

「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、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の変動に関する観測データを収集し、変動の実体を正確に把握する。同時に、各種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ヵ月先)を目標とする。経年変動については、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。黒潮の上流域に当たる琉球列島の東側の陸棚斜面上に、顕著な北東向きの流れが安定して存在していることが分かった。その流量は最大で20Svに達する可能性があり、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大きい。日本南岸の黒潮流路の短期的な変動については、衛星海面高度計データをモデルに同化すれば、かなりの精度で予測できそうであることが分かった。黒潮流路の経年変動についても、蛇行流路から直進流路への変遷などをある程度は再現できることが分かったが、これらの黒潮流路の変動には、中規模の渦擾乱の影響が大きいいため、その効果をモデルで正しく表現する必要がある。日本南岸の黒潮の流量の季節・経年変動には、伊豆・小笠原海嶺の影響が大きいことが分かった。今後、これらの海底地形が、亜熱帯循環の変動に及ぼす影響を明らかにする。また、最新の海洋数値モデルが、現在の観測体制で得られるデータを基にして、海洋の変動をどこまで予測できるかを明らかにするとともに、黒潮の変動機構に関する基本的な理解を深めることを目指す。

## 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、黒潮上流域モニタリング、海洋広域モニタリング、海洋データ同化A、海洋データ同化B、予測モデル実験、および実用予測モデル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、現場観測データと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7年間の流量変動の記録から、実測された季節変動が、平坦な海底を仮定した線型の風成循環理論による推定値に比べてかなり小さいことが分かった。また、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）で得られた船舶による水温と塩分の鉛直分布データを基に、音波往復時間から水温の鉛直分布を推定する手法の開発と改良を行った。

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明らかにする研究を行っている。今年度は敬天丸による観測航海を4回実施し、これらの海域で黒潮横断観測や係留流速計の回収・設置を行った。奄美大島南東海域での1998年から2000年の係留流速観測から、陸棚斜面上の深さ460~800m層に、顕著な北東向きの流れが安定して存在していることが分かった。結果を図1と2に示す。特に、測点PK1の460m深では、年平均で40cm/s以上の速い流れがある点が注目される。これまでの資料解析や数値モデルで存在が示唆されていた琉球列島の東側の北上流が実際に存在し、その流量が最大で20Svに達する可能性があることが分かった。

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鉱石運搬船の船底に装着したADCP（音響ドプラー流速分布計）によって、長期間にわたって広域の表層250m以浅の海流データを蓄積することを目指している。これまでに30回の航海が行われ44セットのデータが得られた。今年度も1航海に研究者が乗船し、ADCP観測と並行してXBT（投棄式水温水深計）やXCTD（投棄式伝導度水温水深計）の観測を実施した。これまでの観測データによって、黒潮、黒潮反流、亜熱帯反流、北赤道海流、赤道反流などの基本的な表層海流系の流速の断面構造が明らかになった。

海洋データ同化Aグループは、これまで、弱拘束変分法による同化手法を用いて流れを初期化し、15層数値モデルによって日本南岸での黒潮流路の変動の1ヵ月先の予測可能性を検討してきた。直進的な流路から蛇行する流路への遷移は観測結果と矛盾しない予測ができたが、蛇行する流路から直進的な流路への遷移は再現さ

れなかった。その原因として、初期化のために用いている海面高度計データの解像度が低く（ $1^\circ$  格子）局所的に陸岸・海底地形の影響を強く受ける黒潮の初期化に十分ではないことが考えられる。今後は、ADCPによる測流結果などを補強データとして同化するなどして、予測精度向上のための手法を検討する。

海洋データ同化Bグループは、日本南岸の黒潮流量の変動を2～3年先まで予測するために、海洋大循環モデルによる数値実験を行っている。黒潮域の解像度を高くした北太平洋モデルを作成し、まず定常な風で10年間駆動し、つぎに季節変化を含んだ風で10年間、さらに1986年から10年間の観測された風によって駆動した。2年予測実験として、上記の観測された風による駆動期間中のある時期に駆動条件を固定して3年間の計算を行い、結果を、元の観測された風による駆動実験の結果と比較した。風応力の予報値が得られない場合に、2年後の流量予測がどこまで可能かを明らかにする。

予測モデル実験グループは、高精度の海洋循環モデルによって、黒潮変動の力学的なメカニズムを解析し、その予測可能性に対する基礎的な理解を得ようとしている。黒潮域で $1/4^\circ$ の解像度を持つ海洋大循環モデルの結果から、伊豆・小笠原海嶺付近で低・高気圧性の渦擾乱が顕著に見られること、これらが北太平洋の季節・経年変動をフィリピン海盆内へ運び入れていることが分かった。低気圧性の擾乱は、黒潮続流域での傾圧不安定によって励起され、晩夏から初秋に本州南岸沖へ進入する。高気圧性の擾乱は、冬期の強い順圧的な循環に伴って励起される海嶺東側の西岸境界流の一部が、海底地形の影響を通して傾圧渦の形に変化し、フィリピン海盆内を西進する。

