

## 長崎丸が発する水中騒音の特性：速力と距離が音圧および周波数に及ぼす影響

楠本 成美\*<sup>1</sup>, 八木 光晴\*<sup>2</sup>, 木下 宰\*<sup>1</sup>, 山脇 信博\*<sup>1</sup>, 森井 康宏\*<sup>1</sup>, 清水 健一\*<sup>3</sup>

## Effects of Ship Speed and Propagation Distance on Pressure and Frequency of Underwater Noise Emitted from the Nagasaki Maru

Narumi KUSUMOTO\*<sup>1</sup>, Mitsuharu YAGI\*<sup>2</sup>, Tsukasa KINOSHITA\*<sup>1</sup>, Nobuhiro YAMAWAKI\*<sup>1</sup>,  
Yasuhiro MORII\*<sup>1</sup> and Kenichi SHIMIZU\*<sup>3</sup>

Reduction of underwater noise emitted from ships is considered important for preserving and protecting marine mammals and for increasing the precision of ultrasonic instruments. However quantitative reports on underwater noise emitted by ships are scarce.

In the present study, the characteristics of underwater noise emitted from the Nagasaki Maru were surveyed. The effects of ship speed and propagation distance on the pressure and frequency of the detected noise were assessed. Ship noise was recorded by a small stationary vessel equipped with digital hydrophone. The Nagasaki Maru sailed at 3 kt, 7 kt and 10 kt in a circle, at a constant distance from the recording vessel. The measured sound pressure level generated by the Nagasaki Maru was slightly higher than the desirable level, but similar to that of other newly built research ships. Sound pressure increased logarithmically with decreasing distance from the ship. Peak sound pressure was detected at approximately 300 Hz at 3 kt, 7 kt and 10 kt; however, the 500–600 Hz band also showed stronger sound pressure at 7 kt and 10 kt.

**Key words** : 音響解析 Noise Analysis, 周波数解析 FFT, 音圧 Noise Pressure

## 緒言

近年、船舶を取り巻く法規制には様々なものが新たに追加され、従来の船舶から発生する廃棄物や汚水対策<sup>(2)</sup>以外にも、排気ガス規制の強化<sup>(1)</sup>や、さらには海洋生物に対する負の影響<sup>(3)</sup>、超音波を利用した高精度の海洋観測機器の使用頻度が増えた事により、船舶から発せられる水中放射雑音（以下、「水中騒音」）についても考慮すべき必要性が生じている。そのため大学の練習船や調査船などでは従来の船内の居住環境向上（静寂生の向上）に加え、水中騒音の低減も目的に追加され、電気推進船の建造が増加してきている。しかし、水中騒音の低減量を実船による計測結果から明らかにす

ることは、運航計画にかかる時間的制限や天候・海況による条件と作業艇等の降下準備等容易に実施する事は困難で、各々建造時には計測などされていたとしても、運航後の報告はあまり多くない。

そこで、本研究では稼働中の水産学部附属練習船長崎丸（以下、「長崎丸」）が発する水中騒音を計測し、距離や速力の違いによる音圧や周波数の特徴を明らかにするとともに、今後電気推進法により建造された新船と比較する場合に備えて、基礎データを収集することを目的とした。

\* 1 長崎大学 附属練習船長崎丸

Training ship Nagasakimaru, Nagasaki University

\* 2 長崎大学 水産学部

Faculty of Fisheries, Nagasaki University

\* 3 長崎大学大学院 水産・環境科学総合研究科

Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University

## 方法

### 水中騒音の計測

水中騒音の計測は水中ハイドロフォン（AUSOMS-mini 使用周波数100Hz～20kHz, 音圧70～160 (dB re 1 $\mu$ Pa), 耐圧30m) を使用した。このハイドロフォンを吊り下げた計測船との最接近距離がおよそ100m となるよう長崎丸を往復航走させ、その間の距離と水中騒音を測定した (Fig. 1)。両船間の距離は長崎丸搭載のレーダ及び計測船からの赤外線距離計 (Nikon LASER 1200S) により測定した。詳細な距離はそれぞれに搭載した GPS の緯度経度から算出した。また、計測船においてハイドロフォンは海面下20m の位置に吊り下げて収録した (Fig. 2)。

