

II

有明海北部における表層流の動向と 赤潮発生の関係について

有明海表層流観測グループ

GPS搭載漂流ブイを用いた有明海の表層流調査

高橋 徹¹⁾・堤 裕昭²⁾・杉山聖彦³⁾

Surface Water Current of Ariake Sound Measured by Lagrangian Drifters Using GPS Cellular Phones

Tohru Takahashi¹, Hiroaki Tsutsumi², Kiyohiko Sugiyama³

要 約

有明海湾奥部では、1998年以降、赤潮が恒常化、大規模化している。この原因解明に寄与するため、GPS搭載漂流ブイを用いて表層水塊の動態を測定した。調査は2004年5月、7月、8月、9月と2005年8月に行われ、のべ15台にわたって湾奥部に投入されたブイの全てが回収までの2-5日間、湾奥部に留まった。同時に行われた海洋観測で成層が広がっていることが確認された場合には、有明海湾奥部だけでなく、島原湾に投入されたブイも湾口部に向けて南下する傾向が弱く、成層域が縮小している時期には、成層域外に投入されたブイには島原半島沿いを南下する傾向が認められた。このことから、成層構造が維持されている間、湾奥部に発生した赤潮が拡散することなく規模を拡大していると考えられた。諫早湾潮受け堤防の締め切り以降、諫早湾口部や島原半島沖で流速が低下している事が複数の研究グループによって報告されており、この流速の低下が、残差流の主な構成要素の一つである潮汐残差流に影響を与えていると考えられ、諫早湾潮受け堤防開門調査の必要性が一層求められる結果となった。

はじめに

本調査の主要な目的は(1)有明海北部において形成された密度成層の表層水の動向を探ること、(2)多くの漁業者が指摘する「諫早湾口付近の表層水が有明海を横断して荒尾方面に到達する」現象の裏付け、(3)その他、有明海全体の物質輸送に関わる平均流(残差流)の推定等である。いずれも現状を把握する本調査で完結するものでなく、中長期開門調査を行い比較検討することを念頭に実施した。栄養塩に富む河川水が大量に流れ込む有明海は、

その閉鎖的な地形だけから判断すれば、富栄養で赤潮だらけの海になっていて不思議でない。それが、赤潮でなく、豊かな生物生産の“豊饒の海”につながってきたのは、その独特の地形と大きさに基づいた固有振動がもたらす日本最大級の干満差が広大な干潟をつくり、その生産力・浄化機能と「有明粘土」の巻き上げ等による速い物質循環のためといわれている(宇野木2002a, 佐藤・田北2000)。しかし、2000年12月から翌年3月まで、有明海全域に発生した珪藻赤潮による海苔の色落以来、豊饒の海のメカニズムに生じた有明海異変は、我が国の大きな社会問題の一つとなっている。異変の中身は海苔の色落

¹⁾ 熊本保健科学大学

²⁾ 熊本県立大学環境共生学部

³⁾ フリープログラマー

¹ Kumamoto Health Science University, Kumamoto, Japan

² Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto, Kumamoto, Japan

³ Free Computer Programmer, Osaka, Japan

ちをもたらした赤潮に限らず、貧酸素水塊の発生、タイラギの壊滅的減少、干潟生物の減少等、ありとあらゆる水産業の不振として見て取れる。これらは一見、富栄養化が度を超して進行したかに見えるし、対策として下水道の整備などが取り上げられたりしているが、実際には、有明海に流入する河川の全窒素、全リンの年間負荷量は1980年代以降増大しているわけではない（堤ほか2004）。これは流入河川上流域で人口も農業生産も増大していない上、下水道環境などは整ってきているので当然と言える。そうした中で、近年の有明海で潮汐振幅が減少し、潮流が弱くなっている事が観測事実として認識されるようになってきた（水産庁増殖推進部2001、宇野木2003）。その要因としては有明海内の海水面積の減少と共に、外部の要因として外洋潮汐振幅の減少や平均水位の上昇がとりあげられ（灘岡2003）、それらの寄与率について海洋学者の議論が続いている（塚本・柳2002、磯部2001、灘岡・花田2003）。しかし、主たる要因が何処にあるかをさて置いたとしても、潮汐振幅減少は潮流の減少を伴い、同時に鉛直混合エネルギーの低下となって、成層構造の形成を促進する（柳・阿部2003）。熊本県立大学堤研究室が数年来おこなってきた定期観測は、ほぼ毎月の有明海の海洋水塊構造を明らかにしており、近年の有明海奥部海域では、台風シーズンの8月後半から9月ならびに真冬の気温低下によって表層水が冷却される1月～3月を除いて、表層水の塩分低下による密度成層が形成されていることが明らかになってきた（堤ほか2004）。これは柳（1994）の記述「潮流の大きい強混合型河口域（well-mixed estuary）では塩分成層は発達せず、塩分は河口域上端から海に向かって徐々に上昇してゆく、九州有明海に注ぐ筑後川がこの型に含まれる」と矛盾するが、少なくともこの教科書初版が書かれた1989年以前の、本来の有明海湾奥部の姿を現していると考えられる。それが今では栄養塩に富む河川水が混合することなく成層を形成し、赤潮の大規模化を招くように海洋構造が変わったと考えられる。栄養塩に富む低塩分水が表層にあるという事は、全体的には富栄養化してはなくても、光合成に都合の良い表層で局所的に起こった富栄養で、これは湾奥部で成層が形成され、赤潮や貧酸素が恒常化している都市近郊内湾によく見られる現象である。つまり、有明海が大量の栄養塩を生物生産に転化してきた特徴を失って平凡な内湾に移行しつつあるのではないだろうか。そのメカニズムの詳細な理論的検討は、本研究の守備範囲を超えるが、本研究では、堤ほか（2003、2004）の定期観測で得られた成層構造上部の低塩分水塊が赤潮大

規模化につながっている表層水塊を動的に把握し、将来諫早湾潮受け堤防開門が実施された際の環境変化の比較を行うため、実証データの収集をおこなう。

有明海の潮流については従来も様々な機関によって実測がおこなわれ、計算機によるシミュレーションも盛んに行われている。その中で、諫早湾締め切り後、特に湾口部近海での流速低下が指摘されてきたのである。有明海異変の要因として指摘されている様々な問題の中でも、この流速の低下は直接赤潮・貧酸素に結びつくばかりでなく、底質の変化、底生生物相の変化等々他の要因にも連鎖的に影響する最も重要な要因であると考えられ、その全貌を解明することは急務である。潮流測定は機械式、電磁式、超音波式などの流速計を用いて行われるが、特にADCP（Acoustic Doppler Current Profiler；ドップラー流速計）と呼ばれる超音波を用いたものでは多層の流速をリアルタイムで取得できる優れたものもある。しかし、表層流の観測には前記のADCPは波浪によるノイズのためその能力を十分発揮することができないとも言われている。そこで、ブイを流して追跡するラグランジュ的方法が有効となってくる。水産庁も海苔色落ちが問題となった直後の2001年に船舶数十隻を動員して12時間の連続観測をおこなっている。しかし、赤潮問題に関連して重要になってくるのは、流速とともに、物質輸送を示す残差流であり、そのためにはさらに長時間の観測が求められる。

我々は、有明海では携帯電話がおおむね使用可能であることから、GPSによる測位データを携帯電話網で送信する漂流ブイを用いる観測方法を考案し開発した。漂流ブイは低軌道衛星を用いたものが市販され、主に外洋調査で以前から利用されてきたが、沿岸域では携帯電話網と民生品の端末を利用することによりコストが削減され、同予算でより多くのブイを漂流させることが可能となった。一方、国土交通省は有明海に海洋短波レーダー表層海流観測システム（HFレーダー）を設置し、2006年より連続観測を予定しており、2005年には有明海の一部海域で試験運用が行われ、観測結果がホームページで公開された。HFレーダーが有効に機能すれば漂流ブイより精密な連続観測が可能となり、開門による比較調査にも十分な効果が期待される。2005年に試験運用された海域は限定されているが、一部は本実験と期間が重なっており、参考のために漂流ブイの結果と比較検討もおこなった。

方法

GPS（Global Positioning System）を搭載し、携帯

電波網で定期的に位置情報を発信する端末を搭載した複数の漂流ブイを投入し、電子メールとして受信された位置情報を解析ソフトでリアルタイムにモニターした。その間、ブイの漂着や、南下による島原湾外流出に備え、回収船が出動できる体制を整えた。回収はバッテリー残量に十分余裕がある4-5日目におこなった。最終位置情報を携帯GPS端末「ポケナビ」に入力し、現場に到着後に発見できない場合は「ポーリング」（位置情報発信要求）をかけて最新位置へ直行した。GPS位置情報の誤差は約10m以内で、容易に発見・回収が可能であった。

携帯端末：

ブイに搭載の端末はNTTドコモ社のポジシーク[®]とauの携帯電話A5304Tを用いた。

1) ポジシーク

NTTドコモが位置情報専用端末として市販しているもので、音声通話機能はない。GPS位置情報取得後の計算をホストコンピュータ側でおこなうため、端末自体の消費電力が少なく、地上テストでは毎時送信でバッテリー持続は11-12日間であった¹⁾。

2) auのCDMA携帯電話

auではGPS搭載携帯電話を対象に位置データサービス「GPS Map」を提供している。「GPS Map」はWeb上でセットアップ可能でポジシーク同様に一定時間ごとの位置情報を取得できる。しかし、au端末は一般に市販されている携帯電話であり、GPS Map利用中はアプリケーションソフト（アプリ）が立ち上がった状態になるため電力消費が大きく、バッテリー持続時間が約4日までとなる。そこで、もう一台、スリープ状態のau機を搭載した。この端末は回収時に外部から「Ezお探しナビ」アプリを起動させる事が可能でDoCoMo端末のポーリング機能と同様に任意の時間に位置情報を返すことが可能である。このようにauの携帯電話は2台搭載する必要があるが、普及型民生品を使用するため料金が安い。ポジシークがゼニライトブイ社との年間一括契約であるため、短期的、補助的に使用した。また、湾奥部海域にはDoCoMo、au共に携帯電波が届かないブラックエリアが存在するが、有明海においてはauの方が若干有効エリアが広がった。

ブイ本体

ブイはポジシーク搭載用に開発された（株）ゼニライトブイ製（口絵-I ページ、図1）と、au端末用としてほぼ同サイズに制作された（有）大鋸造船所製を用いた。両ブイ共に発泡ウレタンやFRPを使用し、万一小型船舶と衝突した場合でも損傷を与える可能性は極めて低い。なお、船舶やテトラポットとの衝突でブイの側が損傷し端末部に浸水した場合に備え、端末は市販の携帯電話用防水ケースに収納した状態で装着した。通信端末を装着した状態で海面上と水面下の断面積比を実測したところ、海面上Aと海面下Bの断面積比A/Bは0.78となった。なお、本実験以前にも数タイプの機器について試験運用を重ねてきた（Manda et al. 2002）が、今回用いたフロートが最も風の影響を受けにくく、耐久性にも優れ、船舶等に与える損傷の危惧も小さいと考えられた。

ドローク

ブイの一部は海面上に出ているため、風の影響を受ける。これは、表層流そのものに既におこみ済みの風の影響とは別の直接的なもので、浮上部分を無くさない限り避けられない。そこで、この影響を最小限にするためにドローク板を装着した（口絵-I ページ、図1、2）。ドローク板の材質には小型船舶や漁具への損傷が無いよう、軟質ビニール材を採用した。風の影響を相殺するためにはドロークは大きいほど良いと考えられる。しかし、小型船舶も多数往来し、定置漁具なども多い有明海で外洋調査に用いられるような大型ドロークの使用には問題が多い。一人乗りボートのスクリューにロープが絡まっただけでも海難事故につながる可能性がある。今回は表層流が目的なのでロープを使用する必要はなく、ブイに直接ボルトで固定する事が出来た。その上で気象予報を参照し、調査期間中に平均風速が2 m/sを超えないと予測される期間のみ調査を実施した。なお、DoCoMoポジシーク通信端末を搭載した状態で海面上Aと海面下Bの断面積比A/Bは0.10となった。

調査手順

- 1) 年度当初、第1回調査を行う前に三池海上保安部警備救難課救難係に作業届けを提出した。
- 2) 三池海上保安部が指定した関連漁業共同組合や海運会社等に対し、調査の説明と協力を求める書簡とポスターを郵送した。
- 3) 気象庁週間天気予報と沿岸波浪モデル予想 (<http://www.imocwx.com/rsmwv/wv008sjp.htm>) を

¹⁾ バッテリー持続時間は温度、バッテリーの古さ、波浪などの条件により変動する。

参照し、数日間晴天で風速 2 m/s、波高 1 m 以下の状態が続く見込みが得られた場合のみ端末の初期設定²にとりかかった。

- 4) 海況を優先するとブイ投入時の潮回りを統一することは困難であったが、出来る限り潮止まり前後 2 時間以内に投入作業を完了するようにした。
- 5) 投入前にはポーリングを行って位置情報の発信を確認した。
- 6) 投入後は位置情報をポジシーク対応専用ソフトまたはauのGPS Mapサービス画面上でリアルタイムに追跡し、漂着或いは南下して島原湾外へ流出する可能性がある場合には速やかに回収出来るよう監視した。今回は漂着はあったものの、島原湾から流出するほどの南下は一度も認められなかった。
- 7) 回収時には携帯GPSポケナビmini (エンベックス製FG-530) に定時通信による最新位置情報を入力し、同機のナビゲーション機能を使用して目標に接近した。一回目の接近で発見できなかった場合はポジシークの「ポーリング機能」、au機では「Ezお探しナビ」機能で随時位置情報を入手して探索した。ポケナビminiは12チャンネルGPSエンジンを搭載しており、常に数機の衛星を補足する事により10m以内の誤差で目標に到達することが可能で、海上陸上を問わず容易にブイを発見し回収することが出来た。
- 8) 海苔ひびが立つ季節に入ると、漂流ブイは網に絡む可能性があるため、年度の調査を終了し、海上保安部には作業完了届を提出した。

調査回数と調査期間

2003年から2005年の間、総計 7 回の調査を行った(表 1)。

表 1 漂流ブイ実施日

No.	年	開始日時 (潮回り)	終了日時
1	2003	7月20日 (中潮)	7月24日
2	2003	8月3日 (中潮)	8月6日
3	2004	5月26日 (小潮)	5月31日
4	2004	7月16日 (大潮)	7月20日
5	2004	8月7日 (小潮)	8月11日
6	2004	9月14日 (大潮)	9月18日
7	2005	8月11日 (大潮)	8月15日

² ポジシーク、GPS Mapともに、調査期間、送信間隔などはあらかじめWeb上で設定を行う必要がある。

しかし、2003年に行った調査で用いたブイとドローグは試験機で図 1 の2004年以降に用いた機器とは形状が異なっているため単純に比較は出来ない。そのため、2003年調査は予備試験と位置づけ、データの解析は両機種と比較試験を行った後に行いたい。

[風と風圧流の見積]

調査期間中の風向風速について気象庁ホームページから得られた岱明町測候所のデータを参照し、参考のため、時系列のベクトル図と平均風速のレーダーチャートをMicrosoft Excel for Mac (Ver. 11.5) とDeltaGraph (Ver. 5.5.5, PANTONE) を用いて作成した。

風による漂流ブイの漂流速度(風圧流)を以下の計算式で見積もった。

$$U = KW\sqrt{\frac{A}{B}}$$

U: 風圧流 (m/s) A/B: 海面上Aと海面下Bの断面面積比

K: 風圧係数 W: 風速 (m/s)

今回用いたゼニライト製漂流ブイの風圧係数Kは未知であるが、海上保安庁によって同社製漂流ブイオーブコム(製品名)に適用されている0.025を仮に当てはめる事とする。現場でオーブコムと同じ筐体と今回使用のブイを同時に漂流させ、今回使用のブイがオーブコムより風の影響を受けにくい事を確認しているため、上記の係数が過小見積もりになる事は無いと考えられる。

[ブイの軌跡]

ポジシーク端末から1時間毎に送信される位置データはポジシークサーバからEメールとして所定のアカウントに配信され、処理ソフトAAO[®](ゼニライトブイ株式会社 パケット通信方式漂流ブイデータ通信ソフトウェアVer.2.0)によりリアルタイムで描画された。au端末の軌跡はGPS MapのWebサイト上で確認する事が出来た。ポジシークとGPS Mapの軌跡はデータに基づきGMT(The Generic Mapping Tools)を用いて再描画し、Adobe[®] Illustrator[®] CS上で編集した。

[流速と流向]

一時間おきに送信されて来る位置情報から瞬間流速を得ることは出来ないが、一時間の平均流速と流向を得ることができる。表示に際しては前後1時間、3地点間の移動平均を求めベクトル表示した。

[残差流]

漂流開始後、潮止まり時間に近い任意の時間を起点として、M2分潮（12.41時間）間隔の位置を矢印で結び、残差流による水塊の移動を表示した。定時以外の時刻における位置は直前直後のデータから内挿した。ただし、前後どちらかのデータに欠測が3点以上あった場合は表示を行わなかった。残差流の矢印は軌跡に重ねて表示すると共に、同一時間間隔に置ける各ブイの残差流を8潮汐周期まで同時表示した。

[海洋構造との関係]

