

SBE 9/11 水温・電気伝導度センサのドリフト評価

観田 令子^{*1} 松本 健寛^{*1}
安藤健太郎^{*2} 河野 健^{*3}
高槻 靖^{*2} 宗山 敬^{*1}

海洋構造の基本である水温・塩分の分布を観測する水温・伝導度センサのドリフト特性の分析を実施した。水温センサでは基本的に時間の経過とともに単調にドリフト量が増大している事が分かった。また経過する時間が長くなるほど、ドリフト量の増加速度が減少する事が認められた。3個の温度センサの平均のドリフト速度は1年間で-0.0034Kelvinであった。伝導度センサでも経過時間の増加に対してドリフト量の増大の傾向は明瞭であるが、時間経過に対する応答に線形性が明確に認められたのは3個のうち1個のセンサだけであり、直線性のクライテリアをゆるくとっても5例のうち3例に止まり、その平均ドリフト速度は-0.00055 siemens/mであった。伝導度センサの経過時間に対するドリフト量変動の挙動から伝導度センサの管理において洗浄の重要性が改めて認識させられた、また始動初期の不安定性についても注意すべき事が分かった。

キーワード：SBE 9/11, 較正, 温度センサドリフト, 伝導度センサドリフト

A drift characteristics assessment of the temperature and conductivity of SBE 9/11

Reiko KANDA^{*4} Takeo MATSUMOTO^{*4}
Kentaro ANDO^{*5} Takeshi KAWANO^{*6}
Yasushi TAKATSUKI^{*5} Kei MUNAYAMA^{*4}

An elucidation of temperature and salinity structure is fundamental for ocean observations. Analysis of drift characteristics of temperature and conductivity sensors was executed. Temperature sensors showed that drift increased monotonously with the lapsed duration, but drift velocity decreased in contrast to the increased lapsed duration. Average drift velocity of 3 temperature sensors were -0.0034 Kelvin/year. Conductivity sensors also showed a tendency of monotonous drift increase with the elapsed duration, but a distinct linearity was recognized in only one out of 5 case. A relaxed criteria for linearity allowed for the further addition of 2 case out of 5 cases. Average drift velocity of 3 measurements were -0.00055 siemens/year. Analysis of drift characteristics of conductivity sensors showed the importance for cleansing of sensors. A labile attribute of starting period of conductivity sensors was also shown.

Key Words : SBE 9/11, calibration, Temperature sensor drift, Conductivity sensor drift

*1 株式会社マリン・ワーク・ジャパン, 海洋技術部
*2 海洋観測研究部, 第1研究グループ
*3 海洋観測研究部, 第5研究グループ
*4 Marine Work Japan Ltd., Marine Technology Department
*5 Ocean Research Department
*6 Ocean Research Department

1 はじめに

海洋観測研究部・熱帯赤道研究グループは海洋観測における水温・塩分の測定にSBE9/11のシステムを使用している。このシステムで使用している3個の温度センサ及び3個の伝導度センサのドリフト特性を分析した。

これらのセンサは世界海洋大循環研究(WOCE)計画への参加による観測を契機として本格的に使用を始めたものであり、WOCEが要求した測定性能—温度で 0.002°C 塩分で 0.002PSU の正確度¹⁾(accuracy),そして温度で 0.0005°C 塩分で 0.001PSU の精密度¹⁾(precision)—を運用と保守管理を厳密にすれば満足できる測器である²⁾。今回の分析の目的は熱帯赤道域での観測研究に必要な精度(0.01°C , 0.01psu)を維持する為に自分たちが通常これらの測器の維持に払っている条件下で、その温度及び伝導度において実際にどの程度ドリフトを起こしているのかを知り、それにより測器の測定性能に影響する要因にどのようなものがあるか常に認識し、その測器性能を維持するための示唆を得る事である。

2 データ

ここで使用した3個の温度センサ, SN1207, SN1462, SN1465, 同じく3個の伝導度センサ SN960, SN1045, SN1174の較正データの測定試験はSBE社が実施したものであり、その実施日は表—1に示す。1991年秋に始めて較正を行って以来ほぼ年に2回の較正データが蓄積されている。この表-1においてCalib.modifiedの注記は較正試験のさい測器に対してハードウェア上の加工修正を加えた事を示しており、ドリフト量を計算する上で同一のセンサとは見なさず扱いを別にした。またabcdの脚注を付記した日付のデータはIPTS-68(国際実用温度基準—1968年)の温度定義に基づく近似多項式の係数(abcd)をSBE社が求めた温度較正により行ない、脚注の無いものはITS-90(国際温度基準—1990年)の温度定義³⁾に基づいてSBE社が同様に近似多項式の係数(ghij)を求めて温度較正を行って較正值を誘導していることを示す。参考文献 3)によればITS-90とIPTS-68との間にはITS-90を基準にして 0°C で 0.000°C , 30°C で -0.007°C の温度差が報告されている。

2.1 温度データ

温度センサSN1207は1991年9月より98年5月までの間に10回, SN1462は1993年9月より98年5月までの間に11回, SN1465も1993年9月より98年5月までの間に11回較正試験が行われそれらの較正データが蓄積されている(表—1上)。SN1207は1991年9月より1993年10月まで{SN1207(91-93)}の4組のデータ, 及び93年10月から95年3月まで{SN1207(93-95)}の3組のデータはIPTS-68の係数で, 95年3月から98年5月まで{SN1207(95-98)}の3組のデータはITS-90の係数で計算した。SN1462では1993年9月から95年2月まで{SN1462(93-95)}の4組のデータをIPTS-68の係数

で, 95年3月から98年5月まで{SN1462(95-98)}の7組のデータはITS-90の係数で計算した。SN1465では1993年9月から95年2月まで{SN1465(93-95)}の4組のデータをIPTS-68の係数で計算し, 95年3月から98年5月まで{SN1465(95-98)}の7組のデータはITS-90の係数で計算した。

2.2 伝導度データ

伝導度センサSN960は1991年10月より1998年5月までの間に7回, SN1045は1993年9月より1998年5月までの間に10回, SN1174は1993年9月より1998年5月までの間に12回較正試験が行われそれらの較正データが蓄積されている(表—1下)。

