

# 高知大学学位授与記録

本学は、次の者に博士(理学)の学位を授与したので、学位規則(昭和28年文部省令第9号)第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

## 目次

学位記番号	氏名	学位論文の題目	ページ
甲総科博第39号	Matthieu Civel-Mazens	ACC fronts' migrations in the Southern Indian Ocean over the last 360,000 years assessed from radiolarian assemblages (放散虫群集から評価した過去36万年間の南インド洋の南極周極流フロントの移動)	1

<p>ふりがな 氏名(国籍) 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目</p>	<p>まちゅー しべる まぜんす Matthieu Civel-Mazens (フランス) 博士(理学) 甲総科博第39号 学位規則第4条第1項該当 令和3年9月21日 ACC fronts' migrations in the Southern Indian Ocean over the last 360,000 years assessed from radiolarian assemblages (放散虫群集から評価した過去36万年間の南インド洋の南極周極流フロントの移動)</p>
<p>発表誌名</p>	<p>Civel-Mazens, M., Crosta, X., Cortese, G., Michel, E., Mazaud, A., Ther, O., Ikehara, M., Itaki, T., 2021. Antarctic Polar Front migrations in the Kerguelen Plateau region, Southern Ocean, over the past 360 kyrs. <i>Global and Planetary Change</i>, 202. <a href="https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103526">https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103526</a></p> <p>Civel-Mazens, M., Crosta, X., Cortese, G., Michel, E., Mazaud, A., Ther, O., Ikehara, M., Itaki, T., 2021. Impact of the Agulhas Return Current on the oceanography of the Kerguelen Plateau region, Southern Ocean, over the last 40 kyrs. <i>Quaternary Science Reviews</i>, 251. <a href="https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106711">https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106711</a></p>
	<p style="text-align: center;">審査委員 主査 教授 池原 実 副査 教授 岩井 雅夫 副査 教授 近藤 康生 副査 准教授 氏家 由利香 副査 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質情報研究部門 研究グループ長 板木 拓也</p>

## 論文の内容の要旨

The zonal circulation in the Southern Ocean (SO) is dominated by the Antarctic Circumpolar Current (ACC), the largest current in the world, flowing eastward, all around the Antarctic continent. The ACC main flow is divided by several hydrological fronts that represent physical boundaries between its water masses. Recent studies in the modern SO have shown that the ACC fronts play a major role on oceanic drawdown of anthropogenic CO<sub>2</sub> and on nutrients distribution, in particular where the ACC flow is deviated by topographic highs (volcanic plateaus and rises, subantarctic islands or submarine ridges). At these locations, frontal migrations in the past may have influenced the water column structure and primary productivity, with feedback on atmospheric CO<sub>2</sub> concentration (atm CO<sub>2</sub>). Although the concept of latitudinal shifts of fronts, related to climate variations has been proposed in the literature, very few studies linked the latitudinal extent of those shifts to specific climate conditions and assessed their potential role on glacial-interglacial cycles and global climates.

In the modern SO, each front is defined by a specific sea surface temperature (SST) range and is associated to the northern extent of a sub-surface isotherm at 200 m ( $\theta_{\min}$ ), with the latter metric being considered more robust. Estimations of past ACC fronts positions were, however, mostly based on SST estimations, as it is the only metric possible to reconstruct from the biogenic content of sediments (diatoms, foraminifera, alkenones...). In this work, a new approach to estimate subsurface temperatures (sub-ST) from fossil radiolarian assemblages is developed using transfer functions (TF) and the recently published Southern Ocean RADiolarian (SORAD) dataset. SORAD is the largest compilation of radiolarian census data in surface sediments of the SO, comprising over 220 samples with countings for  $\sim 240$  radiolarian species. With this method, subsurface temperatures at 200m depth in three sediment cores of the Southern Indian Ocean (SIO) are predicted from radiolarian fossil assemblages.

