

別紙 1

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目
氏 名

The paleoenvironmental history of the late Miocene-Pliocene
Southern Ocean—Diatom and chrysophyte cyst evidences—
(南大洋における後期中新世-鮮新世の古環境変動—珪藻およ
び黄金色藻シスト化石の証拠から—)
加藤 悠爾

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、南大洋における後期中新世-鮮新世の古環境変動復元を主な目的とした微古生物学的研究である。南極大陸とそれを取り囲む南大洋は、南極周極流 (Antarctic Circumpolar Current: ACC) の成立や海水生成、氷床発達などを通して全球規模の気候変動を駆動してきた。そのため、これらの変動史を地質時代に遡って復元することは、地球環境システムの動態に対する理解の深化、さらには気候の将来予測のためにも必須の課題である。

南大洋には、他の海域とは異なり海流の障壁となる陸地がほとんど存在しないため、南極大陸を周回する大規模な東向きの海流 (ACC)、および南極大陸の周りに同心円状に発達した一連の海洋フロント (海水温などが急激に変化する水塊の境界) が存在する。ACC は低緯度域から高緯度域への熱輸送を阻み地球を冷やす役割を担っているため、ACC の変動史の解明は、地球科学における大きなテーマのひとつである。

ACC は海底 (約 3000 m) までその影響が及ぶ強い海流であり、影響を受けている間は沈降粒子が海流によって流されるため、影響が弱まって再び堆積が始まるまでの期間に堆積物の間隙が生じる。これまで、この堆積間隙の地理分布などを主な根拠とした ACC 流路の復元が行われてきた。しかし、そもそも堆積物が保存されないため堆積間隙が形成された時代の分析が困難であり、連続的かつ長期的な ACC 変動史は未解明のままである。さらに、先行研究のほとんどが漸新世 (ACC 成立時期) あるいは更新世以降を対象としており、中新世から鮮新世にかけての ACC 変動史に関しては未だほとんど手付かずの状態である。

一方で南極氷床は、地球上に存在する淡水の 60%以上を占めており、温暖化等に

よりこれらが融解して海洋に流れ込んだ場合、数十 m 規模の海面上昇に加え、大気・海洋循環にも大きな影響が出ると考えられている。南極氷床変動史の復元研究は、深海コア試料中の底生有孔虫殻の酸素同位体比、氷床の張り出しにより堆積物が削られてできた陸棚堆積物の堆積間隙、などに注目したものが多い。前者は、全球的な氷床量変動の復元には適しているが、その変動の地域差までは捉えられない。後者は、氷床の張り出しという直接的な証拠に基づいており、地域的な変動は捉えられるが、前述の ACC による堆積間隙と同様に、堆積年代の決定や分析が困難であるため、連続的な変動を復元するには不向きである。

これらの問題点を踏まえ、本研究では、珪質微化石（植物プランクトンの珪藻および黄金色藻シスト）を用いた、長期・連続的な ACC・南極氷床変動史を解明するための新たなアプローチを試みた。南大洋の新第三系海底堆積物には、珪藻をはじめとする保存の良い珪質微化石が豊富かつ連続的に産出する。珪藻は、高緯度海域や湧昇流帯で特に繁栄している分類群であり、各水塊に応じた棲み分けをしている場合が多い。ゆえに、これらの環境指標種群の変遷を調べることで、南大洋の過去の姿を復元することができる。本研究では、特に亜熱帯域（ACC よりも北側の水塊）に特有な種群（亜熱帯珪藻：*Thalassionema nitzschioides* var. *parva* など）の消長を調べ、南極周極流の南北移動の長期間にわたる連続的な復元を行った。

また、南大洋の堆積物からは、淡水藻類である黄金色藻が休眠期に形成する珪酸質のシスト化石が産出する。珪酸質のシストは化石として保存されやすいため、特に北半球高緯度域の湖沼堆積物からは多くの化石記録が得られている。一方、南大洋や北極海などに分布する海底の珪質堆積物からも黄金色藻シスト化石の産出報告が幾つかあるが、その報告数は淡水湖沼のそれと比べて圧倒的に少ない。そのため、海底堆積物中の黄金色藻シスト化石に関する知見は著しく不足しており、これらが古海洋学的研究に応用された例も未だほとんど無い。しかし、黄金色藻は主に淡水棲であるため、海洋コア中の黄金色藻シスト化石は南極大陸を起源とする融氷水の流れ込み、すなわち大陸氷床の融解を指標していると考えられる。そのため、南大洋における黄金色藻シスト化石の産出量変動が、地質時代に遡って南極大陸氷床の変遷史を解明するうえで有用な指標となる可能性があると考え、これらの分類・記載と共にその変遷を探った。