SN960では1991年より95年までの5組の較正データがIPTS-68の係数(abcd)で与えられ, ITS-90の係数(ghij)は97年からの2組のみの較正データであるので, この2組のデータは使用せず{SN960(91-95)}はIPTS-68の係数でセンサ伝導度を計算しその散布図を検討した。SN1045は1993年から98年まで10組の較正データがあり1993年から95年までの{SN1045(93-95)}はIPTS-68の係数により, 1995年から98年までの6組の較正データによる{SN1045(95-98)}はITS-90の係数によってセンサ伝導度を計算し検討した。

SN1174は1995年3月, 及び1996年5月の較正試験に際しセンサ自体に手を加えたとの記載が有り1993年10月から1995年2月まで{SN1174(93-95)}はIPTS-68の係数により, 1995年5月から1996年4月まで{SN1174(95-96)}はIPTS-68の係数により, 1996年5月から1998年5月まで{SN1174(96-98)}はITS-90の係数による伝導度の誘導と3回に分割してセンサのドリフト特性を分析した。

3 方法及び結果

3.1 温度センサのドリフト計算方法及び結果

(1) 方法

バス温度を -2°C 近傍から 32°C 近傍まで9ないし11段階に変化させその時のバス温度を二次標準になっている温度計で計測しそれを基準温度とする。そして温度センサが示すセンサ周波数が読み取られる。センサ周波数から導かれる読み取り値と基準温度との差を最小にするように9ないし11個の点を結ぶ曲線を近似する多項式の係数(abcd, 又はghij)が決められる。この係数(abcd, 又はghij)と読み取られたセンサ周波数から下記の式で9ないし11個のセンサ温度が計算される。前述の作業はSBE社で実施されここに述べたバス温度, センサ周波数, 近似する多項式の係数などが表としてSBE社から与えられている。我々はドリフト量の評価に際し, 例えば1年後のドリフト量の計算は1年後に較正操作を実施するとき与えられたバス温度におけるセンサ周波数と, 初回の(1年前の)係数abcdを用いてセンサ温度を誘導し1年前のセンサ温度との差をその期間におけるその温度

表-1 SBE 9/11 センサの校正データ・リスト

温度センサ			
番号	SN 1207	SN 1462	SN 1465
1	9-May-98	9-May-98	9-May-98
2	10-Jul-97	21-Oct-97	21-Oct-97
3	20-Mar-95:Calib.modified	29-Mar-97	29-Mar-97
4	8-Mar-95	31-Aug-96	31-Aug-96
5	10-Aug-94	23-Apr-96	23-Apr-96
6	23-Oct-93:abcd Calib.modified	29-Aug-95	29-Aug-95
7	16-Oct-93:abcd	10-Mar-95 Calib.modified	10-Mar-95 Calib.modified
8	31-Mar-93:abcd	22-Feb-95	22-Feb-95
9	28-Oct-92:abcd	25-Aug-94:abcd	25-Aug-94:abcd
10	26-Sep-91:abcd	26-Mar-94:abcd	26-Mar-94:abcd
11		28-Sep-93:abcd	28-Sep-93:abcd
伝導度センサ			
番号	SN 960	SN 1045	SN 1174
1	8-May-98	8-May-98	8-May-98
2	10-Jul-97	21-Oct-97	21-Oct-97
3	17-Mar-95:abcd	25-Mar-97	25-Mar-97
4	29-Jul-94 missed	30-Aug-96	30-Aug-96
5	21-Oct-93:abcd	26-Apr-96	3-May-96 Calib.modified
6	31-Mar-93:abcd	6-Sep-95	26-Apr-96
7	28-Oct-92:abcd	8-Mar-95:abcd	6-Sep-95
8	02-Oct-91:abcd	26-Aug-94:abcd	15-Mar-95 Calib.modified
9		31-Mar-94:abcd	24-Feb-95:abcd
10		09-Sep-93:abcd	26-Aug-94:abcd
11			31-Mar-94:abcd
12			22-Sep-93:abcd

におけるドリフト量とした。

$$\text{センサ温度} = 1/(a+b*\text{LN}(fo/f)+c*(\text{LN}(fo/f))^2+d*(\text{LN}(fo/f))^3)-273.15$$

abcd：初回の較正時の係数

fo：初回の係数誘導時のセンサ周波数

f：1年後の較正時のセンサ周波数

ghijを用いる時は上式のabcdをghijに置き換えた式となる。

(2) 結果

温度センサ SN1207, SN1462, SN1465 のそれぞれに付き前述の分類によりセンサ温度値を誘導し、その値とバス温度値の差をバス温度値に対してプロットし散布図で示した。

図一1：SN1207 (91-93) のバス温度依存性

図一2：SN1207 (93-95) のバス温度依存性

図一3：SN1207 (95-98) のバス温度依存性

図一4：SN1462 (93-95) のバス温度依存性

図一5：SN1462 (95-98) のバス温度依存性

図一6：SN1465 (93-95) のバス温度依存性

図一7：SN1465 (95-98) のバス温度依存性

SN1207における図一1, 図一2, 図一3, SN1462における図一4, 図一5そしてSN1465における図一6, 図一7からバス温度の増加とともにセンサ値とバス温度値の差が増大する事、また時間の経過とともにセンサ値とバス温度値の差が一般的には増大する事が分かる。また時間の経過とともにセンサ値とバス値の差の増加の速度が低下して行く事が観察される。しかし、一部には単調に増大していない個所がある事も認められる。特に図一4, 図一6の22 - Feb - 95の挙動はITS - 90の係数で与えられているセンサ温度をIPTS - 68の係数でドリフト計算した為と思われる。

次いでセンサ値とバス温度値の差の時間依存性(即ちドリフト)を明確にする為、このセンサ値とバス温度値の差の経過時間に対する挙動の解析を行った。

SN 1207 (91 - 93), SN 1207 (93 - 95), SN 1207 (95 - 98)のバス温度依存性のグラフに示されたそれぞれの日付で示される一組のデータにつきセンサ温度値とバス温度値の差をバス温度値に対してプロットする時、バス温度の取り方は0℃から32℃まで自由に設定できるがここでは赤道海域の7 - 800m以深を主な対象とする意味でバス温度値6℃の時のセンサ値とバス温度値の差を経過日数に対して計算した。表一2に3個の温度センサのそれぞれの基点日からの日数とドリフト量を示した。この経過日数に対してドリフト量をプロットしたのが図一8から図一14である。それぞれ