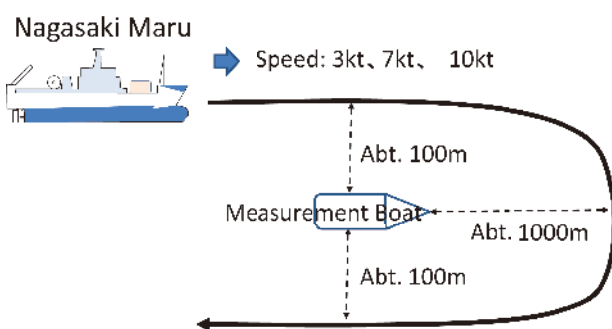


Fig. 1 Arrangement of measurement boat and Nagasaki Maru

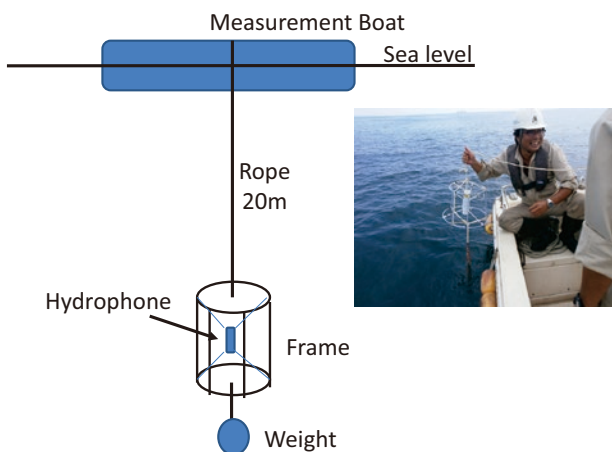


Fig. 2 Setting method of hydrophone

長崎丸は可変ピッチプロペラを有する1機1軸の船である。本研究では、長崎丸の常用航海速力である10kt, 観測時を想定した7kt, 3kt の計3段階で行った。主機関の回転数およびプロペラピッチはそれぞれ、10 kt (r.p.m. 200, p.p. 12.0), 7 kt (r.p.m. 160, p.p. 10.0), 3 kt (r.p.m. 160, p.p. 3.0) とした。

計測は東シナ海の水深138m のところで行い (Fig. 3), 測定時の天候は晴れ, 風向は南から南南東, 風力2の静穏な海況であった。

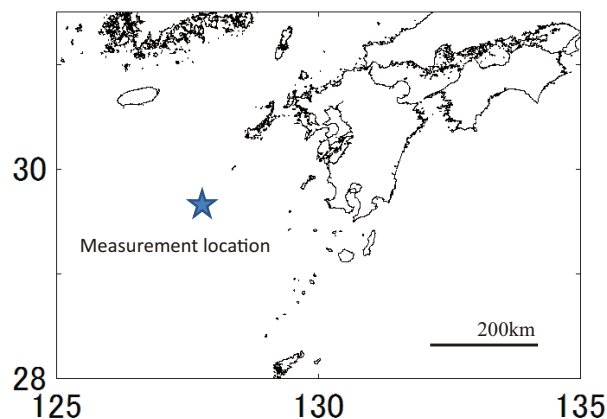


Fig. 3 Location of measurement point

### 収録データの解析方法

収録したデータの解析には音響データ解析ソフト SpectraPLUS-SC Professional Edition (SONALYS 社) を使用した。収録したデータは電圧レベルから使用したハイドロフォンでの1kHz における周波数応答特性を読み取り, この係数を乗じることで音圧レベル (dB re 1 $\mu$ Pa) に換算した<sup>(4)</sup>。本研究で使用したハイドロフォンは, Fig. 4で示した周波数応答特性を有しており, 解析範囲である周波数20Hz～20kHz において受波感度はほぼ同一とみなした。長崎丸と計測船の相対距離と収録値から換算した音圧との関係について10kt, 7kt, 3kt の各速力で比較検討した。

