

沖縄島西海域の水温特性*1

鹿熊信一郎・諸見里聡・灘岡和夫*2・大見謝辰男*3・岩尾研二*4・森永健司*5

1. 目的

1998年夏、沖縄周辺海域は高水温が続き、各地でサンゴの白化現象がおきた。沖縄島西岸に分布するサンゴの卵供給源となっていると考えられる慶良間諸島、チービシでも白化はおきたが、その程度は他海域と比べて軽く、回復状況も良かった(亜熱帯総合研究所¹⁾、谷口・岩尾²⁾、大見謝ら³⁾)。当海域の水温が他海域より低いことがこの理由の1つと考えられる。沖縄島沿岸域および沖合域で実施している水温観測ネットワークの観測結果から低水温の原因を考察する。また、黒潮系暖水が当海域へ伝搬する方向、速さ、周期等を検討する。

2. 方法

(1)小型メモリー式水温計Tidbitによる水温観測ネットワーク(ORTMN: Okinawa Regional Temperature Monitoring Network, 鹿熊ら⁴⁾)から、久米島(4点)、粟国島(2)、渡名喜島(2)、阿嘉島周辺(20)、渡嘉敷島(1)、チービシ(3)、恩納村赤瀬(2)、宜野湾(2)、糸満漁港(1)の測点のデータを使用した。期間は2000年4月～2001年3月である。Tidbitの設置回収には、各地区の漁業者、ダイビングショップのご協力をいただいた。

(2)耐久性浮魚礁(ニライ)1号、3号、8号、13号の水深4m部水温観測結果を使用した。

表1 ニライ位置

ニライ名	ニライ1号	ニライ3号	ニライ8号	ニライ13号
位置	知念南東	久米島北東	糸満南	粟国島北西
北緯(度分)	25° 59.50	26° 40.40	25° 53.61	26° 40.05
東経(度分)	128° 00.50	126° 56.80	127° 41.01	127° 09.80

(3)(株)有村産業のフェリー「飛龍21」の船底部(水深6m)水温を5分間に1回測定した。飛龍21は那覇-石垣間を週1回往復している。この間を経度15分間隔で14に分け、その中点を各々St.1～St.14とし区間内全測定値の平均を各ステーションの水温とした(鹿熊・森永⁵⁾)。このうち、那覇よりのSt.1とSt.2のデータを使用した。このデータだけ期間は1994年5月～2001年8月である。

(4)沖合沿岸定線観測の往路は、久米島-粟国島間を通り糸満漁港へ寄港する。この際実施したサーモサリノグラフ(船底直下の水温塩分を連続して記録する)・XBT観測結果を使用した。

(5)農学情報資源システムAGROPEDIAよりダウンロードしたNOAAの海面温度図を補助的に使用した。

3. 結果

(1)慶良間・チービシ海域の夏期低水温傾向

図2に、2000年6月～12月の阿嘉島、チービシ、粟国島におけるTidbit測定結果を示した(25時間移動平均値)。阿嘉島は西岸水深約1m(潮位表基準より)、チービシはナガンヌ島南水深約3m、粟国島は南側の粟国港内部水深約2mである。慶良間・チービシ海域は、粟国島と比べて夏に水温が低く、冬にやや高い傾向を示した。また、変動幅が小さく比較的安定していた。この傾向は、慶良間・チービシ海域の他の21点と赤瀬や久米島等他海域との比較にも認められた。

