

## 音響測距計の水温補正

長屋好治：海洋研究室

## Temperature Correction for Sea Floor Acoustic Ranging System

Yoshiharu Nagaya : Ocean Research Laboratory

第1表 水温計の仕様.

最大使用水深	6000m
重量 空中	600g
水中	350g
大きさ	φ41×L208mm
電源	3.6Vリチウム電池×2本, 2000mAh
センサー	サーミスタ
データ記録容量	262,000 データ
測定範囲	-10℃～50℃
分解能	0.001℃
安定度 (相対精度)	±0.005℃
精度 (絶対精度)	±0.05℃

## 1. はじめに

1995年4月に相模湾で行った音響測距計の計測試験において、距離610mに対する音波の伝搬時間に、水温変動に起因すると考えられる両振幅で200 $\mu$ 秒を越える変動が観測された(長屋・他, 1996). 音響測距計の開発で目標としている測定精度は、1000mの基線に対して1cmであり、伝搬時間に換算すると6 $\mu$ 秒になるから、温度補正がきわめて重要であることが明らかとなった。

1995年10月から12月までの約2ヶ月間、音響測距計の長期試験を1995年4月の試験とほぼ同じ場所で行った。この長期試験では音響測距計に水温計を取り付けて、伝搬時間の測定とともに水温観測も行った。2台の音響測距計のうち1台に内蔵されたCPUの動作不良によって音響測距のデータは得られなかったが、水温計は正常に動作し、相模湾の水深1240mの海底で約2ヶ月間にわたる水温の連続観測を行うことができた。

この連続観測で得られた水温データを基に相模湾の海底の水温変動の特徴を概観し、音響測距計の温度補正について考察する。

## 2. 相模湾の海底での水温観測

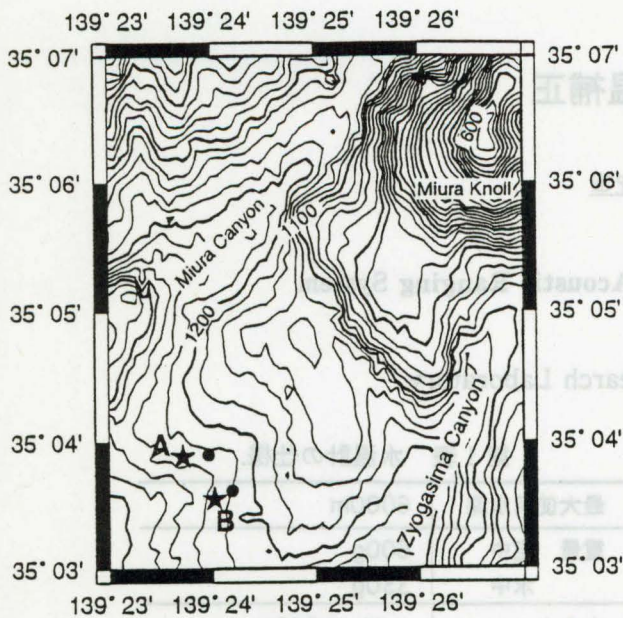
使用した水温計は、(株)日油技研工業製のNWT-DNであり、第1表にその仕様を示す。水温計の信頼性を確認するため2台の音響測距計それぞれに2台の水温計を取り付けた。取り付けた高さは音響測距計の脚部から0.7m、2台の水温計の水平方向の間隔は1.5mとした。測量船「昭洋」によって、1995年10月14日に海面から自由落下で音響測距計を海底に設

置し、1995年12月9日に音響切り離しによる自己浮上方式で回収した。第1図は音響測距計の設置場所を示す。2台の音響測距計の間隔は780m、水深はどちらも1240mであった。第2表に使用した4台の水温計の器械番号と設置場所との対応を示す。

水温測定の間隔は1分とし、測定値の信頼性を確認するため各測定時に3回の測定を行うよう水温計の初期設定を行った。また、設置前の10月13日に水温計の内蔵時計をJSTに同期させ、回収後の12月9日に時刻のずれを計った。4台の水温計の時計はすべてJSTに対して進んでおり、その大きさはどれも1m47sから2m27sの間であった。水温測定の間隔を1分としたから、時計の誤差がこの程度であれば4台の水温計の測定の同時性は確保されるので、水温データの時刻補正は行わなかった。

