

物理系 研修資料

－ 海上気象・海洋観測解説編 －

1. 海上気象観測

1) 気圧

- ・ 静止した大気の圧力をさし、海面上の気圧は単位面積(1m^2)の海面上にある空気の柱の質量に重力加速度 ($g=9.8\text{ m/s}^2$) をかけた値。
- ・ 単位は、**hPa**(ヘクトパスカル)。以前は**mb**(ミリバール)を用いていたが、数値は同じ。
海面気圧の標準的な値として、1気圧=1013 hPa
- ・ 船舶ではアネロイド型気圧計が使用される。
天気図に記入されている気圧は、海面上における値に統一されている。
- ・ 通常、海面からある高さ(海拔高度という)において測定される気圧を、海面における値に換算する必要があり、これを海面更正と言う。
- ・ 望星丸では船橋(ブリッジ)後部の海拔約10mに気圧計があるため、海面更正として() hPaを測定気圧に加えて、海面気圧とする。

2) 風速・風向

風は向きと大きさをもつベクトル量であり、通常は10分間の平均値で表される。
風向は、風の吹いてくる方向を指し、16方位もしくは北を 0° とした時計回りの角度で示す。
(例：東風 90° ，南風 180° ，西風 270°)
風速は、 m/s の単位、もしくはノットの単位で表す。(1ノット= 0.51 m/s)
測定方法として、測器による観測と目視による観測がある。

<測器による観測>

航行中の船舶での観測では、風向・風速計の読取値から船の航行によって生じる風を差し引く必要がある(右図参照)。

注) 望星丸では、船橋内にある計器が測定した風向・風速と共に、真風向・真風速を表示することができる。

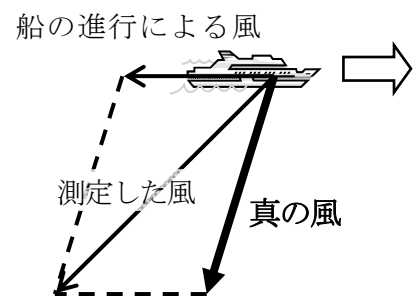


図1. 真の風と測定した風との関係

<目視による観測>

風向・風速計を装備していない小型船舶などでは、海面状態から風向と風力を求める。風力は、気象庁風力階級表(表1)によって風速を推定する。

表1. 気象庁風力階級表（ビューフォート風力階級表）

風力階級	海面の状態	相当風速		参考波高
		ノット	メートル毎秒	メートル
0	鏡のような海面	<1	0-0.2	-
1	うろこのようなさざ波ができていますが、波頭に泡はない。	1-3	0.3-1.5	1.0 (0.1)
2	小さい小波が出来ている。波長は短い、はっきりわかる。波頭は滑らかに見え、砕けていない。	4-6	1.6-3.3	0.2 (0.3)
3	大きい小波ができています。波頭が砕け始め、泡がガラスのように見える。ところどころに白波が現れることもある。	7-10	3.4-5.4	0.6 (1.0)
4	小さい中波ができています。波長は3よりは長く、白波がかなり多い。	11-16	5.5-7.9	1 (1.5)
5	中くらいの波で波長は4より長く、一層ははっきりしている。白波が沢山立っている。（しぶきを生じていることもある。）	17-21	8.0-10.7	2 (2.5)
6	中波の大きいものができ始める。至る所で、波頭が白く泡立ち、その範囲は5より一層広い。（しぶきを生じていることが多い。）	22-27	10.8-13.8	3 (4)
7	波は、6より大きく、波頭が砕けてできた白い泡は、筋を引いて風下に吹き流され始める。	28-33	13.9-17.1	4 (5.5)
8	大波のやや小さい波で、波長は長い。波頭の端は、砕けて水煙となり始める。泡は、はっきりした筋を引いて風下に吹き流されている。	34-40	17.2-20.7	5.5 (7.5)
9	大波。泡は濃い筋を引いて、風下に吹き流されている。波頭は、のめり、崩れ落ち、逆巻き始める。しぶきのため、視程が悪いこともある。	41-47	20.8-24.4	7 (10)
10	波頭が、長くのしかかるような非常に高い大波。大きな固まりとなった泡は、濃い白色の筋を引いて、風下に吹き流されている。海面は全体として白く見える。波の崩れ方は、激しく、衝撃的である。視程は悪い。	48-55	24.5-28.4	9 (12.5)
11	山のように高い大波。中小船舶は、一時波の陰に見えなくなることもある程の大波。海面は、風に吹き流された長い白色の泡の固まりで完全に覆われている。至る所で波頭の端が吹き飛ばされて水煙となり、視程が悪い。	56-63	28.5-32.6	11.5 (16)
12	大気が泡としぶきとで充満している。海面は、吹き飛ばしぶきのために、完全に白くなっている。視程が著しく悪い。	64-	32.7-	14 (-)