図一8：SN1207 (91-93)ドリフト量の時間依存性

図一9：SN1207 (93-95)ドリフト量の時間依存性

図一10：SN1207 (95-98)ドリフト量の時間依存性

図一11：SN1462 (93-95)ドリフト量の時間依存性

図一12：SN1462 (95-98)ドリフト量の時間依存性

図一13：SN1465 (93-95)ドリフト量の時間依存性

図一14：SN1465 (95-98)ドリフト量の時間依存性

を示す。SN1207による図一8, 図一9では経過時間の増加とともにドリフト量が単調に増大し時間に対し線形近

表一2 3個の温度センサのドリフト量

(日数0は基点を表しその日からの日数におけるセンサ値とバス値の差を示す)

表2-1 SN1207の6度Cにおけるドリフト量

較正実施日	日数	ドリフト量
9-May-98	1146	-0.00099
10-Jul-97	843	0.00146
20-Mar-95	0	-0.00001
8-Mar-95	501	-0.00554
10-Aug-94	291	-0.00494
23-Oct-93	0	-0.00003
16-Oct-93	751	-0.01246
31-Mar-93	552	-0.00765
28-Oct-92	398	-0.00656
26-Sep-91	0	-0.00000

表2-2 SN1462の6度Cにおけるドリフト量

較正実施日	日数	ドリフト量
9-May-98	1156	-0.00095
21-Oct-97	956	-0.00268
29-Mar-97	750	-0.00176
31-Aug-96	540	-0.00165
23-Apr-96	410	-0.00067
29-Aug-95	172	-0.00008
10-Mar-95	0	0.00007
22-Feb-95	512	-0.00408
25-Aug-94	331	-0.00542
26-Mar-94	179	-0.00263
28-Sep-93	0	0.00002

表2-3 SN1465の6度Cにおけるドリフト量

較正実施日	日数	ドリフト量
9-May-98	1156	-0.00350
21-Oct-97	956	-0.00299
29-Mar-97	750	-0.00200
31-Aug-96	540	-0.00145
23-Apr-96	410	-0.00118
29-Aug-95	172	0.00061
10-Mar-95	0	-0.00001
22-Feb-95	512	-0.00491
25-Aug-94	331	-0.00557
26-Mar-94	179	-0.00318
28-Sep-93	0	0.00003

似できることが示されている。しかし図一10では時間に対し線形性を仮定する事は出来なかった。SN1462による図一11, 図一12, SN1465による図一13, 図一14においても概ねセンサ温度値とバス温度値の差は線形性を仮定出来る事が示された。

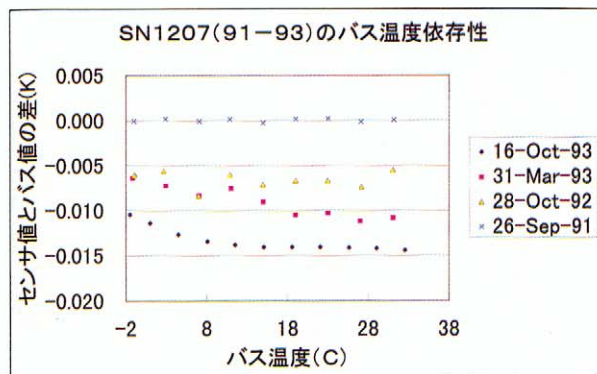


図-1 SN1207 (91-93)

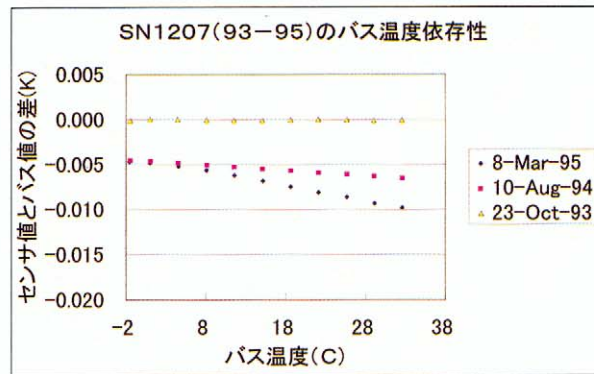


図-2 SN1207 (93-95)

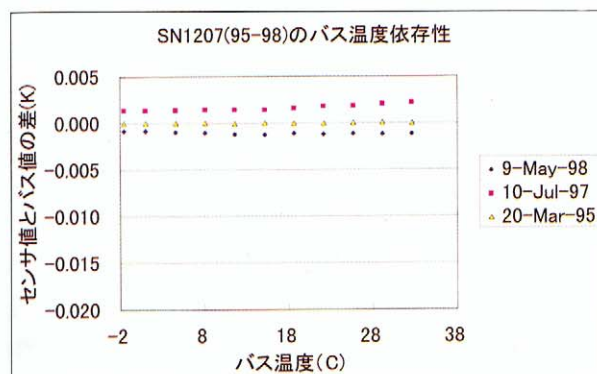


図-3 SN1207 (95-98)

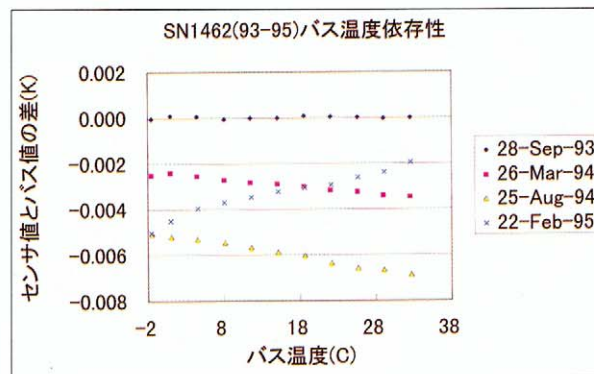


図-4 SN1462 (93-95)

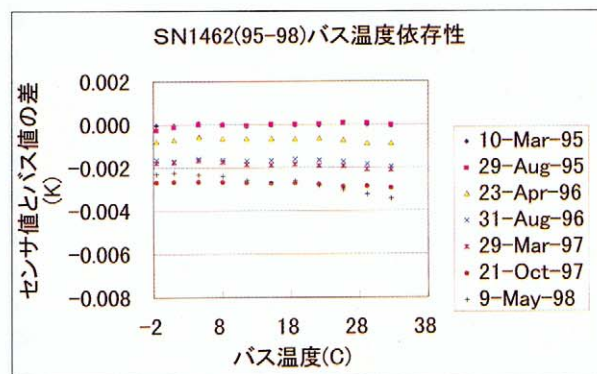


図-5 SN1462 (95-98)