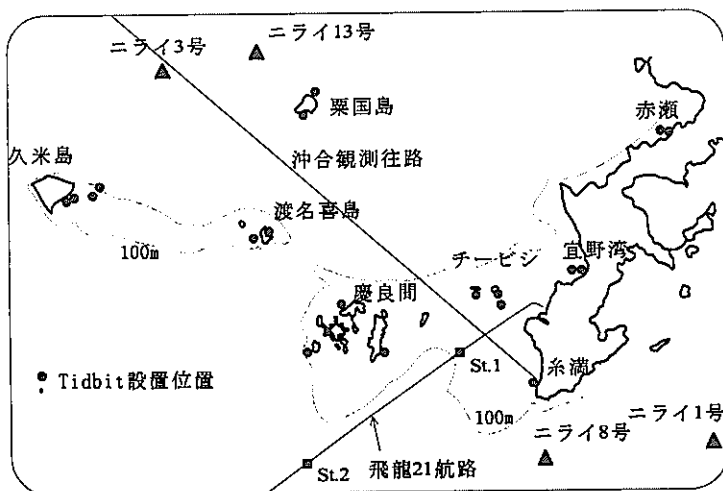


図1 観測点位置図

*1 海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業の一環。

*2 東京工業大学 *3 沖縄県衛生環境研究所 *4 阿嘉島臨海研究所 *5 西海区水産研究所

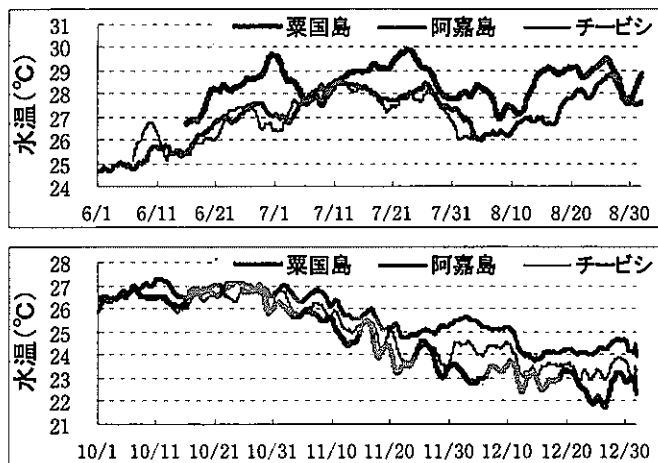


図2 粟国島, 阿嘉島, チービシ水温比較

図3に、阿嘉島と沖合域のニライ3号との比較を示した。夏はニライ3号のほうが高かったが、冬は同程度だった。

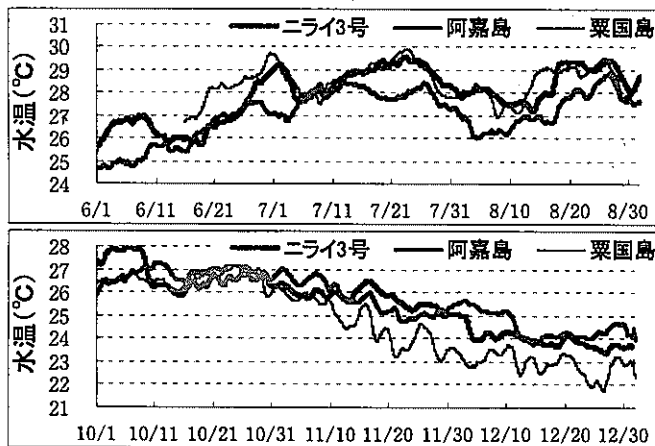


図3 ニライ3号, 阿嘉島, 粟国島水温比較

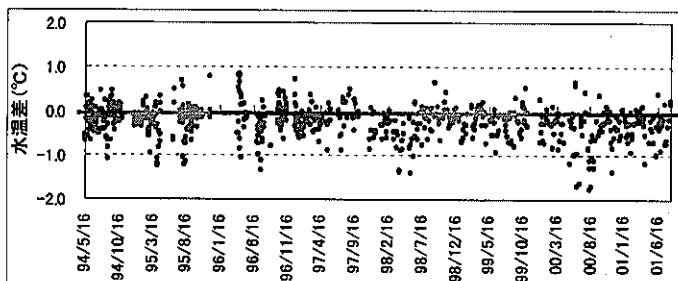


図4 飛龍21航路上St.1, St.2の水温差

(2)飛龍21航路上St.1, St.2の水温

図4に、1994年～2001年の723航海におけるSt.1とSt.2の水温差(St.1 - St.2)を示した。St.1は水深100m以浅の陸棚上, St.2はその外側になる。全般

にSt.1のほうが水温が低かった。平均水温差は-0.25°C, 標準偏差は0.4だった。5月～10月を高水温期, 11月～4月を低水温期として水温差を調べた結果, 両者に差はなかった。

(3)水温変動のパワースペクトル

図5に久米島, 粟国島, 渡名喜島, 赤瀬, 宜野湾の水温(1時間移動平均値)をスペクトル解析した結果を示した。24時間以上30日以下の周期である。24日の周期があった。