漂流調査と平行して熊本県立大学海洋生態学研究室による海洋調査が実施された。この調査では有明

海を縦横断する定点から水深1m毎の水温、塩分、DO、クロロフィル量を測定し、鉛直プロファイルが作成された。これを本調査における軌跡・流速データと比較検討した。

結果

潮 汐

調査期間中の大浦における潮汐（計算値）を図3に示す。

比較のためには全て大潮期間に実施する事が理想であったが、前述したように、海況が安定した期間は限られているため、潮回りの選択を最優先する事は出来なかった。

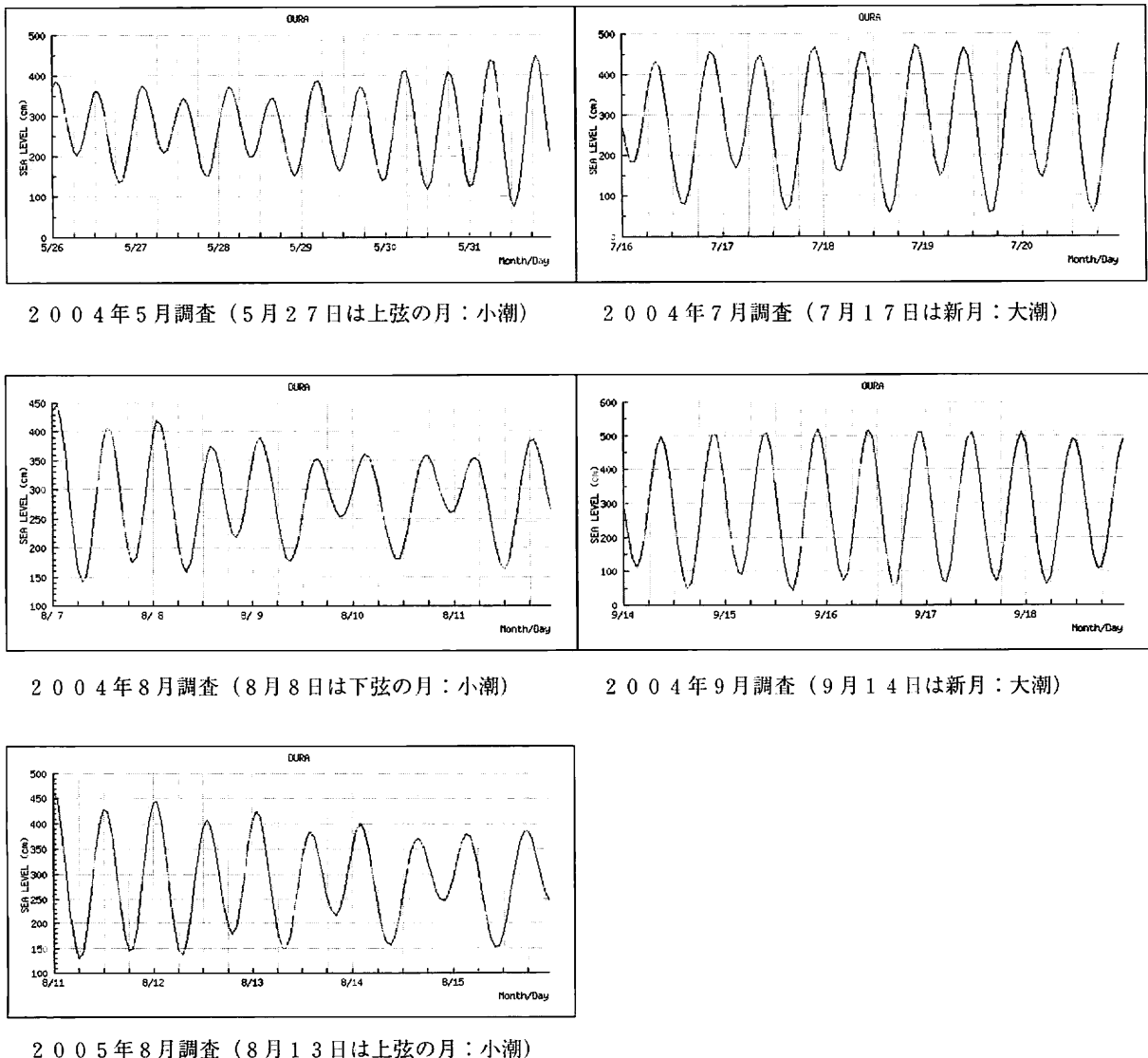


図3 調査期間中の大浦における潮汐（計算値，気象庁ホームページより）。
潮位は潮位表基準面表示（潮位表基準面からの高さ）

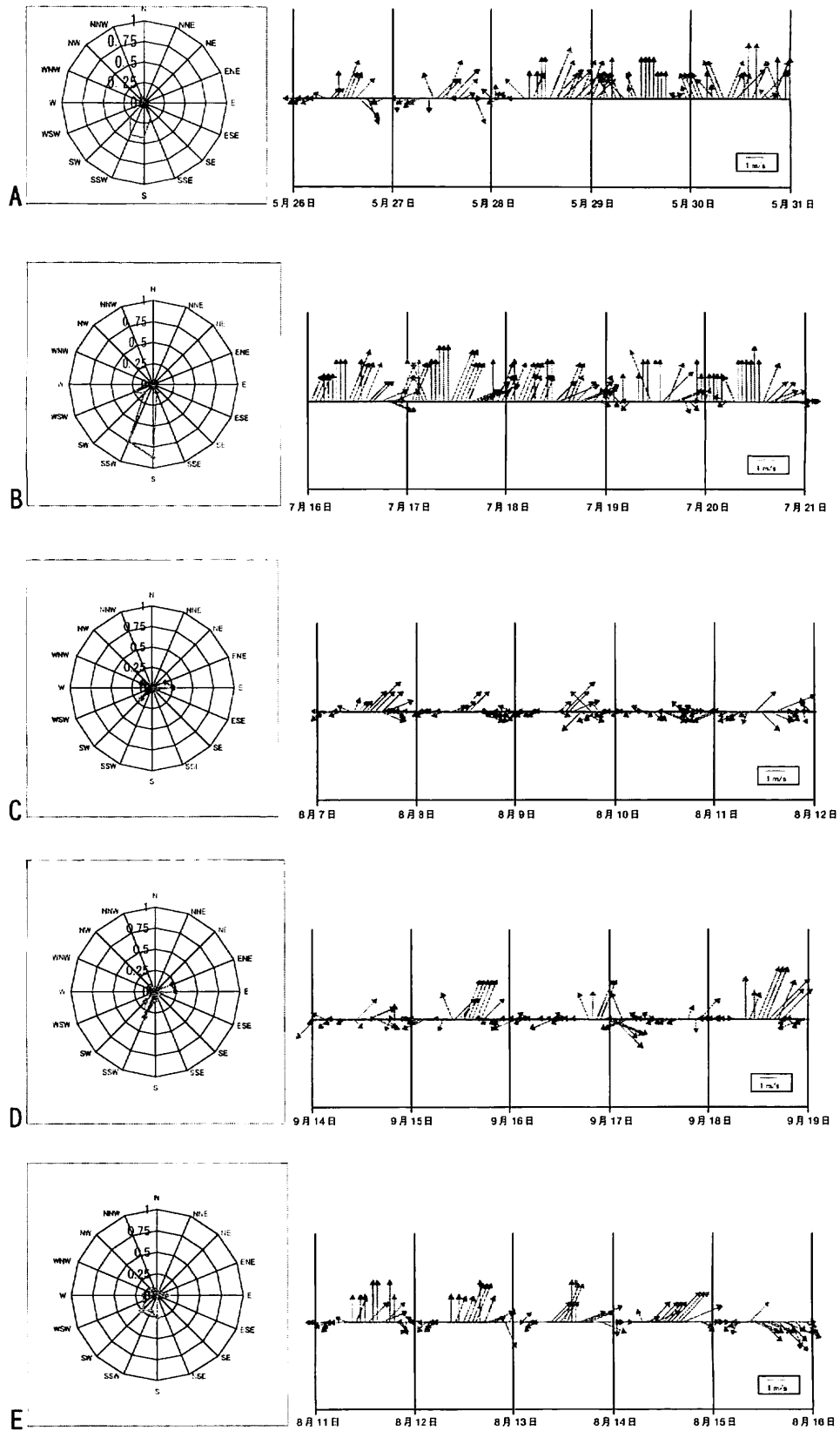


図4 岱明町における調査期間中の平均風速×発生頻度の分布(左)とベクトル(右)

A (2004年5月26日～30日): 最大風速 4 m/s. 平均風速 1.8 m/s. 静穏率 10.4%. 後半の28日昼頃から南よりの風が卓越するようになった。B (2004年7月16日～20日): 最大風速 4 m/s. 平均風速 2.3 m/s. 静穏率 2.5%. 全般的に南よりの風が卓越。C (2004年8月7日～11日): 最大風速 3 m/s. 平均風速 1.0 m/s. 静穏率 3.3%. 期間中特別に卓越した方位はなく、南北の風は少なく東西方向の弱い風が時折吹く状況が続いた。D (2004年9月14日～18日): 最大風速 4 m/s. 平均風速 1.4 m/s. 静穏率 15.0%. E (2005年8月11日～15日): 最大風速 3 m/s. 平均風速 1.5 m/s. 静穏率 15.0%.

表2 各調査期間中の平均風速と風圧流の見積もり

調査期間	最大風速	静穏率	平均風速	平均風向 (方位)	風圧流
2004.5.26-5.30	4 m/s	10.4%	1.8m/s	234.8deg. (SW)	0.014m/s (1.2km/day)
2004.7.16-7.20	4 m/s	2.5%	2.3m/s	243.7deg. (SSW)	0.018m/s (1.5km/day)
2004.8.7-8.11	3 m/s	3.3%	1.0m/s	119.8deg. (NNW)	0.008m/s (0.7km/day)
2004.9.14-9.18	4 m/s	15.0%	1.4m/s	150.6deg. (WNW)	0.011m/s (0.9km/day)
2005.8.11-8.15	3 m/s	15.0%	1.5m/s	185.2deg. (W)	0.012m/s (1.0km/day)

表3 各調査における残差流記録時刻

地点 No.	2004年 5月調査	2004年 7月調査	2004年 8月調査	2004年 9月調査	2005年 8月調査
0	26日14:00	16日14:40	7日13:22	14日9:00	11日19:00
1	27日2:28	17日3:08	8日1:50	14日21:28	12日7:25
2	27日14:56	17日15:36	8日14:18	15日9:56	12日19:50
3	28日3:24	18日4:04	9日2:46	15日22:24	13日8:15
4	28日15:52	18日16:32	9日15:14	16日10:52	13日20:40
5	29日4:21	19日5:01	10日3:43	16日23:21	14日9:05
6	29日16:49	19日17:19	10日16:11	17日11:49	14日21:30
7	30日5:17	20日5:47	11日4:39	18日0:17	15日9:55
8	30日17:45	20日18:15		18日12:45	

風、波高

岱明町における調査期間中の平均風速 \times 発生頻度の分布とベクトルを図4に示す。

5回の調査期間を通じ、最大風速は4 m/s以下、平均風速2.3m/s以下、波高は予報値は0.5m以下で投入及び回収時の大半は風であった。各調査期間における平均風速による風圧流の見積もりを表2に示す。

これは地域と時刻を無視した平均値によるもので、あくまで参考値であるが、5日以内であれば、本調査の空間スケールに対し風の影響は小さかったと考えられる。

2004年5月調査 (2004年5月26日～5月30日実施) [各ブイの軌跡と残差流]

2004年5月調査におけるブイの動きを図5に示す。残差流の起点(0)は5月26日14時とし、その後、M₂分潮間隔のポイントを順に矢印で結んでいる(以下同様)。各番号の時刻は表3の通り。

有明海奥部には、au、DoCoMoのそれぞれの携帯電話電波網で圏外となる海域が存在する。その場合、ポジシークシステムは最も近い送信アンテナの位置を送信してくる仕組みになっている。これは陸上では次善のデータとして活用出来る可能性があるが、海上には送信アンテナが存在しないため、本調査のデ

ータとして採用するわけにはいかない。したがって、ブイAやGの軌跡で長い直線表示されている区間は陸上データによって置き換えられたため欠測とみなされた区間である。ブイAでは、13時23分の放流時から次の観測点に達した17時までは欠測となっているが、いったん南下して戻った可能性がある。その後は上げ潮に乗って北上しながら東へ流れており、通常言われている反時計回りの残差流と一致する。なお、東岸に到達したのちは上げ潮と下げ潮に乗って一往復半した後、鹿島付近の海岸に漂着した。この間約48時間で、28日午後以降の南よりの風の影響は殆ど受けてないと考えられる。

ブイAの南方に投入されたブイGも同調した軌跡を示し、近接地点にほぼ同時刻に漂着した。ブイGは27日朝からは西よりに流され、28日午前9時頃から西よりに北上を始めた。ここまでは潮汐周期とよく一致するが、その後は下げ潮に転じた後も北上を続け、佐賀県側に漂着した。この間、南よりで風力2-3 m/sの風が連続して吹いていた。しかし、ドローグも装着されており、風の影響以外に西沿岸に北上する流れが存在する可能性もある。

湾奥西部に投入されたブイEは特定の傾向を示すことなく、奥部海域の狭い範囲内に留まり、やや北上した場所で回収された。

諫早湾潮受堤防中央部直前に放流したブイCは、

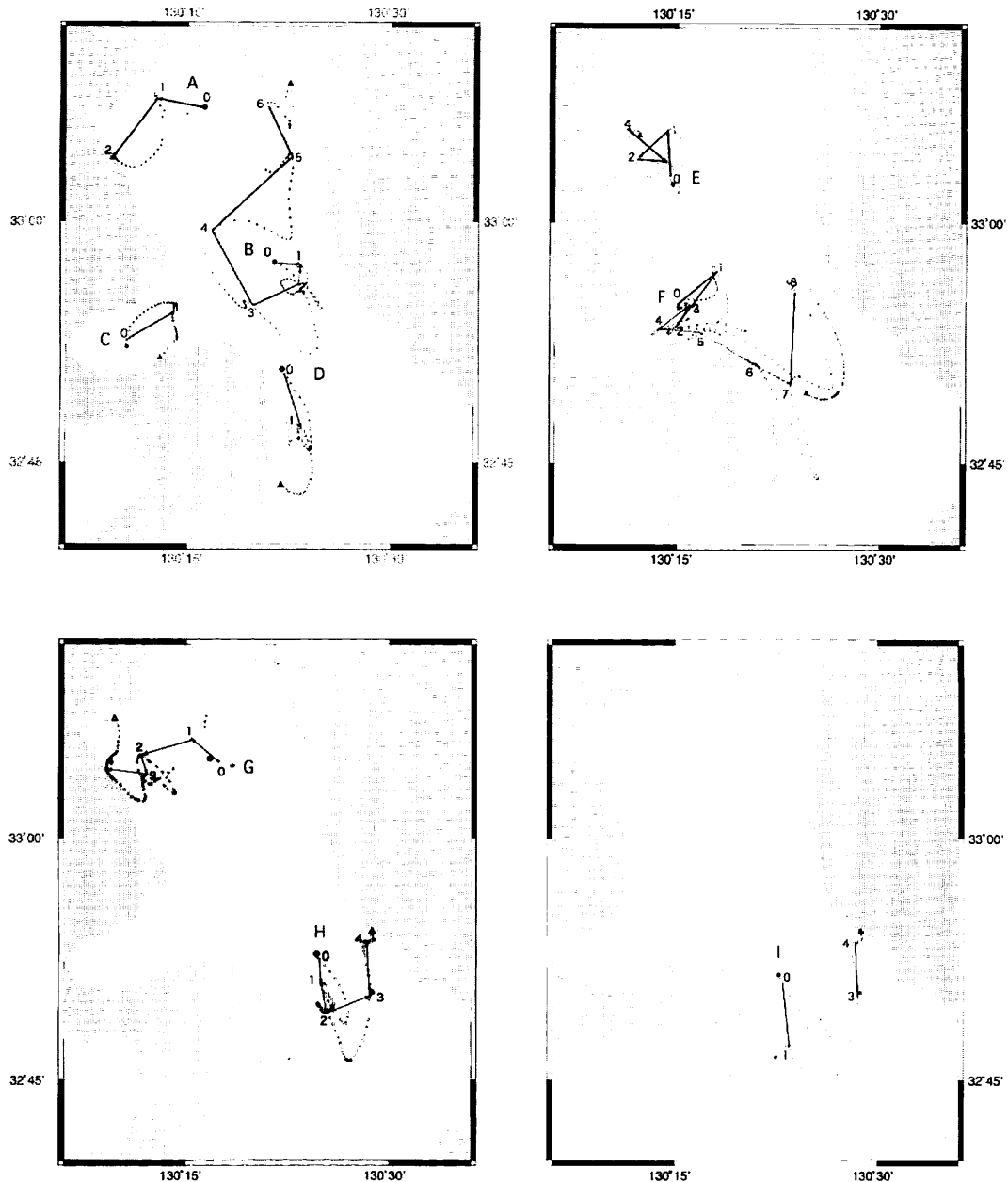


図5 ブイの軌跡 (2004年5月調査)

アルファベット記号はブイの識別符号。矢印成分は大浦における満潮または干潮付近の潮止まり時刻を起点とした、 M_2 分潮期間の移動を示す。各番号の示す時刻は表3に示す。●：投入地点 ▲：回収地点

湾外に出ることなく約22時間後に瑞穂町海岸に漂着した。

島原半島有明町沖に投入されたブイDは西岸を南下する傾向をしめしたが、23時間後に深江付近の海岸に漂着した。

諫早湾口中央部に投入されたブイFは複雑な動きの後に一旦島原沖を南下するかに見えたが、再び上げ潮に乗って北上した後、東岸を北上する流れに乗った。その後、再び南下して、投入から5日後に島原沖で回収された。

ブイHは、長洲-多比良ラインよりやや南に投入

され、投入後に一次南下傾向を示すが、27日夜から島原沖を北上し、その後東岸に向かう流れに乗ったあと、東岸をさらに北上して30日(4日後)に柳川市沖端川河口に漂着した。

長洲-多比良航路の中間よりやや南に投入されたブイHは27日20時以降の上げ潮と共に北上し、29日0時、三池港南の海岸に漂着した。

島原半島、多比良沖に投入されたブイIは島原半島沖を南下していたが、27日午前3時以降、人為的と判断される直線の高速移動が記録され、同日午後3時30分前に有明町沖に再投入され、30日に長洲港

南の海岸に漂着した。

[残差流の分布]

残差流の分布を図10に示す。湾奥部の残差流は殆どが奥部または佐賀県方面に向かい、湾奥部のブイに諫早湾以南に南下する傾向は認められなかった。諫早湾内のブイは、第一期(0→1)のみ湾外へ向かったが、その後は湾内に押し戻され、潮受堤防中央部直前に滞留しているところを回収された。島原沖に投入されたDとIの第一期のみ南下する動きが認められたが、Dが漂着したのちIは北上し、それ以外の時期に島原湾西岸に存在するブイが無かった事を考慮に入れても、南下して湾外に出て行く残差流は明白でなく、第2期の多比良沖や第4期の諫早湾口沖では逆に湾奥に向かう残差流も認められた。また、熊本県側を北上して湾奥部に向かう流れも明白ではなかった。

[流速とベクトル]