3) 気温と湿度

- 大気のを気温と言い、通常海面から 10m 高度で測定された値を用いる。
- 大気中に含まれている水蒸気の圧力（分圧）を水蒸気圧と言う。大気に含まれる水蒸気量には限度があり、その状態における水蒸気の圧力を飽和水蒸気圧という。飽和水蒸気圧は温度共に増加し、hPa(ヘクトパスカル)単位で表わされる（表3）。
- ある気象状態のときの水蒸気圧の飽和水蒸気圧に対する比を、(相対)湿度と言い、%（パーセント）で表す。

気温および湿度の測定には、アスマン通風型乾湿計（右写真）を用いる。これは、乾球温度計と湿球温度計の 2 本の温度計から構成される。

乾球温度計：気温を測定

湿球温度計：球部がガーゼで覆われており、水分を含んだ状態で湿球温度を測定

<測定方法>

- スポイトなどで湿球部のガーゼに水分を含ませた後、ゼンマイを巻きく。ファンが回り出し通風する（約5分間）。
- 温度計の値が落ち着いたら、2つの温度計の値を読み取る。
（通常は、小数点第1位までの値とする）
- 必要なら器差補正を行う。

注) 船体からの熱の影響やしぶきを受けない場所で行う。

風通しのよい風上側の場所を選ぶ。

乾球温度と湿球温度の値より、通風乾湿計湿度表（表2）を用いて相対湿度を求める。

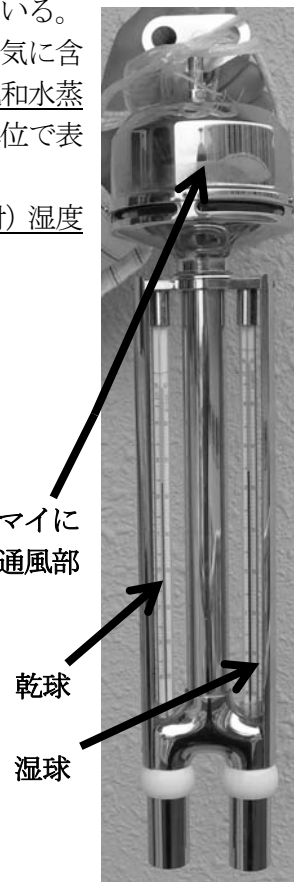


表2. 通風型乾湿計用湿度表（氷結しないとき）

湿球温度	(乾球温度) - (湿球温度)																	
(°C)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.5	4.0
30	100	99	97	96	94	93	92	90	89	88	86	85	84	83	82	80	77	75
28	100	99	97	96	94	93	91	90	89	87	86	85	83	82	81	80	77	74
26	100	98	97	95	94	92	91	90	88	87	85	84	83	81	80	79	76	73
24	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	83	82	80	79	78	75	72
22	100	98	97	95	93	92	90	89	87	86	84	83	81	80	78	77	74	71
20	100	98	96	95	93	91	90	88	86	85	83	82	80	79	77	76	73	69
18	100	98	96	94	93	91	89	87	86	84	83	81	79	78	76	75	71	68
16	100	98	96	94	92	90	89	87	85	83	82	80	78	77	75	74	70	66
14	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	79	77	75	74	72	68	64
12	100	98	96	93	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	66	62
10	100	98	95	93	91	88	86	84	82	80	78	76	74	72	70	69	64	60

