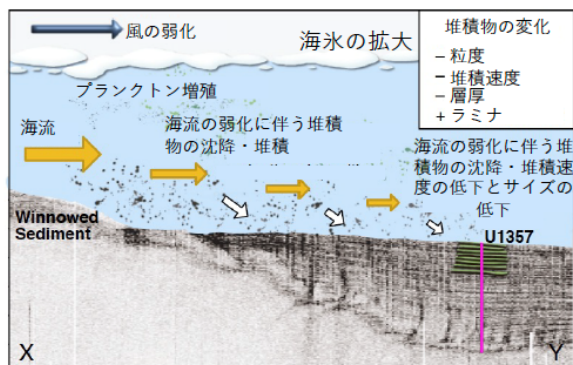
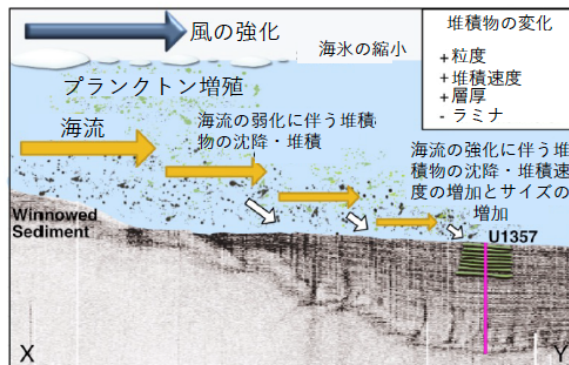


風が弱体化—海水の拡大—海流が弱体化された期間



風が強化—海水が縮小—海流が強化された期間



二酸化炭素の海洋への取り込みに重要なプランクトン量の変化と南極の海氷変化 ～11,400年間の記録に基づく数年から十年スケールの気候変動の影響評価～

1. 発表者：

横山 祐典（東京大学大気海洋研究所 教授）

山根 雅子（研究当時：東京大学大気海洋研究所 博士課程学生／現名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究員）

2. 発表のポイント：

- ◆南極海は、大気中の二酸化炭素濃度変化をひきおこす地球表層の炭素循環において大きな役割を持っています。
- ◆本研究は、二酸化炭素の海洋への取り込みに大きな役割を果たしている南極海の変化が、十年スケールの気候変動と密接に関係があることを過去 11,400 年間の記録から明らかにしました。
- ◆本研究は、南極海の海氷が将来減少すると予測されている中で、南極海がエルニーニョなどの気候変動の影響を敏感に受けやすくなることを示唆しています。

3. 発表概要：

南極の沿岸海域は海氷（注 1）の変化と連動した生物および海洋システムの複雑な関係で特徴づけられる海域です。この海域は南極底層水の形成海域であり、世界の気候および環境変動に影響を与える海洋大循環（注 2）と関係しています。さらに、この海域の高い生物生産性は、大気二酸化炭素の濃度変化をひきおこす地球規模の炭素循環にも大きな影響を与えています。プランクトンがどれくらい増殖（ブルーム）するかは、大気からの二酸化炭素の除去に影響を与えるのみならず、鯨をトップとする海洋生態系の維持にも重要です。プランクトンのブルームは、南極大陸沿岸域の風の変化をとおして、海氷の生成や移動、並びに、海洋深層からの栄養塩の供給によって変化します。南半球高緯度の風の変化はエルニーニョ南方振動（ENSO）などといった中緯度—低緯度の気候現象とも密接に関連していることがわかっています。しかし、中—長期的な変化についての情報はデータが限られているため、いまだに関連性がよくわかっておらず、将来的にどう変化するかなどについても議論が分かれています。

そこで、東京大学大気海洋研究所の横山祐典教授は、名古屋大学の山根雅子研究員（研究当時：東京大学大気海洋研究所博士課程学生）、ニュージーランド ビクトリア大学ウェリントン

