

ADCP観測データに基づく熊野灘の流況と黒潮流路

久野 正博

Relationship between Surface Current Patterns in the Kumano-nada
Based on ADCP Data and the Kuroshio Paths

Masahiro KUNO

三重県科学技術振興センター
水 産 研 究 部

第 15 号

平成 19 年 12 月

別 冊

ADCP観測データに基づく熊野灘の流況と黒潮流路

久野 正博

Relationship between Surface Current Patterns in the Kumano-nada Based on ADCP Data and the Kuroshio Paths

Masahiro KUNO

キーワード：ADCP, 黒潮流路, 熊野灘, 流況

熊野灘の海況は、黒潮が直進流路をとるか、大蛇行流路をとるかによって大きく変化することが知られている(例えば、藤本・友定 1980)。黒潮流路と熊野灘沿岸の水温との関係については、黒潮大蛇行期に高水温傾向になりやすいこと(伊藤 1979,1984)、熊野灘沿岸の潮位変動は黒潮流路の影響を受けて水温変動と連動していること(藤田 2001, 久野・藤田 2003)などが報告され、黒潮流路と熊野灘沿岸の海況変動は密接な関係があることが明らかにされている。

また、熊野灘の流況についてはこれまでにGEM (Geomagnetic ElectroKinetograph; 電磁流速計)による広域の流速データを黒潮流路タイプ別に解析した結果(小林ほか 1984,1986)が報告されている。黒潮流路の変動によって熊野灘の流況は大きな影響を受けること、季節風の影響はみられないこと等が明らかにされたが、この報告では15メッシュのデータを長期間の平均値として用いているため、流れの詳細については議論されていない。紀伊半島最南端の潮岬西岸では「振り分け潮」と呼ばれる流れについてADCP (Acoustic Doppler Current Profiler; 超音波ドップラー流速計)を用いた詳細な観測結果が報告されている(Takeuchi et al. 1998, 竹内 2005)が、熊野灘海域の詳細な流況観測の結果をとりまとめた報告はこれまでにない。

三重県科学技術振興センターでは、2002年3月から新調査船「あさま」による観測を開始した。新調査船の特徴は、巡航速度20ノットの高速で短時間に広範囲の観測が可能になったことである(藤田ほか 2004)。ADCPは高速での観測には不向きとされてきたが、「あさま」では各種の対策によって高精度の流向流速データを得るこ

とに成功した。ここでは、2002年11月から2006年3月に「あさま」によるADCP観測によって得られた熊野灘海域の流向流速データをとりまとめ、熊野灘の流況と黒潮流路との関係について検討したので報告する。

なお、本調査は「海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業」および「IT活用型海洋調査事業」の一環として行われた。

方 法

調査船「あさま」(79トン)搭載のADCP (RD社製300 kHz)を用いて、熊野灘沿岸定線観測時に航走中連続して多層の流向流速観測を行った。高速航行中においても高精度の流向流速データを得るために、ADCPを船底ドームに納めることで泡切れの防止を図った(図1)。系統誤差対策としては、サテライトコンパス(GPS方位センサー; FURUNO製)をヘディング信号に採用することによって、航海ごとのジャイロ合わせ誤差が発生しないようにした。観測時の設定は、観測開始当初はブランク3m、層圧4mとしたが、第1層の値が不安定になりやすいことなど改良の余地があった。そのため、ブランクおよび層圧の設定を試行錯誤して、2002年11月以降はブランク5m、層圧5m、層数は20層(第1層が10m、以下15m・20m・25m・・・第20層が105m)とした。記録したデータは、エスイーエイ社製プログラムADCP Calibで補正処理後、同社製の表示ソフトTrack Viewを用いて流向流速ベクトル図を作成した。

熊野灘沿岸定線観測における定点位置を海底地形と合わせて図2に示した。図中の黒丸が観測定点、等深線は1,000m毎に実線、500m毎に破線で示した。本研究では、



図1. 調査船「あさま」の船底ドームとADCPセンサー
 写真の上が船首側方向，下が船尾方向。ADCPは中央下のカバーが外してあるセンサー。

紀北町より北の海域を熊野灘北部，紀北町以南で熊野市より北の海域を熊野灘中部，熊野市以南の海域を熊野灘南部として区分した。沿岸定線観測は毎月上旬に図2に示す定点を2日間で観測することを基本としたが，天候等の都合により観測コースの変更や観測範囲を縮小することもあった。2003年3月は臨時拡大観測として，通常の最南端Stn.30 (33° 00' N) より南に20マイル (32°

