

信号音の海上伝搬に関する研究

小黒英男*・土屋正之*・原野勝博*
藤井 忍*・沢田博史*

Study of Acoustic Signal Propagation over Ocean Waters

By

Hideo OGURO, Masayuki TSUCHIYA, Katsuhiro HARANO,
Shinobu FUJII and Hiroshi SAWADA

Acoustic signal of ships are used as aids to marine navigation. The attenuation of signal sound as it propagates has influence on audible distance. Experiments are carried out on Sendai and Atsumi bays. The frequencies of signals are used from 100 to 1000Hz range. The distances between source and measuring ships are set from 0.2 to 5 Nautical mile in 7 steps.

The results of study are given as follows;

1. The attenuation level of signal propagation can be calculated by equation (17), but in shadow zone, equation (20) is adopted in place of equation (17).
2. The minimum audible levels of signal under noise are given by the curve of Fig. 25.
3. At 20 meters in the direction of emitter axis, the required sound pressure levels are given by Fig. 27.

目 次



1. 緒 言.....	1	4. 船内騒音と最小可聴値.....	13
2. 信号音の大気伝搬性.....	3	5. 所要音響特性の推定.....	15
3. 海上実船試験.....	6	6. 結 び.....	16

1. 緒 言

船舶に装備される各種の音響機器から発せられる信号音は、自船の位置や進路等の情報を他の船舶に伝達する手段として、特殊な計測機器を必要とせず、乗組員の聴感覚のみで達成し得るという点から、電子航海機器の発達した今日においても、船舶の衝突予防という面から重要視されており、海上衝突予防法にその吹鳴方法等について詳細に規定されている。

信号音の可聴性は、大気中における音の伝搬状態と聴取位置の環境騒音によって決定されるが、計測方法や解析の困難さから未知の分野が多い。従って、船舶に装備される音響信号機器に対しては、音響的基準は

勿論、規程のようなものも殆んどなく、僅かに、霧中号角について船舶設備規程属具表中に到達距離1海里、連続6秒以上の吹鳴可能なことと記されているのみである。

このような観点から、昭和39年頃海難防止のため船舶の音響信号機器の必要基準を得ることの必要性が関係各機関から強く望まれたので、本研究に着手したものである。既存の文献調査と昭和39年から3年間に亘って行なった東京湾および館山沖での実船試験の結果、-1~-3 他の風上側聴取で約0.5海里、風下側聴取で約2海里的伝搬資料を得¹⁾、到達距離1海里と規定されている霧中号角に対して、暫定的な音響基準を作成し、関係機関に提供した。この間に、船舶の

* 艦装部 原稿受付：昭和47年9月8日

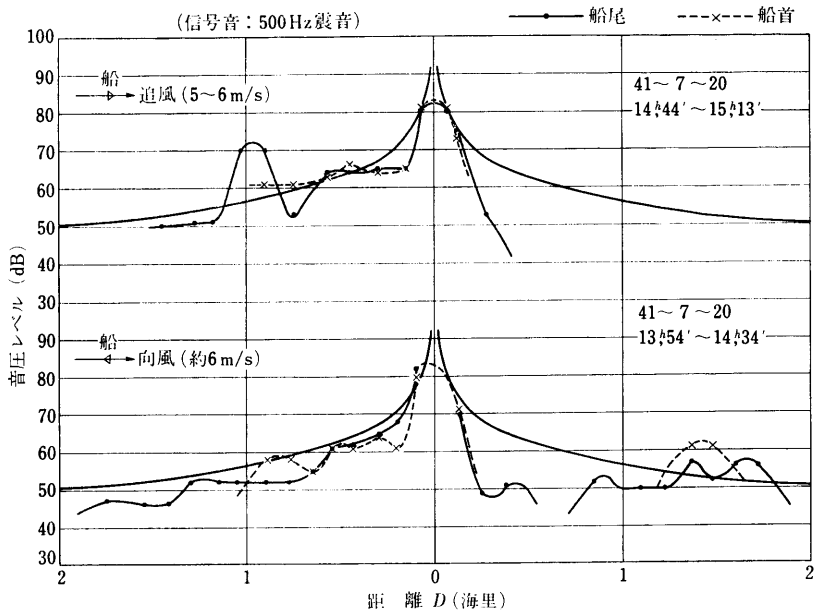


図-1 信号音の伝搬音圧レベル曲線 (I)

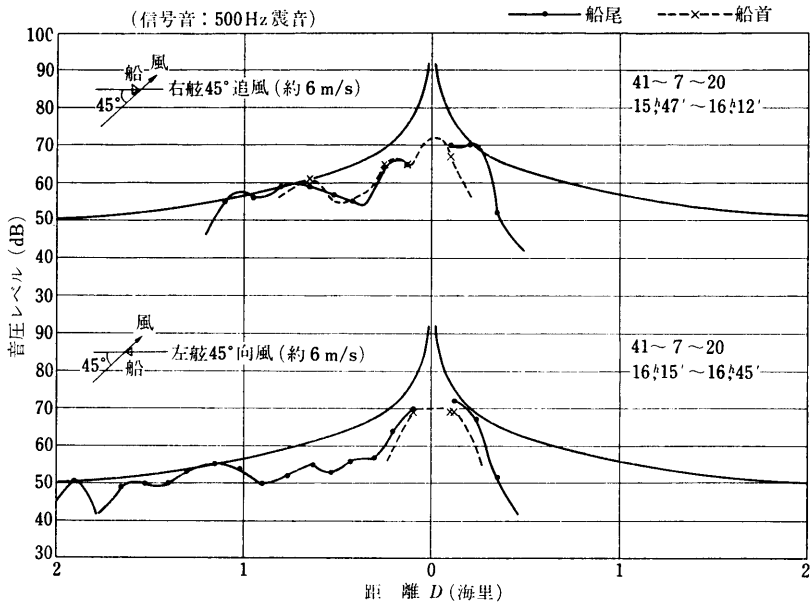


図-2 信号音の伝搬音圧レベル曲線 (II)

巨大化が急速に進み、巨大船の急速停止距離の増大と運動性の低下から²⁾、到達距離4海里にも及ぶ資料の蒐集が必要となった。このような遠距離にまで信号音を到達させるためには、音響出力が160dB(デンベル)(大型スピーカー約1000個分相当)以上もの音

響発生装置を必要とすることが前述の実験結果明らかとなったが、現状では汽笛以外にそのような音響機器は見当たらない。しかし、伝搬性の試験研究には周波数や音色の変化が必要とされるため、一種類の音色の信号音しか発し得ない汽笛では不相当である。このた

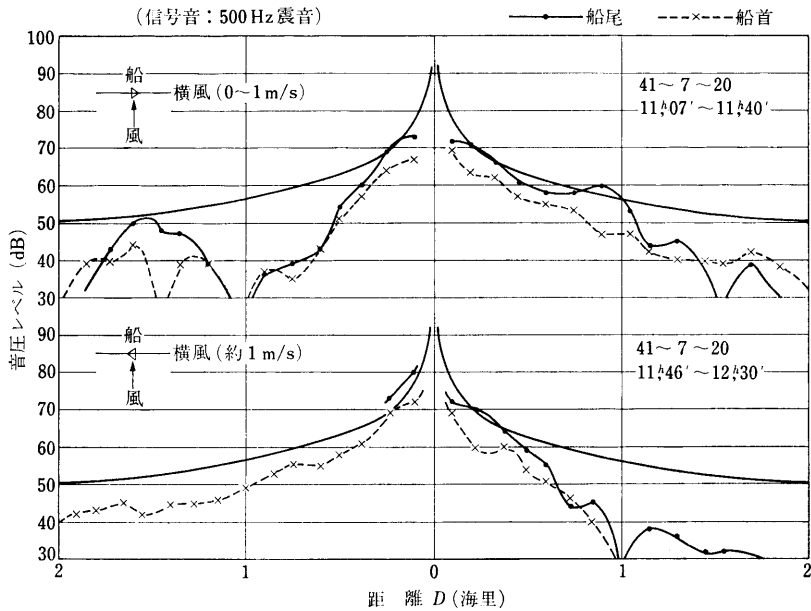


図-3 信号音の伝搬音圧レベル曲線 (Ⅲ)

め、文献 3), 4) を参考として大出力音響発生装置の試作を 2 年計画で行ない、所要音響出力を発生し得る装置を完成した⁵⁾。(写真-1) 本装置を作動するために

