

九州大学応用力学研究所 教授

今脇 資郎

「黒潮変動予測実験」

## 1. 研究実施の概要

近年、人工衛星による海洋観測、現場での黒潮の流量測定、観測データのモデルへの同化、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路（表層の最強流部の位置を辿った線）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、(1) 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；(2) 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；(3) 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(4) 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、ことを目指した。短期変動については、黒潮流路の予測（1か月先）を、経年変動については、黒潮流量の予測（2年先）を目標とした。黒潮流路の変動では、局所的な力学が重要であり、中規模渦を正確に表現できるかどうかのポイントになる。黒潮流量の変動は、黒潮が北太平洋の亜熱帯循環の西岸境界流であることから、主として北太平洋上の風応力の変動によっている。従って、流量に関する問題は、様々な時間スケールをもつ風応力の変動に対して海洋がどのように応答し、そのシグナルがどのように伝播しているか、特に、伊豆・小笠原海嶺などの海嶺がどのような影響を与えているかを考えることである。

黒潮の流路の変動に関する研究では以下のような成果があった。衛星海面高度計データと漂流ブイデータを組み合わせて海面での絶対的な地衡流を推定する方法によって、日本南岸の黒潮や本州東方の黒潮続流の変動をつぶさに記述することに成功した。トカラ海峡付近で始まった黒潮の蛇行が日本南岸を東進しながら発達していく様子や、黒潮続流が大きな蛇行を繰り返しながら激しく変動する様子が生き生きと表現されている。この流れのパターンから、最強流部を辿って黒潮流路を求めた。1993年から2000年まで10日毎に得られた流路を重ね書きすると図1のようになる。次に、非線形現象の再現性に優れている弱拘束変分法によって、衛星海面高度計データを減重重力モデル（1.5層モデル）という簡略モデルに同化し、日本南岸での黒潮流路の変動を数値モデルで表現した。その結果を初期条件として、黒潮流路の変動に関する予測実験を行った結果、統計的には2か月程度先まで予測が可能であることが分かった。さらに、黒潮を含む北太平洋全域の海洋大循環モデルを、洋上の日平均風応力によって駆動しながら、4次元最適内挿法によって衛星海面高度計データを同化することにより、北太平洋の時系列データ（再解析データと呼ぶ）を得た。この再解析データの、ある時期の値を初期値とし、外力を気候値に置き変えてモデルを駆動する予測実験を、時期をずらしながら多くのケースについて行なった。例として、図2に1997～1999年の結果を示す。日本南岸での黒潮流路の変動が1か月程度までは予測できることが分かった。

黒潮の流量の変動に関する研究では以下のような成果があった。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した。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（1年周期変動）が、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ことが分かった。その原因を明らかにするため、理想化された2層モデルの海が、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、北太平洋を東から西に向