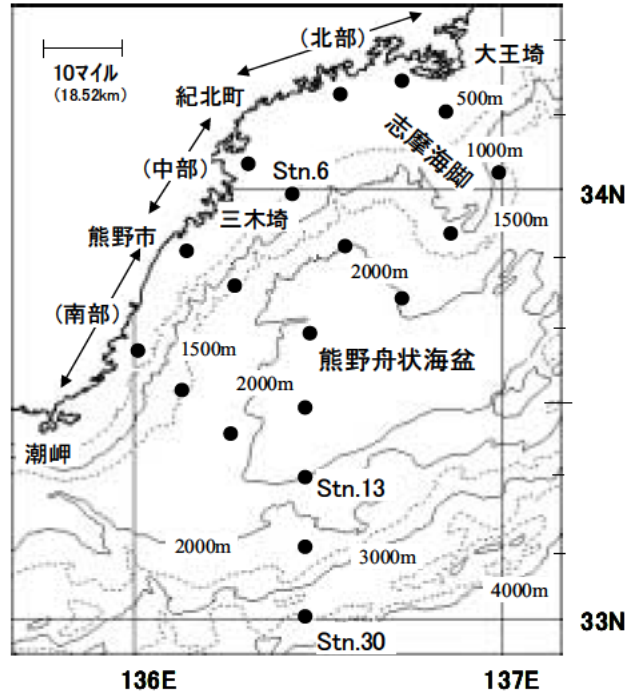


図2. 調査海域の海底地形と観測定点
 黒丸が熊野灘沿岸定線観測における定点位置。

40' N) まで延長して観測を実施した。

黒潮流路タイプ (A型, B型, C型, N型 (D型を含む)) の判断には，中央ブロック長期漁海況予報会議で黒潮の経過としてとりまとめられた流型を用いた。黒潮大蛇行期間の判定には，気象庁・海上保安庁・水産庁の三官庁が共同で作成した判断基準 (吉田ほか 2006) を用いた。黒潮北縁の離岸距離および観測時の海況パターンの把握には，調査船による海洋観測結果の他に三重県科学技術振興センター水産研究部のTeraScanシステムで受信解析した人工衛星NOAAによる海面水温分布図を用いた。

表1. 調査期間中の黒潮流路タイプ

年	アンダーラインは黒潮大蛇行期間*											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2002				N N	B N	N N	N N	N N	N N	N N	N N	N N
2003	N N	N N	N N	N N	B B	C N	N N	N N	N N	N N	N N	N N
2004	N N	N N	N N	N N	N N	N N	<u>N A</u>	<u>A A</u>	<u>A A</u>	<u>A A</u>	<u>A A</u>	<u>A A</u>
2005	<u>A A</u>	<u>A A</u>	<u>A A</u>	<u>A A</u>	<u>A A</u>	<u>A C</u>	<u>C C</u>	<u>C C</u>	C C	N N	N N	N N
2006	N N	N N	C C									

*黒潮大蛇行期間は吉田ほか (2006) の判定基準による

結 果

調査期間中の黒潮は、表1に示したようにN型基調(非大蛇行流路)から2004年の夏季にA型(大蛇行流路)に移行し、約1年A型が継続した後、2005年の秋以降は再びN型基調で経過した。この期間中B型の出現は一時的で、C型も大蛇行消滅期の2005年夏季に持続した他は一時的であった。そのため、ここでは黒潮がN型基調の時期を熊野灘沖の黒潮流路に着目して黒潮直進期とし、黒潮大蛇行期と2つに分けて、熊野灘の流況について検討した。

黒潮直進期の流況

黒潮直進期を潮岬沖の黒潮北縁が5マイル未満の時と10マイル程度の時に細分類し、それぞれの時期で代表的な観測例を図3-1と図3-2に表層10mの流向流速ベクトル図として示した。図3の黒潮直進期の流速スケールは3ノットで表示した。黒潮直進期には熊野灘南部沖合域に東へ3ノット以上の流れが見られることが共通した特徴で、この流れは黒潮の強流域に対応する。潮岬沖の黒潮北縁が5マイル未満の時(図3-1)には、黒潮

北縁部で4ノット以上の強い流れが観測されたが、潮岬沖の黒潮北縁が10マイル程度の時(図3-2)には、黒潮北縁部で特に強い流れは観測されず、潮岬沖の黒潮北縁距離によって、熊野灘沖を流れる黒潮の流況パターンに違いが認められた。