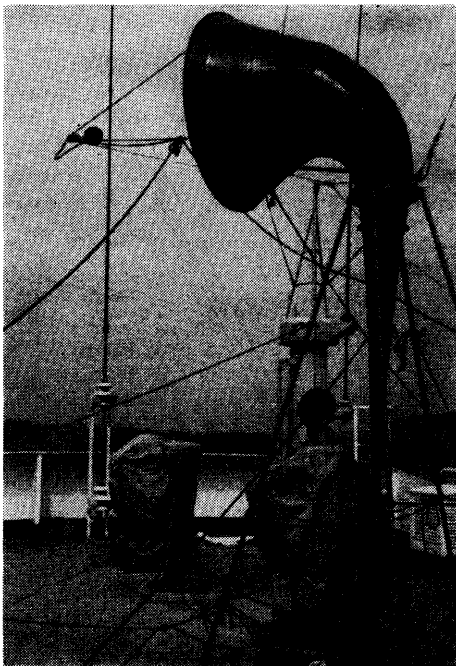


写真-1 羅針甲板に設置した大出力音響発生装置

は多量の圧縮空気が必要であったので、航海訓練所と共同研究の体制をとり、練習船進徳丸の協力で実船試験を行なった。試験に際しては、また、海上保安庁の協力を得、巡視船および巡視艇を受信船として使用させて頂いた。昭和 45, 46 年に亘る実船試験結果、最大約 5.3 海里 (風下側聴取) にも及ぶ可聴距離を得ることが出来たので、以下にその詳細と、一連の試験結果から推定した可聴距離に対する音響信号機器の所要音響性能について述べてみたい。

2. 信号音の大気伝搬性

信号装置のホーンから発せられる信号音は、円形面音源からの放射音と見做される。このときの音源から軸上距離 D における音圧レベル L は、

$$L = PWL + 10 \log_{10} f(D) \quad (1)$$

となる。但し、 PWL : 音響出力レベル (出力 1 Watt に対し 120 dB), $f(D)$: 指向指数 n とホーンの開口径 d および D の関数で $n > 0$ (指向性ホーンの場合) のとき次式で求められる値である。

$$f(D) = \left\{ \frac{(n+1)}{n} \left[1 - \left(\frac{1}{1 + (d/2D)^2} \right)^n \right] \right\} \quad (2)$$

実船試験に使用したホーン (開口径 1.2 m) について $10 \log_{10} f(D)$ を算出したのを 図-4 に示す。この結果、 $n \leq 4$ (軸方向と 60 度偏角したときの音圧減衰レベルは約 12 dB 以下) では $D/d \geq 4$ のとき、距離が

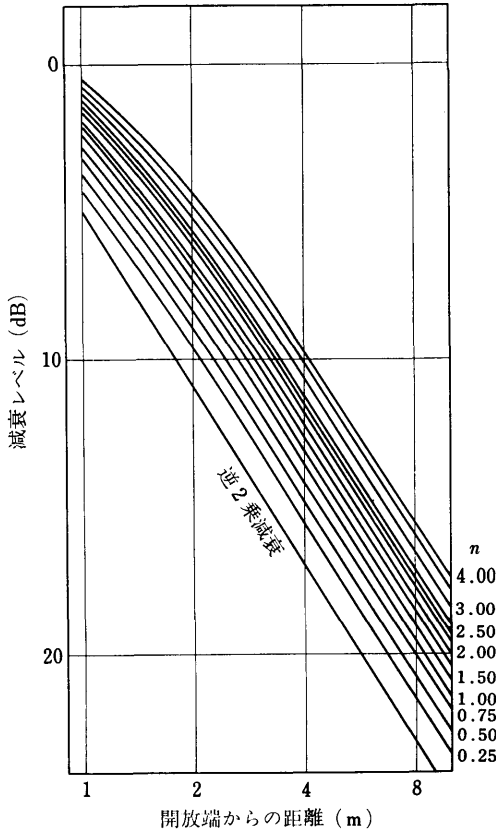


図-4 $10 \log_{10} f(D)$ 曲線 ($d=1.2$)

2倍になる毎に 6 dB ずつ減衰量が増すから、ホーンから軸上距離 5 m 以上の場所の音圧レベル L_D は、

$$L_D = L_0 - 20 \log_{10}(D/D_0) \quad (3)$$

で得られる。 $D/d > 4$, $n=1$ と仮定すると、 $D_0 > 4.8$ m となるから、 $D_0=5$ m を基準とすれば、図-4 と(1)式から、

$$L_0 = PWL - 15.5 \quad (4)$$

(3) と (4) 式から、

$$L_D = PWL - 20 \log_{10} D - 1.5 \quad (5)$$

を得る。実験に際しては、 $D=1.2$ m 点の音圧レベル L_s を基準値としたので、図-4 から、

$$L_s = PWL - 4.1 \quad (6)$$

(5) と (6) 式から $D > 5$ の場合、

$$L_D = L_s - 20 \log_{10} D + 2.6 \quad (7)$$

が得られる。従って、基準点と距離 D との音圧レベル差即ち減衰レベル ΔL は、

$$\Delta L = L_s - L_D = 20 \log_{10} D - 2.6 \quad (8)$$

で与えられる。

(4)

音波の伝搬は、大気の子の振動伝達によって行なわれるから、(8) 式の拡散減衰の他に、媒質である空気の熱伝導および粘性並びに粒子の運動によって音のエネルギーが吸収され減衰を生ずる。熱伝導および粘性による減衰率 γ は、次の各実験式で与えられている⁶⁾。

(1) Kneser : $\gamma = (27.5 + 0.25T) \times 10^{-7} / \lambda^2$ (9)

(2) Brüel : $\gamma = 3.3 \times 10^{-6} / \lambda^2$ (10)

(3) Beranek : $\gamma = 4.24 f^2 \times 10^{-11}$ (11)

(4) Rudnik : $\gamma = 3.28 f^2 \times 10^{-11}$ (12)

但し、 λ : 音の波長 (m), f : 周波数 (Hz), T : 大気温度 ($^{\circ}\text{C}$)

音の強さ I は、音源からの距離 D に対して、

$$I = I_0 \exp(-\gamma \cdot D) \quad (13)$$

で算出されるから、音の強さの減衰レベル α_1 は、

$$\alpha_1 = 10 \log_{10}(I/I_0) = 4.3\gamma \cdot D \quad (14)$$

で求められる。温度 20°C 、音速 343 m/s として、距離 1 海里当りの α_1 の値を求めたのを 図-5 に示す。 α_1 は (11) 式で最大となるが、800 Hz 以下の信号音に対しては、距離 4 海里でも僅かに 1 dB 以下の値に

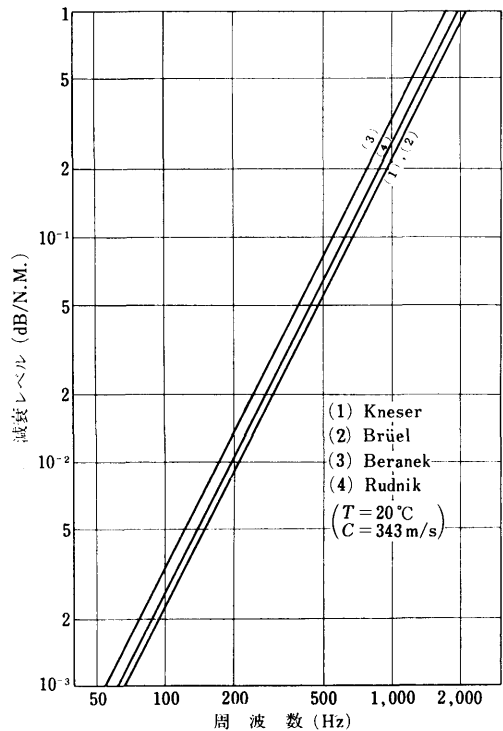


図-5 減衰 α_1 の曲線 (1 海里当り)

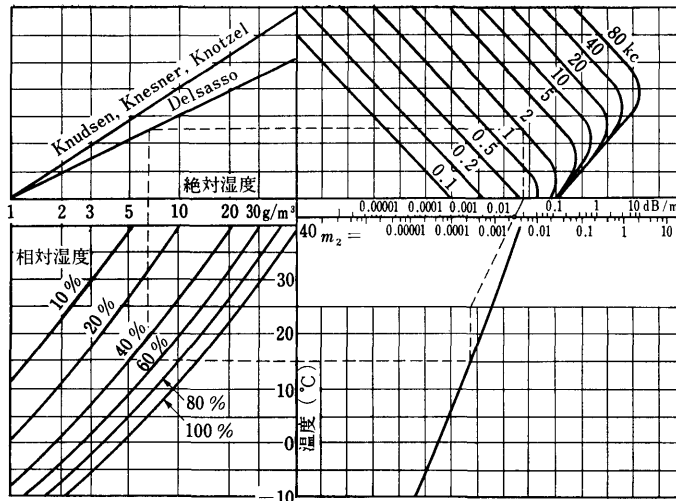


図-6 減衰 α_2 を求める図表

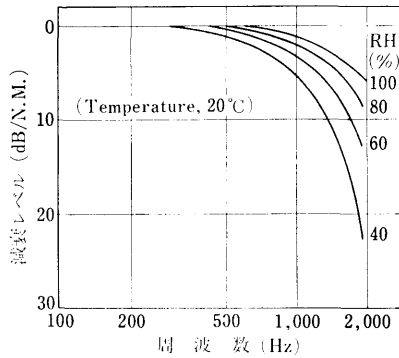


図-7 大気減衰 (I)
(温度一定)

