

# 明石海峡大和島の海水温と塩分

—棒状水銀温度計と赤沼比重計で海水を測定する—

阪 口 正 樹\*

## Water temprature and salinity on the Yamato-jima island in the Akashi Straits

—Measurement of sea water with mercury thermometer and Akanuma hydrometer—

Masaki Sakaguchi

### 1. はじめに

1996年4月から1998年4月まで、明石海峡の大和島(津名郡淡路町岩屋 図1)で、毎月1回または2回、5日頃と20日頃、定期的に海水の温度と比重を測定し、塩分の季節変化を測定した。また、4回にわたり24時間観測を行った。

現在、正確な塩分測定をするためには、サリノメーター(電気伝導度塩分計)が使用されている。しかし、1台が何十万円もするためサリノメーターを高等学校で準備することは難しい。科学機器のカatalogにある比較的安価な「海水濃度屈折形」(22000円)は最小目盛りサリニティ1パーミル、比重0.001であり、精度が悪い。また、「デジタル塩分計」(95000円)も食塩(NaCl)としての濃度を測定するものであり、しかも3.0~10.0%において最小表示0.1%であり、精度が悪い。

そこで筆者は高等学校でも精度よく海水の温度と塩分を測定するための方法として、『海洋観測指針』(1970, 気象庁)に掲載されている棒状水銀温度計と赤沼比重計を使用する方法を検討してみた。沿岸観測では、かつてはこれらを使って塩分を求めていた。そこで、高等学校にある棒状水銀温度計と赤沼比重計A号の器差を求め補正したところ、兵庫県水産試験場がサリノメーターを使って測定した定期観測地点のうち、大和島に近い地点での測定値と一致することが確認できた。すなわち、安価な器具でも、器差を求め補正すれば有効数字3桁ではあるが、十分な精度が出ることがわかったので、広く高等学校で使用していただきたく、ここに紹介する。

### 2. 方法

『海洋観測指針』によると、「採水測温はなるべく沖合の水に近い水」(p.321)で、「採水は表面から30~40cmのよくかき回された水を採用すべきである」(p.321)という。大和島は明石海峡に面しており、岸でも潮流が

速いので、大和島の岩礁で採取した海水はよくかき混ぜられた状態で、上記の条件は満たしているものと考えている。

測定は次のように行った。温度は海水を採取したときに現地で測定した。10リットル強入りのポリバケツで海水に約半分採り、それを捨て、このことを二、三回繰り返した後、さらに海水を採取して手早く日陰の状態で棒状水銀温度計を入れてかき回した。棒状水銀温度計を海水に入れたまま、値の定まるのを待って読み取った。比重は、海水をペットボトルに入れて神戸大学内海域機能教育研究センターに持ち帰り、実験室で測定した。1.5リットル入りのペットボトル2本の口を開け、ポリバケツで上から海水を注ぎ込み、共洗いした。二度ほどペットボトルの内側を洗った後、海水を入れ栓をして直ちに研究センターへ持ち帰った。比重は、1リットル用メスシリンダーに海水を入れ、赤沼比重計を浮かべて目盛を読み取った。その後、棒状水銀温度計で0.1℃まで読み取った。

#### A) 海水の温度

##### ①温度計の補正

比較検査成績表付き標準棒状温度計1号(目盛範囲0~50℃, 一目盛の値0.1℃)を基準に、大和島で使用した棒状水銀温度計の器差を求めた(表1参照)。

表1 大和島で使用した棒状水銀温度計の器差

大和島で使用した水銀温度計の値	0.1℃	10.2℃	20.0℃	30.2℃
真の温度	0℃	10℃	20℃	30℃
器差	0.1℃	0.2℃	0.0℃	0.2℃

この結果から、大和島で使用した棒状水銀温度計の値に、器差から比例計算で補正数を求め補正した。

なお、『海洋観測指針』によると、「…棒状温度計は視差が大きいことが理由で、各温度に対する補正数が±0.3℃以内のものは合格としている。したがって、この

\*西宮市立西宮東高等学校

ような温度計を使用した場合の補正数は0とし、読み取り値そのままとする」(p.11脚注)とあるが、ここでは読み取り値を上記述べたように補正した。

## B) 塩分

海水の塩分は水温とともに海水の状態を表す最も基本的な特性量である。『海洋観測指針』では、塩分について「海水1kg中に含まれる塩類(厳密にはイオンおよび分子化合物)のg数を塩分(salinity)という。塩分を直接測定することはきわめてむずかしい」(p.155)としている。しかし、それでも塩分を知りたいので、塩素量を測って計算によって塩分(S)を求めるようになった。塩素量の測定は、硝酸銀水溶液を使った滴定によっている。また、最近ではサリノメーターによって求めた電気伝導度比から塩分を求める方法が一般化し、「操作が簡単で能率がよく精度も高いので、クヌーッセンの銀滴定法にかわるべき方法として、広く認められつつある」(p.168)。