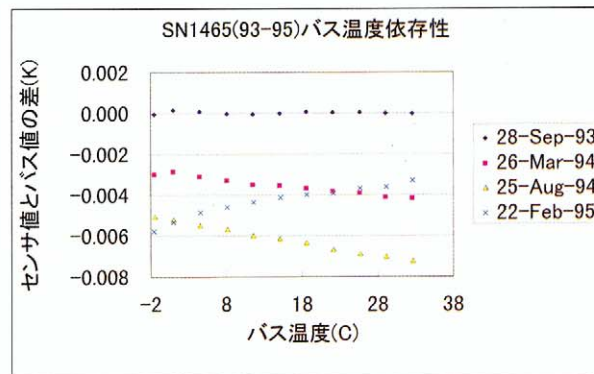


図-6 SN1465 (93-95)

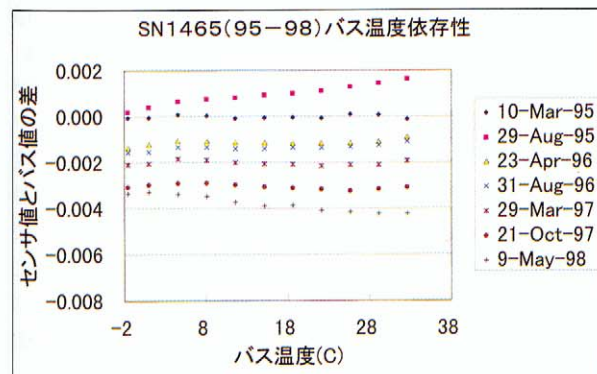


図-7 SN1465 (95-98)

