

夏季田辺湾における内部急潮による海水交換

吉 岡 洋*・芹 沢 重 厚**・高 山 知 司***・田 中 祐 志****

1. はじめに

紀伊水道に面する和歌山県の田辺湾における海水交換は、冬季には毎日の潮流混合だけでなく、季節風による吹送流循環や突発的に発生する急潮によって効果的に行われて、湾内の水質が保たれている。一方夏季においては、台風襲来時の高波浪による混合作用以外に強い混合機構が無さそうであるが、湾奥において水質悪化や赤潮発生に悩みながらも水産養殖が盛況である実績を考えれば、他の海水交換機構によって水質が維持されていると考えられる。湾口付近で実施されてきた長期海底設置型 ADCP 観測によると、当湾の夏季の潮流は上下で流れが逆になる内部モードが卓越しており、表層だけの観測(衛星観測や表面水温観測)では見逃してしまうような海面下の流動現象が、夏季の海水交換に寄与しているようである。藤原 (1995), 阿保 (1996) は熊野灘に面している五ヶ所湾において、成層期には湾外に常に存在する内部潮汐が湾内に進行波として伝搬し、湾内で減衰しながら、海水交換に主要な役割を果たしていることを報告している。そこで田辺湾湾口の観測塔周辺で ADCP および水温多層観測を展開し、また湾奥の水産養殖筏において水質の観測を実施して、夏季の海水交換の実態を究明した。

2. 観測方法および観測条件

田辺湾湾口部はほぼ水深 30 m の平坦な海底地形であるが、その中心部に中島と呼ばれる水深 10 m の浅瀬をいただく急峻な孤立海山があり、その上に 1993 年に田辺中島高潮観測塔(京都大学防災研究所白浜海象観測所所屬)が設置されて(図-1 の T), 外洋波浪や海上風などの海象気象観測を実施している。1997 年 7 月から 10 月の期間に、図-2 に示すように、観測塔から 300 m 離れた平坦地(水深 32 m)に、ADCP (RD instrument 300 kHz)を設置し、観測塔および海山の傾斜地に水温計(平均海面下 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 m)を設置した。塔では風向、風速、潮位、波高などがルーチンで測られてい

・ 理博 京都大学助手 防災研究所
・ 京都大学助手 防災研究所
*** フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所
**** 農博 東京水産大学助教授 水産学部

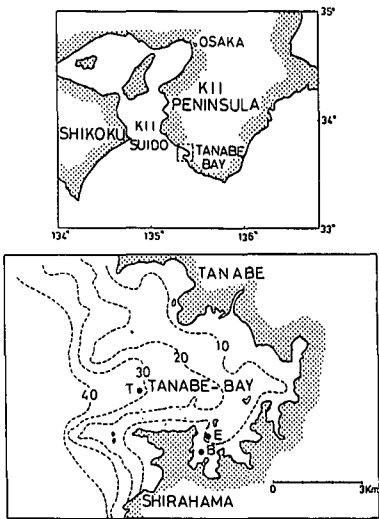


図-1 田辺湾地形および観測点位置

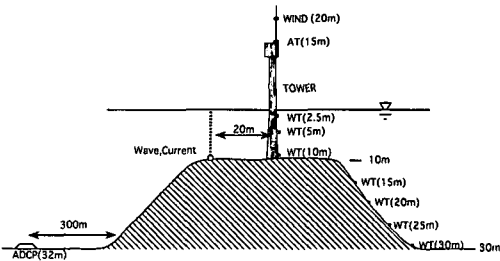


図-2 田辺湾湾口の観測塔周辺の測器配置図

る。ADCP は時間間隔 10 分、層厚 2 m で 20 層の流れと音響反射強度を記録した。後者から算出される反射率は海面付近では碎波による気泡、中低層では動物プランクトンおよび懸濁物の分布を反映していると予想される。湾奥域は日本有数の水産養殖海域であり、近畿大学水産研究所の養魚実験筏も多数配置されている。その水産環境モニタリングとして 5 層の水温 (1, 3, 5, 7, 8 m) がテレメータブイ (図-1 の B 点: 水深 10 m) によって連続観測されている。1997 年はそれに加えて養

