

## 紀伊水道の微細な海洋構造

諏訪 剛\*

### Hydrographic Micro-Structure in Kii Channel

Tsuyoshi SUWA\*

紀伊水道は紀伊半島と四国、および淡路島に囲まれた半閉鎖的な陸棚海域で、北は鳴門海峡および友ヶ島水道を通じて瀬戸内海につながり、南は太平洋に開放している(図1)。海底地形は水深が80m以浅の浅海域で、日ノ御崎と蒲生田岬を結ぶ線より南では水深が深くなり、陸棚斜面へ続いている。

紀伊水道には当該海域の紀伊水道水<sup>注)</sup>に加え、陸からの河川系水や瀬戸内海からの内海系水、太平洋の黒潮に由来する黒潮系水、底層を這い上がってくる外洋の亜表層水など、それぞれ性質の異なった複数の水が分布している。これらの水は複雑で変化に富む海洋

構造を形成させ、紀伊水道の入口に冬季に発達する熱塩フロントや、上層からは低密度水が流出し、下層からは高密度水が流入するエスチュアリー循環、また、このエスチュアリー循環に関係すると考えられる外洋の亜表層水による這い上がりなどの現象を生じさせる。

これらの紀伊水道の海洋構造についてはこれまでに多くの研究がなされており、熱塩フロントに関しては吉岡(1971)、吉岡(1988)など、エスチュアリー循環に関しては藤原他(1996)、笠井他(2001)など、外洋の亜表層水による這い上がり現象に関しては竹内(1986)、竹内他(1997)、金田・上田(1998)、金田・秋山(2000)などの報告がある。また、金田・上田(1998)、金田・秋山(2000)は、四季ごとの平均的な海洋構造を報告している。

金田・秋山(2000)は、各季節における一般的な海洋構造の他に、日単位であらわれる微細な海洋構造についても報告している。彼らによる微細な海洋構造の報告は、同一の日実施されたSTD観測による、1mピッチの測定結果から作成された水温、塩分、密度の鉛直断面分布図にもとづいておこなわれており、1998年2月3、5日に観測された暖水波及、同年5月11、13日に観測された中層貫入現象、および同年8月4、5日に観測された三層構造を報告している。そして、これら以外にもあると思われる紀伊水道に特徴的な海洋構造を丹念に集積することにより、当該海域に対する理解が更に深まるであろうと述べている。

ここでは金田・秋山(2000)の手法に従い、和歌山県

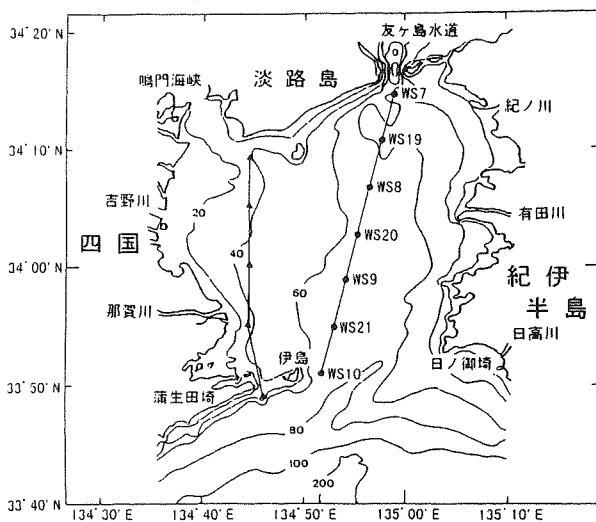


図1 観測海域。

紀伊水道中央部をほぼ南北に縦断する丸印のラインが、今回検討を行った観測ラインである。同水道西部を南北に伸びる三角印のラインは、金田・秋山(2000)が「ハの字」状分布を報告したラインである。

\* 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場, 〒649-3503 和歌山県西牟婁郡串本町串本1551 e-mail:e0701092@office.wakayama.go.jp  
Fisheries Experimental Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Kushimoto, Nishimuro-gun, Wakayama  
649-3503, Japan

農林水産総合技術センター水産試験場の漁業調査船「きのくに」が1998年から2000年の間に実施した浅海定線観測の結果から紀伊水道中央部の水温、塩分、密度の鉛直断面分布図を作成し、当海域における微細な海洋構造の検討を試みる。

注) ここで言う紀伊水道水とは、紀伊水道内に比較的長期間滞留し、当該海域の水としての性質を獲得した結果、外部から進入してきた水に対し、それがもともと存在した水であることを区別することが可能となった水のこと、その塩分は河川・内海系水より高く、黒潮系水や外洋の亜表層水より低い。

方 法

和歌山県農林水産総合技術センターで毎月1回実施している浅海定線観測では、紀伊水道の瀬戸内海域に定めた18定点で水面から海底上1mまでのCTD観測(FSI社製ICTDを使用)をおこなっている。18点の観測定点のうち7点は紀伊水道中央部をほぼ南北に縦断する形で配置されており、友ヶ島水道のすぐ南から伊島のすぐ西まで4マイルおきにまっすぐ並んでいる(図1)。これらの観測点名は北から順にWS7, WS19, WS8, WS20, WS9, WS21, WS10となっている。観測は通常、午前7時頃にWS7から始まって順次南へ移動してゆき、およそ3時間後の午前10時頃にはWS10を終了する。CTD観測では1mピッチでデータを取得しているため、この1mピッチのデータを用いて、

WS7からWS10の観測ラインに沿った水温、塩分、密度(Sigma-T)の鉛直断面分布図を作成した。鉛直断面分布図は各観測ごとに作成し、それを1998年から2000年の3年間について用意した。ただし1998年2月、6月、7月、10月、1999年1月、5月、7月、10月、2000年2月、5月、7月、11月にそれぞれ実施した浅海定線観測では、他機関との合同調査の関係上、WS19, WS20, WS21の各定点でのCTD観測をおこなっていないので、これらについては鉛直断面分布図を作成していない。また1999年10月は調査船がドックに上架していたため、浅海定線観測は欠測している。したがって、作成した鉛直断面分布図は1998年が8観測分、1999年が8観測分、2000年が7観測分で、合計23観測分である。これらの作成した鉛直断面分布図から、それぞれに見られる海洋構造の特徴を比較・検討した。

結 果

3年間の合計23観測について作成した鉛直断面図を比較・検討した結果、6つの海洋構造の特徴を捉えた。6つの海洋構造とは、「リング状配列現象」、「ハの字」状分布、「北部上層流入・下層流出」、「底部高温・高塩分水」、「這い上がり現象」、「夏季成層」であり、これらに関しては後に詳説する。これら6つの海洋構造を中心にして、23観測の海洋構造を表1に整理した。また、上記の6つの海洋構造以外の特徴については、その他の現象として記録した。