筆者が行った2年間にわたる塩分の測定は、上記に述べた方法ではなく、棒状水銀温度計と赤沼比重計によって得た値を基にして求めた。すなわち、この2つの器具で値を読み取り、器差補正をして、『海洋観測指針』附録の海洋観測常用表第1表で15℃の水温における比重( $\sigma_{15}$ )を求め、さらに、常用表第2表で比重( $\sigma_{15}$ )を塩分(S)に換算した。この方法によれば、高価なサリノメーターを購入することなく塩分を求めることができるからである。

そこで、赤沼比重計と棒状水銀温度計の補正が必要となる。棒状水銀温度計の補正は前述のようにした。また、赤沼比重計は、15.0℃の海水の比重を比重ピンで測定して得た値と、海水に浮かべた赤沼比重計の読み取り値を $\sigma_{15}$ に換算した値との差(器差)を求め、それを5種類の塩分濃度の海水で求めた値から補正した。

### ①赤沼比重計の補正

筆者の勤務校にある赤沼比重計A号には、検査表がついていなかった。そこで次のように器差を求めた。大和島で採水した海水を濾紙で濾過し保存した。この海水に市販の蒸留水を加えたり、水分を蒸発させて5種類の塩分濃度の海水を作った。一般に、赤沼比重計の器差の測定は、目盛り範囲をほぼ4等分する5種類の塩分濃度の海水を使用して行う。赤沼比重計A号の目盛りが、1.010~1.030であったが、今回の比重計の読み取り値は、1.0220~1.0260であるので、1.021~1.028の5種類の標準海水を作り器差を測定した。

5種類の標準海水をそれぞれ500mlメスシリンダーに入れ、赤沼比重計で10℃~30℃の5℃ごとに測定し、読み取り値と温度から常用表第1表で $\sigma_{15}$ を求め、それら5つの平均値を、赤沼比重計の「読み取り値」とした。

一方、15.0℃の標準海水を2つの比重ピンで測定し、密度を求め、さらに4℃の水の密度(0.99997g/cm<sup>3</sup>)に対する比重を求め、その平均値を「標準海水の比重」とした。赤沼比重計の「読み取り値」と比重ピンから得た「標準海水の比重」との差を「器差」とした(表2参照)。

表2 大和島で使用した赤沼比重計の器差

読み取り値	1.02108	1.02322	1.02378	1.02545	1.02847
標準海水の比重	1.01984	1.02205	1.02250	1.02419	1.02713
器差	0.00124	0.00117	0.00128	0.00126	0.00134

5つの読み取り値の間は比例計算によって補正数を求め、 $\sigma_{15}$ を求める前に、赤沼比重計および棒状水銀温度計の読み取り値にそれぞれ補正を施した。これらの値から常用表第1表を使って $\sigma_{15}$ を求め、さらに常用表第2表を使って塩分(S)を求めた。

## 3. 結果

### ①海水温の年周変化

1996年4月17日から1998年4月6日まで、月1回または2回測定した結果を図2に示す。測定日は5日頃と20日頃とし、前日または当日雨の日は避けた。最高温度を示したのは、1996年8月19日15:15の26.8℃、最低温度は1997年2月17日11:00の9.1℃であった。今回の測定時刻は9:55~15:15であった。1996年と1997年の夏の海水温はほぼ等しいが、1997年1月~4月の低温期に比べて、1998年1月~4月は海水温が1.1℃高かった。

### ②海水温の日周変化

日周変化を調べるために、年4回、3時間ごとに採水し、24時間の測定を行った。図3はその結果である。一日の温度較差は1.0~1.5℃であった。気温の日較差が5~10℃にもなるのに比べて、海水温の日較差は小さいことがわかる。4つの季節とも共通して朝6時頃が最低温度を示し、昼間に最高温度を示している。

### ③塩分の年周変化

図4は2年間の塩分(S)の変化を示す。塩分の平均値はS=32.2で、最高値はS=32.9(1996年6月19日と1997年11月6日)、最低値はS=31.2(1997年7月24日)であった。年間を通して塩分の変動が少なく、また、季節的な変動もみられず高い値で安定している。