ン校のジョンソン博士やマッカイ教授らのグループ、そして米国スタンフォード大学のダンバー教授らが率いる国際研究チームとともに、東南極ウィルクスランド地域沖合（図1）のアデリー海盆において採取された170mの堆積物を調べました。その結果、過去11,400年間において、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、当初は毎年起こっていたブルームが2-7年の間隔に変化したことが明らかになりました。

今回の研究で得られた結果は、温暖化の進行により海氷が減少することが予測されている南極海の変化について、将来の炭素循環や生物応答など、予測を行うモデルの精度向上などに貢献するための重要な知見となります。

4. 発表内容：

南極大陸の巨大な氷床とそれを取りまく南極海は、全球規模の気候変動や生態系と関連しており、近年注目されています。地球全体の海洋を約 1000 年で 1 周する海洋大循環の北半球のスタート地点は北大西洋ですが、南半球でも南極大陸周辺海域において、南極底層水とよばれる深層水が形成され、一秒間に約 2 千万立方メートルもの海水が沈み込んでおり、その大循環の一部を形成しています（図 2）。この海域は、低温であるため表層を海氷が覆い、その拡大と縮小には上空を吹く強い風の流れが重要な役割を果たしています（図 3）。さらに、栄養塩に富む深層の水の湧き上がり（湧昇流）により植物プランクトンが増殖するため（図 4）、海洋生物の摂餌海域でもあります。海氷の位置と規模をコントロールしている上空の風の変化は、エルニーニョなどの低緯度大気海洋現象と密接に関連していることも知られています。しかし複雑に絡み合ったこの海域の現象の高精度モデルによる復元はいまだに困難な状況で、将来の変動予測を行う上で障害となっています。

今回研究グループは、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から採取された 170m の長さの堆積物を分析しました（図 3）。この堆積物は、ラミナと呼ばれる縞模様の堆積構造が見られ、堆積速度が 1 年あたり 1.5-2cm と早いため、これまで南極海から得られている堆積物の中で最も高い時間分解能で過去の海洋の記録を保存している試料です。高精度放射性炭素 (^{14}C) 年代法で詳細な年代決定を行い、X-線を使った元素組成分析や海氷の記録を復元できる有機化合物を用いた分析などから、過去 11,400 年間の当該海域の記録を復元しました（図 5）。

その結果、グローバルな気候が寒冷であった最終氷期以降、現在の間氷期である完新世の間も南極海の環境が変化してきたことがわかりました。完新世初期には毎年のようにプランクトンのブルームが起きていたのに対し、完新世中期に入りその頻度が 2-7 年に変化したことが明らかになりました。この原因は海氷の張り出しの規模が拡大したことによると考えられ、海氷状態が海洋の生物生産性やプランクトンの増殖にも大きく影響を及ぼすことがわかりました

（図 4）。完新世中期は、先行研究から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、並びに、低緯度の気候と南極海のテレコネクションが報告されています。南極の最大の棚氷であるロス棚氷の大規模な崩壊（関連文献 1 Yokoyama et al., 2016）や日本の昭和基地のあるリュッツォホルム湾周辺の氷床の融解（関連文献 2 Yamane et al., 2011; 関連文献 3 Sproson et al., 2021）なども報告されており、今回の研究はそれらの研究結果と整合的なものとなりました。

今回の研究結果は、今後の温暖化の進行で南極海とグローバルな気候がどのように変化するか予測するモデルの精度向上に役立てられます。特に海氷が今後縮小していくと予測されている中、海洋生物や大気二酸化炭素の取り込みにも重要な役割を果たしている生物地球化学的な循環への影響を予測する気候モデルの高精度化に役立つと期待されます。

本研究は、JSPS 科研費 JP20H00193 の一部サポートによって行われました。

5. 発表雑誌：

雑誌名：「*Nature Geoscience*」（9 月 9 日付）

論文タイトル：Sensitivity of Holocene East Antarctic productivity to subdecadal variability set by sea ice

著者：Katelyn M. Johnson, Robert M. McKay, Johan Etourneau, Francisco, J. Jiménez-Espejo, Anya Albot, Chiristina R. Riesselman, Nancy A.N. Bertler, Huw J. Horgan,