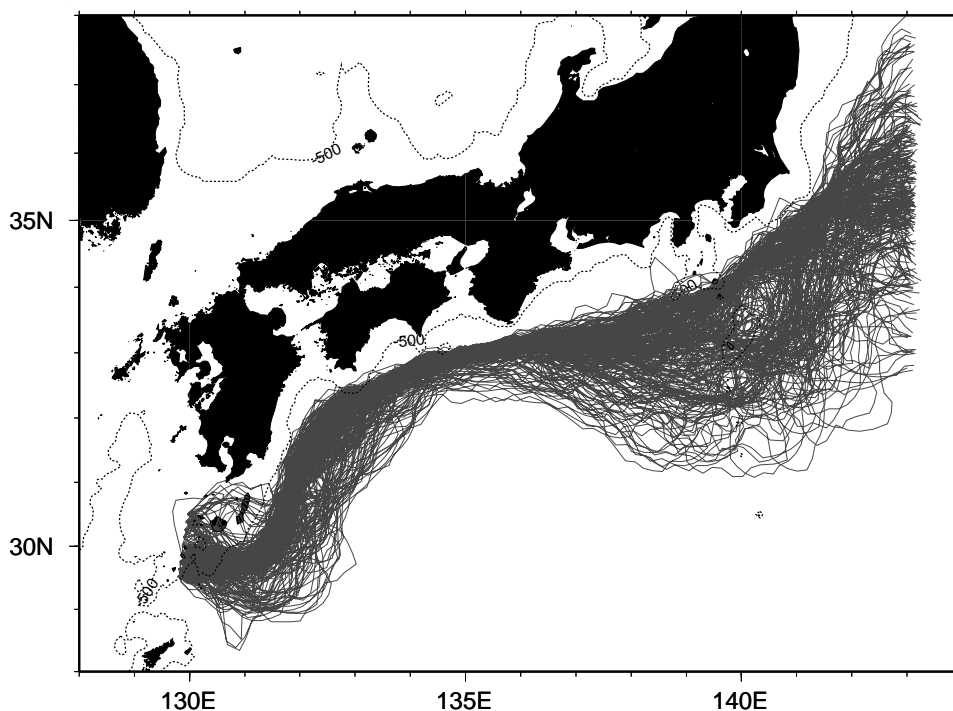


図1 1993~2000年の黒潮流路の変動（283ケースを示す）。衛星海面高度計と漂流ブイのデータの組合せで得られた10日おきの海面流速場から求めた。伊豆海嶺では三宅島と御蔵島の間（34°N付近）を通る場合が多い。

かって伝播する季節変動のシグナルの大部分が遮られるため、黒潮の流量変化が小さくなることが分かった。次に、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行った。足摺岬沖黒潮協同観測（ASUKA）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を開発した。また、数年周期の経年変動に関しては、単純化した海洋数値モデルを用いた研究により、伊豆・小笠原海嶺での鉛直モードの変換が重要であることが分かった。北太平洋上の過去の風応力分布だけで、黒潮流量の経年変動がある程度（1~2年）先まで予測できることが分かった。さらに、黒潮の流量に関する過去のデータを解析した結果、10年以上の長周期の経年変動（decadal変動）については、北太平洋中緯度での風応力の変動に、4年程度の遅れでよく追従しているらしいことが分かった。このdecadal変動は、逡減重力モデルで、かなりよく再現できることが分かった。最後に、日本南岸での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、東シナ海からトカラ海峡を通過する黒潮のほかに、日本南岸での黒潮を涵養している可能性が大きい。

研究チームを構成するサブグループは、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7グループであり、互いに緊密な連携を取りながら、次のような研究を行った。(1) 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や黒潮の流路の変動を明らかにする研究を行った。衛星海面高度計による四国沖