熊野灘沿岸での流況パターンとして、北部では時計回りの流れが頻繁に観測され、南部沿岸では弱い南下流が比較的多く観測された。このような沿岸での流況パターンは潮岬沖の黒潮北縁距離によって大きな違いは認められなかった。例外として、2003年4月(図3-2b)には熊野灘北部で反時計回りの流れが観測された。2003年4月は黒潮小蛇行が潮岬沖を通過していた時期に当たり、黒潮が熊野灘沖を東へ直進する典型的なN型とは大きく異なり、黒潮の小蛇行が熊野灘沖を通過していた。

臨時拡大観測を実施した2003年3月の流向流速ベクトル図を黒潮流域の流速断面図と合わせて図4に示した。黒潮流域の流れは北縁部で最も強く4ノット以上、黒潮内では南ほど流れは弱まる傾向で、32°40'N付近では東向き流れは見られなくなった(図4b)。また、黒潮流域の流速鉛直断面図を東西成分で表示した結果(図4c)、黒潮北縁部では表層のみ強い流れで水深約50m以深の流

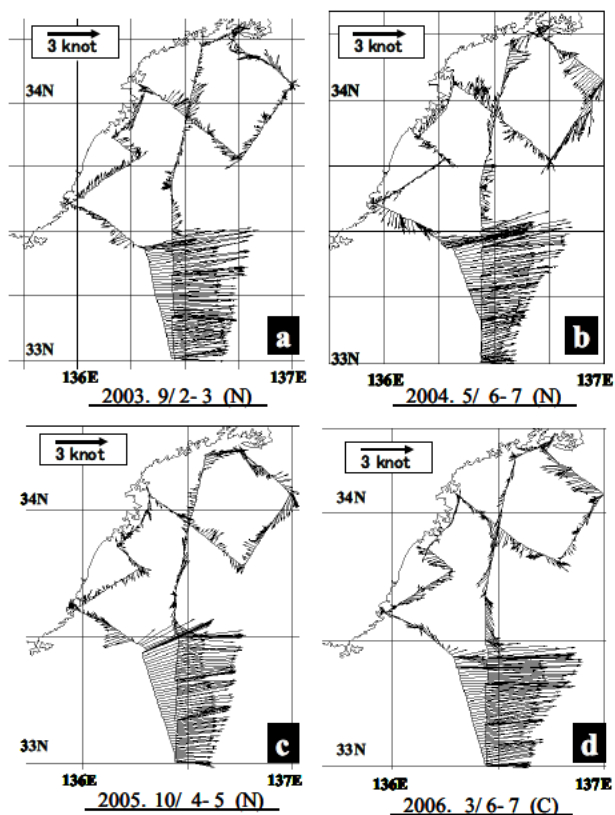


図3-1. 黒潮直進時の表層流向流速ベクトル図(潮岬沖の黒潮北縁は5マイル未満)

観測時の黒潮流路タイプを括弧内に示す。

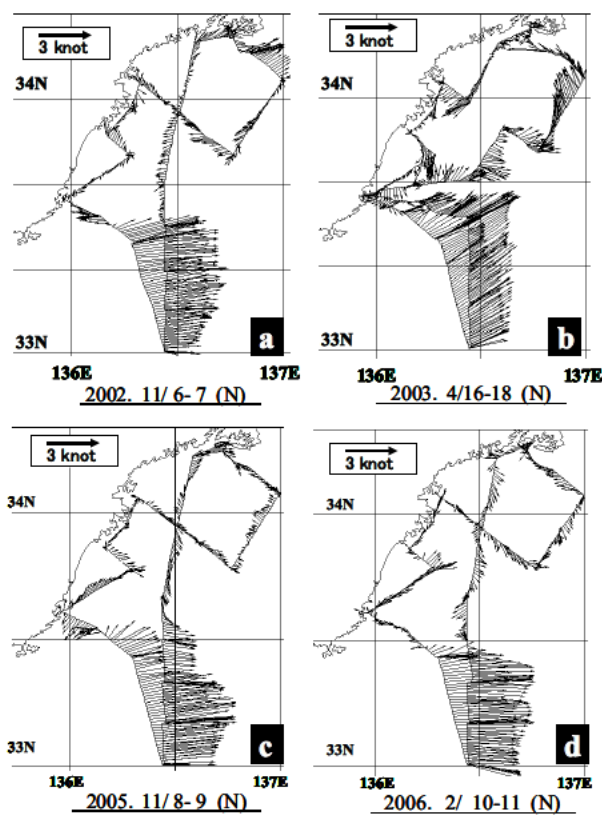


図3-2. 黒潮直進時の表層流向流速ベクトル図(潮岬沖の黒潮北縁は10マイル程度)