図15にブイ毎の流速ベクトル³を示す。矢印の方向は東西南北成分、長さは流速を表しているため、目視によって上向き成分と下向き成分の面積を比較することで期間中のブイが北上または南下の傾向を概観する事が出来る。また、図20には、大浦における潮汐を基準とした、上げ潮と下げ潮時における流速ベクトルの分布を示す。ブイの数に限りがあるため、必ずしも広大な有明海と島原湾の表層流全体を捉えるには至らないものの、流れの全体像を概観することが出来る。上げ潮と下げ潮ピーク時のベクトルを見る限り、全体的な流向は同調的である。

2004年7月調査(2004年7月16日～7月20日実施)

[軌跡と残差流]

2004年7月調査におけるブイの動きを図6に示す。残差流の起点(0)は7月16日14時40分とした。各期間の時刻は表3の通り。

[各ブイの動向]

ブイAが投入された海域は携帯電波網が弱く欠測が多かったが、24時間後に佐賀空港付近の海岸に漂着した。ブイBはブイAと同様に携帯電波網の弱い海域を漂流し、17時間後に柳川市橋本町海岸に漂着

した。

諫早湾中央部付近に投入されたブイCは、そのまま湾外に出て潮汐による振動を繰り返しながらも対岸に向かい、二日後には熊本側に到着した。その後、長洲港北部沿岸に滞留し、最終的には4日後、20日正午頃に漂着した。今回のような諫早湾から荒尾・長洲方面への「横渡り」は、荒尾方面の海苔漁民から指摘があった、「諫早湾入口周辺で規模の大きな赤潮が発生した場合、1日半程の間に網を上げないと色落ちが始まる」という経験則に合致するものであった。

ブイDは島原よりに投入されたにもかかわらず、徐々に東に寄り、19日朝、荒尾の海岸に漂着した。

ブイEはブイGの投入一日後の位置に近い場所に投入された。結果的にブイGの二日目以降の経路と同様で、ほぼ同じ場所に1日早く漂着した。

諫早湾口に投入されたブイFは投入後すぐに湾から島原湾中央部に出て下げ潮と共に南下したが、そのまま島原湾中央部で南下と北上を繰り返しながら滞留した。

ブイGは、投入後24時間はブイFと同様に島原湾中央部を往復していたが、17日午後以降熊本側に寄り、98時間後の20日正午に長洲港北部、荒尾の海岸に漂着した。

ブイHは長洲-多比良フェリー航路中央部より北側に投入され、G同様に17日夕刻より熊本寄りに流れ、Gとほぼ同時刻、同じ海岸に漂着した。

長洲港沖に投入されたブイIはブイG、Hと同様の熊本側の沿岸流に乗り、35時間後の17日午後9時、荒尾の海岸に漂着した。

[残差流の分布]

残差流の分布を図11に示す。湾奥部では第1期のみ中央部から東寄りを北上する残差流が認められたが、その後の期間は早期漂着のため残差流データは得られていない。東部熊本よりを北上する残差流は各期間を通じて認められるが、島原沖を南下する流れは弱い。一方、第2期においては、島原湾西部の表層水は一斉に東部へ向かっている事が特徴的である。

³ 直前直後の観測点を含めた移動平均値。三点のうち、一点に欠測があった場合は、その隣接データを用いて内挿した値を移動平均に用いた。但し、欠測がそれ以上あった場合には表示を行わなかった。

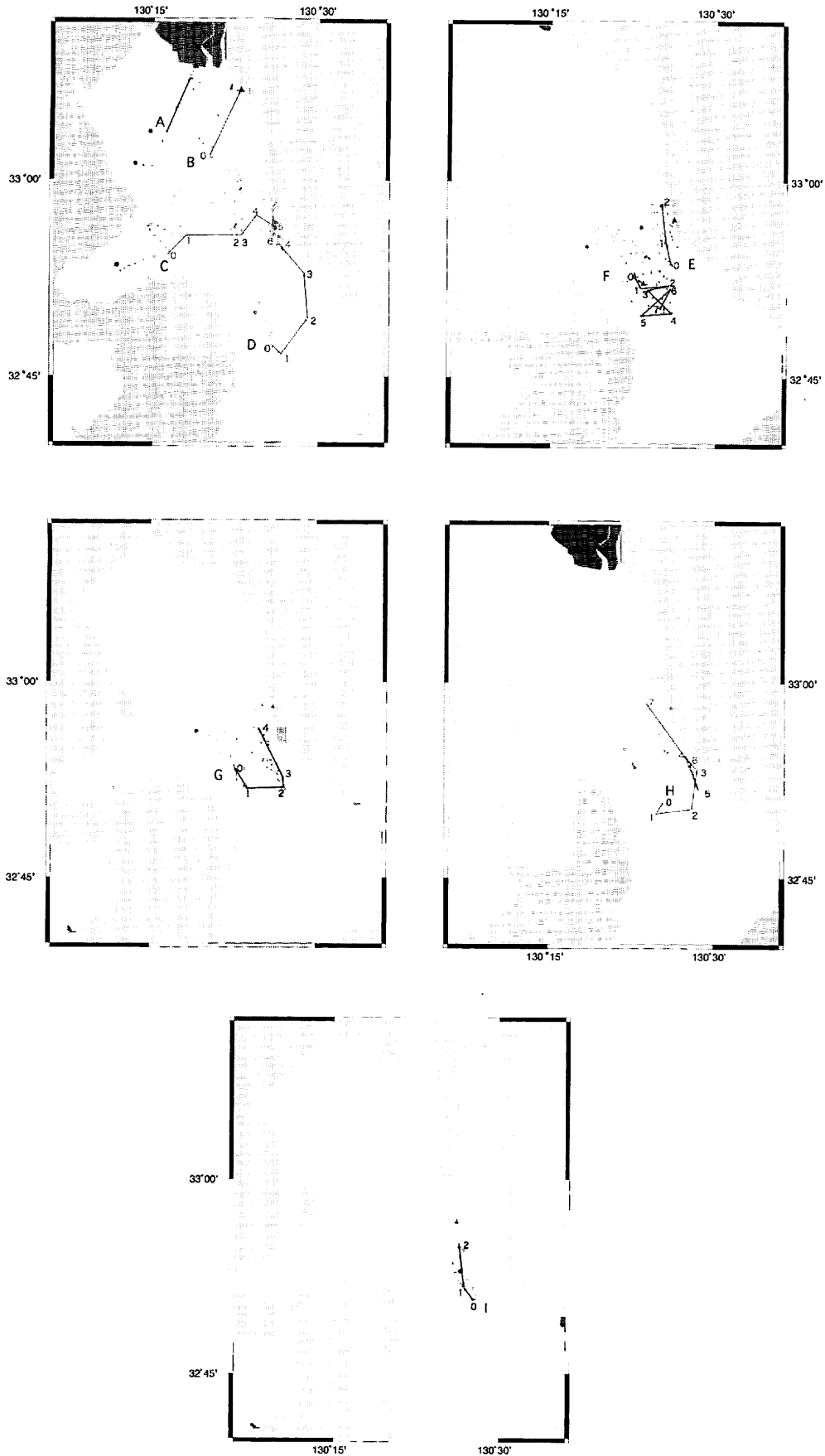


図6 ブイの軌跡 (2004年7月調査)

アルファベット記号はブイの識別符号。矢印成分は大浦における満潮または干潮付近の潮止まり時刻を起点とした、 M_2 分潮期間の移動を示す。各番号の示す時刻は表3に示す。●：投入地点 ▲：回収地点

2004年8月調査（2004年8月7日～11日実施）

[軌跡と残差流]

2004年8月調査におけるブイの動きを図7に示す。残差流の起点（0）は8月7日13時22分とした。各期間の時刻は表3の通り。

[各ブイの動向]

ブイAは、投入後しばらくして欠測が続いたが、嘉瀬川沖に出現した後は沿岸を東寄りに流され、53時間後の10日1時には鹿島沿岸に漂着した。

諫早湾口の大浦-多比良ライン中央部よりわずか

沖合に投入されたブイBは一旦北上した後、南東方面に下った。しかし、熊本県沿岸を北上する流れに乗ることもなく島原湾中央部方面に南下し、深江沖まで南下した64時間後の10日午前1時、操業中の漁船に回収された。

ブイCは湾奥部中央付近を漂流し、79時間後の10日15時に投入地点の南西約6kmの海上で回収された。回収時は上げ潮の最中であつたが、4時間前から殆ど位置を変えていなかった。

三池港沖に投入されたブイDはしばらく熊本側沿岸で南下北上を繰り返していたが、9日午後から西

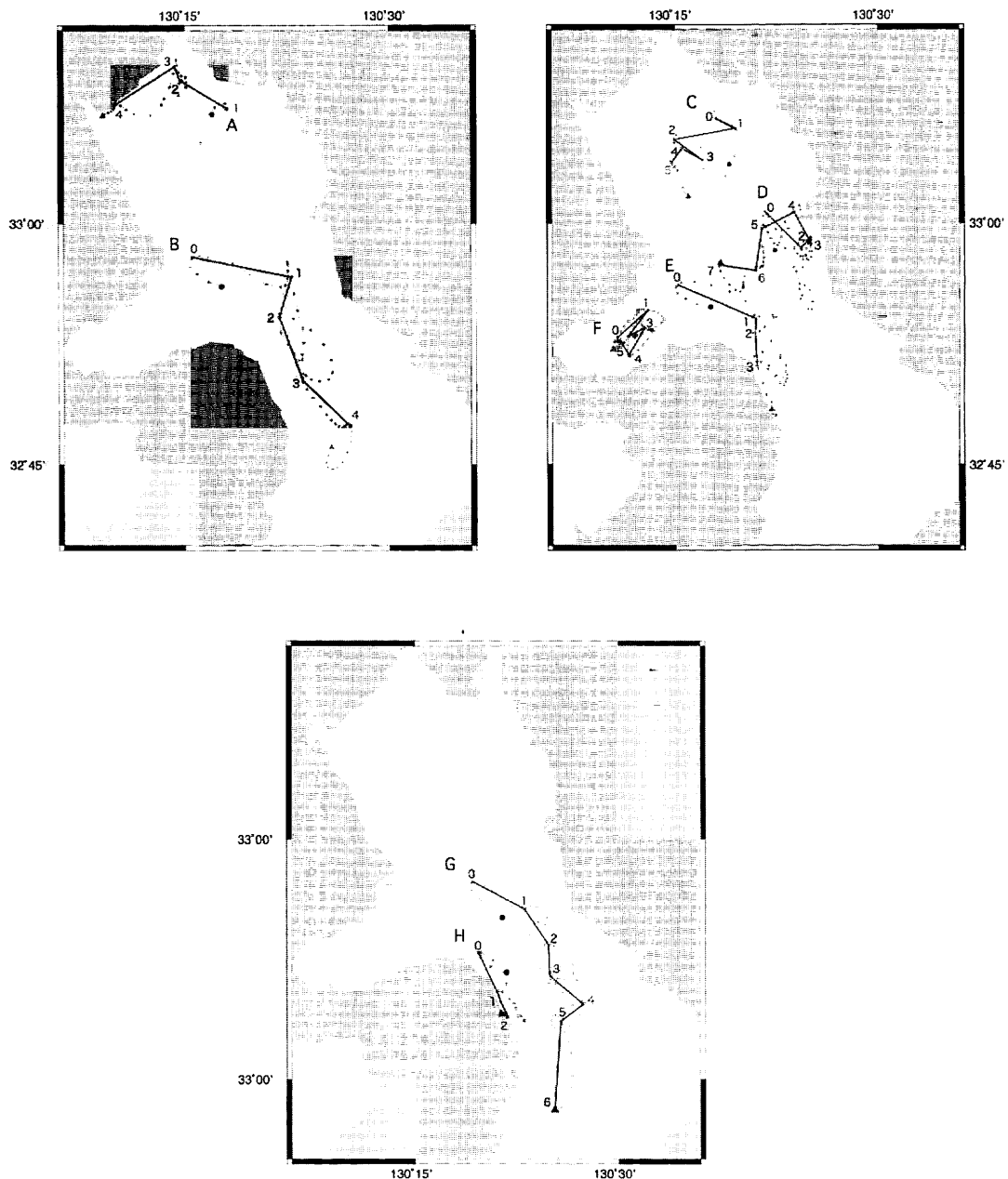


図7 ブイの軌跡（2004年8月調査）

アルファベット記号はブイの識別符号。矢印成分は大浦における満潮または干潮付近の潮止まり時刻を起点とした、 M_2 分潮期間の移動を示す。各番号の示す時刻は表3に示す。●：投入地点 ▲：回収地点

向きの流れに乗り、92時間後の11日5時、三池-大浦ラインの中央部付近西寄りの海上で回収された。9日午後からは西風が吹いており、西に移動したのは風の影響でないと思われる。

諫早湾口部に投入されたブイEは上げ潮によって一旦北上したが、すぐに下げ潮と共に南下を始めた。しかし、投入51時間後の9日正午、島原港付近に漂着した。

諫早湾中央部付近に投入されたブイFは、湾内を時計回りに巡回したのち、76時間後に潮受堤防中央部付近で回収された。

ブイGは島原湾中央部から島原湾に沿って南下し、投入79時間後の8月10日16時、深江沖で回収された。

多比良沖に投入されたブイHは一旦北上した後、島原半島沿いに南下していたが、同日夕刻以降、島原構内に移動し9日朝港湾内で回収された。島原港外を漂流中、船舶に回収され港内に放置された可能性がある。

[残差流の分布]

残差流の分布を図12に示す。湾奥部は東部から北西に向けて、反時計回りの一部と考えられる残差流が認められる。今回特徴的なのは、図示した地点0から4までの4期すべてにわたり、湾中央部から南にかけて南に下る残差流が認められる事である。

2004年9月調査

[風]

調査期間中の最大風速は4 m/s、平均風速1.4m、平均風向150.6deg. (東を0とする反時計回り=東南東への影響)。静穏率15.0%であった。

平均風速による風圧流見積もりは

$$U=0.011\text{m/s (1.0km/day)}$$

[軌跡と残差流]

2004年9月調査におけるブイの動きを図8に示す。残差流の起点(0)は9月14日9時0分とした。各

期間の時刻は表3の通り。

[各ブイの動向]

三池-大浦ラインの中央部に投入されたブイAは一度長洲沖まで南下し、その後は荒尾・三池沖から外れることなく、70時間後の9月17日11時、矢部川沖で回収された。

諫早湾口の大浦-多比良ラインよりやや沖合に投入されたブイBは島原半島沿いを南下し、島原沖を徐々に深江付近まで南下したが、最終的には島原港付近に漂着した。

諫早湾中央部に投入されたブイCは5日以上湾内から出ることなく、138時間後の20日午前5時、瑞穂町海岸に漂着した。

14日8時に荒尾沖に投入されたブイDは翌朝にかけて岱明町沖まで南下したが、その後は熊本県沿岸域を徐々に北上し、17日午前、三池港内に漂着した。

諫早湾口中央部やや外側に投入されたブイEは投入直後から一気に南下したが、15時に上げ潮に転じると同時に島原方面に近づき、その後は島原沿岸を離れることなく翌日11時に漂着した。ブイFもブイEとほぼ同様であった。

島原半島有明町沖に投入されたブイGは島原半島に沿って南下傾向を示し、調査期間中に深江沖まで到達した。しかし、約98時間後には投入地点近傍まで再び北上して回収された。

長洲-多比良ライン中央よりやや北部に9月14日10時に投入されたブイHは下げ潮と共にそのまま南下したが、次の上げ潮時に島原寄りに北上し、その後、島原沖を漂流しながら約72時間後には島原港付近に漂着した。

[残差流の分布]

残差流の分布を図13に示す。第3期(2→3)と第4期の一部で島原半島沿いを通常と逆に北上する残差流が認められたが、1期と2期では島原沿いを南へ向かう残差流が強く認められた。

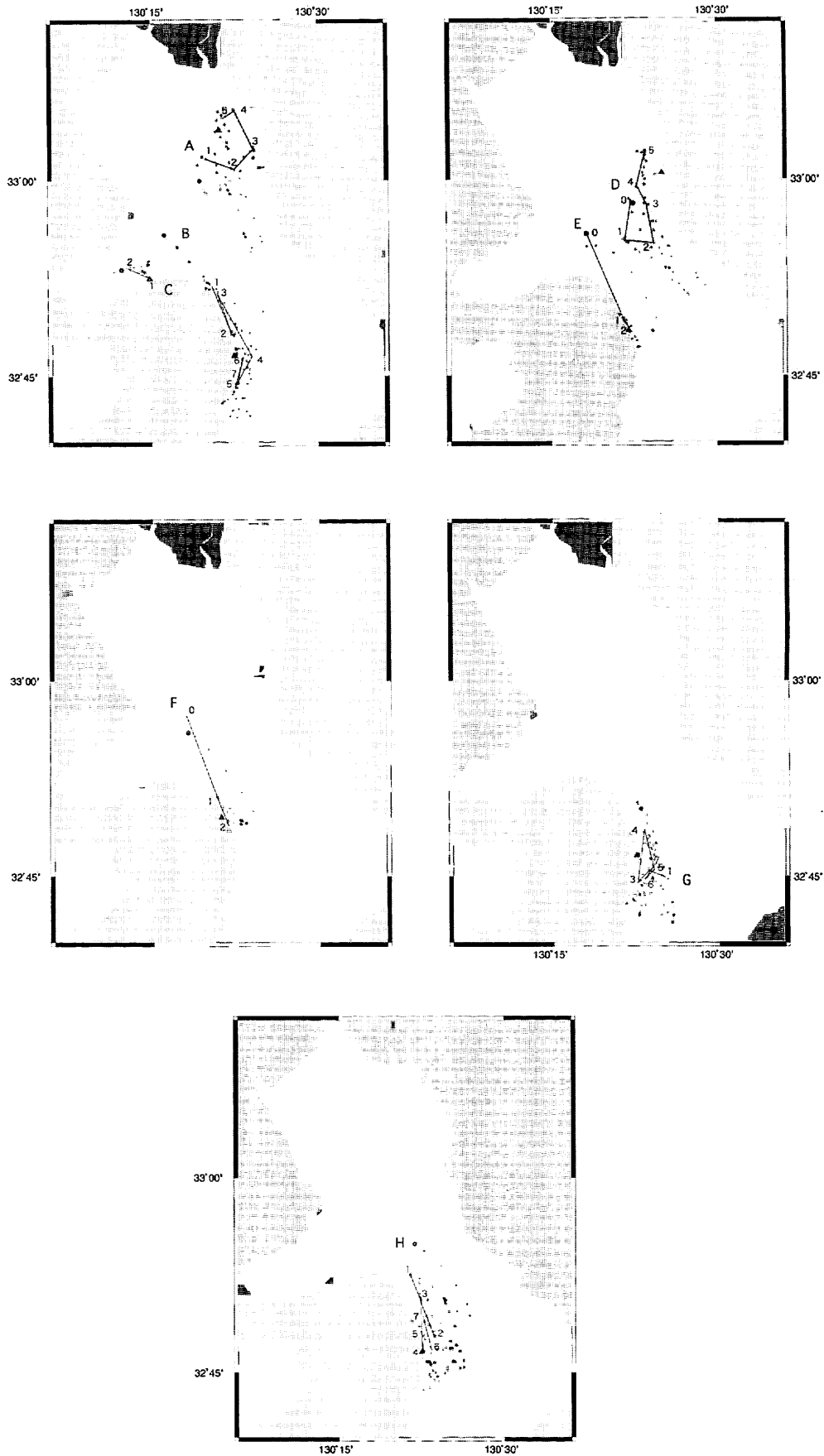


図8 ブイの軌跡 (2004年9月調査)