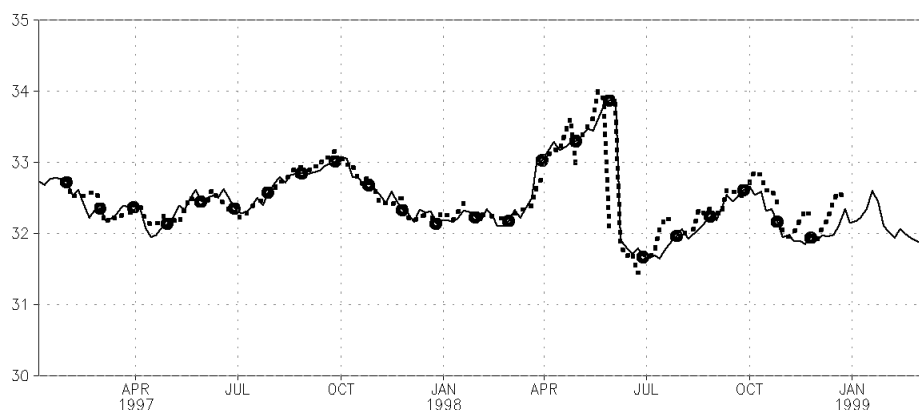


図2 黒潮流路の1か月予測実験の結果(1997~1999年)。138.5° Eでの流路の南北位置(緯度)。実線が再解析データ、点線が予測結果(丸印が始点)。

での黒潮流量のモニターや、海底に設置した IES (倒立音響測深器) による傾圧的な流量の時間変化のモニターを継続して行った。また、衛星海面高度計データと漂流ブイデータを組み合わせて海面での絶対的な地衡流を推定することにより、日本南岸での黒潮流路の変動を、1993年以降10日おきに高い空間分解能で詳しく示した；(2) 黒潮上流域モニタリング・グループは、日本南岸の黒潮の上流域に当たる東シナ海、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た。これらの海域で係留流速観測や黒潮を横断する測線観測を繰り返し行った。それによって、奄美大島南東方海域の1000m以浅には、北東向きの境界流が常に存在していることを示し、その平均的な流量を見積もることを試みた；(3) 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収集した。黒潮、黒潮再循環流、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平均的な流速断面の構造が明らかになった；(4) 海洋データ同化Aグループは、非線形現象の再現性に優れている弱拘束変分法によってデータ同化を行い、遞減重力モデルによって日本南岸での黒潮流路の変動の予測可能性を検討した。衛星海面高度計データを同化して求めた解析場

の時系列データを初期条件として予測実験を行った結果、黒潮流路の変動は、統計的には2か月程度先まで予測が可能であることが分かった；(5) 海洋データ同化Bグループは、日本近海の黒潮流量の数年周期の変動が1～2年先まで予測できるかどうかを研究した。大太平洋上の経年変化する風応力に対して海洋がどのように応答するかを、単純化した海洋数値モデルで調べた。伊豆・小笠原海嶺での鉛直モードの変換が重要であることが分かった。北太平洋上の過去の風応力分布を基にして、黒潮流量の経年変動をある程度（1～2年）先まで予測できることが分かった；(6) 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、その予測可能性に関する基礎的な理解を得るための研究を行った。黒潮流路の変動には本州南岸での中規模渦が重要であることが分かり、水平解像度を緯度・経度0.1度の格子間隔にまで細かくして、中規模渦の効果を詳しく調べた；そして(7) 実用予測モデル・グループは、黒潮変動の予測を行うための実用的なモデルを開発した。黒潮を含む北太平洋全域の海洋大循環モデルを、洋上の日平均風応力によって駆動しながら、4次元最適内挿法によって衛星海面高度計データを同化することにより、北太平洋の時系列データを得た。このデータの、ある時期の値を初期値として予測実験を行い、日本南岸での黒潮流路の変動が1か月程度までは予測できることを示した。

## 2. 研究構想

近年の研究によって、海洋は中緯度では大気と同じ程度の熱量を極向きに輸送していることが分かり、全球的な気候の変動を正確に把握するためには、海洋の大循環を正しく理解しなければならないという認識が高まっている。北太平洋における熱の南北輸送では、亜熱帯循環が重要な働きをしているが、その熱輸送における役割については、まだ定量的には明らかにされていない。黒潮などの定常的な流れや、中規模渦などの時間的に変動する活発な流れによって、物質や熱がどのように輸送されているかを解明することは、これからの気候変動研究の発展にとって欠くことのできない課題である。

これまでの海洋観測データや海上気象データは、主として観測船や商船などの船舶や限られた場所での係留系などで収集されていた。ところが、近年の人工衛星リモートセンシング技術を利用した海洋観測や気象観測の進歩には目を見張るものがあり、均質なデータを全球的に繰り返し収集することができるようになった。特に、最近の衛星海面高度計は、海面高度という力学的に極めて重要な物理量を高精度で測定することができ、海洋物理学に新時代をもたらしつつある。一方、黒潮に関する現場海洋観測でも、近年めざましい進展があった。1993年から行われた黒潮協同観測 ASUKA によって、流量の絶対値とその時間変化が初めて長期にわたって得られた。すなわち、四国沖の黒潮を横断する測線に沿って、係留流速計による流速観測や、多くの観測船による海洋測線観測を繰り返し行い、さらに、これらの現場観測データを衛星海面高度計データと組み合わせることによって、黒潮の1,000m以浅の流量の時系列データを得た。また、海洋の数値モデルの開発に関して

も近年大きな進展があった。これまで気象学の分野で用いられてきたデータ同化という手法が、海洋データの蓄積とともに海洋についても可能になってきた。特に衛星海面高度計で収集された海面高度データは海洋を全球的かつ定期的にカバーしているので、データ同化の対象として最適である。