表1 紀伊水道における微細な海洋構造の形成状態。

年	観測日	リング状配列		「ハの字」分布		北部上層流入・下層流出	底部高温・高塩	這い上がり現象	夏季成層	その他の現象	
		構造	性質	構造	中心						
1998年	1月27日				WS9	○	○	WS19		WS10の上層に南からの高温・高塩分水。	
	3月4日	○	低温低塩			○	○	WS19~8 WS21			
	4月17日	○	高温高塩			△				WS20の表層に高温・高塩分水。	
	5月14日	○	低温低塩								
	8月4日					△		○	WS7	○	二重躍層。
	9月9日					○		○	WS19	○	
	11月12日			○	WS21	△					WS21の上・中層に低温・低塩分水。
1999年	2月17日	○	高温高塩	○	WS20	○					
	3月3日					△		○	WS20		WS9の上層に低温・低塩分水。
	4月9日			○	WS9	○	○	WS8~20	△	WS10	
	6月16日	○	低温低塩					△	WS19		WS9の上層に低温・低塩分水。
	8月12日	○	高温高塩			△			○	WS7	
	9月8日					△			○	WS7	○
	11月25日					○	○	WS19~8			
2000年	12月14日			○	WS20	○		△	WS9		
	1月18日			○	WS9	○	○	WS20 WS21			
	3月14日					○	○	WS20			WS21とWS10の間に熱塩フロント。
	4月18日	○	低温低塩								WS19およびWS9~21の表層に低温・低塩分水。
	6月7日	○	高温高塩					△	WS10		WS19の表層に低塩分水。
	8月8日							○	WS7	○	
	9月5日							○	WS19	○	WS9~21の表層に低塩分水。
12月5日			○	WS20	○	○	WS9	△	WS10		WS21の上・中層に低温・低塩分水。

評価の方法: その現象がみられるもののうち、現象が特に明らかなものに「○」を、あまり明らかなものに「△」を、その中間的なものに「○」を付した。

1. リング状配列現象 (図2)

2000年6月7日の観測ではWS8の水深6~20mくらいのところとWS20の水深32~42mくらいのところに、周囲よりも高温・高塩分の水がパッチ状に分布している(図2A)。また、1999年6月16日にはWS9の水深22~35mくらいのところと、WS21の水深40~52mくらいのところに、まわりよりも低温・低塩分の水が同様に存在している(図2B)。これらのように、周囲と異なる水温・塩分の水が断面図の中でパッチ状に分布し、等値線の配列が幾重にも重なったリング状を成す現象を、ここでは「リング状配列現象」と呼ぶ。

表1にはリング状配列の構造の有無と、それを成す水の性質(高温・高塩分か、低温・低塩分か)をまとめてある。構造の有無に関しては、リング状配列が確認されたもののうち、それを成す水の水温・塩分が周囲とどれくらい異なっているかの程度や、その水の個

数を基準にして、リング状配列現象が顕著なものを「◎」、あまり顕著でないものを「○」と評価した。

なおリング状配列現象は、表層を進入する黒潮系水の例として示した図7A(1998年4月17日観測)にも、高温・高塩分水によるものと低温・低塩分水によるものが同時にみられる。

2. 「ハの字」状分布(図3)

金田・秋山(2000)は、紀伊水道西部を南北に伸びる観測ライン(図1)における、1991~1998年の2月の平均水温と平均塩分から鉛直断面分布図を作成し、これらの断面図における等値線が「ハの字」状に分布することを報告している。この現象に相当すると考えられる海洋構造が、今回検討した観測ラインにおいても形成されていた。例えば1999年4月9日の観測では、断面図の北側のWS7~WS19と南側のWS10のそれぞれ上層を中心に低温・低塩分の水があり、これらの水

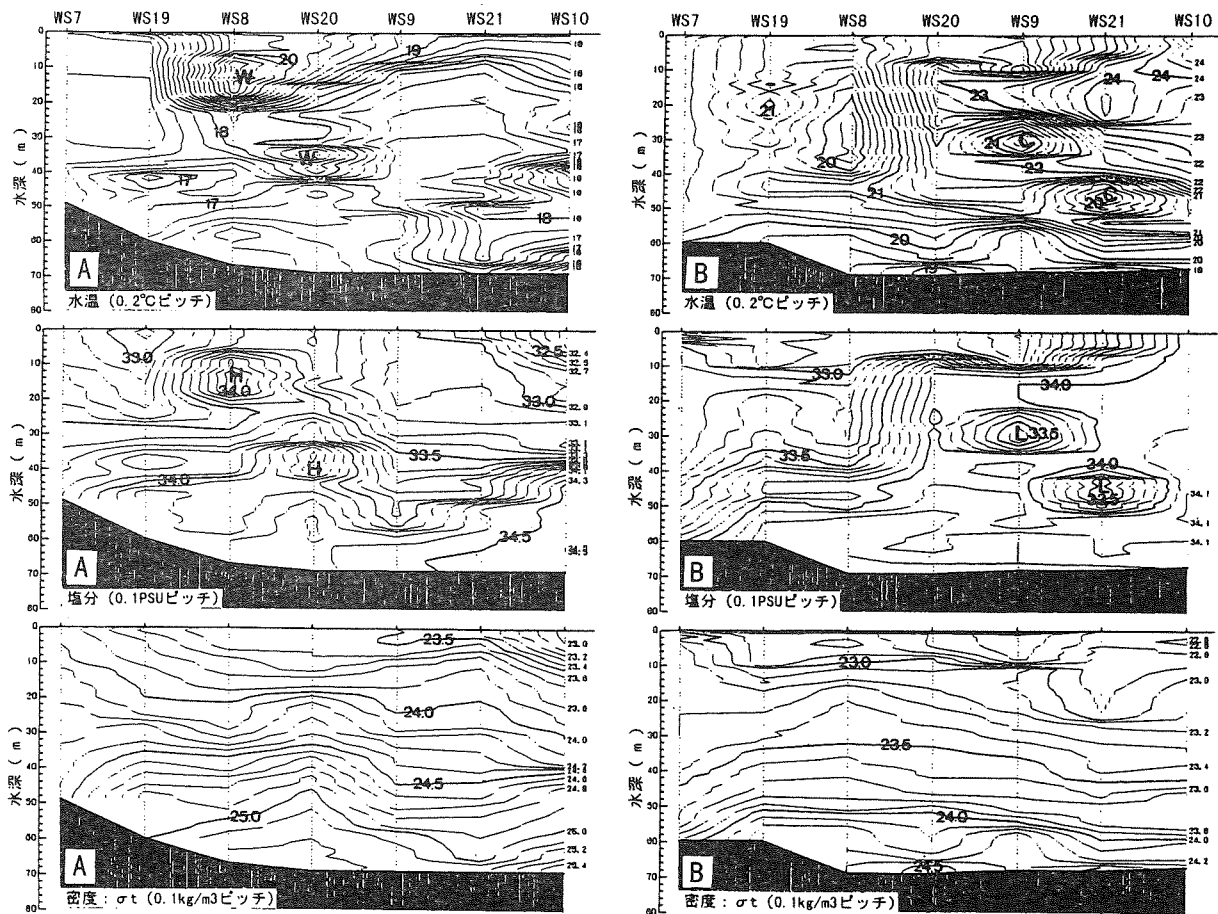


図2 リング状配列現象。

- A: 周囲より高温・高塩分の水によるリング状配列が、WS8の水深6~20mのところとWS20の水深32~42mのところにもみられる。2000年6月7日観測。
- B: 周囲より低温・低塩分の水によるリング状配列が、WS9の水深22~35mのところとWS21の水深40~52mのところにもみられる。1999年6月16日観測。