Xavier Crosta, James Bendle, Kate E. Ashley, Masako Yamane, Yusuke Yokoyama,
Stephen F. Pekar, Carlota Escutia and Robert B. Dunbar

DOI 番号 : 10.1038/s41561-021-00816-y

アブストラクト URL : <https://www.nature.com/articles/s41561-021-00816-y>

関連文献 1 : Yokoyama, Y., et al.(2016) *Proceedings of the National Academy of Science*,
volume 113, pages 2354-2359 (DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1516908113>)

関連文献 2 : Yamane, M., et al. (2011) *Journal of Quaternary Science*, volume 26, pages 3-
6 (DOI: <https://doi.org/10.1002/jqs.1465>)

関連文献 3 : Sproson, A.D., et al. (2021) *Quaternary Science Reviews*, volume 256, 106841
(DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106841>)

6. 用語解説 :

(注 1) 海氷

海水が凍った氷のことを海氷と呼びます。海水中の塩分は氷に取り込まれないため、海水の塩分は周囲より濃度が高くなり、高密度となるために沈み込みやすくなります。

(注 2) 海洋大循環

北大西洋を起源とする一周が約 1,000 年の循環。海水の塩分と温度差によって駆動されています。熱塩大循環とも呼ばれています。現在北大西洋で毎秒約 2000 万 m³ の海水が沈み込むことで、高緯度に熱を運び、温暖な気候が保たれていると考えられています。