そこで、特に日本南岸の黒潮の変動を予測するためのシステムの開発を目指して研究チームを結成し、これらの最近の研究成果を総合的に利用しながら海洋変動の予測の可能性を明らかにすることを目指した。

具体的には、次のようなステップを経て、日本南岸での黒潮の流路や流量の変動を予測することができるシステムを開発しようとした。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にして将来の変動を予測できる高分解能の予測モデルを開発する。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。これらの研究課題の間の連携を簡単にまとめて図3に示す。

これらを実行するために、研究チームをいくつかのグループに分け、以下のような研究を並行的に実施しようとした。(1) 本州南岸黒潮モニタリング・グループは、四国沖での黒潮の流量変動をモニターするために、ASUKA 測線での観測を継続する。すなわち、人工衛星 TOPEX/POSEIDON の海面高度計データから、黒潮流量の変動を10日ごとに求める。測線沿いに IES を設置し、黒潮の傾圧場の変化をモニターする；(2) 黒潮上流域モニタリング・グループは、その上流に当る東シナ海での黒潮と、琉球列島東方での流速と流量の

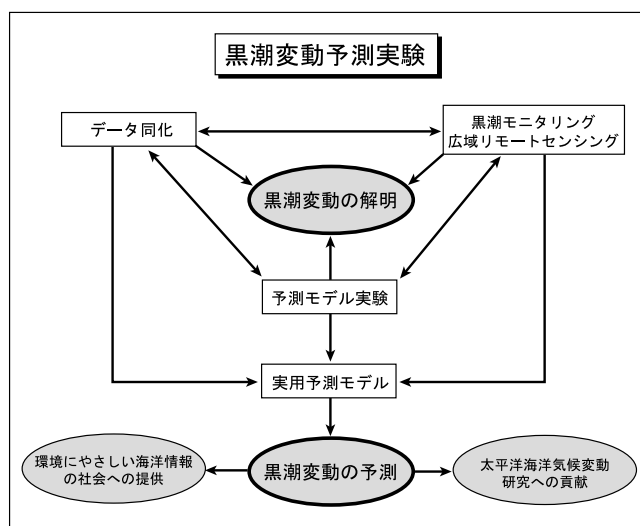


図3 研究課題の間の連携を示すダイアグラム

変動をモニターするために、係留流速計観測や海洋測線観測、島嶼での潮位計観測、フェリーに搭載した ADCP による流速観測、人工衛星による海面漂流ブイの追跡観測、中層フロート観測などを行う；(3) 海洋広域モニタリング・グループは、日本南岸の黒潮の変動の源と考えられている亜熱帯海域の西部域について、広域に海洋観測データを収集する。まず、日本とオーストラリアなどを結ぶ鉱石運搬船に搭載した ADCP による表層海流の広域モニターをより充実して継続する。また、人工衛星 TOPEX/POSEIDON と ERS-2 に搭載された海面高度計による北太平洋全域の水位変化の観測データを活用する；(4) 海洋データ同化 A グループは、日本周辺海域での黒潮変動の予測と熱・物質輸送量の正確な評価を行うため、衛星や現場観測データを用いた表層循環同化モデルを開発する。これを用いて黒潮流軸の短期変動予測実験を行うとともに、力学的に整合性のある 4 次元解析データセットを作成し、黒潮変動のメカニズムを解明する；(5) 海洋データ同化 B グループは、北太平洋の大循環場と表層に蓄えられる熱量を見積もるため、混合層と循環場を表現できる海洋モデルのためのデータ同化の手法を開発する。これを用いて、衛星リモートセンシングなど多種のデータから、大気海洋熱フラックスおよびそれと整合性をもつ海洋表層の諸量と循環場を推定し、さらに、これらの知見に基づいて、黒潮流量の 2 年予測を試みる；(6) 予測モデル実験グループは、傾圧ロスビー波、中規模渦、風応力、海底・海岸地形などの黒潮への影響を、観測データの解析や大循環モデルと簡略モデルによる数値実験によって解明し、それらを解像するために必要なモデルの分解能を明らかにする。さらに予測において重要となる各種の要因を検討し、予測モデルの高精度化を図る；そして (7) 実用予測モデル・グループは、開発中の中・高緯度海洋総合解析システムを基にして、日本近海のみを高分解能にした、中規模現象を表現できる海洋モデルに観測データを簡便な同化手法で融合し、日本近海の水温と流速の分布や黒潮の流軸位置などの実用的な予測を行う。さらに、このチームの他の研究グループの成果を随時取り入れて実用化し、黒潮域のより高度な実用予測システムを開発することを目指す。

