

## 日仏海洋学会賞受賞記念講演

# 海洋における中規模渦の力学に関する研究\*

今脇 資郎\*\*

## Study on dynamics of oceanic mesoscale eddies\*

Shiro IMAWAKI\*\*

この度は思いがけなく名誉ある日仏海洋学会賞をいただき大変光栄です。これを励みとして今後とも海洋学の発展のために一層努力いたしたいと思います。これから皆様のご支援ご鞭撻を賜りますようお願いいたします。

今回受賞の対象になりました研究は、係留した流速計によって得た深海での流速記録を基にして、深層における中規模流速変動の実体を明らかにしようとしたものです。本日は、その成果の一部をお話した後、最近手掛けております、人工衛星に搭載した海面高度計のデータを基にして、海面での流速変動を調べる仕事についてもお話したいと思います。

海洋の中規模渦が注目を集め始めたのは1960年代の後半です。それまでは、黒潮などの西岸境界流の存在する海域を除いた海の真ん中（海央）における流れは弱いと考えられていたのですが、中立ブイの追跡などの断片的な流速観測によって、海央には時間的に大きく変化するかなり強い流れが存在しているらしいということが分かってきました。この時間的に変化する流れは簡単に中規模渦 (mesoscale eddies) と呼ばれています。海央では中規模渦の運動エネルギーは、平均流のそれよりも一桁程度大きいと言われており、中規模渦が海洋の大循環においてどのような役割を果たしているかを理解することがきわめて重要な課題であると認識されています。

中規模渦の研究には、流速の長期にわたる連続観測が不可欠です。海中で長期間にわたって流速を精度よく測定する技術は、アメリカのウッズ・ホール海洋研究所での長期間にわたるねばり強い努力の末に、やっと1970年

代にはほぼ完成されました。大きな浮力をもつ中層ブイをロープで結び、海底に置いた重りでそれを固定し、ブイと重りの間に流速計を挟んで係留するというものです。確実に作動する重り切離し装置と流速計、それに合理的な係留線の設置作業が、係留した流速計による長期連続観測の成功の鍵と言えます。

私達は、ウッズ・ホール海洋研究所の観測船チェーンの係留航海に参加して、当時最新の設置・回収技術を学んだ後、1977年に伊豆海嶺東方の実験海域 (30° N, 147° Eが中心) において、係留した流速計による流速の長期観測を開始しました。紆余曲折をへて結局1985年まで観測を続けることができました。その間、流速計の回収に行き切離し装置を呼び出したが何の反応もなかったり（おそらくロープが切れて係留線全体が流れ去っていたのでしょう）、反応はあっても切離し装置が働かなかったり、回収しても流速計が止まっていたり、流量計は動いていたが、データが悪くて使えなかったり、と色々の苦労を経験しました。それでも、以下に話しますように、多くの貴重なデータ・セットを手に入れることができました。

まず、1978年から1979年にかけて実験海域内の5地点の深層に流速計を設置し、約5カ月にわたって流速記録を得ました。流速値の水平差分を取ることによって相対過度を求め、その時間差分から相対過度の時間変化率の時系列を求めました。これを、流速の南北成分とコリオリ係数から求めた、惑星過度の水平移流の時系列と比較しました。両者は、互いに逆位相の関係で変化し、かつ振幅も等しいことから、ほぼ釣り合っていると結論しました。それまでの観測データの解析からは中規模渦の非線型性が強調されていましたが、この研究によって、海洋では場所と深さによっては線型に近い過度バランスも存在していることを示したわけです。同じデータ・

\* 1991年5月31日 日仏会館（東京）で講演  
Conférence a la remise du Prix de la Société franco-japonaise d'océanographie