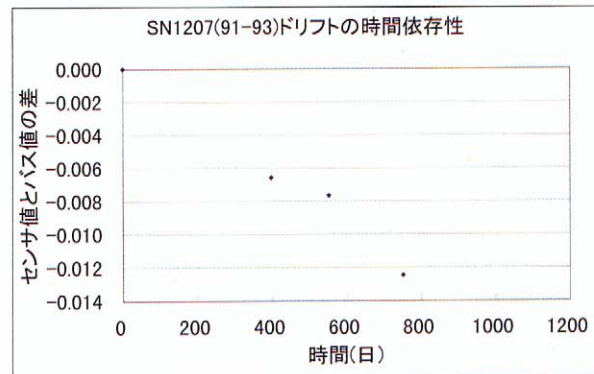


図-8 SN1207 (91-93) の時間依存性

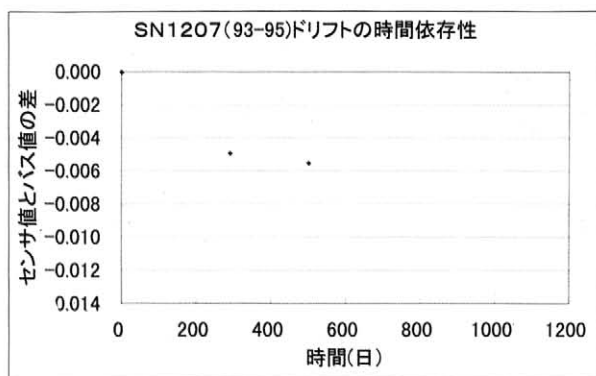


図-9 SN1207 (93-95) の時間依存性

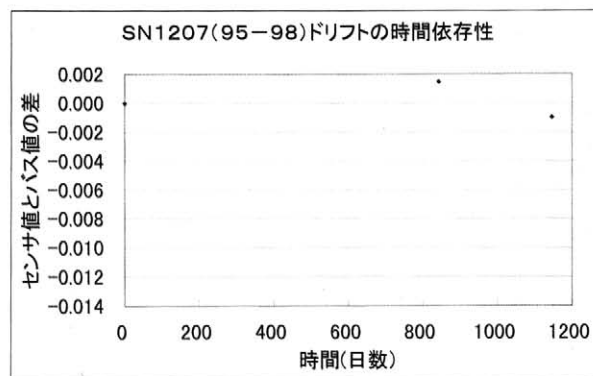


図-10 SN1207 (95-98) の時間依存性

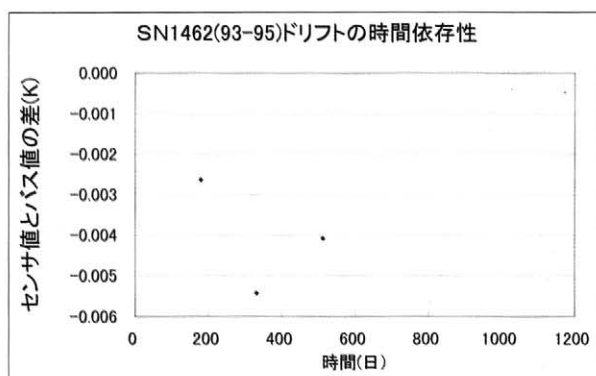


図-11 SN1462 (93-95) の時間依存性

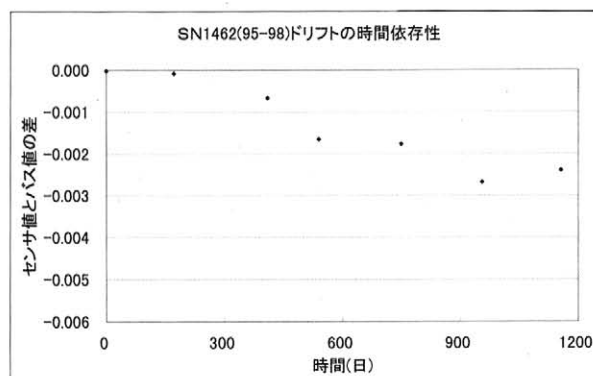


図-12 SN1462 (95-98) の時間依存性

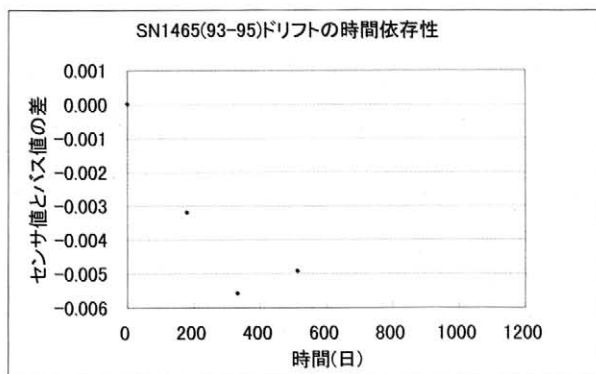


図-13 SN1465 (93-95) の時間依存性

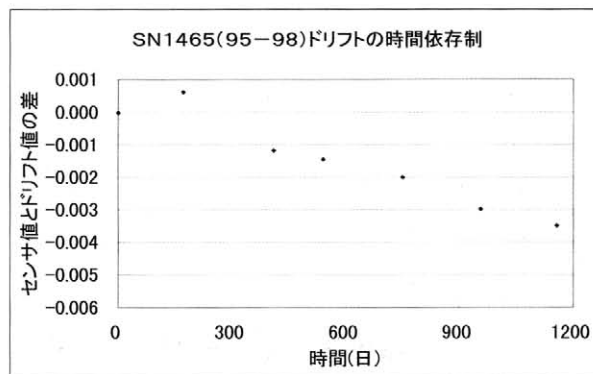


図-14 SN1465 (95-98) の時間依存性

図-1から図-7まで3個の温度センサの全てにおいて経過時間の増加とともに、センサ値とバス値の差の増加の速度が減少する事に対応してドリフト量の時間依存性の勾配が緩くなって行くのが分かる。

SN1207 (91 - 93) の751日間のドリフト量をその経過日数に対してプロットし、経過日数に対する変化が直線性であると仮定して1年間平均のドリフト速度を求めた。

SN1207 (91 - 93) ドリフト量の年間速度は -0.00577K 同様にSN1207 (93 - 95) の501日間から

SN1207 (93 - 95) ドリフト量の年間速度は -0.00451K であった。SN1207 (95 - 98) の(図-3), (図-10)に示されるように三組のデータが全体として一定の変化傾向を示すとは言えず、かつここではデータが3点のみである為この時間依存性から誘導される近似直線を仮定す

るのは困難であるため近似直線を仮定したドリフト量は誘導しなかった。

SN1462では(図-4) SN1462 (93 - 95) において93年9月の初回を基準として95年2月のドリフト量が半年前の94年8月のそれより小さいことが認められ、時間変化に一定の傾向を前提とする時には逆の傾向であるが(図-11)の全体の変化傾向から判断して特別な環境に置かれたとの状況は考えられないのでそのままデータとして使用した。SN1462 (95 - 98) においては(図-5)の散布図に示されるように時間経過とともに一定の増加傾向が示されており時間依存性(図-12)から

SN1462 (93 - 95) ドリフト量の年間速度は -0.00378K

SN1462 (95 - 98) ドリフト量の年間速度は -0.00088K であった。

SN1465では(図—6) SN1465 (93 - 95)の散布図において95年2月のデータがその時点までの三組のデータの傾向と、また(図—7) SN1465 (95 - 98)では95年8月のデータが他の六組のデータの傾向と相違するパターンを示すが変動の範囲内と判断しデータとして使用した。(図—12), (図—13)に示すドリフト量の時間依存性から
SN1465 (93 - 95)ドリフト量の年間速度は-0.00428K
SN1465 (95 - 98)ドリフト量の年間速度は-0.00111K
が導かれた。これをまとめたのが表—3である。

表-3 3個の温度センサのドリフト速度

温度センサ	ドリフト (K/年)
SN1207(91—93)	-0.00577K
SN1207(93—95)	-0.00451K
SN1462(93—95)	-0.00378K
SN1462(95—98)	-0.00088K
SN1465(93—95)	-0.00428K
SN1465(95—98)	-0.00111K

3.2 伝導度センサのドリフト

(1) 方法

バス温度を0度近傍から32度近傍の間に7-9段階に設定し人工海水を用いて塩分濃度を与える。伝導度はバス温度の変化に依存して変化する。この時基準の温度計、塩分計(オートサル)により温度と伝導度の基準値を得る。この時の与えられたバス温度、バス伝導度(塩分)のもとでバスの中に置いた伝導度センサの示す出力周波数が与えられる。このセンサ出力周波数から導かれる読み取り値と基準のバス伝導度との差が最少となるように7-9個の点を結ぶ曲線を近似する多項式の係数abcd, ないしghijが決められる。こうして求められた多項式の係数(abcd, ないしghij)とセンサ周波数、バス温度よりセンサ伝導度が求められる。センサ伝導度からバス伝導度を差し引いた差が残差伝導度である。この一連の操作がSBE社によって実施され、ここに述べたバス温度、バス塩分、バス伝導度、センサ周波数、残差伝導度、近似する多項式の係数(abcd, ないしghij)が表としてSBE社から与えられている。我々は温度センサの時と同様に伝導度のドリフト量評価に際し例えば1年後におけるドリフト量を1年後の較正試験時に与えられたバス温度、センサ周波数と初回の(1年前の)係数(abcd乃至ghij)を用いてセンサ伝導度を誘導し1年前のセンサ伝導度との差をドリフト量とした。

IPTS - 68 の方式の時は

$$\text{センサ伝導度} = (aT^m + bT^2 + c + dT) / 10$$

ITS - 90 の方式の時は

$$\text{センサ伝導度} = (g + hT^2 + iT^3 + jT^4) / (10 + \delta T)$$

の式を用いた。

SN960, SN1045, SN1174の夫々に付き95年までは初回の補正係数(IPTS - 68係数:abcd)を用いた補正方法により以降の較正操作におけるセンサの出力周波数を入

力しセンサの示す伝導度を誘導した。95年以降ITS - 90の温度定義が決められた後は(ITS - 90係数:ghijδ)を用いた補正方法を用いた。

(2) 結果

これらの操作で得られたセンサ伝導度の値とそのときのバス伝導度の差をバス伝導度に対してプロットした散布図を作成する事により全体の変動傾向を把握した。

伝導度センサSN960については較正データは(表—1下)に示すように7組あり、そのうち91年から95年まではIPTS - 68の方式でabcdの係数のみでドリフト特性をしらべた。温度センサの時と同様の方法に従いセンサ伝導度とバス伝導度の差をバス伝導度に対してプロットした。バスの与えられた伝導度に対して91年10月の時点でのデータを基準として95年までのドリフト量の散布図を示した。伝導度センサSN1045, SN1174についても同様の分類により処理した散布図をしめした。

