

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成22年6月8日現在

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2007～2009
課題番号：19740295
研究課題名 (和文) 黒潮の蛇行に伴う四国・九州沿岸域の流動変動と物質輸送に関する研究
研究課題名 (英文) Study on fluctuations in flow and material transport due to the meandering of the Kuroshio, in coastal waters of Shikoku and Kyushu
研究代表者
兼田 淳史 (KANEDA ATSUSHI)
公立大学法人 福井県立大学・海洋生物資源学部・講師
研究者番号：70304649

研究成果の概要 (和文)：

黒潮と隣接する四国・九州の沿岸から陸棚斜面までを研究対象海域として、係留観測や調査航海、既存のデータ・資料の分析を実施し、成層期と混合期の流れおよび物質輸送過程について調べた。成層期、豊後水道へ外洋水が間欠的に流入する現象が発生し、内湾域で海水交換を促進させるとともにプランクトン分布の変化を引き起こしていた。混合期は風と沿岸と沖合の密度差の効果によって鉛直循環流が形成され、流れによって水中懸濁物の輸送が発生していたことを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

Intensive observations and data analyses were conducted in coastal seas around Shikoku and Kyushu islands, in order to examine temporal and spatial variations in currents and material transports between coastal seas and the Kuroshio. During the stratified period, the intermittent warm/cold water intrusions from the Pacific Ocean occurred in the upper/lower layer in the coastal seas. These intrusions induced water exchange and plankton transport. During the mixing period, data show that vertical circulation developed. In addition, it was revealed that the circulation transported suspended matters from bay to offshore.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：沿岸海洋学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：海洋科学, 自然現象観測, モニタリング

1. 研究開始当初の背景

近年、地球規模の環境変動やその沿岸域への

影響に対する関心が高まっており、外洋に面した日本南岸では黒潮の変動が沿岸域に与える影響とその過程について理解を深めることが重要になっている。

四国・九州沖では黒潮が定常的に接岸して流れているという認識であったが、近年の海洋観測機器、人工衛星による測定技術の発達により、その本来の姿は小蛇行などの擾乱を繰り返し、隣接する沿岸域の環境に影響を与えていることがわかってきた。また、黒潮や Gulf Stream (湾流) などの西岸境界流に隣接した沿岸域では海洋環境のモニタリングが行われるようになり、沿岸域における外洋の応答に関わるデータを取得できるようになった。四国・九州の沿岸域では黒潮域からの海水の進入現象が発生することが明らかにされており、海洋調査およびデータ解析を新たに実施することにより、外洋側の変動に対する沿岸の応答に関する知見が得られる可能性がある。

2. 研究の目的

黒潮に面している沿岸-陸棚斜面域で形成される流れや水温の変動の特性や、その変動を引き起こす力学について解明する。また、これらの変動によって引き起こされた流れと物質輸送の関連性について明らかにする。

3. 研究の方法

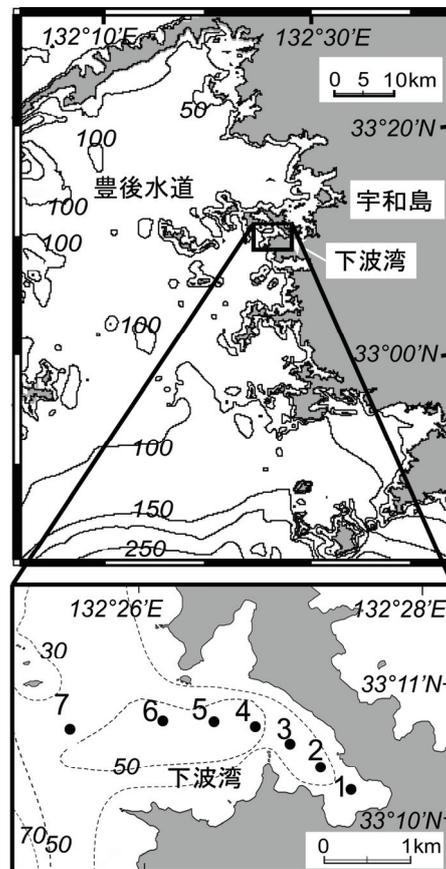
(1) 現地観測：豊後水道の下波湾で、水温、流向、流速、水中懸濁物濃度、クロロフィル濃度の観測を実施した。水温は海面下2mから50mまでの計11層で測定した。海面下10m、50mでクロロフィル・濁度計を設置し、水中懸濁物濃度とクロロフィル濃度を測定し、さらに海底設置型 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, 多層流向・流速計) を用いて海面付近から海底付近までの流向・流速を測定した。調査は成層期と混合期に行い、成層期の調査期間は2007年6月29日~8月29日で、知見が少ない混合期の調査期間は2007年10月5日~12月2日、2008年10月18日~12月2日、2009年10月13日~11月18日とした。また、それぞれの観測期間中には船舶を用いた海洋調査を実施し、水温、塩分などの空間分布や採水を行った。

