

串本および奄美大島クロマグロ養殖漁場の水温変動特性

高志利宣¹, 坂本 亘¹, 向井良夫², 岡田貴彦³, 宮下 盛¹, 村田 修¹

Regional Difference in Water Temperature Variation in the Pacific Bluefin Tuna Aquaculture Ground, around Kushimoto and Amami-Island

Toshinori TAKASHI¹, Wataru SAKAMOTO¹, Yoshio MUKAI², Tokihiko OKADA³, Shigeru MIYASHITA¹, Osamu MURATA¹

Abstract

Ambient water temperature effects on growth rate and spawning period of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel), in aquaculture. In this study, water temperatures were recorded around one year at the bluefin tuna aquaculture ground in Amami-Island and Kushimoto to understand regional difference in the water temperature variation. The water temperature indicated typical seasonal variation in the Amami Island and Kushimoto. In Amami-Island, the water temperature is kept higher than that in Kushimoto throughout the year. In Kushimoto, the water temperature record has short period fluctuations, which were induced by the small-meander of the Kuroshio and wind forcing. A rapid temperature rising was recorded in the end of April 2003. In the same period, the small-meander of Kuroshio was shown passing through the Cape Shionomisaki, and the Kuroshio detached from the cape from end of April to beginning of May 2002. This change in Kuroshio path relates with the rapid coastal water temperature rising. Abrupt temperature descent events were frequently observed when the strong southwest wind blows continuously at the Kushimoto for more than one day. Such water temperature descent events were thought to occur due to inflow of cold water which was upwelled by the southwest wind blow.

Key words: water temperature, seasonal and short period variation, Kuroshio large- and small-meander, upwelling, wind, bluefin tuna aquaculture,

緒論

近畿大学水産研究所は和歌山県串本町の大島実験場および鹿児島県瀬戸内町の奄美実験場でクロマグロの養殖を行っている。これまでの飼育記録により、それぞれの場所におけるクロマグロの成長や産卵時期などには差異があることがわかっている。このような海域の違いによる成長の違いは水温が主因であると考えられている(熊井, 2004; 宮下 2002)が、クロマグロ養殖漁場における水温の変動特性は調べられていない。

海域の水温は、外海との海水交換、大気との熱収支、河川水の流入などによって決定される。この中でも、外海との海水交換による熱の供給は沿岸域の水温の短期的な変動に影響を与える主要因であることが多い。

¹ 白浜実験場 (Fisheries Laboratory of Kinki University, Shirahama, Nishimuro, Wakayama, 649-2211, Japan)

² 奄美実験場 (Fisheries Laboratory, Kinki University, Keten, Setouchi, Oshima, Kagoshima, 894-1853, Japan)

³ 大島実験場 (Fisheries Laboratory, Kinki University, Oshima, Kushimoto, Wakayama, 649-3633, Japan)