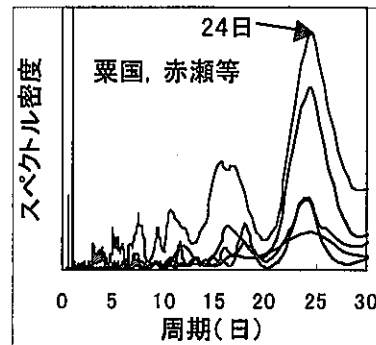


図5 粟国島等の水温変動周期

図6に阿嘉島, チービシの水温のスペクトル解析結果を示した。ともに15日の周期があった。

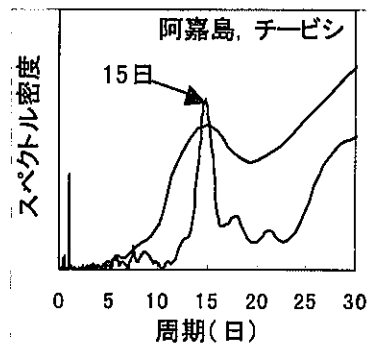


図6 阿嘉島等の水温変動周期

(4)黒潮系暖水伝搬

図7に2000年8月, 9月, 11月, 12月のニライ8号と1号の水温(25時間移動平均値)を示した。2つのニライは東西に約40km離れ, ニライ8号が西側に位置する。水温が急に上昇する時点を縦線で示した。まずニライ8号で水温が急に上がり, しばらくしてニライ1号で水温が上昇した。図示した6回の水温上昇の時間差は, 11月中旬のものを除いて平均25時間だった。暖水が東へ伝搬したと仮定すると, その速さは44cm/sだった。NOAA海面水温図からも暖水が西から東へ伝搬する様子がうかがえた。

粟国島北西のニライ3号と13号は, 東西に約25km離れている。図8に両者の水温を示した。西側のニライ3号で水温が先に上昇することもあれば, 東に位置するニライ13号のほうが先に上昇することもあった。また, ほぼ同時に水温が急変したり, どちらか一方だけ急激な水温変化があることも多かった。

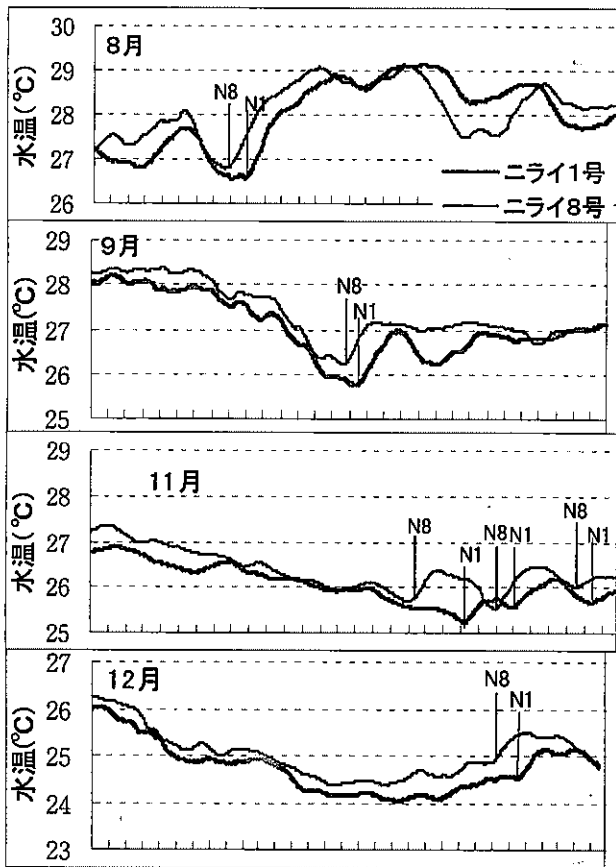


図7 ニライ1号, ニライ8号水温

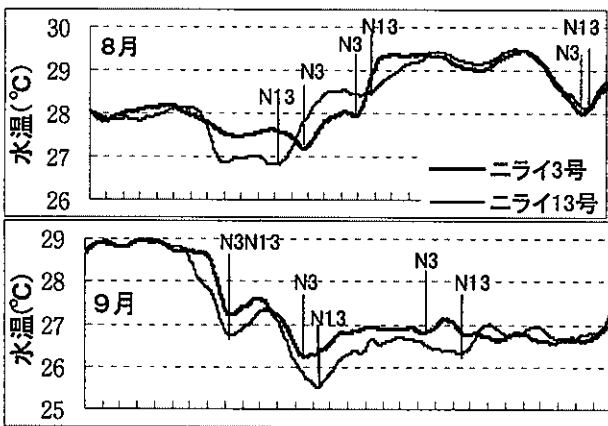


図8 ニライ3号, ニライ13号水温

図9に粟国島と阿嘉島の水温を示した。粟国島が北側に位置している。水深の影響を小さくするため、日最低水温の25時間移動平均値を用いた⁷⁾。同時に水温が急上昇することもあったが、北側の粟国島のほうが早いことが多かった。

