

# 黒潮離岸期と接岸期における紀伊水道東部海域の表層海洋環境\*1

諏訪 剛\*2

Surface hydrographic conditions in Kii Channel, at the period of the Kuroshio large meander and non-large meander path \*1

Tsuyoshi SUWA \*2

紀伊半島沖の黒潮離岸距離を経歴的に概観すると、1975～'80年は最大で180海里前後の大きな離岸基調、1981～'90年は最大で80海里前後の離岸基調、1991年以降は20海里前後の接岸基調で経過している(図1)。このように黒潮が離接岸変動をする中、著者らによる海底環境調査や地元漁業関係者からの聞き取り調査などによると、近年、紀伊水道東部海域\*3における多くの地先浅海域でカジメ類をはじめとした藻類が衰退する「磯焼け」が発生している(諏訪他 印刷中)。藻場の盛衰には海洋環境が大きな影響を及ぼすと考えら

れており、特に高水温と貧栄養が衰退をもたらすことはほぼ共通認識となっている(富士 1999)。例えば、川尻他(1981)は伊豆半島で黒潮流軸の接岸時に高水温となり、これが「磯焼け」の主要因と考えられる事例を報告している。また、竹内他(1997)は紀伊水道で認められる継続的な黒潮系暖水の流入が「磯焼け」に及ぼす影響について指摘している。このことから、紀伊水道東部海域で近年発生している藻場の衰退は、1991年以降の接岸基調の継続により高水温、高塩分、貧栄養な黒潮系水による同海域への進入頻度が増し、海況の変化したことが影響している可能性が考えられ

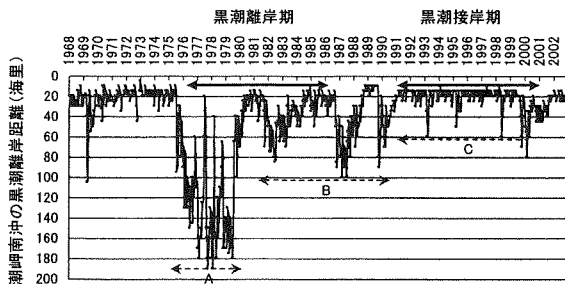


図1 紀伊半島沖の黒潮離接岸変動(1968～2002年)。潮岬南沖の黒潮離岸距離(海里)を示す。横破線で示したA期間(1975～'80年)は最大で180海里前後の大きな離岸基調、B期間(1981～'90年)は最大で80海里前後の離岸基調、C期間(1991年以降)は20海里前後の接岸基調である。横太線は今回の検討で黒潮離岸期とした1976～'85年と、接岸期とした1991～2000年を示す。

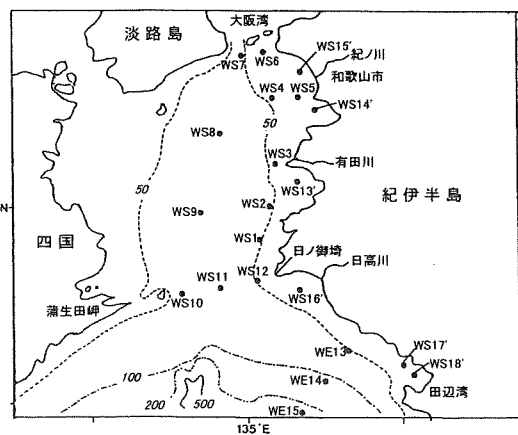


図2 紀伊水道東部海域の調査域図。ドットは浅海底線(WWS 1～18')と沿岸定線(WE13～15)による調査定点を示す。

\*1 平成17年度中央ブロック資源・海洋研究会(平成17年9月:高知市)にて口頭発表した。

\*2 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場, 〒649-3503 和歌山県東牟婁郡串本町串本1551-1  
e-mail: suwa\_t0003@pref.wakayama.lg.jp

Marine Fisheries Experimental Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1551-1 Kushimoto, Kushimoto-cho, Higashimuro-gun, Wakayama 649-3503, Japan