が両側から中央部へ押し寄せるように分布して、その結果 WS9を中心として等値線が「ハの字」状に配列している (図3)。この「ハの字」状分布の特徴は、断面図の南北両側の上層に低温・低塩分水が分布し、これらに挟まれた中央部に紀伊水道水が分布して、さらにこの紀伊水道水は水深が深くなるほど水温と塩分が高くなることである。

「ハの字」状分布については、等値線の配列が典型的な「ハ」の字型となっているものを「◎」、 「ハ」の字状にやや変形が加わっているものを「○」と評価して表1に記録した。また、「ハ」の頂点にあたる部分を「ハの字」状分布の中心と考え、その位置を記入した。

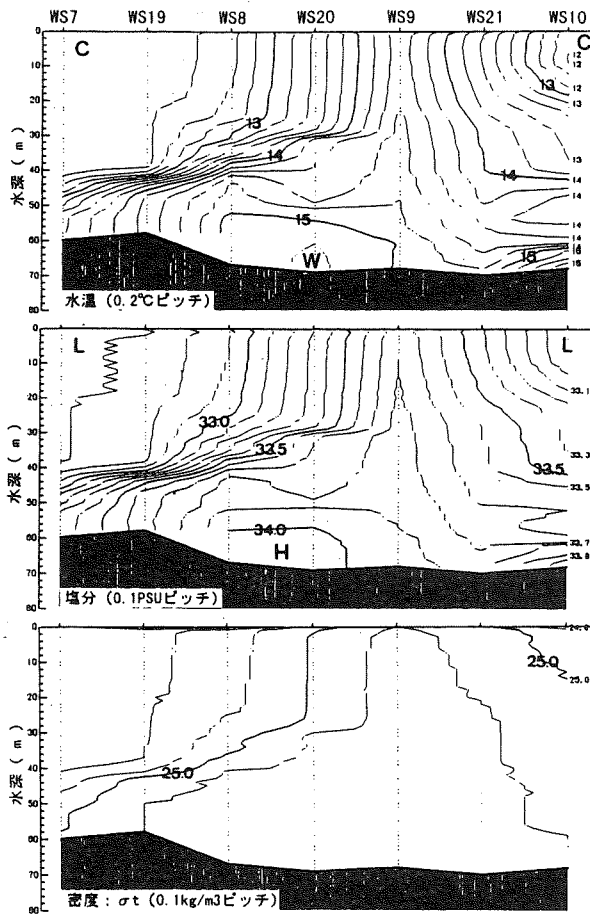


図3 「ハの字」状分布。

WS7~WS19と WS10のそれぞれ上層から低温・低塩分水が中央部へ押し寄せるように分布した結果、WS9を中心として等値線が「ハの字」状に配列している。1999年4月9日観測。

WS8~WS20の海底部には底部高温・高塩分水がみられる。

「ハの字」の左側の裾部分にあたる WS7~WS8では、北部上層流入・下層流出がみられる。

### 3. 北部上層流入・下層流出 (図4)

今回断面図を作成した観測ラインの北側に当たる WS7~WS8付近では、上層では低温・低塩分水が友ヶ島水道側から紀伊水道内へ流入し、下層では上層より高温・高塩分な水が友ヶ島水道側へ向けて押し広がるように分布しているケースがしばしばみられる (図4)。これをここでは便宜的に「北部上層流入・下層流出」と呼ぶことにする。

この現象が海洋構造として典型的な構造となっているものを「◎」、海洋構造としては下層の水が北側へ押し上げているものの、その進出度が比較的小さいものを「○」、僅かでも上層流入・下層流出しているものを

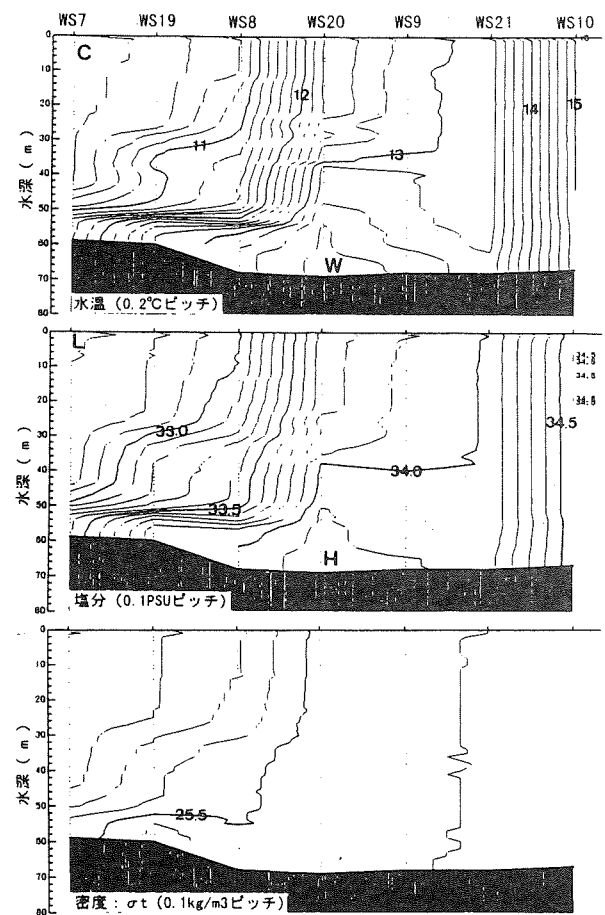


図4 北部上層流入・下層流出。

断面図の北側に当たる WS7~WS8付近において、上層では低温・低塩分水が友ヶ島水道側から紀伊水道内へ流入し、下層では紀伊水道内の水が友ヶ島水道側へ向けて押し広がるように分布している。2000年3月14日観測。

WS20~WS9の海底部には、底部高温・高塩分水がみられる。

WS21と WS10の間には熱塩フロントが形成されており、縦に配列した水温と塩分の等値線が密に込み合っている。

「△」として評価した。

4. 底部高温・高塩分水 (図5)

1998年3月4日の断面図ではWS19~WS8およびWS21の、それぞれの海底部に高温・高塩分の水の分布がみられる(図5)。このように、海底部に高温・高塩分の水が存在する構造がしばしばみられ(例えば図3のWS8~WS20, 図6のWS20, 図7BのWS19~WS8のそれぞれの海底部にもみられる), これをここでは「底部高温・高塩分水」と呼ぶことにする。

底部高温・高塩分水は、その構造の規模とその構造が存在する場所を表1にまとめた。構造の規模は高温・高塩分水の大きさで判断し、大きさが比較的大きいものを「◎」、比較的小さいものを「○」として評価