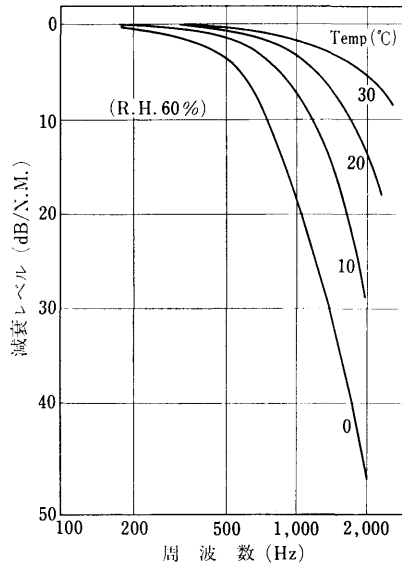


図-8 大気減衰 (II)
(湿度一定)

過ぎない。

粒子の運動によるエネルギー吸収のための減衰 α_2 は、図-6 の図表から求められる。大気温度および湿度を因子として1海里当りの α_2 の値を求めたのを図-7, 8 に示す。 α_2 の値は α_1 に比し非常に大きく、特に温度、湿度の低いとき高周波音に対して大きくなり、遠距離になると著しく減衰する。

これらの減衰の他に、更に気象条件(温度および風速の分布状態や気流の乱れ等)によって15~30dBにも及ぶ異常減衰を生ずることが知られている。また自然に発生する霧や雨も減衰要因となり、霧中で図-9のような減衰があることも報告されている。

信号音の直接波と反射波の干渉によって生ずる減衰、また、音線の彎曲によって現われる音の影 (shadow

zone) 内減衰も知られている。干渉減衰は、音源および受音点の高さ並びに信号音の周波数によって決定される距離で生ずるが、船舶の汽笛のように多くの周波数の音を含んでいる複合音の場合、殆んど考慮しなくてもよい。音線の彎曲によって生ずる shadow zone までの距離 D_s は、音源と受音点の高さを h_s, h_r とし、音線の彎曲に対する曲率半径を r としたとき、

$$D_s = (2h_s \cdot r)^{1/2} + (2h_r \cdot r)^{1/2} \quad (15)$$

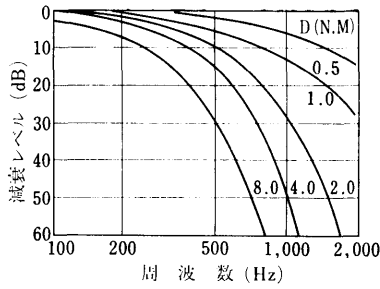


図-9 霧による減衰
(200m 点基準)

r の値は、大気温度および風速が海面上からの高度のみの関数で、風に鉛直方向成分がなく水平流と仮定すると、

$$r = \left(w_0 \cdot \cos \varphi + \frac{c}{\cos \theta} \right) \left\{ \left(\frac{dw}{dz} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta + \left(\frac{dc}{dz} \right) \right) \right\} \quad (16)$$

但し、 w_0 : 音源の位置の風速、 φ : 音線方向と風向とのなす角、 θ : 音の水平面に対する放射角、 c : 音速、 dw/dz : 風速勾配、 dc/dz : 音速勾配で求められる⁸⁾。

実験データの検討に際しては、 $\theta = 0^\circ$ 、 $dc/dz = -0.0036$ ($T = T_0 - 0.006h$ と仮定) と仮定して D_s を計算した。

以上の各減衰値を考慮すると、(8)式は、

$$\Delta L = 20 \log_{10} D - 2.6 + \alpha + \beta \quad (17)$$

となる。ここで、 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ 、 β は霧、風等による超過減衰量である。従って、2点間の減衰レベルを実験的に求めることは、 β の値を求めることとなる。 β の値が得られれば、大気温度と湿度並びに信号音の周波数が決まれば、各距離における減衰レベルの算出が可能となる。

3. 海上実船試験

昭和45年6月に仙台湾、昭和46年7月に渥美湾において信号音として最適な周波数を求めるための最適周波数決定試験と、発受両船間の距離変化に対する連続的減衰曲線を得るための航海試験を行なった。

3.1 試験方法

3.1.1 最適周波数決定試験

発信船を図-10のSの位置に碇泊し、受信船を風下側0.2, 1, 4 海里的距離に碇泊(45年度)させ、また、図-11のSの位置を発信船とし、その風下側、正横側および風上側0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 海里的距離に受信船を碇泊(46年度)させて試験を行なった。信号音は、発信船の羅針船橋上に設置した(写真-2)大出力音響発生装置から連続10秒間、50秒の休止時間を置いて各周波数で3回ずつ発した。信号音の中心周波数および音質は次の通りである。

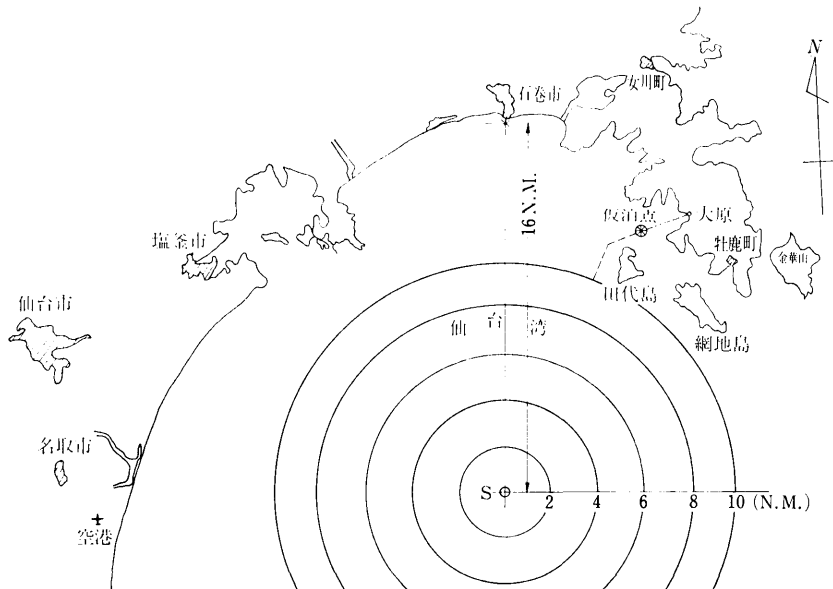


図-10 実験場所略図 (45年度)

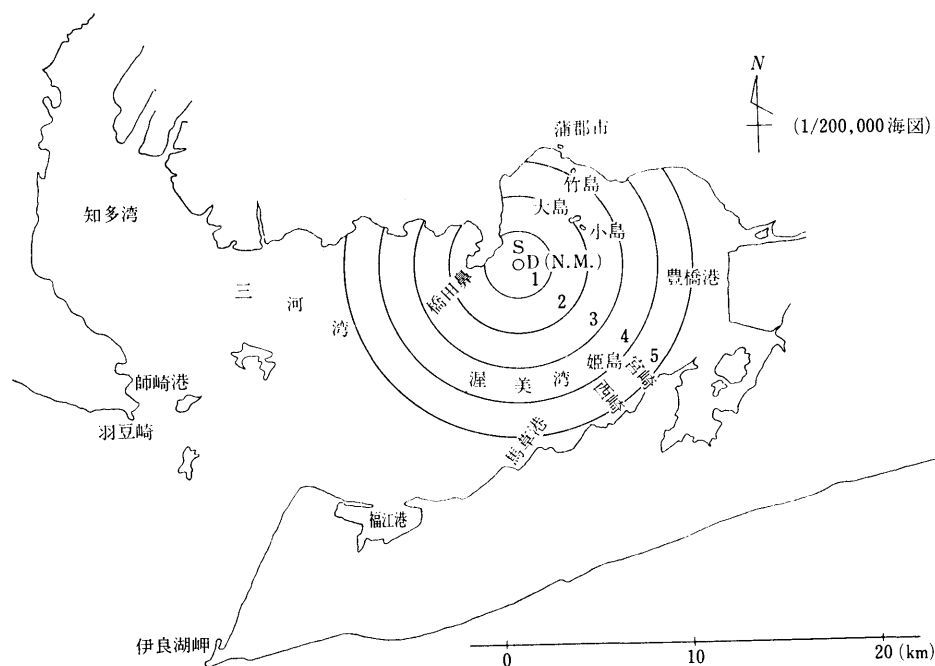


図-11 試験場所略図 (46年度)

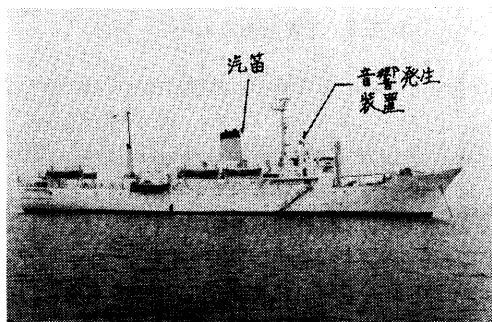


写真-2 発信船と音響機器の位置

- (1) 中心周波数: 100, 200, 300, 400, 500, 700, 1000 Hz
- (2) 音質: 変調音 (45年度, 変調幅 $\pm 10\%$, 変調回数 16回/秒), 純音 (46年度)

