

「地球変動のメカニズム」
平成9年度採択研究代表者

今脇 資郎

(九州大学応用力学研究所 教授)

「黒潮変動予測実験」

1. 研究実施の概要

最近、人工衛星による海洋観測、現場での黒潮の流量測定、海洋データの同化、海洋数値モデルなどにおいて目覚ましい進展があった。そこで、これらの分野で活躍している第一線の研究者を組織して、これまで夢であった海洋の変動の予測、特に日本南岸での黒潮の流軸位置や流量の変動の予測に挑戦することを計画した。具体的には、まず、黒潮域および北太平洋の亜熱帯循環域を中心にして海洋と気象の変動に関する観測データを収集する。つぎに、その観測データを海洋データ同化モデルによって力学的に整合性のあるデータに編集し、格子点データセットや海面フラックスのデータセットを作成する。これらの編集されたデータを初期値と境界条件として将来の変動を予測できる高分解能の予報モデルを開発する。さらに、これらのデータ同化モデルと予測モデルを統合し、最終的な実用予測モデルを開発する。短期変動については黒潮の流軸位置の予測(1ヶ月先)を目標とする。経年変動については、海面での外力が既知であることを前提として、黒潮の流量を予測(2年先)することを目指す。

これまでの研究で以下の点が明らかになった。日本南岸の黒潮の流量の季節変動は、北太平洋上の風応力から期待される変動よりもかなり弱い。その主な原因は、北太平洋を東から西に向かって伝播する季節変動の信号の大部分が、伊豆・小笠原海嶺によって遮られていることにある。黒潮流量の10年程度の時間スケールの変動は、reduced gravityモデルという簡略モデルで、かなりよく再現できる。日本南岸の黒潮流路の短期的な変動については、変分法によって海面高度計データをモデルに同化すれば、2ヶ月程度先の予測ができる。黒潮流路の経年変動については、現実的な外力で駆動した大循環モデルによって、蛇行流路から直進流路への変遷を再現できる。黒潮の上流域に当たる琉球列島の東側に、かなり恒常的な北東向きの流れがあり、この流れが、トカラ海峡を通る黒潮のほかに、日本南岸での黒潮を涵養している可能性がある。

2. 研究実施内容

研究チームは、本州南岸黒潮モニタリング・グループ、黒潮上流域モニタリング・

グループ、海洋広域モニタリング・グループ、海洋データ同化Aグループ、海洋データ同化Bグループ、予測モデル実験グループ、および実用予測モデル・グループの七つのグループで構成されており、互いに緊密な連携を取りながら研究を進めている。

本州南岸黒潮モニタリング・グループは、日本南岸での黒潮の流量の時間変化を明らかにする研究を行っている。四国沖の黒潮の流量変動を、衛星海面高度計データを基にして推定する作業を継続して行った。これまでに得られた、1992年から5年間の流量変動の記録から、実測された季節変動が、理論値に比べてかなり小さいことが分かった。そこで、理想化された2層の海が、季節変動する海上風に対してどのように応答するかを調べた。その結果、伊豆・小笠原海嶺に相当する海底地形の存在により、東から西に向かって伝播する季節変動の信号の大部分が遮られるため、西岸境界流の流量変化が小さくなることが分かった。結果を図-1に示す。そのほか、四国沖の黒潮の沿岸側と沖合側の海底にIES（倒立音響測深器）を設置し、流量の傾圧的な時間変化をモニターする観測を継続している。ASUKA（足摺岬沖黒潮協同観測）時の海洋観測データなどを用いて、IESデータから黒潮域の密度場の時間変化を推定する手法の開発を試みた。

黒潮上流域モニタリング・グループは、黒潮の上流域である東シナ海、トカラ海峡、および琉球列島南東海域における流速分布とその変動をモニターする研究を行っている。航走ADCPデータと海面高度計データから、奄美大島南東海域の表層に、顕著な北東向きの地衡流が存在することが分かった（2年間の平均値で、10～50 cm/sec）。この強い北東向きの表層流は、3地点での係留流速計観測によっても確認され、奄美大島南東陸棚斜面上の、深さ1,200 m以浅に存在することが分かった。また、トカラ海峡西方の陸棚斜面上の深さ500 m層での流速変動（周期50日程度）が、トカラ海峡における黒潮流軸位置の南北移動に先駆けて生じていることが分かった。