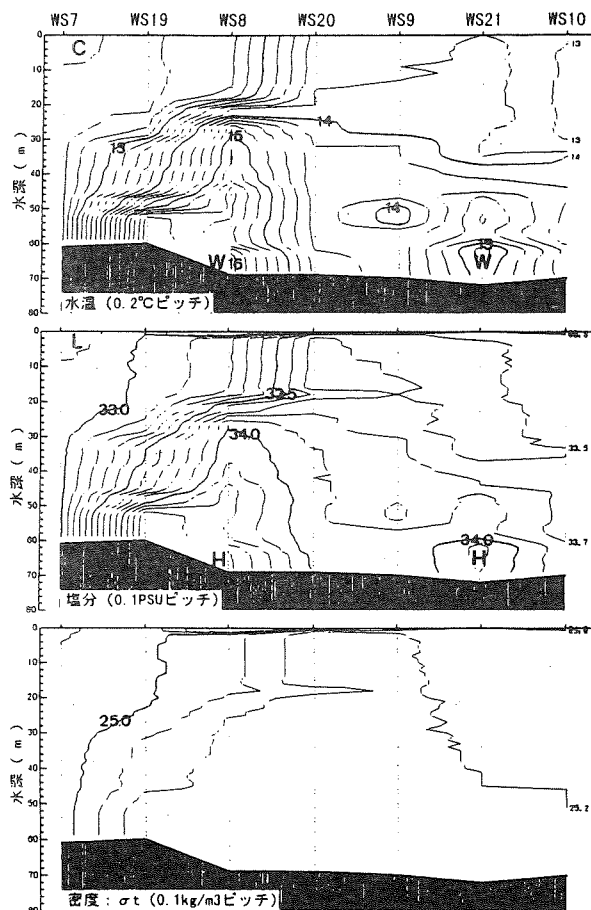


図5 底部高温・高塩分水。

WS19~WS8およびWS21の海底部に高温, 高塩分の水の分布がみられる。1998年3月4日観測。

WS7~WS8では、北部上層流入・下層流出がみられる。

した。

5. 這い上がり現象 (図6)

紀伊水道では、当該海域の南に広がる外洋の亜表層水が底層を伝って北側へと這い上がり、紀伊水道内へ進入する現象が知られている(竹内1986, 竹内他1997, 金田・上田1998)。これまでの報告ではこの現象をそれぞれ異なった呼び名で呼んでいるが、ここでは、この現象の動的機構を言い得ている呼称であることから、金田・上田(1998)による「這い上がり現象」という呼び名を使用した。

這い上がり現象は今回調べた断面分布図の中では、例えば1998年8月4日のものが顕著である(図6)。この断面分布図には這い上がり現象の特徴が良く現れ

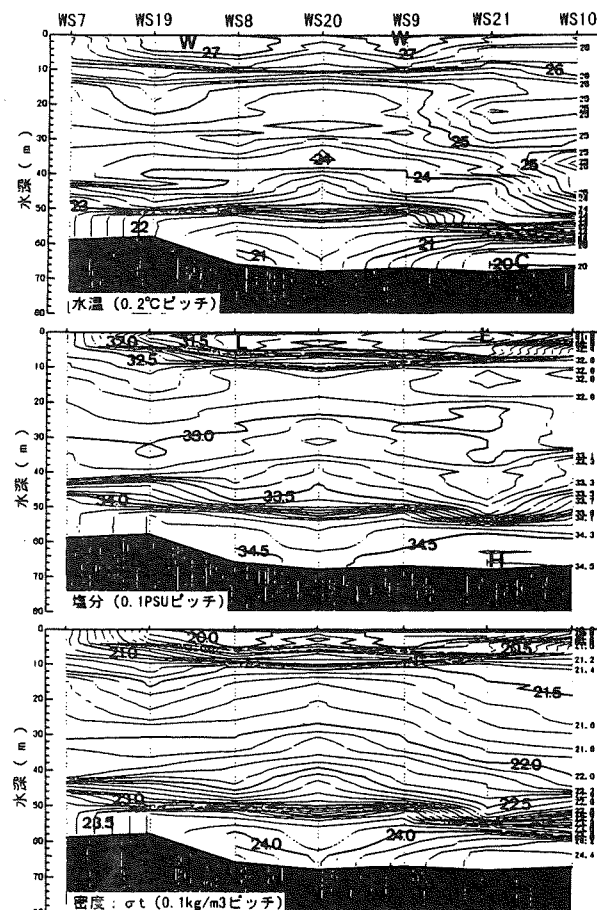


図6 夏季の成層と這い上がり現象, および二重躍層。

成層構造が良く発達し、水温, 塩分, 密度のいずれの断面図においても等値線が顕著に水平配列している。水深50m前後のところに顕著な躍層が形成されており、この躍層の下に外洋の亜表層から這い上がってきた水が分布している。なお水深10m前後のところに第一躍層があり、水深50m前後にある第二躍層と合わせて二重躍層が形成されている。1998年8月4日観測。

ており、底層付近の顕著な躍層の下に南側から北側へと進入するように分布する水が見てとれる。

この這い上がり現象については、這い上がったきた外洋の亜表層水の層厚を目安に現象の規模を評価した。すなわち底層に分布する亜表層水の層厚が比較的発達したものを「◎」、ごく僅かであるものを「△」、それらの中間を「○」とした。また、亜表層水が紀伊水道の底層をどこまで這い上がったかを、這い上がりの「先端部」として記入した。

### 6. 夏季の成層 (図6)

夏季の海洋構造は一般に成層構造が発達し、断面分布図では水温、塩分、密度のいずれも等値線が水平分布する。このような夏季の成層構造は紀伊水道でも顕

著にみられ、当海域における特徴的な海洋構造の一つである。

夏季の成層構造に関しては、等値線の水平分布が特にきれいに配列しているものを「◎」、水平配列がやや乱れているものを「○」として評価した。

### 7. その他の現象

その他の現象としては、高温・高塩分の黒潮系水、および低温・低塩分の河川・内海系水による紀伊水道への進入現象がみられた。これらの水の紀伊水道内への進入は、主として表層で起きている。もっとも1999年11月25日には黒潮系水による中層貫入が(図7B)、また1998年12月22日および2000年12月5日には河川・内海系水による上・中層への進入がみられた(図8A・

