HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	漁船の耐航性について(その1)：波浪中の船体運動の立体表示
Author(s)	川島, 利兵衛; 天下井, 清; 増田, 紀義
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 18(4), 345-356
Issue Date	1968-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23333
Type	bulletin (article)
File Information	18(4)_P345-356.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

漁船の耐航性について（その1）
波浪中の船体運動の立体表示

川島利兵衛*・天下井清*・増田紀義**

On an Experimental Studies on the Sea Keeping Qualities of Ship (1)
Three dimensional expression of power spectra for ship's motions

Rihei KAWASHIMA, Kiyoshi AMAGAI and Kiyoshi MASUDA

Abstract

This is an experimental study on the sea keeping qualities of fishing boat. The main objective is to determine the statistical properties of the movements of a ship due to ocean waves by measuring the movements of a full scale ship and processing of the data.

To measure the movements of a full scale ship, a special device which allows 5 degrees of freedom was devised by one of the authors.

For analysing the data, the method of statistical estimation of ship's motions was applied. This procedure is shown in Appendix I.

The results of the computations including the statistical distributions and power spectra are shown in Figs. 6 and 7.

When the experiments were performed, the sea was in "State 3".

The computations for power spectra were performed at the computor center of Hokkaido University, programed by R. Kawashima. These are shown in Appendix II.

緒　　論

漁船の耐航性に関連して著者らは一環した研究を進めてきたが今回は海洋波中の船体運動の問題をとりあげて実験を行なった。船舶の運航に際して，主に波によってひき起こされる動揺（Pitching, Rolling, Heaving, Swaying, Surging, Yawing）のどの運動が問題にされるかは，船舶の種類および用途により異なってくるが，操船上から見れば船体と海面状態のみかけの関係から端的に船の運動状態を表示するものが必要とされる。

本文では船と波との相対方向をパラメーターにとり，各自由度別に運動のパワースペクトルを用いて，船体運動の立体表示を試みた。

実　験　方　法

1. 資　料

実験には北大練習船おしよろ丸（1180 トン）を使用した。その主要寸法および実験時の状態は Table 1 に示した。また，船体線図は Fig. 1 の通りである。

* 北海道大学水産学部漁船運用学講座

** 北海道大学水産学部練習船おしよろ丸

Table 1 Oshoro Maru (GT 1180.64 tons)
Principal Dimension & Ship's Condition in Experiment

Lpp	60.00m	Draft	F	2.50m
B	11.00m		A	4.44m
D	5.40m		M	3.47m
Displacement	1378.85 tons	Trim Moment		1559.19m-t
KMt	5.2800m	Water Plane Area		524.00m²
KGt	4.2413m	KM_1		84.50m
GMt	1.0387m	GM_1		80.26m
GGo	0.1260m	T_1		5.20 sec (0.1923 c/s)
GoM	0.9127m			
Tt	9.3200 sec (0.1073 c/s)			

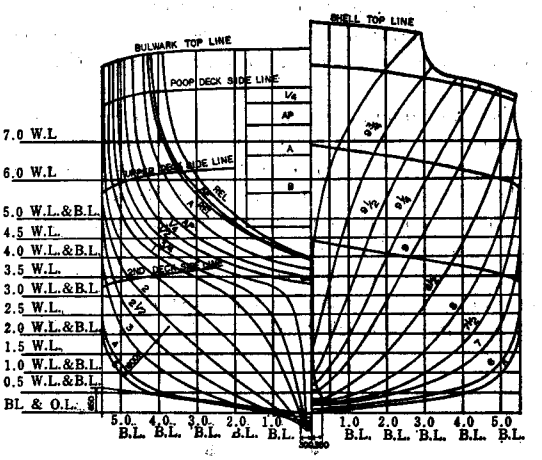


Fig. 1. Oshoro Maru's lines of the ship body

2. 実験海域及び日時

日時：昭和41年1月16日　　位置：20.5°N, 142.0°E

実験当日の気象，海況は，天候曇り，風向 NE，風力 7.5m/s，波浪 NE3，ウネリ NE1 であった。

3. 計測装置

計測には Vertical Gyro (東京航空計器製) および著者[1] の一人の開発によるサーボ機構の水平安定台に非接着型3方向加速度計を取りつけて，Yawing を除く他の5つの運動を同時に測定し，ペン書きオシログラフに記録できる5自由度船体運動計測装置を使用した。装置の全景を Photo. 1 に示す。