図10に2000年6月7日の沖合定線観測往路ADCP・サーモサリノグラフ水温観測結果を示した。水温フロントは、黒潮端ではなく、南西の流れとなっている粟国島南に形成されていた。水温フロントが黒潮反流あるいは黒潮東縁辺に形成される時計回り

の流れの位置に形成されることは、他の沖合定線観測の際もしばしば観測されている。

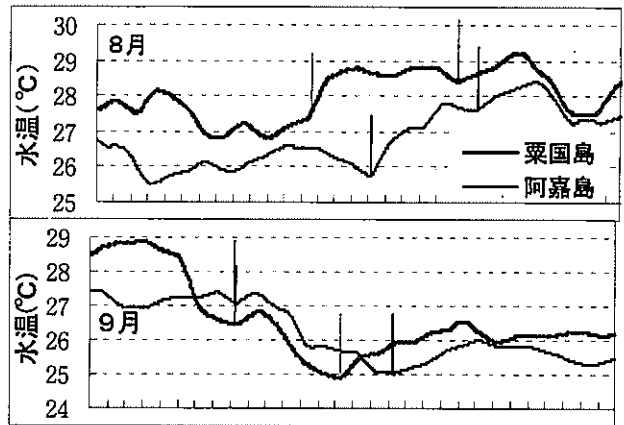


図9 粟国島, 阿嘉島水温

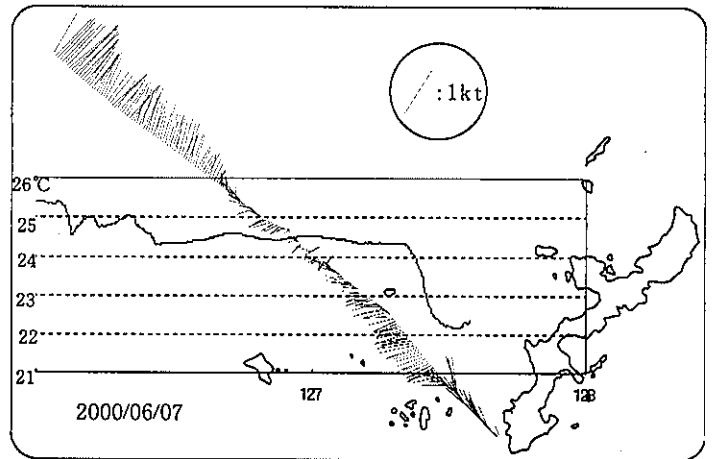


図10 沖合定線往路ADCP・サーモサリノグラフ観測結果

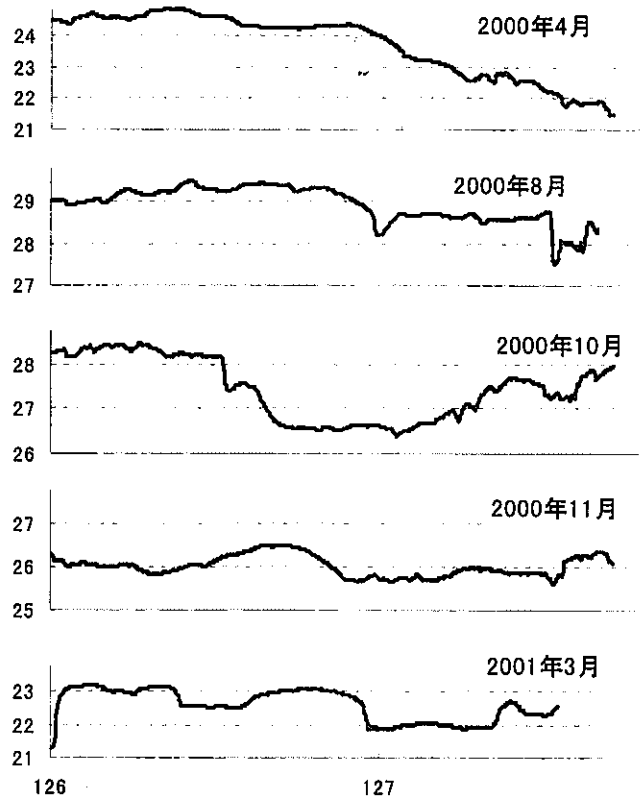


図11 沖合定線往路サーモサリノグラフ観測結果

図11に2000年4月～2001年3月のサーモサリノグラフ水温観測結果を示した。水温フロントの形成されている経度は大きく変化しており、黒潮系暖水が当海域に影響を及ぼす程度も大きく変化することを示唆している。