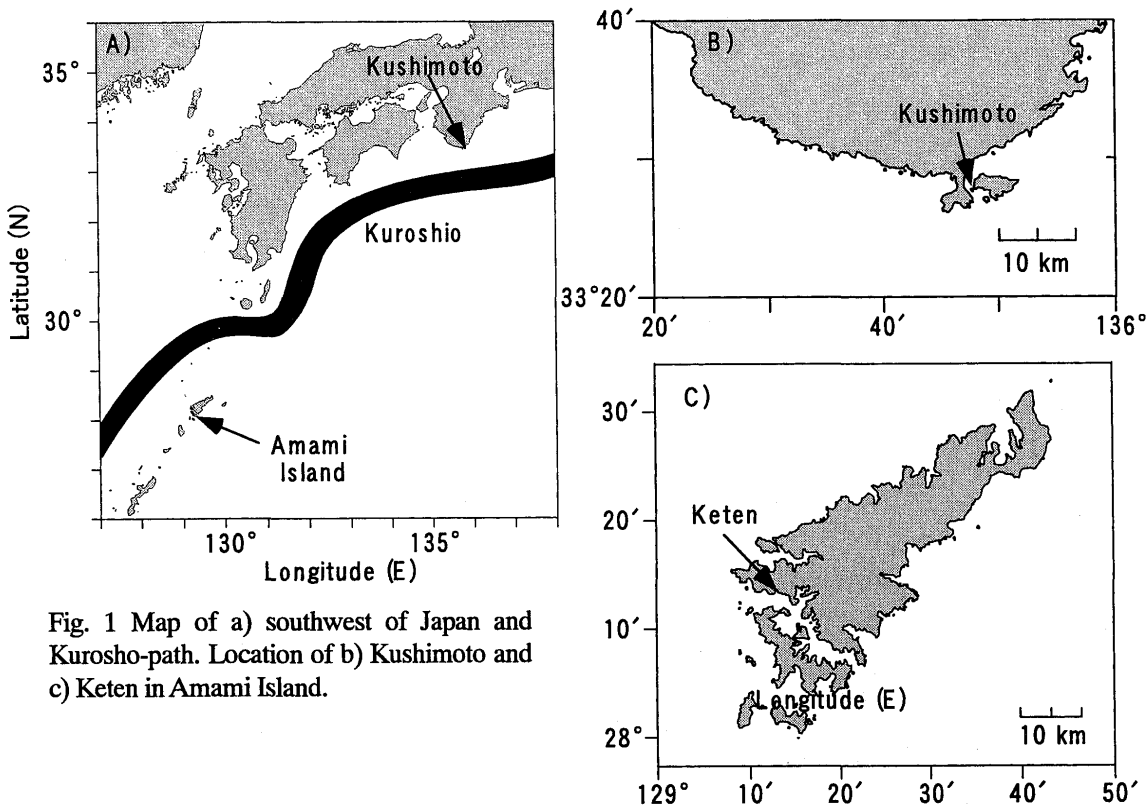


Fig. 1 Map of a) southwest of Japan and Kuroshio-path. Location of b) Kushimoto and c) Keten in Amami Island.

内海と外海との海水交換は、潮汐残差流や外海と内海との密度差に起因する密度流、風による沿岸湧昇流や沈降流などによって行われ、それぞれの海域ごとに特徴がある。

沖合で黒潮が流れる沿岸海域では、黒潮の流路の変動やそれに伴う暖水渦や冷水渦、暖水舌の進入、黒潮前線波動などが沿岸域の環境変動を引き起こしている(松山ら, 1992; Takeoka and Yoshimura, 1988; 竹内, 2005; Takashi, 2006)。宇和島湾や宿毛湾では、黒潮の小蛇行や北縁に現れる暖水渦が暖水を豊後水道に輸送し、水温の急激な上昇を引き起こす(Takeoka and Yoshimura, 1988; 秋山, 1991)。また、相模湾では、三浦半島から進入した黒潮系暖水が、岸を右手に見て岸沿い伝播し、水温の急変を引き起こす(松山ら, 1992)。これらと類似した現象は、紀伊半島周辺海域でも確認されている(竹内, 2005)。

北半球において海岸を左手(南半球では右手)に見て、風が海岸と平行に吹くとコリオリ力により表層水が沖向きに輸送され、それを補うために深層の低温水塊が表層に湧昇する。このような沿岸湧昇で有名な海域としては、カリフォルニア沿岸やペルー沿岸などが挙げられる。これらの海域では、季節風が沿岸湧昇の要因となっているため、その持続時間は数ヶ月の時間スケールで発生している。一方、日本沿岸域では、海岸に平行に吹く季節風は存在しないが、数日スケールでの気象現象により沿岸湧昇は発生し、伊豆半島東岸(Kishi, 1976)や鹿島灘(八木ら, 1999)など各地で報告されている。沿岸湧昇は、串本を含む熊野灘でも発生することが報告されている(竹内, 1987; 田中ら, 1992)。

クロマグロ養殖において水温環境は、その成長や産卵に影響を与える重要な環境因子の一つであると考えられるため、場所の異なる串本と奄美の水温環境を調べることは重要である。本研究では、串本と奄美における季節変動や数日から数週間程度の変動の特徴を明らかにするため、両海域のクロマグロ生簀周辺に水温計を設置し約1年間の計測を行った。得られたデータから、季節変動、黒潮や風による数日から数週間の時間規模で発生する水温変動の特徴を調べた。

材料と方法

水温の計測は、和歌山県串本町浅海および鹿児島県瀬戸内町花天のクロマグロ養殖漁場において行った (Fig. 1)。水温の計測には、Testo177-T4 (Testo AG Inc. Lenzkinch, Germany) を使用した。水温計をクロマグロ生簀外側に設置し、水深 1, 5, 10 m の水温を計測した。計測期間は、串本では 2002 年 9 月 15 日から 2003 年 11 月 20 日、奄美では 2002 年 10 月 15 日から 2004 年 1 月 1 日までである。

黒潮の離岸距離および流路は、海上保安庁海洋情報部が発行している「海洋速報」を参照した。

結果

季節変動 Figure 2 に 24 時間移動平均を施した奄美および串本の水温の季節変動を示す。奄美、串本の水温変動は、温帯域で見られる典型的な季節変動を示している。しかしながら、串本の水温変動は、数日から数週間程度で変動しながら水温が季節的に変化しているのに対し、奄美ではそのような短期間の変動は殆どみられない。最高水温を生データで見ると、串本では 2003 年 9 月 12 日に 28.3°C、奄美では 2003 年 9 月 2 日に 30.2°C で、串本の方が 1.9°C 低くなっている。一方、最低水温は、串本では 2003 年 2 月 3 日に 12.5°C