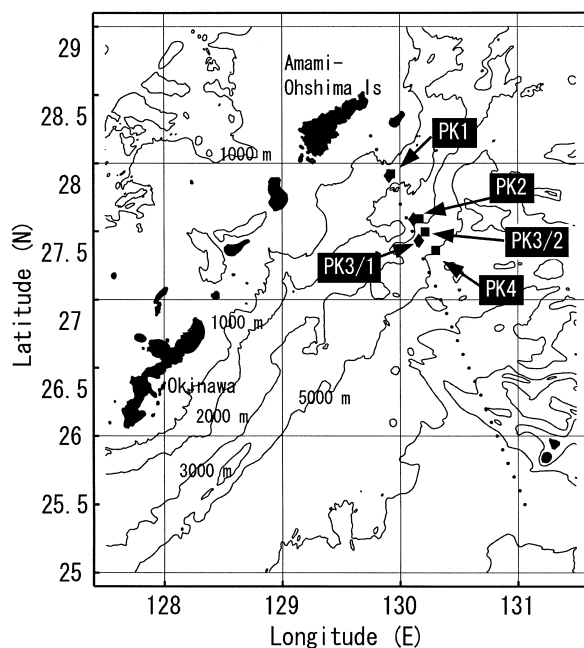


図1．奄美大島南東海域での係留流速観測の測点。

印は、1998年12月～1999年11月の測点（PK1, PK2, PK3/1）。

印は、1999年11月～2000年11月の測点（PK1, PK2, PK3/2, PK4）。黒い点は、衛星海面高度計TOPEX/POSEIDONの軌道。

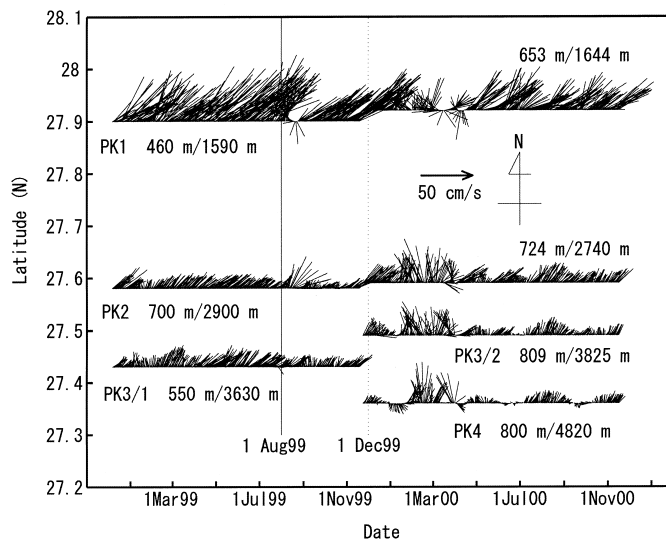


図2 . 係留流速観測点PK1 ~ PK4の深さ460 ~ 800m層における流速のスティック・ダイアグラム。潮流などの短周期成分を除去した後、流速ベクトルを1日毎に表示。

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開発を継続して行い、かつ予測実験も開始した。1994年2月15日から28のメンバー数を持ったアンサンブル予報実験を行った。初期条件には、衛星海面高度計データを1993年1月から翌年2月まで連続的に同化した結果を用いた。予報期間は1ヵ月である。各メンバーの予報結果を用いて相対的な誤差の増大の傾向を求めたところ、ASUKA測線に沿った100m深の水温の予測可能性は17から20日程度であることが分かった。今後、各メンバー毎の予測の過程を詳細に検討する。また、予測結果の評価方法についても検討したので、その方法を次年度の予測実験に適用する。

### 3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

Zhu, J. and M. Kamachi : An adaptive variational method for data assimilation with imperfect models, *Tellus*, Vol. 52A, 265-279, Mar. 2000.

倉賀野連、吉岡典哉、蒲池政文、柴田彰: TOPEX/POSEIDON衛星高度計データによる海況監視、測候時報、第67巻、特別号、S27-S49, 2000. 4.

Uboldi, F. and M. Kamachi : Time-space weak-constraint data assimilation for nonlinear models, *Tellus*, Vol. 52A, 412-421, May 2000.

Zhu, J. and M. Kamachi : The role of time step size in numerical stability of tangent linear models, *Monthly Weather Rev.*, Vol. 128, 1562-1572, May 2000.

Masuda, S. and K. Akitomo : Effects of stratification and bottom topography on the Kuroshio path variation south of Japan. Part 2 : Path transitions in a multiple equilibrium regime, *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 30, 1431-1449, June 2000.

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

2000.

Ichikawa, K. : Variation of the Kuroshio in the Tokara Strait induced by meso-scale eddies, *J. Oceanogr.*, Vol. 57, 55-68, Jan. 2001.

Imawaki, S., H. Uchida, H. Ichikawa, M. Fukasawa, S. Umatani and the ASUKA Group : Satellite altimeter monitoring the Kuroshio transport south of Japan, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 28, 17-20, Jan. 2001.