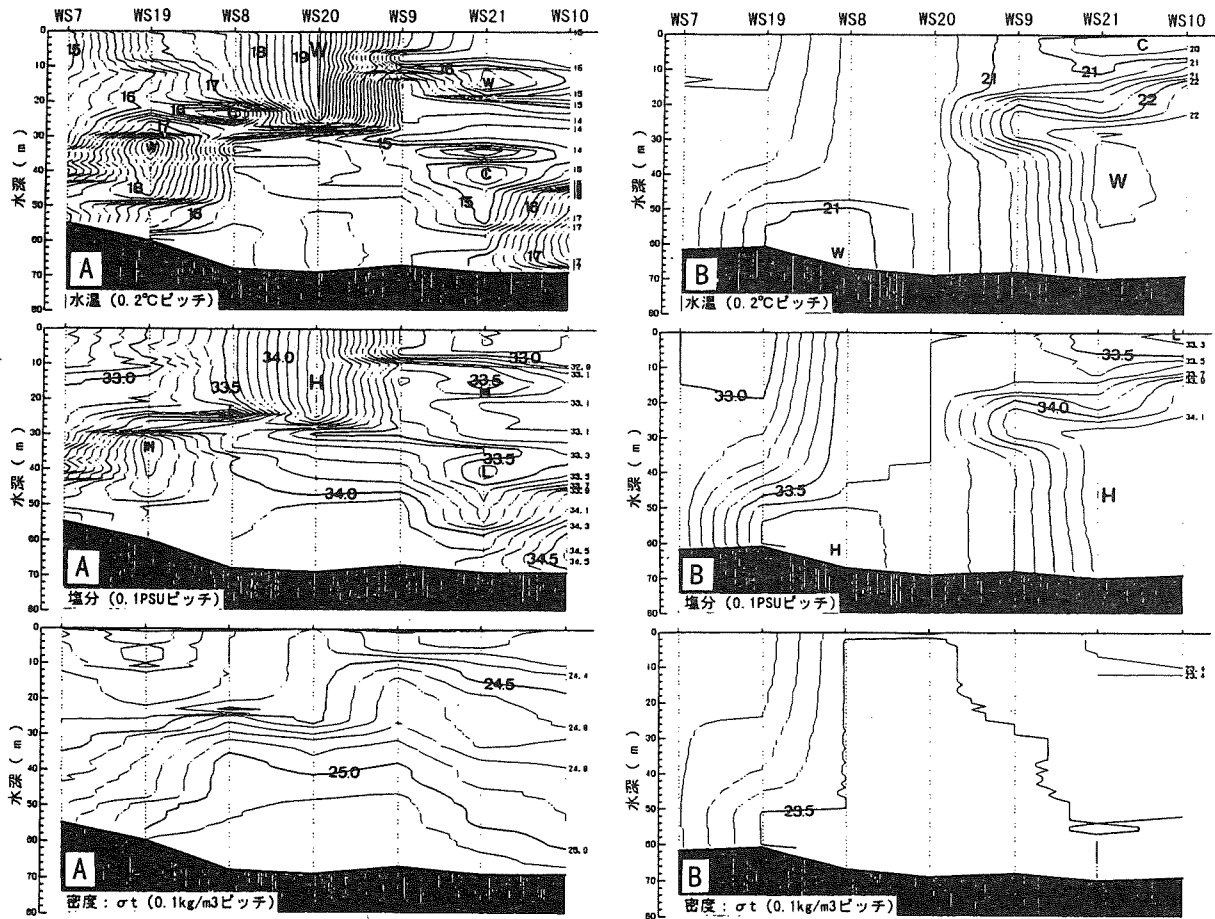


図7 黒潮系水による進入。

A: WS20の上層に、外海から進入してきたとみられる19℃、34.4PSU程度の高温・高塩分水が、水深20m以上の深さにわたって局所的に分布している。1998年4月17日観測。

周囲より高温・高塩分な水によるリング状配列がWS19の水深30~50mとWS21の水深10~20mに、同じく低温・低塩分な水によるリング状配列がWS8の水深22~26mとWS21の水深36~45mにそれぞれみられる。密度分布は成層している。

B: 南側から22℃、34PSU台の水が水深10~20m以深の層を北側へと入り込み、その最北部はWS9の水深20~30mを中層貫入している。1999年11月25日観測。

WS19~WS8の海底部には、底部高温・高塩分水がみられる。

B)。

なお、2000年6月7日と同年9月5日には、低温ではないが低塩分の水が表層に局所的に分布しているのがみられた。これは太陽によって暖められた河川・内海系水が表層を進入してきたものであると推定される。表層に分布する河川・内海系水は、本来は低温・低塩分であっても、夏季を中心に太陽の強い短波放射により表層が加熱された場合は、低温ではなくなると考えられる。

1998年8月4日には二重躍層がみられた(図6)。この二重躍層は、夏季の成層構造の発達に伴い、表層の河川・内海系水と中層の紀伊水道水、および中層の紀伊水道水と底層の亜表層水との間に顕著な躍層が発達する現象である。二重躍層をもたらす底層の亜表層水は、這い上がり現象によって外洋の亜表層から紀伊水道の底層に入り込んできた水である。

2000年3月14日にはWS21とWS10の間に熱塩フロ

ントがみられた(図4)。図4のWS21とWS10の間には、水温と塩分については多数の等値線が縦に配列しているが、このような配列は密度にはみられない。

### 考察

ここでは、まず上記に述べた6つの海洋構造と、その他の現象についてそれぞれコメントをなし、最後に今回の検討の結果、紀伊水道の海洋構造について考えられたことを述べる。

#### 1. リング状配列現象

リング状配列を成す水の性質は、今回調べた断面図の中では、周囲に対して高温・高塩分か低温・低塩分かのどちらかであり、高温・低塩分や低温・高塩分といったものはみられなかった(表1)。高温・高塩分の水は外海からやってきた黒潮系水、低温・低塩分の水は河川・内海系水であると推定され、いずれにせよリング状配列を形成する水は紀伊水道の外部から水道内