付録： 不快指数

不快指数（ふかいしすう）とは夏の蒸し暑さを数量的に表した指数で、1957年米国で考案された。気温が高いときに人が感じる不快感「蒸し暑さ」を表わす指数とも言える。

$$\text{不快指数 (DI)} = 0.81T + 0.01H(0.99T - 14.3) + 46.3$$

T:気温(摂氏温度), H:相対湿度(%)

不快指数	～55	～60	～65	～70	～75	～80	～85	86以上
体感	寒い	肌寒い	快適	快適	快適	やや不快	不快	たまらない

乾球温度 $T_a(^{\circ}\text{C})$, 湿球温度 $T_w(^{\circ}\text{C})$ のとき、 $\text{DI(不快指数)} = 0.72(T_a + T_w) + 40.6$ でも計算される。

人が感じる快・不快の感覚は日射・風などの条件に影響するため、あらゆる場合に有効な数値とはいえない。室内などの日射の影響がない場合には便利な指標といえる。

※ 船内の様々な場所で気温・湿度を測定して、不快指数がどう変化しているのか、またその不快指数の値と自分たちの体感とを比較してみましょう！

表3. 温度 (°C) に対する飽和水蒸気圧 (hPa)

温度 (°C)	小数点以下の数字									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	12.27	12.35	12.44	12.52	12.61	12.69	12.78	12.86	12.95	13.04
15	17.10	17.22	17.33	17.44	17.56	17.67	17.79	17.90	18.02	18.14
16	18.25	18.37	18.49	18.61	18.73	18.85	18.98	19.10	19.22	19.35
17	19.47	19.60	19.72	19.85	19.98	20.11	20.24	20.37	20.50	20.63
18	20.76	20.90	21.03	21.16	21.30	21.44	21.57	21.71	21.85	21.99
19	22.13	22.27	22.41	22.55	22.70	22.84	22.99	23.13	23.28	23.43
20	23.57	23.72	23.87	24.02	24.18	24.33	24.48	24.64	24.79	24.95
21	25.10	25.26	25.42	25.58	25.74	25.90	26.06	26.23	26.39	26.55
22	26.72	26.89	27.05	27.22	27.39	27.56	27.73	27.91	28.08	28.25
23	28.43	28.61	28.78	28.96	29.14	29.32	29.50	29.68	29.87	30.05
24	30.23	30.42	30.61	30.80	30.99	31.18	31.37	31.56	31.75	31.95
25	32.14	32.34	32.54	32.73	32.93	33.13	33.34	33.54	33.74	33.95
26	34.16	34.36	34.57	34.78	34.99	35.20	35.42	35.63	35.85	36.06
27	36.28	36.50	36.72	36.94	37.16	37.39	37.61	37.84	38.06	38.29
28	38.52	38.75	38.98	39.22	39.45	39.69	39.93	40.16	40.40	40.64
29	40.89	41.13	41.37	41.62	41.87	42.12	42.37	42.62	42.87	43.12
30	43.38	43.63	43.89	44.15	44.41	44.67	44.94	45.20	45.47	45.74

4) 雲量・雲形

雲の観測は、①雲量（全雲量） ②雲形 ③雲の高さ について行う。

- ① 雲量： 全天が見える場所で空を見回して、雲が全天を占める割合を言う。全天を雲が覆ったときを10とする。（雲量の±1程度は個人差もあるので、余り神経質にならない。）
雲量が10でも多少のすき間があるときは10⁻とする。
- ② 雲形： 10種類（表4）に分けられ、略語記号で表示する。
※ 観測では、それぞれの雲の写真が載った一覧を参考にする。