アルファベット記号はブイの識別符号。矢印成分は大浦における満潮または干潮付近の潮止まり時刻を起点とした、 M_2 分潮期間の移動を示す。各番号の示す時刻は表3に示す。●：投入地点 ▲：回収地点

2005年8月調査

2005年8月調査におけるブイの動きを図9に示す。残差流の起点(0)は8月11日19時0分とした。各期間の時刻は表3の通り。

[各ブイの動向]

ブイAは諫早湾口、大浦-多比良ラインのやや沖合に投入されたのち、南北に振動しながら三池港沖まで到達した。これは2004年7月のブイCと類似した軌跡であった。

ブイAの南約4キロに投入されたブイBはAと全く異なる南へ向かい、7潮汐周期後に島原沖まで到達した。

諫早湾中央部に投入されたブイCは殆ど滞留した状態であった。

三池港沖に投入されたブイDは北上し、矢部川河口に漂着した。

長洲-多比良ライン中央よりやや北部に投入され

たブイEは、南北に振動しながら東進し、長洲港付近で回収された。

島原沖に投入されたブイFはいったん諫早湾口まで北上したのちブイBと同じ流れに乗り、再び島原沖まで南下し、ブイB近傍で回収された。

なお、この調査では三台のブイを筑後川河口から流下させ、河川水の表層への広がりを確認する予定であったが、投入タイミングが遅れた事に加え、午後から南よりの風が強くなり、全て川を遡上した後、芦原に座礁した。そのため、この回に限り湾奥部のデータが欠落している。

[残差流の分布]

熊本県側を北上する残差流は明白であるが、島原半島沿いを南下する残差流はさほど明確ではない。第2期(1→2)のように、むしろ北上する場合も認められた。

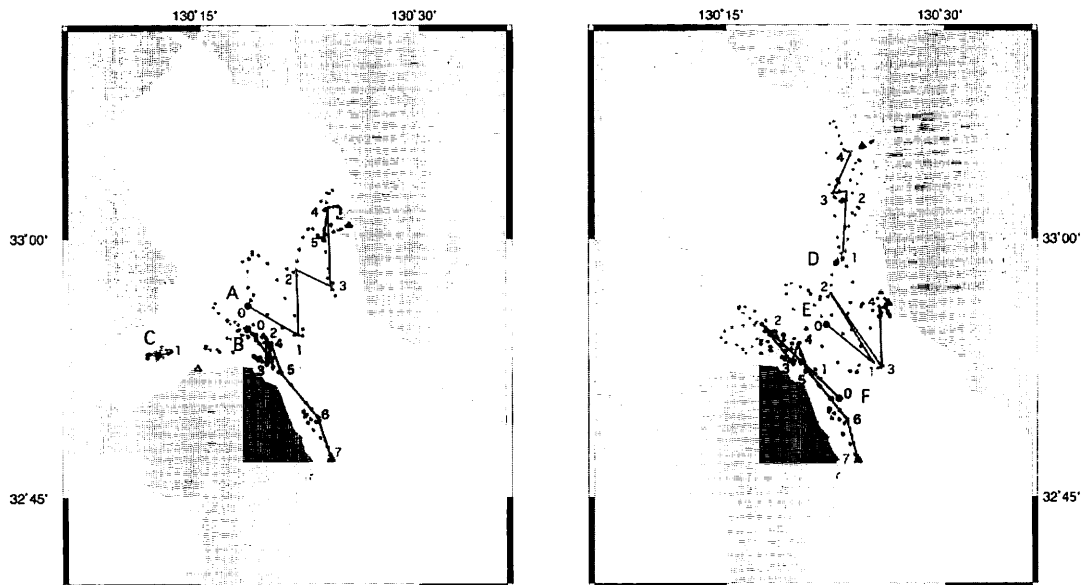


図9 ブイの軌跡(2005年8月調査)

アルファベット記号はブイの識別符号。矢印成分は大浦における満潮または干潮付近の潮止まり時刻を起点とした、 M_2 分潮期間の移動を示す。各番号の示す時刻は表3に示す。●:投入地点 ▲:回収地点

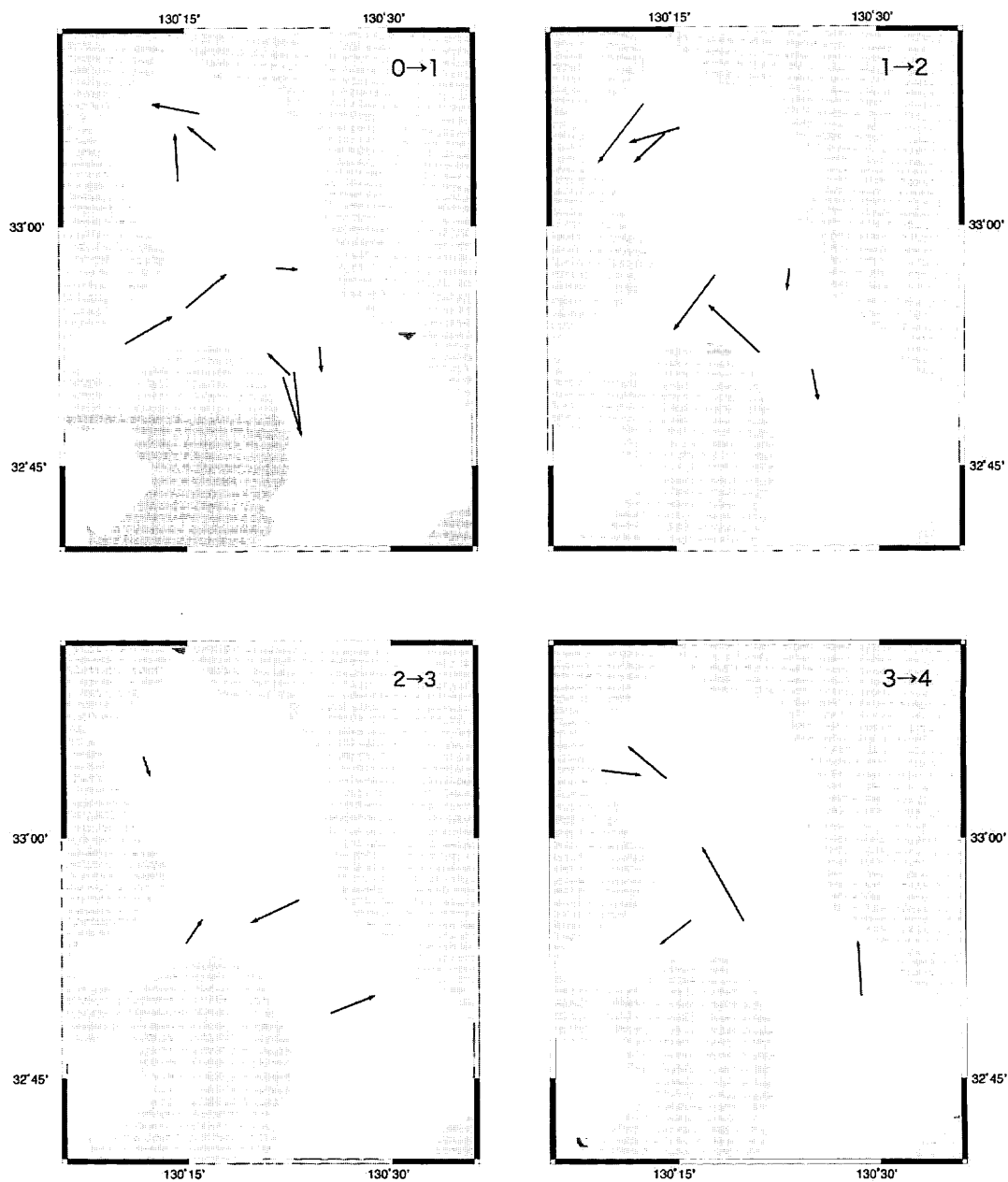


図10 残差流の分布 (2004年5月調査)

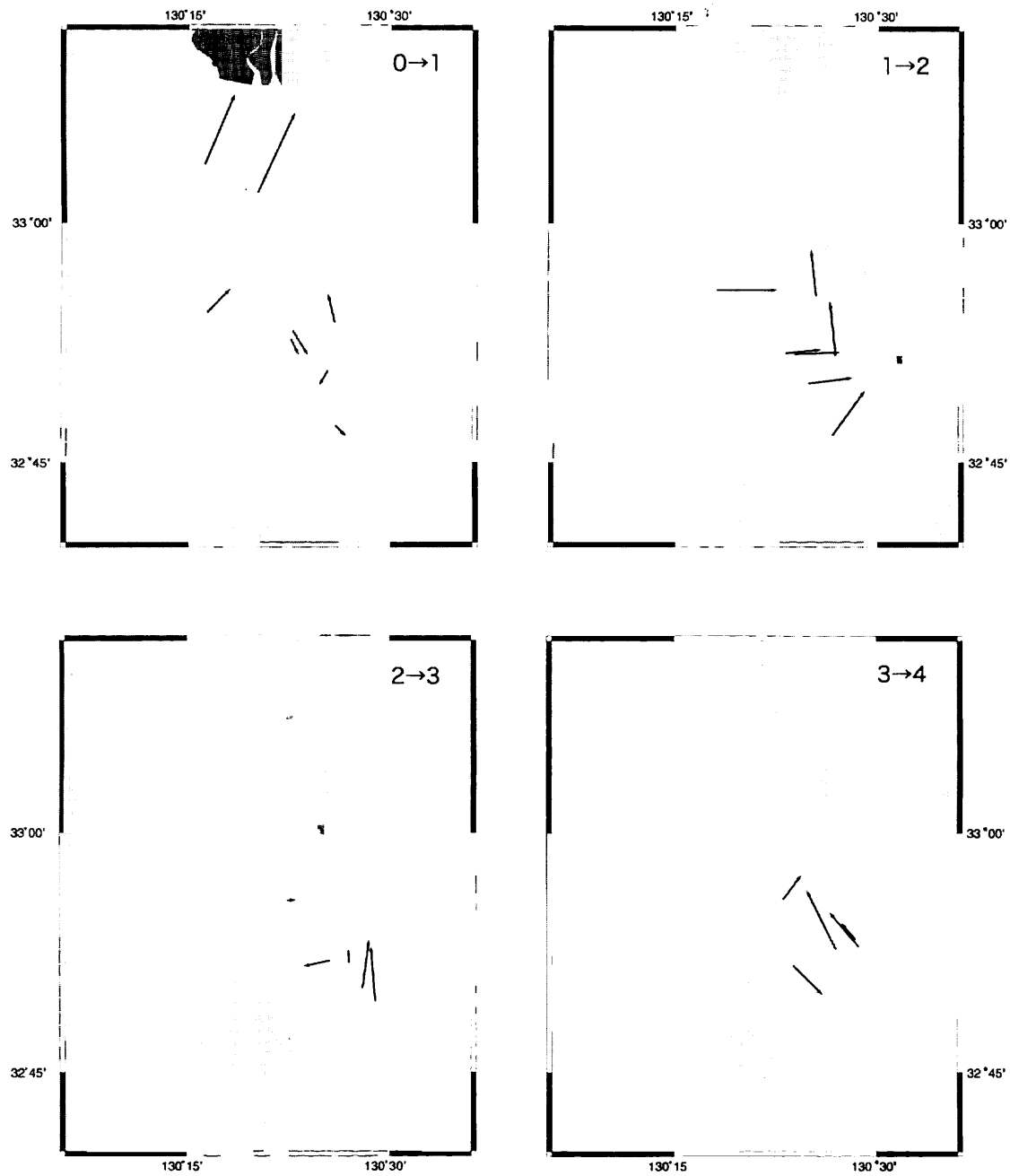


図11 残差流の分布 (2004年7月調査)

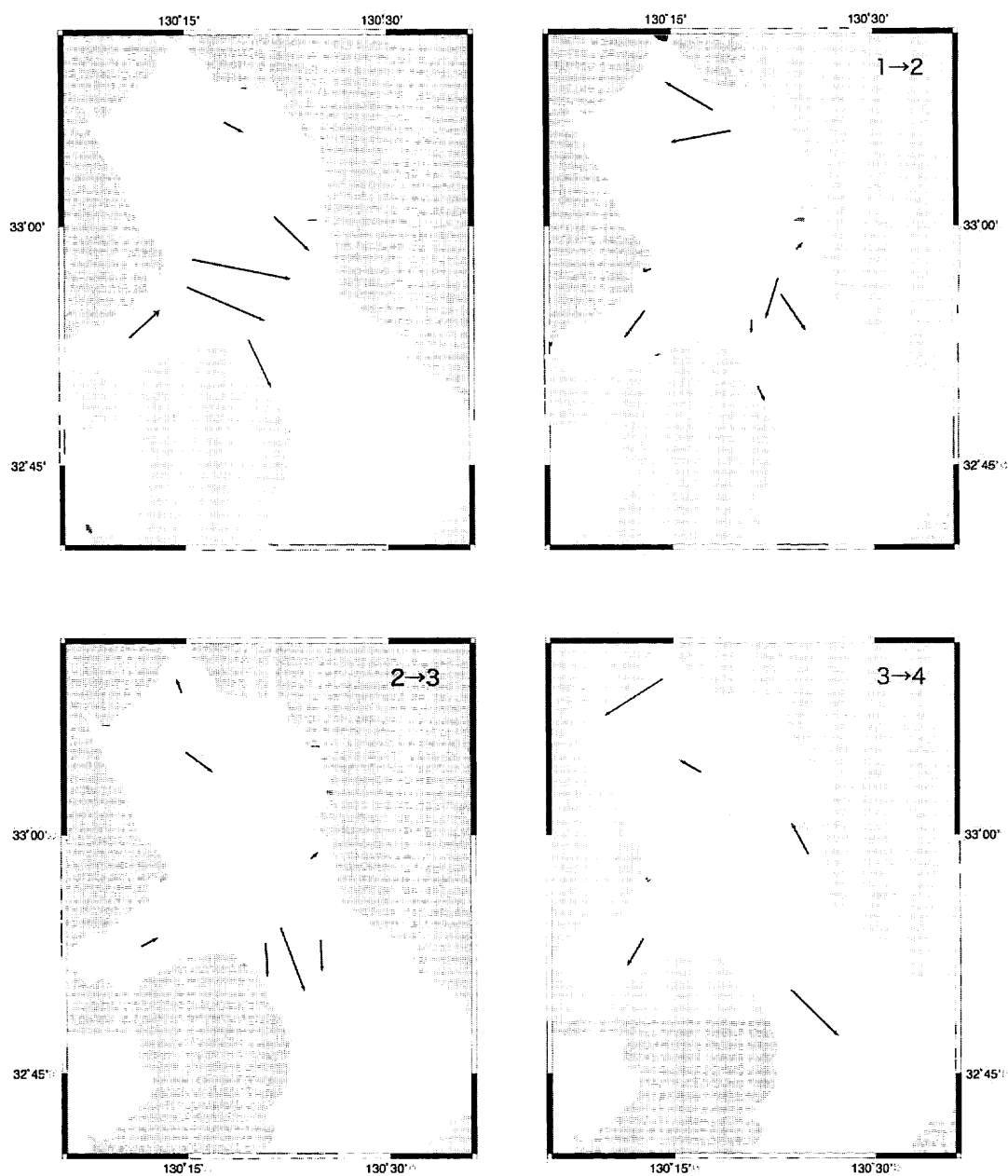


図12 残差流の分布 (2004年8月調査)