観測時の黒潮流路タイプを括弧内に示す。

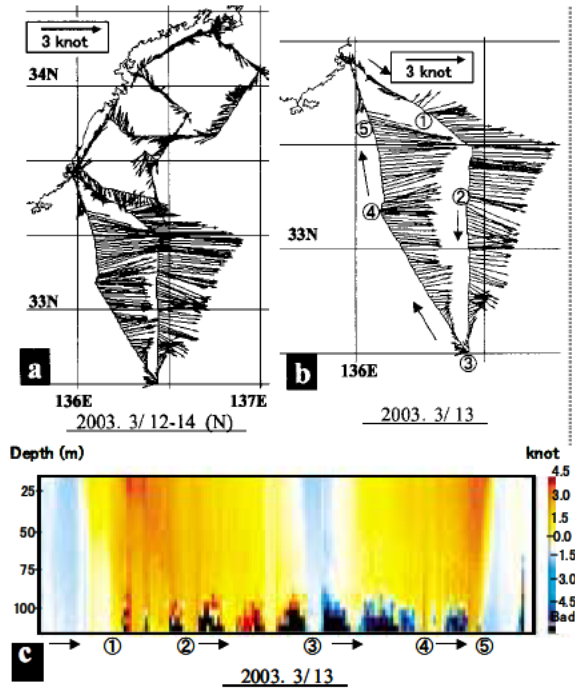


図4. 2003年3月の沿岸定線臨時拡大観測時の流向流速観測結果
 (a)10m層の流向流速ベクトル図, (b)黒潮域の拡大図, (c)黒潮域の流速鉛直断面図の東西方向, 断面図の赤色は東向きの流れ, 青色は西向きの流れ, ①~⑤は観測停船位置を示す。

これは弱いという構造が認められた。このような黒潮北縁部における流れの鉛直構造は、図3-1に示した潮岬沖の黒潮北縁が5マイル未満の時には共通して観測された。なお、鉛直断面図は赤色が東向きの流れ、青色が西向きの流れを示す。横軸は時間の経過を示し、停船観測中も含まれるため距離スケールとは異なる。横軸の①~⑤は図4bの①~⑤に対応する。停船中は水深100m程度までデータが得られているが、航走中は70~80m以深はノイズが多く見られた。

黒潮大蛇行期の流況

図5に黒潮大蛇行期の代表的な観測例を表層10mの流向流速ベクトル図として示した。黒潮大蛇行期における潮岬沖の黒潮北縁は30マイル以遠にあり、熊野灘沿岸定線観測では黒潮に達することはできなかった。黒潮大蛇行期には3ノット以上の強い流れを観測することがなかったため、図5の流速スケールは2ノットで表示した。

黒潮大蛇行期には黒潮内側反流に伴う卓越した南西流が観測されることが多く、黒潮大蛇行形成初期に当たる2004年9月には2ノット前後の黒潮内側反流が沖合域を中心に広範囲で観測された(図5a)。2005年1月以降、黒潮内側反流は弱まったものの、引き続き1ノット前後あるいは1ノット以上の南西流が熊野灘北部沿岸を除く