### ④塩分の日周変化

図5は、3時間ごとに測定した塩分の変化である。一日の塩分較差は0.4~1.1であり、かなり変動があった。しかし、それらの値はすべて年周変化の最高値と最低値の間に入っている。塩分の日周変化は大きい。また、水温のように、塩分の変動には規則性が認められないことがわかった。

#### 4. 考察

塩分 (S) は、サリノメーターによって求めた電気伝導度比から計算によって求める方法が一般化している。しかし、器具の補正をすれば棒状水銀温度計と赤沼比重計によって得た値から、海洋観測常用表を使って計算によって塩分 (S) を求めることができる。今回、棒状温度計と赤沼比重計で求めた大和島での塩分は、平均値は  $S=32.2$ 、最高値は  $S=32.9$ 、最低値は  $S=31.2$  であった。

ところで、兵庫県水産試験場の多数の観測点のうち、大阪湾の A 2 地点が大和島に最も近い (図 1 参照)。『兵庫県水産試験場事業報告』(平成8~10年度)によると、A 2 地点では、最高値  $S=32.75$  (1996年5月15日11:58)、最低値  $S=31.20$  (1997年7月16日12:51) であった。水産試験場の測定結果と今回の大和島での測定結果が一致した。このことから、棒状水銀温度計と赤沼比重計で海水の塩分を精度よく測定できることがわかった。

また、『兵庫県水産試験場事業報告』では、1996年4月~1998年4月における紀伊水道の9地点の表層水の塩分の平均値は  $S=32.95$ 、特に K 6 地点での塩分が高く、その平均値が  $S=33.18$  であった。播磨灘の観測地点 19 のうち陸に近い4地点を除いた 15 地点 (H01~H15) の

平均値が同じ期間で  $S=32.04$  であった。

大和島の海水が、紀伊水道や播磨灘の海水と同じように塩分の高い状態にあることがわかった。これは、紀伊水道からの海水と播磨灘の海水が、河川水によって薄められずに明石海峡を往復して流れていると考えられると説明できる。

一方、海水は水塊として移動しているの、それが日周変化となってあらわれると考えられる。測定時刻によって塩分の変動があるのは、塩分の違う水塊を測定したことによると考えられる。塩分の日周変化が大きい場合でも、その最大値と最小値は年周変化の幅に入っている。このように塩分の高い状態で変動しているだけなので大和島では河川水の影響はほとんどないと考えてよい。

『理科年表』(1999年版)によると、黒潮域の表層水は  $S=34.796$  (2月)、 $S=34.11$  (8月) であるので、紀伊水道 ( $S=32.95$ ) から大和島 ( $S=32.2$ )、播磨灘 ( $S=32.04$ ) へと瀬戸内海の奥へ行くほど、少しずつ塩分が低くなる傾向があり、河川水の影響はまったくゼロではないのは確かである。

次に水温について考察する。大和島での測定結果は、最高温度  $26.8^{\circ}\text{C}$ 、最低温度  $9.1^{\circ}\text{C}$  であった。一方、『兵庫県水産試験場事業報告』(平成8~10年度)によると、大