おしよろ丸での実験時には，この安定台など検出部はジャイロ室に置いた。その重心からの位置は Fig. 2 の通りである。

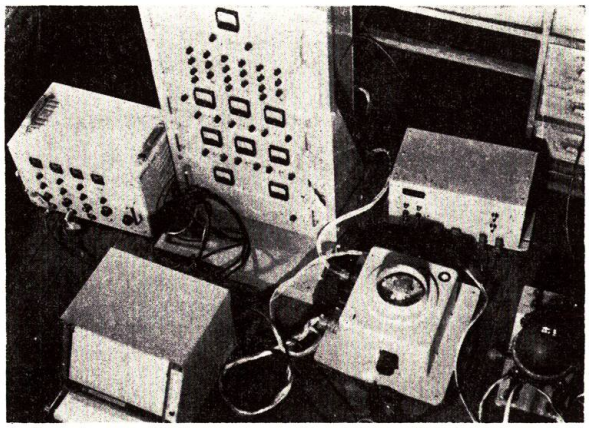


Photo. 1. The apparatus for measuring the movements of the ship vertical gyro, servo amplifier, stabilized plate, 3 elements acceleration pick-up, electric wire strain gage, integrator and power amplifier 6 elements pen recorder.

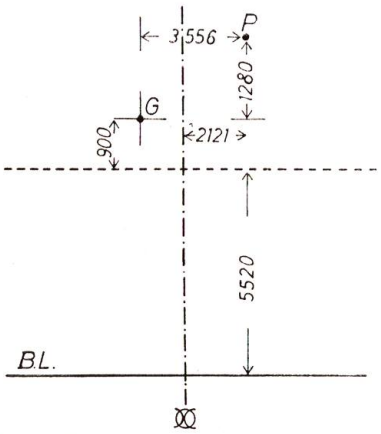


Fig. 2. Position of measuring apparatus

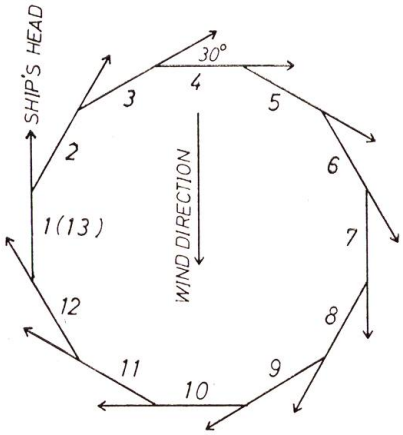


Fig. 3. Relative angles of the ship's head and wave direction

4. 計測方法

4-(1)　波浪中の船体運動

波浪中の船体運動の表現はパラメーターの選び方によって多少の相異があると考えられるが，本文では不規則波の中の一表現法として海面に存在する波の主成分波の方向と船首方向との相対角を考え，それぞれの方向に対して船体運動を計測した。但し実際には，主成分波の方向を決定することは非常に困難なため，本実験では観測された風方向を基準にとり，風方向と船首方向とが Fig. 3 に示すような 13 方向になる様右廻りに針路を 30 度毎変針させ，各方位につき 5 分間づつ航走して 5 自由度の運動を計測した。この装置による計測例を Fig. 4 に示す。

4-(2)　波　浪

主成分波の方向すなわち風向および海況は航海士の定時観測と同様の観測によるものを採用した。実験の開始から終了までの所要時間は針路の安定，或いは機関回転数の調整などの余裕時間をみたの

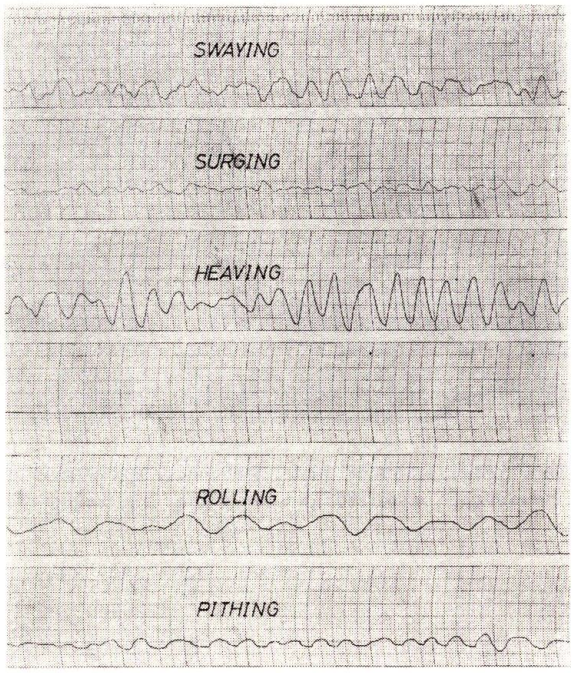


Fig. 4. Typical short sections of the record of the movement of the ship

で，約1時間30分を要した。従って一般に海洋波の定常性が20分から30分の範囲内であると考えられているから，実験の開始時と終了時の波浪条件には若干の変化があるものと思われるが，本実験では波浪および風力階級を変える程には至らず動揺記録から無視できるものとした。