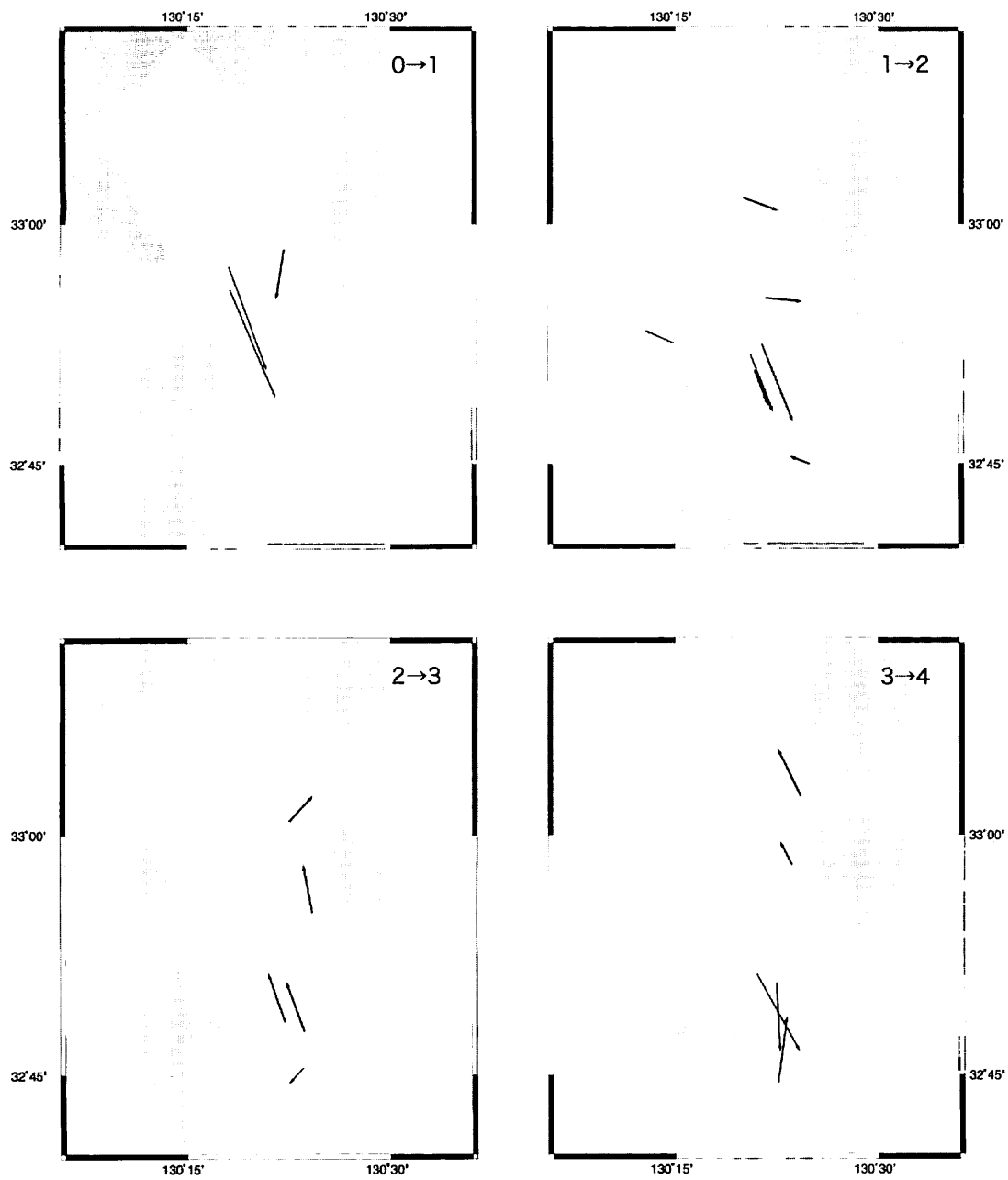


図13 残差流の分布 (2004年9月調査)

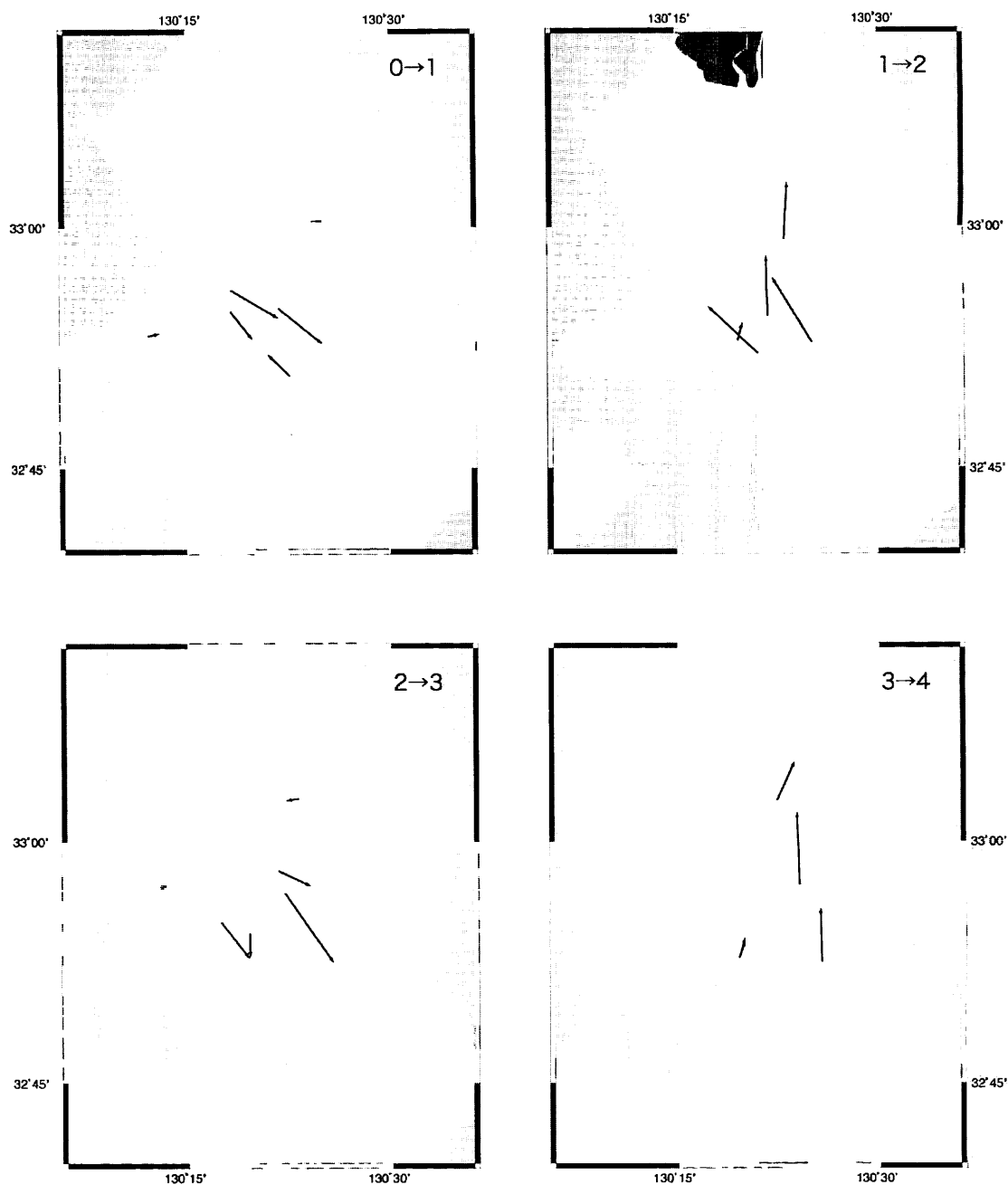


図14 残差流の分布 (2005年8月調査)

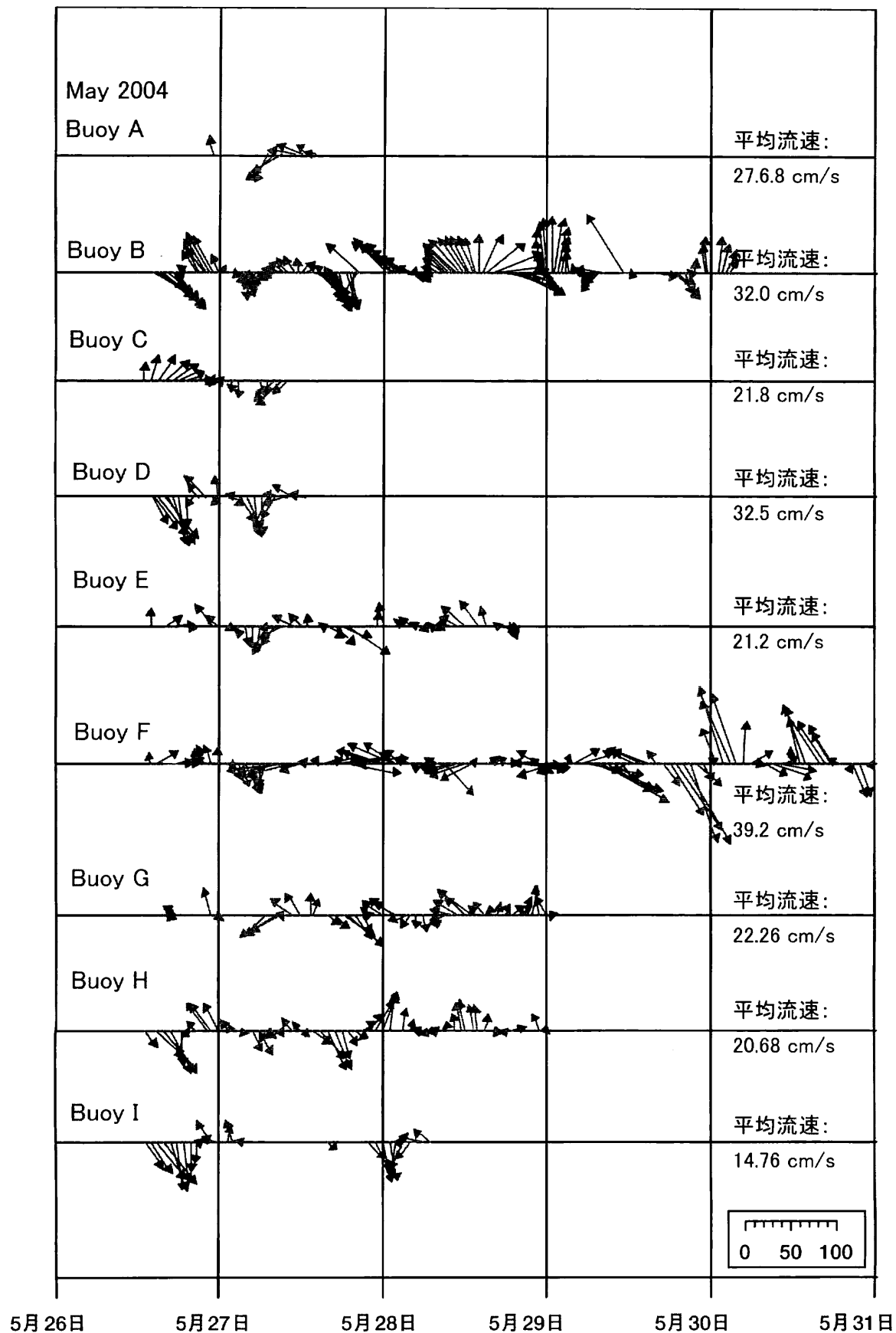


図15 各ブイの移動速度と方位 (2004年5月調査)

ベクトル成分は、各定時観測前後1時間の移動距離と方位から計算した。
定時データが得られていない場合に前後のデータから内挿した値を含む。

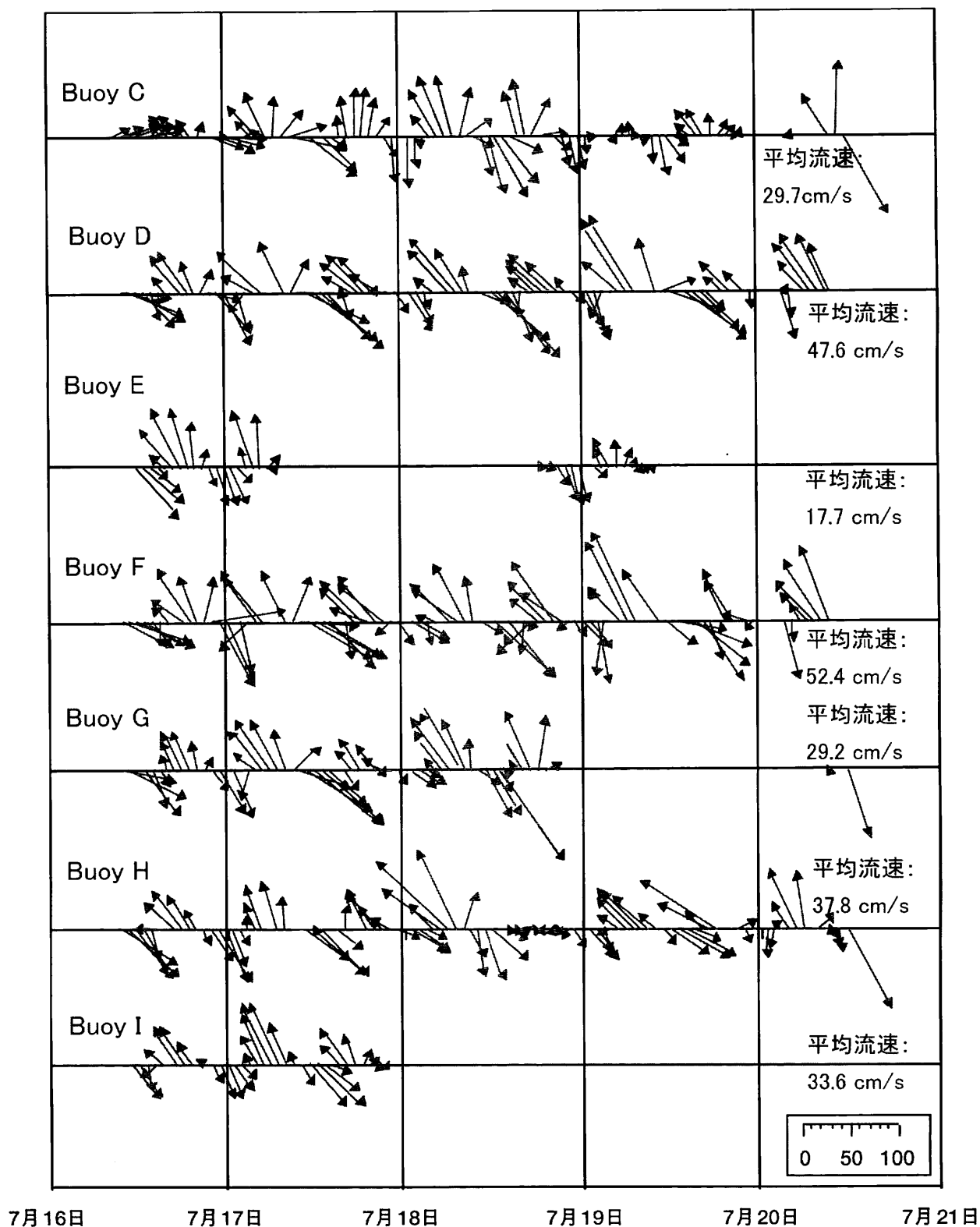


図16 各ブイの移動速度と方位 (2004年7月調査)

ベクトル成分は、各定時観測前後1時間の移動距離と方位から計算した。

定時データが得られてない場合に前後のデータから内挿した値を含む。但し、A, Bについては欠測が多く表示していない。

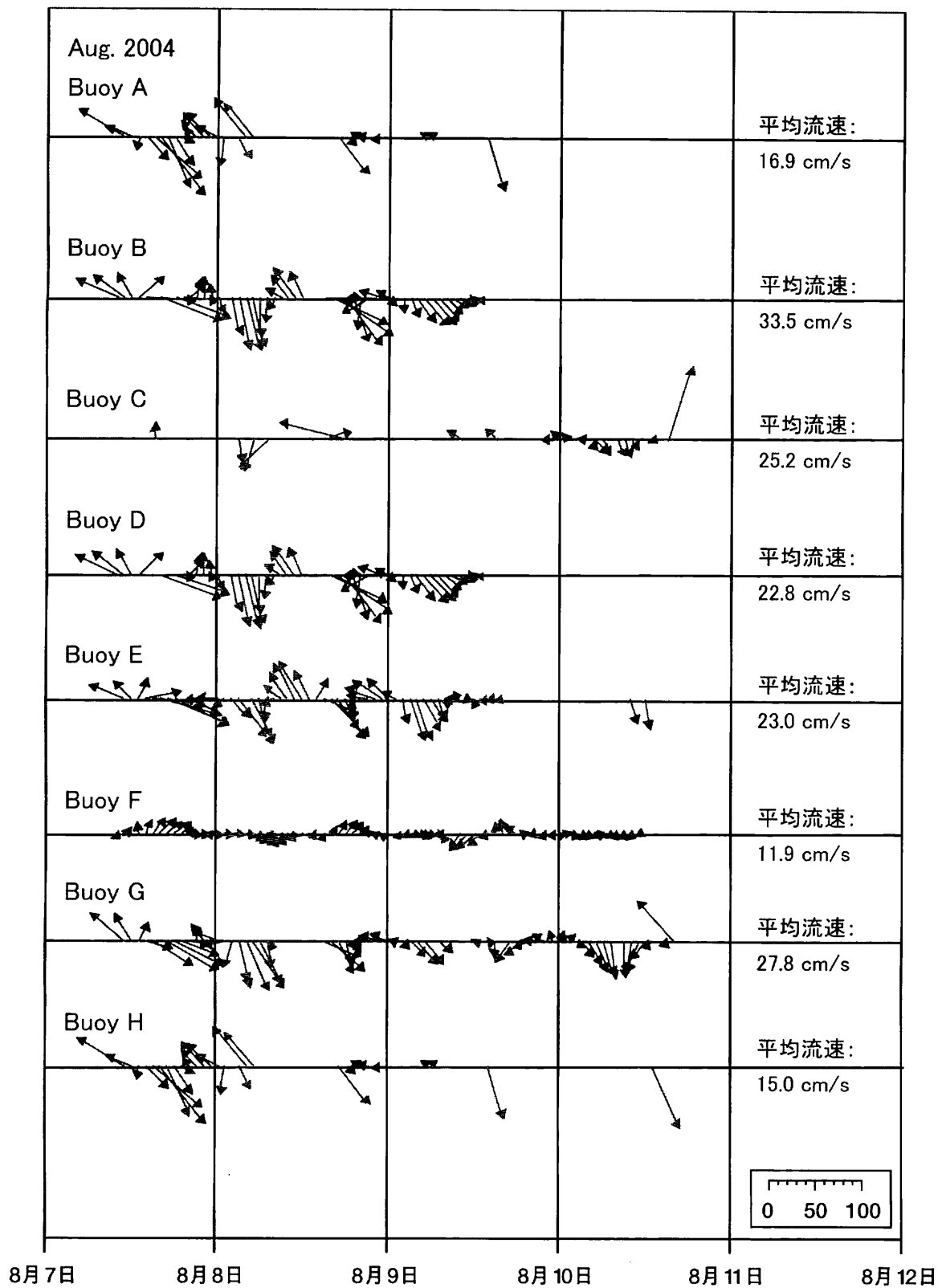


図17 各ブイの移動速度と方位 (2004年8月調査)