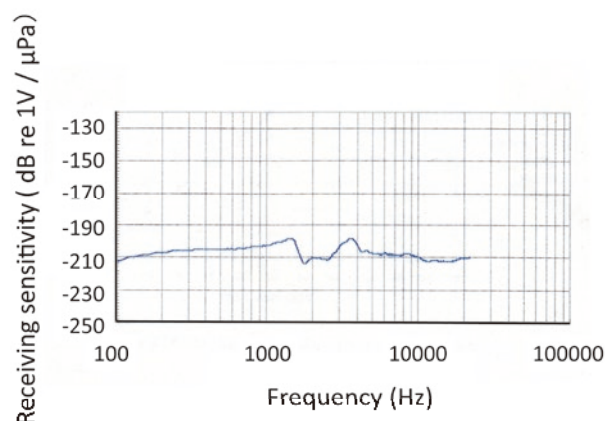


Fig. 4 Receiving sensitivity response of hydrophone (including preamplifier gain)

続いて各速力での往路, 復路の別に使用データ数1024, 窓関数ハニングを用いて時間周波数解析を行った。さらに, 各速力における往復での周波数解析を行った。

## 結果および考察

### 音圧値への換算

収録したデータの音圧換算結果の時系列波形を Fig. 5に示す。この図から3kt の往復時に最大の音圧となっていたこと

がわかる。両船の GPS から求めた相対距離を横軸、各速力における音圧値の測定結果を縦軸として Fig. 6に示した。Fig. 6から10ktの時に音圧は最も大きな値となっているが他の2つの速力と比較して明確な違いがあるとは言い難い。また、図には各速力における近似曲線及び近似式を併記したが、この3つの曲線はほぼ同じ傾きを持つと言える。また、速力3kt 時には二船間が最も近づいたことにより、音圧値が最大となったこともわかる。

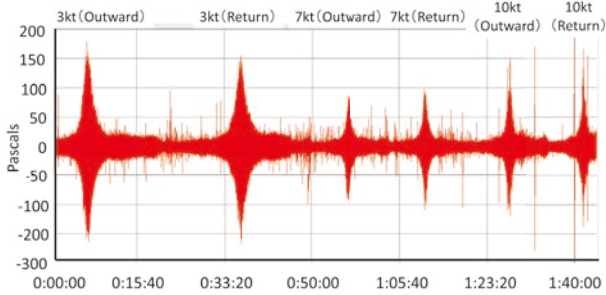


Fig. 5 Time series waveform of recorded data

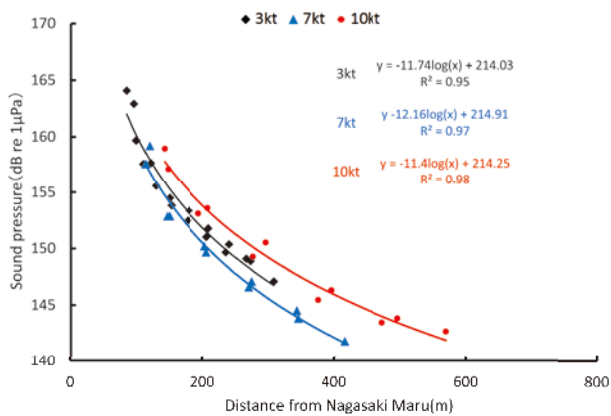


Fig. 6 Relationship between boat distance and total power (dB re 1µPa)

水中雑音について、現在のところ強制力のある規定はないものの、望ましい値として ICES の推奨基準値がある。そこでは無指向性ハイドロフォンで測定される船速10ノットの雑音スペクトルレベル SL (dB re 1µPa / √Hz at 1m) は、周波数毎に次式で表される値以下が望ましいとされている<sup>(5)</sup>。

