaller. This suggests that the Telen submarine valley is potentially more susceptible to the mCDW intrusion, which may cause earlier deglaciation in the southern side of Skarvsnes. On the other hand, the Skjegget, northern part of Skarvsnes, is directly facing to the Honnör submarine valley, which may have been more sensitive to the mCDW intrusion and to the ocean–ice-sheet interactions than the southern part of Skarvsnes. Therefore, the initiation of the ice sheet thinning of the northern part of Skarvsnes was slightly later, but the more abrupt thinning was thought to have occurred. The present study suggests that understanding of ocean–ice-sheet interactions to explain ice sheet behavior is important not only for West Antarctica but also for the Indian Ocean sector of East Antarctica.

Results of the doctoral thesis screening

博士論文審査結果

Name in Full
氏名 川又 基人

Title
論文題目 Reconstruction of deglaciation history since the Last Glacial Maximum along the southern Soya Coast, Lützw-Holm Bay, East Antarctica

南極氷床の変動は、海水準・海洋循環の変動を介して全球的気候変動に密接に関連するため、その変動メカニズムを理解することは今後の人為的温暖化に伴う地球環境変動を議論する上でも重要である。しかし、衛星観測などによる過去数十年間の観測のみからでは、非線形的な氷床融解の可能性を含めて、レスポンスタイムの大きい南極氷床変動を十分に評価することは難しい。従って、今後の南極氷床融解予測を高精度化していくためにも、地形地質学的データに基づく過去の長期的な氷床変動の精密復元と、その変動メカニズムの理解は極めて重要な研究課題である。

申請者は、第 57 次と 59 次の日本南極地域観測隊に参加し、東南極リュツォ・ホルム湾の宗谷海岸南部露岩域において詳細な氷河地形調査を行い、過去の氷床変動を復元するためのデータや岩石試料を取得した。そして、詳細な地形解析と各種分析に基づき、最終氷期最盛期（約 2 万年前）以降の当該地域における急激な氷床融解にともなう露岩域が氷床から解放されていくタイミングを空間的に解明し、その結果を 6 章からなる博士論文にまとめた。東南極における氷床変動復元に関する既存研究は極めて限られており、さらに、露岩地域の氷河地形解析および表面露出年代測定と、湖沼堆積物分析の両面から 3 次元的氷床融解過程を精緻に復元した試みは初めてでもあることから、申請者がまとめた博士論文は南極氷床変動研究における一つのマイルストーンとして極めて重要な価値を持つ。

第 1 章ではイントロダクションとして、研究の背景と、急激な南極氷床融解のメカニズムとして最近注目されている海洋・氷床相互作用について概説している。第 2 章から第 3 章では、研究対象地域の地形地質学的特徴と先行研究を詳しく紹介し、調査・分析・解析手法についても細かく記載している。そして、第 4 章と第 5 章では、Kawamata et al. (2020)、川又ほか (2020)、および川又ほか (2021) として出版された論文に掲載された結果を中心に、露岩および迷子石試料を用いた表面露出年代測定から、同地域において約 9-6 千年前の期間に東南極氷床高度が 400 m 以上低下したことが明確に示した。また、本研究では新開発の掘削システムを用いて、従来困難であった基盤岩直上まで到達する湖沼堆積物試料を採取することで、放射性炭素年代測定に基づく湖沼成立のタイミング、すなわち氷床融解年代の精密な決定と氷床融解後の環境変遷を詳しく復元することも可能とした。これらの結果に基づいて、かつて同地域を覆っていた氷床の拡大範囲を推定し、完新世前期-中期 (9-6 ka) にかけて氷床高度を 400 m 以上急激に低下させた氷床融解モデルを提唱している。さらに、当該地域の急激な氷床融解が、リュツォ・ホルム湾における比較的温暖な周極深層水流入に起因する可能性について議論を展開した。5 章の最後では、将来

的な研究課題についても、簡潔ではあるが明確に示している。

以上、申請者は、東南極リュツォ・ホルム湾宗谷海岸南部において、最終氷期以降の氷床融解過程について重要な知見を得た。前述のように、審査論文の内容のうち、表面露出年代に基づく氷床融解過程の復元や、詳細な氷河地形解析についてはすでに査読付き論文として国際誌 1 編 (Quaternary Science Reviews) と国内誌 2 編 (地学雑誌および地理学評論) で公表されている。また在学中には日本科学協会の笹川科学研究助成にも採択され、さらには 2019 年度笹川科学研究奨励賞も獲得している。これらの成果をもって、審査委員会は、審査論文が博士 (理学) の学位を授与するのにふさわしいと全員一致で認めた。