

南極昭和基地の水位観測に対する密度変化の影響について†

道田 豊*, 小川明彦**, 岡野博文***

An Estimation of the Effect of Density Changes upon Sea Level Measurement at Syowa Station, Antarctica †

Yutaka MICHIDA*, Akihiko OGAWA** and Hirofumi OKANO***

Abstract

The summer party of the 35th Japanese Antarctic Research Expedition carried out an observation for the vertical profile of temperature and salinity in the vicinity of the sea level station at Syowa Station, Antarctica, by using a Nansen water sampling bottle and a reversing thermometer on January 26, 1994. We estimate the effect of seasonal density changes of the sea water above the pressure gauge upon sea level measurement with the gauge, by comparing the density profile determined by the observation in summer of 1994 and previous ones in winter of 1982. In possibly typical cases, the sea level measured with the pressure gauge at Syowa Station can be about 4cm higher in winter than in summer due to the seasonal density changes, which is about 15% of the amplitude of seasonal sea level variation.

1. はじめに

南極の昭和基地では、我が国の南極地域観測事業の一環として初期の段階から水位（潮位）の観測が行われている。南極の厳しい自然環境のため、連続的な水位観測の維持は困難を極め、1970年代の後半になってようやくほぼ連続した観測記録が得られるようになった。南極地域における長期間の水位観測としては、南極半島に設置されているいくつかの基地がある。例えば英国の Faraday 基地では、1960年代から現在まで約30年間、水位観測が継続されている。しかし、南極半島という比較的緯度域に張り出した水位観測の維持にとって相対的に良い条件にある場所を除くと、昭和基地が唯一の長期観測点である。

1990年代に入って、昭和基地の水位観測データを用いた解析研究が盛んに行われるようになった。

た、Odamaki *et al.* (1991) は、1981年から87年まで7年間のデータを解析し、昭和基地の年平均水位が毎年約1cmの割合で低下する傾向にあることを明かにした。この事実は、氷床の荷重の解放によって昭和基地周辺の地殻が隆起していることの傍証として注目を集めた。また、Nagata *et al.* (1993) は、昭和基地の水位の季節変動を論じ、平均水位は夏に低く冬に高く観測されることを示し、その変動の大きさが約26cmであると見積もった。このように解析が進展しているほか、世界海洋循環実験 (World Ocean Circulation Experiment: WOCE) において南極周極流の変動のモニター点として登録され、同時に GLOSS (Global Sea Level Observing System) においても南極の数少ない登録観測点となっている。

昭和基地の水位観測は海底に設置した水圧計によって行われているため、海水密度の変化は、見

† Received 1996 January 8th Accepted 1996 February 8th

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

** 新潟海上保安部 Niigata Maritime Safety Office

*** 海洋汚染調査室 Marine Pollution Research Laboratory

かけ上の水位変化をもたらす。通常は、水圧計による水位測定において海水密度の変化の影響は小さいとみなすことができるが、昭和基地のように季節的に海水の消長があるような場所では、結氷、融氷にともなう密度構造の変化が大きく、その影響を無視し得ない可能性がある。実際の水位と水圧計の読み取り値の関係については、南極観測の夏隊によってほぼ毎年副標観測が行われ、縮率と観測基準面のチェックが行われている。しかし、この作業は夏に限られているため、夏場の密度構造に基づく縮率を全年適用していることになる(道田, 1994)。また、観測点の海水の密度構造そのものの経時変化については、これまで十分な注意が払われてきたとは言い難い。

観測点近傍のベンチマークと関連づけた水位の長期変化などを議論するためには、そのシグナルがcmのオーダーと推定されることから、海水の密度構造の連続的なモニターを行って観測精度を確保することが望ましい。しかし、現状の観測体制では全年のモニターは困難な状況にある。そこで、少なくとも夏の融氷期における海水の密度を把握しておくため、1994年1月、西の浦の驗潮器設置地点付近において水温・塩分構造の観測が第35次夏隊によって実施された。ここでは、その観測結果と、過去のオングル海峡における全年観測データから推定した冬季の海水密度を用いて、昭和基地の水位観測における海水密度の変化の影響を評価した結果について述べる。