\*3 本報告で述べる紀伊水道東部海域とは、今回の調査対象である和歌山市沖から田辺湾までの海域を指す(図2)。

る。しかし、接岸基調の継続がどのような海況変化をもたらしたか、特にそれを紀伊水道東部海域の全域で検討した報告はこれまでにない。そこで、本報告では水産試験場の定線観測により蓄積されてきた既存データを用い、当該海域の水温、塩分、栄養塩(DIN, PO<sub>4</sub>-P)を離岸期と接岸期で全域的な視点から比較した。なお、今回は藻場の分布水深に比較的近いこと、および過去からのデータが揃っているとの理由から、表面水(水深0 m)の海況変化について検討を行った。

### 資料および方法

本報告では1976~'85年を黒潮離岸期、1991~2000年を接岸期とした(図1)。表面水温と表面塩分は浅海定線(W<sub>S</sub>1~18')および沿岸定線(W<sub>E</sub>13~15)による毎月の観測値を、表面DINと表面PO<sub>4</sub>-Pは浅海定線の特殊項目による四季毎(基本的に冬季は2月、春季は5月、夏季は8月、秋季は11月)の観測値を、それぞれ用いた(図2)。各項目は離岸期と接岸期のそれぞれの期間について平均値を算出した。この作業を、水温と塩分は各月毎に、DINとPO<sub>4</sub>-Pは四