周波数  $f = 1\text{Hz} \sim 1\text{kHz}$  では、 $SL = 135 - 1.66 \log(f)$  以下、  
周波数  $f = 1\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$  では、 $SL = 130 - 22 \log(f/1000)$

この値は仮に周波数300Hz とすると、雑音スペクトルレベル SL は130.89 (dB re 1µPa), 500Hz とすると雑音スペクトルレベル SL は130.52 (dB re 1µPa) となる。本研究の結果はいずれもこの値を上回っているが、他の調査研究船と比較して特に大きいわけではないこともわかった<sup>(5)</sup>。

周波数解析結果

各速力における往路、復路ごとの時間周波数解析結果を

Fig. 7~Fig. 12および Table 1に示した。また、比較のため長崎丸が計測船から十分離れた状態（無音状態）の時間周波数解析結果を Fig. 13及び Fig. 14に示す。Fig. 7~Fig. 14はいずれも約8秒間における各周波数ごとの音圧レベルを示したものであり、縦左軸に各周波数、縦右軸に音圧レベルを示している。これらの図から3kt では往路、復路ともに周波数300Hz のところで音圧の高い領域が見られている。7kt および10kt では300Hzに加えて、500~600Hz のところにも周波数のピークが見られている。

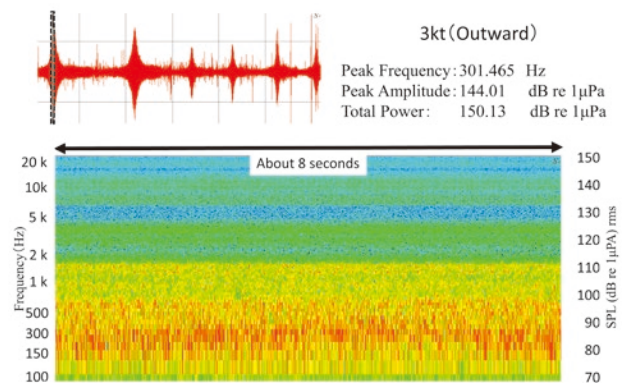


Fig. 7 Result of frequency analysis of outward trip at 3kt

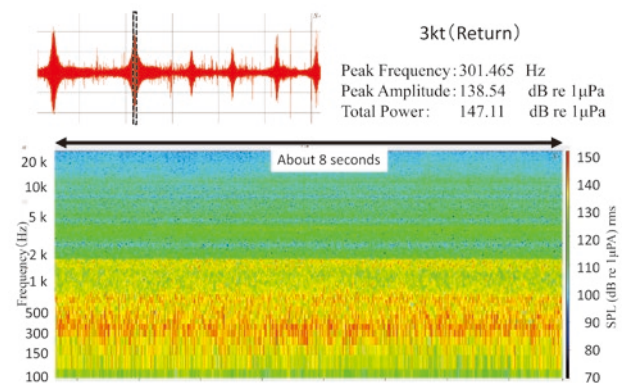


Fig. 8 Result of frequency analysis of return trip at 3kt

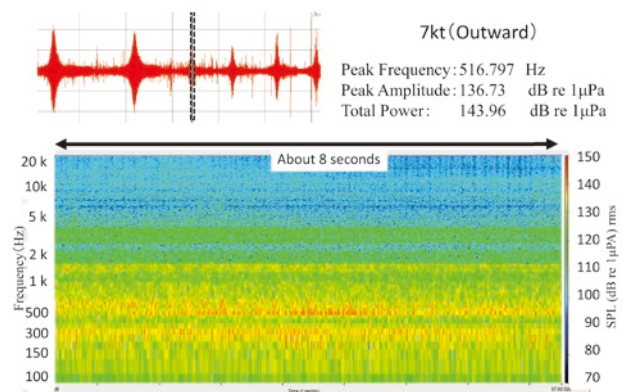


Fig. 9 Result of frequency analysis of outward trip at 7kt



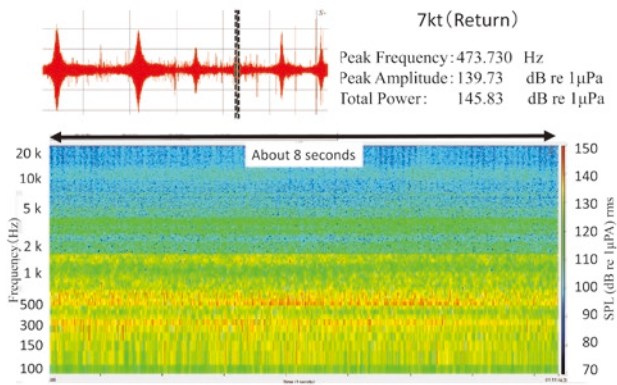


Fig.10 Result of frequency analysis of return trip at 7kt

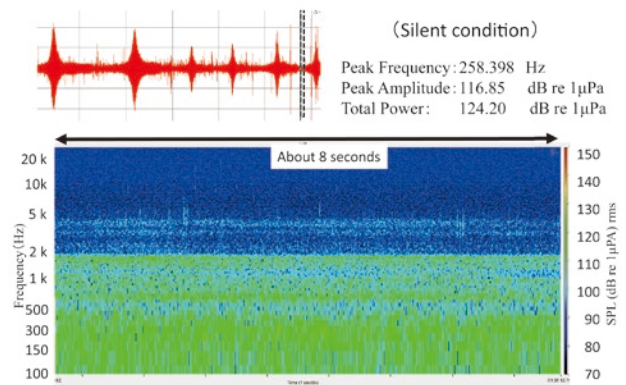


Fig.14 Result of frequency analysis of silent condition (2)