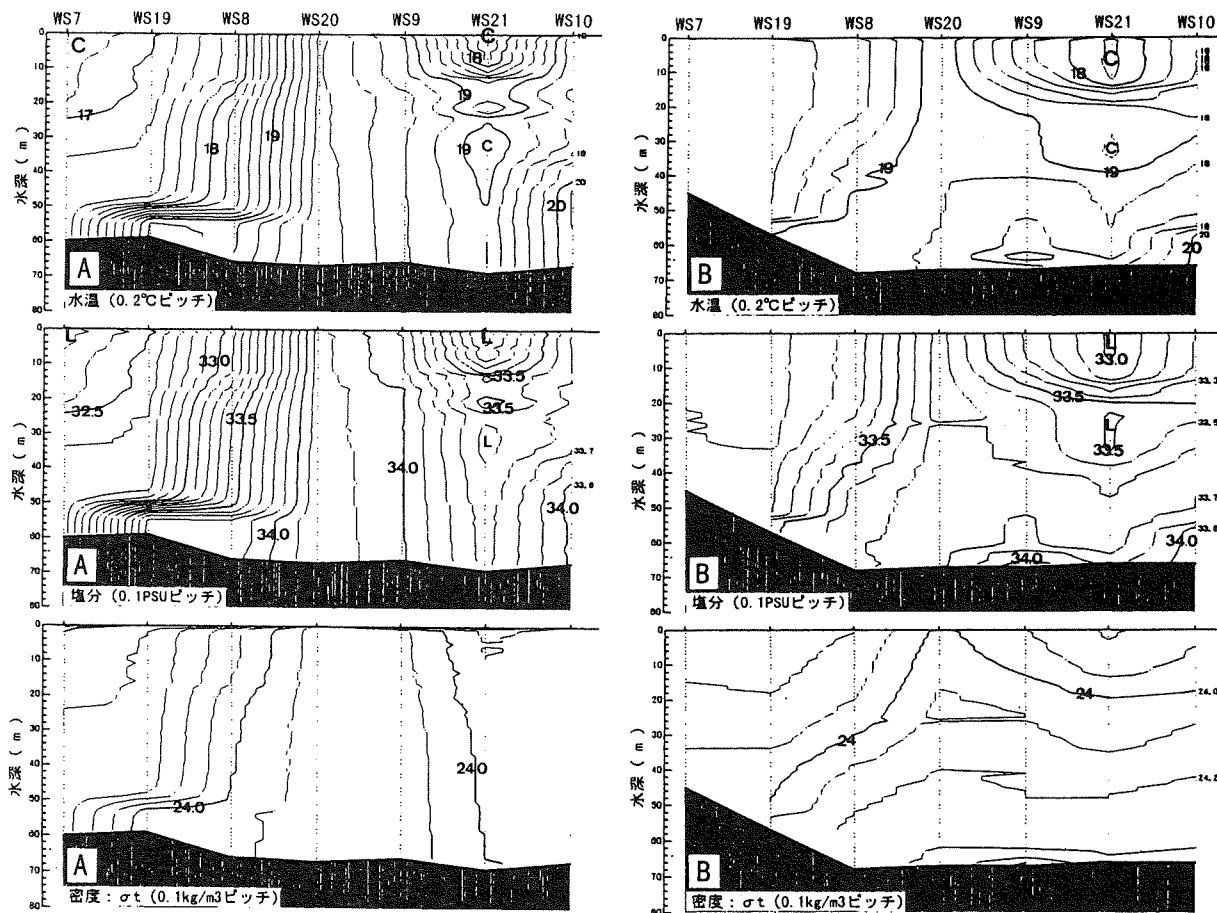


図8 河川・内海系水の特異な分布。

WS21の上層に低温・低塩分水が大きく分布し、さらにその下の中層にも小さく分布する独特の構造がみられる。A：1998年12月22日観測，B：2000年12月5日観測。

1998年12月22日の観測では、WS7～WS8に北部上層流入・下層流出がみられる。

へと入ってきた水であると考えられる。

リング状配列現象が起きている時の密度は成層構造を形成しており、リング状配列は密度分布には現れない(図2 A・B, 7A)。このことからリング状配列の構造は、密度的に安定していると考えられる。

金田・秋山(2000)は、リング状配列現象に相当するとみられる構造を紀伊水道入口の東西断面と紀伊水道西部の南北断面で報告している。彼らはこの現象に対しては黒潮系水が紀伊水道内へ中層貫入したものと考えている。彼らの考えは、柳(1996)の指摘を受けたもので、その指摘とは東京湾口の例から紀伊水道では北上してきた黒潮系暖水は紀伊水道の中層ないし底層の同じ密度の層に貫入するというものである。今回の検討で見いだされたリング状配列現象の密度に関する特徴、すなわちリング状配列は密度には現れずに成層状態にあるという特徴は、紀伊水道の外部からきた水が紀伊水道内の同じ密度の層へ中層貫入した結果だと考えると理屈が合う。ただし今回はリング状配列として、黒潮系水と推定される高温・高塩分水によるもの他に、河川・内海系水と推定される低温・低塩分水によるものも見つけられた。低温・低塩分水によるリング状配列は、高温・高塩分水によるそれと構造が非常に良く似ており(図2 A・B)、これら両者は同一の成因を有していると推測される。もしそうだとすると、紀伊水道の等密度層へ中層貫入するのは黒潮系水だけではなく、河川・内海系水も同様に中層貫入することがあるということが考えられる。河川・内海系水が黒潮系水と同じようなかたちで中層貫入することの可能性に関しては、今後の検討が必要である。

リング状配列現象には、その水の孤立性、すなわち周りとの水温・塩分の違いの程度が大きく、リング状の等値線が幾重にも重なるようなものが形成される時は、たった一つのリング状配列ではなく、複数のリング状配列が生じる場合が多いという傾向がある(図2 A・B, 7A)。このことは、リング状配列現象が起きやすい海況というものがある、そのような海況条件の時にリング状配列がいくつも形成されることを示唆している。リング状配列現象が起きやすい海況を考えるのにヒントとなるのが、密度は成層するが、水温や塩分は成層しないという、先にも述べたこの現象の特徴である。また顕著なリング状配列現象は4～6月によくみられ(表1)、この時期の海況の季節的特性がこの現象を成立させやすくする状態になっていることが

推測される。すなわち4～6月は冬季の鉛直混合期(垂直方向の均一性)から夏季の成層期(水平方向の均一性)への移行期間であり、このことが複雑で変化に富んだ水の分布を可能としているのかもしれない。

## 2. 「ハの字」状分布

「ハの字」状分布については金田・秋山(2000)が紀伊水道西部の南北断面図において冬季にみられる海洋構造として報告している。今回検討した断面分布図は金田・秋山(2000)による報告とは異なって友ヶ島水道から伊島を結ぶラインのものである。両者のラインの相互の位置関係は図1に示したとおりである。金田らのラインと今回のラインは、南部では互いに近いが、北部では金田らのラインが鳴門海峡の南側であるのに対し、今回のラインでは友ヶ島水道の南側と、紀伊水道の東西に大きくかけ離れている。それにもかかわらず、これらの両ラインにおいて同様の「ハの字」状分布がみられた。このことは、鳴門海峡付近も友ヶ島水道付近も同じような海洋構造、すなわち上層に低温・低塩分水が分布し、その下に紀伊水道水が存在するという両者の海域の海洋構造の類似性を示している。「ハの字」を形成する北側上層の低温・低塩分水は、金田・秋山(2000)による紀伊水道西部の南北ラインでは吉野川の流出水や播磨灘からの内海水の影響によると考えられたのに対し、友ヶ島水道から伊島を結ぶラインでは大阪湾からの内海水や紀ノ川からの流出水の影響によると考えられる。いっぽう「ハの字」の南側に関しては、金田らのラインと今回のラインは位置的に近いので、これらの両方のラインにおいて、南側上層の低温・低塩分水は、金田らの考察と同様に那賀川河川流出水の影響によると考えられる。

金田・秋山(2000)は「ハの字」状分布を、2月におけるSTD観測結果の1991～1998年の8年間の平均値から報告しており、冬季の一般的な海洋構造として位置づけている。今回、友ヶ島水道から伊島のラインでみられた「ハの字」状分布も、やはり冬季を中心に形成されていた。もっともこれに加え、1999年4月9日にも典型的な「ハの字」状分布の形成があったので、友ヶ島水道から伊島を結ぶラインでは、春季にも「ハの字」状分布が形成されることがあるといえる。

## 3. 北部上層流入・下層流出

北部上層流入・下層流出は、観測ラインの北部にあたるWS7～8周辺においてはほぼ周年観測される現象であり(表1)、友ヶ島水道に近いこの海域では基本的な



海洋構造であると考えられる。この構造は上層では大阪湾の内海系水が紀伊水道内へと流入し、それに対して下層では紀伊水道水が大阪湾へ流出するという水の動きが、友ヶ島水道を通じて起きることにより形成されると考えられる。このような水の動きはエスチュアリー循環に相当するものと推測される。