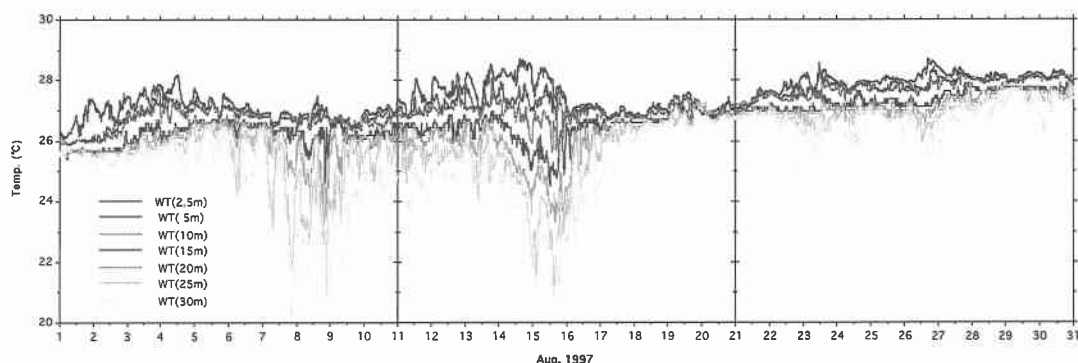
殖筏(図一1のE点:水深15m)において5月19日から10月27日にかけて水質(水温, 塩分, クロロフィルなど)が1日1回正午に観測された(SEABIRD ELECTRONICS SBE-19)。

3. 湾口域の内部急潮

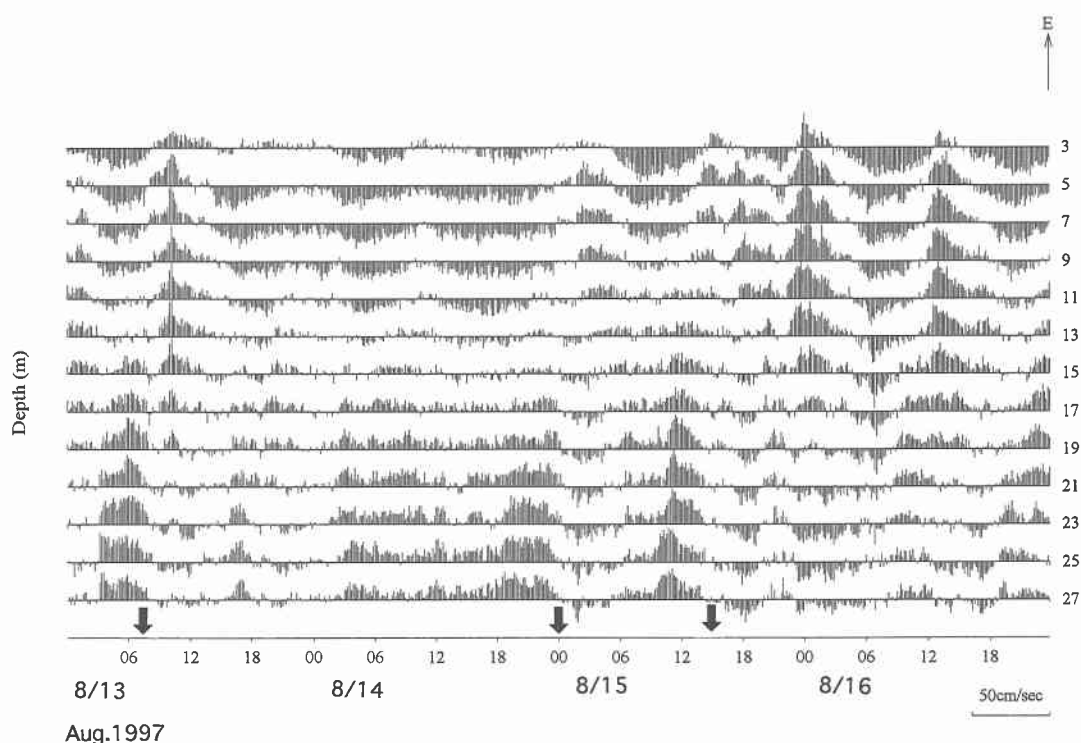
観測期間中は夏季成層期であり, 表面付近(～5m)で海面加熱による成層が日射などの気象条件によって変化しているが, 底層(15m以深)でそれとは全く異なる水温の急変が8月7日前後, 14日前後, 9月19日前後に

現した(図一3)。約3日間に底層の水温は潮汐周期で 2°C 程度上下しながら2～3日間に $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 低下して元に戻っていった。この水温変動は海底に近いほど大きく, 10m以浅の表層ではほとんど現れなかった。

ADCPで得られた流れの記録と照合すると, 潮汐周期の変動において底層水温の下降は海底から10mまでの底層部で沖から湾内に流入する流れと対応していた。図一4は8月14日前後のADCPによる湾内進入方向の流れ成分を水深2mおきに図示したものであるが, 矢印で示す水温下降時に, 海底付近で強い岸向きの流れが見