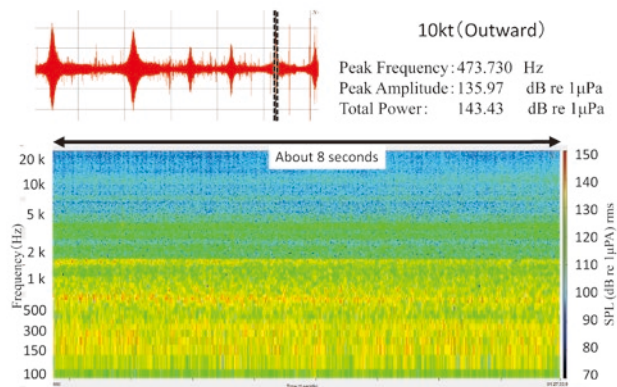


Fig.11 Result of frequency analysis of outward trip at 10kt

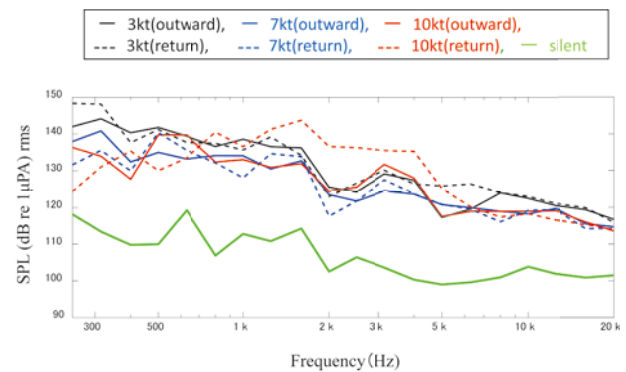


Fig.15 Result of FFT analysis at each speed

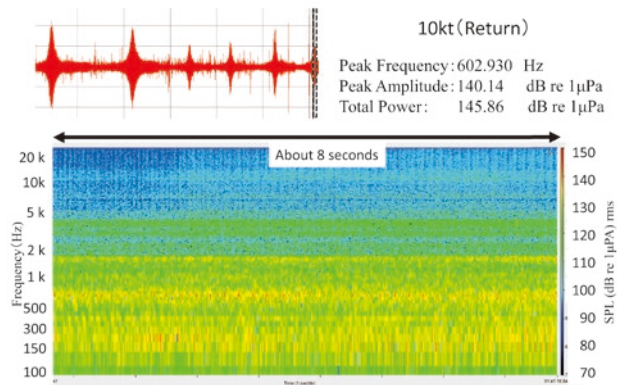


Fig.12 Result of frequency analysis of return trip at 10kt

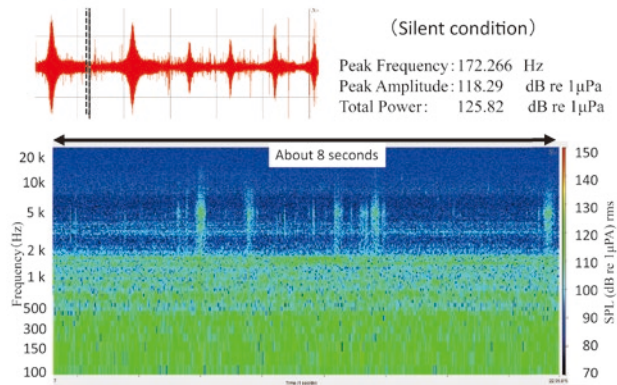


Fig.13 Result of frequency analysis of silent condition (1)

Table 1 Result of peak frequency, peak amplitude and total power in each condition

		Peak Frequency 【Hz】	Peak Amplitude 【dB re 1 μPa】	Total Power 【dB re 1 μPa】
Silent		172.266	118.29	125.82
		258.398	116.85	124.2
3kt	Outward	301.465	144.01	150.13
	Return	301.465	138.54	147.11
7kt	Outward	516.797	136.73	143.96
	Return	473.73	139.73	145.83
10kt	Outward	473.73	135.97	143.43
	Return	602.93	140.14	145.86

