

希ガスをトレーサーとした太平洋における海洋循環の解明
Study on ocean circulation in the Pacific using noble gas tracers

佐野 有司 (SANO YUJI)
東京大学・海洋研究所・教授



研究の概要

太平洋における深層から表層までの海洋循環の経路と量、速度についての実態を、希ガスを中心とした揮発性元素をトレーサーとして観測的研究及び数値実験的研究の両面から解明することを目的とする。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：海洋科学、地球化学、海洋物理・陸水学、地球観測、環境変動

1. 研究開始当初の背景・動機

北大西洋北部及び南極海において大気からの冷却によって海洋深層に沈み込んだ海水は、南極大陸の周囲を循環してインド洋や太平洋に流れ込み、各大洋の深層を北上しながら表層まで上昇し、表層循環を介して再び北大西洋に帰還する。二千年ほどの時間スケールを持つこうした全球規模の海洋熱塩循環について、大雑把な定性的循環像は既に1960年代に確立されているが、その詳細な経路や流量について特に太平洋における実態は今日においても未解明の点が多い。

2. 研究の目的

本研究では太平洋における深層から表層までの海洋循環の経路と量、速度についての実態を、希ガスを中心とした揮発性元素をトレーサーとして観測的研究及び数値実験的研究の両面から解明することを目的とする。

3. 研究の方法

観測で採取された海水試料を分析し、希ガス濃度・同位体の分布から海水の循環経路を推定する。主な購入設備はヘリウム分析装置である。また、流動構造については耐圧製の流速計を用いて調べる。同時に、太平洋の海洋循環を対象とする数値モデルを開発し、シミュレーション実験を行う。

4. これまでの成果

海水中のヘリウム同位体比を従来の装置に比較して、高感度・高精度で測定するために、新しい希ガス用質量分析計(イギリスGV社製:HELIX SFT)を導入した。この装置を調整した結果、約0.1ccSTPの空気試料の繰り返し測定で、精度約0.1~0.2% (1 σ の誤差)を達成した。これは2008年現在の世界最高レベルの分析精度である。その後、大気と溶解平衡にした標準海水を特注のなまし銅管に封入し、このシステムを用いて溶存ヘリウムおよびネオンの分析を行った。温度の違う2種類の海水試料を分析したところ、誤差の範囲内で文献値とよく合っていることを確認した。

並行して東京大学海洋研究所運用の研究船白鳳丸および淡青丸を用いて海洋調査を行っており、これまでに北太平洋だけでなく予備的調査として沖縄トラフや日本海、インド洋でも観測を行った。海水試料は深度別にニスキン採水器を用いて採取し、採取した海水試料は船上で銅管に封じ込めて保管し、陸上の実験室に持ち帰ってヘリウム同位体を分析した。

そのうち2005年に行った日本海の調査では、ヘリウム分析用海水と同時に採取した海水のトリチウム濃度を分析してトリチウム-ヘリウム-3年代を求めることに成功した。その結果、日本海盆に比べ大和海盆の中層水の方が多少古いことが確認され、海水の循環を考える上で重要な知見が得られた。その他、海嶺上のへ

リウム同位体比マッピングを行い、その結果が藤尾の海洋物理モデルと調和的であることを確認した。これは海洋化学的トレーサと海洋物理学のシミュレーションの共同作業が太平洋における海洋循環研究に関して、十分な学術的インパクトを与えるものである。海洋化学と海洋物理学の共同作業は海洋科学における独創性・新規性において格段の発展をもたらす可能性を秘めている。

海洋表層から深層への沈み込みが起きている極域は、流水などの厳しい海洋環境にあり、もっとも重要な冬季での観測が難しい。このため、数値モデリングは沈み込みのメカニズムの研究には、きわめて有効である。数値計算の結果、海水が大陸棚斜面上を深層へ沈降するメカニズムが解明された。海面冷却によって重くなった海水は複雑な渦流（傾圧不安定）を形成しながら斜面上を沈降した。一般に海洋中では等深線に沿う流れ（斜面下向きに働く重力と上向きに働くコリオリ力がバランスした地衡流）が形成されるため、海水は斜面上を沈降しにくいと考えられるが、実際には発生する渦がそうした等深線に沿う流れを壊すことで、海水を効果的に斜面下方に沈降させることが示された。

既存の海洋観測データに基づいて深層水の大規模な循環を推定するため、数値シミュレーション・モデルの構築を行っている。気候学的年平均の海上風応力データセットと水温・塩分データセットを使用して水平0.25度格子、鉛直46層で流速を全球で計算した。最大水深は7000mまで取ることで、海溝部分など深海の地形的特徴を取り込んでいる。深層流の数値シミュレーションの結果によると、南太平洋から北上する深層流が日本東方にいたり、さらに千島列島沿いに北上する経路が現れている。モデルによれば、北緯20~30度付近の2本の分枝の流量はともに $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、大西洋を南下する深層水などに匹敵する。

5. これまでの進捗状況と今後の計画

流速計による物理観測・栄養塩などの化学観測とヘリウム分析用海水試料の採取は

予定通り進んでおり、本研究開始以前に得られたデータや試料も蓄積されていることから、現時点でのデータ量に関しては特に問題はなく、今後も計画通り観測・試料採取を行う予定である。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1. **Takahata, N.**, **Sano, Y.**, Horiguchi, K., Shirai, K. and Gamo, T. Helium isotopes of seawater in the Japan Sea. *Journal of Oceanography* **64**, 293-301, 2008.
2. **Sano, Y.** and Nakajima, J. Geographical distribution of $3\text{He}/4\text{He}$ ratios and seismic tomography in Japan. *Geochemical Journal* **42**, 51-60, 2008.
3. **Takahata, N.**, Kiyota, K., Shirai, K., Nishizawa, M., **Sano, Y.**, and Gamo, T. Distribution of helium-3 plumes and deep-sea circulation in the central Pacific Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **71**, A995, 2007.
4. Gamo, T., Kato, Y., Hasumoto, H., Kakiuchi, H., Momoshima, N., **Takahata, N.** and **Sano, Y.** Geochemical implications for the mechanism of deep convection in a semi-closed tropical marginal basin: Sulu Sea. *Deep Sea Research II* **54**, 4-13, 2007.
5. **Sano, Y.**, Horiguchi, K., **Takahata, N.**, Shirai, K., Oda, S. and Gamo, T. Helium isotopes of seawater in adjacent sea of Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **70**, A555, 2006.
6. **Tanaka, K.** Effects of the Earth's rotation and bottom slope on density current descending a sloping bottom. *Journal of Geophysical Research*, **111**, C11018, doi:10.1029/2006JC003677, 2006.
7. **Sano, Y.** and **Takahata, N.** Measurements of noble gas solubility in seawater by a quadrupole mass spectrometer. *Journal of Oceanography* **61**, 465-473, 2005.
8. **Takahata, N.**, Agarwal, M., Nishizawa, M., Shirai, K., Inoue, Y. and **Sano, Y.** Helium-3 plume over the East Pacific Rise at 25°S . *Geophysical Research Letter*, **32**, L11608, 2005.
9. Senjyu T., Y. Isoda, T. Aramaki, S. Otosaka, **S. Fujio**, D. Yanagimoto, T. Suzuki, K. Kuma and K. Mori. Benthic Front and the Yamato Basin Bottom Water in the Japan Sea. *Journal of Oceanography*, **61**, 1047-1058, 2005.

ホームページ等

<http://cer.ori.u-tokyo.ac.jp>