



Title	眼高差について(III)
Author(s)	日向, 政明; HYUGA, Masaaki; 坂本, 有隣 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 25(1), 55-60
Issue Date	1974-07
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/23510">https://hdl.handle.net/2115/23510</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	25(1)_P55-60.pdf



眼 高 差 に つ い て (III)

日 向 政 明\*・坂 本 有 隣\*

Investigation into the Dip of the Sea Horizon (III)

Masaaki HYUGA\* and Yurin SAKAMOTO\*

Abstract

The dip of the sea horizon varies with the terrestrial refraction of the ray of light from the sea horizon to the observer's eye. Therefore, in order to investigate into the dip, it is necessary to make an essential study of the meteorological factors, *i.e.*, air temperature, air pressure, vapour pressure etc. To estimate the dip, vapour pressure is generally neglected as being small. It is, however, considered needed to clarify how it affects the dip. The authors tried some analyses on the data observed during the cruises of the T.V. Oshoro-Maru of the Hokkaido University in the years of 1965, 1968, 1970, 1972, 1973 and they have found that the vapour pressure of the air gives appreciably some effect on the dip. The relation between  $\Delta d$  and  $\Delta e$  is shown in Figs. 1A and 1B where  $\Delta d$  denotes the difference between the dip observed on the sea and that with no terrestrial refraction, and  $\Delta e$  denotes the difference between the vapour pressure of the observer's eye and that of the sea surface, respectively. Fig. 1A shows the results of the data 168 of D deck only, while Fig. 1B does those of the data of D deck of the year 1965 and all the other decks of the years 1968, 1970, 1972, 1973. The correlation coefficients and regressions of the two groups were found as follows:

- 1) correlation coefficient:  $-0.632$   
-:- regression:  $\Delta d = -0.140 \Delta e - 1.234$  (D deck only)
- 2) Correlation coefficient:  $-0.639$   
-:- regression:  $\Delta d = -0.156 \Delta e - 1.370$  (all decks)

The amount of effect  $\Delta d_e$  due to  $\Delta e$  was computed by the following equation on the data 134 of D decks of the years 1965, 1968, 1970:  $\Delta d_e = -\frac{118.2}{d_0 T} \Delta e$ .

The mean values of  $\Delta d$  and  $\Delta e$  above are as follows:

	Range of $\Delta/H$	$\overline{\Delta d}$	$\overline{\Delta e}$	Nos. of Data
1)	$\Delta/H > 0$	0.139	-1.932	64
2)	$\Delta/H \leq 0$	0.323	-4.887	70
	Sea Area	$\overline{\Delta d}$	$\overline{\Delta e}$	Nos. of Data
1)	N	0.106	-1.319	64
2)	S	0.353	-5.450	70

N: northern part of the North Pacific

S: southern part of the North Pacific crossing the Equator

\* 北海道大学水産学部漁業航海学講座  
(Laboratory of Fishery Navigation, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

緒 言

眼高差を推定するにあたり、一般には水蒸気圧による影響は僅少として無視されている。眼高差は地上気差による光線の屈折によって変化するもので、その要因である気温、水温、気圧、水蒸気圧等に関する基礎的な研究が必要と考える。本稿においては水蒸気圧に関して若干の解析を試みたので発表する。観測の資料は著者らが北大練習船おしよ丸に乗船、1965, 1968, 1970, 1972, 1973年の第16, 28, 37, 45, 48次航海に参加し眼高差を測定し、同時に気象、海象の状況を記録して得られたものである。本研究を成すにあたり観測に御協力を載いたおしよ丸船長はじめ士官各位に対し深甚の謝意を表す。また、データの処理および計算には北海道大学大型計算機センターおよび北海道大学水産学部計算機センターを利用したことを付記する。

方 法

眼高差は理論的には、光の屈折の法則にもとづき、つぎの式で表わされる。

$$tg d = \sqrt{\frac{2H}{r_0} - 2(n - n_0)} \quad (1)$$

$H$ : 眼 高

$r_0$ : 地球の半径

$n, n_0$ : 眼高および海面直上における空気の屈折率

眼高差の測定値は7分 (minute of arc), すなわち  $2 \times 10^{-3}$  rad. 以下であるから  $tg d \approx d$  とおける。屈折率  $n$ , 気圧  $p$ , 水蒸気  $e$  の間の関係はつぎの式で表わせる。