図—15: SN960 (複) (91 - 95) のバス伝導度依存性

図—16: SN1045 (複) (93 - 95) のバス伝導度依存性

図—17: SN1174 (複) (93 - 95) のバス伝導度依存性

SBE社はバスの温度と伝導度を設定する際バス伝導度ゼロでのセンサ周波数を表に与えている。これは空中におけるセンサ伝導度で経過時間による装置回路のドリフト量と想定されるがこの周波数から誘導されるセンサ伝導度が1年後, 2年後のドリフト量の中で加法性を持つか否か不明であるのでオフセット値とする事はしなかった。SBE社はバスに伝導度を設定する際, 当初のIPTS - 68の方式を用いていた時には塩分の濃度を34 - 35 PSU (3.5 - 3.6 siemens/m 相当) 近傍および15 PSU (1 - 3 siemens/m 相当) 近傍の二つのステップを用いている(図—15から図—17の(複)の添字は二つの塩分濃度を用いた事を示す)が、後のITS - 90の方式になると34ないし35 PSU 近傍のただ一つの塩分濃度で較正試験を行っている。1995年までのデータである図—15, 図—16, そして図—17では伝導度センサSN960, SN1045, SN1174の全てにおいて, 散布図は伝導度2.8 siemens/m付近で顕著な不連続性を示す。この事は前述の塩分濃度の二つのステップに対応し, 且つ塩分濃度を15および34 PSU 近傍の二つを用いて較正する事が特段の精度向上に寄与していない事を示し, 二つの塩分濃度ステップによる方法を廃止した事が示唆されている。

尚, SN1174 (95 - 96) ではデータが三組のみであり且つ15 - Mar - 95はIPTS - 68の方式で, 残りの二組はITS - 90の方式で温度が用いられているのでこの期間の解析は行わなかった。

上記の理由によりSN960 (91 - 95), SN1045 (93 - 95), SN1174 (93 - 95)に対する残差伝導度のバス伝導度依存性の散布図(図—15, 図—16, 図—17)から伝導度2.8 siemens/m以上のデータだけを用いてバス伝導度依存性を示したのが図—15-2, 図—16-2, 図—17-2である。従って, 以後の伝導度に関する議論においては伝導度が2.8 - 6.08 siemens/mの近傍に限られる。各組の残差伝導度の時間依存性をあらかず際, 残差伝導度の大きさはバス伝導度の増加に伴って増大して行くが外洋域の7 - 800m水

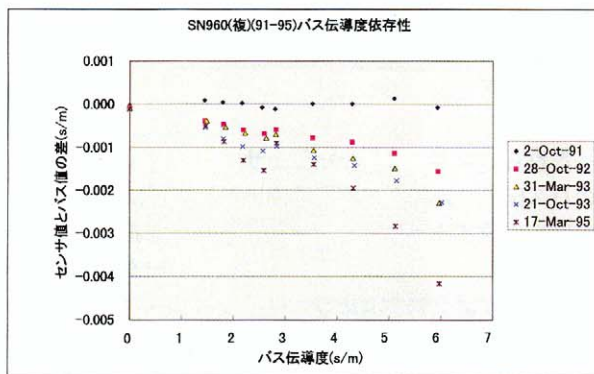


図-15 SN960 (91-95) 2塩分濃度のバス伝導度

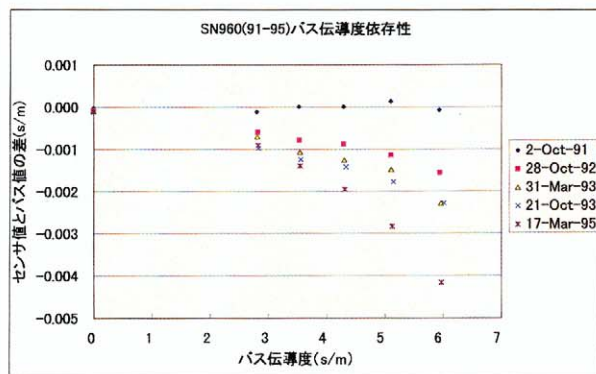


図-15-2 SN960 (91-95) 1塩分濃度のバス伝導度

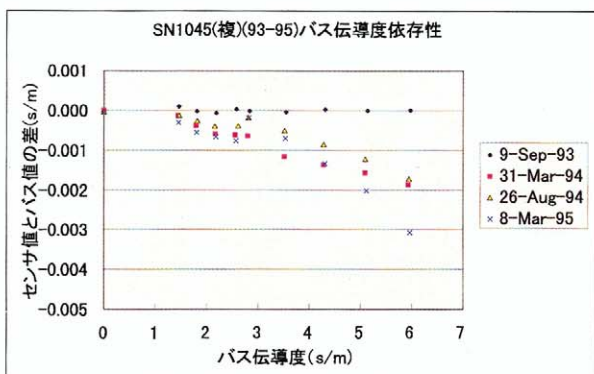


図-16 SN1045 (93-95) 2塩分濃度のバス伝導度

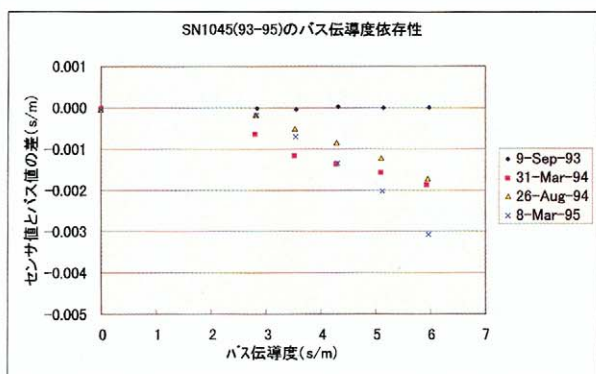


図-16-2 SN1045 (93-95) 1塩分濃度のバス伝導度

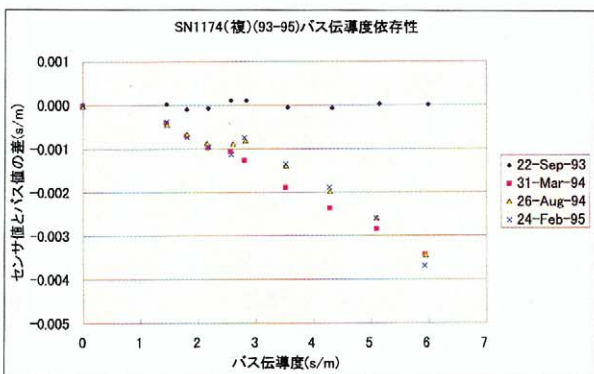


図-17 SN1174 (93-95) 2塩分濃度のバス伝導度

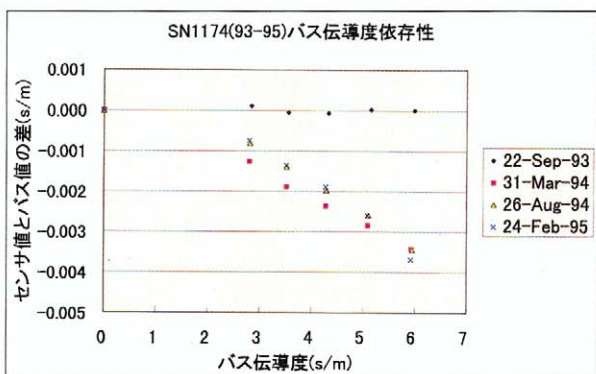


図-17-2 SN1174 (93-95) 1塩分濃度のバス伝導度

深より深い深度の海水は伝導度で3.45 siemens/m, 塩分濃度でほぼ34.5 PSU近傍と考えられるため, 伝導度で3.45 siemens/mでの残差伝導度の大きさの時間依存性を誘導した。