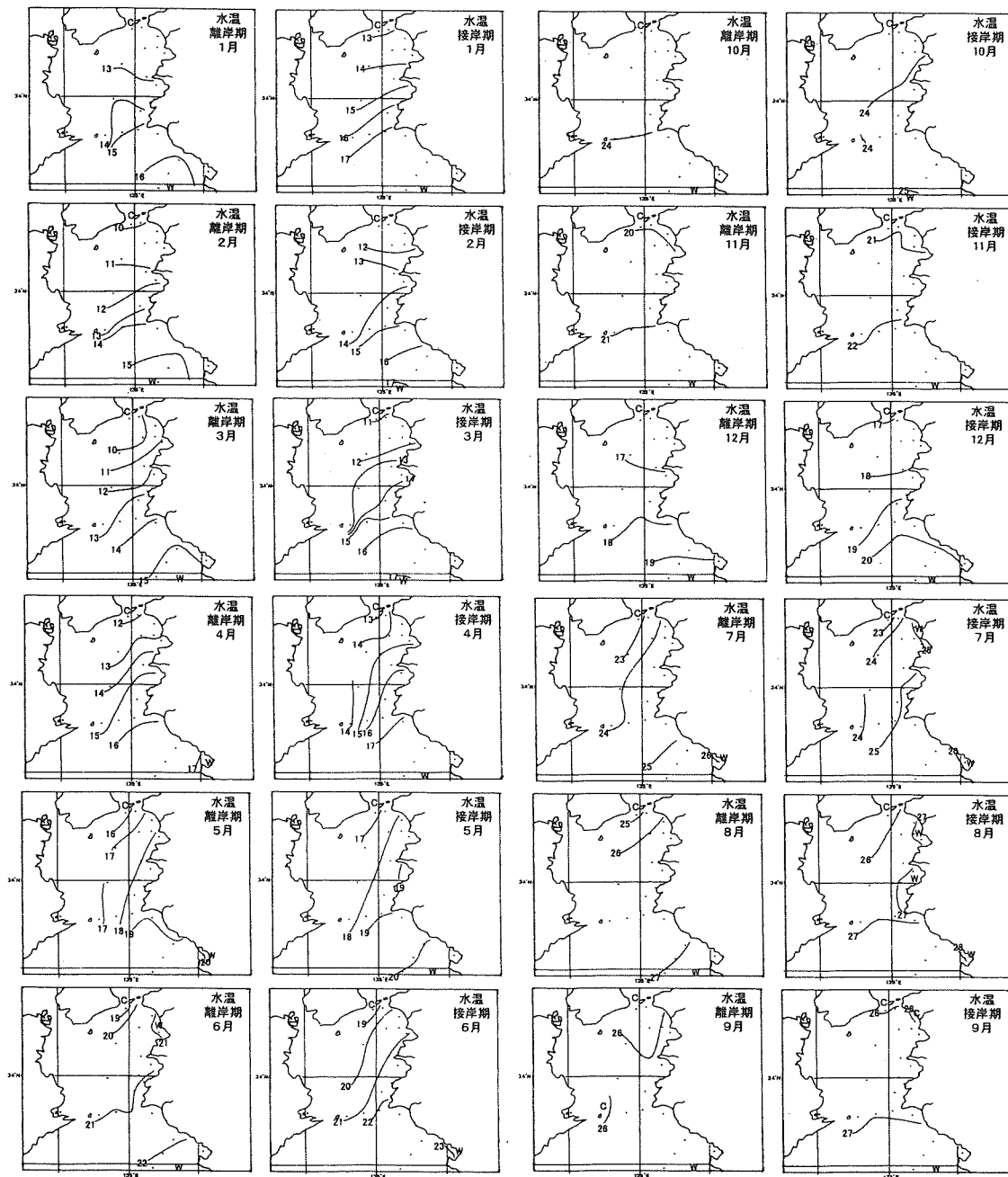


図3 黒潮離岸期と接岸期における各月の表面水温水平分布図(C:低水温域, W:高水温域). いずれの月も離岸期に比べ接岸期には等水温線が北上傾向にあり、特に秋~冬季に顕著である.

季毎に、いずれも各定点毎に行った。次に、紀伊水道東部海域全体での平均値を算出して離岸期と接岸期で差を検討した ( $t$ 検定,  $P < 0.05$ )。さらに、水温と塩分は各期各月毎に、DINとPO<sub>4</sub>-Pは各期各季毎に、それぞれ水平分布図を作成し、離岸期と接岸期で比較した。

なお、DINとPO<sub>4</sub>-Pの単位は $\mu\text{g at/l}$ である。

### 結果

紀伊水道東部海域全体での水温、塩分、DIN、PO<sub>4</sub>-Pの平均値を黒潮離岸期と接岸期で比較した結果は表1~2のとおりである。水温はいずれの月も接岸期の方が高く、5~7月および10月以外の月では統計的な有意性が認められた。塩分は4月、および7~8月を除くと、統計的な有意性は認められないものわずかに接岸期の方が高かった。DINは冬~夏季に