各測定時に得られた3回の測定値について、4台のどの水温計も、2回目と3回目の測定値との差は、





第1図 1995年10月から12月にかけて音響測距計を海底に設置した場所。星印が設置場所を示す。A点の位置は(35° 03'.89N, 139° 23'.71E), B点は(35° 03'.55N, 139° 24'.02E)。水深は1240m, 2点間の水平距離は780m。黒丸は1995年4月の試験における設置場所を示す。

第2表 水温計の器械番号と設置場所。

設置点	水温計	測距計
A	DN0044 DN0045	SeaFAR-2
B	DN0041 DN0042	SeaFAR-1

平均で0.001°C以下の値 ( $\sigma=0.0005^\circ\text{C}$ ) であるのに対して、初回と2回目の差は、平均で0.005°C~0.006°C ( $\sigma=0.0004^\circ\text{C}$ ) を示した。このことから初回に比較して2回目以降の測定値の方がより信頼性が高いと判断し、3回目の測定値を各測定時刻に対する測定値として採用することにした。

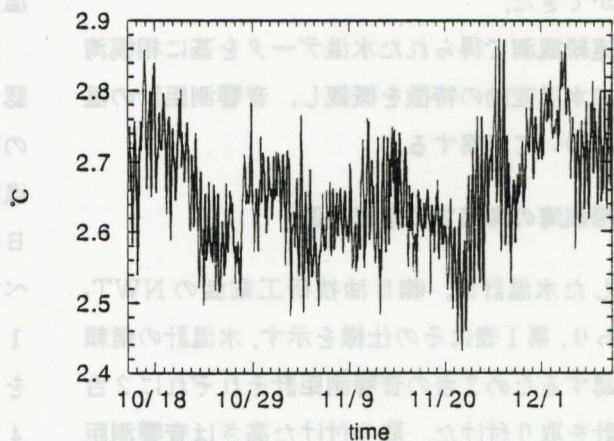
第3表は、A点とB点それぞれで2台の水温計によって得られた測定値の差について、約2ヶ月の測定期間中の全データから求めた平均と標準偏差を示す。2台の水温計の取り付け場所は1.5mしか離れていないから、第3表の値がそのまま水温の差を表しているとは考えられない。使用した水温計はサーミスタ温度計であり、相対変化に対する信頼性は高いが、絶対値としては機器によって偏りがあることが考えられる。したがって、第3表の平均は水温計の

器差を、また、標準偏差は水温計の安定度(相対変化に対する精度)を表していると考えるのが妥当である。第1表の仕様にある安定度と精度に比較して、第3表の標準偏差と平均はどちらも小さな値を示していることから、今回使用した4台のどの水温計も正常に動作したと考えられる。そこで、DN0045の測定値をA点の水温として、また、DN0042の測定値をB点の水温として採用することにした。

1995年10月15日から1995年12月8日までの期間について、第2図にA点における水温変動を、また、第3図にA点とB点の水温の差(DN0045-DN0042)の変動を示す。A点の水温変動には、1日より短い周期の変動(両振幅で0.2°C程度)と数日より長い周期の変動とが重なり、全体では0.4°Cを越える変動が見られる。AB間の水温差では、長周期の変動は小さくなるが、1日より短い周期の変動は両振幅でおよそ0.2°Cであり、A点における短周期の変動と同程度の振幅を示している。

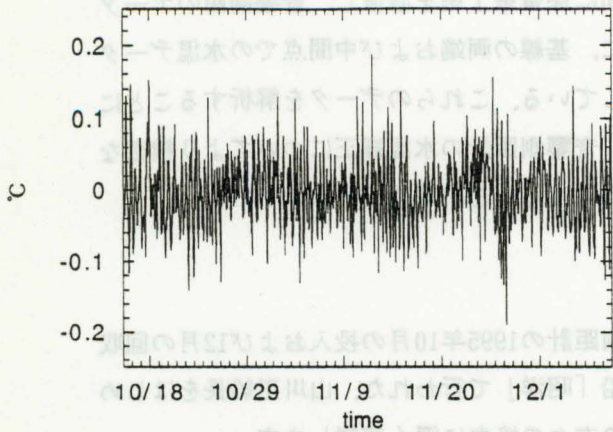
第3表 A点、B点それぞれに設置した2台の水温計の測定値の差について、測定期間中の全データから求めた平均と標準偏差。平均は水温計の器差を、また、標準偏差は測定値の相対精度を表していると考えられる。