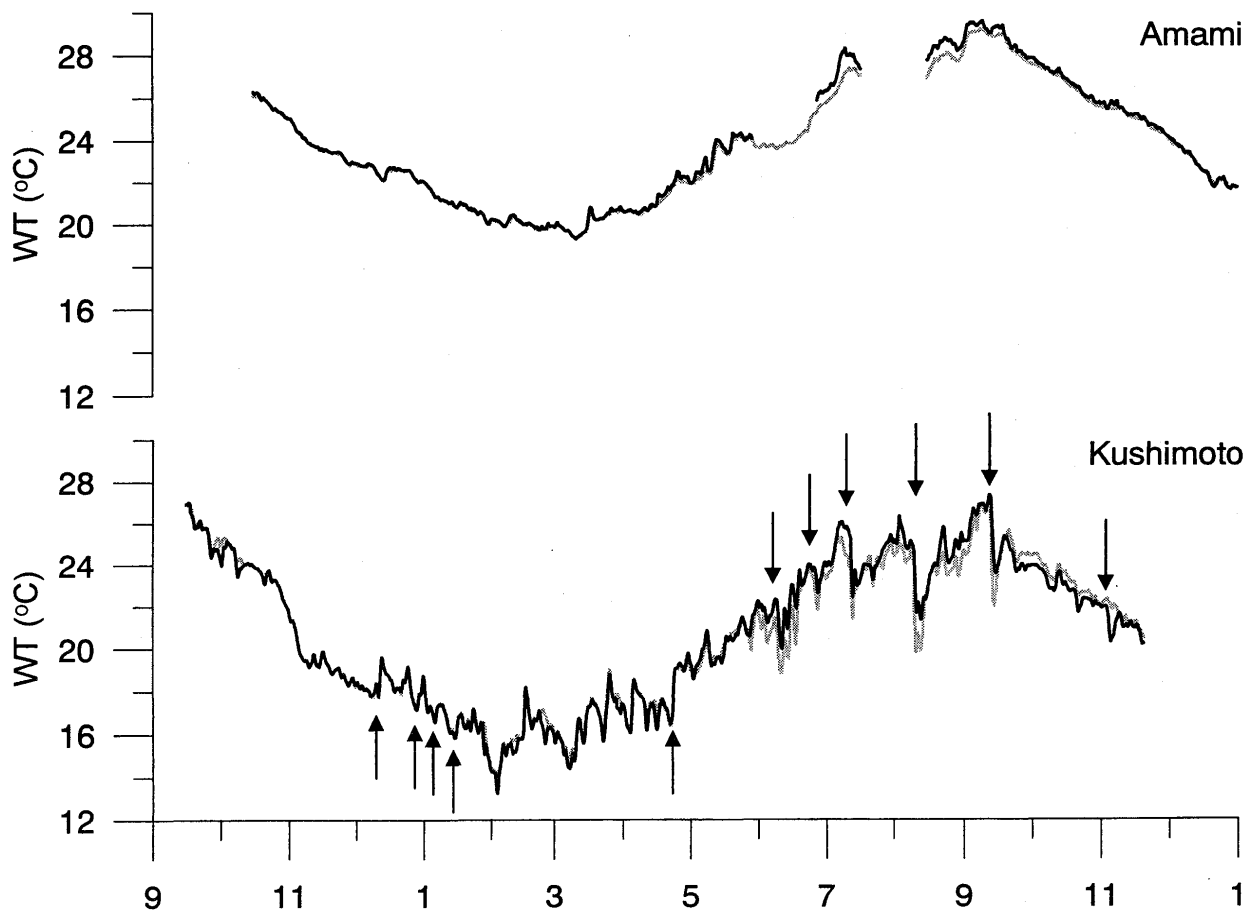


Fig. 2 Variation in the water temperature in Amami Island (upper) and Kushimoto (lower). Black line (0 m), Gray line (at 10 m). Upward and downward arrows indicate the event of water temperature rising and descending.