SN960 (91-95) の時間依存ドリフト量, SN1045 (93-95) の時間依存ドリフト量, SN1174 (93-95) の時間依存ドリフト量の夫々を表一4に示した。

これらの結果のグラフは

図-18: SN960 (91-95) ドリフトの時間依存性

図-19: SN1045 (93-95) ドリフトの時間依存性

図-20: SN1174 (93-95) ドリフトの時間依存性

と示される。

図-18, 図-19, 図-20の夫々において残差伝導度が時間と共に単調に増加しているのは図-18のSN960 (91-95) のみであった。

SN960 (91-95) における1262日間のドリフト量をその経過日数に対してプロットし最小自乗法により直線を仮定したとき誘導されるドリフト速度は1年間で-0.00055 siemens/mであった。1995年より始まったITS-90の方式による98年までの較正係数を用いたSN1045 (95-98) 及びSN1174 (96-98) における残差伝導度のバス伝導度依存性及び時間依存性についても同様に誘導した。SN1045 (95-98) ではパラツキが大きく線形性を仮定することに議論の余地があるが仮に線形と見なした時975

表-4 SN960(91-95)ドリフト量

較正実施日	日数	ドリフト量
2-Oct-91	0	-0.000013
28-Oct-92	392	-0.000798
31-Mar-93	546	-0.001095
21-Oct-93	750	-0.001233
17-Mar-95	1262	-0.001780

表-4 SN1045(93-95)ドリフト量

較正実施日	日数	ドリフト量
9-Sep-93	0	-0.000014
31-Mar-94	203	-0.001000
26-Aug-94	351	-0.000466
8-Mar-95	545	-0.000648

表-4 SN1174(93-95)ドリフト量

較正実施日	日数	ドリフト量
24-Feb-95	520	-0.0016
26-Aug-94	338	-0.0016
31-Mar-94	190	-0.00188
22-Sep-93	0	0.0000

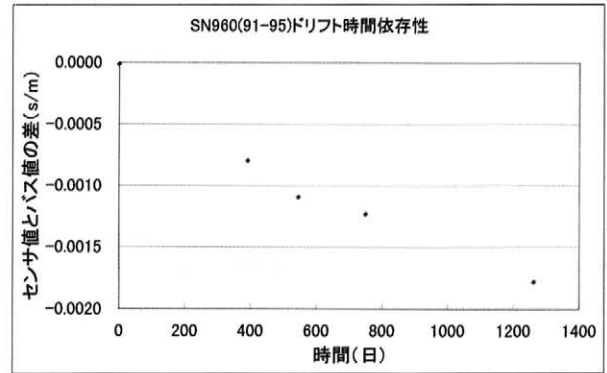


図-18 SN960 (91-95) ドリフト

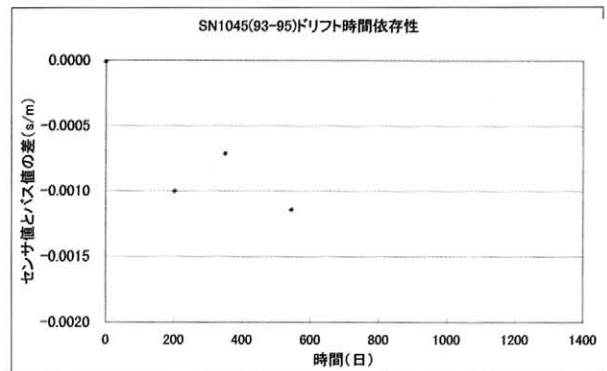


図-19 SN1045 (93-95) ドリフト

日間から誘導されるドリフト速度は1年間で

- 0.00023 siemens/m

であり、

また、SN1174 (96-98) でも100日目以降は線形的挙動であるが、初日から100日目まではドリフト量の変動が負に大きく変化している。仮に線形とすると735余日間から誘導されるドリフト速度は1年間で

- 0.00086 siemens/m

となる。伝導度センサではSN960の91年-95年のデータ(図-18)以外はドリフト量の時間依存分布における一様性に乱れがあって、温度センサのような安定性に欠ける所があり不安定なセンサである事が示された。

4 結論

今回のドリフト量試算の目的の1つは自分たちが海洋観測に使用しているこのシステムが導入されてから、あるいは最後に較正を実施してから現在までにどれほどドリフトしているのか推定できること、そしてその過程で大きな不連続性が観察された時には、その原因がこれらの測器をどのように使用していたためか観測作業のメモから要因を類推することができて測器の取り扱いにどんな注意を払うべきか示唆を得る事である。

(1) 今回の分析により温度センサは伝導度センサに比較し経過時間に対するドリフト量の増大の仕方が、例外もあるが基本的に単純で、負方向への一方的な増大であった。3個の温度センサの6回のドリフト量試算の結果は1年間の絶対温度で小数点以下3桁目、4桁目における変

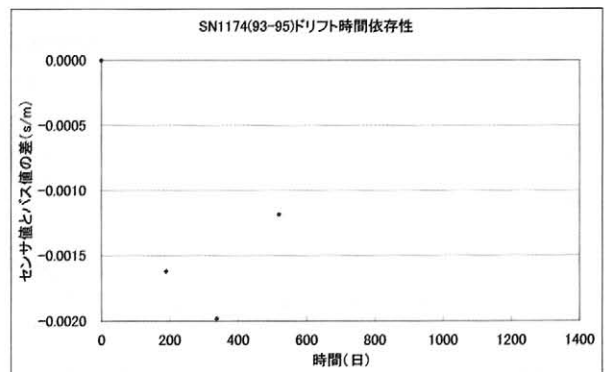


図-20 SN1174 (93-95) ドリフト

動であり、その最大変動値は1年間で-0.0057K、全平均値は1年間で-0.0034Kであった。

(2) 3個の温度センサの全てにおいて時間の経過と共にドリフト速度は減少する事がしめされた。

(3) この結果自分たちが計画している水温観測が例えば小数点以下2桁の正確度(accuracy)で満足できるものである場合は年1回の較正で充分対応できる事が分かった。