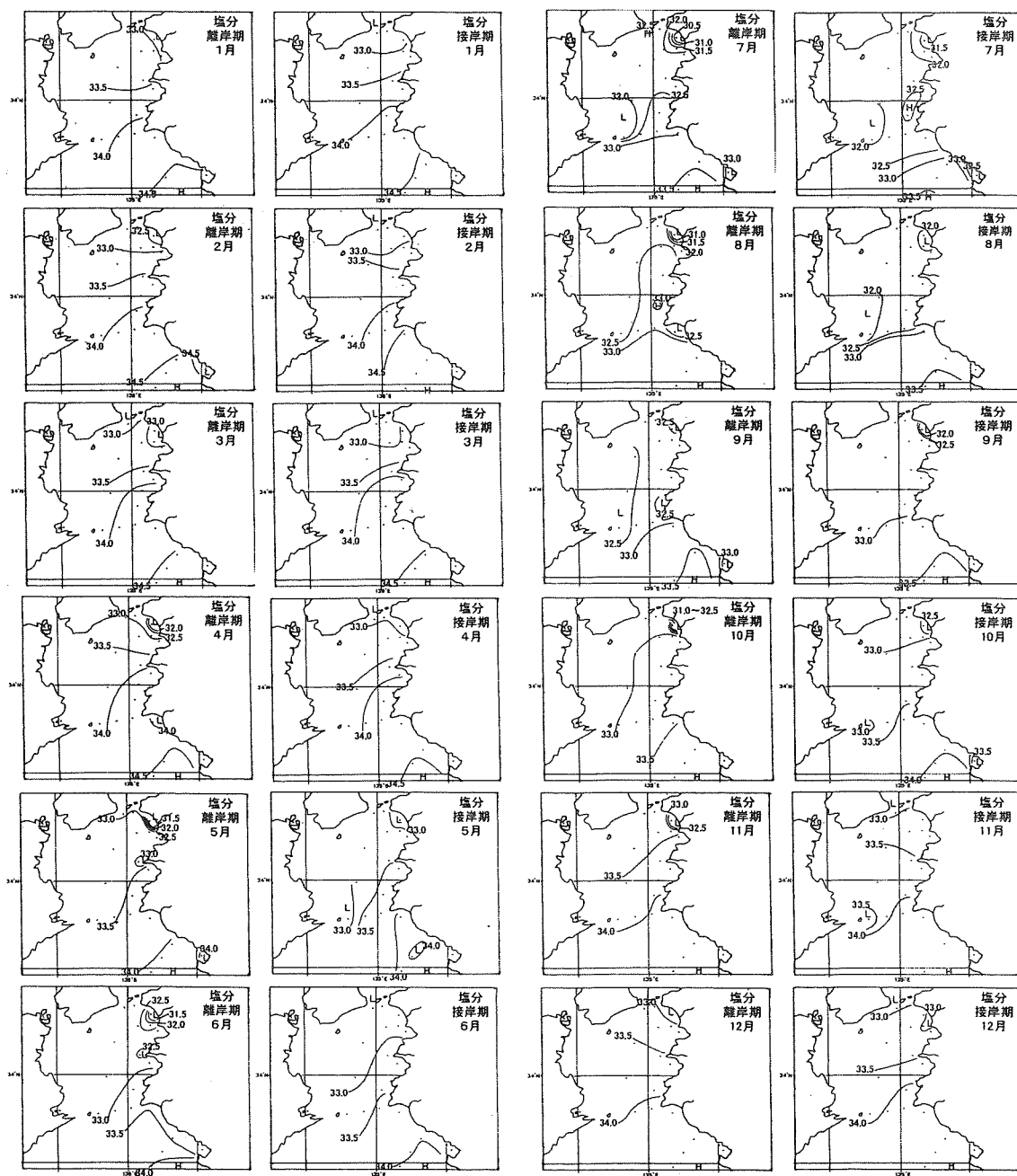


図4 黒潮離岸期と接岸期における各月の表面塩分水平分布図 (H: 高塩分域, L: 低塩分域)。等塩分線の配列は離岸期と接岸期で大きく違わない。ただし、離岸期には紀ノ川をはじめとした河川からの低塩分水の流出が顕著である。

離岸期の方が高く、特に夏季には有意性が認められたものの、秋季にはほとんど違いは認められなかった。 $PO_4\text{-P}$  はいずれの季節も離岸期の方が有意に高かった。

一方、水平分布図は図3～6のとおりである。水温は接岸期に等水温線が全体的に北上する傾向がいずれの月にも認められた(図3)。塩分は離岸期に紀ノ川をはじめとする河川からの低塩分水の流出が顕著であったものの、全体的には離岸期と接岸期で大きな違いは認められなかった(図4)。DINは冬～夏季に離岸期で紀ノ川からの顕著な流出が認められた(図5)。 $PO_4\text{-P}$ も冬～夏季に離岸期で紀ノ川からの顕著な流出が認められ、このことに加えて全域的にも高い傾向が認められた(図6)。

## 考 察

### 1. 黒潮離岸期と接岸期の海況変化

紀伊水道東部海域の表層(水深0 m)海況は、黒潮接岸期で全域的な高水温、低 $PO_4\text{-P}$ が認められた(図3, 6)。黒潮系水は高水温、低 $PO_4\text{-P}$ であるとともに高塩分、低DINでもある。したがって、接岸期の高水温、低 $PO_4\text{-P}$ が黒潮系水の表層流入によるものだとすれば、全域的な高塩分、低DINも同時に起きるはずである。しかし、そのような現象は明瞭に認められなかった(図4, 5)。したがって、今回の検討で得られた離岸期と接岸期での海況の違いには、黒潮系水による表層流入以外の原因があると考えられる。このことについて、水温に関しては気温との、塩分とDINおよび $PO_4\text{-P}$ に関しては河川水との、 $PO_4\text{-P}$ に関しては人為的な排出規制との関係から、それぞれ以下に考察する。