海洋広域モニタリング・グループは、西部北太平洋を定期運行している鉾石運搬船「ファースト・ジュピター」の船底に装着したADCPによって、長期間にわたって広域の表層250 m以浅の海流データを蓄積することを目指している。今年度は、カルマン・フィルターを用いて船速データを平滑化することにより、ADCPデータの精度を高める方法を考案した。また、この運搬船の船舶検査の機会に、船底に取り付けてあるADCPのトランスデューサーの保守を行った。

海洋データ同化Aグループは、1993年以降の日本南岸での代表的な黒潮変動について、前年度に構築した変分法海洋同化モデルに海面高度計データを同化することによって、2ヶ月程度の黒潮流路変動の動的予測が可能であることを確認した。また、単純化された地形を持つ2層海洋モデルを用いた力学実験によって、日本近海での風応力場が黒潮の流路変動に与える影響を調べた。その結果、局所的な風応力

場が黒潮流路の選択に大きな影響を持つことが分かった。すなわち、負の渦度をもつ風は蛇行路のみを実現し、正の渦度をもつ風は逆に蛇行路の出現を制限することが分かった。

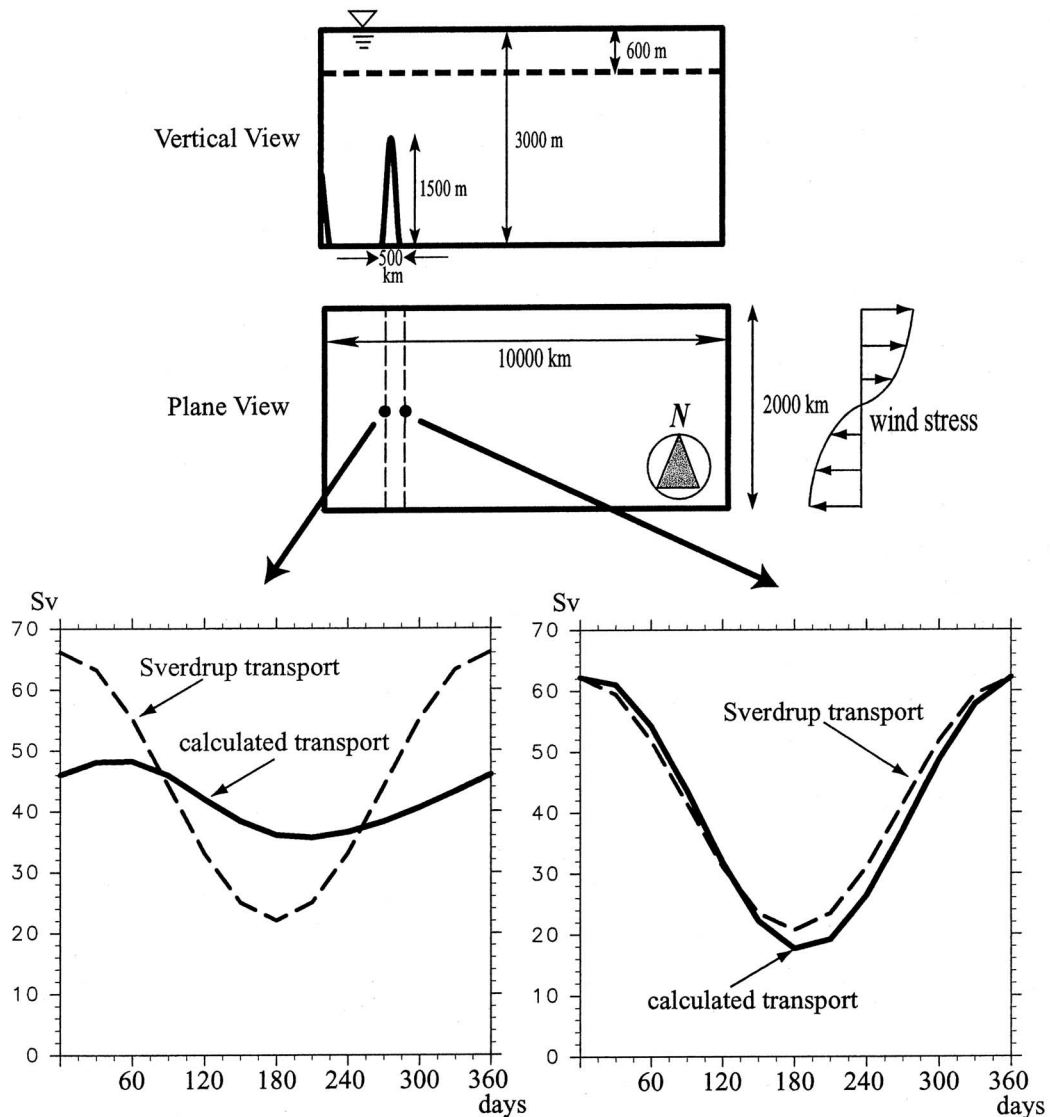


図 - 1 : 季節変動する風応力 (中・右) が、理想化された2層の海 (上 : 断面図、中 : 平面図、西岸近くに海嶺がある) の海面に与えられた場合の、西岸境界流の流量の時間変化 (下)。海嶺の東端から西岸までの間の流量変化 (下・右) は、理論値 (Sverdrup transport) に近いのに対して、海嶺の西端から西岸までの間の流量変化 (下・左) は、理論値に比べてはるかに小さい。ここで「理論値」とは、海底が平坦な海の海面に同様の風が吹いた場合に、線型理論で推定される流量である。

海洋データ同化Bグループは、日本南岸の黒潮流量の2年予測を目指して、まず reduced gravityモデルという簡略モデルに、風応力の変動を与えて、西岸近傍におけ

る流量を計算したところ、10年程度の時間スケールの応答は非常によく再現された。また、西太平洋における風応力の変動に対する海洋の応答は、用いる海洋大循環モデルの水平解像度によって大きく異なり、解像度の高いモデルほど地形による線形ロスビー波の遮断が強く起こることが分かった。海底地形によって、順圧ロスビー波と第1および第2傾圧ロスビー波が干渉を起こすことが、その基本である。今後、予測の成功・不成功を定量的に示す指標を設定する必要がある。