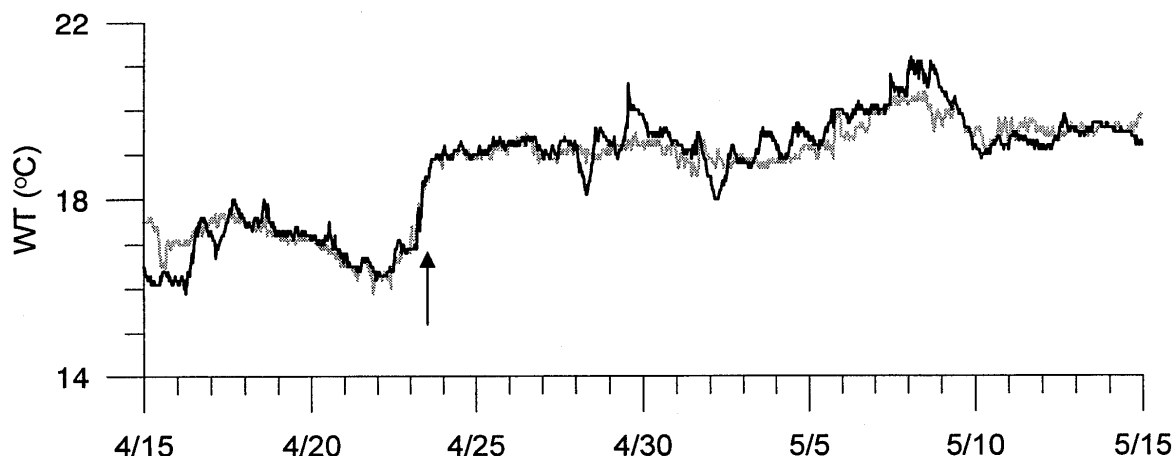


Fig. 3 Variation of the temperature in Kushimoto from 15 April to 15 May 2003. Black line and gray line indicate them temperature measurement at 0 m and 10 m depth, respectively. An arrow indicates the event of water temperature rising.

で、奄美では2003年3月9日に19.0℃であった。串本の方が約一ヶ月早く最低水温に達し、奄美よりも6.5℃低くなっている。年間を通してみた最低水温と最高水温との差は、串本では15.8℃であったが、奄美では11.2℃となっており、奄美の方が季節的な水温変動幅は小さい。

黒潮の流路変動と水温の上昇 串本の水温変動には、小蛇行の通過に伴う水温の上昇現象が現れていた (Fig. 2, Fig. 3)。4月17日から4月23日にかけて串本の水温は緩やかに低下して16℃となった後、4月22日の午後以降に急激に上昇し24日には19.2℃に達した。その後も水温上昇はゆるやかに継続していて、5月8日には21℃を超えていた。

この水温の上昇は、トカラ列島東部で発生した黒潮の小蛇行が東進して、潮岬に到達した時期とよく一致している (Fig. 4)。小蛇行は2002年1月初旬にトカラ列島東部で発生した。発生した小蛇行は東進し、2003年4月下旬から5月上旬に潮岬沖を通過している。その後、黒潮は大蛇行流路には発達せず、非大蛇行離岸流路となっている。潮岬沖での小蛇行の通過は、潮岬から黒潮流軸までの離岸距離にも現れている (Fig. 4)。2003年4月上旬までは、20から30マイルで推移しているが、4月下旬から5月上旬に40から50マイル程度となっていて、黒潮が潮岬から離岸している。その後、離岸距離は短くなり、5月下旬以降はほぼ20マイルで推移している。

串本の水温変動には、小蛇行の通過に伴う水温上昇以外にも2002年12月から2003年1月にかけて水温の急激な上昇が断続的に発生している (Fig. 2, 上向き矢印)。この時期、黒潮は比較的安定して接岸しており、黒潮の流路変動との関連性は見られなかった。

奄美大島から黒潮流軸までの離岸距離は、2003年8月まで若干の変動があるものの70から90マイルで推移している (Fig. 5)。奄美の水温変動と、奄美から黒潮流軸までの離岸距離の変動を比較しても、黒潮の流路の変動に伴う水温の変化は認められなかった。

風による水温の低下現象 熊野灘の沿岸域では、南西よりの風によって沿岸湧昇が発生し、それに伴う水温の下降現象が発生する事が知られている。今回の水温観測の結果にも、沿岸湧昇に伴って発生したと考えられる水温の低下現象が確認できた (Fig.2)。その一例として、串本の2003年8月3日から8月24日まで