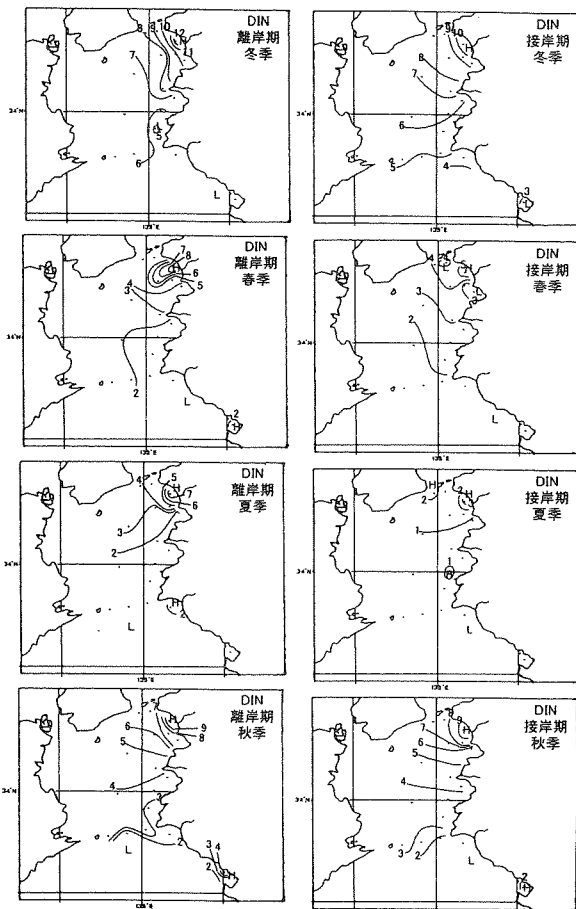


図5 黒潮離岸期と接岸期における各季の表面DIN水平分布図(H:高濃度域, L:低濃度域). 離岸期に紀ノ川からの流出が顕著である.

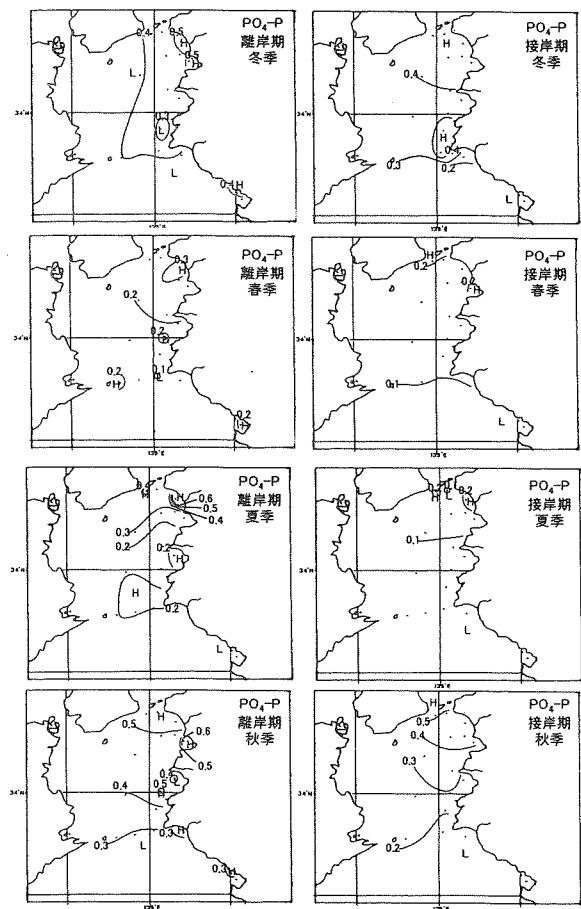


図6 黒潮離岸期と接岸期における各季の表面 $PO_4\text{-P}$ 水平分布図(H:高濃度域, L:低濃度域). 離岸期に紀ノ川からの流出が顕著であるのに加え、全域的にも高い傾向が認められる.

