

1. 緒 言: 波浪の方向スペクトルを測定する方法の1つとして、1点での波のベクトル量から方向スペクトルを算出する方法がある。この方法による方向スペクトルの測定結果としては、Pitch and roll buoy を用いた Longuet-Higgins の結果をはじめ、流速計を用いた永田およびストレインゲイジ型波向計を用いた鈴木の結果などがある。しかしながら、方向スペクトルの測定にあたって最も重要な方向分解能の検討は、鈴木の研究を除いて行われておらず、これらの測定結果がどの程度の信頼性をもつかは不明といわねばならない。そこで、本研究では、計算機内でシミュレートした既知の方向スペクトルをもつ不規則波浪の近似的方向スペクトルを各種の方法で推定することにより、この測定方法の方向分解能を検討しようとするものである。

2. 方向スペクトルの計算方法: いま、方向スペクトル $E(f, \theta)$ (f : 周波数, θ : 方位角) が Fourier 級数 $E(f, \theta) = a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \dots (1)$ に展開されるならば、係数 a_n および b_n は式(2)で与えられる。 $a_0 = N_{00}/\pi$, $a_1 = N_{10}/\pi k$, $b_1 = N_{01}/\pi k$, $a_2 = (N_{20} + N_{02})/\pi k^2$, $b_2 = 2N_{11}/\pi k^2 \dots (2)$ ここに、 $N_{00} = P_{\eta\eta}$, $N_{10} = Q_{\eta\eta x}$, $N_{01} = 2\pi f C_{\eta\eta y}/gK$, $N_{20} = P_{\eta x \eta x} = (2\pi f)^2 P_{uu}/(gK)^2$, $N_{02} = P_{\eta y \eta y} = (2\pi f)^2 P_{vv}/(gK)^2$, $N_{11} = C_{\eta x \eta y} = (2\pi f)^2 C_{uv}/(gK)^2$, $K = \cosh k(h+z)/\cosh kh \dots (3)$ である。なお、 P : power spectrum, C : co-spectrum, Q : quadrature spectrum である。また、 N_{ij} 間には、 $N_{20} + N_{02} = k^2 N_{00} \dots (4)$ が成立するので、この関係式は、シミュレーションの妥当性を検討するために用いることができる。つぎに、方向分布関数としてある関数をあてはめる方法について述べよう。いま、方向分布関数 $D(\theta)$ として円正規分布 $\exp\{a \cos(\theta - \theta_0)\}/2\pi I_0(a) \dots (5)$ を仮定するならば、Fourier 係数との関係は、 $a_1 = I_1(a) \cos \theta_0 / \pi I_0(a)$, $b_1 = I_1(a) \sin \theta_0 / \pi I_0(a)$, $a_2 = I_2(a) \cos 2\theta_0 / \pi I_0(a)$, $b_2 = I_2(a) \sin 2\theta_0 / \pi I_0(a) \dots (6)$ で与えられる。ここに、 a : 形状母数, θ_0 : 主方向および $I_n(a)$: n 階の変形 Bessel 関数である。したがって、円正規分布を方向分布関数として用いる場合には、式(6)から a および θ_0 を推定する必要がある。

3. 2次元不規則波浪のシミュレーション: 不規則波のシミュレーション方法は合成波法とデジタルフィルター法の2つに大別されるが、ここでは、計算の簡単さから合成波法を用いた。すなわち、周波数スペクトルとして光島II型スペクトル、方向分布関数として円正規分布を用い、それぞれの分割数を100および120として、サンプリング間隔 $\Delta t = 1/15 f_{\max}$ ($f_{\max}$: スペクトルのピーク周波数 $f_{\max} = 0.1$ cps) データ個数 $N = 1024$ でシミュレーションを行った。周波数の分割方法は合田の乱数による分割法、方向分布関数の分割方法は等分割法に依った。なお、スペクトルはFFT法(く形フィルター)によりスペクトルの本数64、自由度30で計算を行った。図-1は入カスペクトルと出カスペクトルを比較したものである。この図によれば、高周波側で若干の振動が現れるなど両者に若干の相違が見られるが、全体的に期待スペクトルをかなりよくシミュレートできたと考えてよいであろう。図-2はシミュレート

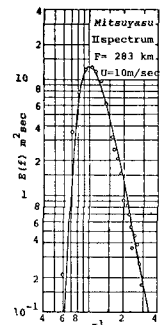


図-1

した水位変動 η および x, y 方向の水面勾配 η_x, η_y の時間的変化の一部を示したものであって、当然のことながら、水面勾配の時間変化には高周波数の変動が現れている。