The new results are used to track locations of the main ACC fronts' corresponding  $\theta_{\min}$  in the past. The results are compared to published data, especially SST records, from several marine cores in the same region to robustly constrain ACC fronts positions in the SIO over the last 360 kyrs. First interpretations of these latitudinal shifts' impacts at both a basin- and a more regional scale are hereby provided. New and published results presented in this thesis, congruently point to a relocation of the Antarctic Polar Front (APF), and the ACC main branch, north of the Kerguelen Plateau (KP) and Crozet Plateau (CP) during glacial periods. Due to cooler climates and northerly fronts during the MIS 3 – MIS 2 period (42 – 24 kyrs), the Agulhas gateway south of the African continent closed, increasing the influence from lower latitudes on the surface waters east of Kerguelen Islands (KI) by strengthening the Agulhas Return Current (RC). In this glacial configuration, the ACC main flow had reduced interactions with bathymetric features of the SIO, resulting in the weakening of eddy hotspots located downstream of the CP and KP. This process may have participated in isolating Antarctic Surface Waters (AASW) from subsurface waters at a basin scale, possibly lowering CO<sub>2</sub> outgassing from the ocean interior to the atmosphere. Conversely,

during warmer-than-modern early interglacials, the APF shifted south of the CP, nearby Conrad Rise and to the Fawn Trough (a deep sill in the KP). In this configuration, the fronts opened the Agulhas gateway south of the African continent, reducing the RC influence east of KI. During these periods, the fronts and main flow of the ACC probably had stronger interactions with bathymetric highs of the SIO, increasing Eddy Kinetic Energy (EKE) generation downstream of the CP and KP. This process participated in re-ventilating the water column post-deglaciations and, thus, to the outgassing of CO<sub>2</sub> to the atmosphere.

### 論文審査の結果の要旨

南大洋（南極海）は全球的な気候システムで重要な位置づけにあり、特に大気—海洋間の炭素循環を支配する多様なプロセスが内在することで注目されている。世界最大の表層循環流である南極周極流（ACC）は、南極前線や亜南極前線など水塊間の物理的な境界を示すいくつかの水文学的な前線によって分けられている。最近の研究では、過去の海洋前線の移動が南大洋の水塊構造や一次生産に影響を与え、それが大気中の CO<sub>2</sub> 濃度にフィードバックしていた可能性が指摘されている。全球的な気候変動に関連した南大洋の前線帯の移動という概念はこれまでも提案されているが、南大洋インド洋区における氷期・間氷期サイクルやそれより短い時間スケールにおける前線移動の実態を明らかにして、気候変動に及ぼす役割を評価した研究は極めて限定的である。

Civel-Mazens 氏は、南大洋全域から得られた 220 地点を越える表層堆積物中の放散虫群集データセットと現場の海水温との関係を詳細に検討し、放散虫群集から過去の南大洋の亜表層水温（sub-ST：水深 200m）を推定する方法を開発した。動物プランクトンである放散虫は生息する水深帯が広いこと、珪藻などの植物プランクトン化石からは得られない亜表層や中層の環境情報を抽出できるメリットを活かした点がユニークである。この方法を南大洋インド洋区の前線を挟む 3 地点の海洋コアに適用し、堆積物中に保存されている放散虫化石の群集解析記録から過去 360 万年間の ACC 前線帯の変動を復元することに成功した。既報の海面水温変動記録と合わせて考察をすすめ、氷期には南極前線と ACC 流軸部がケルゲレン海台とクローゼ海台の北側に移動していたこと、その影響としてアフリカ大陸南方沖のアガラスゲートウェイがほぼ閉鎖され、行き場を失った南インド洋の熱を運ぶアガラスリターン海流が強化されることで、ケルゲレン諸島付近の表層水において低緯度からの影響が大きくなっていったことを明らかにした。また、氷期の ACC 前線帯の北上は、近年注目が高まっている中規模渦の形成にも影響していたことが推測され、結果として南大洋から大気への CO<sub>2</sub> 放出を抑制することに寄与していた可能性を新たに指摘した。一方、間氷期初期の現代よりも温暖な時期には ACC と南極前線は南下しており、中規模渦との相互作用が増大することで海洋から大気への CO<sub>2</sub> 放出を増加させていたとする仮説を提示した。

以上の研究成果の一部は、2 編の筆頭著者論文として査読付き国際誌に掲載されているとともに、2019 年 9 月にシドニーにて開催された国際会議「13<sup>th</sup> International Conference on Paleooceanography」、および、国内で開催された極域科学国際シンポジウムや日本地球惑星科学連合大会などで発表されている。

以上のことから、本研究は、南大洋における過去の南極周極流と前線帯の移動の実態解明に迫り、全球気候変動への影響に関する重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、

学位申請者 Matthieu Civel-Mazens 氏は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。