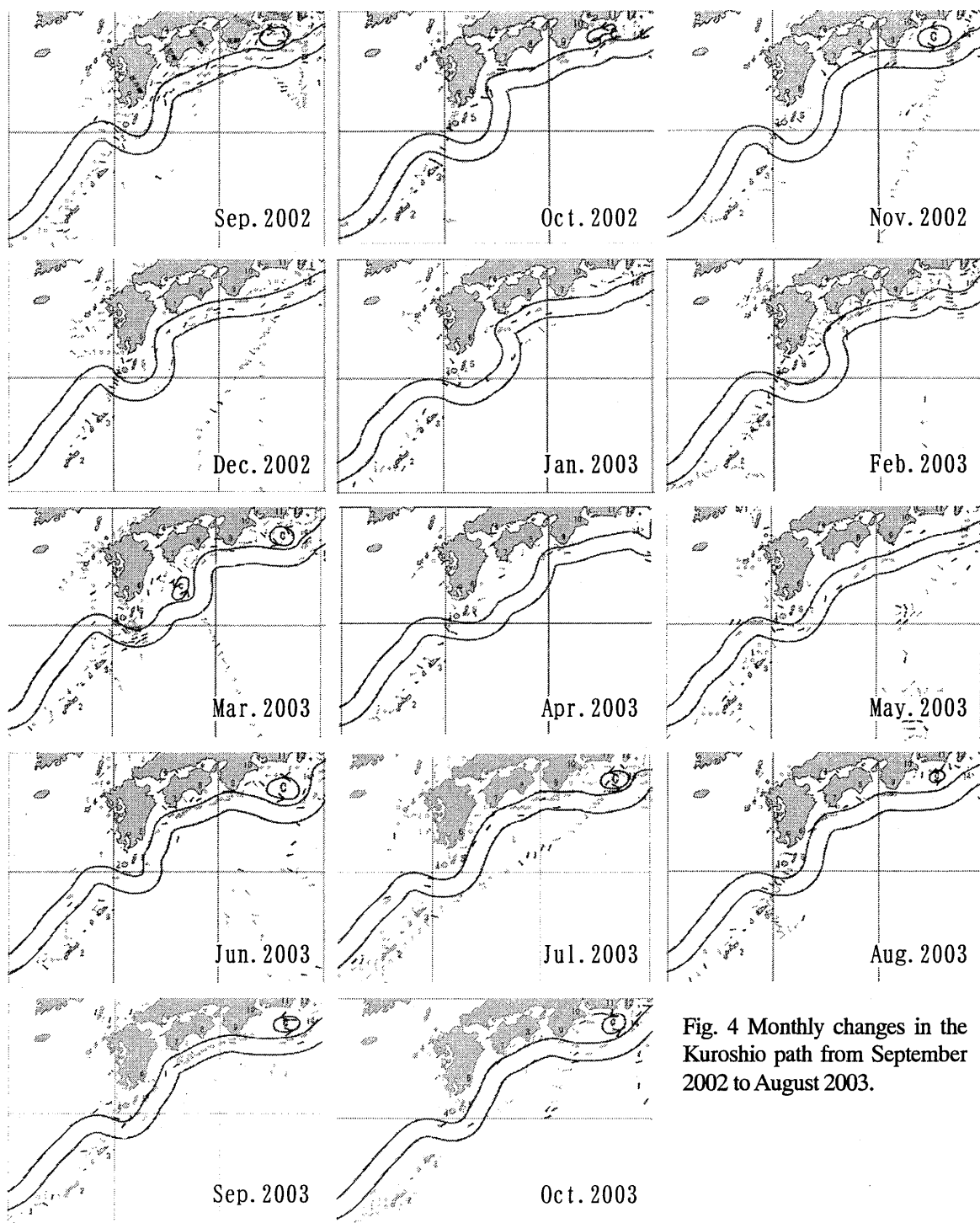


Fig. 4 Monthly changes in the Kuroshio path from September 2002 to August 2003.

の水温の連続観測結果を Fig. 6 に示す。水温は 8 月 9 から 8 月 10 日にかけて、それまでの水温 24-25℃から水温約 18℃まで急激に低下している。水温の低下は、表層の水温よりも水深 10 m の水温の方が現象の進行が早くなっている。また、水温低下現象の前後の水温差は表層では約 4℃程度であったが、底層では約 6-7℃で、底層の方が水温の低下が激しい。水温は 10 日に表底層で上昇しているが、その後 13 日頃までは明瞭な水温上昇は見られず、13 日に上層で 1℃程度、底層で 2℃程度上昇し、8 月 20 日頃には水温低下前と同程度の水温に回復している。