$$n - 1 = a_1 \frac{p}{T} - a_2 \frac{e}{T} \quad (2)$$

$a_1, a_2$  は気圧を mb, 気温を °K で表わすとき Na-D line ( $\lambda 5893 \text{ \AA}$ ) に対し, Brocks (1954) は  $a_1 = 78.8 \times 10^{-6} [^{\circ}\text{K mb}^{-1}]$ ,  $a_2 = 12.4 \times 10^{-6} [^{\circ}\text{K mb}^{-1}]$  を与えている。本稿においては、一般に気象学において用いられる  $a_1$  に対して  $79 \times 10^{-6}$ ,  $a_2$  に対しては  $10 \times 10^{-6}$  を採用した。(2) 式より静力学および大気の状態方程式を用いて地球重力加速度を一定として微小項を無視すれば、 $n - n_0$  はつぎの式で表わされる。

$$n - n_0 = -a_1 \frac{g}{R} \frac{p}{T^2} \left( 1 - \frac{0.377e}{p} \right) \cdot H - \frac{a_1 p - a_2 e}{T^2} \Delta T - \frac{a_2}{T} \Delta e \quad (3)$$

$g$ : 地球重力加速度

$R$ : 乾燥空気の気体常数

$\Delta T$ : 眼高と海面の気温差

$\Delta e$ : 眼高と海面の水蒸気圧差

実 験 結 果

$\Delta d$  と  $\Delta e$  との関係

$\Delta d$  は地上気差による眼高差の変化量,  $\Delta e$  は観測者の眼高と海面の水蒸気圧差である。(3) 式の右辺の  $H, \Delta T, \Delta e$  の項の係数を  $d_1, d_2, d_3$  として各温度別に乾燥空気および湿潤空気の場合についての値を求め第1表に示した。第1表において、(3) 式の右辺の第1および第2項の係数  $d_1, d_2$  は乾燥空気および飽和湿潤空気に対しても、実用上は同様とみて差支えなく、結局最後の第3項が水蒸気圧による影響を与えるものである。 $\Delta e = e - e_0$  において  $e_0$  の推算は困難であるが、さきの報告同様 Sverdrup *et al.* (1946) による計算方法によった。海面の水蒸気圧  $e_0$  は同じ温度の蒸溜水に対する水蒸気圧より下式によって求めた。すなわち、

Table 1. Numerical factors in computing vertical refractive index difference.

t °C	$d_1$ * $m^{-1} \times 10^{-8}$		$d_2$ * $^{\circ}K^{-1} \times 10^{-8}$		$d_3$ $mb^{-1} \times 10^{-8}$
	dry	saturated	dry	saturated	
0	3.66	3.66	1.07	1.07	3.66
10	3.41	3.40	1.00	1.00	3.53
20	3.18	3.15	0.93	0.93	3.41
30	2.98	2.93	0.87	0.87	3.30

\*  $d_1, d_2$  の計算には  $p=1013.25$  mb を採用した。

$$e_0 = e_d(1 - 0.000537S)$$

$e_0$ : 海面の飽和蒸気圧

$e_d$ : 蒸溜水に対する飽和水蒸気圧

S: 塩素量

洋上においては  $e_0$  は  $e_d$  の約 98% である。観測眼高差を  $d_0$  とし、気差による屈折の無い眼高差を  $d_G$  とし  $\Delta d = d_0 - d_G$  を求め  $\Delta d$  と  $\Delta e$  の関係を Fig. 1A, Fig. 1B に示した。Fig. 1A は Deck を同じくする D Deck のみについてすべての年の資料 186 により示し、Fig. 1B は 1965 年の D Deck と他の年のすべての Deck を含む資料 648 によった。2組の資料より  $\Delta d$  と  $\Delta e$  の相関係数および回帰直線を求めつぎの結果を得た。

- 1) D Deck のみの資料 186 によるとき

相関係数  $r$     -0.682

99% の信頼区間    -0.566 ~ -0.771

$\Delta d$  を Y 軸,  $\Delta e$  を X 軸にとるとき回帰直線は

$$Y = -0.14X - 1.234$$

- 2) 1965 年の D Deck および他のすべての年の資料 648 によるとき

相関係数  $r$     -0.639

99% の信頼区間    -0.575 ~ -0.695

回帰直線     $Y = -0.156X - 1.370$

測点における観測者の眼と海面の水蒸気圧の差  $\Delta e$  が地上気差による光線の屈折量におよぼす量  $\Delta d_e$  をつぎの式により求めた。

$$\Delta d_e = 3438 \left[ \sqrt{\frac{2H}{r_0} - 2(n-n_0)} - \sqrt{\frac{2H}{r_0} - 2(n-n_0) + 2\frac{\Delta e}{T} \times 10^{-8}} \right]$$