	平均(°C)	標準偏差(°C)
DN0045 - DN0044	-0.0018	0.0025
DN0042 - DN0041	-0.0039	0.0021

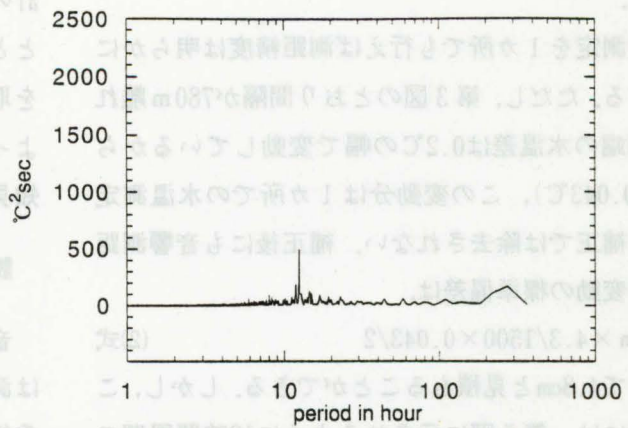


第2図 1995年10月15日から1995年12月8日までのA点における水温変動。平均は2.7°C, 標準偏差は0.078°C。

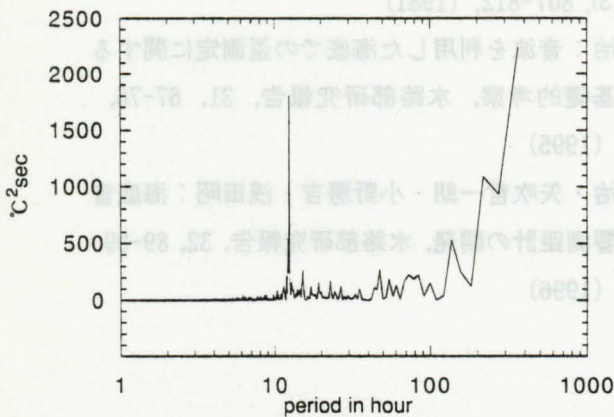




第3図 1995年10月15日から1995年12月8日までのAB間の水温差の変動。平均は0.0°C、標準偏差は0.043°C。



第5図 AB間の水温差のパワースペクトル。サンプリング間隔は1分。



第4図 A点の水温変動のパワースペクトル。サンプリング間隔は1分。

第4図にA点の水温変化のパワースペクトルを、第5図にAB間の水温差のパワースペクトルを示す。第2図と第3図に見られる短周期の変動が12時間周期を卓越周期とする変動であることが明瞭に示されている。また、AB間の水温差には長周期成分がかなり除去されていることもよくわかる。

### 3. 音響測距計の水温補正

音響測距計では音波の伝搬時間が測定されるのであるから、音波の伝搬経路に沿った水温の分布をいかに正確に把握するかが、音響測距の精度を左右する。1kmの基線に対して1cmの測距精度を得るためには基線上の水温分布の平均を0.003°Cの精度で測

定する必要がある(長屋, 1995)。水温の測定点を基線上に多く作るほど、測定精度が向上することは明らかである。しかし、現実的には音響測距計に取り付けた水温計による基線の両端での水温測定に加えて、その間の1~数カ所に係留系を配置して水温測定を行うことが実現可能な限度であろう。0.003°Cの精度で水温の空間分布を得るために、どの程度の空間間隔で水温測定を行う必要があるかを明確にできれば、音響測距の水温補正の方法は完成したことになる。