Fig. 6 の上段に潮岬測候所で計測された 1 時間毎の風速ベクトルを示す。期間中の 8 月 8 日から 9 日は、

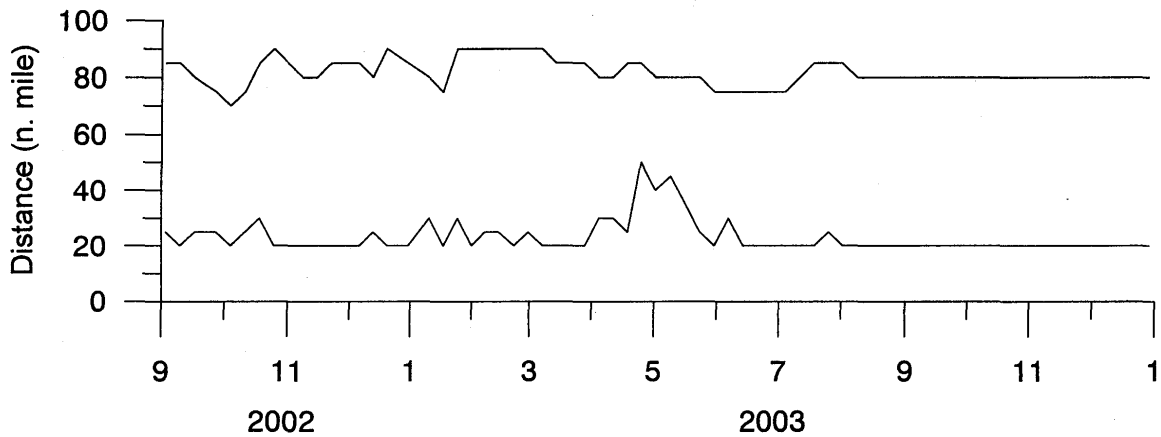


Fig. 5 Temporal change in the distance from Cape Shionomisaki (black line) and Amami (gray line) to Kuroshio.

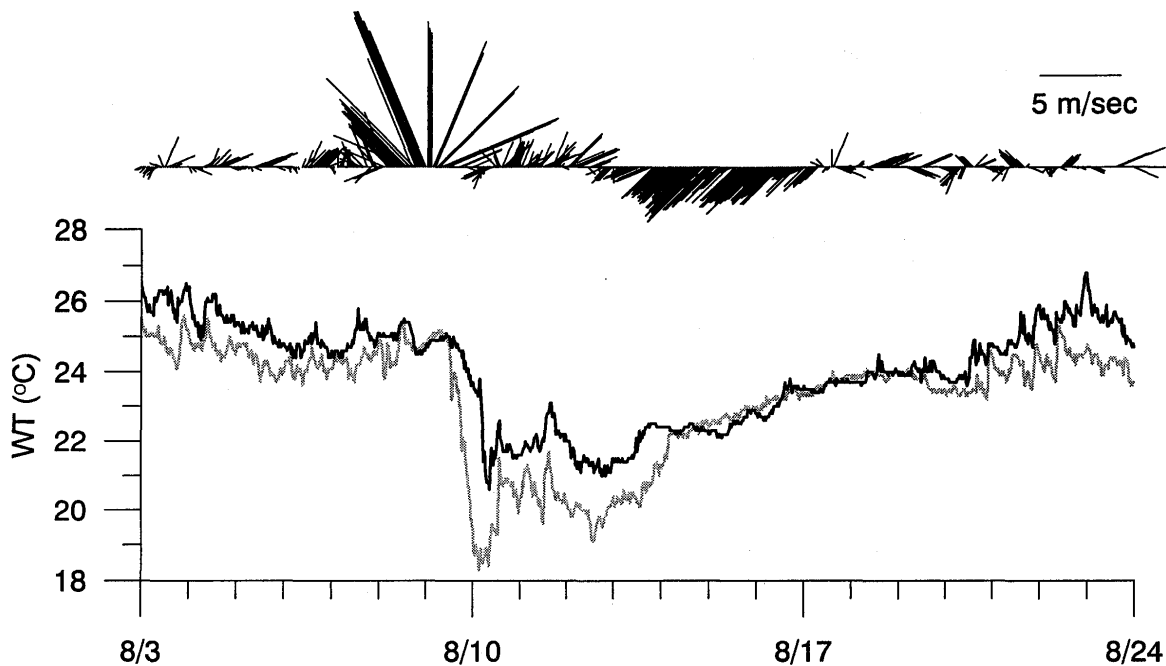


Fig. 6 Variation in the wind velocity at the Cape Shionomisaki (upper figure) and temperature (lower figure) at 0 m (black line) and 10 m (gray line) in Kushimoto from 3 to 24 August 2003. An arrow indicates that upwelling event.

台風10号(0310号)が四国から北陸にかけて通過したことに伴って、5 m/sec から 20 m/sec の強い風が継続して吹いており、風向は南東から南南西に時計周りに変化していた。台風通過中に、風が南風から南南西よりの風に変化したときに、底層で水温の急激な低下が始まっている。その後、風は一度北よりの弱い風が吹くが、再び5 m/sec 程度の南西よりの風が吹き始め、これが12日の昼頃まで継続している。13日以降は4 m/sec から8 m/sec の北東風が吹いていた。

8月9日の水温の急激な低下は、強い南西風が吹き始めたころと一致している。また、底層での水温低下の終息も、強い風が止んだ頃と一致する。その後、水温はすぐに台風以前の水温までには回復せず、やや低い状況が続いていた。しかし、その後、北よりの風が吹き始めると、底層では2°C程度上昇していた。また、例で示した期間以外にも、南西寄りの風が吹いているときに、水温の低下現象が頻繁に発生していた (Fig. 2