(2) データ解析：四国・九州沿岸から黒潮域において長年にわたって蓄積されてきた水温、塩分の海洋観測データを収集し、黒潮と沿岸域の海洋環境変動の関連性に着目して解析を行った。

(3) 物質輸送の調査・分析：船舶を利用して採水した水中懸濁物を詳しく分析し、物質輸

送過程について調べた。調査は成層期と混合期で実施し、それぞれの時期に採取した水中懸濁物の安定同位体比を測定した。その結果と(1)の海洋モニタリングデータ、(2)のデータセットと組み合わせて解析を行い、それぞれの時期の同位体比の特徴および物質輸送について検討した。

(4) Gulf Stream 域との比較：日本の南岸沖を黒潮が流れるように、アメリカ東岸沖では Gulf Stream が流れている。アメリカ東岸の South Atlantic Bight (ジョージア州沖) の陸棚-沿岸域では先駆けて多項目の係留観測が実施されており、そのデータを収集し、豊後水道のデータと比較した。

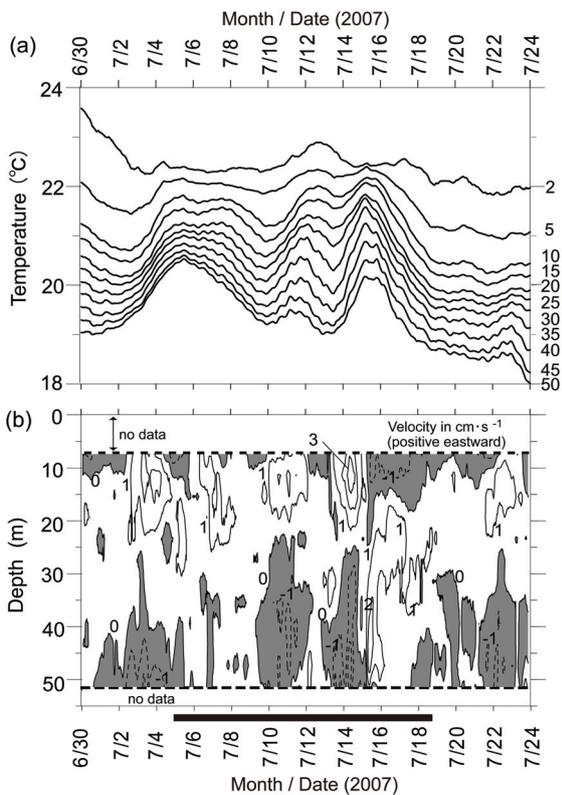


下波湾の位置 (上) と観測地点 (下) 上図の数字は水深を示している。下図は測点図を示している。測点5で係留観測を実施し、船舶を用いた調査では測点1-7を定点とした。

4. 研究成果

(1) 成層期における流動および物質輸送：係留観測実施中に大規模な赤潮が発生した。約1ヶ月にわたって継続したが、わずか数日のうちに赤潮は急速に減少し、やがて解消した。この急激な変化に着目して解析を進めたところ、赤潮解消時に底層で水温が急激に低下

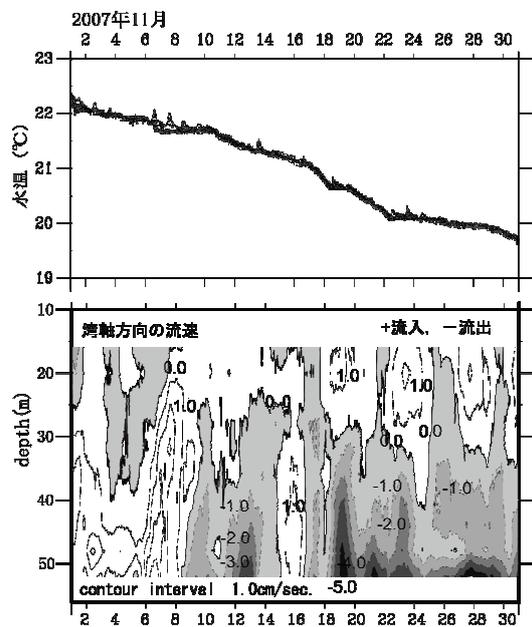
するとともに湾奥向きの流れが発生していた。また、同時期に取得した豊後水道中央部から陸棚域の水温、塩分分布データは、陸棚域から豊後水道底層に冷水が進入していたことを示した。これらのデータと赤潮データから検討を行った結果、赤潮の解消には陸棚域由来の冷水が豊後水道底層への流入したことによって内湾域で鉛直循環流が発生し、その流れによる移流効果によって赤潮は沖方向へ輸送されたと推察された。調査結果は、外洋水の流入が内湾域の流れや海水交換と直接的に関連していること、そして湾内の水質やプランクトン組成、養殖場環境に対しても影響を与えていることを示唆しており、貴重な知見となった。