水温測定を全く行わなければ、第2図の水温変動( $\sigma=0.078^\circ\text{C}$ )がそのまま音響測距の結果に距離変動として表れる。平均水温を2.7°C、塩分濃度を35‰、水深を1250mとしてMackenzie (1981)から音速の温度勾配を求めると4.3m/s/°Cとなる。基線長を780m、平均音速を1500m/sとすると、水温変動に起因して測距結果に表れる変動の標準偏差は、

$$780\text{m} \times 4.3/1500 \times 0.078 \quad (1)\text{式}$$

によって17cmと見積もられる。実際に1995年4月に行った音響測距計の測定試験の結果では、伝搬時間の変動は標準偏差で77 $\mu\text{s}$ であり、平均音速を1500m/sとして距離に換算すると12cmとなる。1995年4月の試験では基線長が610mであったから、この基線長に対して(1)式と同様に水温変動に由来する変動を見積もると14cmとなる。測距結果に表れた変動が見積もりよりやや小さい値を示すのは、測定期間が18時間と短く、長周期の変動分が表れなかったため



あろう。

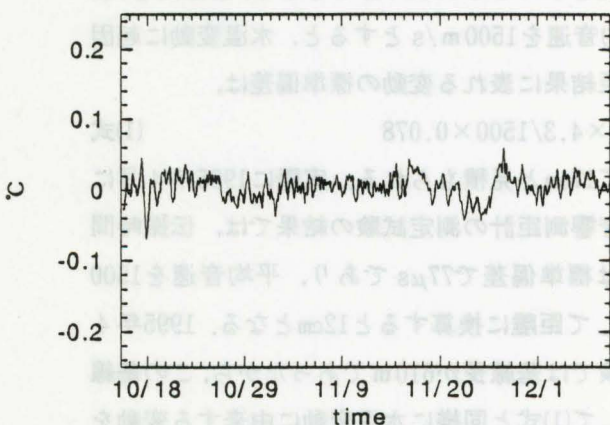
水温測定を1カ所でも行えば測距精度は明らかに向上する。ただし、第3図のとおり間隔が780m離れると両端の水温差は0.2°Cの幅で変動しているから ( $\sigma=0.043^\circ\text{C}$ )、この変動分は1カ所での水温測定による補正では除去されない。補正後も音響測距に残る変動の標準偏差は、

$$780\text{m} \times 4.3/1500 \times 0.043/2 \quad (2)\text{式}$$

によって4.8cmと見積もることができる。しかし、この変動には、第5図に示されるように12時間周期の変動が主要な成分として含まれている。そもそも音響測距の目的は地殻変動の検出であるから、このような短周期の変動成分は除去されるべきものである。そこでAB間の水温差について12時間の移動平均をとると結果は第6図となる。第6図の標準偏差は0.017°Cとなり(2)式と同様の計算を行うと、音響測距に残る変動は標準偏差で1.9cmまで小さくなると見積もられる。

水温測定を基線の両端で行えば、基線上の水温分布を直線によって近似できるから、音響測距の精度はさらによくなると期待できる。しかし、どの程度よくなるかは、実際的水温分布が直線からどれだけずれているかを把握しなければ正確にはわからない。このためには、水温を多点で測定し水温分布をより精密に把握することを試みる必要がある。

1996年8月から10月にかけても音響測距計の測定試験を行っている。この試験では、2台の音響測距



第6図 AB間の水温差について12時間の移動平均を計算した結果。平均は0.0°C、標準偏差は0.017°C。

計の中間に係留系1系を設置し、音響測距のデータとともに、基線の両端および中間点での水温データを取得している。これらのデータを解析することによって、音響測距計の水温補正についてより精密な知見が得られることが期待される。

謝辞

音響測距計の1995年10月の投入および12月の回収は測量船「昭洋」で行われた。山川正船長をはじめ乗組員の方々の協力に深く感謝します。

引用文献

Mackenzie, K.V.: Nine-term equation for sound speed in the oceans, J. Acoust. Soc. Am., 70 (3), 807-812, (1981)

長屋好治: 音波を利用した海底での歪測定に関する基礎的考察, 水路部研究報告, 31, 67-76, (1995)

長屋好治・矢吹哲一郎・小野房吉・浅田昭: 海底音響測距計の開発, 水路部研究報告, 32, 89-99, (1996)