表4. 10種の雲形の名称とよく現れる高さ

層	名称	英名	略語	よく現れる高さ	よく現れる高さの説明
上層 (C _H)	巻雲	Cirrus	Ci	極地方	3~8 km
	巻積雲	Cirrocumulus	Cc	温帯地方	5~13 km
	巻層雲	Cirrostratus	Cs	熱帯地方	6~18 km
中層 (C _M)	高積雲	Alto cumulus	Ac	極地方	2~4 km
	高層雲	Altostratus	As	温帯地方	2~7 km
	乱層雲	Nimbostratus	Ns	熱帯地方	2~8 km
				As: 普通中層に見られるが、上層まで広がっていることが多い。 Ns: 普通中層に見られるが、上層及び下層まで広がっていることが多い。	
下層 (C _L)	層積雲	Stratocumulus	Sc	極地方	地面付近~2km
	層雲	Stratus	St	温帯地方	地面付近~2km
	積雲	Cumulus	Cu	熱帯地方	地面付近~2km
	積乱雲	Cumulonimbus	Cb	Cu, Cb: 雲底は普通下層にあるが、雲頂は中、上層にまで達していることが多い。	

5) 天気

該当する現象があるときはそれによって決め、
ないときは雲量によって決める（表5）。

- ① 全雲量が1以下 快晴
② 2以上8以下 晴
③ 9以上、
最多の雲が上層雲のとき 薄曇
上記以外るとき 曇

表5. 天気記号

天気	記号	天気	記号
快晴	○	霧	≡
晴	⊙	雪	✖
薄曇	⊕	みぞれ	● *
曇	◎	あられ	△
雨	●	ひょう	▲

6) 波浪

海には様々な原因によって波高・周期の異なる多くの波が発生し、海面は絶えず複雑に上下している。その中で、観測した海域における海面上の風が原因で発生するかどうかで、2つに大別される。

- ① 風浪： 観測時にその海域付近を吹く風によって直接発生した波で、成長しつつある波。 個々の波の山(峰)が険しい山脈に似て三角形でとがった形状をしている（右図上）。向きはほぼ風向と一致する。
- ② うねり： 観測海域付近の風によって発生したものでない波（遠方で発生し伝わって来た波）で、波の形状はゆるやかで丸みをもっている（右図下）。向きは風向と異なることが多い。

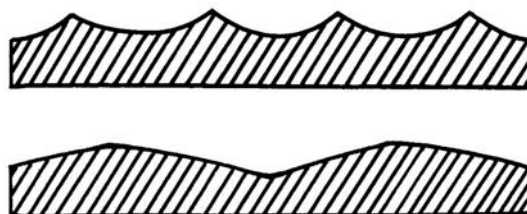


図2. 風浪（上）とうねり（下）

※ 風浪とうねりの観測は、向きと階級で表す。

向きは船橋の両隣りにあるジャイロコンパスを用い、波の来る方向を36方位(16方位)で表す。階級は、表6（風浪）と表7（うねり）をもとに適切な階級を選択する。

表6. 気象庁波浪階級表

風浪	風浪階級の説明	波の高さ（メートル）			
0	鏡のようになめらかである。				
1	さざ波がある。	0	をこえて	0.1	まで
2	なめらか、小波がある。	0.1	をこえて	0.5	まで
3	やや波がある。	0.5	をこえて	1.25	まで
4	かなり波がある。	1.25	をこえて	2.5	まで
5	波がやや高い。	2.5	をこえて	4	まで
6	波がかなり高い。	4	をこえて	6	まで
7	相当荒れている。	6	をこえて	9	まで
8	非常に荒れている。	9	をこえて	14	まで
9	異常な状態	14 をこえる			

表7. 気象庁うねり階級表

うねり階級	うねり階級の説明	
0	うねりがない。	
1	短くまたは中位の } 弱いうねり（波高2メートル未満）	
2		長く
3	短く } やや高いうねり（波高2m以上4m未満）	
4		中位の
5		長く
6	短く } 高いうねり（波高4メートル以上）	
7		中位の
8		長く
9	2方向以上からうねりがきて海上が混乱している場合	