2. 昭和基地における水位観測

現在、南極昭和基地における水位観測は、東オングル島北西部の「西の浦」という海岸で行われている。かつては同島北部の「北の瀬戸」で何回か水位観測が試みられたこともあるが、いずれも短期間に終わり、1970年代以降は「西の浦」に定着している。南極では1年の大半が海氷に覆われ、国内の驗潮所のような驗潮井戸に浮子を用いる方法では測定の維持が困難であると考えられることと、驗潮所建設のための大がかりな工事は観測隊のさまざまな制約の中で相当困難であることなど

から、昭和基地では岸から数十m沖合いの海底に水圧計を設置して水位の変化を測定している。水圧計の設置水深は10~15mである。1975年に第16次隊が圧力の検出にストレインゲージを用いる形式の水圧計を設置して以降、ほぼ連続して記録が得られるようになった。その後1987年には圧力検出に水晶発信子を用いる水圧計が導入され、現在に至っている(Odamaki *et al.*, 1991; Michida, 1988; 小田巻, 1993)。

平均海面からの深さ h の地点に設置された水圧計で測定される静水圧 P は、Fig. 1 に示した変数及び重力加速度 g を用いて次のように表わされる。

$$P(t) = P_a(t) + g \int_{-h}^{\eta} \rho(z, t) dz \quad (1)$$

海水の密度 ρ を、時間平均した密度もしくは副標観測によって決定した縮率に対応する密度と、時間変化する項とに分けて、

$$\rho(z, t) = \rho_0 + \rho'(z, t) \quad (2)$$

とし、これを用いて(1)式を書き換えると、

$$P(t) = P_a(t) + \rho_0 g \eta(t) + g \int_{-h}^0 \rho'(z, t) dz + \delta \quad (3)$$

となる。(3)式において、右辺第1項は大気圧、第2項は水位の時間変化に伴う水圧の変化のうち(2)式第1項の時間変化しない密度で表わされるもの、第3項は密度の時間変化に伴う水圧の変化、第4項 δ は密度の時間変化分と水位の変化分による項である。多くの場合、水圧計の出力の時間変化に対する(3)式第4項の寄与は、他の項に比べて小さいと考えられる。

ここで観測したい量は水位の変動 $\eta(t)$ であり、(3)式の δ を微小な量として無視して変形すると、次のようになる。

$$\eta(t) = \frac{P(t)}{\rho_0 g} - \frac{1}{\rho_0} \int_{-h}^0 \rho'(z, t) dz - \frac{P_a(t)}{\rho_0 g} \quad (4)$$

$$\eta(t) + \frac{P_a(t)}{\rho_0 g} = \frac{P(t)}{\rho_0 g} - \frac{1}{\rho_0} \int_{-h}^0 \rho'(z, t) dz \quad (4')$$

水位のデータを海況変動の指標などに利用する際は、普通気圧補正が行われる。昭和基地の観測値は(1)または(3)のように大気圧を含んだ値となっ

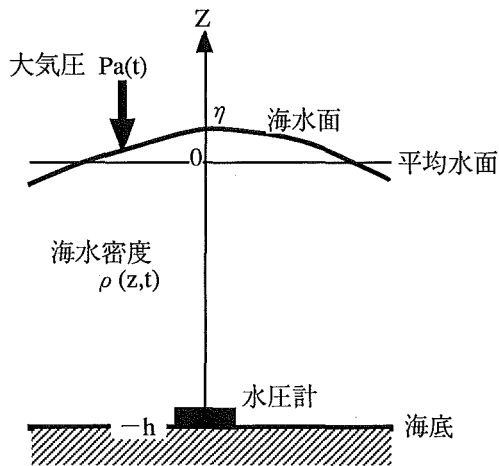


Fig. 1. A schematic view of sea level measurement with bottom mounted pressure gauge.

ているため、(4)のように変形すれば、別途気圧の観測がなくても気圧補正済の水位を求めることができる。

ここで問題としているのは、(4)及び(4)'式の右辺第2項の大きさであり、これが季節的に変化することによって、どの程度見かけ上の水位変化をもたらしているか、次節以降で評価する。

3. 水温塩分の観測結果

海水密度の変化が水圧式水位計の出力に及ぼす影響を調べるため、1994年1月26日、昭和基地の驗潮器設置位置付近で採水観測が実施された。「西の浦」の驗潮所の岸から沖に約50m、水深11.0mの地点にゴムボートを浮かべ、ナンセン採水器を用いて海面下3m、6m、10mの3層の海水を採取した。同時に各層の水温を転倒温度計によって測定した。また、表面海水は塩分検定用試水瓶に直接採取し、表面水温を転倒温度計によって測定した。採取した海水を日本に持ち帰り、ギルドラ

Table 1. Results of temperature and salinity observation carried out above the tide gauge of Syowa Station on January 26, 1994.

