

全球海洋監視システム「アルゴ」

Argo: A global ocean monitoring system for climate change

細田 滋毅
Shigeki Hosoda

独立行政法人海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Since the global warming are recently recognized as a serious problem for human society, better understanding of current status and mechanisms of climate changes, and forecasting future changes are desired. The ocean is one of the most important elements in the climate system, because heat capacity of sea-water is 1000 times as much as of air. However, widely covered ocean monitoring has been difficult, because methodology of oceanic observation was mainly made by research vessels in a long history. Therefore, autonomous, long-term, real-time and globally-covered ocean monitoring system is essential. International Argo program was started in 2000, with a purpose to construct real-time ocean monitoring system by deployment of 3000 Argo floats in the global oceans. Every 10 days, the Argo floats operated by a over 30 countries produce temperature and salinity data down to 2000 m, all of which are freely available to everyone via internet.

1. はじめに

近年、地球温暖化などの気候変動により、異常気象が発生しやすくなり、それに伴い世界的な干ばつ・洪水の発生、台風の強化等が引き起こされつつあると言われている。また、極域の海水が大規模に融解し、北極航路が開拓されつつある一方、海面水位上昇による低地浸水が発生する等、社会・産業活動に大きな影響が出つつある。しかし、その気象・気候変動メカニズムは十分理解されていない。これは、観測がまだまだ不十分でありデータによる検証が行われていないことが理由の1つである。

地球規模で引き起こされる気候変動は、主に海が主導すると考えられる。大気の約 1000 倍の比熱を持つ、温まりにくく冷めにくい海水は、地球表面積の約 7 割を占めている。すなわち一旦広範囲・大規模に海が温められると、大気への熱供給が持続し、空気の流れや温度を大規模に変化させうる能力を持つことを意味する。従って、海中の熱的な特性や分布、その海水を運ぶ輸送量およびその変動について、全世界をくまなく、長期間観測することが、気候変動のメカニズムを理解し、予測精度の向上に結び付くはずである。

しかし、これまで全世界の海洋内部をくまなく、長期に観測することは不可能であった。何故なら、海洋内部の変動の観測を行うためには、観測船等で現場に行く必要があったからである。すなわち、例えば冬季に荒天・高波浪が続く亜寒帯域、北極・南極周辺海域や、陸域から遠く離れた海域では、しっかりした大型船でなければ観測など不可能である。このような状況において、全世界の海洋を万遍なく、密に観測でき、かつリアルタイムで陸上に居ながらにしてデータが取得できる海洋観測システムが望まれていた。

2. 全球海洋監視システム「アルゴ」

2.1 アルゴ計画の開始と発展

国際プロジェクト「アルゴ (Argo) 計画」が開始されたのは 2000 年である[Argo science team 2001]. 現在国際プロジェクト

となっているこの計画も、最初は数名の研究者がランチタイムの雑談の中で発案されたといわれている。それは、当時一部の研究者によって用いられていた中層海流を測定できるフロート [Davis 1992] に水温・塩分センサーを取り付け、定期的に浮上させて衛星経由でデータを取得すれば、海洋内部を自動観測できる、という案であった。その後海洋研究者が検討を重ね、気候変動に関わる海洋内部の変動を監視するために、300 km 四方に 1 台、全世界で約 3000 台のフロート(アルゴフロート)を展開する計画となった。またユネスコ政府間海洋学委員会 (IOC) においても、アルゴフロートによる観測は、通常の海洋観測と異なり IOC 加盟国の経済水域 (EEZ) 内でも比較的観測しやすい枠組みが作られた。