結果および考察

計測された5つの運動のそれぞれの最大値は Table 2 に示した。波浪中の船体運動において各運動系別に波に対する応答を線型系と考えるなら，入力としての波と出力としての運動の関係から船体の応答が求められる。しかし本実験では Fig. 4 に示した様に，出力である船体運動だけが計測され

Table 2 Maximum Value of Each Motion

Exp. No	Surging	Swaying	Heaving	Pitching	Rolling
1	0.0575g	0.0219g	0.0975g	4.30deg	6.20deg
2	0.0375	0.0244	0.0735	2.60	4.20
3	0.0419	0.0225	0.0831	3.40	5.60
4	0.0343	0.0262	0.0700	4.90	10.80
5	0.0406	0.1088	0.0637	2.90	5.50
6	0.0413	0.1094	0.0450	2.50	8.40
7	0.0381	0.0213	0.0382	2.70	8.50
8	0.0331	0.0200	0.0425	2.20	7.70
9	0.0425	0.0225	0.0512	2.40	6.30
10	0.0374	0.0294	0.0662	3.10	5.10
11	0.0363	0.0231	0.0563	3.10	5.50
12	0.0369	0.0206	0.0831	4.40	5.60
13	0.0475	0.1074	0.0681	3.50	6.50

た。従って応答特性の推定は無理であるが，一応得られた運動の平均的な表示として各振巾の度数分布とパワースペクトルを計算した。パワースペクトルの計算に用いた定数は，読み取り時間々隔 $\Delta t=1$ sec，データー数 M=300，スペクトル分割数 h=45 とし，計算式は Appendix 1 の通りで，データーからの計算には HIPAC-103 を使用した。そのプログラムは Appendix 2 に示した。

5つの運動系の振巾の累積度数を 13 方位別に正規確率紙にプロットしたところ，Fig. 5 の様であった。

静水中あるいは等加速度運動中の船体運動において各運動の平均は零値をとるが，海上においては波浪および風の変動分による外力の作用を受けて船体は6自由度方向に不規則振動をする。本装置では5自由度の運動の計測であるが，その度数分布に示されるように運動の平均値は必ずしも零になっていない。その理由として例えば Pitching にはイニシャル値としてトリムがあり，Rolling には風の定常成分が考えられる。これら諸々の点を考慮して各方位に対する船体運動の振巾の分布型をみると，Fig. 5 に示した通り各点は正確には一直線上にはないが殆んど一直線上にあるものと認められるから，正規型であるとみなされる。それぞれの分散は Fig. 5 より読みとれるが，それらの分散とパワースペクトルとの関係については後述する。