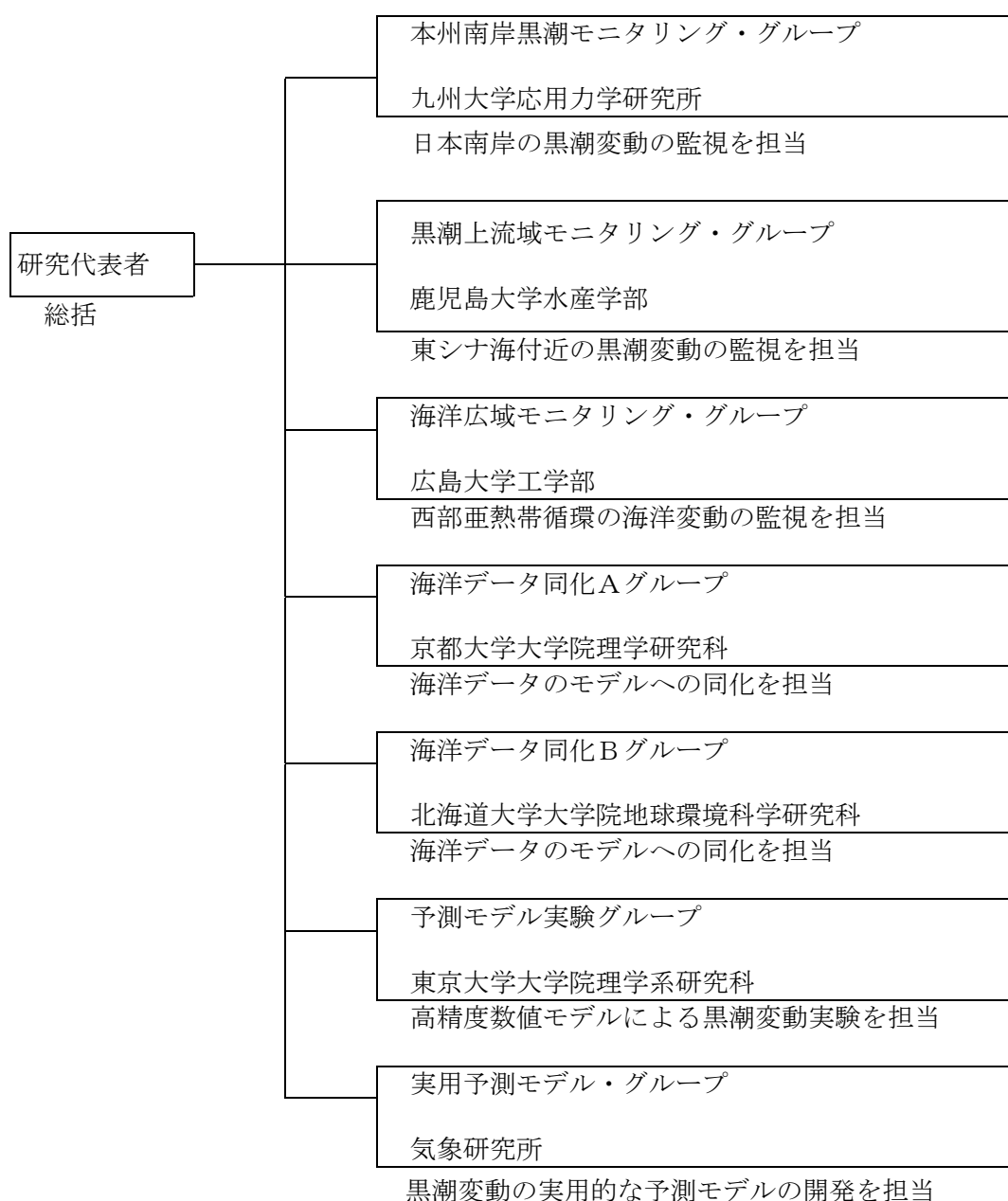
具体的な予測の対象として、黒潮の流路の短期変動（1 か月程度）と、黒潮の流量の経年変動（1～2 年）を選んだ。流路の変動では、局所的な力学が重要であり、中規模渦を顕わに表現する必要があるが、それをモデルで予測できるのは今のところ短期間に限られるので短期予測とした。短期予測で流量を対象としなかったのは、短周期の変動では中規模渦に伴う流速成分が大きいと、通過流としての黒潮の流量を見積もることが困難なためである。通過流としての黒潮の流量の長周期の変動では、北太平洋全域のような広域の風応力が重要であり、中規模渦は本質的には重要でない。