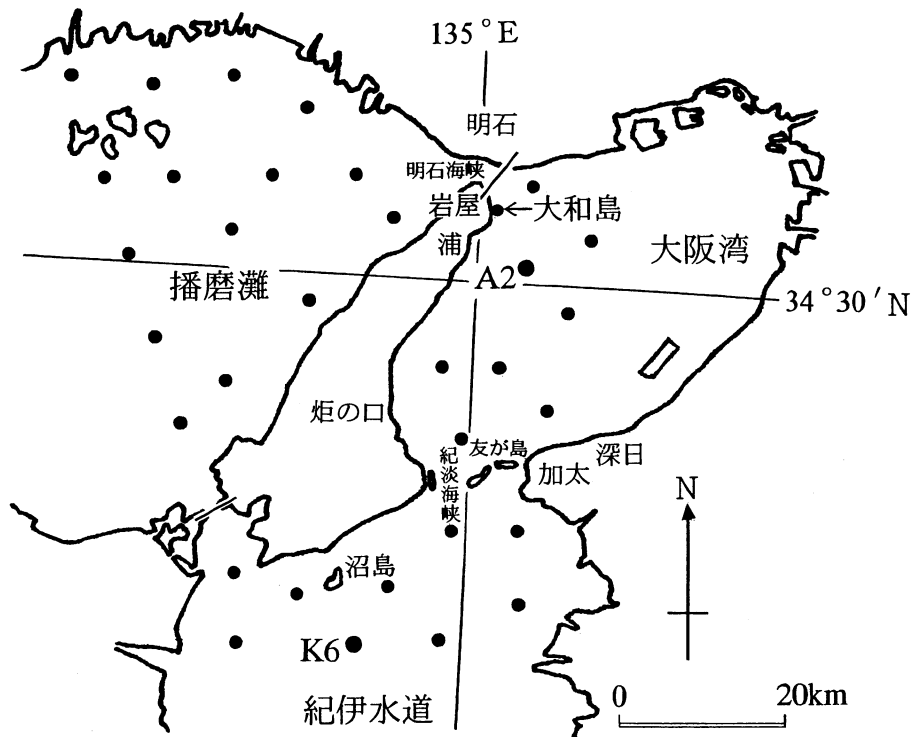


図1 大和島と周辺海域 深日、加太、炬の口、浦、大和島、明石の岩礁・岩場には外洋性動物のクロフジツボが生息する。播磨灘、大阪湾、紀伊水道の●は兵庫県立水産試験場の定点観測点。

和島に近い大阪湾のA2地点では、最高温度27.0℃（1996年8月21日11:43）、最低温度9.2℃（1997年3月13日11:33）で大和島の結果と一致した。

また、1997年1月～4月の低水温期に比べて、1998年1月～4月では、大和島で1.1℃高かった。A2地点の水温が約1.5℃高く、大和島と同じ結果であった。また、播磨灘の15地点の平均値も1.1℃高く、大阪湾の8地点も平均して1.3℃高く、紀伊水道9地点の水温も同じく平均して1.5℃高かった。沼島の南のK6地点は、紀伊水道の9地点のうちでも水温が高く、最低水温が1997年は2月12日で11.2℃（紀伊水道9地点の平均値10.3℃、最低水温）であったが、1998年は3月16日で13.8℃（同じく12.7℃）であった。ただし、1998年2月16日のK6地点には黒潮が入ってきたのか14.1℃（同じく11.9℃、最低水温）であった。

海水温の日周変化では朝6時が最低水温に、昼間が最高水温になっている。昼間の太陽によって表面海水が暖められた結果であると考えられる。また、夜の冷たい空気によって水温も低下する。今回の測定時刻9:55～15:15での観測値は一日のうちでも高い温度を測定していたことになる。

『大阪湾の自然』（1986、大阪市立自然史博物館）によると、「大阪湾の海水の動きも、東半分と西半分とでは対照的で、東側は停滞的かつ東北部からの河川水の影響を強く受けるのに対して、西側では紀淡・明石の両海峡を通過する潮汐流に支配されていると言える」（p.6）という。大和島は大阪湾の西半分にあり、紀伊水道と播磨灘を流れる海水の通り道にある。たとえば、外洋の岩礁によく見られる節足動物のクロフジツボの大阪湾内における分布（『大阪湾の自然』p.33）をみても、加太や深日（ふけ）、明石、岩屋、浦、炬の口（たけのくち）などの磯で観察され、これらの地点は大阪湾の南側と西側に局在している。これらは紀淡・明石の両海峡を通過する潮汐流に支配されている磯であると思われる。今回報告したように大和島では塩分が常に高いので、これらの外洋性動物の生息を可能にしていると思われる。

## 5. まとめ

1996年4月から1998年4月まで2年間にわたり、月に1回または2回、明石海峡大和島の海水温と塩分を、筆者の勤務する高等学校にある棒状水銀温度計と赤沼比重計を使って測定した。塩分の平均がS=32.2、最高値S=32.9、最低値S=31.2であり、紀伊水道や播磨灘の海水と同じく塩分が高い状態にあることがわかった。また、水温は8月に最高温度（26.8℃）、2月に最低温度（9.1℃）となった。日射や大気の影響を受けて、朝6時が最低温度で昼間に最高温度になった。

本来の測定には検定済みの温度計とサリノメーターを使用することが好ましいが、高等学校などの教育現場では高価なサリノメーターを準備することは難しい。そこで、校内にある安価な器具を使い、補正を行ったところ、兵庫県立水産試験場が行った測定結果と一致した結果を得た。安価な器具でも補正すれば十分な精度を出せることがわかった。

## 6. 謝辞

本報告には兵庫教育大学自然系化学教室 尾関徹博士に赤沼比重計の補正について御助言をいただき、兵庫県立水産試験場資源部 堀豊主任研究員と、神戸海洋気象台海洋課 木村完主任技術専門官から、それぞれ資料の御提供と御助言をいただきました。感謝いたします。また、兵庫教育大学大学院在学中に御指導をいただいた山田卓三名誉教授、2年間の研究期間をいただいた西宮市教育委員会ならびに西宮市立西宮東高等学校 岡田健作元校長、中村静前校長にも感謝いたします。