予測モデル実験グループは、黒潮域の水平解像度を1/4度とした北太平洋海洋循環モデルを、NCEPの再解析による海上風で駆動する経年変動実験を行った。日本南岸での黒潮流量の季節変動に関しては、伊豆・小笠原海嶺が冬季の順圧的な循環を遮ることと、JEBAR項による海底地形を通じた鉛直モード間の相互作用が重要であることが分かった。黒潮流路の経年変化に関しては、現実的な外力で駆動した大循環モデルにおいて、蛇行路から直進路への変遷を再現することに成功した。一方、直進路から蛇行路への変化は再現されておらず、中規模渦の活動度が弱いことが原因ではないかと考えられる。

実用予測モデル・グループは、実用的な黒潮変動の予測を行うためのモデルの開発を続けている。まず、衛星海面高度計や船舶のデータの統計・客観解析を行い、変動の時・空間スケールを求めた。つぎに、海洋混合層モデルのアジョイント形を開発して、同化実験を行った。厳密な非線型のアジョイント形を用いるより、簡略化されたアジョイント形を組み合わせる方が、精度よくかつ速く最適解が求まることが分かった。さらに、海洋混合層モデルを同化する際の時間ステップの取り方に関する問題点を検討し、新しい同化手法の開発を行った。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

Kamachi, M., T. Kuragano (MRI) and F. Uboldi (FISBAT-CNR): A Reproduction of Kuroshio separation and data assimilation of KWCR in the confluence area, Reproduction of Kuroshio Separation and Data Assimilation of KWCR, Jan. 1999.

鹿島基彦（九大総理工），馬谷紳一郎，今脇資郎（九大応力研），市川洋（鹿大水産），深澤理郎（東海大海洋）：日本南方黒潮域における慣性周期近傍の流速変動，九州大学応用力学研究所所報，117号，71-77，Sept. 1999.

Kuragano, T. and M. Kamachi (MRI): Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/POSEIDON altimeter data, J. Geophys. Res., Vol.105, 955-974, Jan. 2000.

Ichikawa, H. and M. Chaen (Kagoshima Univ.): Seasonal variation of heat and freshwater transports by the Kuroshio in the East China Sea, J. Marine Systems, Vol.24, 119-129, Feb. 2000.