波と船の進行方向の相対角をパラメーターとする各船体運動のパワースペクトルを，各運動系毎に

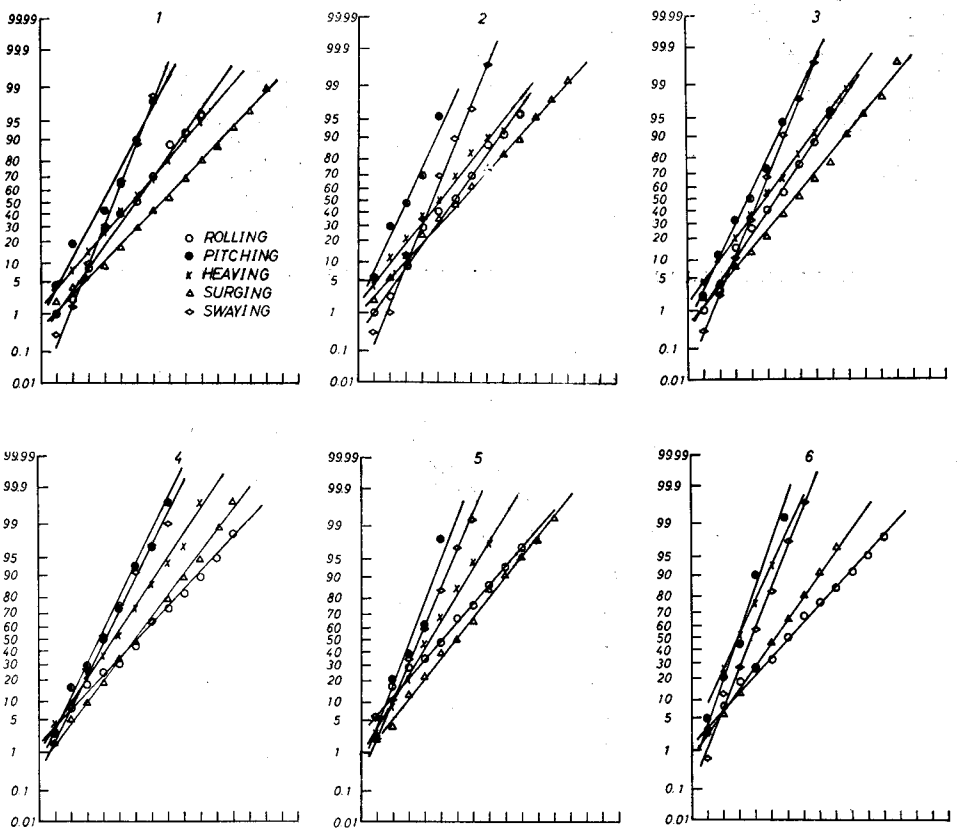


Fig. 5. Statistical distributions of the movement of the ship (Direction 1～6)