係留観測の観測結果の一例：下波湾における下波湾の水温時系列（上）と湾奥方向の流れの時系列（下）横軸の下にある太線（7月5日～18日）は、赤潮発生時期を示している。上図の縦軸（右）の横の数値は、測定水深を示している。

(2) 混合期における流動および物質輸送：下波湾では上層で流入、下層で流出の鉛直循環流が発生していた。また、内湾-沖合の水温、塩分分布をみると、周辺に大きな河川は無いため塩分は空間的な分布の違いはほとんど無いが、水温は沖合の方が高温傾向であった。

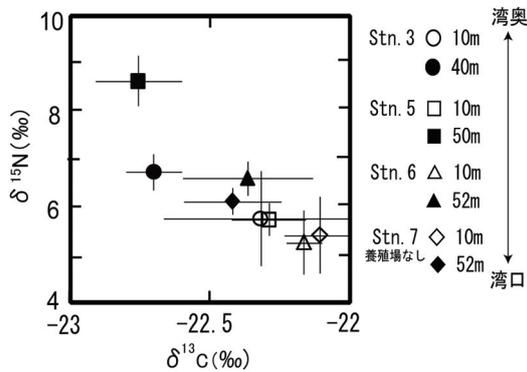
また、循環流の形成と風、海面冷却との関連性を調べるために、それぞれの時系列を比較したところ、循環流が一時的に強化したときは風や海面冷却が強い時期と一致する傾向を確認した。鉛直循環流が形成される要因として、晩秋から強くなる北西風の影響や、湾外と湾内の密度差の効果が考えられた。そこで解析モデルを用いて検討した結果、この鉛直循環流の形成には風によって引き起こされる吹送流と、湾外と湾内の密度差によって駆動する密度流の成分の両方が寄与していた。また、密度流を引き起こした密度差の発生には、水深の浅い湾内の方が沖合よりも冷やされやすい地形性蓄熱効果に加え、湾内よりも沖合の方が黒潮からの熱供給を受けるため冷えにくい効果が寄与していると考えられた。



下波湾（測点 5）の水温（上）と、湾奥方向の流れ(25 時間移動平均)（下）：11 月 10 日頃から、上層と下層で水温差はなく混合状態である。そのとき、上層で流入、下層で流出の鉛直循環流が発達している。流れと物質輸送の関連性を調べるために、11 月 13 日に採水調査を実施した。

また、混合期の懸濁物輸送は海水の懸濁物を湾内と湾外の上層、下層で採取し、その窒素と炭素の安定同位体比の分析結果から検討した。分析データは、養殖由来の影響を強くうけた内湾由来の水中懸濁物は湾内下層から湾外へ輸送されていることを示した。この鉛直循環流は内湾域由来の物質を沖向きに

物質を輸送していると考えられる。この結果は沿岸域の物質輸送に関する新たな知見であるとともに、養殖場環境の管理にとっても重要な情報となった。

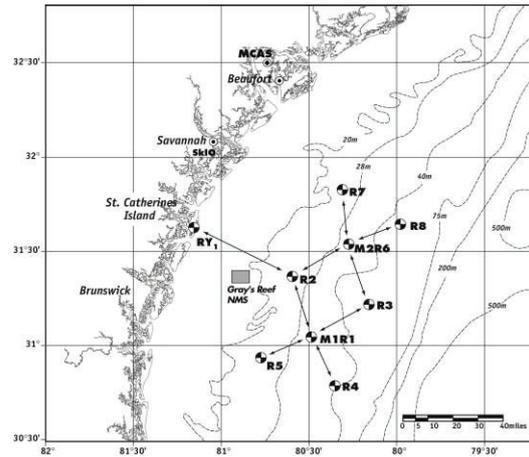


混合期の安定同位体比マップ：上層水に比べて、下層水は $\delta^{13}\text{C}$ は低く、 $\delta^{15}\text{N}$ は高い傾向がある。この傾向と流れのデータは、内湾域から沖合方向へ物質輸送が生じていることを示唆していた。