伝搬信号音の測定は、45年度においては、受信船の羅針船橋上と船尾曝露甲板上約2mの高さの2個所のマイクロホンと計測器で行ない、合間に計測点の環境騒音も分析測定した。計器測定と併行して、計測点近傍の甲板上と船首曝露甲板上および操舵室内の4個所で、各計測員自身の耳により信号音の可聴度を明瞭、かすか、不能の3階級に判定した。46年度には、マイクロホンを受信船の操舵室外上方(海面上約3m)の

1個所に、可聴度は船首、中央、船尾の曝露甲板上3個所に変更した。

計測中は受信船の主機関を停止して環境騒音を軽減し、可聴距離の増大を計ると共に受信船の移動を投錨して止めた。発音時にはホーン開口部の軸方向を常に受信船の方向に合わせて変化させた。

3.1.2 航海試験

本試験は45年度のみ行なった。

発信船を図-12のように約12ノットの速力で3方向に航海させ、この間、中心周波数300Hzの変調音を3.1.1と同様の方法で発音すると共に、発信船に装備されている汽笛を3分間隔に約10秒間連続吹鳴した。伝搬信号音および測定位置の環境騒音の分析測定と可聴度の判定は、碇泊させた受信船上で3.1.1と同様の方法で行なった。

3.2 環境状態の測定方法

試験時の大気温度、湿度および船上附近の風速、風向の測定は、発信船装備の各計測器で行ない、高さ250m附近までの風速、風向は救難用ロケット(法定船用品:国際式第7号)を改造した定速度落下の落下傘付ロケットを打ち上げ、落下傘の落下方位と高度を連続追跡してX-Y記録器に画かせた追跡曲線から、風が水平流と仮定の上計算で求めた。ロケットの打ち

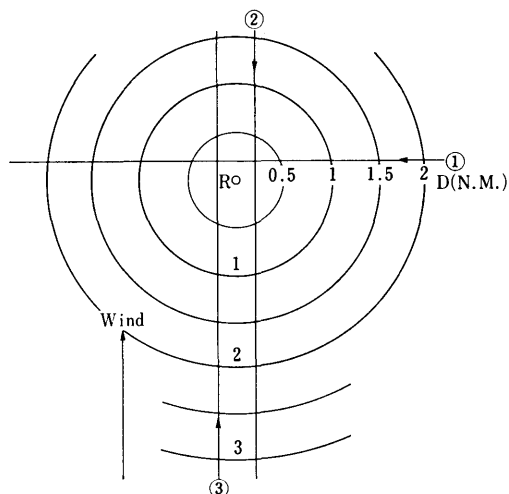


図-12 航海試験航跡

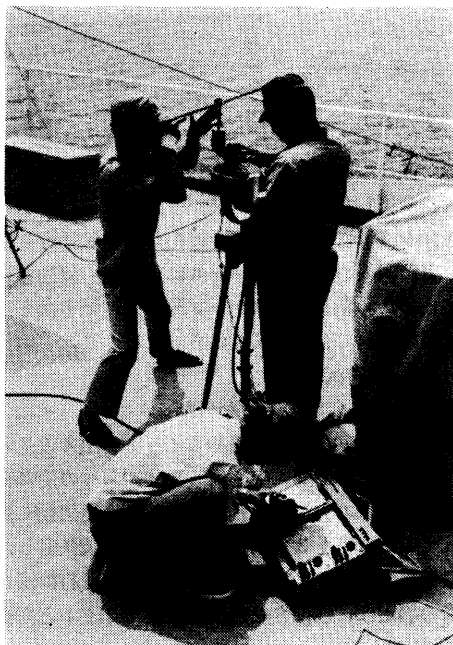


写真-3 落下傘追跡試験

上げは3.1.1では各距離設定直後に、3.1.2では各航路の両端で一時停船して行なった。(写真-3)

3.3 受信船の方位と距離の測定

受信船の方位と発信船の船首方位は、発信船に装備されているジャイロコンパスで、発信受信両船間の距離は測距儀または両船のレーダーで測定した。

3.4 試験機器

(8)

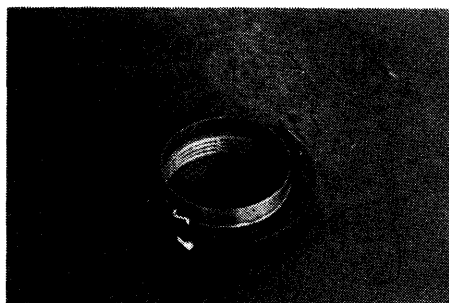


写真-4 動コイルと動リング

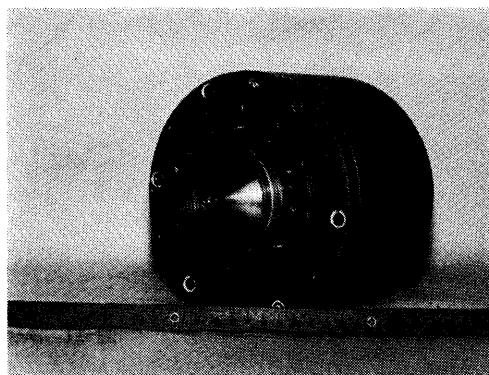


写真-5 音響変換器スリット部分

試験に使用した主な機器と計測器は次の通りである。

(1) 大出力音響発生装置 (試作品)

スリット付リング (写真-4) を振動させ、スリットの開閉により供給圧縮空気流を断続し、電気信号に応じた任意の音響を発生する装置 (写真-5) で、周波数範囲 80~1,200 Hz, 最大音響出力約 10,000 Watt, ホーン遮断周波数 60 Hz の音響特性を持っている。作動時の電気入力は約 100 Watt, 供給空気圧は約 3 kg/cm², 流量は約 6 m³/min である。実験の際のホーンの軸の高さは羅針甲板上約 4 m とした。

(2) ビート発振器 (日本測器)

(3) 指示騒音計 (日本電子測器)

(4) オクターブ分析器 (日本電子測器)

(5) 自動周波数析分装置 (B & K)

(6) コンデンサ・マイクロホン (B & K)

(7) 高度・方位角測定器 (試作品)

(8) X-Y 記録器 (渡辺測器)

3.5 試験結果とその検討

3.5.1 環境状態

試験時の船橋で測定した気温、湿度および風速を表

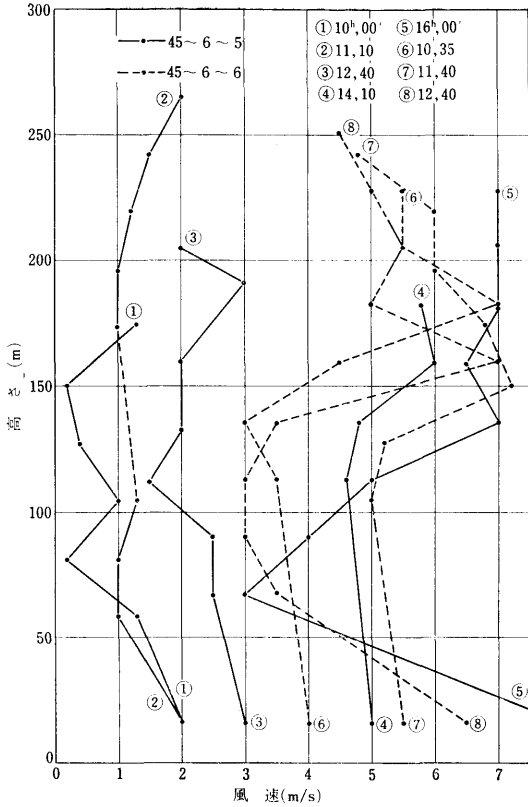


図-13 海面上空の風速分布曲線 (1)

表-1 試験時の気温、湿度および風速

要目 年度	気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)
45	18~21	69~79	2~8
46	29.5~34	62~83	4~10

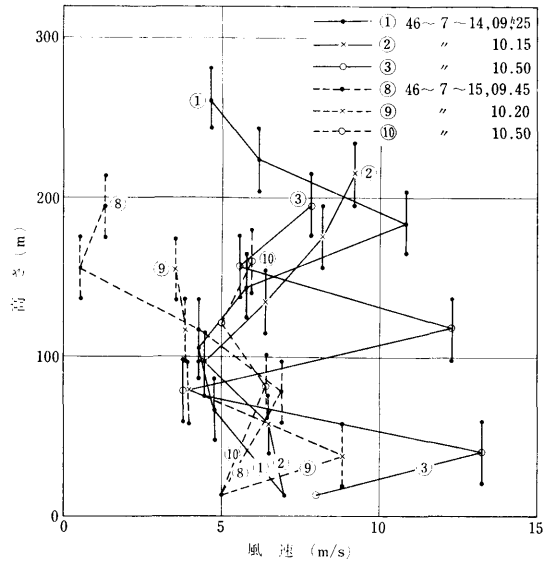


図-14 海面上空の風速分布曲線 (2)