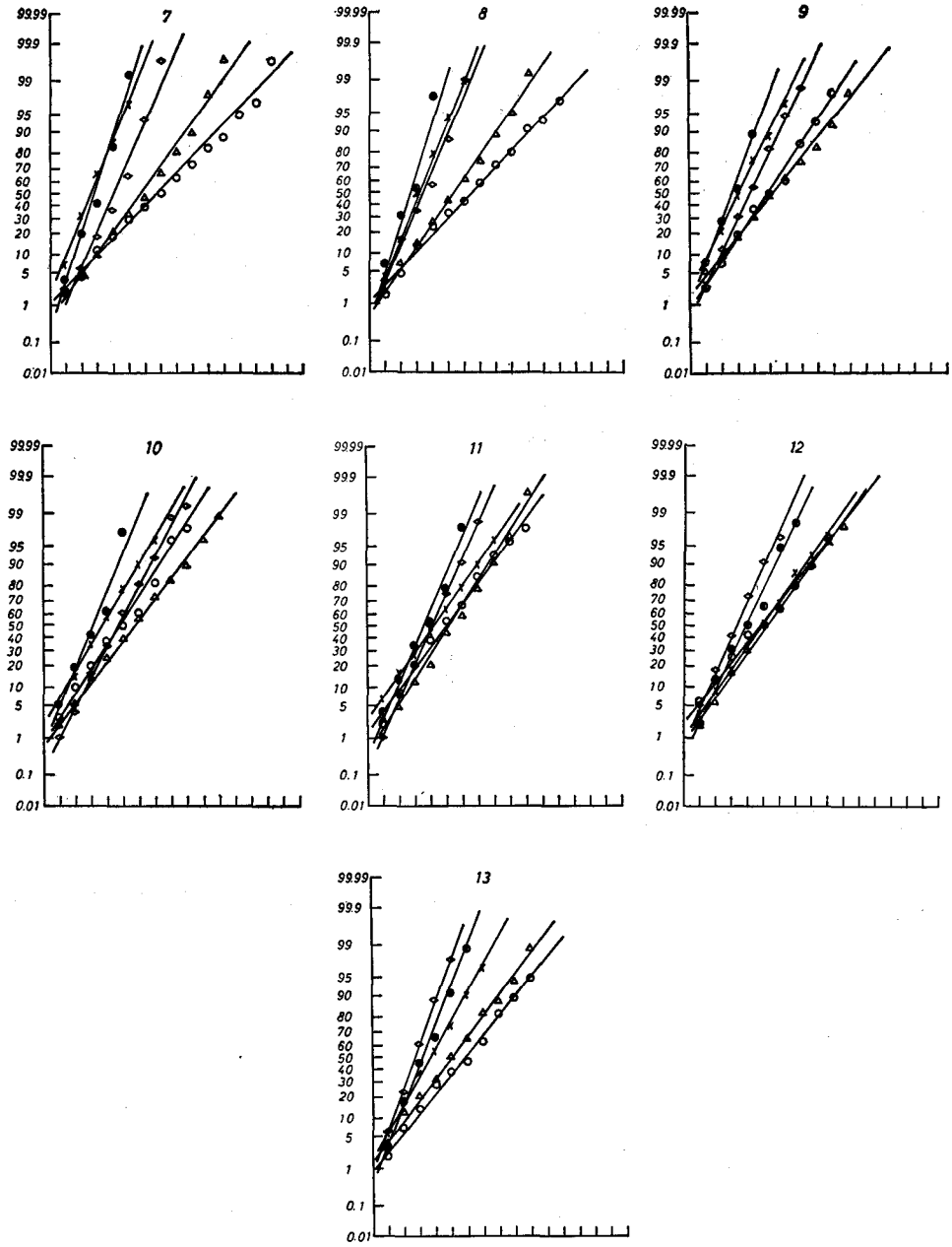
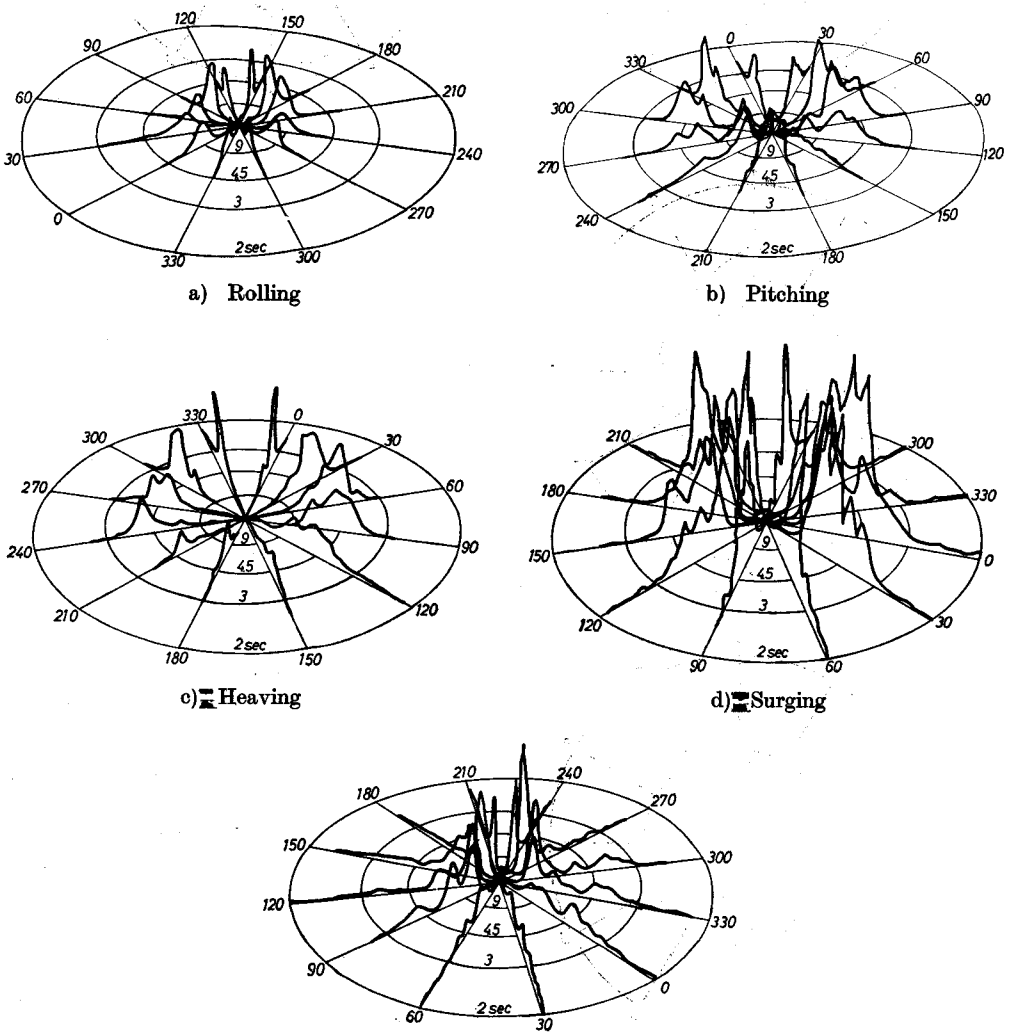


Fig. 5. Statistical distributions of the movement of the ship
(Direction 7~13)

12 方向同時に立体的な表示をした。それらを Fig. 6 に示す。この図は作製した模型を写真にとり，それをトレースしたものであるため立体感を完全に示し得ないが，波浪中における船体の運動状態をかなり有効にとらえていることは推察されるだろう。例えば，Pitching は方位 15 度軸にほぼ対称なパワースペクトル配置を示し，パワーの最大値を与える周期も，パワーに比例して長周期となったりしていることが明瞭である。一方 Rolling および Heaving ではパワーの最大値を与える周期は各方位ともほゞ一定である。