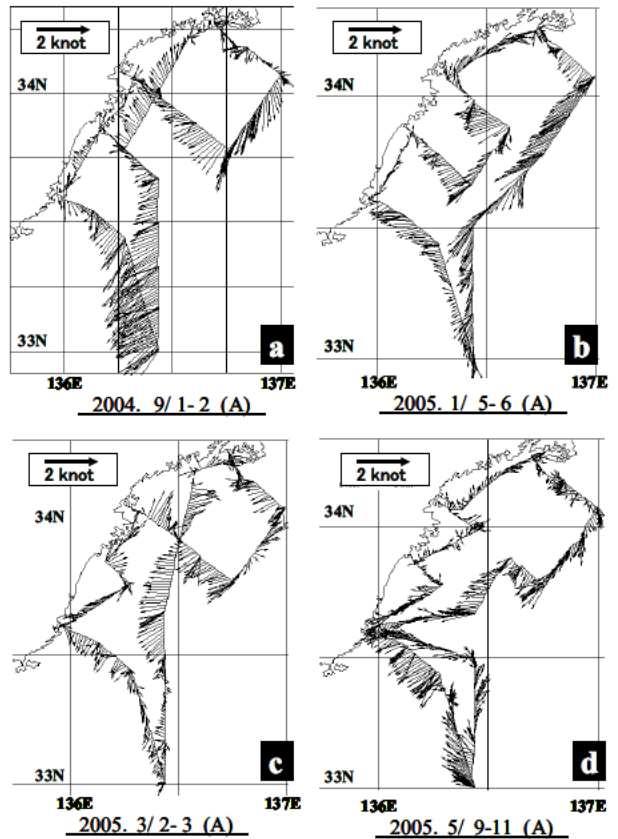


図5. 黒潮大蛇行時の表層流向流速ベクトル図(潮岬沖の黒潮北縁は30マイル以遠)
 観測時の黒潮流路タイプを括弧内に示す。

全域で観測された(図5b~5d)。

熊野灘北部に注目すると、黒潮直進期に見られたような時計回りの流れが黒潮大蛇行期にも観測された。その流速は黒潮直進期に比べて全般にやや大きかった。また、沿岸の浅海域でも1ノット前後の流れが観測されることが多く、沿岸域では広範囲で直進期よりも流速が大きくなる傾向が見られた。

考 察

調査船「あさま」は、巡航スピード20ノット(最大25ノット)という高速で定線調査を行うように設計されたことから、ADCPの精度確保には各種の対策が必要であった。300kHzという高周波のセンサーを採用し、船底ドームによる泡切れ対策、サテライトコンパスによる系統誤差対策、さらにプランクおよび層圧の設定を検討した結果、表層では安定した高精度データが得られるようになった。旧調査船「あさま丸」では3日を要しても黒潮直進期の黒潮北縁(図2のStn.13)までしか観測できなかったが、「あさま」では黒潮直進期には黒潮域を含む熊野灘全域を2日で観測できるようになった。沿岸域の海況

は日々刻々と変化することから、短時間に広域を調査することは海況把握に重要であり、高速でのADCP観測は極めて有効であると考えられる。しかし課題として、測定可能水深が条件が良くても100m程度と浅く、荒天時などの悪条件下では50~75m程度までさらに浅くなる傾向がある。表層の流向流速分布を把握することには問題ないが、鉛直構造を含めた詳細な調査を行う場合には船速10~15ノットのやや低速で調査する必要があると考えられる。

毎月1回の沿岸定線調査におけるADCP観測を4ヶ年続けた結果、熊野灘における典型的な流況パターンが明らかになった。黒潮直進期と黒潮大蛇行期に分けて、熊野灘における典型的な流況の模式図を図6に示した。

黒潮直進期(図6-1)には、熊野灘南部沖合で3ノット以上の黒潮の流れが見られ、熊野灘北部には0.5~1ノット前後の時計回りの流れが形成され、南部沿岸では0.5~1ノットの南下流となる流況が典型的なパターンと考えられた。また、潮岬沖の黒潮北縁が5マイル未満まで接岸した時には熊野灘沖の黒潮北縁では4ノット以上の強い流れとなりやすく、潮岬沖の黒潮北縁が10マイル程度の時には黒潮北縁での強い流れは目立たなくなることが明らかになった。潮岬沖の黒潮北縁が5マイル未満まで接岸した時には海底地形の影響で黒潮北縁が圧迫され、潮岬の東方へジェット状に強い流れが形成されると考えられるが、そのメカニズムについては不明な点も多い。Nagata et al. (1999) および竹内 (2005) は、黒潮が潮岬の東方で陸棚を離れて外洋に流れ出ることによ

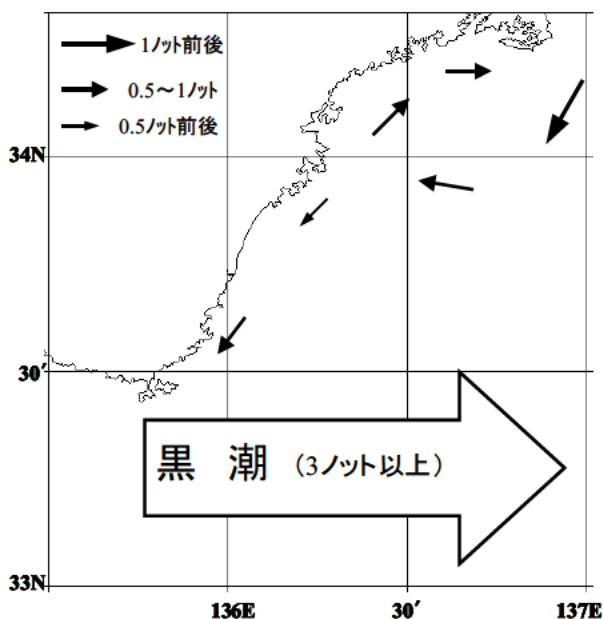


図6-1. 熊野灘における典型的な流れのパターン(黒潮直進期)