図12に、チービシ神山島南水深約19m、ナガンヌ島南水深約3m、宜野湾の水温を示した。チービシ深場の水温は、浅場の水温よりやや低めで似たような変動を示した。

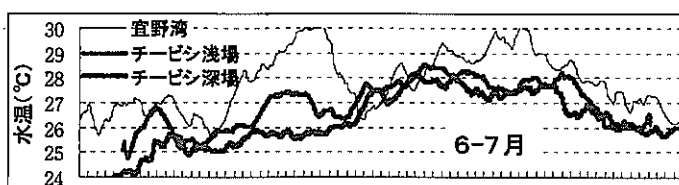


図12 チービシ深場・浅場、宜野湾水温

沖合定線観測往路では、黒潮流域から粟国島南まで経度15分間隔の6点でXBT鉛直水温観測を実施している。^{*1} 図13に、2000年4月、水深200mまでの鉛直等水温図を示した。黒潮流域から粟国島南にかけて水平方向の水温勾配が顕著にみられた。

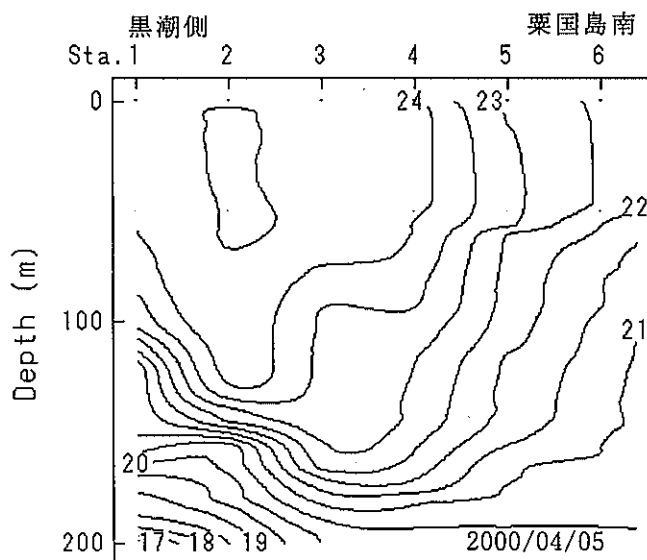


図13 沖合定線往路鉛直水温構造

4. 考察

(1) 慶良間・チービシ海域の水温が低い理由

灘岡ら⁷⁾は、慶良間・チービシ海域の水温が夏に低いのは、北側に水深200m以浅の陸棚域が広がっているため、黒潮系の暖水が進入しにくいことが主因であるとしている。ここでは、これに加えて潮流が速いことも低水温の要因となっている可能性を提示する。

慶良間・チービシ海域の潮流が速いことは、漁業者やダイバーにはよく知られていることである。「海の流れ情報」(第十一管区海上保安本部 2000)では、チービシや渡嘉敷島西部の最強時推算潮流は恩納村地先より速くなっている。^{*2}

慶良間・チービシ海域の冬の水温が粟国島、久米島、渡名喜島、赤瀬、宜野湾と比べやや高いこと、および安定していることは、速い潮流により外洋水が導入されているためと推測できる。しかし、夏の水温が沖合のニライ3号より低いこと、飛龍21航路では、陸棚上のST.1の水温が夏も冬も外側のST.2より低いことは、これだけでは説明できない。

図14に2000年6月～8月の那覇における気温(気象庁月報より)と赤瀬、阿嘉島の水温を示した。阿嘉島と比べると、赤瀬の水温は気温の影響、あるいは日射量等気温に影響する要因と同じ要因の影響を受けていたと想定できる。2000年4月～2001年3月の那覇の毎時気温をスペクトル解析した結果、赤瀬、宜野湾、久米島、粟国島、渡名喜島の水温と同じ24日の周期があった。