ベクトル成分は、各定時観測前後1時間の移動距離と方位から計算した。
定時データが得られていない場合に前後のデータから内挿した値を含む。

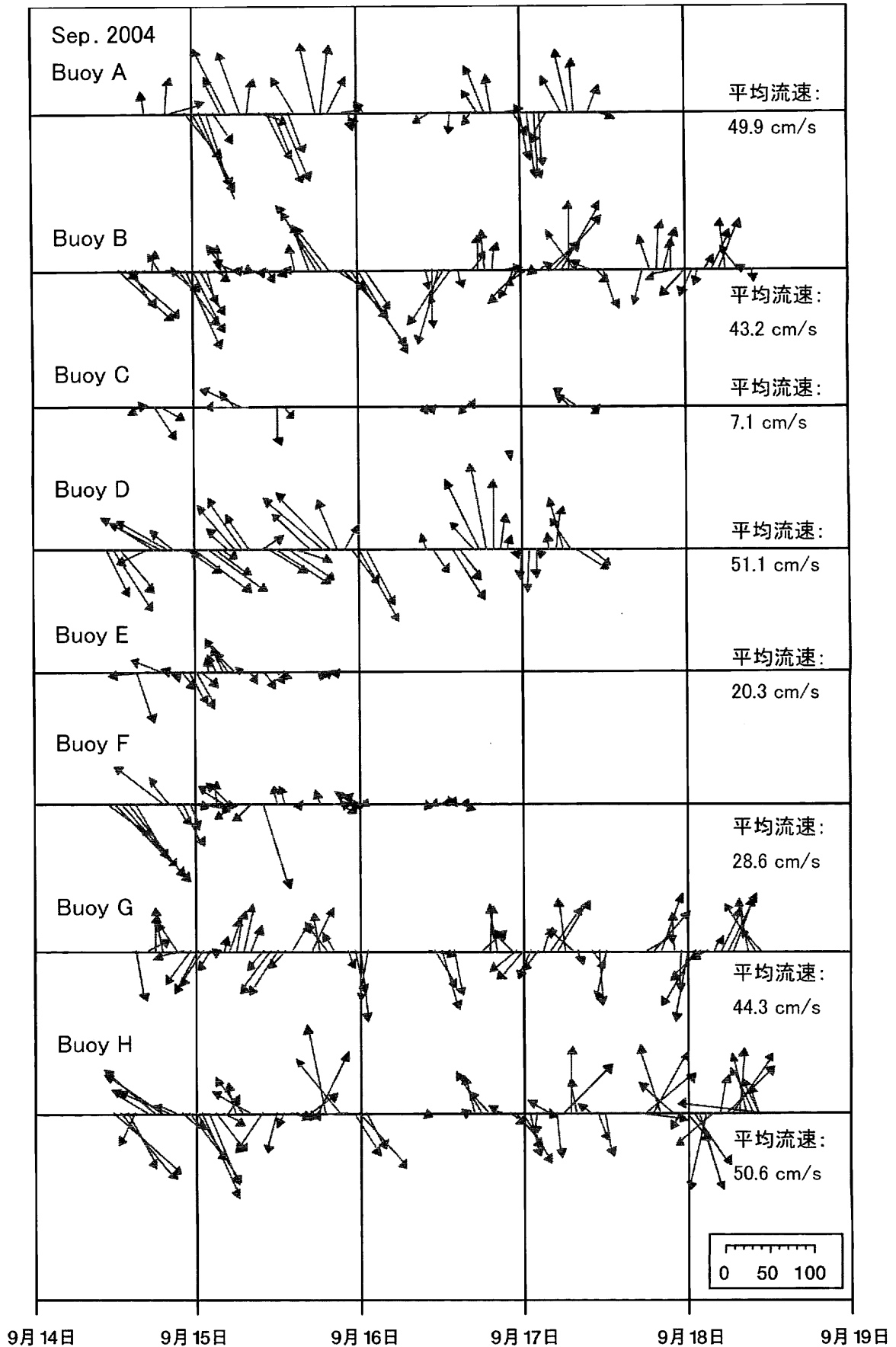


図18 各ブイの移動速度と方位 (2004年9月調査)

ベクトル成分は、各定時観測前後1時間の移動距離と方位から計算した。定時データが得られてない場合に前後のデータから内挿した値を含む。

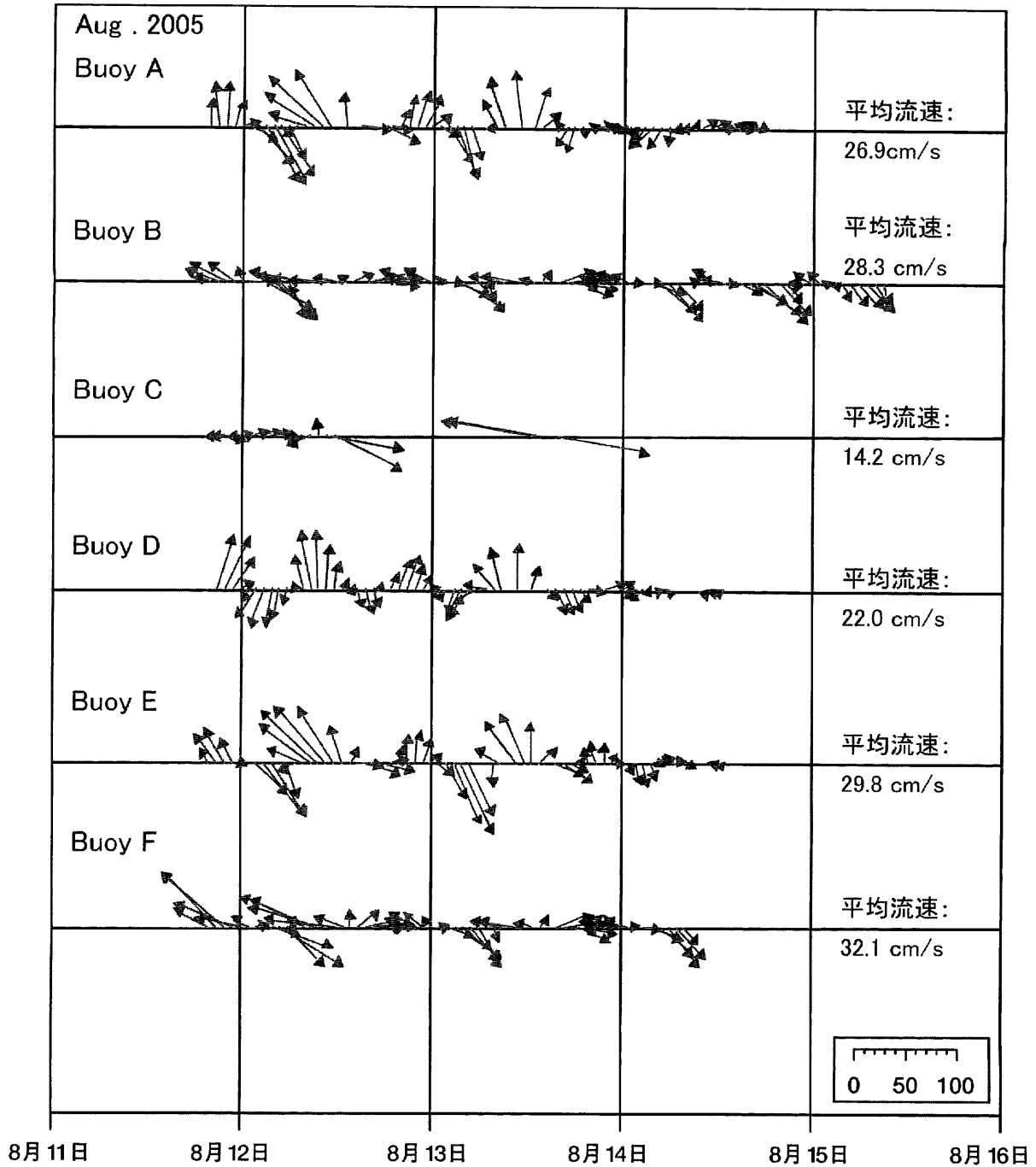


図19 各ブイの移動速度と方位 (2005年8月調査)

ベクトル成分は、各定時観測前後1時間の移動距離と方位から計算した。
定時データが得られてない場合に前後のデータから内挿した値を含む。

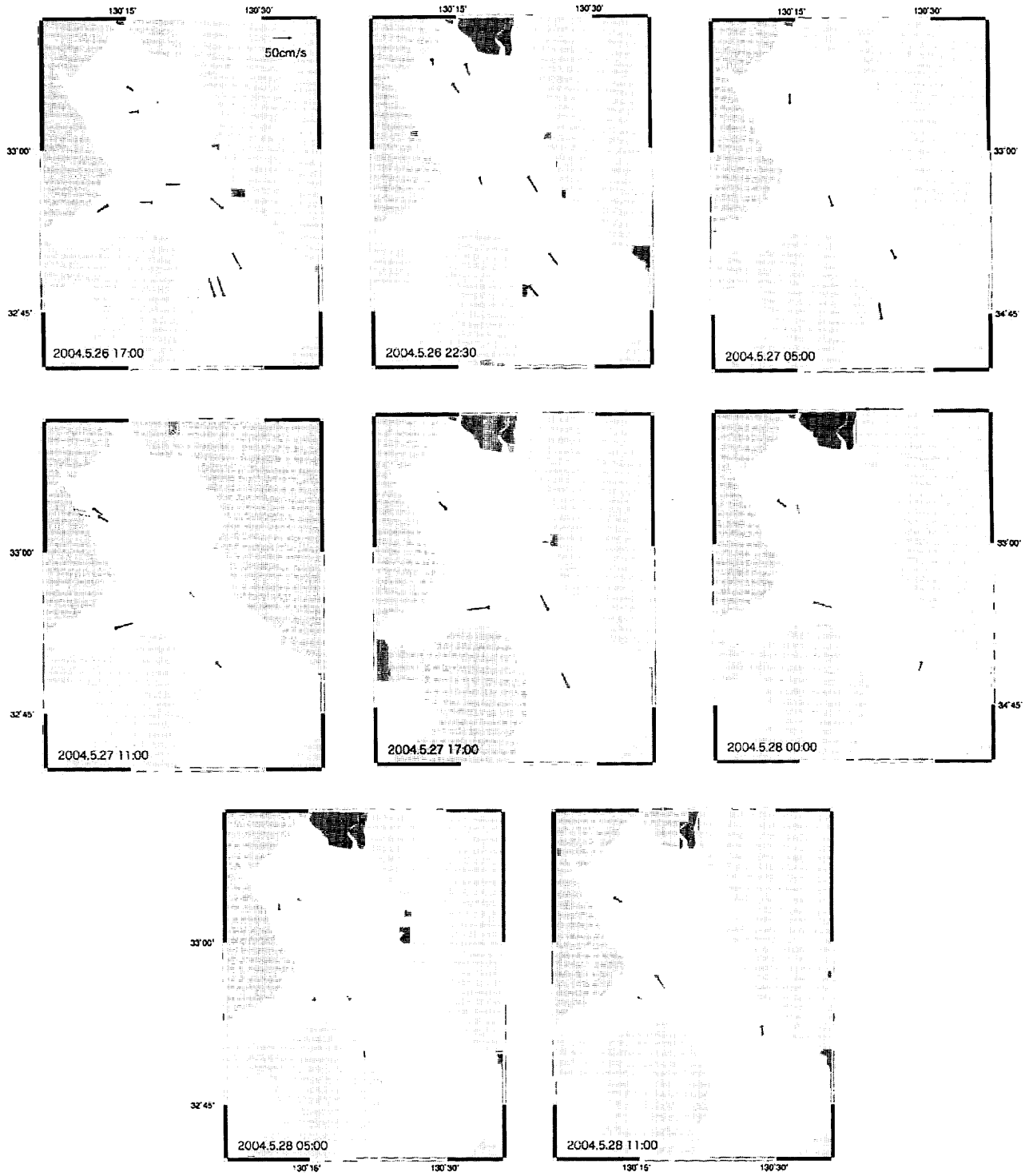


図20 流速の分布 (2004年5月調査)

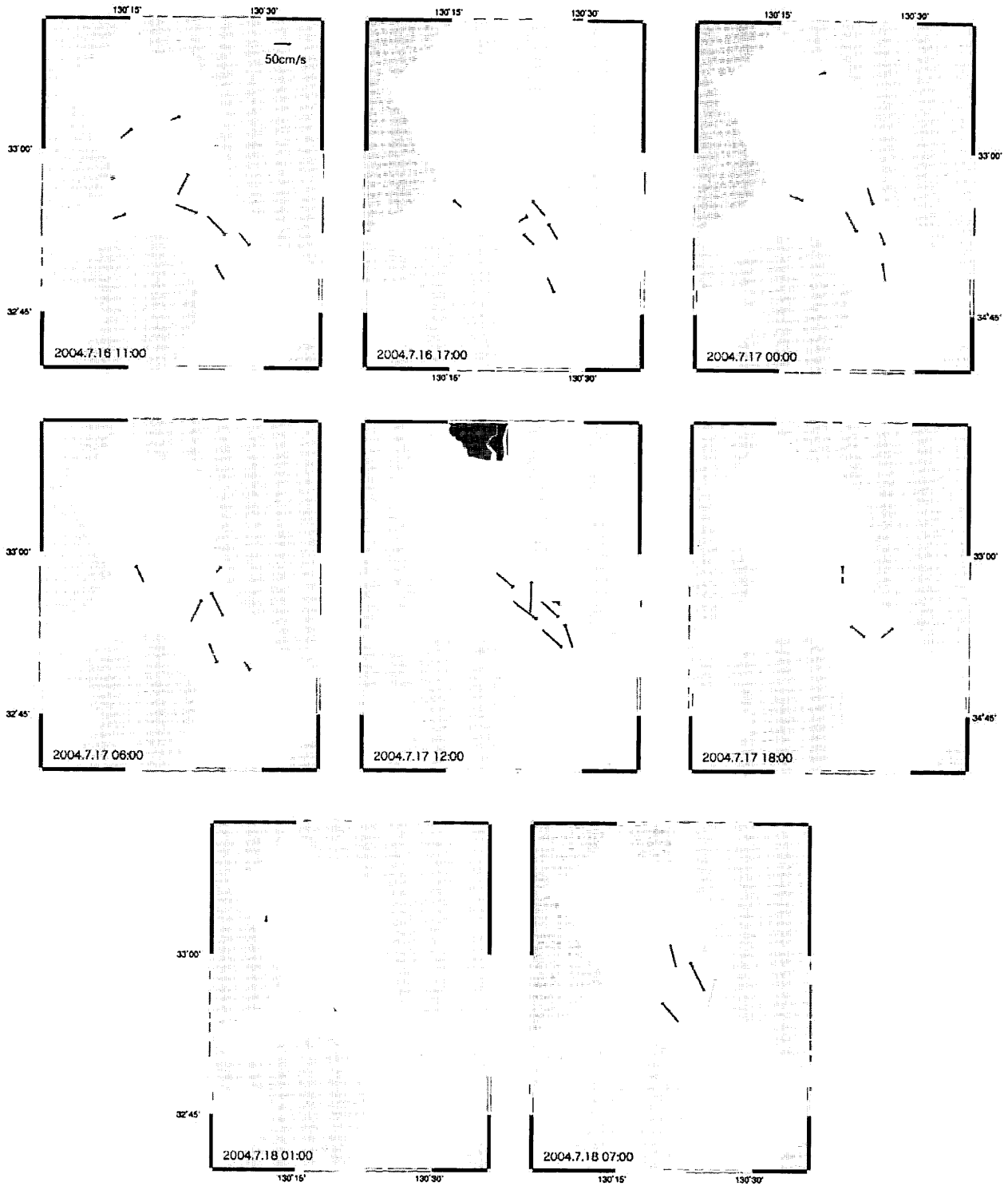


図21 流速の分布 (2004年7月調査)

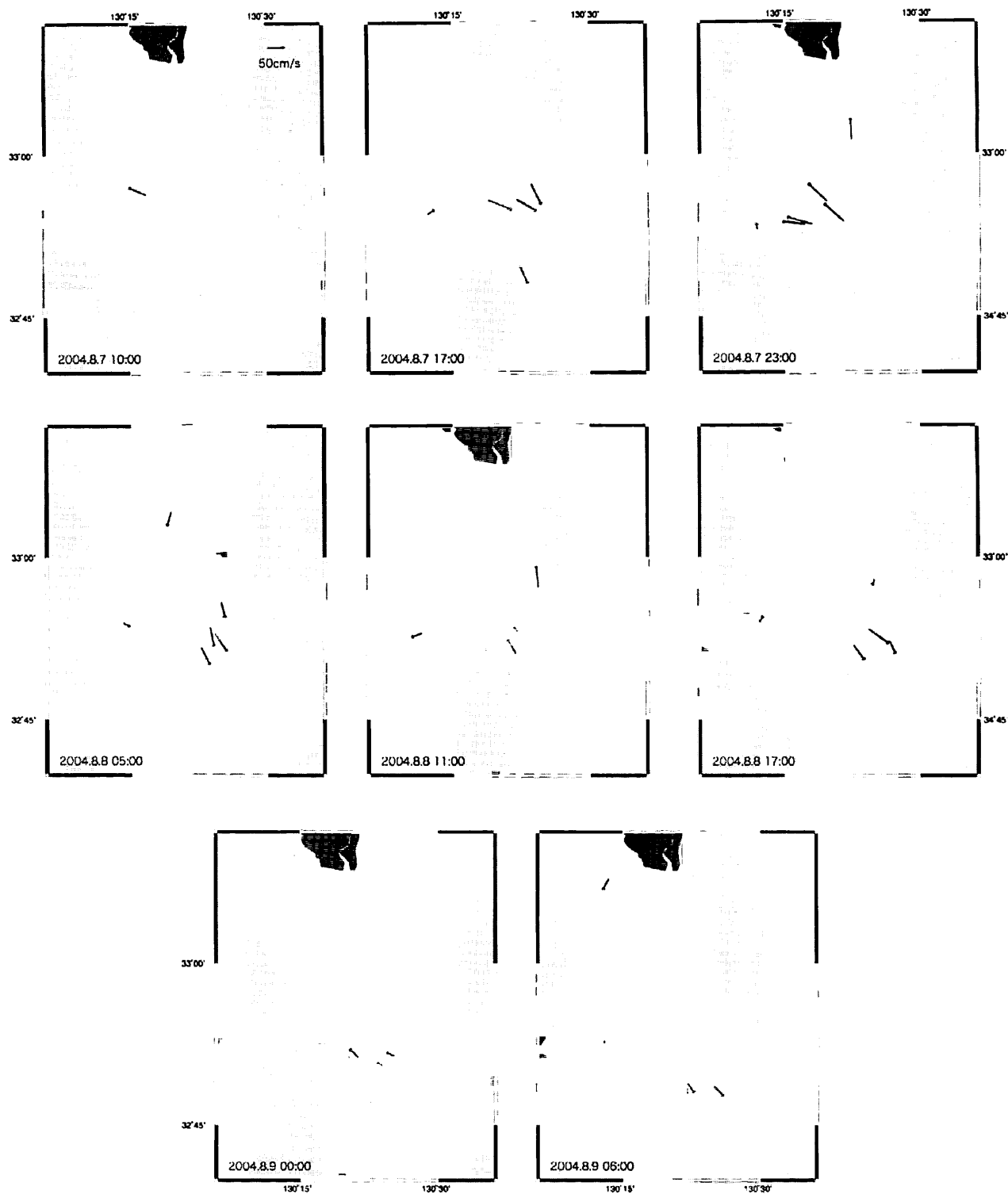


図22 流速の分布 (2004年8月調査)