深さ(m)	水温(°C)	塩分(PSU)	密度(σ)
0	2.411	0.243	0.152
3	-1.457	33.649	27.088
6	-1.519	33.789	27.218
10	-1.512	33.910	27.335

イン社製の比電導度計 AUTOSAL による塩分測定を1994年4月29日に実施した。水温、塩分の測定結果を Table 1 に示す。

表面で非常に塩分の薄い水が観測されている。下層の水についても、Fukuchi *et al.* (1985) が昭和基地周辺で実施した海洋観測の結果と比較した場合、冬季の塩分よりもいくらか(0.2~0.5PSU)低い値となっている。

4. 夏季、冬季の海水密度と水圧

4.1 夏季の海水密度と水圧

夏季については、第3節で述べたとおり、水圧計設置地点付近の観測結果から海水密度の鉛直構造が求められた(Table 1)。表面と海面下3mの間に非常に大きな密度勾配があるが、この間の観測値がないため、密度躍層の深さを特定できない。そこで、海底に設置した水圧計にかかる水圧を計算するにあたって、3m以浅の密度構造について次の3つの場合を想定した。

ケース1 (S-1)：水圧が最小になる場合として、3m以浅の水がすべて表面と同じ密度とした場合

ケース2 (S-2)：3mから表面まで密度はリニアに減少するとした場合

ケース3 (S-3)：表面の直下まで3m深と同じ密度であるとした場合

3m以深の構造については、観測データのある層の間の密度は線形内挿で近似した。こうして計算した水圧の値を各ケースについて Table 2 に示す。

4.2 冬季の密度の推定と水圧

冬季の海水密度については、水圧計設置地点付近の観測資料がないため、推定を行う必要がある。Fukuchi *et al.* (1985) は、昭和基地のある東オングル島と南極大陸の間のオングル海峡に設定した5つの定点観測点において、1982年から1983年にかけて通年の海洋観測を行った。観測点によって観測回数が異なる(16~19回)が、いずれの観測点についても冬季における海水下の海洋構造が観測されている。5つの観測点のうち、最も昭和基

Table 2. The water pressure that should be observed at 11.0m depth for various probable density structure.

ケース	海底における水圧 ($\times 10^4$ Pa=dB)
S-1	10.994
S-2	11.034
S-3	11.073
W-1	11.075
W-2	11.076
W-3	11.078

地に近いものは「北の瀬戸」の水深約10mの地点であり、「西の浦」の験潮所からの距離は約2kmである。この点と「西の浦」の間で水温塩分の違いは大きくないものとして、冬季の海水密度を推定した。これを含め、夏季の場合と同様に次の3つの場合を想定して計算を行った。

ケース1 (W-1)：夏季の観測で得られた10m深の密度が全層を覆っているとした場合

ケース2 (W-2)：冬季の代表値として、水温-1.6°C、塩分34.1の水が全層を覆っているとした場合

ケース3 (W-3)：Fukuchi *et al.* (1985) の観測結果のうち最も密度の高い水 (水温-1.8°C、塩分34.3) が全層を覆っているとした場合

計算された水圧の値を各ケースについて、夏季の場合と併せて Table 2 に示す。

5. 海水密度の季節変化と水圧変化

Table 2 に示した夏場、冬場の想定密度分布の組み合わせについて、観測される水圧に現われる影響を Table 3 に示す。単位はdBで、正の値は冬場に見かけ上水位を高く見積もる場合に相当する。表面で観測された真水に近い水の鉛直分布のしかたによるが、仮に表面1mの水がかなり塩分が薄いとすれば、数cm分の影響があることがわかる。最もありそうな場合として、夏場についてケース2 (3m深から表面までリニアに密度が減少)、冬場についてもケース2 (水温-1.6°C、塩分34.1の水が全層を覆っている) をとった時、Table 3