$3438 \sqrt{\frac{2H}{r_0} - 2(n-n_0)}$  を観測眼高差  $d_0$  とおくと上式はつぎのごとくなる。

$$\Delta d_e \approx -\frac{118.2}{d_0 T} \Delta e \tag{4}$$

(4) 式によって、1965, 1968, 1970 年の D Deck のみによる観測資料 134 より  $\Delta e$  による  $\Delta d$  の変化量を示した。

$\Delta/H (^{\circ}Cm^{-1})$	$\overline{\Delta d_e} (^{\circ})$	$\overline{\Delta e}$ (mb)	Nos. of Data
$\Delta/H > 0$	0.139	-1.932	64
$\Delta/H \leq 0$	0.323	-4.887	70
Sea Area	$\overline{\Delta d_e} (^{\circ})$	$\overline{\Delta e}$ (mb)	Nos. of Data
N	0.106	-1.319	64
S	0.353	-5.450	70

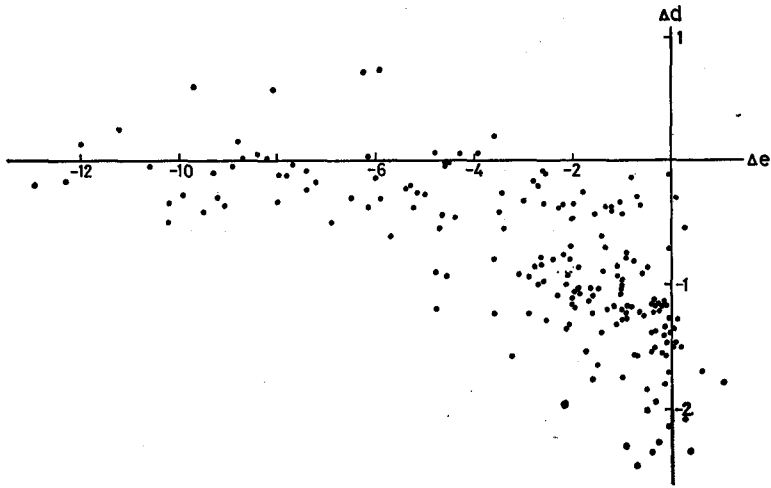


Fig. 1A. Relation between  $\Delta d$  and  $\Delta e$ .

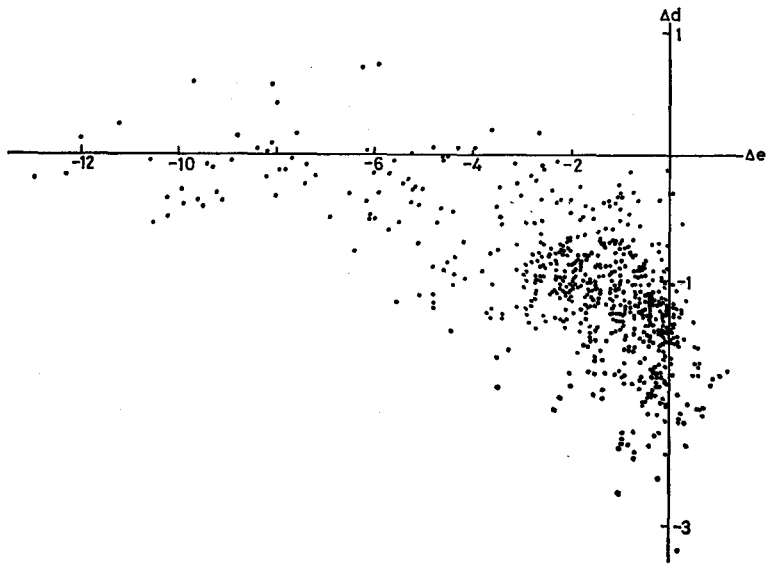


Fig. 1B. Relation between  $\Delta d$  and  $\Delta e$ .

上表において  $\overline{\Delta d_s}$ ,  $\overline{\Delta e}$  はそれぞれ  $\Delta d_s$ ,  $\Delta e$  の平均値を示し, N, S は北方海域, 南方海域を示すものとする。

$\Delta$  と  $\Delta e$  との関係

$\Delta$  は  $T - T_w$  ( $T$ : 眼高の気温,  $T_w$ : 水温) で  $\Delta$  と  $\Delta e$  の関係を D Deck のみについて Fig. 2 に示した。また相関係数および回帰直線を前記の 2 組について求めた結果はつぎの通りである。

