南極海の堆積物分析から明らかになった過去1万年間の生物生産性と大気海洋現象のつながり

山根　雅子*1　横山　祐典*2
Yamane Masako　Yokoyama Yusuke

1. 南極海の大気海洋現象と生物生産性

南極大陸を取りまく南極海では，大気海洋の現象と海洋生態系の挙動が，複雑に関係している。この海域は低温であり，海洋の表層では海氷が生成される。海氷の生成により，塩分が高くなり密度が増加した表層の海水は，南極大陸のふちを沈み込む。冷たく密度が高いこの水塊は，南極底層水と呼ばれ，地球規模での海水の循環の一部を成している。海氷が生成される場所やその張出しの規模は，南極大陸から吹き出される風の影響を受ける。海氷が融解する際，海氷の中の栄養塩は海洋表層に放出され，生物ブルームと呼ばれる植物プランクトンの大増殖が起きる。更に，南極海は栄養塩豊富な深層水が湧き上がる海域でもあり，植物プランクトンの増殖に適した環境であるため，高い生物生産性を示す。このことが，この海域における海洋生態系の基盤となっている。大気海洋の現象や海洋生態系の挙動は，大気中の二酸化炭素濃度の調整に重要な役割を果たしており，氷期～間氷期という時間間隔での地球規模の気候に大きな影響を与えている[1)]。より短い時間間隔では，南極海の海氷や南極周辺の上空の風の変化が，エルニーニョ・南方振動等の低緯度域における数年から10年規模の大気海洋現象と関連している可能性が指摘されている[2, 3)]。大気海洋現象と海洋生態系の複雑なつながりは，1年から数年という短い時間間隔で見られる。このような現象の議論を可能にする，年単位の詳細な過去の記録は，これまでに南極海からは得られていなかった。本研究は，国際共同研究の一環として[4)]，この海域の大気海洋現象と生物生産性の年単位での挙動の解明を目的として行われた。

2. 過去の現象の年単位での解明に必要なこと

機器観測による直接的な記録が存在しない時代では，間接的な方法を用いて過去の変化を推定する。海底にたまった泥である海底堆積物からは，過去の海洋の様々な変化を推定することができる。堆積した環境によって，海底堆積物が持つ性質は異なるため，研究の目的に適合した堆積物を用いることが重要である。

今回の研究では，年単位の記録を保存している海底堆積物，すなわち堆積速度が速く，堆積後に擾(じょう)乱を受けていない堆積物が必要である。そこで，東南極ウィルクスランドの沖合に位置するアデリー海盆の堆積物に注目した。先行研究から，この海盆の堆積物の堆積速度は，1年あたり1.5 cmから2.0 cmと非常に速いことが見積もられている。これは，これまでに知られている，南極海の海底堆積物の中で，最も速い堆積速度である。更にこの海盆の堆積物には，ラミナと呼ばれる明暗の縞模様の堆積構造が見られる。堆積後に底生生物による擾乱を受けると，このような堆積構造は見られなくなる。つまり堆積物にラミナが見られるということは，年単位の記録を保存しているということを意味する。今回の研究では，2010年にこの海盆で掘削された，長さ170 mの海底堆積物[4)]を用いた。

今回の研究において，もう1点必要かつ重要なことは，海底堆積物に信頼できる年代軸を当てはめる

ことである。堆積物に記録された情報を，意味のある過去の情報として利用するには，堆積物の年代測定を行い，記録に年代軸を入れることが必要不可欠である。特に，今回の研究では，年単位の挙動を議論するため，精度と確度が高い年代測定法を適用することが鍵となる。炭素 14（^{14}C）年代測定法は，適用できる試料の種類が多く，最近 5 万年間における年代測定で，よく用いられる手法である。しかし南極大陸周辺の海域では，南極大陸起源の砕屑物の混入により，この手法が上手く適用できない問題があった。南極大陸起源の砕屑物は，^{14}C をほとんど含まない。南極大陸周辺の海底堆積物は，堆積した年代を反映する物質が，この砕屑物で希釈されるため，堆積物全体の年代測定では，実際よりも古い ^{14}C 年代を示す。筆者らは，砕屑物の影響を受けていない化合物（単一の種類の脂肪酸）を，堆積物から取り出し，それを年代測定に用いた[5]。対象とする化合物は，堆積物にごく僅かしか含まれていないため，極微量試料のための試料処理法と ^{14}C 年代分析法を開発し，適用した[6]。これにより，アデリー海盆の海底堆積物は，過去 11,400 年間の連続的な記録を持つことが確認された。

3. 過去 11,400 年間の生物生産性と大気海洋現象のつながり

ニュージーランドや米国等の研究者と，筆者らから成る国際共同研究チームは，アデリー海盆で掘削された海底堆積物を分析した[7]。この海底堆積物に見られるラミナの明るい層は，海氷の融解に伴った，生物ブルームにより堆積したと解釈される。ラミナの数の計測により，生物ブルームの発生頻度が分かる。堆積物の物性分析や X 線を使った元素組成分析は，非破壊の連続分析として実施された。これらの分析データは，堆積物に含まれる，生物起源物質と砕屑物起源物質の割合の変化を反映する。海氷の底に生息する珪藻が特異的につくる有機化合物の分析からは，海氷の相対的な張出しの規模を知ることができる。

さまざまな分析の結果，過去 11,400 年間を通して，南極海の生物ブルームは，海氷の変動を強く反映して変化していることが確認された。生物ブルームは，当初は毎年発生していたが，4,500 年前頃を境に，発生頻度が 2 年から 7 年の間隔に変化していた。この時期は，海氷の張出しの規模も拡大していた。同様の時期に，エルニーニョ・南方振動の強度と頻度の変化が起きたこと[8]，南極海の別の海域において，海氷の変化と低緯度の気候の変化が関連していた可能性[9]，が報告されている。これらのことから，海氷が生成される場所や規模は生物ブルームに影響を及ぼすこと，海氷の変化と低緯度域の数年から 10 年規模の大気海洋現象との関連が強まったことにより，生物ブルームの発生頻度が変化したこと，が示唆された。本研究の結果から，温暖化によって海氷が減少もしくは消失した場合，南極海の生物生産性や海洋生態系，炭素循環は大きな影響を受けると予想される。

参 考 文 献

1）Arrigo, *et al*., *Geophysical Research Letters*, **35**（21），L21602（2008）
2）Yuan, *Antarctic Science*, **16**（4），415-425（2004）
3）L'Heureux, *et al*., *Journal of Climate*, **19**, 276-287（2006）
4）Expedition 318 Scientists, Site U1357. *In* Escutia, *et al*., *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program*, **318**（2011）
5）Yamane, *et al*., *Radiocarbon*, **56**（3），1009-1017（2014）
6）Yamane, *et al*., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, **455**, 238-243（2019）
7）Johnson, *et al*., *Nature Geoscience*, **14**, 762-768（2021）
8）Moy, *et al*., *Nature*, **420**, 162-165（2002）
9）Etourneau, *et al*., *Climate of the Past*, **9**（4），1431-1446（2013）

（*1 名古屋大学宇宙地球環境研究所，*2 東京大学大気海洋研究所）