### 1-1. 水温への気温の影響

気温が特に表層の海水温に及ぼす影響は良く知られている。そこで、離岸期と接岸期で平均気温に違いが認められるか検討した。気温のデータは、インターネットの電子閲覧室 (<http://www.data.kishou.go.jp/>) により検索した和歌山市の月平均気温を用いた。これを各月毎に離岸期 (1976~'85年) および接岸期 (1991~2000年) で平均し、前者から後者を差し引いたものを棒グラフで示した (図7)。その結果、気温はいずれの月でも離岸期より接岸期で高く、その差は6月は0.3℃とやや小さかったものの他の月は0.6~1.0℃と大きく、特に1月は1.4℃も高かった。このことから、接岸期の高水温には高気温が関係していると考えられる。

なお、接岸期に高気温であった原因については、地球温暖化の影響などが可能性として考えられるものの、現段階では明らかではない。

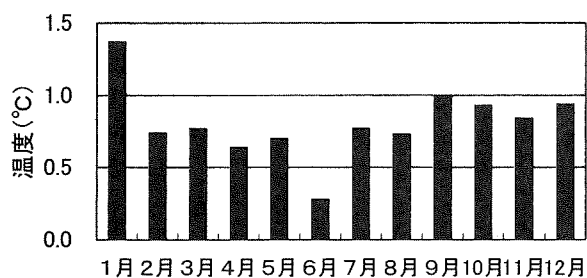


図7 和歌山市における離岸期と接岸期の気温差。接岸期から離岸期の平均気温を差し引いた値である。いずれの月も接岸期の方が高気温である。

### 1-2. 塩分, DIN および PO<sub>4</sub>-P への河川水の影響

大雨後などには、しばしば高濃度の栄養塩を含んだ河川水が大量に海へ放出され、このため河口域周辺の表層では一時的に塩分濃度が下がるとともに、栄養塩濃度が高くなる。図4~6によると、離岸期に認められた高濃度の DIN と PO<sub>4</sub>-P は紀ノ川河川水の影響を強く受けていると考えられる。日ノ御崎以北の紀伊水道東部海域においては、秋~冬季に表層の栄養塩濃度が上昇するのは大阪湾と紀ノ川が供給源であると考えられ (諏訪 2005), これらの水の影響が黒潮の離接岸よりも卓越していると推測される。

なお、竹内他 (1997) は夏季に紀伊水道沖を黒潮の蛇行が通過した時には同水道の底層を陸棚斜面から富栄養な水が北上することを報告している。今回の検討

で離岸期の夏季に有意に高い栄養塩が認められたのは、底層を北上した富栄養水の影響が表層にまで及んだ結果も加わっている可能性が考えられる。

### 1-3. PO<sub>4</sub>-P への人為的影響

瀬戸内海では高度経済成長期における産業活動の活発化による富栄養化の事態に対し、1973年に瀬戸内海環境保全臨時措置法 (1979年には特別措置法) が制定され、産業系排水中のリンの削減指導がなされた (窒素については1995年以降)。このことなどにより、沿岸海域への無機リン流入量が著しく減少した (山本他 2002)。前段でも述べたとおり、紀伊水道の表層栄養塩には紀ノ川や大阪湾の水が大きな影響を及ぼすと考えられる。紀ノ川や大阪湾の水は排出規制によりリン濃度が低下していると推測される。すなわち、離岸期と接岸期の表層 PO<sub>4</sub>-P 濃度の顕著な違いには、1970年代に制定されたリンの排出規制が影響している可能性が考えられる。

今回の検討では、水温には気温が、PO<sub>4</sub>-P には人為的排出規制が、塩分と栄養塩には河川水が、それぞれ影響していると考えられ、黒潮系水の流入による高水温化、高塩分化、貧栄養化を明らかに示すことはできなかった。特に、離岸期に紀ノ川河川水の影響が顕著に表れた原因が現段階では不明であり (気温についてと同様の検討を試みた結果、和歌山市の降水量は離岸期と接岸期で明らかな違いは認められなかった), 今後は河川流量を含めた検討が必要である。

## 2. 接岸期の海況と藻場の衰退

黒潮系水による直接的な影響であることは示せなかったものの、接岸期には紀伊水道東部海域の表面水は高水温であることが今回の検討により明らかとなった (表1, 図3)。この高水温は藻類の生理や食害動物、亜熱帯性の付着生物との競合などに関与して「磯焼け」に結びついている可能性が考えられる。

栄養塩については、接岸期の特に夏季に有意な貧栄養を示す結果の得られたことが注目される (表2)。つまり、紀伊水道東部海域では夏季は表面水の栄養塩濃度が最も低くなる季節であり (諏訪 2005), この時期の栄養塩濃度がさらに低くなることは藻類にとって非常に厳しい環境となる可能性が考えられる。ただし、今回の検討では栄養塩には紀ノ川河川水が大きな影響を及ぼしていると考えられた (図5, 6)。大雨後などの河川水の大量放出による一時的な栄養塩供給

表1 調査域全域における離岸期および接岸期での平均値 (表面水温, 表面塩分).