7) 海面水温

風や気温などの海上気象要素と同様に、海洋と気象との関係を理解する上で重要な量である。海面水温と気温との差は、大気と海洋との間の熱移動量に重要な関係がある。

観測方法として、①採水バケツによる方法と②インテイク法（機関室の冷却水の温度が自動的に記録・保存されている）の2種類がある。

<採水バケツによる観測>

ズック製が良いが、ゴム製二重採水バケツなどでもよい。

- ・ 停船中に行うときは、風上側の船首に近い所で採水する。
- ・ 夏季の静穏時には、日射によって表面付近のみ高温になっている場合があるので、海水中で数回上下させてから汲み上げる。
- ・ 汲み上げたら、風のふきさらしや日射の強い場所を避けて速やかに測温する。
- ・ 棒状温度計を球部だけでなく、菅部も水中に入れ、斜め方向にならない位置から読み取る。

(0.1℃の単位まで)

8) 日射（短波放射）と長波放射

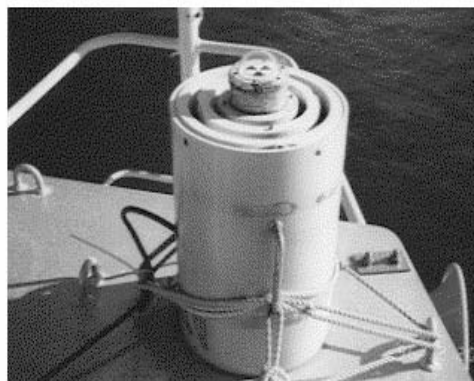
太陽から来る下向き放射による熱エネルギーであり、海洋を加熱する唯一の源といつてよい。通常、単位面積当たり（1m²）の水平面上に入ってくる1秒間当たりの熱量（W：ワット）として計測するので、単位は W/m² を用いる。

地球の大気上端での平均的な日射量は約1400 W/m² である。

海面上における日射量は、太陽高度と雲量によって変化すると考えられる。

日本付近の海域では、夏季に1000 W/m² を越えることがある。

望星丸では、前部マストの上部に日射計が設置され（右上の写真）、連続観測されたデータを研究室や学生食堂にあるコンピューターを通じて常時見ることができる。



日射計（上）と 長波放射計（下）

大気中の雲や地球自身も放射による熱エネルギーを放出している。これらの放射は、太陽から来る放射（日射）に比べて波長の長い電磁波であることより、長波放射と呼ばれる。望星丸では、長波放射計（右下図）によって測定が行なわれている。



2. 望星丸に搭載されている海洋観測機器の紹介

2.1 CTD-RMS システム

Conductivity (電気伝導度), Temperature (水温), Depth (深度) を測定する装置。望星丸搭載装置(SBE911Plus, Sea-Bird Electrics Inc.)にはこの他に溶存酸素(Dissolved Oxygen), 蛍光光度、音速の各センサーが取り付けられている。

電気伝導度は塩分の計算に用いる。塩分は 1 気圧 15°Cの標準溶液 (KCl 水溶液 32.435g/Kg) の電気伝導度に対する試料水の電気伝導度の比として定義され、以前は単位として‰(パーミル)を使用していたが、現在は単位を付けず、添字として psu(Practical Salinity Unit)を付ける。蛍光光度は植物プランクトンに含まれるクロロフィル a が青色光を吸収して赤色の蛍光を放出する性質を持つことから植物プランクトンの分布を反映する。

上部には容量 10L の採水器 (Niskin 採水器) 24 本を装着できるロゼット式多層採水装置(Rosette Multi Sampler)が組み込まれている。この装置は外側をワイヤで包まれたアーマードケーブルによって船上局と繋がれウインチで通常 1m/秒程度の速度で降下させる。各センサーからの信号は 24 回/秒で船上局に送られる。採水は船上局からの指示により任意の深度で採水器を 1 本ずつ閉栓する。