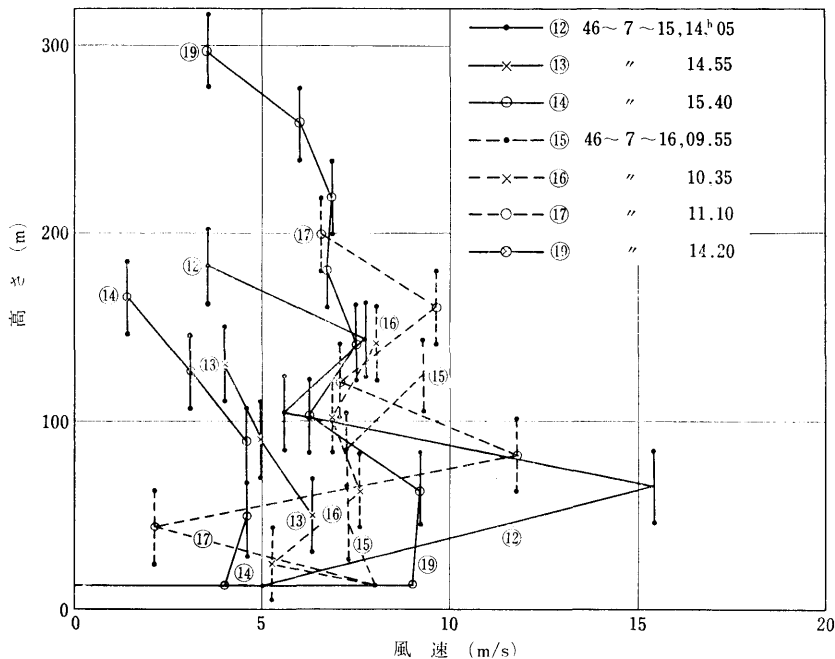


図-15 海面上空の風速分布曲線 (3)

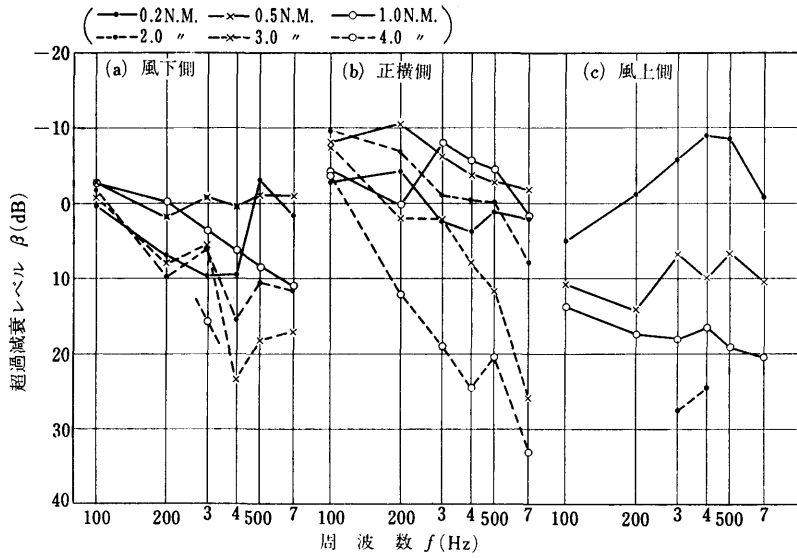


図-16 超過減衰レベル曲線 (46年度)

-1 に、落下傘追跡計算(付録参照)で求めた高空の風速分布曲線を 図-13~15 に示す。

気温には兩年度の間で若干差があったが、湿度と風速には殆んど差がなかった。高空の風速勾配は、兩年度共高さ 150 m 附近で正負逆転のケースが多く見られ、風向も船橋附近と著しく異なった場合があった。風向の差異は、外海で測定した場合(45年度)には殆んど生じなかったことから、湾内や狭水道のように附近に小高かい陸地がある海域の特異現象と見られる。

3.5.2 最適周波数決定試験

発信船に対し、受信船が風下側、正横側ならびに風上側に位置したときの、発受両船にて測定した信号音の音圧レベル差 ΔL および環境状態から求めた α から、(17) 式を用いて各距離に対する β の値を算出した結果 図-16 を得た。 β の値は、0.5 海里までの近距離のときは周波数に殆んど無関係に一定であったが、1 海里以上の遠距離になると周波数に比例して大きくなり、その増大率はまた距離に比例して増加する。受信船が風下側にあるときは、距離 1 海里のとき超過減衰は 200 Hz 以上の周波数域でのみ生じたが、距離が 2 海里になると超過減衰発生周波数域は 100 Hz 以上となった。この現象は、距離が大きくなるほど、超過減衰を生じ始める周波数が低域に移行することを示している。正横側受信の場合は、距離 2 海里においても超過減衰は 500 Hz 以上でのみ生じ、風下側より好結果が得られた。風上側受信における超過減衰は、距離

0.5 海里でも全周波数域で生じ、その値は 7~16 dB となり、距離 1 海里では 14~21 dB と大きな値をとった。これらの結果から、受信船が風向に対し何れの方向に位置した場合でも、伝搬音の減衰のみを考えると低い周波数の信号音ほど有利であるという結論が得られる。

全周波数域で超過減衰を生じた風上側受信の結果を(15)、(16) 式で求めた shadow zone の計算曲線(図-17)で考察すると、距離 0.5 海里以上の各受信点が

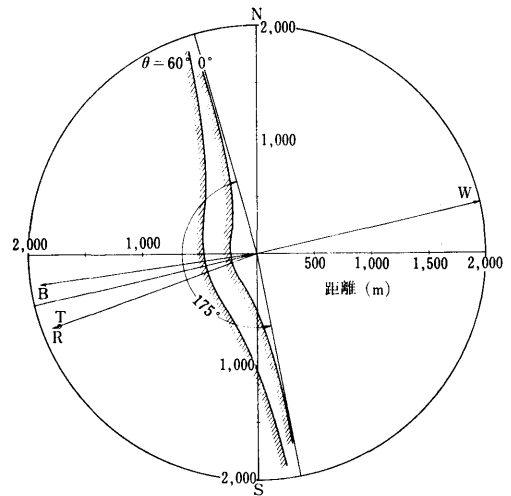


図-17 shadow zone 曲線 (July 16, 1971, 11^h10')

zone 内に入ったものと推定されることから、超過減衰は zone 内で急激に生ずること、また、zone 内では全周波数域に超過減衰を生ずることが考えられる。

3.5.3 航海試験

横軸の $D=0$ の点を受信船の位置として、発信船が

図の右方または左方からそれぞれ反対方向に移動したときの発受両船間距離に対する信号音の受信船上2箇所における平均測定値をプロットして曲線化したのを図-18, 19 に示す。各図の上欄の横線は、乗組員4名が伝搬した信号音を明瞭に聴取出来た範囲を示したも

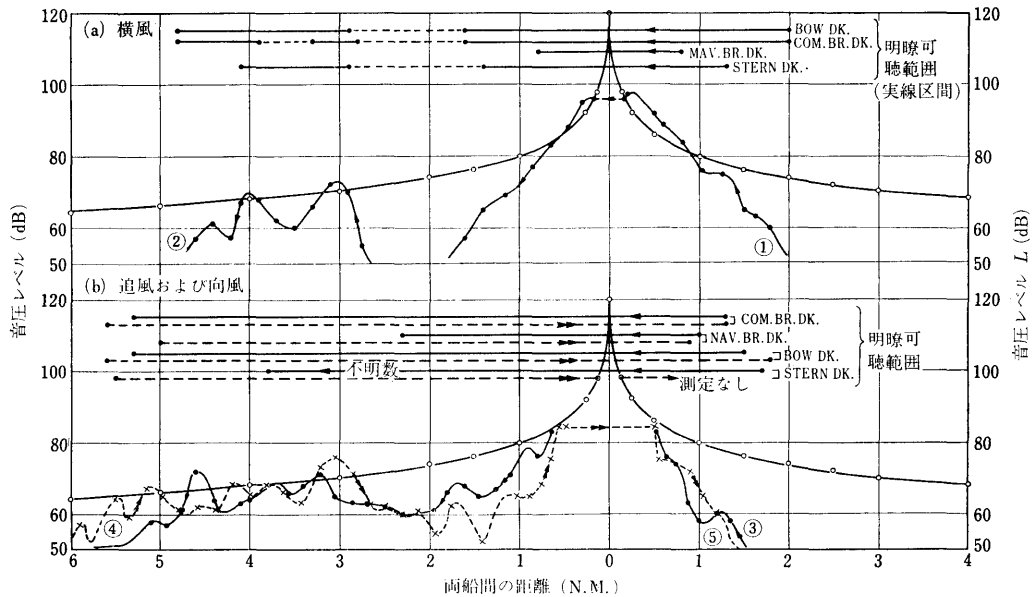


図-18 伝搬信号音の音圧レベル曲線と明瞭可聴区間 (発信船速力: 約 12 knot)