Table 3. Spurious seasonal sea level change due to the difference of density structure, being presented for some combinations of density structure in summer and winter. Positive values mean spurious high in winter. (Unit : dbar)

		夏		季
		S-1	S-2	S-3
冬	W-1	0.081	0.041	0.002
	W-2	0.082	0.043	0.003
季	W-3	0.084	0.044	0.005

Table 4. Magnifying coefficients in winter relative to those in summer (=1.000) for some combinations of density structure in summer and winter same as in Table 3

		夏		季
		S-1	S-2	S-3
冬	W-1	0.993	0.996	1.000
	W-2	0.993	0.996	1.000
季	W-3	0.992	0.996	0.999

によれば冬季には見かけ上約4cmほど夏季よりも水位が高くなる。

また、縮率 (水位を求める場合験潮器の読みに乗すべき定数) も影響を受ける。夏場の縮率に対する冬場の値は、各々の場合で Table 4 のようになる。ここで想定した冬の密度分布であればそれほど大きな影響とはならない。

Sato *et al.* (1995) は、験潮所付近の海水上で海水の上下変位と水圧式験潮器の値の比較を1993年5月~12月の間に6回行い、1994年1月 (夏) に実施された副標観測による縮率に対して、海水の上下変位による縮率が2%ほど小さいことを示した。彼らはその原因を、氷が潮汐の動きに完全には追従しないためであると推定している。ここで指摘した季節による密度の違いは、冬場には全体に密度が高くなるとしているもので、冬季の縮率を小さくするセンスである。上の見積もりでは1%以下となっているが、ある程度は海水密度の変化も効いている可能性がある。

6. おわりに

昭和基地における水位観測で懸案となっていた海水密度変化の影響について、第35次日本南極地域観測隊夏隊によって実施された水圧センサー付近の夏季の水温・塩分観測結果と、Fukuchi *et al.* (1985) によって実施された「北の瀬戸」付近における観測結果を用いて検討した。その結果、冬季は夏季に比べて約4 cmほど見かけ上水位を高く観測する可能性があることがわかった。すなわち、Nagata *et al.* (1993) による水位の季節変動幅26 cmのうち約15%は海水密度の季節変動に起因するものである可能性を示している。

ただしここで示した評価は、冬季の海水密度についてセンサー直上の観測値を用いていないため、不確実な点が残されている。今後は、冬季に、または可能であれば月毎に海水密度の観測を行って、昭和基地の水圧計による水位観測の精度を上げていく必要がある。

謝 辞

昭和基地の水位観測点付近での海洋観測にご協力いただいた第35次南極観測隊の隊員の方々をはじめ、毎年越冬期において潮汐観測を維持して頂いている各次越冬隊の地学担当隊員の方々に感謝致します。

参 考 文 献

Fukuchi, M., A. Tanimura and H. Ohtsuka :
Marine Biological and Oceanographical

Investigations in Lützow-Holm Bay, Antarctica, *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*, 52-59, 1985.

Iwanami, K. and S. Futatsumachi : Oceanographic Data of the 25th Japanese Antarctic Research Expedition from November 1983 to April 1984, *JARE Data Reports* No.117 (Oceanography 6), 1986.

Michida, Y., Japanese Activity on Sea Level Measurement in the Antarctic Region, *IOC Workshop Rep.* 54, 1988.

道田 豊 : 南極昭和基地の水位について, 月刊海洋, 号外6, 153-158, 1994.

Nagata, Y., M. Kawamiya, Y. Michida and M. Odamaki : Seasonal variations of the sea level at Syowa Station, Antarctica, *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glacio.*, 7, 60-72, 1993.

Odamaki, M., Y. Michida, I. Noguchi, Y. Iwanaga, S. Ikeda and K. Iwamoto : Mean sea-level observed at Syowa Station, East Antarctica, *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, 5, 20-28, 1991.

小田巻実 : 南極昭和基地の平均水面の長期変化について, 月刊地球, 15, 435-439, 1993.

Sato, T., K. Okano T. Sawagaki and H. Enomoto, Tidal Displacement of Sea Ice Observed at Nishi-no-Ura Cove on East Ongul Island, Antarctica, *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, 8, 43-48, 1995.