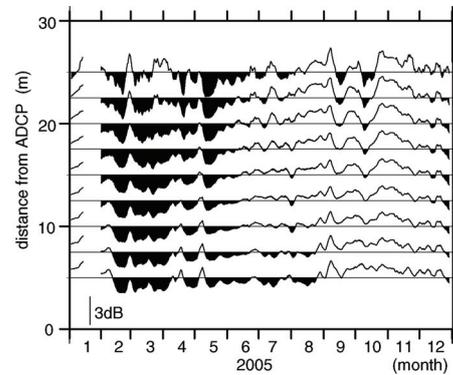
(3) 黒潮と底入り潮の長期変動の関連性：

豊後水道では、陸棚域由来の冷水の進入現象である底入り潮が発生することが知られている。これまでの研究により、豊後水道沖では黒潮は接岸傾向で流れるが、主に数ヶ月スケールで一時的に離岸する 때가あり、その時期に底入り潮は弱くなる ことが知られていた。最近、豊後水道の内湾の海底の泥の分析結果から、宇和海の水温変動には数十年スケールの変動成分があることがわかってきた。そこで本研究では既往の観測データを収集し、底入り潮の数ヶ月スケールよりも長い変動成分に着目して、1980年から2007年までの水温データ、黒潮のデータを解析した。豊後水道の底層水温が低かった年は底入り潮が強かったとして、その強度の時系列をみたところ、解析期間中に底入り潮の強さは弱くなる傾向 (Mann-Kendall rank test, 有意水準 5%) があつた。このことは、海底の泥の分析データが示したように、数ヶ月スケールの変動だけでなく長期変動成分が存在することを示唆している。底入り潮は隣接する沿岸域に栄養塩を供給していることを考えると、このような長期変動は沿岸域の環境の長期的な変動を引き起こす要因となっている可能性がある。

(4) 黒潮域と Gulf Stream 域の比較研究：近年、海洋観測機器は長期間のデータを連続的



アメリカ東岸で実施されている海洋モニタリングの観測点の位置



超音波ドップラー流速計で測定された反射強度の時系列図。

に取得できるようになり、本研究だけではなく、世界の各地で流れや物質輸送の詳細な時間変化を理解できるようになった。本研究では、豊後水道の下波湾とアメリカ東方のジョージア沖に位置する South Atlantic Bight で取得されたデータを利用して、外洋に面した海域において風や海流の季節変化が海洋環境に与える影響について検討した。流れ、反射強度 (懸濁物量の指標、図参照) と風などの関連性に着目したところ、反射強度が相対的に大きく時期 (水中の懸濁物量が増えるとき) の変化をみると、2月から6月にかけて低い値をとり、7月から8月にかけて平均的な値で推移した後、9月に急激に大きな数値となっていた。同時期の風および流れの時系列は、この時期に急激に変化していたことを示し、下層で陸棚斜面へ流出する流れが発生していた。これらの結果は、成層期から混合期への移行期に一時的に巻き上げられた懸濁物が陸棚斜面側に輸送されたことを示唆している。豊後水道の観測においても類似

の結果が観察されていることは興味深い。未解明な部分が多い外洋と沿岸域の物質輸送に関する研究にとって、海洋モニタリングデータは有効的であることを示唆している。経年的な変動など更に長期の変動に対する応答を調べるためには、今後も観測体制を維持し、データを蓄積することが大切である。

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 兼田淳史、小泉喜嗣、高橋大介、福森香代子、郭新宇、武岡英隆、2007年宇和海下波湾における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* 赤潮の底入り潮の発生による消滅、水産海洋研究、査読有、2010

[学会発表] (計4件)

- ① 兼田淳史、小泉喜嗣、福森香代子、高橋大介、郭新宇、武岡英隆、宇和海・下波湾における混合期の流れと懸濁物輸送、日本海洋学会、2009年9月27日、京都大学(京都市)
- ② 兼田淳史、小泉喜嗣、高橋大輔、郭新宇、武岡英隆、下波湾における急潮・底入り潮による赤潮の消滅過程、水産海洋学会、2008年11月12日、東京大学(東京都)
- ③ Atsushi Kaneda、Relationship between the Kuroshio variation and the year-to-year variation in the intensity of *kyucho* and bottom intrusion、IOC/WESTPAC 7th international Scientific symposium 2008年5月22日、マレーシア・Saba
- ④ 兼田淳史、Dana Savidge、South Atlantic Bight における風の季節変化に起因する海況変動、日本海洋学会秋季大会、2007年9月27日、琉球大学(那覇市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

兼田 淳史 (KANEDA ATSUSHI)

公立大学法人 福井県立大学・海洋生物資源学部・講師

研究者番号：70304649

(2) 研究分担者

()