

|           |   |
|-----------|---|
| 氏名        | 佐々木 聡史  |
| 学位の種類     | 博士（理学）  |
| 学位記番号     | 総博甲第 156 号  |
| 学位授与年月日   | 令和 4 年 3 月 1 8 日  |
| 学位授与の要件   | 学位規則第 4 条第 1 項  |
| 文部科学省報告番号 | 甲第 755 号  |
| 専攻名       | 総合理工学専攻   |
| 学位論文題目    | 東南極リュツォ・ホルム湾地域とトッテン氷河沖における最終氷期以降の貝形虫群集（甲殻類）と環境の時間空間変化<br>(Spatiotemporal changes of ostracod assemblages (Crustacea) and environments in the Lützow-Holm Bay area and off Totten Glacier, East Antarctica, since the Last Glacial Period) |
| 論文審査委員    | 主査 島根大学教授 入月 俊明<br>島根大学教授 三瓶 良和<br>島根大学教授 酒井 哲弥<br>島根大学准教授 瀬戸 浩二<br>島根大学講師 香月 興太  |

## 論文内容の要旨

本研究では、温暖化による地球環境の現状を認識し、将来の予測を行う上で重要な地域である東南極において、最終氷期以降の環境や海水準変動を詳細に復元することを目的として、堆積物と甲殻類の仲間で微小な 2 枚の石灰質の殻（通常 1 mm 以下）が容易に堆積物中に保存されるため“示相化石”として重要な貝形虫を主たる対象に、特に下記の 2 点に焦点を当てた。

1. ほとんど研究がなされていない東南極リュツォ・ホルム湾、ケーブダンレー沖、およびトッテン氷河沖で 2019 年から 2020 年に自ら参加した第 61 次南極観測隊（JARE61）により採取された表層堆積物中の現生貝形虫種の分布および生態の意義を明らかにし、これらと環境要因との関連性を定量的に解明すること。

2. 東南極宗谷海岸スカルプスネス地域（舟底池、すりばち池、親子池）の貝形虫化石の群集解析や堆積物の地球化学分析に基づき、過去の環境や海水準の復元を行うこと。

1 に関しては、以下の 2 点の結論を得た。

①リュツォ・ホルム湾における 3 試料から 13 属 19 種の貝形虫が産出し、トッテン氷河沖における 10 試料から 31 属 47 種の貝形虫が初めて産出し、研究地域の貝形虫生物地理区としての意義が明らかになった。貝形虫が多産した地点に関して、Q-mode クラスタ分析を行った結果、4 つの貝形虫生物相を識別できた。これらは、研究地域に発達する水塊と対応し、特に、Krithe 属貝形虫が優占する生物相は、相対的に高い水温で低い溶存酸素量を示す水塊を代表し、この水塊は、modified Circumpolar Deep Water (mCDW) に相当する可能性が高いことが示唆された。

②リュツォ・ホルム湾、ラングホブデ地域の水深 10.2~101m までの 9 地点において 20 属 32 種

の貝形虫が産出した。貝形虫が多産した地点に関して、Q-mode クラスタ分析を行った結果、2つの貝形虫生物相が識別された。生物相 I は、水深 60~100m で採取された試料で構成され、低温な下部浅海帯の砂泥底環境を代表すると推定された。生物相 II に含まれる貝形虫の大部分は葉上種であり、採取試料には多くの海藻が含まれていた。また、採取時の水温は、表層から水深 20m まで急激な変化を示した。加えて、調査期間中に調査海域は潮流などによって半日で海水状況が大きく変化することが観測された。これらのことより生物相 II は水循環が良く、透明度が高く、海藻が繁茂しやすい環境を代表すると推定した。

2 に関して、以下の 3 点の結論を得た。

①リュツォ・ホルム湾沿岸のスカルブスネス北部、舟底池から採取された完新世の隆起海成堆積物の 123 試料を用いて、種々の堆積学的・地球化学的分析を行い、過去約 4300 年間の環境変遷を明らかにした。約 4300~1300 年前まで、シルト含有率が高くなり、全有機炭素/全窒素 (C/N) 比と全有機炭素/全硫黄 (C/S) 比の値が低かった。このことより、海洋プランクトン起源の有機物が堆積する酸化的な海水環境であったと推定された。約 1300 年前から現在まで、細粒砂含有率が高く粗粒化し、全硫黄の値が減少した。このことより、研究地域は塩分が減少し、その後、陸域環境へ変化したと推定された。

②スカルブスネス南部、宗谷海岸のすりばち池周辺の標高 0~10m に分布する完新世の隆起海浜堆積物から第 46 次南極観測隊 (JARE46) によって 4 試料が採取された。これらの分析の結果、10 属 16 種の貝形虫化石が初めて産出し、これらの化石群集と宗谷海岸周辺における既存の現生貝形虫分布データとを比較する統計解析法 (現生アナログ法) を用いて、定量的に過去の水深や環境の復元を行った。その結果、調査地点は、約 5800 年前、水深が約 30m で、周囲には海藻が繁茂する透明度の高い海域であったことが明らかになった。また、本研究地域は約 5800 年前から今までの間に約 30~40m 隆起したと推定され、見積もられた調査地域の隆起速度は、5.1~6.8mm/year であった。この結果は、1998 年から 2006 年まで 4 地点 (昭和基地, Hobart, HartRAO, O'Higgins) において超長基線電波干渉法を用いて見積もられた平均隆起速度と調和的であり、貝形虫分析法の妥当性が証明された。