7. 添付資料：

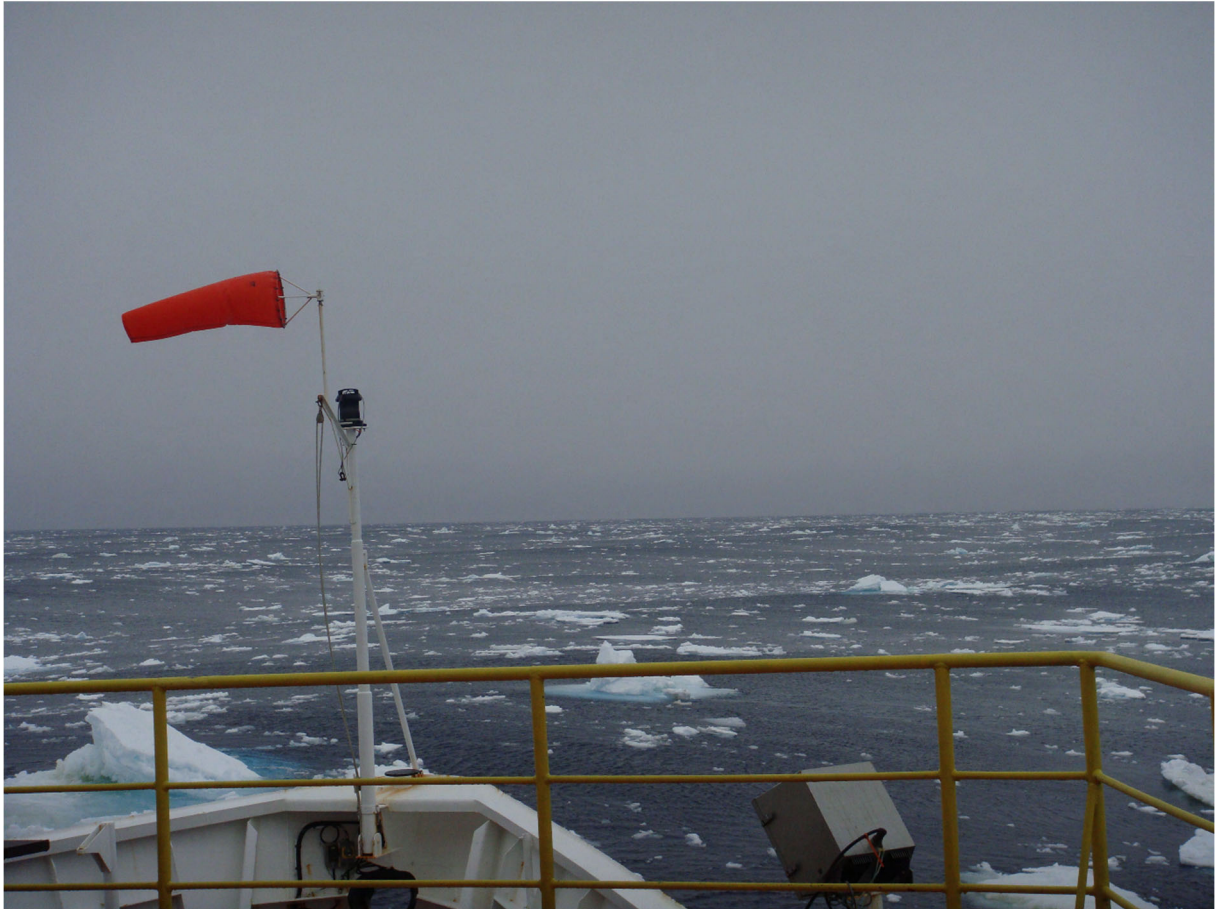


図 1：東南極ウィルクスランドの沖合の様子（山根雅子研究員 撮影）。

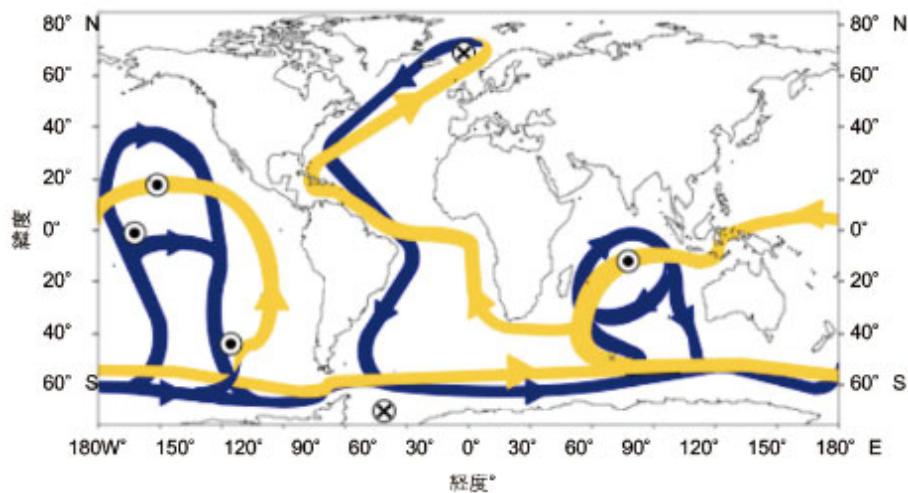


図 2：海洋大循環の簡略図。X は北大西洋と南極海で見られる海水の沈み込み地点。毎秒 2000 万 m^3 という大量の塩分の高い海水が、北大西洋と南極海で沈み込むことにより地球規模の循環が形成されている。茶色は表層の流れ。青色は深層水の流れ。この大循環によって地球の気候がマイルドに保たれているとされている。