長崎丸の速力調整は、プロペラシャフト（主機関）の回転数と可変ピッチプロペラの翼角を変更することで行う。今回の実験では3kt 時と7kt 時で主機関の回転数は一定であり主機関の高回転化が水中騒音の高周波側に作用したものは考えにくい。したがって今回の場合、速力が増加したことにより船体が航走する際の水切音が増し、これが記録された可能性が考えられるが今後更に検討していく必要がある。

さらに、Fig. 13や Fig. 14の無音状態と比較すると Fig. 7～Fig. 12はどの周波数においても音圧レベルは上がっており、船体近傍では様々な周波数が放射されていることが明らかとなった。

Fig. 15は本研究で得られたデータをFFT解析した結果である。縦軸にパワー値を、横軸には周波数をとっており、各

速力の往復と、併せて静音状態のものも並べている。比較のため、他の調査船のFFT結果もFig. 16に示した<sup>6)</sup>。Fig. 15の緑線で示した静音状態と比較して、先ほどFig. 7~Fig. 12で示したように各速力で様々な周波数成分が検出されていることがわかる。しかしパワー値はFig. 16で示したほかの調査船と比較していずれの速力でもほぼ同様の値となっており、長崎丸の水中騒音は他の船と比較して特段大きいとは言えない。

今後は同一規模の電気推進船について、同様の計測を行うことで水中騒音の周波数ごとの低減量を明らかにしていくことが可能になると考えられる。

### まとめ

本研究では、従来型の主機関で推進する長崎丸において水中騒音を計測し、その音圧レベルについて距離との関係を調査するとともに周波数特性についても基礎資料のデータ収集を行った。

その結果、現在の長崎丸では速力による音圧の差は明確では無く、いずれの速力も推奨とされる水中放射の音圧レベルは満足していないものの、他の調査研究船と比較して特段大きいとは言えないことが明らかとなった。また、距離と音圧の関係について曲線で近似できることも明らかとなった。