図一3 田辺湾湾口域で観測された多層水温の変動



図一4 田辺湾湾口域でADCPによって計測された水平流速東西成分の分布(東流が湾に進入する)

られる。さらに ADCP で得られた反射率の分布と比較すると、図-5 に示すように、水温下降と底層の反射率低下がかなりよく対応している。さらに経日変化を見るために、日平均した流速と反射率を照合すると(図省略)、この約3日間の水温急変期には底層で水温が下降し、流れは流入し、反射率は低下する傾向を示していた。すなわちこの水温急変期を通じて底層から低温で低反射率の湾外水の流入が見られた。

ADCP による流れの記録を見ると、内部潮汐は夏季の田辺湾口部において常に起こっているが、水温の急変現

象は図-3 に示すように10日に1回の程度で突発的に発生する。その時に21℃以下の低温水の進入があることは、STD 観測結果と照合すると普段は湾外の50m以上の深層に位置する低温水が湾口水深(30m)まであがってきたことを意味し、沿岸湧昇の可能性がある。

そこで観測期間中に観測塔で観測された海上風、波浪、潮位の変化(図-6)や天気図を検討した。夏季は台風が襲来しない限り、ほとんど弱い南風が卓越しているが、たまに温帯低気圧の前線が通過したり、台風が南近傍を通過すると風が逆転して北西風が吹き(8月5日、8月