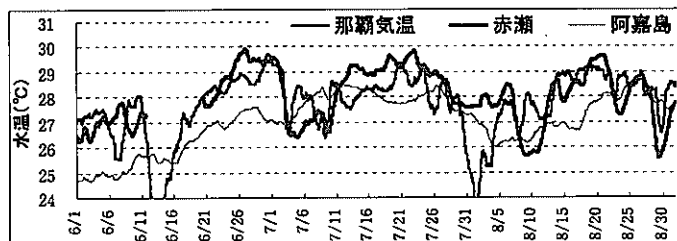


図14 那覇気温、赤瀬・阿嘉島水温

座間味の推算潮位と阿嘉島アゴノハマおよび宜野湾の水温を比較し、図15に示した(2000年8月11日～20日、15日近辺が大潮)。宜野湾では水温のピーク

*1 2001年4月からはCTD観測に切り換えたので、TS図による黒潮系暖水の進入の検討も可能となった。

*2 このデータでは、座間味島南東部や阿嘉島北東部の潮流はそれほど速くないが、測点が座間味島や阿嘉島の潮流を代表していない可能性があるとのことだった(第十一管区海上保安本部私信)。

は1日1回なのに対し、阿嘉島では水温のピークは最低潮位に対応し、1日2回あることが多かった。^{*1}

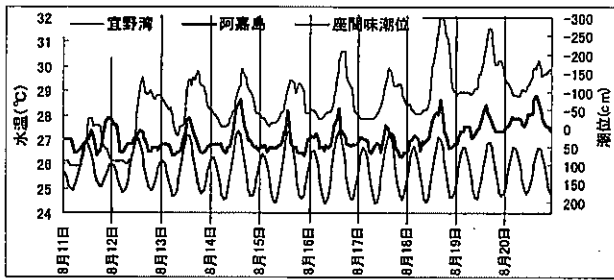


図15 座間味潮位、宜野湾・阿嘉島水温

慶良間・チービシ海域の潮流は南北方向が卓越している。陸棚北側のチービシと南側の渡嘉敷島南東部の水温差を調べてみた。図16に2000年8月1日～8月5日の水温差を示した。周期的な変動がみられる。

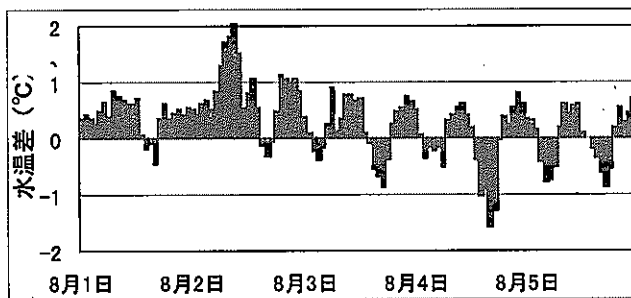


図16 チービシ-渡嘉敷島水温差

図17に2000年6月7日～8月6日の水温差のスペクトル解析結果を示した。12.5および24.1時間の周期があった。これは、潮汐周期に対応して水温差変動が生じていることを示しているが、このことから陸棚上の水温特性が潮汐にも強く影響を受けていることが示唆される。

したがって、慶良間・チービシ海域の夏の水温が低いことは、潮流による鉛直混合の効果の可能性もある。

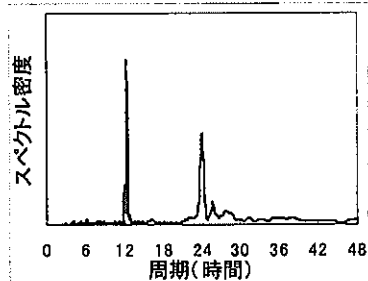


図17 水温差パワースペクトル

(2)黒潮系暖水伝搬

黒潮系水が久米島の南側から沖縄島のすぐ南を通過して太平洋側へ抜けていく現象がしばしば観測される(鹿熊⁸⁾)。この際、東向きの比較的強い流れになるとともに水温が上昇する。ニライ8号で水温が急に上昇し、続いて東側のニライ1号で水温が上昇することは、1999年4月～2000年3月にも頻繁にみられた(鹿熊⁸⁾)。この時のニライ8号とニライ1号の流向は東向きであり、流速は時間差から推定した水温上昇の伝搬速度と大きな差はなかった。黒潮系暖水が東へ移流したものと考えてよいと思う。水温の急激な上昇とその伝搬は、高水温期(5月-10月)よりも低水温期(11月-4月)に明瞭にみられた。これは、高水温期には、水深4mの水温は黒潮域と黒潮反流域で差が無くなるためと思う。一方、2000年8月や9月のように台風で表層水温が下がった時は、表層でも水温上昇が東へ伝わる様子が認められる。