当初は、このプロジェクトで得られた観測データも、データ同化の対象にすることを考えたが、現在のデータ同化のレベルでは、それは有効でないことが分かり、取得したデータは、黒潮の変動の実態把握のためと、データ同化の結果の検証のために使用した。従って、今回のデータ同化で使用したデータは、もっぱら衛星海面高度計データである。

研究を進めるにつれて、研究対象がより鮮明になったため、元のグループと平行して、以下の

ようなサブテーマをもつグループを結成し、各グループが有機的な連携を取りながら研究を実施した。すなわち、(1) 黒潮の流路変動の1か月予測（小蛇行の伝播）、(2) 黒潮の流量の季節変動、(3) 黒潮の流量の経年変動：2年予測、(4) 黒潮の定常大蛇行のメカニズム、(5) 実用予測モデルのためのデータ同化手法、(6) データとモデルの結合と力学解析：西岸境界流近く、(7) データとモデルの結合と力学解析：海嶺の影響、の7グループである。

### 3. 研究実施体制





#### 4. 研究期間中の主な活動

##### (1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
1997. 12. 5 ～ 12. 6	第1回 研究打合せ会	九州大学・応用力学研究所	18名	研究の進め方について
1998. 4. 2 ～ 4. 3	第2回 研究打合せ会	科学技術振興事業団・虎ノ門事務所	21名	統括より、研究に対する要望および各グループの活動報告
1998. 9. 26	第3回 研究打合せ会	京都大学大学院・理学研究科	11名	論文成果の発表および各グループの進捗状況報告
1999. 3. 26 ～ 3. 27	第4回 研究打合せ会	科学技術振興事業団・虎ノ門事務所	22名	2000年日本海洋学会春季大会でのシンポジウム開催要請および中間報告書の作成について
1999. 9. 19	第5回 研究打合せ会	北海道大学・水産学部	12名	各グループの進捗状況報告
2000. 1. 7 ～ 1. 8	第6回 研究打合せ会	九州大学・応用力学研究所	19名	2000年日本海洋学会春季大会シンポジウムの申し込みおよび研究発表内容の検討、打ち合せ
2000. 3. 31	2000年度日本海洋学会春季大会シンポジウム「黒潮変動の予測を目指して」	東京水産大学	150名	「黒潮変動予測実験」の中間結果の公表および研究発展のためのコミュニティーとの情報交換
2000. 6. 30	第7回 研究打合せ会	科学技術振興事業団・虎ノ門事務所	13名	戦略・黒潮の概略、WOCE/CLIVAR ワークショップでの成果発表会、中間評価および各グループの研究進捗状況と研究計画
2000. 10. 16 ～ 10. 20	The WOCE/CLIVAR Representativeness and Variability Workshop	タカラホテル 福岡（福岡市）	81名	このプロジェクトの成果を世界中から集まった研究者に紹介し、情報交換を行った。
2001. 1. 5 ～ 1. 6	第8回 研究打合せ会	九州大学・応用力学研究所	16名	領域シンポジウムでの発表内容の確認および各グループの研究進捗状況
2001. 3. 19	第9回 研究打合せ会	科学技術振興事業団・虎ノ門事務所	13名	各グループの研究進捗状況および研究計画
2001. 9. 7 ～ 9. 8	第10回 研究打合せ会	北海道大学大学院・地球環境科学研究科	15名	各研究グループの貢献について
2002. 3. 4 ～ 3. 5	第11回 研究打合せ会	九州大学・応用力学研究所	20名	最近の主な成果および5年間の成果の取りまとめについて
2002. 7. 31 ～ 8. 2	第12回 研究打合せ会	北海道大学大学院・地球環境科学研究科	18名	5の成果のサマリー、報告書の作成方法、JO特別号の原稿準備
2002. 10. 24 ～ 10. 26	第13回 研究打合せ会	九州大学・応用力学研究所	19名	研究実施終了報告書の作成について検討