③スカルブスネス北部、親子池において採取された堆積物コアから貝形虫化石を抽出し、結果として、約 8500~2200 年前の層準から 14 属 17 種の貝形虫化石が産出した。これらの貝形虫化石群集の現生アナログ法に基づいて以下の古環境が復元された。約 8500 年以前、親子池は、氷床に覆われており貝形虫が産出せず、約 8500~6700 年前は、海藻や海草が繁茂した閉鎖的的海洋環境であったと推定した。約 6700~4900 年は、水深 19.3~30.2m の海藻や海草が繁茂する開放的的海洋環境に変化した。その後、約 4200~4000 年前に水深 19.3~30.2m の開放的な砂底に変化した。約 4000 年以降、貝形虫化石の保存状態が悪く、貝形虫化石は他の地点から運搬された可能性が高いと結論した。

以上のように、本研究で初めて東南極の各海域において現生貝形虫の分布および生態の意義が明らかになり、さらに、水深、塩分、水温、溶存酸素量などの環境因子の違いに応じた現生貝形虫群集が認められ、南極における環境指標としての有用性を示した。また、この結果を考慮して、第四紀海成堆積物から産出した貝形虫化石の群集解析に基づいて、本研究で初めて復元した古水深や古環境の推定は、従来の地質・古生物学的記録を補強するとともに、氷床融解モデルを今後より確実なものとするための重要な資料の提供の役割を担った。

## 論文審査結果の要旨

佐々木氏が着目した南極氷床は地球上の全氷河・氷床体積の約 90%を蓄積する巨大な淡水貯蔵庫の役割を担い、氷床変動は地球の気候システムに大きな影響を与えている。南極では近年地球温暖化による急激な氷床融解が起き、地球環境へ及ぼす影響が危惧されている。そのため、過去の氷床量や海水準の時系列変化を復元し、未来の予測を行うための様々な地球物理学的氷床融解モデルが提唱されているが、統一した見解が得られていない現状にある。

そこで、佐々木氏の博士論文の目的は、東南極を対象に、新たに微古生物学的・地球化学的手法に基づき、最終氷期（約 2 万年前）以降の氷床融解や地盤隆起による環境変化と海水準変動を復元することである。博士論文で微古生物学的手法に用いた微化石は、甲殻類の 1 綱で小型底生動物群の主要構成分類群の貝形虫である。貝形虫は、その石灰質殻が長期間化石として大量に保存されるため、古環境を復元するための重要な示相化石と認識されている。

博士論文では、大きく 2 つの研究を行なった。研究 1 として、東南極リュツォ・ホルム湾、ケープダンレー沖、トッテン氷河沖の海域で、佐々木氏が第 61 次南極観測隊に同行し、地形・海洋調査に参加して得られたデータと採取試料の分析に基づき、現生貝形虫群集の分布とそれを規制する環境因子との関連性を解明する研究を行った。また、その生態学的情報を加え、研究 2 として、東南極宗谷海岸スカルプスネス地域に分布する海跡湖の舟底池、すりばち池、親子池周辺で採取された最終氷期以降の堆積物の地球化学分析と現生アナログ法を初めて適用した貝形虫化石群集解析により、古環境、海水準変動、地盤運動などを復元する研究を行った。

研究 1 の成果として、研究海域において 4 つの貝形虫生物相の存在を初めて明らかにした。これらは、それぞれ、沿岸から上部亜沿岸帯の藻場に適応した群集、下部亜沿岸帯から上部漸深海帯の冷温で溶存酸素濃度の高い水塊に適応した群集、生物生産性の高い沿岸ポリニア海域を特徴づける群集、および水深 500m 以深に広がり、現在氷床を融解していると考えられている温暖で塩分に富み溶存酸素濃度の低い周極深層水に適応した群集により特徴づけられる。

研究 2 の成果として、舟底池は約 4100~1200 年前まで酸化的な海洋環境で、上部で徐々に塩分濃度が減少し、1200 年前から淡水環境に変化したことを明らかにした。すりばち池では、初めて貝形虫化石を報告し、解析の結果、約 5800 年前は水深が 30m 前後で、現在とは異なり、藻場が発達する透明度の高い海域であったことを明らかにした。すなわち、この地点では現在までに 30~40m 地盤が隆起し、隆起速度は 5.1~6.8 mm/年と見積もられた。親子池でも約 8300 年前以降の氷床融解とそれに伴う隆起運動により海洋から陸域環境へ至るまでの古環境と相対的海水準の時系列変化を復元し、従来と異なる新知見を得た。

以上のように、本研究で初めて東南極海域において、各水塊に適応した現生貝形虫群集の存在が明らかになり、南極における環境指標としての有用性を示した。また、この結果を考慮して、博士論文で初めて定量的に古水深、相対的海水準、古環境の時系列変化が詳細に復元された。さらに、得られた相対的海水準変動曲線は従来の地球物理学的な氷床融解モデルで予測されたものとは異なることから、今回の結果を取り入れた新たなモデル構築を行う必要性を指摘した。これらの成果は地質学、古生物学、古海洋学分野のみならず、地球物理学分野にも大変貢献すると判断され、高く評価されるものである。成果の一部として、IF 付国際誌（査読有）の *Paleontological Research* に筆頭著者として 2 編の論文が受理されており、同じく IF 付国際誌（査読有）の *Polar Science* に共著者として 1 編の論文が公表されている。

以上を総合して、本論文は博士（理学）の学位授与のための論文として合格と判断した。