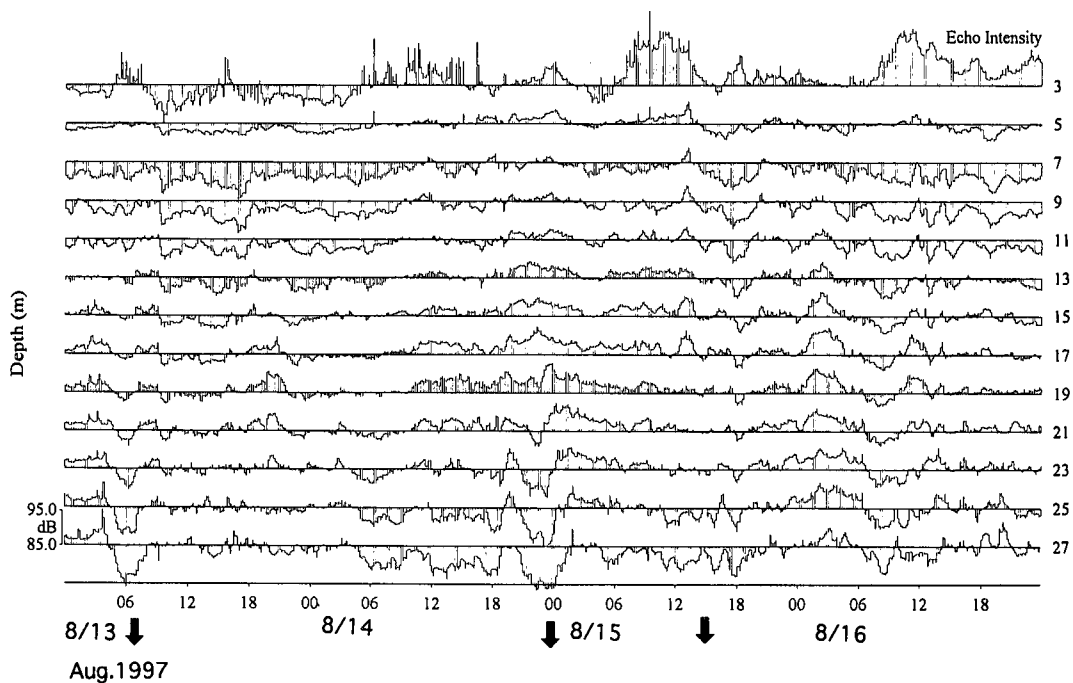


図-5 ADCP によって計測された反射強度(後方反射率)の分布

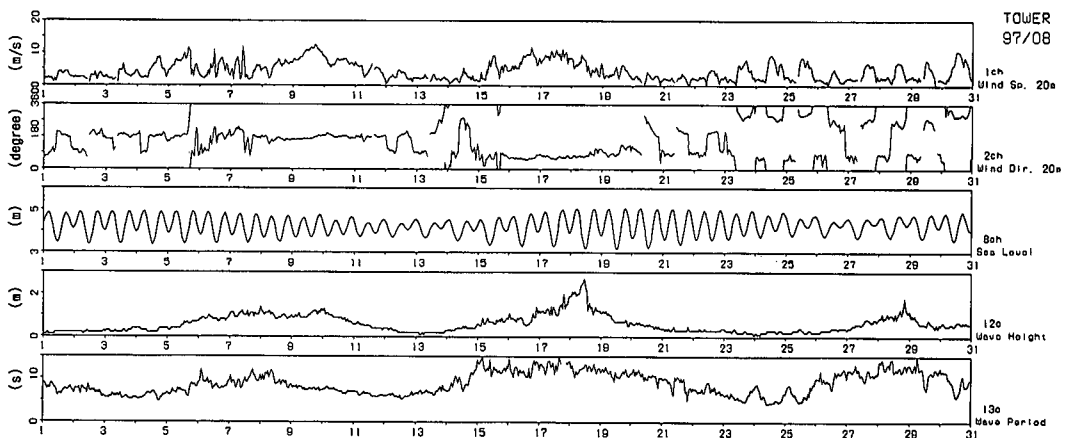


図-6 観測塔における海上風(風速, 風向), 潮位および波浪(平均波高, 周期)の変化

14日, 9月19日), その直後に湾口底層水温の急変が発生していた。強い北西風は紀伊水道東岸に沿岸湧昇を起こすことは知られているが, 夏季のそれほど強くない短期間の北西風は, 湾外深層水が湾海底に食いあがる程度の弱い湧昇を起こし, それが内部潮汐と結合して水温の急変を引き起こしていると解釈できる。このような沿岸湧昇と結合した内部波動的な湾外水の進入は, その突発的な性質が冬季の急潮と似ているので, 普段の内部潮汐と区別して内部急潮と呼ぶことにする。

内部急潮に限らず通常の内部潮汐においても, 湾口域の底層では進入水は低反射率, 退出水は高反射率を示している。進入水の反射率が低いことは懸濁物が少ないことを意味し, おそらく透明度の高いきれいな水と思われ, 懸濁物のフラックスを考えれば湾外への輸送が予想される。それが内部急潮となると, 進入水が湾外深層からの湧昇水であり, 日平均しても経日変化として底層においてきれいな湾外水の流入が認められ, 普段の内部潮汐より大きな海水交換が起こっていると考えられる。

4. 湾奥の水質変化

湾外で内部急潮が発生したとき, 湾奥の水質にいくらかの変化が生じたかを見るために, 湾奥B点で計測された水温変化とE点で計測されたクロロフィルの変化をそれぞれ図-7および図-8に示す。田辺湾奥では養殖により常時富栄養化の状態であり, 降雨等によってセレンなどの微量元素が供給されることが赤潮発生の引き金になると言われている(e.g. Ishimaru, et al., 1989)。降雨によって表面の塩分(図省略)が低下(7/28, 8/8, 8/19)した後, 風が弱い日が2~3日続くと表面水温が上昇して成層が強くなるとともに, クロロフィルは20 mg/lを越えるようになり, 表層で赤潮が発生し(8月3日, 13日, 28日), 底層では貧酸素化し, 養殖魚にとって危険な状態となる。8月5日午後の強い北西風は北に開いた養殖水域内の海水混合を促し, 水温を一様化し, 赤潮を解消した。この時には8月7日に湾口部で出現した内部急潮の直接の影響が見られないのは風による鉛直混合によって湾内の成層が弱くなったため, 内部急潮は湾奥まで伝搬しなかったと推察される。8月14日の北西風は弱いので