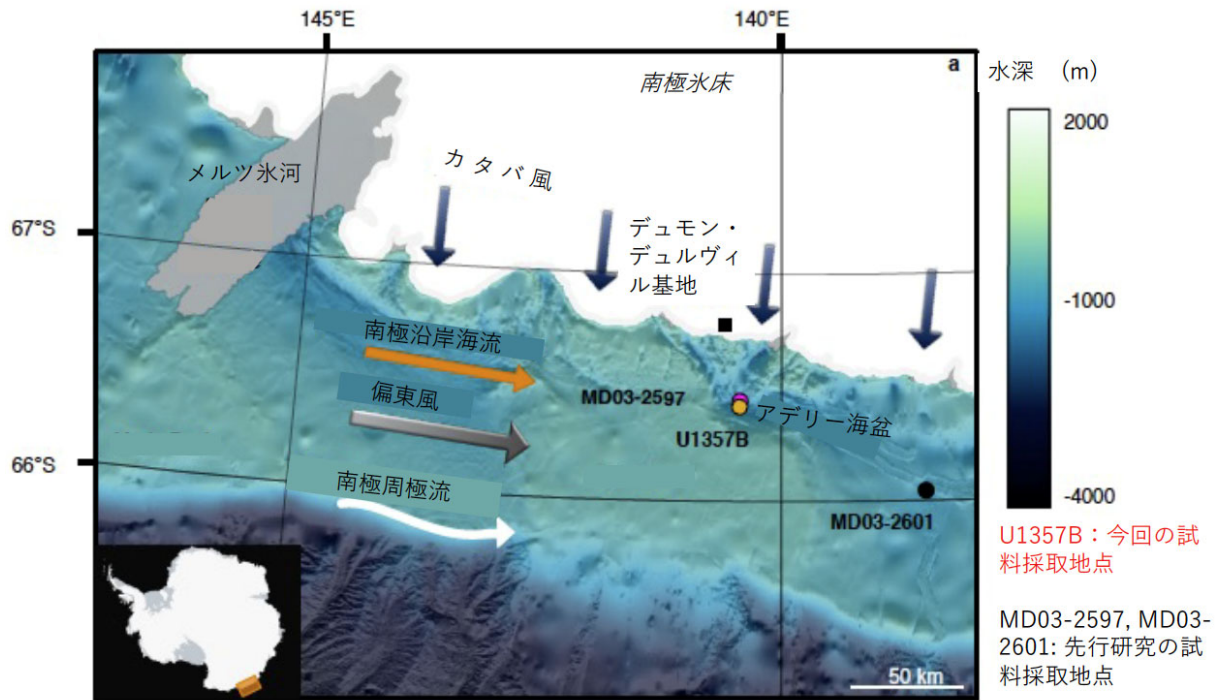


図 3：東南極ウィルクスランド地域のアデリー海盆周辺の大気と海洋の流れの概略図。今回の研究に使用したサンプル（U1357B）と先行研究で採取された試料の採取位置（MD03-2597, MD03-1601）も併せて示す。