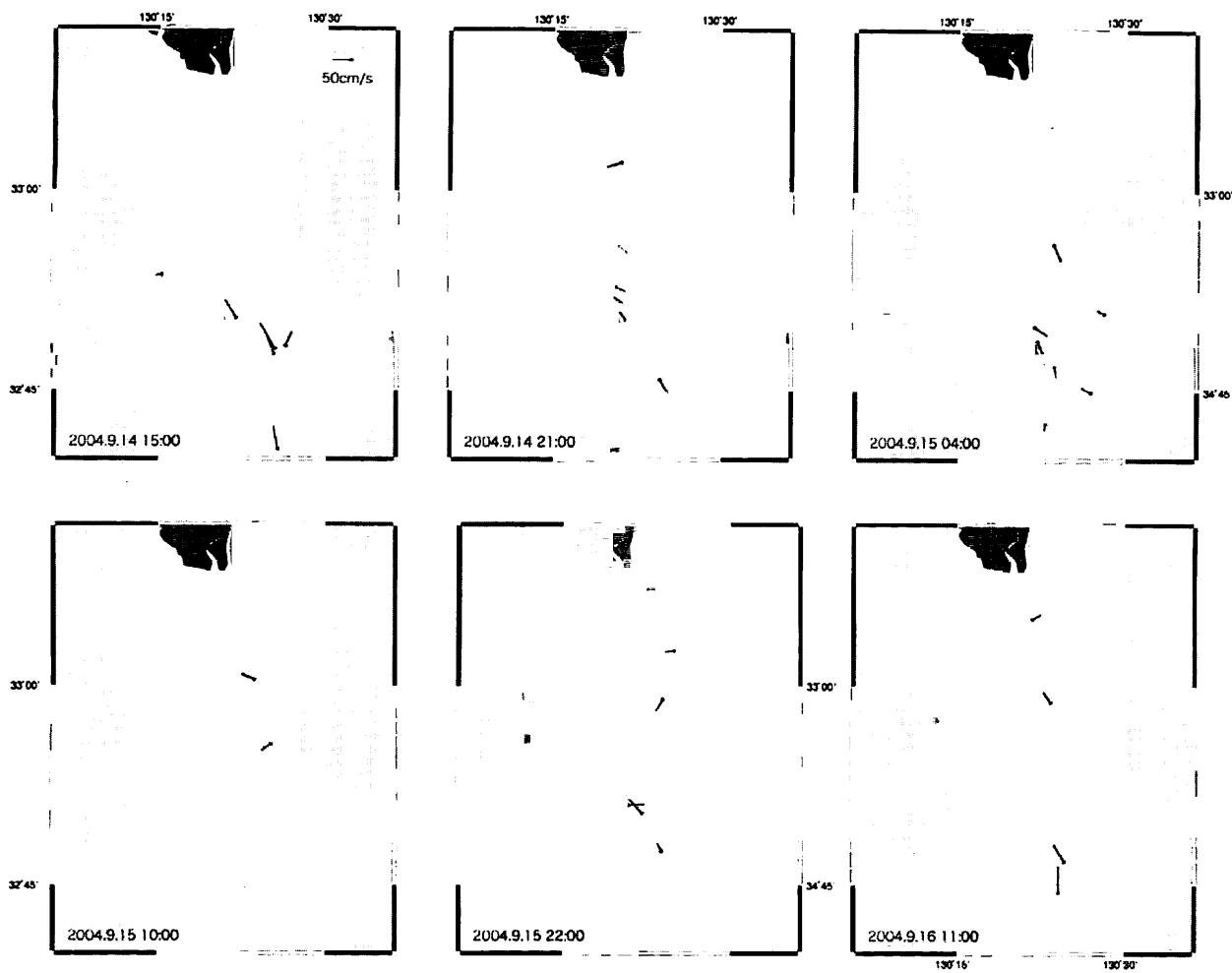


図23 流速の分布 (2004年9月調査)

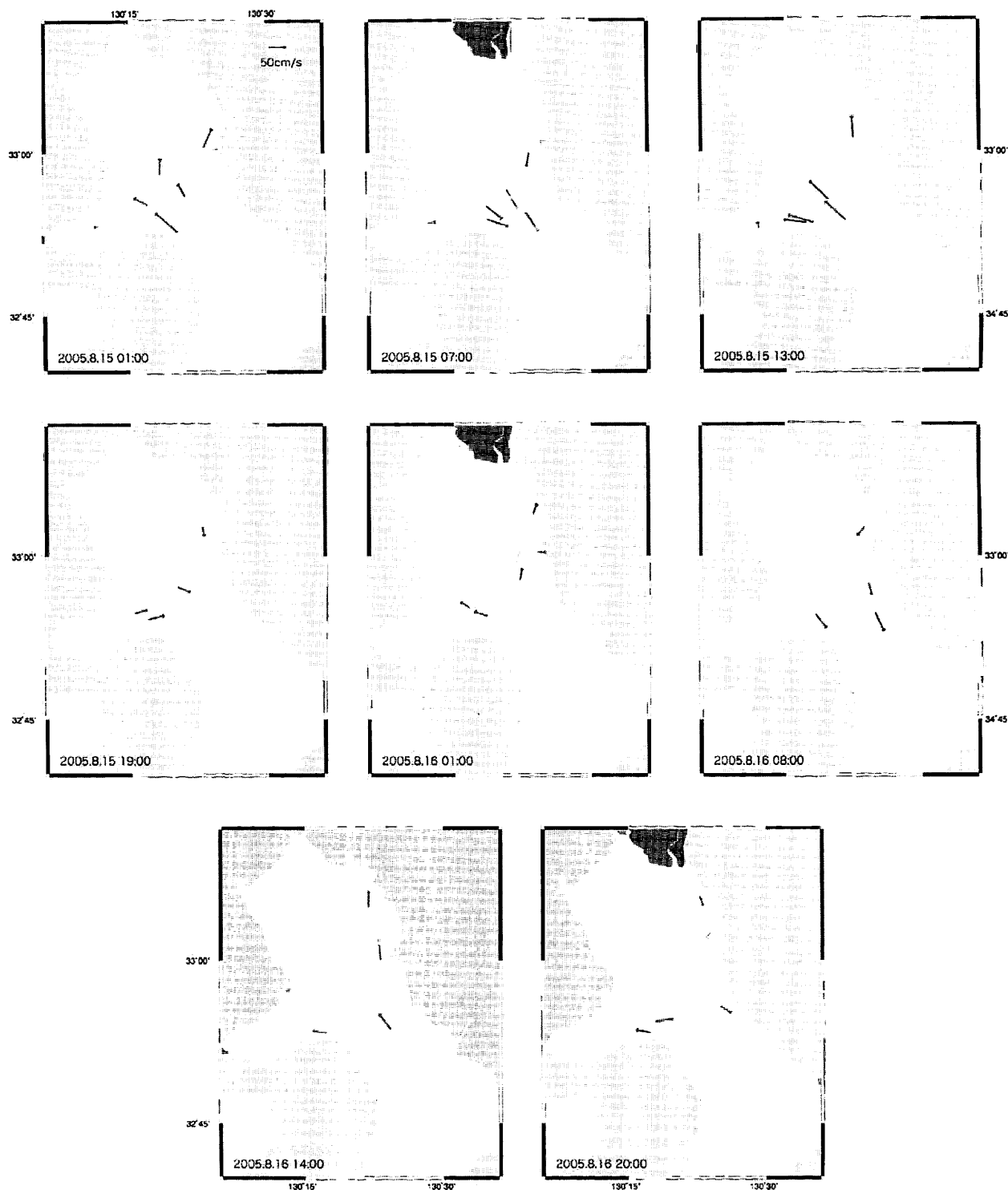


図24 流速の分布 (2005年8月調査)

考 察

本調査におけるデータに対しては今後風速計と流速計を併用したキャリブレーションを行う必要がある。また、添付した潮汐と風向風速グラフは必ずしも漂流しているブイ近傍のものとはいえず、あくまで参考資料である。更に、筑後川の流量や諫早湾の水門の流量なども参考にした解析を行う必用もあるだろう。しかし、ここではあくまで現時点でデータから読み取れる結果についてのみ考察する。なお、岱明町の風データによると、5月と7月は南よりの、8月には東西方向の風の影響を受けていることが推察される。しかし、いずれも平均風速は2.5m未満であった。したがって、ここでは風の影響を除外して考察する。

湾 奥 部

大浦-三池ラインより北には5月では、従来いわれてきた「反時計回りの恒常流」を示す動きが認められた。しかし、諫早湾口北部から佐賀方面にかけてより沿岸に近い部分ではこれに反して北上する流れが生じることもある(図5G)。この海域はDoCoMo, auともに携帯電話網が弱く、データが不連続になりやすい。携帯電波網が弱い場所ではDoCoMoのポジシーク・システムはDoPaシステムに切り替わるが、精度が落ちるのでここでは欠測扱とし、点線で表記している。しかし、途中の欠測が

あったとしても、北部海域に投入したブイが大浦-三池ラインを越えて南下した事例が一度も認められなかった事は重要な事実である。漂着しない場合でも、複雑に向きを変えながらも北部中央付近から外れることができないでいる。欠測が多くて図示しなかったものも含め、毎回3台のブイは湾奥部に投入してきたが、全て湾奥部で回収され、大浦以南に南下して回収された例はなかった。

筑後川から供給された、栄養塩に富んだ河川水が成層を形成し、鉛直混合しないまま表層をこのように循環するとしたら、赤潮の大規模化につながる事は推測出来るし、事実として諫早湾口北部の赤潮は大規模化、恒常化している。なお、全ての調査期間を通じ、規模の大小はあれど、湾奥部は成層状態となっており(図16)、湾奥部の表層水が滞留している事がブイの動きに表れていると考えられる。

諫 早 湾 内

2004年5月26日に諫早湾水門前に投入されたブイCは翌日諫早湾南岸に漂着した(図5)。また、同年8月7日に諫早湾中央部に投入されたブイFは湾内を巡回したのち3日後に水門中央部付近に接岸した(図7)。さらに、同年9月14日と2005年8月11日に同位置に投入されたブイCもほどなく瑞穂海岸付近に漂着した。しかし、7月16日8時に諫早湾中央部に配置したブイCは湾外に出て有明海を横断し、2日後には対岸の荒尾-三池方面に到達した(図6)。同期間、湾口沖に投入されたG, Hも東に到達して

表4 潮受堤防排水門日別排水量(単位:千m³)

年 月 日	北部排水門	南部排水門	年 月 日	北部排水門	南部排水門
2004.5.26			2004.9.14		1,900
2004.5.27			2004.9.15		1,900
2004.5.28			2004.9.16		2,100
2004.5.29			2004.9.17		2,500
2004.5.30		300	2004.9.18		2,700
2004.7.16		1,900	2005.8.11		
2004.7.17		1,900	2005.8.12		
2004.7.18		1,800	2005.8.13		
2004.7.19		1,800	2005.8.14		
2004.7.20			2005.8.15		
2004.8.7					
2004.8.8					
2004.8.9					
2004.8.10					
2004.8.11					

おり、有明海を西から東に横断する表層の物質輸送が実在することが示された。なお、7月16、17日には南部排水門から1,900,000m³/日、18、19日には1,800,000m³/日、総計7,400,000m³/日の排水が行われていた(表4)。ブイCを配置した午前8時はほぼ満潮時刻で、それからの下げ潮時刻に排水されたと考えられることから、ブイCの動きは「調整池の排水が荒尾沖を直撃する」という漁業者の見解と完全に一致する。この「横渡り」は、今回はブイの形状が異なるため記載しなかった2003年8月の予備実験の際にも確認されており、この時の排水量は南部排水門から500,000m³/日であった。

しかし、2004年9月の調査期間には7月と同等もしくはそれ以上の排水が行われているにもかかわらず、中央部に投入されたブイCに影響は見られず、2005年8月の調査においては、排水量が0にもかかわらず、2004年と同様に西から東へ向かう「横渡り」が発生している。したがって、現時点でこの「横渡り」を潮受堤防からの排水と直接結びつける事はできないと思われる。しかし、たとえ恒常的でなくとも、少なくともこの様な表層流がしばしば実在する事は間違いない。これは荒尾方面の漁業被害を考える上で注目すべき問題と考えられる。HFレーダーは現時点では諫早湾をカバーしていないが、近い将来は諫早湾を含めた連続データが提供されるものと期待している。その際には排水量と照らし合わせた流動の解析が必用と考えられる。

諫早湾口部

諫早湾口付近に配置されたブイは徐々に西岸を南下してゆくと予想されたが、はっきりした南下傾向を示した事例は少なく、調査期間内に天草方面に到達して携帯電話圏外に流出する危惧は一度も発生しなかった。有明海中央部より東側には北上する残差流が恒常的に存在し、諫早湾口のブイがどの流れに捉えられるかによってその後の経路が大きく影響される。その分岐点の位置が水門の開閉によって変化している可能性があり、湾口部の潮流はさらに詳細な分析が必要である。島原沖でクルマエビ漁をしているある漁業者は、本来諫早湾口から島原沖では下げ潮後半に北部からの流れと諫早湾奥部からの流れ、それに一足早く始まった深部の上げ潮がぶつかり合い、複雑な混合域が形成されると述べている。ところが、諫早湾からくる水平の流れが弱まった結果、混合域の場所と大きさに変化が生じ、ひいては底質も変化してクルマエビが採れなくなったとの事である。これらは体験に基づく推測であるが、検討する必要があると思われる。

東 部

東部には、従来言われているように基本的に北上する流れが認められた。しかし、殆どの場合三池港より南に漂着した。東部沿岸に沿って北上する流れにとって三池港の突出は障害になっている可能性がある。唯一、三池港の突堤をかわして北部海域に進入したのは5月のブイBであった(図5)。このブイが東に到達するにあたって、一旦小長井沖を通過し、東に向かう流れに運ばれる途中で北上している事がわかる。

漂流ブイによって得られる流速データは一定時間の平均流速となる上、観測点が刻々変化するため、他の定点観測データと直接比較するにはクリアすべき問題があるが、ある程度の個数を使用すれば残差流だけでなく全体の流れを連続的に把握するにも有効である(図18-21)。これをみると、少なくとも上げ潮と下げ潮の最中では全体の流向は単純に同調しているかに見える。しかし、流速の差や場所による潮汐反転時刻の差が結果的に軌跡や残差流に複雑な違いを残している。これらの生じる過程を全時刻のベクトル図によるアニメーションで再現し、Web上に公開した⁴。

[海洋構造と表層水の滞留状況]

漂流ブイ調査と同時にしくは近い時期に、熊本県立大学環境共生学部海洋生態学研究室による広域定点観測が行われた。この結果を図25、26に示す。2004年5月は強度の成層構造が有明海・島原湾全域を覆い、全てのブイは成層域内に投入された(図25A)。7月は5月に比べ弱いものの、成層化ははっきりしており、南の3台は成層域の境界付近に、それ以外はすべて成層域内に投入した(図25B)。8月は定点調査が行われていないので、7月28日のデータを示す。やはり成層しているが、7月15日と比べると、30psuのラインが上がり、強い成層域は湾奥部側(図の左側)に縮小している(図25C)。9月も成層しているものの、その規模は縮小しており、湾奥部以南に投入されたブイは成層域の外側に投入されたことになる(図25D)。2005年夏は7月16日観測データしかないため、ブイ調査との間には3週間以上経過している。7月16日は有明海から島原湾にかけて強い成層が形成されている(図26A)。その後、7月30日から8月1日にかけて、寒冷前線の影響で160mm程度の雨を記録し、その後は調査期間

⁴ <http://homepage.mac.com/chatran/ARIAKEKAI/>
(Password: ariake06)