今回、沖縄島西岸海域における黒潮系暖水の伝搬に関して若干の知見が得られた。この情報は、当海域の水温変動3次元シミュレーションに必要である⁷⁾。沖縄島南岸では、急激な水温上昇が東へ伝わる現象が月に1～2回生じている。水温上昇伝搬の方向は北から南のこともあったが、沖縄島西岸でも頻度は同程度であった。ニライ3号の水温変動には20日の周期が認められた。トカラ海峡における黒潮北縁位置にも20日の周期がある(西海区水産研究所⁹⁾)。沖縄島西岸域への黒潮系暖水の移流には、20日前後の周期があると考えてよいと思う。^{*2} 水温上昇伝搬の速さは、方向が東～南と様々で推定が困難である。移流で運ばれると仮定すると、久米島北東ニライ3号での南流は50cm/sに達することも多いので、この程度と推定される。

*1 ただし、阿嘉島アゴノハマは、慶良間海域の21測点のうち最も潮位と対応がよかった点で、他の測点は水温の変動幅が小さく、明瞭なピークをもたない複雑な時間変動を示したものが多かった。

*2 沖縄島南-南東のニライ8号、1号の流速東方・北東方成分には36-37日の周期があった(鹿熊¹⁰⁾)

5. 今後の課題

2001年夏、沖縄では1998年に続いて高水温による大規模なサンゴの白化現象が発生してしまった。このまま地球温暖化が続くと沖縄のサンゴの白化はより頻繁に起こると言われている(Hoegh-Goldberg¹¹⁾)。慶良間・チービシ海域のサンゴ卵供給源としての機能を解明するとともに、他の海域^{*}でも物理・生物調査を進め、卵供給源を特定し、重点的保全策を実行していくことが必要と思われる。

- 9) 西海区水産研究所(2001)：第74回対馬暖流系アジ・サバ・イワシ長期漁況海況予報会議 海況資料-1.
- 10) 鹿熊信一郎・森永健司(2000)：沖縄島南東パヤオ漁場の残差流。平成10年度沖水試事報。61-63.
- 11) Hoegh-Goldberg, O.(2000): Global climate change and the thermal tolerance of corals. *Galaxea*, JCRS, 2. 1-11.

文 献

- 1) 亜熱帯総合研究所(1999)：生物・環境の研究領域・分野における亜熱帯研究の研究可能性に関する調査-サンゴ礁の白化現象についてのケーススタディー。
- 2) 谷口洋基・岩尾研二(1999)：阿嘉島マエノハマにおける白化サンゴの回復および死亡。日本サンゴ礁学会第2回大会講演要旨集。43.
- 3) 大見謝辰男・仲宗根一哉・満本裕彰・上原睦男・大城哲(2000)：サンゴの赤土汚染耐性と白化耐性の比較。沖縄県衛生環境研究所報 No.34. 69-76.
- 4) 鹿熊信一郎・諸見里聡・灘岡和夫・二瓶泰雄(2001)：沿岸水温観測ネットワーク。平成11年度沖水試事報。49-51.
- 5) 鹿熊信一郎・森永健司(1999)：定期船による表層水温長期観測。平成9年度沖水試事報。46-49.
- 6) 鹿熊信一郎(1999)：沖縄島南東パヤオ漁場での漁獲量と流況の関係。平成10年度普及に移す技術の概要。163-164.
- 7) 灘岡和夫・若木研水・鹿熊信一郎・二瓶泰雄・諸見里聡・大見謝辰男・岩尾研二・下池和幸・谷口洋基・中野義勝・池間健晴(2001)：広域水温モニタリングネットワーク展開による沖縄サンゴ礁水温環境地域差の解析。平成13年度海岸工学論文集。第48巻。土木学会。1276-1280
- 8) 鹿熊信一郎(2001)：海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業・ニライテレメトリーシステムの構築。平成11年度沖水試事報。45-48.

*1 例えば、飛龍21の観測では、多良間島と水納島間海域も周辺より水温が低いことがわかっている。