## 5. 主な研究成果

### (1) 論文発表

1. 江田憲彰、中嶋秀夫、荒井正純、袁宙、山根将司、金子新：商船 ADCP による西太平洋の流速モニタリング計測システムと予備実験結果、*弓削商船高等専門学校紀要*、20巻、203-208, 1998年2月
2. Masuda, S., K. Akitomo and T. Awaji: Effects of stratification and bottom topography on the Kuroshio path variation south of Japan. Part 1: Dependence of the path selection on velocity, *J. Phys. Oceanogr.*, Vol.29, 2419-2431, Sept. 1998
3. Kamachi, M., T. Kuragano and F. Uboldi: A Reproduction of Kuroshio separation and data assimilation of KWCR in the confluence area. in "Proc. Ecosystem Dynamics of the Kuroshio-Oyashio Transition Region", Eds. M. Terazaki, K. Ohtani, T. Sugimoto and Y. Watanabe, 9-23, Jan. 1999
4. Ichikawa, H., S. Imawaki, H. Uchida, S. Umatani and M. Fukasawa: Mean values of volume and temperature transports of the Kuroshio south of Japan in 1993-1995. in "Proc. 4th Intl. Scientific Symp.; Role of Ocean Sciences for Sustainable Development, (UNESCO/IOC/WESTPAC), 2-7 February 1998, Okinawa, Japan", 22-31, Mar. 1999
5. 鹿島基彦、馬谷紳一郎、今脇資郎、市川洋、深澤理郎：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, 1999年9月
6. Kuragano, T. and M. Kamachi: Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/POSEIDON altimeter data, *J. Geophys. Res.*, Vol.105, 955-974, Jan. 2000
7. 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
8. Zhu, J. and M. Kamachi: An adaptive variational method for data assimilation with imperfect models, *Tellus*, Vol.52A, 265-279, Mar. 2000
9. 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*、67巻、特別号、S27-S49, 2000年4月
10. Uboldi, F. and M. Kamachi: Time-space weak-constraint data assimilation for nonlinear models, *Tellus*, Vol.52A, 412-421, May 2000
11. 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
12. 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
13. 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
14. Ichikawa, K.: Variation of the Kuroshio in the Tokara Strait induced by meso-scale eddies, *J. Oceanogr.*, Vol.57, 55-68, Feb. 2001
15. Dickson, B., J. Hurrell, N. Bindoff, A. Wong, B. Arbic, B. Owens, S. Imawaki and I. Yashayaev: The world during WOCE. in "Ocean Circulation and Climate: Observing and Modelling the Global Ocean", Eds. Gerold Siedler, John Church and John Gould, Academic Press, London, 557-583. Mar. 2001