下向き矢印)。

議論

奄美および串本の水温変動には、海域間の差が大きく現れていた。季節変動では、両海域ともに典型的な季節変動を示していたが、年間を通しての最高水温、最低水温ともに串本の水温が、奄美のそれよりも低くなっていた。また、数日から数週間程度の変動に関しては、奄美の水温では殆ど確認できなかったが、串本では黒潮の小蛇行や風の影響で著しく水温が変化することがわかった。

串本と奄美の水温の季節変動を比較すると、奄美の水温の方が年間を通して高く推移していた。クロマグロ養殖において、その成長や産卵時期などには水温が影響することが知られている(熊井, 2004; 宮下 2002)。熊井(2004)がクロマグロの成長を沖縄県の八重山と和歌山県串本のクロマグロで比較したところ、串本で養成したクロマグロは3年間で最大体重が50 kgであるのに対し、八重山では2倍の約100 kgにまで成長することを示している。八重山の水温変動は不明ではあるが、奄美大島と串本の水温でこの成長の違いを推察すると、特に冬季の水温がクロマグロの成長に影響している可能性がある。奄美での最低水温は19.0°Cであったのに対して串本では12.5°Cで、その差は6.5°Cである。また、水温が20°Cを下回った日数は、奄美では38日、串本では178日であった。串本で養成されているクロマグロは、この年にだけに限っても1年の半分近くを水温20°C以下で過ごしていたことになる。このような、水温環境の違いは、クロマグロの摂餌量や成長、餌料効率にも影響を及ぼしていると考えられる。

串本において黒潮の小蛇行の通過に伴う水温の上昇が確認された。黒潮の小蛇行が潮岬を通過する以前、黒潮の流路は非大蛇行接岸流路で、黒潮は日本列島南岸を直進していた。このような黒潮の流路の時、紀伊半島周辺海域の水温構造は、潮岬を境として東西で異なる(竹内, 2005)。黒潮が直進(潮岬に接岸)している時、潮岬の西方の水温は黒潮の暖水の進入により高温化する。一方、東部では冷水塊により覆われる。しかしながら、黒潮が大蛇行流路(潮岬から離岸する)時には、潮岬の東西の沿岸水の交換が活発になり、東西の水温差が小さくなることが示唆されている。4月後半に計測された水温の急激な上昇は、黒潮の小蛇行が通過した時に発生していた。このことから、小蛇行の通過に伴う一時的な離岸によって潮岬東西の海水交流が活発になって、串本の水温が上昇した可能性がある。このような、小蛇行通過に伴う水温の変動過程を詳細に明らかにするためには、串本の水温だけではなく周辺の流動構造や水温分布などの物理要因を調べる必要がある。

串本での水温の上昇は、2002年12月から2003年1月の冬季にも確認されている。この期間中、黒潮の小蛇行の通過もなく、沿岸沈降流を引き起こす北東の風の連吹もなかった。竹内(1987 and 2005)は、黒潮が潮岬に接岸傾向であるときに、黒潮水または黒潮系暖水が潮岬東方を北方向に進入し急激な水温変化を引き起こす。この暖水舌の先端は水温勾配の大きいフロントとなっており、沿岸域に暖水舌が伸びてくると水温が急激に上昇する。2002年12月から2003年1月に見られた数度にわたる急激な水温の上昇は、この暖水舌が串本に到達したことにより発生した可能性がある。同様の現象は、串本に近い浦神でも観測されている(田中ら, 1992)。

紀伊半島の熊野灘一帯では、南から西よりの風が卓越するときに沿岸湧昇が発生し、それにより水温が急激に低下することが報告されている(竹内, 1987)。今回の水温の連続記録にも南から西よりの風が吹いたときに、水温の低下が確認できた。8月9日から10日にかけて串本で記録された急激な水温低下も台風10号の通過に伴って南から西よりの風が吹いた時期とほぼ一致しているため、この急激な水温低下は風により発

生した沿岸湧昇によってもたらされたものと考えられる。また、台風に伴う強い風が収まった後も水温が回復しなかったのは、13日までは5 m/sec程度の南西寄りの風が吹いていたため、沿岸湧昇が継続的に発生していたためであると考えられる。

黒潮の大蛇行や非大蛇行といった流路の変動は、沿岸域での物理、生物、化学的な変動をもたらすことが明らかになっている(例えば竹内ら, 1997; takashi *et al.*, 2005; 兼田ら, 2002)。特に、串本に近い紀伊水道では、黒潮の離岸距離と水温や栄養塩濃度の経年変動の間には密接な関連性があり、黒潮が40 n.mileまでは距離が離れるとともに水温が低下し、離岸距離が40 n.mile以上になると水温がやや上昇することが解析的に明らかにされている。本研究で水温計測した期間中、黒潮流路は非大蛇行接岸流路および非大蛇行離岸流路となっていた。そのため、黒潮が大蛇行流路となったとき、串本や奄美での水温の変動には今回と異なる結果が得られる可能性もある。特に、年間を通しての平均水温などには影響を与えている可能性もある。本研究で解析したデータは約1年間のデータであるため、今後はさらに長期間のデータを解析することで、黒潮の流路と奄美、串本の水温変動との関係を明らかにする必要がある。