(4) 他方、伝導度センサのセンサ値とバス伝導度値の差をバス伝導度に対してプロットする際のバス伝導度の与え方において、SBE社はわずか4年前の1995年においてそれ以前とその較正手法を変えている事からも推定されるように未だセンサ自体、および較正方法の双方で改良の余地が大きい事が伺われた。

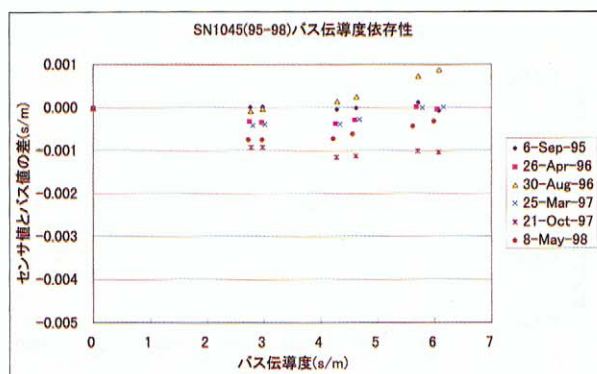


図-21 SN1045 (95-98) のバス伝導度依存性

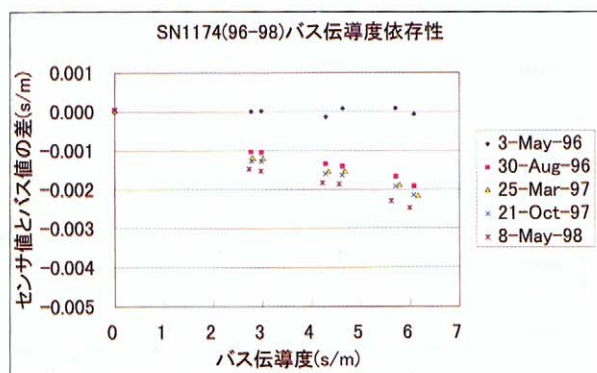


図-22 SN1174 (96-98) のバス伝導度依存性

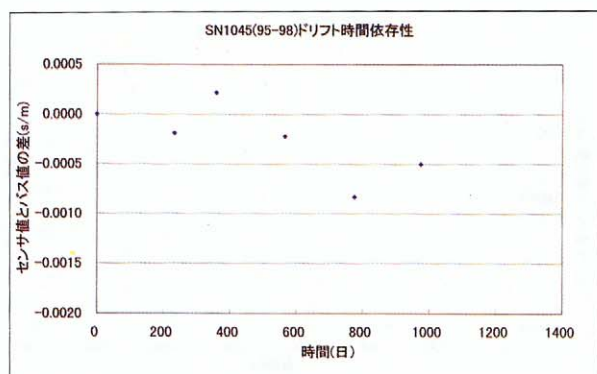


図-23 SN1045 (95-98) ドリフトの時間依存性

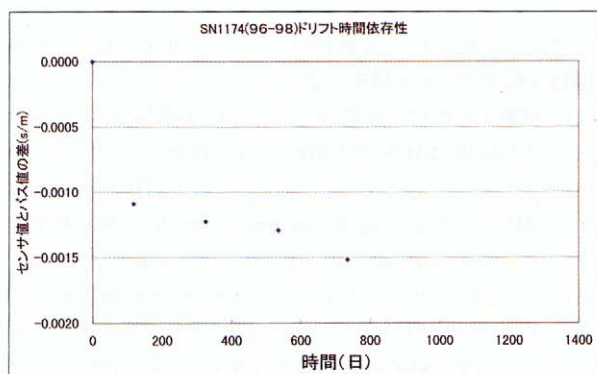


図-24 SN1174 (96-98) ドリフトの時間依存性

(5) 本報告にある3個の伝導度センサの5回のドリフト量試算の結果は図-18のSN960 (91 - 95) の一例だけが経過時間に対してドリフト量が単調に負に増大していた。図-19のSN1045 (93 - 95) は4組のデータのうち1組のそれが仮定される直線性を外れておりその間のクルーズレポートにも特段のメモは無かった。保管方法は通常のやり方であり経時変動の挙動から可能性としては洗浄の不充分が推定されるが今の所証拠はない。従来より言及されている事であるが伝導度センサの変動はセンサ表面の汚染の影響が非常に強いとされているのでセンサの保管管理には細心の注意を払う必要があることがこれからも示されている。図-20のSN1174 (93 - 95) ではドリフト量が経過時間と共に増大する傾向は見られなかった。図-23のSN1045 (95 - 98) ではデータにバラツキはあるもののドリフト量の直線的な時間依存性が示されているとみなした。図-24のSN1174 (96 - 98) ではドリフト量は経過時間に対して100日目以後単調に増大しているが初めの1年間のドリフト量が過大であったため経過時間にたいして原点を通る直線を仮定するのには多少の無理がある。しかしこのグラフの挙動から図-24では図-19のケースで推定したような不十分な洗浄が原因なのではなくセンサの初期変動の不均一性に起因する事が推定された。

(6) ドリフト量が経過時間に対して単調に増大していると見なした伝導度センサSN960 (91 - 95), SN1045 (95 - 98), SN1174 (96 - 98) の1年間の平均のドリフト量は - 0.00055 siemens/mであったが、伝導度センサの場合はドリフト量の増大が経過時間に対して非単調増加であるデータが多くあくまでも目安の値と考えるべきである。

参考文献

- 1) 理工学辞典 1996年
東京理科大学理工学辞典編集委員会編
- 2) T. Kawano et.al
A Hydrography in the Southern Philippines Sea. From WOCE Hydrographic Programme Section PR1S and PR24.
International WOCE News Letter # 19. 1995
- 3) B.W.Mangum & G.T.Furukawa 1990.
Guidelines for realizing the International Temperature Scale of 1990 (ITS - 90).
National Institute of Standards and Technology Technical Note 1265.

(原稿受理:1999年7月15日)