以上のように本研究では、（１）後期中新世および鮮新世において ACC 流路がどのように変化していたのか、（２）黄金色藻シスト化石が新たな古環境指標となり得るか否か、を明らかにすることを主な目的として、南大洋大西洋区で掘削されたボーリングコア試料 DSDP Leg 71 Site 513（南緯 48 度、西経 28 度）および ODP Leg 113 Site 689（南緯 65 度、東経 3 度）のうち後期中新世から鮮新世（約 9–3 Ma）について分析を行い、珪藻化石群集の変動および黄金色藻シスト化石の産出量変動を調べた。さらに、走査型電子顕微鏡（SEM）による珪藻・黄金色藻シスト化石の観

察・分類学的研究も行った。

その結果, Site 513 (約 900–480 万年前) では, ACC より北側に生息する亜熱帯珪藻 (主に *Thn. nitzschioides* var. *parva*) の産出量が 20–40 万年程度の周期で大きく変動しており, ACC が何度も南北移動を繰り返していたことが明らかになった。さらに ACC 流路変動を詳細に復元するため, 過去に出版されたデータリポートを参照し, ODP Sites 697 (南緯 62 度, 西経 40 度), 699 (南緯 52 度, 西経 31 度), 704 (南緯 47 度, 東経 7 度) における *Thn. nitzschioides* var. *parva* の産出量変動との比較を行い, 以下のことが示唆された (1) 約 900–480 万年前の南大洋大西洋区における ACC 流路の緯度方向の変動幅は 5 度以上に及んでいた, (2) ACC 流路変動の度合いには地域差があり, その結果として流路の蛇行が起こっていた。

黄金色藻シスト化石の産出量変動は, Sites 513 と 689 とともに淡水珪藻群集の変動とよく似たパターンを示した。また, SEM 観察によって, 淡水域から報告されている複数種のシストも確認されたため, これらの黄金色藻シスト化石は主に陸からの淡水の流れ込みによって南大洋沿岸に運搬されたと考えることができる。南大洋に流れ込む淡水は南極大陸の氷河・氷床の融氷水を起源とするため, 南大洋における海底堆積物中の黄金色藻シスト化石の産出量変動は, 地質時代に遡った南極大陸氷床の変遷史を解明するうえで有用な情報源として扱えることが分かった。また, 全球氷床量を反映するとされる底生有孔虫殻の酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ 値と, 本研究で明らかになった黄金色藻シスト化石産出量の変動を比較したところ, 全体として $\delta^{18}\text{O}$ 値が軽い値を示す時期 (全球的に氷床量が減少した時代) に黄金色藻シスト化石の産出量が多くなっていた。このことも, 上述の黄金色藻シスト化石と氷床量変動との間に強い関連性があることを示唆している。

一方, Site 689 の一部層準から, 黄金色藻シストと海水関連珪藻の多産, および海水域から産出報告がある黄金色藻シスト化石 *Archaeomonas areolata* が確認された。したがって, 南大洋の海底堆積物に産出する黄金色藻シスト化石には, 淡水起源のものだけでなく海水起源の種が複数種含まれている可能性が高い。今後, 黄金色藻シスト化石の古海洋環境指標としての有用性を精査し, 環境復元に適用していくためにも, これらの分類学・(古) 生物地理学的研究を進めていく必要がある。

以上の結果を踏まえ, 本論文では, 珪藻化石群集 (古環境指標種) と黄金色藻シスト化石の両者の変動から推定される南極域における古環境変動 (ca. 9–3 Ma) を詳細に記述した。主な成果は以下の通りである。

海水関連珪藻や亜南極珪藻などの古環境指標種から示唆される寒冷化・温暖化は, ACC の北・南方向への移動とほぼ同時期に起こっており, ACC の位置と気候変動が密接に関連しあっていたことが示された。さらに, 寒冷化 (温暖化) の開始が, ACC の北方 (南方) 移動よりも僅かに早く起こっていることから, 高緯度域での気候変動が ACC の流路変動に大きく寄与していることが示唆された。

また、黄金色藻シスト化石の産出量に関して、Site 513 と Site 689 との間でこれらの変動傾向が大きく異なる時代があるため、南極氷床の発達・後退史には地域差があったことも示唆された。ただし、南大洋堆積物に産出する黄金色藻シスト化石には、大陸起源のシストだけでなく海氷起源のものも含まれている可能性が高い。

以上のように、本研究では、南大洋堆積物を用いた微古生物学的研究によって、過去の長期・連続的な ACC・南極氷床変動の復元に対する全く新しいアプローチを行い、一定の成果が得られた。