最大パワースペクトル値およびそれを与える周期との関係に，各運動の振巾の分散を同一図上に示すと Fig. 7 の様になる。これによって紙面では表現しきれない立体的表示の大意が分かる。

5 つの各運動系毎にその特徴をみてみると次の通りである。

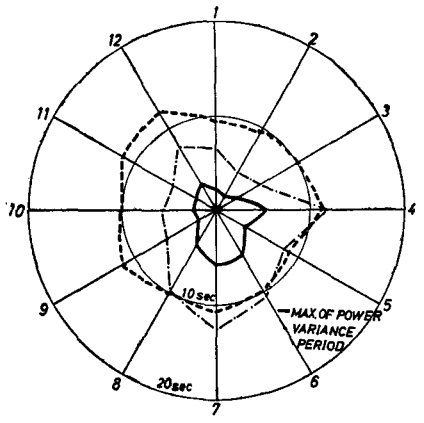


a) Rolling　　b) Pitching

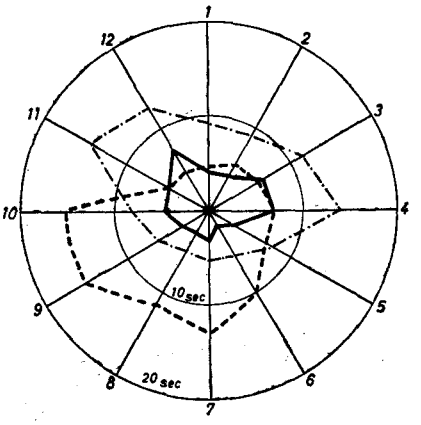
c) Heaving　　d) Surging

e) Swaying

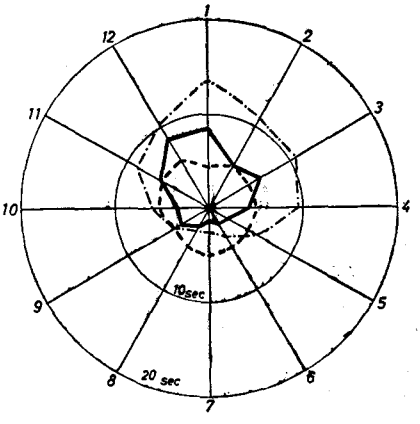
Fig. 6. Three dimentional expression of power spectra



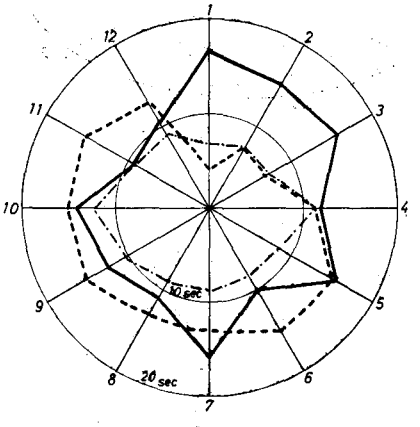
a) Rolling



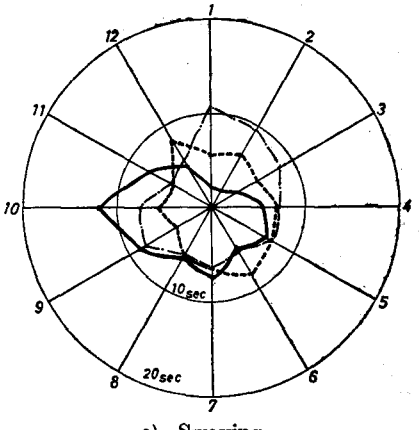
b) Pitching



c) Heaving



d) Surging



e) Swaying

Solid line ; max. of power
Brokenlinei ; period
Chain line ; variance

Fig. 7. Maxima of power spectra

Rolling：横揺れ周期は10秒前後で，これはおしよろ丸の固有周期に近い値を示している。パワーと分散の型は非常によく似ている。すなわち，揺れの大きい時の分散は比例して大きくなることが分かる。また，横揺れは正横および左舷斜後方より波を受けた時に大きい。

Pitching：船首方向に波を受ける時の縦揺れの周期はそうでない時に比べて短かく，波を船尾から受ける時の方が長い周期となる。揺れの最大値は斜前方より波を受けた時に現われ，一緒に分散も大きくなっている。

Heaving：上下揺れの周期は4秒から5秒でほゞ一定している。船首方向に波を受ける時，揺れは大きく，船尾より受ける時は反対に小さい。Rolling と比較して逆の関係にあることがうかがえる。Pitching のパワーとは大体対応している。