本研究の結果から、串本では短期間の水温変動が頻繁に発生していたが、奄美では殆ど確認できなかった。この理由の一つとしては、養殖漁場と交換する外海水の水温の鉛直分布が、関係している可能性がある。黒潮を基点として奄美と串本を比較すると、奄美大島は黒潮の南の沖側に位置し、串本は岸側に位置する。一般に、黒潮流軸より沖側では水深数100 mまで暖かい水塊によって占められている。一方、沿岸側では、比較的水温の低い水塊が、表層付近にまで上昇している。そのため、奄美大島の養殖漁場では、突発的な外海水との海水交換が発生しても、低温水の流入は殆ど観測されてないのかもしれない。また、黒潮の流路はトカラ列島より西部では大きく変動するものの、トカラ東部では殆ど流路の変化が見られない。このような違いも、串本と奄美での水温変動の違いに影響している可能性がある。両海域での水温変動様式の違いを詳細に明らかにするためには、串本および奄美大島での養殖漁場から外海にかけての水温、塩分の鉛直断面分布を調べることが有効であると考えられる。

串本では、風による沿岸湧昇や黒潮の小蛇行の通過などにより、水温が変化することが明らかになった。このような、水温変化は養殖漁場と外海との海水交換によりもたらされるものであるため、漁場における溶存酸素濃度や有機物、濁り、海底付近の懸濁物質など水質の改善に寄与していると考えられる。一方で、養殖生簀内の魚類は、短期間で急激な水温変化を経験することになる。このような、急激な水温変化が養殖魚類の生理や行動、摂餌量に対してどのような影響をもたらしているのかは明らかになっていない。今後は、このような環境変動の発生要因を解明すると同時に、環境変化が養殖魚類の行動、成長に及ぼす影響を明らかにすることも必要であると考えられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、多大なる御協力を頂いた近畿大学水産研究所大島実験場、および奄美実験場の職員各位、2003年度農学部水産学科卒業生の上土生起典氏に深く感謝致します。本研究は、文部科学省21世紀COEプログラム「クロマグロ等の魚類養殖産業支援型研究拠点」、およびCOE萌芽研究助成金の支援を受けて行われました。記して謝意を表します。

文献

- 秋山秀樹(1991): 宿毛湾の急潮. 沿岸海洋研究ノート, 29, 90-96.
熊井英水(2004): マグロ類の増養殖の現状と将来. マグロの科学—その生産から消費まで—, pp.56-76.

- 田中祐志, 篠原 潤, 津田良平 (1992) : 浦神湾の急潮. 沿岸海洋研究ノート, **30**, 37-44.
- 竹内淳一 (1987) : 熊野灘南部海域における暖水舌と沿岸湧昇, 海洋科学, **19**, 447-445.
- 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**, 81-92.
- 兼田淳史・乗松桂輔・渡辺浩三・小泉喜嗣・武岡英隆 (2002) : 黒潮の離接岸が豊後水道の水温に与える影響. 沿岸海洋研究, **39**, 181-188.
- 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.
- 宮下 盛 (2002) : クロマグロの種苗生産に関する研究. 近畿大学水産研究所報告, **8**, 1-171.
- Takashi T, T. Fujiwara, T. Sumitomo, W. Sakamoto (2006) : Prediction of slope water intrusion into the Kii Channel in summer. *Journal of Oceanography*, **62**, 105-113.
- 松山優治, 岩田静夫, 前田明夫, 鈴木 亨 (1992) : 相模湾の急潮. 沿岸海洋研究ノート, **30**, 4-15.
- Takeoka, H. and T. Yoshimura (1988) : The kyucho in Uwajima bay, *Journal of Oceanography*, **44**, 6-16.
- Kishi, M (1976) : Upwelling along the East Coast of Izu Peninsula (I). 海と空, **51**, 105-113.
- 八木 宏, 日向博文, 内山雄介, 灘岡和夫 (1999) : 熱変動特性から見た夏季鹿島灘沿岸域における海水流動特性の解明. 海岸工学論文集, **46**, 396-400.
- Kimura, S. and T. Sugimoto (1993) : Short-period fluctuations in meander of the Kuroshio's path off Cape Shionomisaki. *Journal of Geophysical Research*, **98**, 2407-2418.