観測月	表面水温(°C)				表面塩分(PSU)			
	離岸期	接岸期	差*	検定結果**	離岸期	接岸期	差*	検定結果**
1月	14.04	15.37	-1.33	○	33.76	33.83	-0.07	×
2月	12.41	13.94	-1.53	○	33.75	33.86	-0.11	×
3月	12.44	13.82	-1.38	○	33.83	33.87	-0.04	×
4月	14.60	15.70	-1.10	○	33.80	33.75	0.05	×
5月	18.11	18.75	-0.64	×	33.41	33.52	-0.11	×
6月	21.04	21.24	-0.20	×	32.98	33.29	-0.31	×
7月	24.45	24.83	-0.38	×	32.42	32.34	0.08	×
8月	26.48	26.95	-0.47	○	32.62	32.51	0.11	×
9月	26.30	26.67	-0.37	○	32.80	32.92	-0.12	×
10月	23.94	24.17	-0.23	×	33.19	33.31	-0.12	×
11月	20.67	21.71	-1.04	○	33.68	33.73	-0.05	×
12月	17.45	18.66	-1.21	○	33.79	33.76	0.03	×

\* 差 : 離岸期から接岸期を差し引いた値.

\*\* 検定結果 : 離岸期と接岸期で有意な差が認められた場合は「○」、認められなかった場合は「×」とした (*t*検定,  $P < 0.05$ ).

表2 調査域全域における離岸期および接岸期での平均値 (DIN, PO<sub>4</sub>-P).

観測季	表面DIN(ug at/l)				表面PO <sub>4</sub> -P(ug at/l)			
	離岸期	接岸期	差*	検定結果**	離岸期	接岸期	差*	検定結果**
冬季	7.31	6.67	0.64	×	0.43	0.37	0.06	○
春季	3.16	2.56	0.60	×	0.25	0.14	0.11	○
夏季	2.51	1.18	1.33	○	0.25	0.10	0.15	○
秋季	4.65	4.68	-0.03	×	0.42	0.31	0.11	○

\*, \*\* 差および検定結果については表1と同じ.

が, 長期的な時間レベルでどれ程海域の栄養塩濃度の上昇に寄与し, またどれ程藻場に影響を及ぼすかは明らかでなく, このことについては別の機会に検討したい。

### 謝 辞

本報告では和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場(旧和歌山県水産試験場)の調査船により乗組員と研究員が歴代に亘り観測および分析し, 蓄積した結果を利用して頂いた。この方々による業績に対し, ここに敬意を表します。また, 本報告を作成するに当たり惜しまぬ指導と助言を頂いた諸先輩および同僚諸氏に御礼申し上げます。

### 引用文献

富士 昭, 1999: 磯焼け研究の現状. 磯焼けの機構と藻場修復, 谷口和也編, 恒星社厚生閣, 東京, 9-24.

川尻正博・佐々木正・影山佳之, 1981: 下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動. 静岡

県水産試験場研究報告, 15, 19-30.

諏訪 剛・橋本 章・向野幹生: 内湾・沿岸域における漁場環境調査. 平成16年度 和歌山県農林水産総合技術センター事業報告 (印刷中)

諏訪 剛, 2005: 紀伊水道東部海域における栄養塩の季節変化. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告, 6, 169-184.

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—. 南西海区ブロック海洋研究会, 3, 69-86.

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), 49-60.

山本民次・石田愛美・清水 徹, 2002: 太田川河川水中のリンおよび窒素濃度の長期変動—植物プランクトン種の変化を引き起こす主要因として. 水産海洋研究, 66(2), 102-109.