長崎丸では現在電気推進船として代船建造が行われており、現船と比較すると今後水中騒音の低減が期待できるが、併せて周波数ごとの低減量も明らかにしていく必要があると考えられる。

### 要旨

近年、海洋生物に対する負の影響や超音波を利用した高精度の海洋観測機器の使用機会の増加から船舶から発せられる水中騒音の低減について考慮すべき必要性が生じている。そのため特に大学や調査船などでは水中騒音の低減を目的の一つとして電気推進船が建造、利用されている。しかし、水中騒音の低減量を実船の計測から求めることは時間と労力を伴うことから困難で、その報告はあまり多くない。

本研究では稼働中の水産学部附属練習船長崎丸（以下、「長崎丸」）において水中騒音を計測し、その音圧や周波数などの特徴を明らかにするとともに、今後電気推進法として建造された新船と比較する場合の基礎データとして利用することを目的とした。

計測は、計測船からハイドロフォンを垂下した計測船との最接近距離が100m位となるよう長崎丸を航走させ、往復する間に行った。船速は常用速力である10ktに加え、7kt、3ktの計3段階で行った。得られたデータは一般的に使われているソフトにより解析を行った。

その結果、長崎丸の水中騒音は他の調査船と比べ極端に大きな値ではなかったが、推奨される値よりは若干大きかった。また、速力による音圧の差は余り見られず二点間の距離により相関があることが判った。さらに周波数の解析結果か

ら、3kt時には300Hz付近の周波数が観測され、7kt、10ktでは300Hz帯に加え500~600Hzの周波数も観測された。

### 謝辞

本研究において、データの収集および解析に於きまして附属練習船長崎丸の乗組員の方々には多大なご助力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

### 引用文献

- 1) 国土交通省報道発表資料：国際海事機関（IMO）第58回海洋環境保護委員会(MEPC58)の審議結果について、[http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07\\_hh\\_000003.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000003.html) (2016年12月28日アクセス)
- 2) 国土交通省総合政策局海洋政策課 監修：最新 海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律及び関係法令平成27年8月31日現在収録、成山堂書店、東京(2015)
- 3) Natacha Aguilar de Soto, Natali Delorme, John Atkins, Sunkita Howard, James Williams & Mark Johnson: Anthropogenic noise causes body malformations and delays development in marine larvae, Scientific Reports 3, Article number: 2831 (2013) doi:10.1038/srep02831
- 4) W. John Richardson, et al: Marine Mammals and Noise, Academic Press, San Diego (1995)
- 5) ICES: "Underwater Noise of Research Vessels", Cooperative Research Report, No. 209 (1995) <http://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/2002/J/J1002.PDF> (2016年12月28日アクセス)
- 6) 横倉雄太郎：船の振動と水中音響，騒音制御，Vol. 22, No. 5, pp. 265—269 (1998) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/souonseigo1977/22/5/22\\_5\\_265/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/souonseigo1977/22/5/22_5_265/_pdf) (2016年12月28日アクセス)

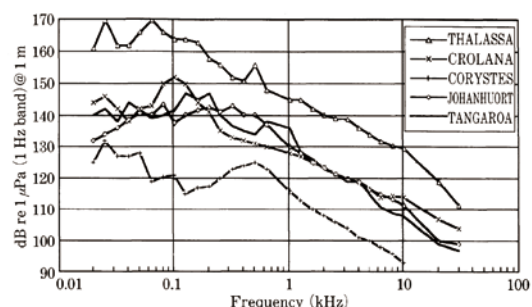


図-1 11ktにおける研究船5隻の水中音圧レベル

(参考)横倉雄太郎：船の振動と水中音響

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/souonseigo1977/22/5/22\\_5\\_265/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/souonseigo1977/22/5/22_5_265/_pdf)

Fig.16 FFT analysis of five research vessels at 11kt (After Yokokura 1998)