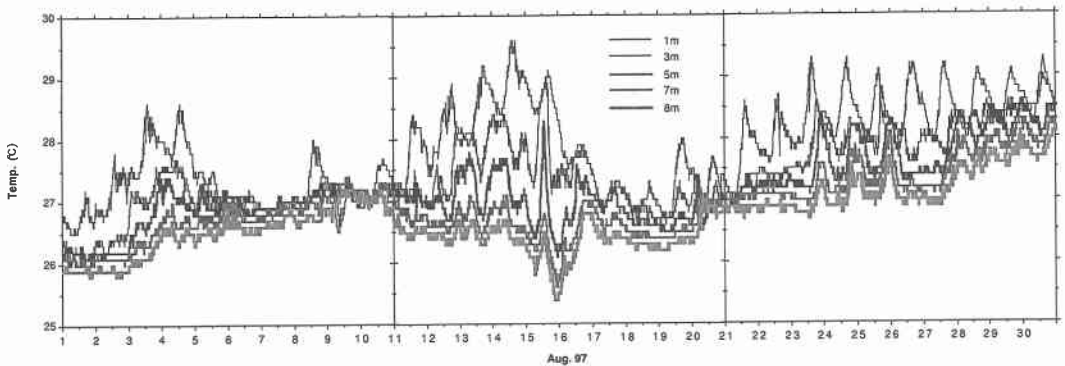


図-7 田辺湾奥の養殖水域(図-1のB点)における多層水温変動

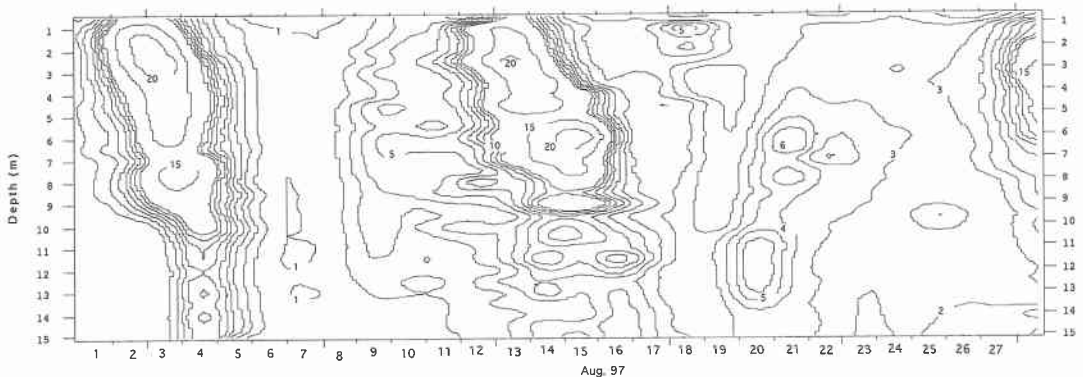


図-8 田辺湾奥の養殖筏(図-1のE点)におけるクロロフィル鉛直分布変化(単位 $\mu\text{g/l}$)

成層は解消しないが、湾口部から進入した内部急潮が湾奥まで及んで湾奥の底層水温が低下するとともに赤潮も解消した。8月30日にも強い北西風が吹き、湾口部に小さな内部急潮が起こり赤潮は緩やかに解消した。以上の観測結果より、内部急潮は風による鉛直混合が不十分な時に、湾奥底層に酸素を供給し、富栄養化水を希釈して水質を維持していることが結論づけられる。

5. ま と め

田辺湾を含む紀伊水道東岸域では、岸に平行な北西風が吹くと沿岸湧昇が起こる。夏季成層期の田辺湾では前線や台風の通過によって北西の風が吹くと、表面には現れない弱い沿岸湧昇と内部潮汐とが重なって、大規模な内部波の形態をとる急潮すなわち内部急潮が発生し、沖の深層から低温水が這いあがって湾口部底層に進入してくる。その水質は懸濁物を含まない清浄な水であると推察される。内部急潮水はあたかも冬季の急潮のように、短時間の内に湾内深く進入し、湾内の貧酸素底層水を一扫または希釈し、湾奥の底層水を浄化する。水産養殖にとって、内部急潮は夏季の水質保全に重要な役割を果たすが、一方では急激な水温変化や底層の貧酸素水の移動を伴うので、養殖魚に一時的な悪影響も与えるかも知れず、その実態把握および予測方法の開発が重要である。北西の風は冬季には季節風として卓越するが、湾の内外ともに冷却鉛直混合で水深100 m以上の深さまで一様

化しているので、内部急潮は起こらない。

謝辞：田辺湾奥における養殖漁場環境データは、近畿大学共同利用センター所有の地域環境モニタリングシステムによって得られた。この水温時系列データとCTDによる継続的観測には、近畿大学水産研究所長・熊井英水教授をはじめ、村田修教授、宮下盛助教授ならびに関係各位の協力を頂いた。また湾口部における水温観測に際しては京都大学農学部 坂本旦教授に協力を頂いた。本研究は京都大学防災研究所の一般共同研究（代表者：田中祐志・東京水産大学）として実施され、ADCP データ解析に関しては、J-GOOSの一環として東京大学海洋研究所杉本隆成教授、広島大学工学部金子新教授のグループで検討された。ここに記してお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 阿保勝之・杜多哲・西村昭史 (1996): 五ヶ所湾への湾外水の侵入と沿岸湧昇, 沿岸海洋研究, 第33巻, 第2号, pp. 211-220.
- 藤原建紀・高橋鉄哉・阿保勝之・杜多哲 (1995): 内部潮汐による五ヶ所湾の海水交換, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1111-1115.
- Ishimaru, T., T. Takeuchi, Y. Fukuyo and M. Kodama (1989): The selenium requirement of *Gymnodium nagnasakiense*. In: Red tides: Biology, environmental science and toxicology. Okaichi, Anderson and Nomoto eds., Elsevier, London, pp. 357-360.