Swaying：方位1から3方向の小さなパワーに対してその分散は比較的大きな値をとっている。方位10および4方向の時にパワーは大きい。このことから，swaying は船首方向よりも舷側から波を受けた時に著しく，船尾方向から受けた場合にも相当影響されるといえる。

Surging：船首方向に波を受ける時に揺れは大きく，その周期は短かい。その他の場合は12秒から15秒と長い。

摘　　要

波浪中の船体の自由度運動について振巾の度数分布を正規確率紙を用いて検定したところ正規分布であった。更に，パワースペクトル解析を行ない，その立体的表示をすることによりパワーの最大値の位置および相対的絶対的な大きさについて明確な特徴が得られた。

操船上，波と船の運動の応答関係があらかじめ分かっていれば安全な航行が可能となる。現在，船舶の巨大化がおし進められているが，特に漁のためにはある程度の危険をおかしてまで出漁する漁船では，大型船より以上に波浪中の船体運動の限界を知る必要がありその意味で船体の運動の表示法としてパワースペクトルによる立体表示を試みたが，漁船の耐航性を考える上にまだまだ問題は今後に残る。

文　　献

1) 川島利兵衛 (1966). 波浪中の船体運動計測の一方法について 日航誌 **36**, 135-143

2) 統計数理研究所 (1964). 不規則振動のスペクトル解析 東京.

Appendix (I)　パワースペクトル密度函数の推定法[2)]

対象とする不規則振動の記録を $x(t)$ とする。

1. Δt：$\dfrac{1}{2\Delta t}$ 以上の f (周波数) の $P_x(f)$ が無視できるように Δt をえらぶ。

2. h：$P_x(f)$ のピークのバンド巾を B とする時 $h\Delta t \leqq \dfrac{2}{B}$ にとる。

3. M：データーの全長を $M\Delta t$ として $M\Delta t \geqq 10h\Delta t$ にとる。

以上の定数を用いて次の計算に進む。

4. C_{xx}：$C_{xx} = \dfrac{1}{M}\sum_{n=1}^{M-l} x((l+m)\Delta t)\,x(n\Delta t)$　　$(l = 0, 1, 2, \cdots h)$ を算出する。

$x(t)$ が明らかに直流分を含んでいない場合を除いては $x(n\Delta t)$ の代りに $x(n\Delta t)-\bar{x}$ を用いる。

但し，$\bar{x} = \dfrac{1}{M}\sum_{n=1}^{M} x(n\Delta t)$

5. $\bar{p}_x$: $\bar{p}_x\left(\frac{r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)=\Delta t\left\{C_{xx}(0)+2\sum_{l=1}^{h-1}C_{xx}(l\Delta t)\cos\left(2\pi\frac{r}{2h}l\right)+(-1)^r C_{xx}(h\Delta t)\right\}$

$(r=0,1,2,\cdots\cdot h)$

を算出する。

6. p_x : 7で与えられる $\{a_n\}$ を用いて

$$p_x\left(\frac{r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)=\sum_{n=-k}^{k}a_n p_x\left(\frac{r-n}{h}\frac{1}{2\Delta l}\right)$$ を算出する。

但し $\bar{p}_x\left(\frac{-r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)=\bar{p}_x\left(\frac{r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)$, $\bar{p}_x\left(\frac{h+r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)=\bar{p}_x\left(\frac{h-r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)$ とする。

この $p_x\left(\frac{r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)$ が $p_x\left(\frac{r}{h}\frac{1}{2\Delta t}\right)$ の推定値である。

7. $\{a_n\}$: 次の組を用いる。

	a_0	$a_1=a_{-1}$	$a_2=a_{-2}$	$a_3=a_{-3}$	
W_1	(0.5132	0.2434	0	0	)
W_2	(0.6398	0.2401	−0.0600	0	)
W_3	(0.7029	0.2228	−0.0891	0.0149	)