り潮岬東方に冷水渦が生じ、この冷水渦と黒潮の間に生じる大きな水温勾配が黒潮フロントを明確にし、黒潮の流れを加速することになると考察している。熊野灘沖の黒潮北縁で流速パターンが異なった2006年2月(図3-2d)と2006年3月(図3-1d)について、表層の水温分布を比較した結果(図7)、黒潮フロントの水温勾配が緩やかな2006年2月(図7a)よりも水温勾配が急な2006年3月(図7b)の方が黒潮北縁で強い流れが確認され、Nagata et al. (1999) および竹内 (2005) の考察が裏付けられた。また、今回の調査結果から潮岬沖の黒潮北縁の離岸距離と潮岬東方の水温勾配および黒潮北縁の流速との間に密接な関係があることも明らかになった。

黒潮大蛇行期(図6-2)には、黒潮内側反流に伴う1~2ノットの南西流が卓越し、熊野灘北部には1ノット前後の時計回りの流れが形成される流況が典型的なパターンと考えられた。小林ほか(1984,1986)は、黒潮が非大蛇行型のうちで伊豆半島に接近する流路の時に熊野灘に弱い右旋環流(時計回りの流れ)が見られると報告しているが、本研究では黒潮直進期だけでなく黒潮大

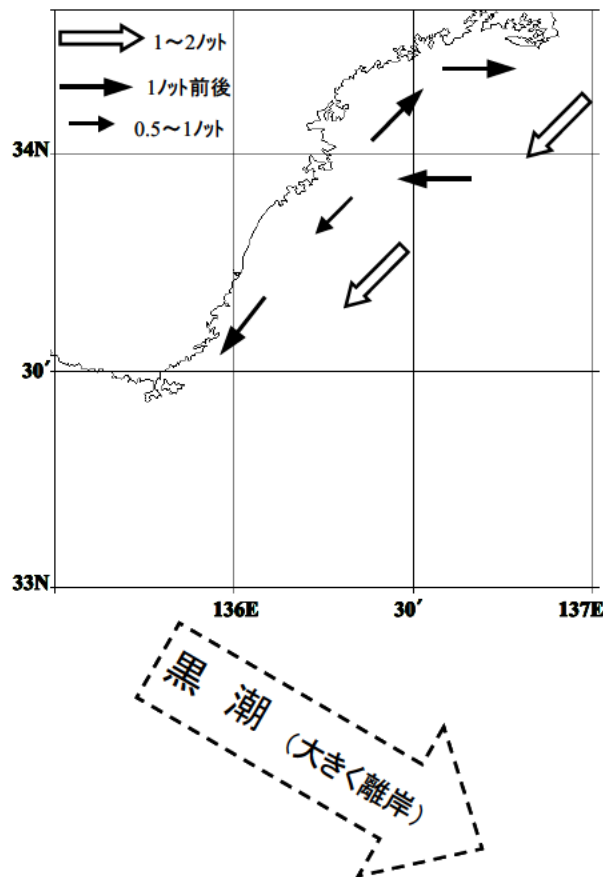


図6-2. 熊野灘における典型的な流れのパターン(黒潮大蛇行期)