2000 年当初日米欧わずか 8 か国の研究者・研究機関が各自の研究費からアルゴフロートを展開することで開始されたアルゴ計画は、研究機関・研究者の自由意思によって参加できる参加しやすさや、地球環境への貢献にもつながることから、各国の気象・海洋機関も含め参加国が急速に増加した。その結果わずか 8 年目の 2007 年 11 月に当初目標の 3000 台に到達した。現在は 30 か国を超える国と機関によって、3500 台のアルゴフロートが常時稼働中である。日本では、海洋研究開発機構と気象庁が中心となり毎年約 100 台を展開し、全球観測網の 1 割弱に相当する約 250~300 台を常時運用している (図 1)。

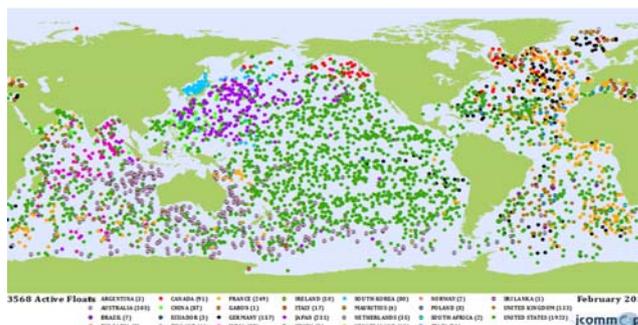


図 1 2013 年 2 月現在の全球アルゴフロートの稼働状況 (3568 台が稼働中)。点はアルゴフロートの位置を示し、色は国別を表す (Argo Information Center 提供。最も多い緑は米国、紫は日本)。

連絡先: 細田 滋毅, 独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域, 神奈川県横須賀市夏島町 2-15, Tel: 046-867-9456, Fax: 046-867-9835, E-mail: hosodas@jamstec.go.jp

2.2 アルゴフロート

アルゴフロートは、自分で移動できる手段を持たず、海流に流されつつ、2000m 深から海面までを自動で昇降し、海洋の基礎的な物理量である水温・塩分を測定できる自動昇降型海洋観測ロボットである(図 2 左)。アルゴフロートの浮沈は、下部にあるブロッカーと呼ばれる油だめにオイルポンプによって内部のオイルを出し入れしてコントロールする。上部には水温・塩分・圧力センサーおよびデータの衛星送信用アンテナが搭載されている。これらは内部の電子基板に記憶されたプログラムによりコントロールされ、電池によって駆動される。

アルゴフロートは、投入後 10 日間 1000m 深に滞在し、その後 2000m まで一旦沈降、浮力を調整し海面まで浮上しながら水温・塩分を測定する(図 2 右)。海面に浮上後衛星にデータを送信し、再び 1000m まで沈降というサイクルを繰り返す。フロートの寿命はバッテリーの容量や観測サイクルにもよるが、約 4 年である。



図 2 (左)アルゴフロート(米国 Webb research 社製). 全長約 2m, 重量 30 kg. (右)アルゴフロートの観測サイクル図. 船から投入された後, 1000m 漂流, 2000m から海面までの水温・塩分測定, データ送信という一連のサイクルを約 4 年間持続する性能を持つ.

2.3 データ品質管理とポリシー

衛星経由で陸上局に送られたデータは、各国のアルゴデータ集積センター(DAC)に送られる。その後、簡易的な精度管理が施され 24 時間以内にインターネットを通じて世界に公開される。しかし、海中で測定を続けるセンサーは、汚濁物質の付着、水圧等による経時変化の影響を受け精度を保持することは難しい。これをアルゴ計画で決められた品質(水温 0.005°C, 塩分 0.01psu(0.01‰))に保ち、気候変動研究に耐えうるデータを提供するために、高品質精度管理が 1 年以内に行われる。アルゴフロートの場合、他の海洋観測データと異なり直接精度検証ができないため、過去のデータを利用するなど様々な品質管理手法が確立され、全球で均一な品質が担保されている。アルゴフロートの所有者はデータの所有権は主張できず、公開後誰でも自由に使用可能である。