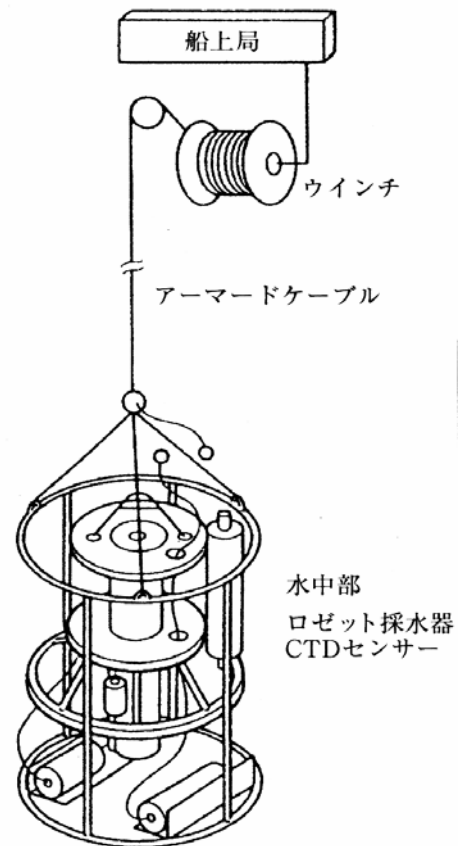


図3 CTD-RMS システム

2.2 XBT/XCTD

XBT(Expendable Bathythermograph)は使い捨て型の水溫計、XCTD は同じく使い捨て型の水溫・塩分計。航走中の船舶から海中にプローブを投下し、水溫または水溫と塩分の鉛直分布を計測するシステムです。投下されたプローブは回収する必要がなく、荒天時にも計測が可能です。プローブ内にはセンサーが内蔵され、細い2本の導線を通して船上にデータが送られてきます。深度は落下速度に関する経験式から算出します。測定できる最大深度は 1850m です。

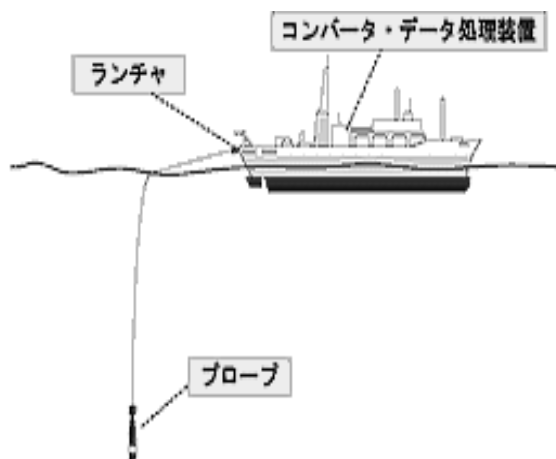


図4 XBT/XCTD 観測

2.3 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)

音響技術を使って航走中に海中の流れの鉛直分布を測定する装置。船底に設置されており、75kHzの周波数の音波をパルス状に4方向に発信し、水中の各層に漂う懸濁物によってドップラーシフトを受けた音波を受信します。受信するまでの時間と周波数変化から最大128層の流向・流速が求められます。測定可能深度は700mです。この信号は船速の影響を受けます。この補正のため船速をGPSで正確に測定します。

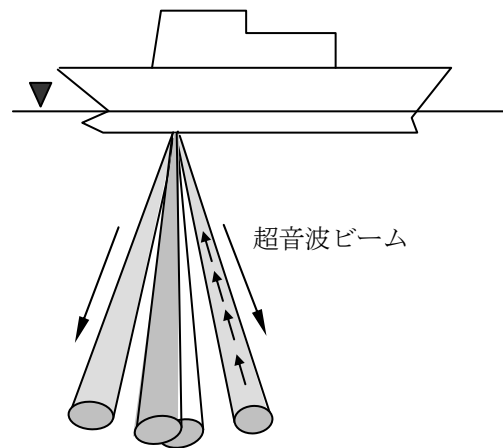


図5 船底設置 ADCP の超音波ビーム

2.4 精密測深器、科学魚探

水深や魚群の位置・大きさを計測する目的でパルス状の音波を使い、反射波が帰ってくるまでの時間と強度を計測します。これらの装置も船底に設置されています。

2.5 自動気象観測装置・表層海水航走観測装置

海洋上での気象観測点の数は非常に少なく、観測船での気象観測データは貴重です。望星丸には風向風速計、気温、露点温度、全天日射計が装備され、自動計測されています。表層海水も常時、船底からポンプで汲み上げられ、水温、塩分、クロロフィル蛍光が計測されています。