Appendix (II)

```
      PROGRAM FOR POWER SPECTRUM
      M=300, H=45
      ARRAY CPX (3, 46), A (3, 4)
      DIMENSIÕN X (300), CXX (46), SUM (46), BPX (46)
      HEKIN=(MEAN ÕF X (nDELTA)), X (I)=X (nDELTA), CXX (J)=CXX (L),
      LAG=H, NI=M-L, LI=O.
      READ 1, ((A (I, J), J=3, 4), I=1, 3)
1000  READ O, M
      READ 1, (X (I), I=1, M)
      LAG=45
      TÕTAL=0.
      DÕ 10 I=1, M
10    TÕTAL=TOTAL+X (I)
      R=FLÕATF (M)
      HEKIN=TÕTAL/R
      DÕ 11 J=1, LAG
11    CXX (J)=0.
      DÕ 15 I=1, M
15    X (I)=X (I)-HEKIN
      DÕ 37 J=I, LAG
      NI=M-J
      DÕ 16 I=1, NI
      I 1=I+J
16    CXX (J)=CXX (J)+X (I1)*X (I)
37    CXX (J)=CXX (J)/R
```

```
      L 1=LAG+1
      CXX (L 1)=0.
      DÕ 17 I=1, M
17    CXX (L 1)=CXX (L 1)+X (I)*X (I)
      CXX (L 1)=CXX (L 1)/R
      L 2=LAG-1
      DÕ 20 L=1, LAG
20    SUM (L)=0.
      DÕ 21 L=1, LAG
      U=FLOATF (L)
      DÕ 22 J=1, L 22
      V=FLÕATF (J)
      P=3.14159
      S=P/45. *U*V
      T=CÕSF (S)
22    SUM (L)=SUM (L)+CXX (J)*T
21    BPX (L)=CXX (L 1)+2. *SUM (L)+(-1.)↑L*CXX (LAG)
      SUM (L1)=0.
      DÕ 23 J=1, L 2
23    SUM (L 1)=SUM (L 1)+CXX (J)
      BPX (L 1)=CXX (L 1)+2. *SUM (L 1)+CXX (LAG)
      DÕ 100 I=1, 3
      CPX (I, L 1)=A (I, 1)*BPX (L 1)+2. *(A (I, 2)*BPX (1)+A (I, 3)*BPX (2)↓
      +A (I, 4)*BPX (3))
      CPX (I, 1)=A (I, 1)*BPX (1)+A (I, 2)*(BPX (L 1)+BPX (2))+A (I, 3)*(B↓
      PX (1)+BPX (3))+A (I, 4)*(BPX (1)+BPX (1)+BPX (4))
      CPX (I, 2)=A (I, 1)*BPX (2)+A (I, 2)*(BPX (1)+BPX (3))+A (I, 3)*(BP↓
      X (L 1)+BPX (4))+A (I, 4)*(BPX (1)+BPX (5))
      CPX (I, 3)=A (I, 1)*BPX (3)+A (I, 2)*(BPX (2)+BPX (4))+A (I, 3)*(BP↓
      X (1)+BPX (5))+A (I, 4)*(BPX (L 1)+BPX (6))
      LI=LAG-3
      DÕ 34 L=4, LI
      L 3=L-1
      L 4=L-2
      L 5=L-3
      L 6=L+1
      L 7=L+2
      L 8=L+3
34    CPX (I, L)=A (I, 1)*BPX (L)+A (I, 2)*(BPX (L 3)+BPX (L 6))+A (I, 3)*↓
      (BPX (L 4)+BPX (L 7))+A (I, 4)*(BPX (L 8))
      LJ=LI-2
      LK=LI-1
      LM=LI+1
      CPX (I, LM)=A (I, 1)*BPX (LM)+A (I, 2)*(BPX (LI)+BPX (L 2))+A (I, 3)↓
      *(BPX (LK)+BPX (LAG))+A (I, 4)*(BPX (LJ)+BPX (L2))
```

```
      CPX (I, L 2)=A (I, 1) *BPX (L 2)+A (I, 2) *(BPX (LM)+BPX (LAG))+A↓
      (I, 3)*(BPX (LI)+BPX(L 2))+A (I, 4)*(BPX (LK)+BPX (LM))
100   CPX (I, LAG)=A (I, 1)*BPX (LAG)+2. *(A (I, 2)*BPX (L 2)+A (I, 3)*BPX↓
      (LM)+A (I, 4)*BPX (LI))
      TYPE 2000
2000  FORMAT (///2 X, 3 HLAG, 6 X, 6 HCXX (L), 6 X, 6 HBPX (L), 4 X, 10↓
      HCPX (L) A (1), 4 X, 10 HCPX (L) A (2), 4 X, 10 HCPX (L) A (3)
      TYPE 2500, (L, CXX (L), BPX (L), (CPX (I, L), I=1, 3) L=1, 46)
2500  FORMAT (I5, 5 F 12. 4)
      TYPE 200
200   FORMAT (//4 X, 4 HDATA, 2 X, 6 HX (300)//)
      TYPE 1, (X (I), I=1, 300)
      PAUSE
      GO TO 1000
      END
```