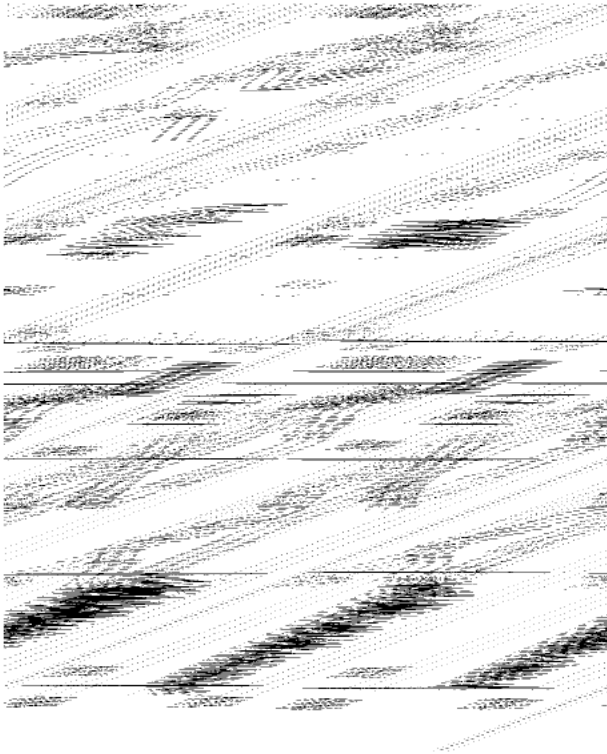


図7. 2006年2月(a)と2006年3月(b)の沿岸定線観測結果
 上段に表面水温の水平分布図, 下段に10m層の流向流速ベクトル図を示す。

蛇行期にも熊野灘北部では時計回りの流れが頻繁に観測された。黒潮内側反流が熊野灘中部に達し、陸棚斜面に沿って熊野灘北部に流入することによって、時計回りの渦を形成していると考えられる。熊野灘北部における時計回りの流れは、水深2,000mの熊野舟状海盆に高さ約1,000mで張り出した志摩海脚という海底地形とその沖を流れる地衡流の性質を持つ黒潮によって生じている常的な流れのパターン(友田・高野 1983)であると推測される。一方、黒潮小蛇行の通過時に当たる2003年4月には熊野灘北部で反時計回りの流れが観測され(図3-2b)、小蛇行通過時には流況パターンが変化することが明らかになった。このような流況パターンの変化と熊野灘海域で操業する各種漁業の漁場形成との関連は今後の検討課題である。今回の結果は距岸約2マイル以遠、水深約100m以深の海域で調査船によって月1回の調査によるものである。定置網漁業や刺網漁業などの沿岸漁業が行われている海域は距岸2マイル以内の水深約100m以浅であり、その流況は複雑な地形の影響や風の影響も受けて短期的に変動している(柳 1989)ことが想像される。沿岸漁業に重要なごく沿岸における流況パターンを明らかにするためには、係留式の流向流速計による調査を充実させて、調査船によるADCP観測の結果等と合

わせて議論する必要がある。

本研究では黒潮の典型的な流路であるN型(直進流路)とA型(大蛇行流路)に注目して、熊野灘の流況について検討してきたが、N型からA型への移行期およびA型からN型への移行期の流況について最後に議論する。黒潮流路が直進流路から大蛇行流路への移行期に当たる2004年6月から7月には、黒潮本流が熊野灘沿岸に流入し、熊野灘の流況に大きな変化が見られた。そのため、これまで議論してきたような典型的な流況パターンとは大きく異なり、沿岸域でも北東へ2~3ノットの強い流れが観測された(図8)。久野・山田(2006)は、黒潮大蛇行への移行期の2004年6月から7月には熊野灘沿岸の水温に急上昇がみられたと報告している(図9)。黒潮大蛇行への移行期には、熊野灘沿岸では低水温から高水温へ急激に変化すると同時に流況も大きく変化することが特徴であると考えられた。一方、黒潮大蛇行の解消期に当たる2005年6月から9月頃の流況変化は緩やかで、大蛇行の形成期とは対照的であった。熊野灘沿岸の水温変化も緩やかであったことから、黒潮大蛇行の解消期には熊野灘沿岸の海況は徐々に変化すると考えられる。これらの変動の特徴は、今後の黒潮大蛇行形成時および大蛇行消滅期の参考になると考えられる。

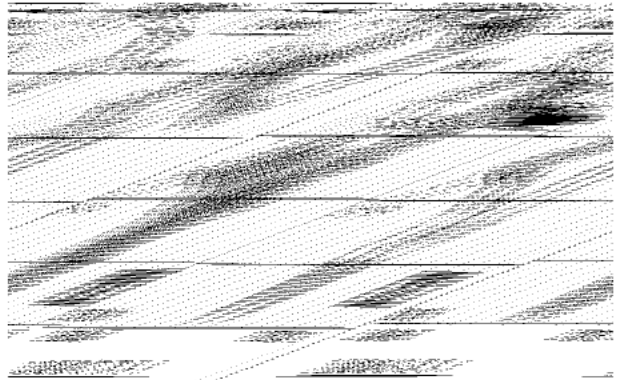


図8. 黒潮大蛇行への移行時の表層流向流速ベクトル図

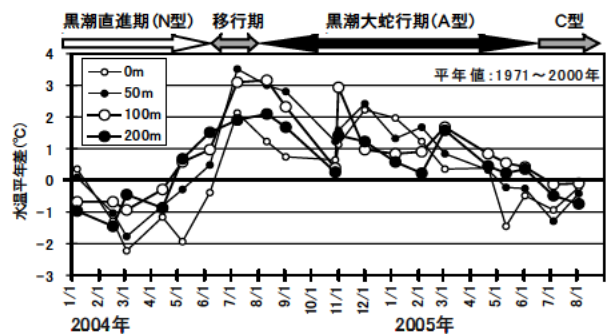


図9. 黒潮大蛇行に伴う熊野灘沿岸Stm.6における水温変動(久野・山田 2006 を一部改変)