この北部上層流入・下層流出については、その構造が「ハの字」状分布の北側半分の構造と重なる場合がある。例えば、図3に示した1999年4月9日の断面図では、WS20を中心として「ハの字」状分布がみられるが、「ハ」の北側（左側）の裾部分、すなわちWS7～WS8の海域は、北部上層流入・下層流出の構造となっている。すなわちWS7～WS8の海域における北部上層流入・下層流出の構造そのものが「ハの字」分布の一部を成している。

#### 4. 底部高温・高塩分水

底部高温・高塩分水は1998年1月27日、同年3月4日（図5）、1999年4月9日（図3）、同年11月25日（図7B）、2000年3月14日（図4）に顕著なものが、2000年1月18日、同年12月5日に規模の小さなものがみられた（表1）。このことから、この構造は冬季を中心に生じる現象であると推定される。

底部高温・高塩分水は紀伊水道に特徴的な構造としてしばしばみられるが、この構造がどのようにして形成されるのかは今のところ不明である。同じく冬季を中心に形成される「ハの字」状分布は、中央下層部がより高温かつ高塩分となっているので、この部分が離脱した場合に底部高温・高塩分水となる可能性が考えられる。実際、「ハの字」状分布の構造の中に底部高温・高塩分水が形成されている場合がある（図3）。

#### 5. 這い上がり現象

今回の検討では1998年8月4日、同年9月9日、2000年8月8日に規模の大きな這い上がり現象がみられており（表1）、竹内（1986）、竹内他（1997）、金田・上田（1998）が報告しているようにこの現象は夏季に顕著である。図6に示した1998年8月4日の断面図には、特に典型的な這い上がり現象の様子がとらえられている。すなわち発達した二重躍層のうち、下層にみられる第二躍層の下に分布する水は、這い上がり現象によって紀伊水道内へ進入してきた外洋の亜表層水である。この水は、水温が20～21℃前後、塩分が34.3～34.6PSU前後となっている。

這い上がり現象の海洋構造については、陸棚斜面域

や黒潮流域における海況と合わせて解析を行うことが重要と考えられる。這い上がり現象に対しての、紀伊水道およびその外海域を含めた全体的な視野からの検討については、今後の課題である。

#### 6. 夏季の成層

紀伊水道では夏季に成層が良く発達する。これは当海域では夏季に河川水の流入が多くなり、表層に低塩分水が分布しやすくなることによると考えられる。すなわち夏季には太陽からの強い短波放射が表層水温を上昇させ、これによって表層水の密度が低下するのに加え、河川水の流入によっても表層水の密度がさらに低下し、その結果上下混合が非常に起きにくくなり、成層の発達が促進されると考えられる。こうして夏季の成層が発達すると、紀伊水道の表層下には顕著な躍層が形成される。

#### 7. その他の現象

高温・高塩分の黒潮系水による進入がみられた観測は、1998年1月27日、同年4月17日、1999年11月25日である（表1）。このうち1998年1月27日と同年4月17日は、高温・高塩分水が表層へ入ってきている。高温・高塩分の黒潮系水が表層へ進入する様子は、1998年4月17日の観測で特にはっきりと捉えられているので、それを図7Aに示す。図7AではWS20の上層に、外海から進入してきたとみられる19℃、34.4PSU程度の高温・高塩分水が分布している。この高温・高塩分水はWS20に局所的に分布しており、水深20m以上の深さにわたって存在している。この水は、外海から紀伊半島に沿って北上してきた黒潮系水が、東から細く回り込んできたものの先端の断面を捉えたものと推測される。

黒潮系水の表層からの進入に対して、1999年11月25日には高温・高塩分水が中・底層を進入しており、その先端は中層貫入してWS9にまで達している（図7B）。すなわち断面図の南側から22℃、34PSU台の水が水深10～20m以深の層を北側へと入り込み、その最北部はWS9の中層である水深20～30mへ貫入している。

一方、低温・低塩分の河川・内海系水による進入は1998年12月22日、1999年3月3日、同年6月16日、2000年4月18日、同年12月5日にみられた（表1）。先にも述べたように2000年6月7日と同年9月5日には、低温ではないが低塩分の水が表層に局在しているのがみられ、これは太陽の強い短波放射により暖めら

表2 河川・内海系水の進入がみられた観測点.

観測日	観測点						
	WS7	WS19	WS8	WS20	WS9	WS21	WS10
1998年12月22日						○	
1999年3月3日					○	○	
1999年6月16日					○		
2000年4月18日		○			○	○	
2000年6月7日		○			○	○	
2000年9月5日					○	○	
2000年12月5日						○	
観測数	0	2	0	0	4	4	0

れた河川・内海系水が進入してきたものと推定される。これらの河川・内海系水による進入は、いずれも表層を中心に起きている(表1)。このことは、河川・内海系水は低塩分であることにより、低密度で軽いことの現れであると考えられる。このような河川・内海系水が進入してきた位置をスコア表にして表してみた(表2)。表2より、河川・内海系水の進入はWS9~WS21を中心とした場所とWS19で起きていることがわかる。位置的に判断して、それぞれの場所に入ってくる河川・内海系水は、WS19が紀ノ川河川水、WS9~WS21周辺が那賀川河川水の影響を特に強く受けていると推測される。これらの場所はそれぞれ断面図の北寄りと南寄りに位置することから、「ハの字」状分布をもたらす低温・低塩分水と関係があると考えられる。すなわち、「ハの字」状分布にみられる北側上層と南側上層の低温・低塩分水は、それぞれWS19とWS9~WS21周辺の上層にしばしば入ってくる河川・内海系水と、その供給源が共通していると考えられる。つまり今回検討している断面ラインの海洋構造については、特に紀ノ川と那賀川の河川流出水が、南北両端の表層域に対して大きな影響を及ぼしていると推測される。

1998年12月22日(図8A)と2000年12月5日(図8B)の観測では、低温・低塩分水が上層に加えて中層からも進入している。すなわちこれらの観測においては、いずれもWS21の上層に低温・低塩分水が大きく分布し、さらにその下の中層にも小さく分布する独特の構造がみられる。この構造における低温・低塩分水は、1998年12月22日では上層が17~18℃、33.0~33.5PSUであるのに対し中層が18℃、33.5~33.6PSU、2000年12月5日では上層が17℃、32.9~33.0PSUであるのに対し中層が18℃、33.4PSUと、両者とも上層の方がより低温・低塩分となっている。先にも述べたとおり、WS21にみられる低温・低塩分水は那賀川の河川流出水の影響を強く受けていると推測される。したがって、上層の低温・低塩分水は那賀川の河川流出水

の影響をより直接的に受けた水であり、中層のそれは二次的、三次的な影響による水であると推測される。低温・低塩分水が上層と中層から進入するこの独特の構造は、いずれも12月にみられており、季節的な特性があるのではないかと考えられる。