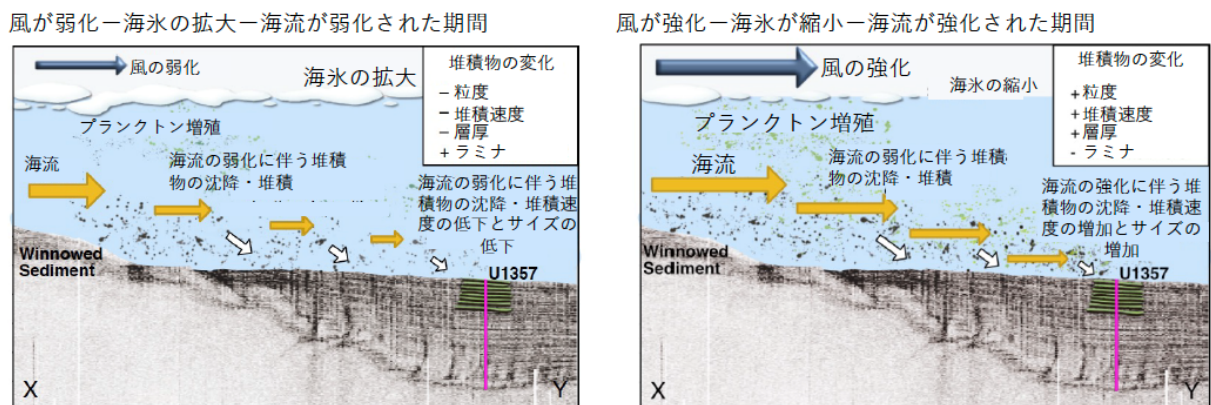


図 4：海水や海流、風の強弱と堆積物に記録されたさまざまな変化との関係の概念図。

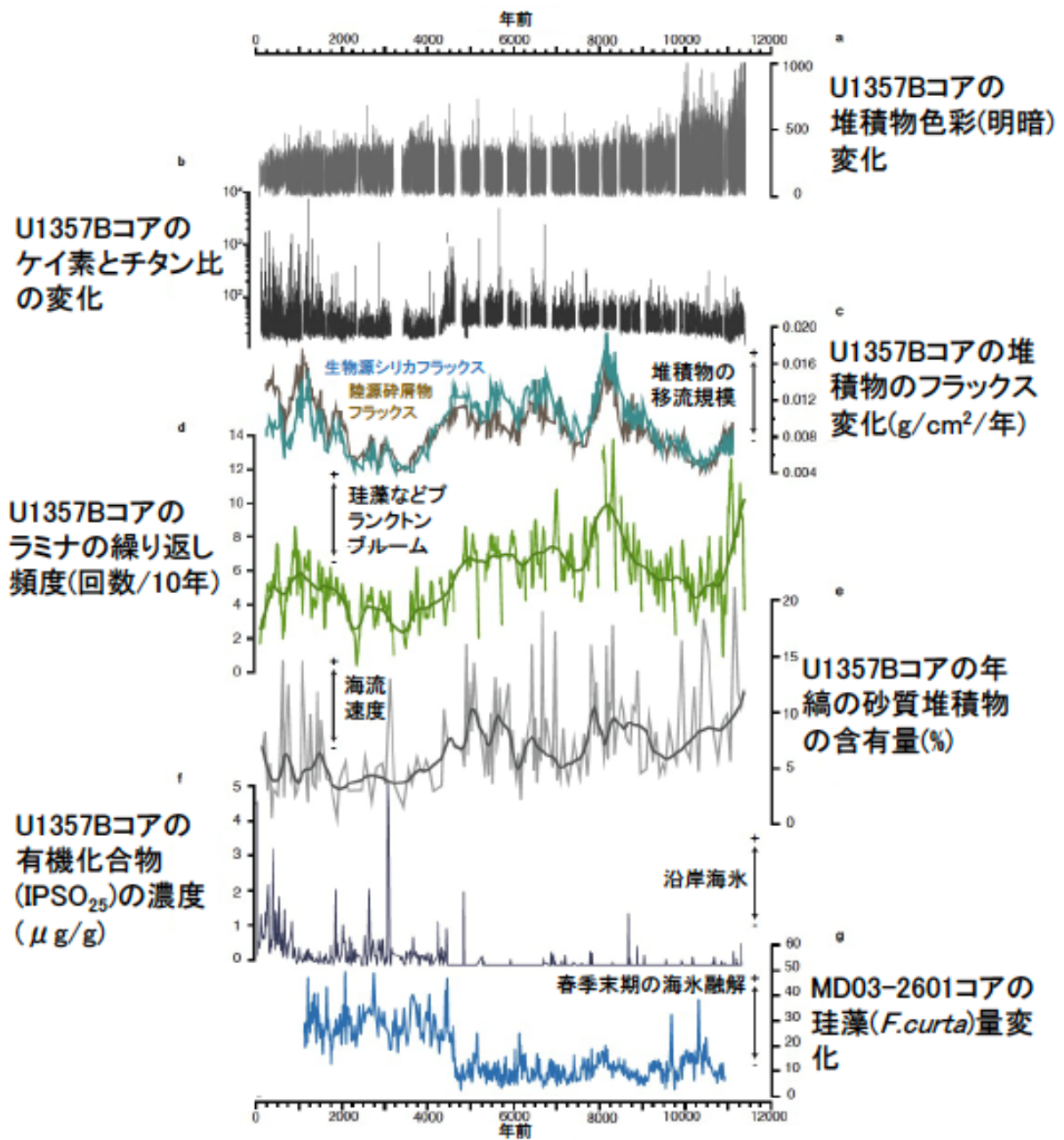


図5: アデリー海盆で採取された堆積物を高時間分解能で分析した結果。海水の拡大縮小やプランクトンの増減、海流の強弱など、現在の間氷期である完新世の間にも大きな変動を繰り返してきたことが明らかになった。