## 7. 引用文献

- 兵庫県水産試験場. 1998. 平成8年度兵庫県水産試験場事業報告. 208pp. 兵庫県立水産試験場, 兵庫.
- 兵庫県水産試験場. 1999. 平成9年度兵庫県水産試験場事業報告. 236pp. 兵庫県立水産試験場, 兵庫.
- 兵庫県水産試験場. 2000. 平成10年度兵庫県水産試験場事業報告. 210pp. 兵庫県立水産試験場, 兵庫.
- 気象庁. 1970. 海洋観測指針. 427pp. 日本気象協会, 東京.
- 国立天文台. 1998. 平成11年理科年表. 1058pp. 丸善, 東京.
- 大阪市立自然史博物館. 1986. 大阪湾の自然. 47pp. 大阪市立自然史博物館, 大阪.

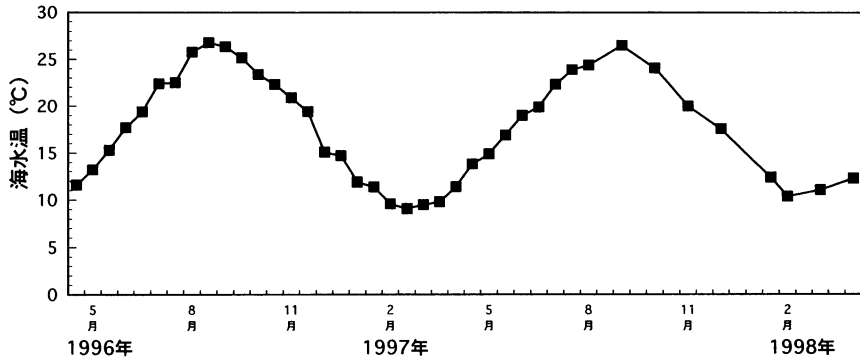


図2 明石海峡大和島岩礁の海水温変化 (1996年4月17日~1998年4月6日)

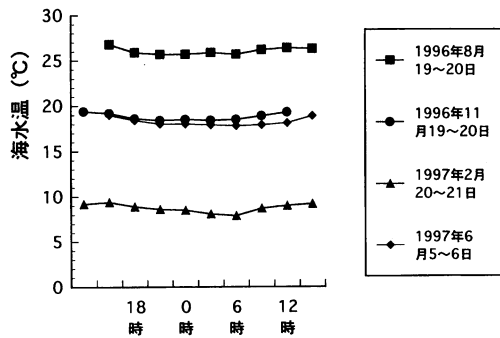


図3 明石海峡大和島岩礁の海水温の日周変化 (3時間ごとに測定)

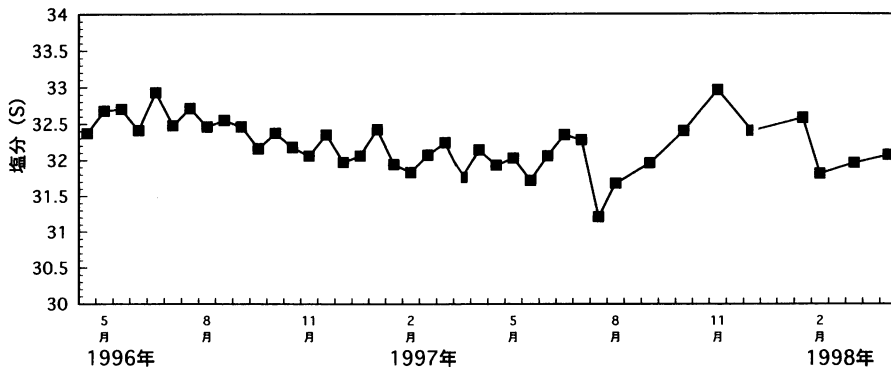


図4 明石海峡大和島岩礁の塩分変化 (1996年4月17日~1998年4月6日)

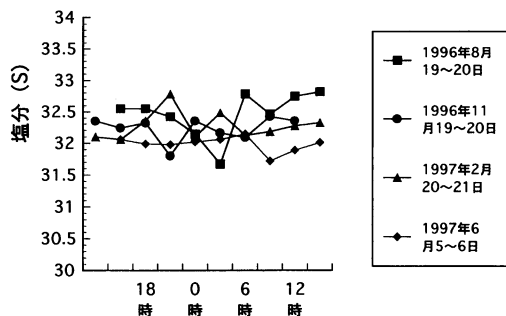


図5 明石海峡大和島岩礁の塩分の日周変化 (3時間ごとに測定)