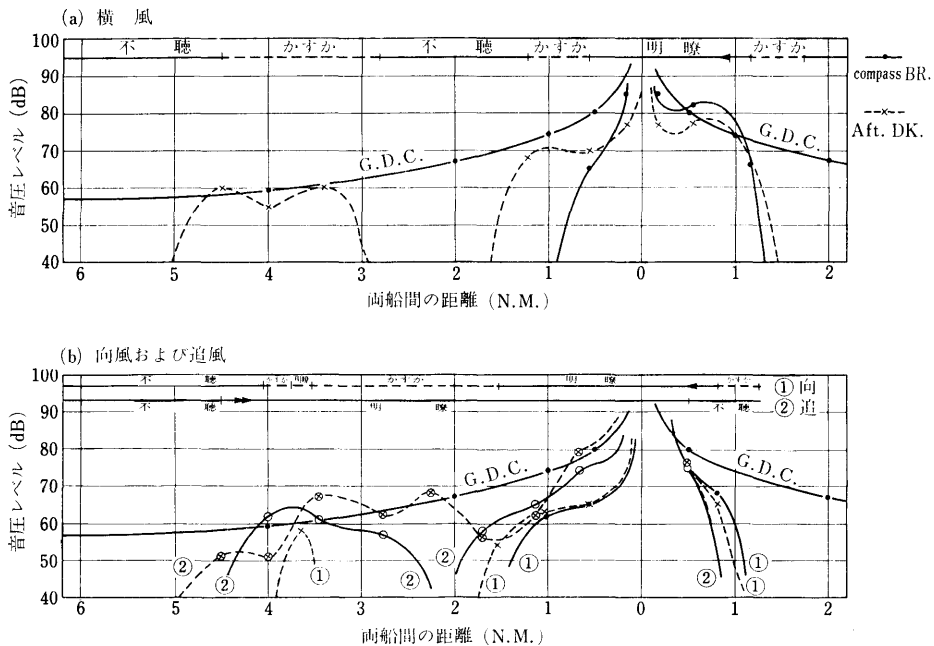


図-19 汽笛の伝搬音圧レベル曲線と可聴度 (航海速力: 約 12 knot)

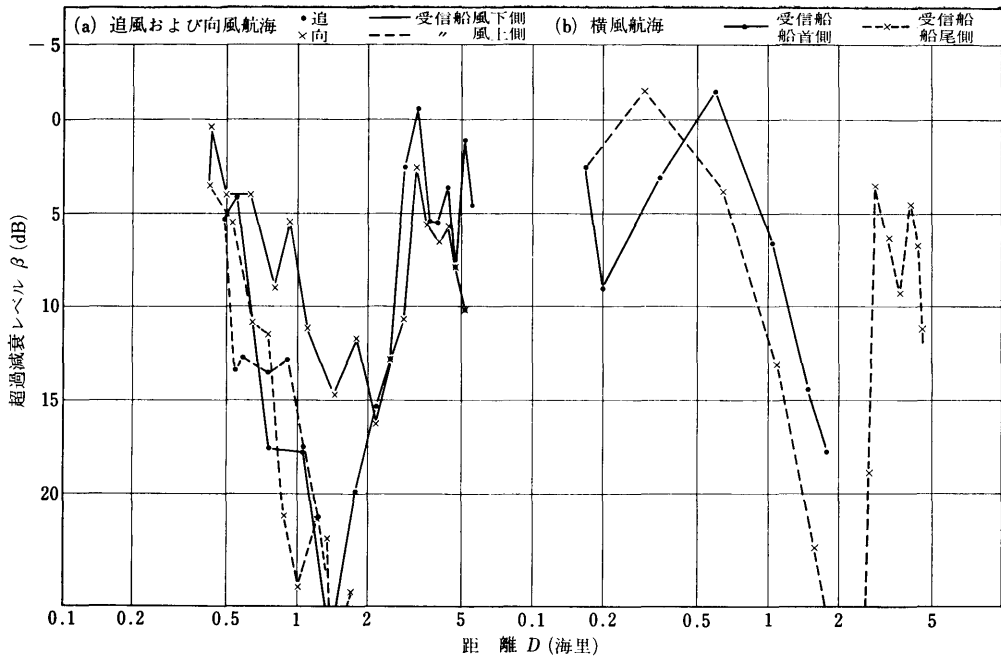


図-20 超過減衰レベル曲線 (45年度航海試験)

のである。また、図-18 の音圧レベルを L_D とし、(17) 式から超過減衰レベル β を求めたのを受信船の風向に対する位置別に図示したのを 図-20 に示した。

横風を受けての航海試験では、約1海里の距離までは幾何拡散減衰曲線に近い減衰曲線が得られたが、1海里以上の距離では急激なレベル減少があり、大きな超過減衰(約20 dB)を生じた。この試験の際の風速は、落下傘追跡による測定結果、上空まで殆んど一定(2m/s以下)であったので、この現象は高さ方向の温度変化(上低下高)によって生じた shadow zone に受信船が入ったためと推定される。計算で求めたこのときの shadow zone 曲線を 図-21 に示す。この図は、発信船 s_0 が、その周囲に常に図のような shadow zone を形成しつつ E→W 線上を西進したことを示すもので、航跡は相対的な移動方向を受信船の移動線で表わしたものである。この図から、受信船が発信船の西方に位置しているときは zone に入らないが、最近接点を通過後東方に位置が変わると、約0.7海里で zone に入ることが知られ、ほぼ実測の減衰状態に合致する。風があり風速勾配が温度勾配による音速勾配より音線の彎曲に強く作用するようになれば、shadow zone の形も変化し、可聴域も亦大きく増減しよう。本実験曲線のような現象は、文献 1) にも述べられてお

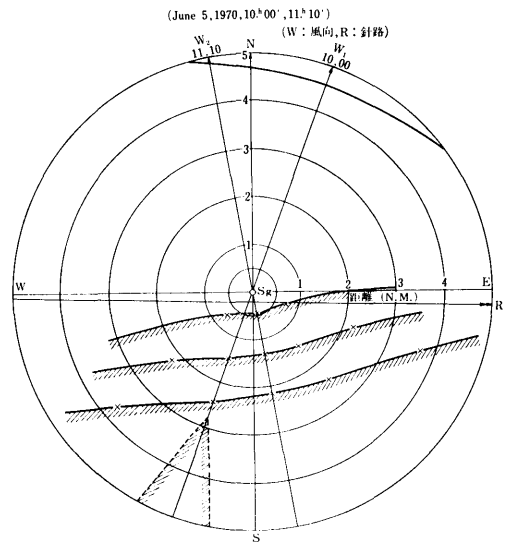


図-21 shadow zone 曲線

り、夏季晴天時の午前中の海上での一般的傾向とも考えられるから、操船上注意が必要である。

音源を常に受信船の方向に向けた大出力音響発生装置による試験では、最近接点の両側で殆んど同様の減衰曲線が得られたが、発信船の煙突上部に船首方向に

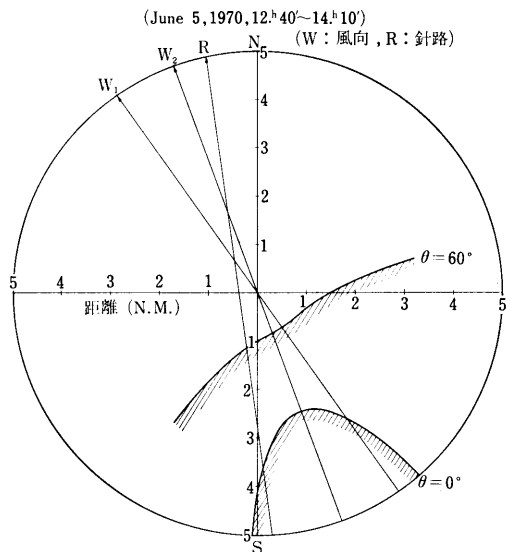


図-22 shadow zone 曲線

ホーン開口部を向けて設置された汽笛による試験では両側の減衰曲線に変化を生じ、受信船が船尾側に位置したときは船首側に位置したときに比し約0.6海里で10 dBの減少を示した。これは、煙突による陰影効果で生じた指向特性によるものと判断される。

向風および追風(風速 3.5~8 m/s)を受けた航海試験では 図-18, 19(b) のように、受信船が発信船の風下側(左方 0~6 海里)に位置したとき、距離 2 海里附近に最大約 25 dB の超過減衰を生じたが、3~5.5 海里では幾何拡散減衰曲線に合致した。また、受信船が風上側(右方 0~4 海里)にある場合は、距離 0.5 海里附近から急激なレベル減少が始まり、距離の増加に従い超過減衰レベル β の値が大きくなった。このときの shadow zone 曲線は 図-22 であるが、風上側および風下側での超過減衰曲線と一致しない。これは、温度勾配に変化を生じたためと考えられるが、詳細は不明である。

図-20 の超過減衰レベル曲線から、信号音の到達距離を 1 海里必要とする場合は、風上側の到達距離を若干短かくしても尚約 20 dB の β を見込むべきであり、到達距離 2 海里を目標とする場合は約 30 dB の β を計算上含ませなければ十分な可聴性が得られないことが判明しよう。また、shadow zone での減衰が急激なもので、ほぼ距離の比の 4 乗に比例して減衰し、距離が 2 倍となる毎に約 12 dB の超過減衰増加を生ずることも明らかとなった。従って、今回の実験結果から