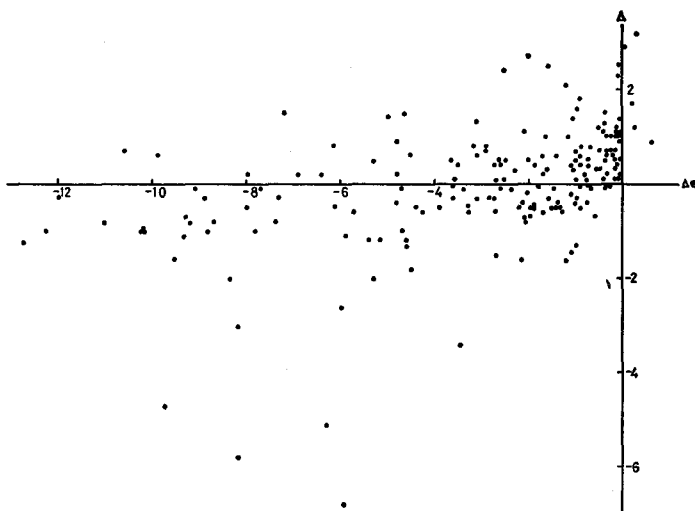


Fig. 2. Relation between  $\Delta$  and  $\Delta e$ .

- 1) D Deck のみの資料によるとき  
 相関係数  $r$  0.482  
 99% の信頼区間 0.323~0.614  
 $\Delta$  を Y 軸,  $\Delta e$  を X 軸にとるとき回帰直線は  

$$Y = 1.162X + 2.900$$
- 2) すべての Deck の資料によるとき  
 相関係数  $r$  0.471  
 99% の信頼区間 0.388~0.546  
 回帰直線  $Y = 1.022X + 1.967$

### 考 察

水蒸気圧の眼高差への影響は Table 1 においてみられるように実際には (3) 式の第 3 項の  $\Delta e$  の項すなわち眼高および海面の水蒸気圧差のみによるものである。著者らの実験によれば眼高差への  $\Delta e$  の影響は 1 mb について平均  $0'.068$  であった。これは僅少として必ずしも無視できない値であって、水温が気温より高いことの多い亜熱帯、熱帯の南方海域においては  $\Delta e$  が  $-10$  mb あるいはそれ以下に達することもあり、眼高差の誤差は  $1'$  近くに達する。また水温が気温より低いことの多い北部北太平洋方面の北方海域においては水蒸気圧差は最小  $-5$  mb 程度を経験したが、この程度の眼高差への影響は約  $0'.3$  である。一般にはこれ以下であるので、北方海域においては水蒸気圧による影響は無視しても大体差支えないものと考えられる。独乙の H. C. Freiesleben は水蒸気圧を考慮に入れた理論式として  $d = 5'.04\sqrt{0.1123H + T_0 - T + 0.135(e_0 - e)}$  を与えている。式の誘導の過程が明らかではないが  $(e_0 - e)$  の項の係数は大きいように思われる。著者らの導いた式はつぎの通りである。ただし、大気の状態 (1013.25 mb,  $15^\circ\text{C}$ ) を用いた。

$$d = 4'.77\sqrt{0.1287H + T_0 - T + 0.036(e_0 - e)}$$

さきに報告した眼高差の実験式を求めるにあたり、 $p/T^2$ ,  $\Delta/H$  をパラメーターとして  $\Delta e$  を考慮に入れなかった。この実験式により求めた計算値と観測値との差  $d_0 - d_e = \Delta d$  と水蒸気圧差  $e - e_0 = \Delta e$

との相関は弱く  $-0.259$  であった。これは実験式に用いたパラメーターの  $\Delta$  と  $\Delta e$  は前掲に示されたような相関がある理由によるものと考えられる。この点に関してはなお物理的な証明を要する課題で今後の研究に俟ちたい。

文 献

- 1) Brocks, K. (1940). Eine Methode zur Beobachtung des vertikalen Dichte- und Temperaturgefälles in den bodenfernen Atmosphärenschichten. *Meteorol. Z.* 57, 19-26.
- 2) Freiesleben, H.C. (1951). Die Strahlenbrechung in geriger Höhe über Wasserflächen. *Dtsch. Hydrogr. Z.* 4, 122.
- 3) Hasse, L. (1960). Über den Zusammenhang der Kimmtiefe mit Meteorologischen Größen. *Ibid. Z.* 13, 183-184.
- 4) Takenouti, Y., Hyuga, M. and Sakamoto, Y. (1970). Measurement of vertical air temperature gradients with dipmeter. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan* 26, 226-232.
- 5) Roll, H.U. (1965). *Physics of the Marine Atmosphere*. Academic Press, New York and London, 426 p.