要 約

調査船「あさま」搭載のADCP（超音波ドップラー流速計）を用いて、2002年4月から2006年3月まで毎月1回、熊野灘で流向流速観測を実施し、熊野灘の流況と黒潮流路との関係について検討した。

1. 黒潮直進期には、熊野灘北部に0.5～1ノット前後の時計回りの流れが形成され、南部沿岸では0.5～1ノットの南下流となる流況が典型的なパターンであると考えられた。また、熊野灘南部沖合に3ノット以上の黒潮の流れが見られ、潮岬沖の黒潮北縁が5マイル未満まで接岸した時に熊野灘沖の黒潮北縁では4ノット以上の強い流れとなりやすいことが明らかになった。
2. 黒潮大蛇行期には、黒潮内側反流に伴う1～2ノットの南西流が卓越するものの、熊野灘北部には1ノット前後の時計回りの流れが形成され、熊野灘北部では海底地形の影響で定流的な流れがあると考えられた。
3. 黒潮小蛇行通過時には、熊野灘北部で反時計回りの流れが観測され、小蛇行通過に伴って一時的に流況パターンが変化することが明らかになった。
4. 黒潮が直進流路から大蛇行流路への移行期には、黒潮本流が熊野灘に直接流入し、沿岸域でも2～3ノットの北東流が観測され、水温の急上昇を伴う激しい変化が見られた。一方、黒潮大蛇行の解消期の流路変化は穏やかで、大蛇行形成期とは対照的であった。

文 献

- 藤本 実・友定 彰 1980：黒潮大蛇行期・非大蛇行期からみた本州南東沿岸域の平均水温分布について。東海区水産研究所研究報告，103，17-30。
- 藤田弘一 2001：日本南岸の黒潮流路の変動と串本・浦神の潮位差との関連に関する研究。三重県科学技術振興センター水産研究部研究報告，10，1-50。
- 藤田弘一・久野正博・岡本楠清 2004：三重県新海洋調査船あさま - 沿岸調査船の高速化について - 。月刊海洋，36(7)，528-535。

伊藤宜毅 1979：熊野灘の海況について。水産海洋研究会報，34，111-114。

伊藤宜毅 1984：黒潮流路がA型及びA型以外（N型）の時の熊野灘の海況について。関東東海ブロック水産海洋連絡会報，6，5-8。

小林雅人・杉本隆成・平野敏行 1984：GEK観測資料に基づく黒潮流路タイプ別の熊野灘・遠州灘の流況 - 黒潮非大蛇行期 - 。水産海洋研究会報，46，18-26。

小林雅人・杉本隆成・平野敏行 1984：GEK観測資料に基づく黒潮流路タイプ別の熊野灘・遠州灘の流況 - 黒潮大蛇行期 - 。水産海洋研究会報，50(1)，2-11。

久野正博・藤田弘一 2003：熊野灘および伊勢湾における潮位変動と海況変動。海と空，79，31-37。

久野正博・山田浩且 2006：黒潮大蛇行と熊野灘に漁海況変動。月刊海洋，38(1)，52-57。

Nagata, Y., Takeuchi, J., Uchida, M., Ishikura, I., Morikawa, Y., and Koike, T. 1999：Current nature of the Kuroshio in the vicinity of the Kii Peninsula. J.Oceanogr.Soc.Japan, 55, 407-416。

Takeuchi, J., Honda, N., Morikawa, Y., Koike, T., and Nagata, Y. 1998：Bifurcation Current along the Southwest Coast of the Kii Peninsula. J.Oceanogr.Soc.Japan, 54, 45-52。

竹内淳一 2005：紀伊半島周辺の海洋構造と変動および漁業への影響。和歌山県農林水産総合技術センター特別研究報告，8，1-123。

友田好文・高野健三 1983：地球科学講座第4巻海洋。共立出版株式会社，東京，181-193。

柳 哲雄 1989：沿岸海洋学 - 海の中でのものはどう動くか - 。恒星社厚生閣，東京，17-22。

吉田 隆・下平保直・林王弘道・横内克巳・秋山秀樹 2006：黒潮の流路情報をもとに黒潮大蛇行を判定する基準。海の研究，15(6)，499-507。