300 Hz の信号音に対しては、(17) 式の β は、 D_0 以上の距離において、

$$\beta = 40 \log_{10}(D/D_0) \quad (18)$$

但し、 $D_0 \doteq 0.3$ 海里(風上側受信)、 $D_0 \doteq 0.5$ 海里(風下側および正横側受信)。

(18) 式を (8) および (17) 式に入れれば、上述の D_0 以上の距離における受信レベル L_D は、

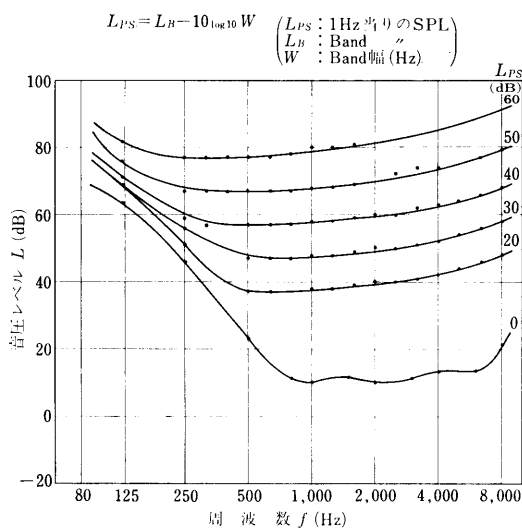
$$L_D = L_s - 20 \log_{10} D - 40 \log_{10}(D/D_0) - \alpha + 2.6 \quad (19)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} L_D &\doteq L_s - 60 \log_{10} D + 112 \text{ (風上側)} \\ L_D &\doteq L_s - 60 \log_{10} D + 121 \text{ (風下, 正横側)} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

となり、shadow zone 内での信号音は距離の 6 乗に比例する急速減衰を示すことが知られる。このような傾向は、300 Hz 以外の周波数でも同様と推定され、周波数によって D_0 の設定値が変化し、(20) 式の定数値に変化があるのみと考えられる。

4. 船内騒音と最小可聴値

(17), (20) 式から求まる L_D の必要最小値は、信号音を聴取する場所の環境騒音により異なる。これは、環境騒音が信号音を陰蔽して聴取が出来にくくなるた



注: 本曲線は ① Fletcher & Munson ② 騒音対策ハンドブック ③ 海上労研実験 ④ 船研艦装部実験 の各曲線の最大値を基として滑らかな曲線になるよう訂正を加えたもので最も安全側にあるものである。

図-23 白雑音下の純音の最小可聴曲線

めである。この陰蔽作用 (Masking) は、騒音の大小、音質によって変化する。Masking 量を求める図表は、Fletcher and Munson⁹⁾ により示されているが、我々日本人の場合に適合するか否かを検討するため、当所実験室において当所職員を被検者とし、オーディオメーターを用いて白雑音下における Masking 作用に関する実験を行なった。この結果と、Fletcher and Munson および海上労働科学研究所等の報告¹⁰⁾ から得られた Masking 量の最大値をとって、各周波数の無騒音下に

おける最小可聴値を加え、騒音下における最小可聴曲線を描いたのが 図-23 である。この曲線を基に、環境騒音の 1/3 オクターブバンドレベルから、その騒音下における信号音の最小可聴値を簡単に算出し得るようにしたのが 図-24 の補正值曲線である。例えば、環境騒音の 1/3 オクターブバンドの中心周波数 125 Hz の音圧レベルが 60 dB あったとき、伝搬した 125 Hz 附近の周波数の信号音は 60+13=73 dB 以上の音圧レベルを有していないとこの騒音下で聴取することが出来

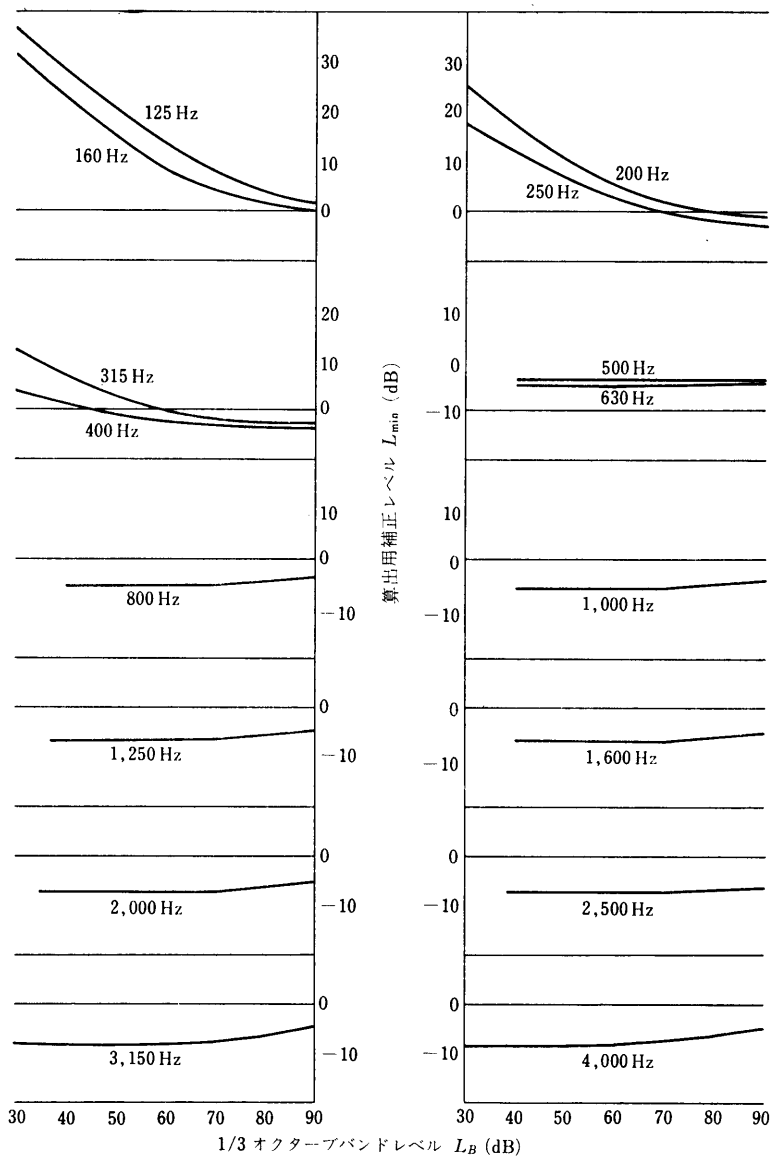


図-24 L_B から L_{min} を求めるための補正值曲線

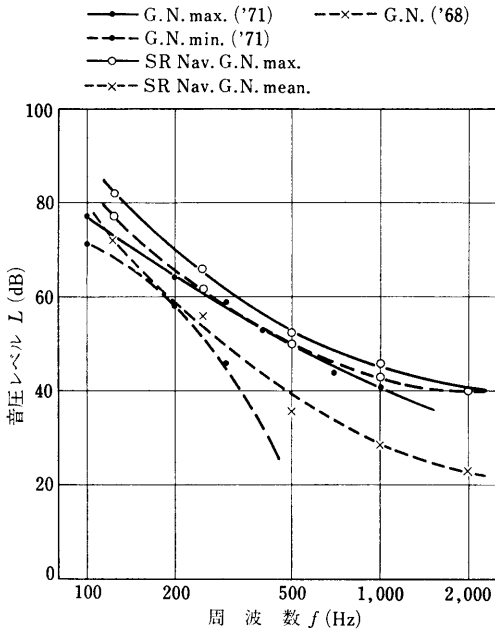


図-25 環境騒音下における信号音の最小可聴レベル曲線

なくなる。

当所で行なった実船試験時および文献11)の報告から、操舵室内およびその近辺の騒音下における信号音の必要限界レベルを 図-24 を用いて求めたのが 図-25 の最小可聴音圧レベル曲線である。平均的には SR Nav. G.N. Mean の曲線を採用してよいであろうが、騒々しい船舶では SR Nav. G.N. Max の曲線、非常に静かな操舵室の場合は G.N. '68 の曲線が基となる。扉や窓を閉じたときの操舵室四壁の遮音度は、平均的に約 15 dB (周波数で異なり低周波音ほど少ない) であるから、密閉した室内で伝搬音を聴取する条件では、上述の最小可聴音圧レベル曲線に遮音度の値を加えただけの音圧レベルで信号音が操舵室周辺に到達しなければならない。

5. 所要音響特性の推定

海上実船試験結果と環境騒音下の最小可聴レベル曲線を基とし、主音響装置の基準作成資料を得る目的で、船舶に装備される主音響装置の所要音響特性の中、音響出力と最適周波数が、信号音の可聴距離に対して如何にあるべきかを検討しよう。