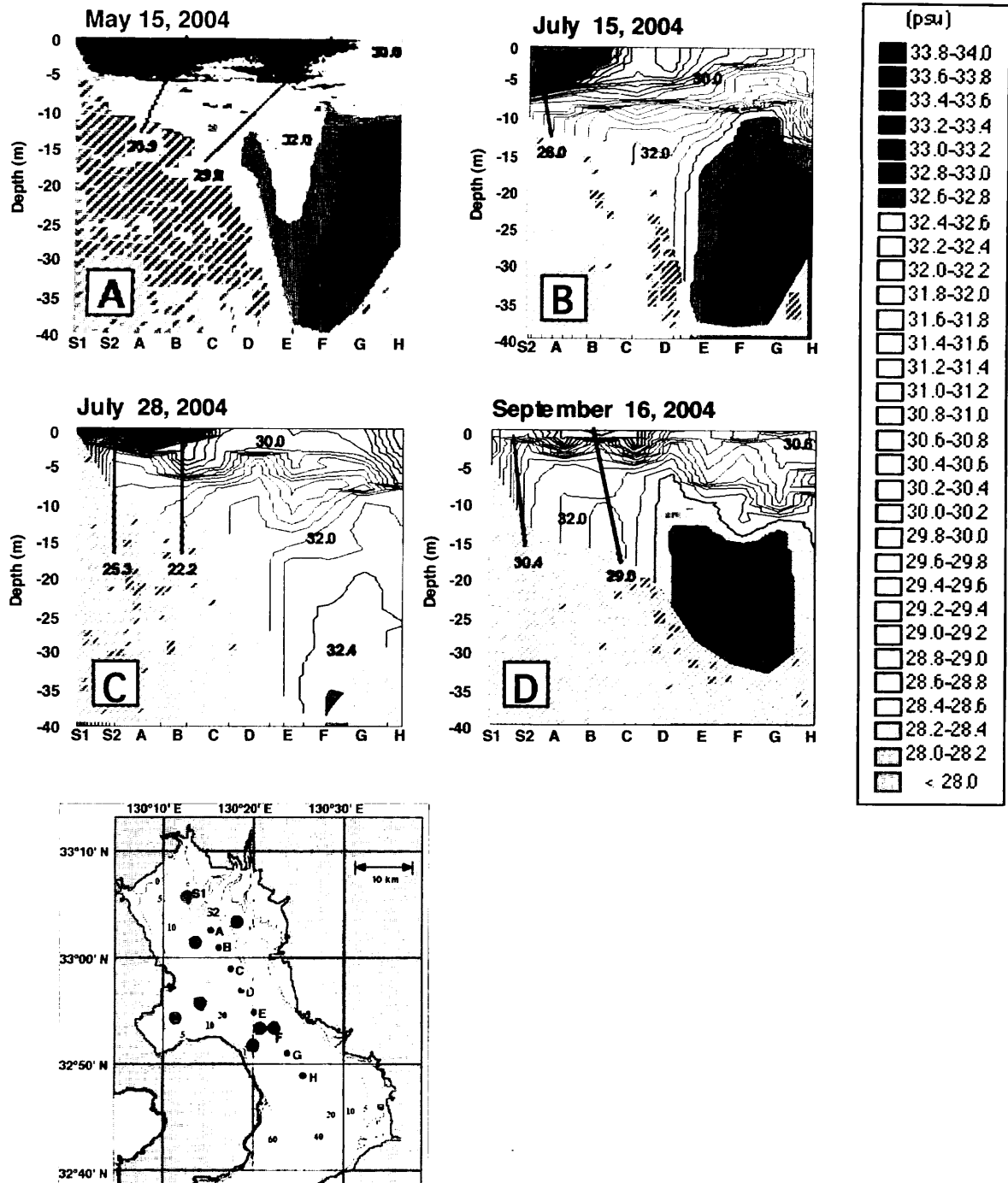


図25 2004年調査日前後の塩分分布

A-Dは熊本県立大学海洋生態学研究所の観測定点（地図）に沿った縦断面を示す。
地図中の●はブイ投入定点。

まで穏やかな夏日が続いている。この状況を考えると、基本的に成層構造が大きく縮小していたとは考え難く、2005年8月に投入されたブイも成層域内であったと推察される。

そこで、この2つのケースを比較してみると、成層が全域に拡大していた2004年5月と7月および2005年8月には、島原沖を南に向かう残差流がはっ

きしりない。つまり、諫早湾口南部や島原沖に投入されたブイも一時南下してもすぐに戻されるか、東に寄って北上する傾向を示した（図5、6、9）。一方、8月と9月は、成層域内に投入されたブイは同様に湾奥部に留まったままであったが、成層域外に投入されたブイには西側を南下する傾向が認められた（図7、8）。流速ベクトルは成層の如何にか

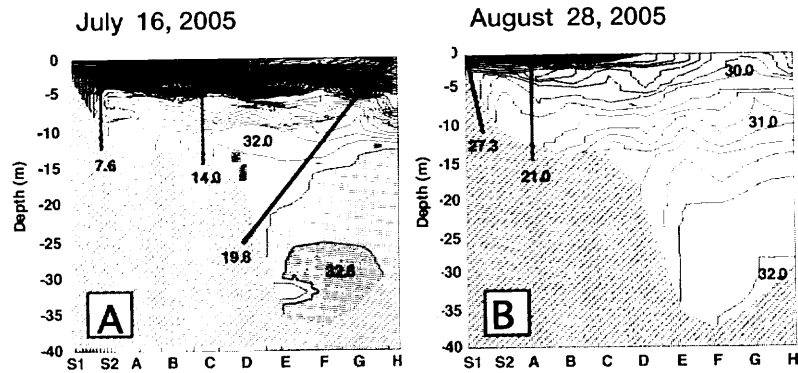


図26 2005年調査日前後の塩分分布

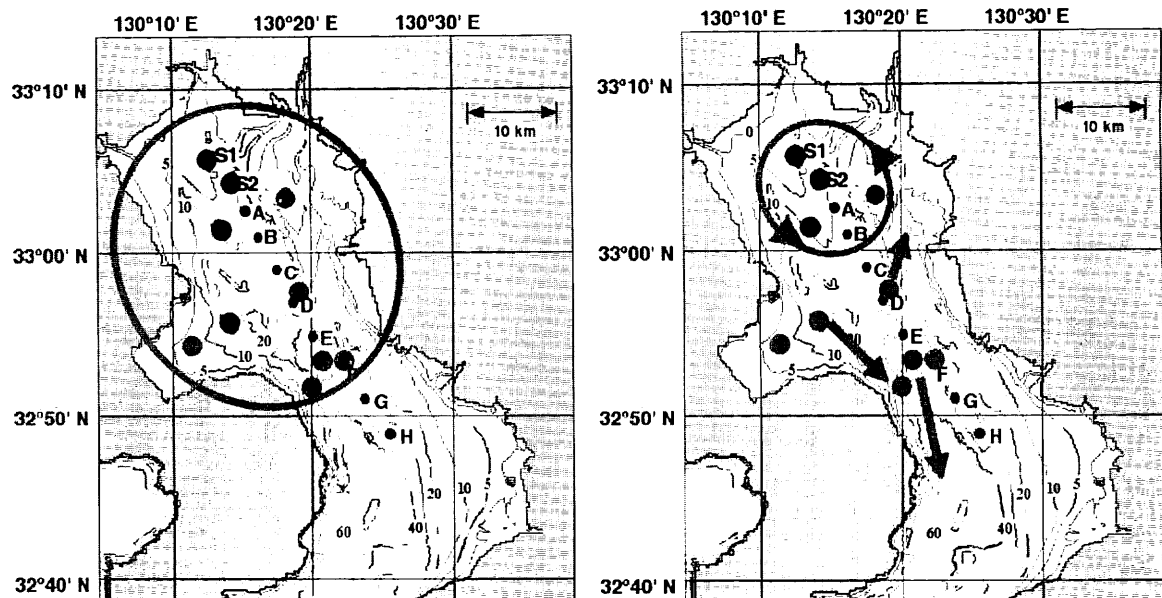


図27 成層域とブイの南下傾向の関係を示す模式図

左：成層域（円）が拡大している場合、成層域内に投入されたブイは成層域内に留まる。
 右：成層域が縮小した場合、成層域外のブイは島原半島沿いに南下傾向を示す。

かわらず同調した流れを示すため、この違いは残差流を見ることで初めてわかる。この違いを図27に模式的に示した。成層域が拡大している場合（左）、投入されたブイ（●）は成層域内から外れない。成層域が縮小している場合（右）、成層域内のブイは湾奥を循環しているが、成層域外のブイで西側に位置するものは南下傾向を示す。このように、成層域の表層水は外洋に出て行くことなく、鉛直混合によって成層構造が崩れるまで表層を循環し続けることになる。低塩分富栄養の表層水では赤潮が発生するが、このような状態では発生した赤潮は拡散することなく日照と栄養塩が続く限り大規模化してゆく事になる。堤ほか（2004）は、赤潮規模指標（最大

面積 x 継続日数）が1998年以降大規模化している事を明らかにした。堤らは継続的な定点調査によって、塩分成層と栄養塩量、赤潮の規模を示すクロフィル量の変動を追跡しており、1997年の潮受け堤防閉鎖以降、湾奥部の海水が滞留するようになった事が大規模化につながっている可能性を指摘している。今回の調査結果は、成層域の表層水が成層域内を循環し続けている事を示しており、堤らの推察を裏付けている。しかし、この結果は成層が強化されるとエスチュアリー循環が促進され、海水交換率が高まるという沿岸海洋学の原則に反するよう見える。これは、沿岸海域の残差流の主成分のうち、密度流以外の潮汐残差流と吹送流の効果が卓越している事

を示唆している。特に、宇野木 (2002a, 2002b) は、諫早湾潮受け堤防の締め切りによって有明海の海水振動の固有周期が小さくなり、外海から入射する潮汐波周期と有明海の固有周期との違いが大きくなって共振作用が弱まり、潮汐が減少したと指摘している。実際、大潮下げ潮時、水深 2 m の最大流速は潮受け堤防の前面で 80-90%、諫早湾口付近でも 10-30% 減少している (水産庁増殖推進部 2001a, 2001b)。さらに、最新の報道によると、島原市沖の水深 5 m の流速が最大 21.9% 減少していたデータが公表された (西ノ首・小松、環境省の有明海・八代海総合調査評価委員会、1 月 10 日付新聞記事)。特に下げ潮時の流速の減少は、残差流の主成分の一つである潮汐残差流の減少につながると思われる。

一方、国土交通省が 2005 年度試験運用した HF レーダーについて、ホームページで公開された流速図に漂流ブイで得られた 2005 年 8 月の流速ベクトル図 (図 24) を重ねると、見事に一致した。したがって、HF レーダーが試験運用時より広いエリアをカバーできるのであれば、漂流ブイ以上に有効な手段となる。漂流ブイとは逆に、HF レーダー情報からラグランジアンな軌跡を描画すれば残差流を得ることも出来るが、25 時間移動平均画面も公開されているため、こちらを参照してもよい。排水や赤潮の拡散追跡の参考になるかもしれない。

湾奥部の海水滞留を示唆する一つの事例として、2004 年調査の際に遭遇した、赤潮の残骸と思われる写真を紹介する。図 28-I ページ、図 28A は 2004 年 9 月 17 日に撮影された佐賀県大浦港の海面である。色彩は赤茶色で、周辺との境界は赤潮というより廃油か染料が流出したような印象で、沖合約 2 km まで広がっていた。図 28-I ページ、図 28B は汲み上げた海水の顕微鏡写真で、焦点が不明瞭なのは失敗ではなく、崩壊中の細胞塊で形態が不明瞭なためである。この海水中には他の動植物プランクトンが一切認められなかった。8 月調査時点で、同海域に赤潮が発生していた赤潮を検鏡すると *Chattonella marina* が確認されており、その時も海水中に他の動植物プランクトンは見あたらなかった。地元漁業者の話では、赤潮状態は長期にわたって継続していたとの事である。崩壊した細胞塊が *C. marina* のものか、あるいは、他の従属栄養の鞭毛藻などに移行した後のものかは不明であるが、いずれにせよ赤潮の死骸がそのまま大浦港周辺に滞留していたと判断される。通常の植物プランクトンであれば、そのまま動物プランクトンに捕食され、食物連鎖網へ取り込まれてゆくが、シャットネラのような有毒赤潮プランクトンの場合、発生時の環境自体が低塩分で特

殊である上に有毒でもあり、これを餌とする動物プランクトンもないまま、鉛直混合も湾外への拡散もなく、バクテリアに分解されているところだったのでないだろうか。この海水をポリ瓶に入れて室温で保管していたところ、数日後に粘液状の塊が生じ、約一ヶ月後に分解して泥状の沈殿物となった。この粘液質がバクテリアによるものか、細胞塊内部から出たものか未確認であるが、近年有明海に出現している「謎の浮遊物質」と言われている物体に形状が酷似していた。詳細な分析を行う機会を失ってしまい、果たしてこれが「謎の浮遊物質」の正体であるかどうかは不明であるが、1997 年以前には見られなかった現象であり、有明海の生態系がそれ以前と異なる状態へのシフトした事を示す事例の一つと言えるだろう。

有明海に現れている様々な負の減少に共通する要因は、前述した流速低下による海水の滞留であると考えるのが最も自然である。そのうち、赤潮に最も関連が深い表層流の滞留は今回の調査で明らかになった。堤ほか (2003, 2004) が示すように、湾奥部の表層水滞留が赤潮大規模化につながっている事が改めて確認されたと考えられる。この流速低下をもたらした要因が、諫早湾干拓事業を含む有明海内部にあるのかどうかについて、理論的には検討が加えられているが、実証的には開門調査を実施すれば確認できる問題である。これに対して、農水省の見解は、「諫早湾干拓事業の影響は諫早湾内に留まっている」と計算機シミュレーションを根拠に断定している。計算機シミュレーションは計算機そのものの高性能化と相まって発展し、複雑な現象の解明に有効な手段となりつつあるが、現時点では、境界領域の設定や初期条件設定如何で様々な着地点に到達する場合も多いと言われている。惑星探査機の遠隔操作や天体の運行といった、質点系の解析はコンピュータで殆ど完璧に計算できる一方、10 日後の天気予報が困難であるように、複雑系の解析は完成された技術ではない。有明海の観測データは 2000 年以降急激に増えたにも関わらず、過去の潮受け堤防が無かった時期のデータはきわめて不十分である。現在の比較的データが豊富な時期を計算機シミュレーションが再現出来る事が先決で、そうでなければ過去の再現はそれ以上に困難と考えるのが自然である。そもそも、計算機シミュレーションは、自然を再現するだけでなく、試算結果と現実の乖離から出発して問題点を探るツールとして重要な意味を持つ。そのため、シミュレーションはコンピュータの中で完結するのではなく、現場の調査と結びついてこそ問題解明の強力な武器となるはずである。

有明海異変のあと、様々な研究グループが立ち上がり、「再生」をうたった諸事業に多くの予算が交付されている。たしかに、人智を尽くしてこの一つの湾を再生出来ないのであれば、地球レベルの環境問題などに対処できる筈もないのであって、多様な角度から再生へ取り組むこと自体は重要な事である。しかし、中には効果が疑われる事業に大量の予算が投入されようとしている事例も見受けられる。「今は考えられる全ての事をする時」との意見もあるが、考えられる仕事の筆頭は開門調査であろう。人が病気になる時、近代の医師なら、検査無しに治療方針を決めたりはしない。潮流が遅くなっているという事は、人体に例えるなら、循環器不全であり、放置すれば様々な合併症を引き起こす可能性があつて、場合によっては集中治療室に入るべき重篤なものである。しかも、干潟の一部を失った事は血液の浄化を担う腎臓の一部を切り取られた事にも相当する。そのような患者に対して、しかるべき検査も行わず、あれこれ思いつきの治療を施すべきではあるまい。有明海異変に様々な視点があるにせよ、少なくとも潮流減少は観測事実であり、干拓事業との関連の有無に拘わらず、潮流回復を抜きにした有明海の再生はあり得ない。もし仮に、潮受け堤防が潮流減少と無関係で他に原因があるのなら、我々の視点を水門の呪縛から解き放し、「真の原因」に向かわせるためにも開門調査は必要なのである。

謝 辞

本調査は(財)自然保護助成基金の助成によって行われた。島原市の吉田訓啓氏、大浦の平方宣清氏、荒尾市の前田力氏他、有明海漁業者の方々には、不漁や海苔の色落ちによって極めて厳しい状況にある中で、何度も操業時間を割いて船を出していただいた。大鋸造船所の大鋸豊久氏にはドローグ制作や実際の調査に参加していただいた。有明海漁民市民ネットワークの羽生洋三氏には連絡調整でお世話になった。また、本調査に先立ち、万田敦昌熊本県立大学助手(現長崎大学水産学部)、株式会社みなまた環境テクノセンターの協力によって技術開発を含む予備調査が行われてきたが、この時の具体的経験がなければ本調査を終える事は出来なかった。ブイの開発にあたっては株式会社ゼニライトブイに、ネットワーク環境の開発には(有)コピスの測上武博氏に協力いただいた。三池海上保安部警備救難課には安全対策についてご指導をいただいた。改めて感謝の意を捧げたい。

引用文献

- 宇野木早苗 2002a. 諫早湾干拓事業は有明海の環境をいかに変えたか—潮汐・潮流を中心に—。干潟を守る日2002 in 諫早&東京シンポ資料集 いさはや干潟ネット, 14-21.
- 宇野木早苗 2002b. 有明海における潮汐と流れの変化—諫早湾干拓事業の影響を中心に—。海と空, 78: 19-30.
- 工藤君明, 寺尾 裕, 中村 裕 1992. GPS精密測位システムによる海水流動の調査研究. 海洋調査技術, 3(1): 21-31.
- 佐藤正典・田北 徹 2000. 有明海の生物相と環境. p.10-31. 佐藤正典編 有明海の生きものたち, 海遊舎.
- 水産総合研究センター西海区水産研究所 2001. 有明海奥部の流れに変化? 有明海調査ニュースNo.2.
- 水産庁増殖推進部 2001a. 環境影響評価の予測結果. イ. 潮流調和分解結果に基づく平均大潮時における流況再現結果. P.317-318. 平成13年度農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査委員会資料集(1), 水産省増殖推進部.
- 水産庁増殖推進部 2001b. 潮流調査結果. P.531-532. 平成13年度農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査委員会資料集(2), 水産省増殖推進部.
- 第九管区海上保安本部 2001. 平成14年度 衛星通信型漂流ブイによる漂流実験報告書.
- 第九管区海上保安本部 2004. 平成16年度 荒川河口域における衛星通信型漂流ブイによる漂流実験報告書.
- 堤 裕昭・岡村絵美子・小川満代・高橋 徹・山口一岩・門谷 茂・小橋乃子・安達貴浩・小松利光 2003. 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係. 海の研究, 12: 291-305.
- 堤 裕昭・木村千寿子・永田沙矢香・佃 政則・山口一岩・高橋 徹・門谷 茂 2004. 広域定期観測による有明海水環境の現状. 沿岸海洋研究, 42(1): 35-42.
- 灘岡和夫・二瓶泰雄・花田 岳・藤井智史・佐藤健治・池間健晴・鹿熊信一郎・岩尾研二・若木研水 2001. HFレーダ・漂流ブイ観測と数値シミュレーションによるサンゴ幼生の広域輸送解析. 海岸工学論文集, 48: 431-435.
- 灘岡和夫・波利井佐紀・三井 順・田村 仁・花田 岳・Enrico Paringit・二瓶泰雄・藤井智史・佐藤健治・松岡建志・鹿熊信一郎・池間健晴・若尾研二・高橋孝昭 2002. 小型漂流ブイ観測および幼生定着実験によるリーフ間広域サンゴ幼生供給過程の解明. 海岸

- 工学論文集, 49: 366-370.
- Manda, A., T. Takahashi, S. Komori, Y. Kozuka & S. Nishimura 2002. Validation of New Type of Lagrangian Drifter Using a GPS Cellular Phone. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 12 (3): 213-216.
- 柳 哲雄 1994. 沿岸海洋学, 恒星社厚生閣.