\*\* 鹿児島大学水産学部  
Faculty of Fisheries, Kagoshima University

セットを解析して、観測された流速変動が、平坦な海底地形上での順圧線型ロスビー波の重ね合わせとして理解できることも示しました。

その後、1984年から1985年にかけて集中観測を実施し、狭い測点間隔で13地点の深層に流速計を設置して、1年間の流速記録を得ました。この流速記録からは、相対渦度の時間変化率だけでなく、相対渦度の水平移流の強さ（非線型項）をも見積もることができます。結果は、相対渦度の時間変化率が惑星渦度の水平移流と釣り合うという、順圧線型の渦度バランスがほぼ成り立っている期間もあるが、そうでない期間もあるというものでした。そして、順圧線型の渦度バランスが成り立っていない期間には、相対渦度の水平移流を考慮することによって渦度のバランスが説明できる場合もあるし、そうでない場合もあるという、あまりはっきりしない結論になりました。

もう一つのデータ・セットは、一地点での長期間の連続測流の記録です。この海域の深層で、1978年から1985年まで流速計の設置・回収を合計9回繰り返して、最終的に約7年にわたる連続記録を得ました。これは海央での係留した流速計の連続記録としては世界でも屈指のもので、この流速記録から周波数スペクトルを求め、中規模渦の特徴を調べました。変動場は四つの時間スケールで特徴づけられました。一つは、経年変動スケール（周期120日以上）で、そこでの流速変動の主な方向はほぼ東西方向です。つぎは、時間的中規模スケールI（周期60-120日）で、変動の主な方向は北西・南東方向です。他の一つは、時間的中規模スケールII（周期30-60日）で、変動の主な方向は北北西・南南東方向です。最後の一つは、月スケール（周期30日以下）で、変動は等方的です。

この伊豆海嶺東方での測流は、1985年にひとまず終了しました。その後、アメリカで2年間研究する機会を得、人工衛星に搭載した海面高度計（altimeter）のデータを海洋物理学の分野で利用するための研究を始めました。海面高度計データの処理にはいくつかの面倒な手続きが必要ですが、それらをきちんと実行すれば、非常に強力な情報を取り出すことができるのが分かりました。海面高度の分布が分かれば、地衡流を仮定することにより、海面での流れの変動が直接計算できます。特に中規模渦などを見るのには最適な方法です。

まず人工衛星SEASATの海面高度計データでその有効性を調べた後、人工衛星GEOSATの海面高度計データを解析しました。日本近海の海洋変動に着目し、1986年11月から1年間のデータを用いて、海面力学高度（実際の海面の、ジオイド面からのずれで、それが海面での運動に直接関係する）の時間変動成分を求めました。つまり、海面力学高度の時間変動成分の空間分布図を17日おきに作成しました。それを、海面力学高度の気候学的な平均値（これまでの海洋観測データから力学計算で求めたもの）と組み合わせて海面力学高度の近似値を求めました。つまり、近似的にはありますが、海面力学高度の絶対場の空間分布図を17日おきに作成しました。この時系列には、黒潮統流域での暖水渦の形成、黒潮統流の蛇行の西進、蛇行からの冷水渦の切離し、切離した冷水渦の西進、西進した渦の黒潮への吸収、吸収された渦の黒潮による東方への移流などが鮮やかに描き出されていました。この解析によって、海面高度計データが総観スケールの海洋変動の記述にきわめて有効であることを再確認しました。

海面高度計データの解析は現在進行中であり、中規模渦の力学などに関する詳しい結果はまだ得られていませんが、この黒潮統流域の海面での流速変動は、伊豆海嶺東方の深層で観測した流速変動とは異なり、かなり非線型性が強いことが窺われます。海面高度計は海面での地衡流に関する、広く全球的な二次元的情報をもたらすという点で画期的なものであり、将来の研究が大いに期待されます。

さて、最後になりましたが、これまで多くの方々のご支援やご指導を頂きましたことに対し、感謝の意を表わしたいと思います。まず、京都大学の國司秀明名誉教授には研究の最初からご指導ご鞭撻を頂きました。特に学問の基本的なところで色々教えて頂きました。伊豆海嶺東方での測流は、筑波大学の高野健三教授に助けて頂きながら共同して行ったものです。測流の初期の段階では、神奈川大学の寺本俊彦教授、東京大学の平啓介教授、東海大学の堀部純男教授にご協力を頂きました。また、京都大学の海洋物理学講座の先輩、同僚、後輩の方々には、様々な機会に様々な形でお世話になりました。この他にも大勢の方々にご協力頂きました。どうもありがとうございました。