3. 気候変動研究と塩分変動

3.1 アルゴデータ

アルゴフロートによって得られた水温・塩分データは、海洋循環の変動解析にも活用される。海盆規模の大規模な海流は、主に海面から受ける風応力と熱・淡水フラックスによる海水密度の配置によって生じ、海水密度は主に水温と塩分によって決まる。このため、アルゴのデータによって検出される水温・塩分の変動は、海洋循環や気候変動に重要な熱・淡水輸送量の推定につながる。しかし、その変動量は非常に小さく、密度にして $10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ 程度でしかない。また、密度に対する影響の仕方も水温と塩分では複雑に異なっているうえに、様々な時間・空間的なスケールの変動が絡み合っている。これらの変動を成分や

時空間スケール毎に分離し、観測された変動の本質的な物理過程を明確にすることが重要である。

3.2 全球表層塩分変動

海洋表層での塩分は、主に海上での降水・蒸発量の変動に起因する。これらの変動を広範囲に直接測定することは困難であるが、全球アルゴ観測網によって表層塩分変動の傾向を捉えることが可能となった。図 3 は、過去の船舶観測と組み合わせで得られた約 30 年間の塩分変動トレンドである。長期的かつ大規模な変動特性を捉えるために、時空間的に強い平滑化を行っている。元々熱帯域や高緯度亜寒帯域では降水が多いため塩分が高い傾向がある。これは、陸上における砂漠や森林・密林分布とほぼ一致しているが、過去の船舶塩分データを基準として、近年得られたアルゴデータによって海域毎の高・低塩分傾向がより強められていることが初めて示された[Hosoda 2009]。この要因として地球温暖化である可能性が考えられるが、今後のさらなる解析が待たれる。

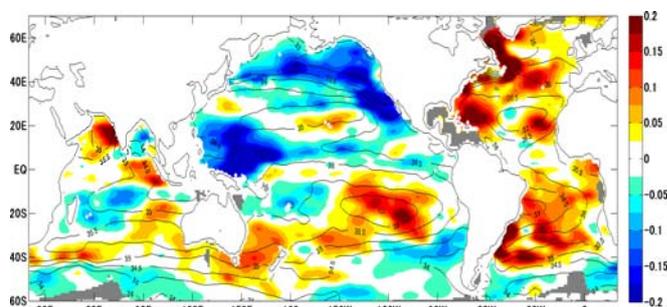


図 3 全球表層塩分変動トレンド(約 30 年間). 寒色系は低塩分化, 暖色系は高塩分化傾向である海域(単位は psu/‰). コンターは年平均塩分分布. 年平均塩分が高い(低い)海域と高(低)塩分トレンドの海域が良く一致している.

4. おわりに

海洋観測の革命的ともいえるアルゴ計画について紹介し、計画の概要および得られた研究成果を紹介した。アルゴの出現によって、海洋観測データもこれまでと比較して飛躍的に増加し、そのデータ処理・解析を変化させていく必要がある。また、海洋観測衛星や、沿岸の船舶観測による大量のデータ等、異質なデータを発掘し複合的な解析を行う、いわゆるデータマイニングの技術が今後進展すると予想される。気候変動研究だけでなく、他の研究領域と連携して複合的な研究を進めることが、今後の飛躍的な進歩につながると考えられる。

参考文献

- [Argo science team 2001] Argo science team, Argo: The global array of profiling floats, in Observing the Oceans in the 21st Century, edited by C. J. Koblinsky and N. R. Smith, pp. 248– 258, GODAE Project Office, Bureau of Meteorology, Melbourne (2001).
- [Davis 1992] Davis, R. E., D. C. Webb, L. A. Regier and J. Dufour, The Autonomous Lagrangian Circulation Explorer (ALACE), J. Atm. Ocean. Tech., Vol. 9, 264–285 (1992).
- [Hosoda 2009] Hosoda, S., Global surface layer salinity change detected by Argo and its implication for hydrological cycle intensification, J. Oceanogr., Vol. 65, No.4, 579–586 (2009).