16. Bryden, H. L. and S. Imawaki: Ocean heat transport. in "*Ocean Circulation and Climate: Observing and Modelling the Global Ocean*", Eds. Gerold Siedler, John Church and John Gould, Academic Press, London, 455-474, Mar. 2001
17. Kamachi, M., T. Kuragano, N. Yoshioka, J. Zhu and F. Uboldi: Assimilation of satellite altimetry into a western North Pacific operational model, *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol.18, 767-786, Sept. 2001
18. Kaneko, A., Z. Yuan, N. Gohda, M. Arai, H. Nakajima, H. Zheng and T. Sugimoto: Repeat meridional survey of the western North Pacific subtropical gyre by a VOS ADCP during 1997 to 1998, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.28, 3429-3434, Sept. 2001
19. 馬谷紳一郎、鹿島基彦、今脇資郎、市川洋、深澤理郎：直接測定による四国沖の黒潮流速の変動特性、九州大学応用力学研究所所報、121号、103-110、2001年9月
20. Imawaki, S., W. Zenk, S. Wijffels, D. Roemmich and M. Kawabe: Oceanic boundary currents. in "*Observing the Oceans in the 21st Century*", Eds. Chester Koblinsky and Neville Smith, GODAE Project Office and Bureau of Meteorology, Melbourne, 285-306, Nov. 2001
21. Akitomo, K. and M. Kurogi : Path transition of the Kuroshio due to mesoscale eddies: A two-layer, wind-driven experiment, *J. Oceanogr.*, Vol.57, 735-741, Dec. 2001
22. Kamachi, M., Y. Fujii and X. Zhou : Ocean data assimilation in the tropical Pacific: A short survey, *J. Oceanogr.*, Vol.58, 45-55, Feb. 2002
23. Ichikawa, H. and R. C. Beardsley: Current system in the Yellow and East China seas, *J. Oceanogr.*, Vol.58, 77-92, Feb. 2002
24. Isobe, A. and S. Imawaki: Annual variation of the Kuroshio transport in a two-layer numerical model with a ridge, *J. Phys. Oceanogr.*, Vol.32, 994-1009, Mar. 2002
25. Ihara, C., T. Kagimoto, Y. Masumoto and T. Yamagata: Eddy formation near the Izu-Ogasawara Ridge and its link with seasonal adjustment of the subtropical gyre in the Pacific, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol.37, 134-143, Sept. 2002
26. 鹿島基彦、今脇資郎、馬谷紳一郎、内田裕、橋部雄志、市川洋、深澤理郎：四国沖黒潮域の中深層における地衡流平衡の検証、九州大学応用力学研究所所報、123号、39-51、2002年9月
27. 竹内宗之、今脇資郎、馬谷紳一郎、山田勝久、内田裕、深澤理郎：係留 ADCP で観測された四国沖の黒潮と沿岸側低気圧性渦の流速構造、九州大学応用力学研究所所報、123号、29-38、2002年9月
28. Ikeda, M.: Approximate variational method for ocean data assimilation, *J. Oceanogr.*, Vol.59, 79-86, Feb. 2003
29. Imawaki, S., H. Uchida, K. Ichikawa and D. Ambe: Estimating the high-resolution mean sea-surface velocity field by combined use of altimeter and drifter data for geoid model improvement, *Space Science Reviews*, 2003 (accepted).
30. Kashima, M., S. Imawaki, S. Umatani, H. Uchida, Y. Hashibe, H. Ichikawa and M. Fukasawa: Estimating geostrophic velocity in the intermediate and deep layers of the Kuroshio and its recirculation regions south of Japan, *J. Oceanogr.*, 2003 (accepted).
31. Uchida, H. and S. Imawaki: Eulerian mean surface velocity field derived by combining drifter and satellite altimeter data, *Geophys. Res. Lett.*, 2003 (accepted).

(2) 新聞報道等

①受賞

1. 2001年度の日本海洋学会岡田賞を受賞した（市川香）。

タイトル：「衛星海面高度計資料を用いた海面変動の研究」

②新聞報道

1. 朝日新聞夕刊（西部本社版；2000年3月31日）で紹介された。

表題：「黒潮の季節変動、穏やか」、科学技術振興事業団研究チーム調査、伊豆海嶺が制御。

2. 読売新聞夕刊（2001年7月12日）

表題：「海から見た地球環境④、黒潮の大蛇行を予測」

③その他

1. NHK BS ハイビジョン放送（8月21日・22日）11:50～12:00

「サテライトビュー、衛星画像で見る黒潮」