#### 8. 分解・統合による理解

今回検討した観測ラインの鉛直断面分布図のなかには、複数の海洋構造が互いに関係しあいながら存在するというケースがしばしばみられた。例えば、夏季の成層と這い上がり現象では、成層が発達すると底層での這い上がり現象も盛んになる傾向があった。また、底部高温・高塩分水のところでも述べたように、この構造が「ハの字」状分布の構造の中に見いだされる場合がある。これについては、底部高温・高塩分水が「ハの字」状分布の中央下層部の離脱によってできる可能性も示唆された。さらに、北部上層流入・下層流出の構造が「ハの字」状分布の北側半分の構造と重なる場合があった。このように紀伊水道では各々の海洋構造が排他的・独立的に存在するのではなく、いくつかの海洋構造は互いに構造的な共通・共有部分を有し、それらの構造同士が関係しあいながら全体の海洋構造を形成しているものと考えられる。

また、紀伊水道の海洋構造は紀伊水道水、河川・内海系水、黒潮系水、そして這い上がり現象による外洋の亜表層水、の4種類の水の分布様式により支配されていると考えられる。例えば「ハの字」状分布は、観測ラインの南北両側の上層部に低温・低塩分の河川・内海系水が分布し、それらに挟まれて紀伊水道水が分布している構造であった。また、夏季の成層が発達し、二重躍層が形成されると、これら2つの躍層を介して最上層には河川・内海系水が、中間層には紀伊水道水が、最下層には這い上がり現象による亜表層水が分布した。さらに今回は、黒潮系水が表層や、あるいは中・下層を進入し、また中層貫入している海洋構造も捉えられた。

以上のことは、紀伊水道の全体的な海況を、それぞれの海洋構造、それぞれの水といった個々の要素に分解して解釈し、またこれらの要素の組み合わせ如何により統合構築して理解できる可能性を示唆している。このような分解・統合による解釈は、当海域の海況への理解を一層深めることと期待される。

ま と め

1. 1998～2000年に和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場が行った浅海定線観測によるCTD観測結果を用いて、紀伊水道の友ヶ島水道から伊島にかけての観測ラインにおける水温、塩分、密度(Sigma-T)の鉛直断面図を作成し、当海域の微細な海洋構造を検討した。その結果、リング状配列現象、「ハの字」状分布、北部上層流入・下層流出、底部高温・高塩分水、這い上がり現象、夏季の成層といった6つの海洋構造が見いだされた。

2. リング状配列現象は、高温・高塩分水あるいは低温・低塩分水が断面図の中でパッチ状に分布し、その等値線が幾重にも重なったリング状に配列して見える現象である。リング状配列現象が顕著な時の密度分布は成層状態にあった。またこの現象は4～6月に顕著に現れた。

3. 「ハの字」状分布は断面図の南北両側の上層に低温・低塩分水が分布した結果、等値線の全体的な配置が「ハの字」に見える現象である。「ハの字」状分布をもたらす低温・低塩分水の起源は、北側上層が大阪湾内海水と紀ノ川河川水、南側上層が那賀川河川水であると推定された。

4. 断面図の北側に当たるWS7～WS8で周年みられる北部上層流入・下層流出は、大阪湾の内海系水と紀伊水道水の間にかかるエスチュアリー循環であると推測された。この北部上層流入・下層流出は「ハの字」状分布の北側半分の構造と重なることがあった。

5. 底部高温・高塩分水は、その形成機構は不明であるが、この構造が「ハの字」状分布の中にみられる場合があり、これが離脱して生じるのかもしれないと推測された。

6. これまでも幾つかの報告がなされている紀伊水道の這い上がり現象は、夏季の成層が発達する時期に顕著にみられた。

7. 紀伊水道では夏季に成層が良く発達し、水温、塩分、密度の等値線は顕著に水平分布する。1998年8月4日の観測では成層の発達する中で上層部と下層部に2つの躍層(二重躍層)が形成され、最上部に河川・内海系水が、中層部に紀伊水道水が、最下部に外洋から這い上がってきた亜表層水が分布する構造がみられた。

8. 以上の他に、紀伊水道内部への黒潮系水および河川・内海系水の進入現象がみられた。これらの進入現

象は、ほとんどが上層で起きていたが、1999年11月25日には黒潮系水が中層貫入するところが見られた。また1998年1月27日と2000年12月5日には、那賀川河川水の影響を受けたと考えられる低温・低塩分水が、上層と中層に分かれて進入する独特の構造がみられた。

9. 今回の検討で、紀伊水道の全体的な海況は、それを構成する個々の海洋構造に分解されると考えられた。また個々の海洋構造は紀伊水道水、河川・内海系水、黒潮系水、外洋の亜表層水といった個々の水の分布様式に支配されていると考えられた。このことは、紀伊水道の全体的な海況を、それぞれの海洋構造、それぞれの水といった個々の要素に分解して解釈し、また、これらの要素の組み合わせ如何により統合構築して理解できる可能性を示唆する。

謝 辞

本稿を作成するにあたって、財団法人水産研究センター中央水産研究所黒潮研究部の秋山秀樹海洋動態研究室長には貴重な助言を頂きました。また本稿の図は、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場の田中嘉治場長が作成されたプログラムを用いて作成しました。さらに同水産試験場の竹内淳一資源部長には日頃より多岐に渡る御支援を頂きました。あわせて厚くお礼申し上げます。

最後になりましたが、当水産試験場の漁業調査船「きのくに」の乗組員の皆様には、海洋観測に対していつも多大な協力を頂き、その成果の一つとして本稿が仕上がりました。ここに深く感謝いたします。

文 献

- 藤原建紀・宇野奈津子・笠井亮秀・須佐美智嗣・多田光男・地本直弘・中辻啓二, 1996: 外洋から瀬戸内海に流入する窒素・リン. 1996年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 355-356.
- 金田佳久・上田幸男, 1998: 紀伊水道の平均的海洋構造と陸棚斜面水の這い上がり現象. 第4回瀬戸内海資源海洋研究会報告, 15-26.
- 金田佳久・秋山秀樹, 2000: 紀伊水道の海洋構造. 黒潮の資源海洋研究, (1), 1-18.
- 笠井亮秀・川嶋俊貴・藤原建紀・多田光男, 2001: 黒潮の離接岸に伴う紀伊水道内の物理・流動構造の変化. 2001年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 66.
- 竹内淳一, 1986: 紀伊水道における海況の変動—夏・秋季に

- 出現する中・底層の低水温現象ー。南西海区ブロック海洋研究会報告, (3), 69-84.
- 竹内淳一・中地良樹・小久保友義, 1997: 紀伊水道に進入する表層暖水と底層冷水. 海と空, 73(2), 81-92.
- 柳 哲雄, 1996: 大阪湾・紀伊水道の海況変動に対する外洋の影響. 沿岸海洋研究, 34(1), 53-57.
- 吉岡 洋, 1971: 冬季紀伊水道に発生する Oceanic front について. 海と空, 46(2), 31-44.
- 吉岡 洋, 1988: 冬季紀伊水道に発生する沿岸フロント. 海と空, 64(2), 79-111.