信号音の伝搬減衰式として(17)式を用い、(17)式の α の値には 図-7, 8 の曲線を、 β には 図-16 および 図

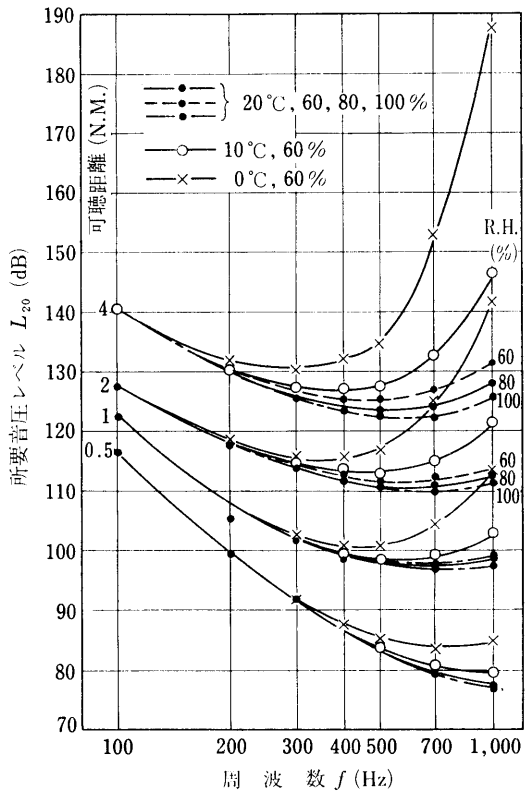


図-26 可聴距離に対する信号音の 20m 点 所要音圧レベル (超過減衰を含む 2 乗則計算曲線)

-9 を採用する。これらの条件により 1.2m 点の音圧レベル L_s を求め、 図-4 によりレベル補正をしてホーン軸上距離 20m における所要音圧レベル L_{20} を計算した。計算時の L_D の値には、 図-25 の SR Nav. G.N. Mean の曲線を用いた。大気温度と湿度によって所要音圧レベルが変化する有様を 図-26 に、同図の最高レベルを持つ曲線と霧減衰曲線を用いた所要音圧レベル曲線を 図-27 に示した。大気温度および湿度が変化すると、高周波音ほど大きく変動し、その値は距離に比例して大きくなると共に、高周波音のときのみでなく低周波音にも変動が現われてくる。霧の β を導入した曲線は、0°C, 60% の曲線より小さい所要音圧レベルとなったが、可聴距離が 0.5 海里のときは殆んど等しく、可聴距離 1 海里で 250 Hz 以下、2 海里で約 130 Hz 以下の周波数に対してほぼ等しい値をとった。また、航海試験結果から導いた(20)式を用いた計算では、 図-27 の中の \odot 印となったが、これらの値

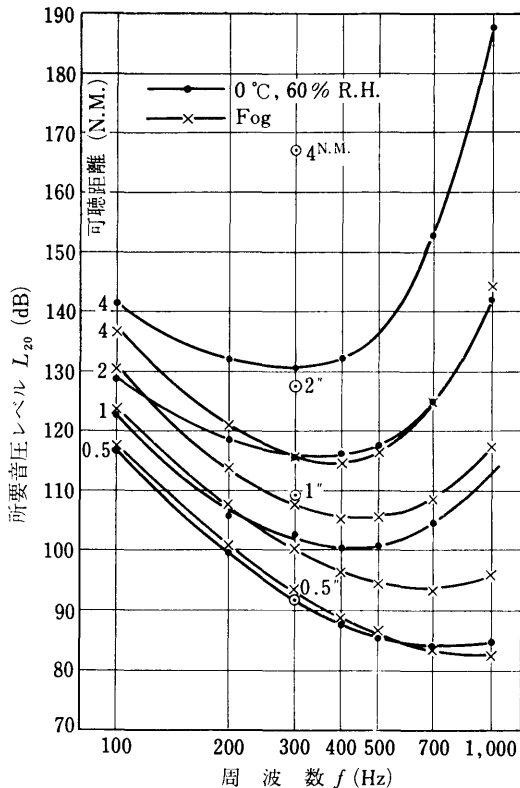


図-27 可聴距離に対する信号音の 20m 点
所要音圧レベル
(○印は航海実験の超過減衰を含む)

は可聴距離の増大に伴ない(17)式の計算曲線と著しく異なった。最適周波数は、可聴距離に逆比例し、距離が大きくなるほど低い方に移行した。ホーン軸上距離 1m 点の換算をする場合 (IMCO で採用) は、図-26, 27 の各曲線の値に 25 dB を加えればよい。

実際に船舶が運航し、航行信号として汽笛等の音響信号を発する条件を考慮すれば、図-27 の 0°C, 60% の曲線を採用し、船舶の運動性等から大型船ほど可聴距離を大きくとった音響装置を設置することが望まれよう。

6. 結 び

巨大船の主音響装置の音響性能を確立する目的で実験研究を行なった結果、次の各項が明らかとなった。

- (1) 信号音の伝搬減衰は (17) 式で求められ、 α , β の値は設定可聴距離および信号音の周波数に比例して大きな値となる。
- (2) shadow zone 内における減衰は(20)式に従い距

(16)

離の 6 乗に比例する。

- (3) shadow zone は風上のみでなく、気象状態により何れの方向にも発生する可能性がある。
- (4) 騒音下における信号音の最小可聴レベルは、図-25 の曲線で与えられる。
- (5) 設定可聴距離に対する音響装置の音響性能は、図-27 の曲線で与えられ、可聴距離 2 海里のとき 20m 点の所要音圧レベルに対する最適周波数は 400~500 Hz, 4 海里に対しては 300~400 Hz である。

これらの結論は、乗組員自身が従来持っていた概念、即ち、「汽笛は腹に響くような音」というものと大いに異なるが、汽笛とは自分自身で聴くことより、それを受ける側に重要なものであるという認識に立って一考を要しよう。汽笛等の音響信号装置は電子航海機器の発達した今日においても、船舶の航海上における重要度は何んら変わっていない。この報告が海難防止という面から幾分なりとも役立つことを望んでいる。

終りに、本実験研究に多大の御協力を頂いた航海訓練所練習船進徳丸、海上保安庁巡視船みやげ、わかかさ、きぬら並びに国際化工株式会社との関係各位に厚く御礼を述べると共に、Masking 試験の際、御指導御協力を得た海上労働科学研究所、神田寛、小原武文両氏に深く感謝の意を表する。

〔付録〕

落下傘追跡による風向、風速の計算

高空の風速および風向は、風が水平流のみで鉛直成分および乱流成分を持たないと仮定すれば、目標である落下傘の高度と方位角を一点から連続追跡計測することにより計算で求め得る。

目標は定落下速度 v (m/s) で落下するから、測定開始点の高度 h_0 は、着水までの落下時間 T を測定すれば、 $h_0 = v \cdot T$ で得られ、落下途中の各高度は、

$$h_t = v \cdot T - v \cdot t = v(T - t) \quad (21)$$

で求まる。従って、 t_1 秒後と t_2 秒後の間の平均風速 V は、図-28 により、 t_1 , t_2 秒における目標の仰角 θ_1 , θ_2 並びにその間の方位変化角 α を測定することにより次式から算出し得る。即ち、 t_1 秒時の水平距離 $l_1 = h_1 / \tan \theta_1$, t_2 秒時の水平距離 $l_2 = h_2 / \tan \theta_2$ から、

$$V = (l_1^2 + l_2^2 - 2l_1 \cdot l_2 |\cos \alpha|)^{1/2} / (t_2 - t_1) \quad (22)$$

また、平均風向は、打ち上げ方向をベースとして計算

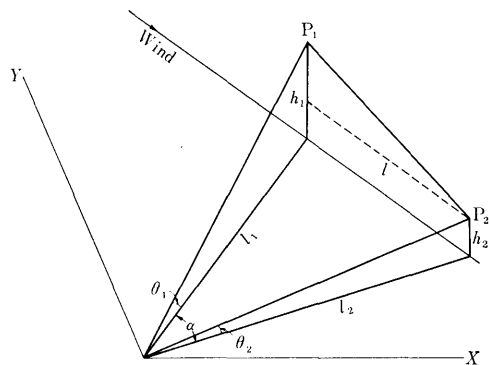


図-28 風速測定法

で求めることも出来るが、若干複雑となるので計測開始時の落下傘の方位を基とし、 l_1 、 l_2 および α から ($T-t$) 秒毎の落下傘の位置を円形方眼紙にプロットして求めた。

参 考 文 献

1) 梅沢他：海上における信号音の伝播特性 (第1, 2報) 船舶技術研究所研究発表会講演概要 第4, 7

- 回 (1965, 1966)
- 2) 谷：満載巨大タンカーの逆転停止距離の概略値 日本航海学会誌第42号 (1969)
 - 3) W.T. Fiala 他：Electropneumatic Acoustic Generator J. of The Acoustical Society of America Vol. 38, No. 6 (1965)
 - 4) W.R. Miller: Development of a wide band, ten kilowatt acoustic noise source Proc. Inst. Environ. Sci. 13th Ann. Tech. Meeting '67 Vol. II of II (1967)
 - 5) 原野他：可変調形大音響発生器の試作とその動特性について、船舶技術研究所研究発表会講演概要第15回 (1970)
 - 6) 騒音対策ハンドブック 技報堂 (1966)
 - 7) W. Kallenbach 他：Üntersuchungen zur Horbarkeit von Schallsignalen auf Seeschiffen Acustica Vol. 11 (1961)
 - 8) Handbook of Noise Control Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY, INC. (1957)
 - 9) 平山他共訳：建築の音響設計 丸善(株) (1957)
 - 10) 神田他：信号音の基本周波数と可聴距離について—船の汽笛，サイレン等の場合— 労働科学 46巻2号 (1970)
 - 11) 社団法人日本造船研究協会報告 第64号 (1968)