4. 方向分解能に対する考察: 図-3はシミュレーションの結果の妥当性を検討するために、式(4)がどの程度成立するかを示したものである。シミュレーション

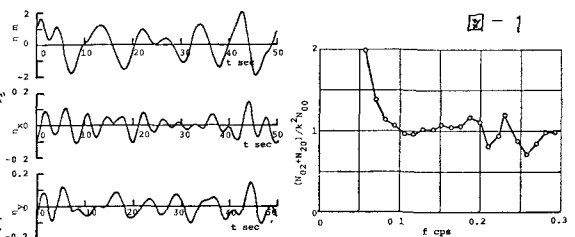


図-2

図-3

に用いた周波数の範囲は $0.05 \text{ cps} \sim 0.3 \text{ cps}$ である。この図によれば、 $0.08 \text{ cps} < f < 0.2 \text{ cps}$ の範囲で式(4)の関係を満たしていると考えられるが、 $f > 0.2 \text{ cps}$ では若干の変動が現われ、シミュレーションの精度が悪くなっていることがわかる。図-4はFourier級数法により算定した方向分布関数と入力として与えた

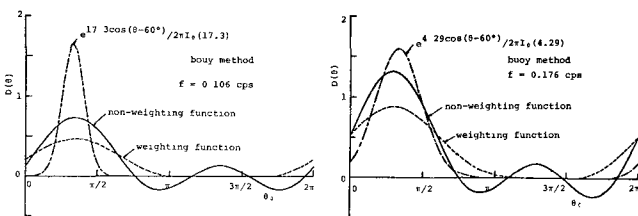


図-4 (a)

図-4 (b)

それとを比較したものである。図中の実線および点線はそれぞれ式(1)による計算結果および負の方向分布関数の出現をさせるため、Longuet-Higginsにより提案された重み関数を式(1)にかける方法による結果を示す。さて、Pitch and roll buoy による方法では、Fourier級数の第2項までしか考慮されていないので、方向分布関数の形状はかなり平滑化され、とくに、当然のことではあるが、その傾向は重み関数をかけた場合に著しい。したがって、Fourier級数法では、ある特定の方向へのエネルギーの集中度の著しい方向分布関数を正しく検出することはほとんど不可能であるといえる。しかし、その場合、方向分布関数のピークの位置はおおむね一致する。図-5はシミュレーション結果から推定した円正規分布の形状母数 α と入力として与えたそれとを比較したものである。この場合、シミュレーションに際して、方向分布関数を現地波浪の特性を考慮して

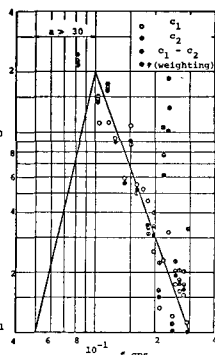


図-5

図中の実線のように与えた。図中の C_1 および C_2 はそれぞれFourier係数の第1項および第2項から α を推定した結果であり、また $C_1 \sim C_2$ および $C_1 \sim C_2$ (Weighting)はFourier係数の第1項および第2項から最小自乗法および重みつき最小自乗法によって推定した結果である。この図によれば、理由は明確でないが、 $f < 0.1 \text{ cps}$ では α はほとんど計算できない。一方、 $f > 0.1 \text{ cps}$ では C_2 による方法が過大な値を与える場合を除き、いずれの方法でも妥当な結果を与えるようである。しかし、 α の値の大きいピーク周波数付近では、 C_1 による方法から推定した α の値は過小評価

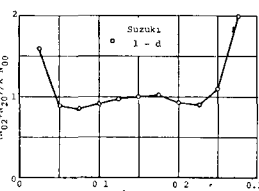


図-6

されている。つぎに、鈴木ハシミュレーション結果を用いて流速計による方向スマットル観測法の方向分解能を検討しよう。鈴木はすでに著者と同じ方法により $\Delta t = 1 \text{ sec}$, $N = 600$ の条件で水位変動および水平2方向の水粒子速度などのシミュレーションを行っている。図-6は図-3と同様の図を示したものであるが、図から $0.05 \text{ cps} < f < 0.25 \text{ cps}$ で式(4)が近似的に成立していることがわかる。図-7はFourier級数法によって算出した方向分布関数を示したものである。この図においても推定された方向分布関数は著しく平滑化されている。また、図-8は形状母数 α を前述の各方法によって推定した結果である。鈴木の結果では、いずれの方法によっても推定された α は過小評価される傾向があることおよび C_1 による方法にその傾向が著しいことがわかる。

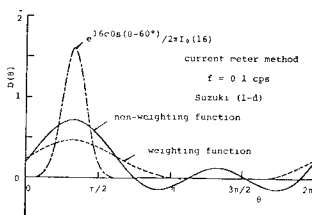


図-7

5. 結 語: 以上、本研究では数値シミュレーションに基づいて、1点での波のベクトル量の測定から方向分布関数を算定する方法の方向分解能を検討した。その結果、Fourier級数法では正確な方向分布関数の推定がほぼ不可能であることおよび分布関数あてはめ法が比較的妥当な結果を与えることがわかった。しかし、シミュレーションのケースが少ないので、今後さらに詳細な検討を加える必要がある。最後に、本研究は文部省科学研究費(一般D)による成果の一部であることを付記する。

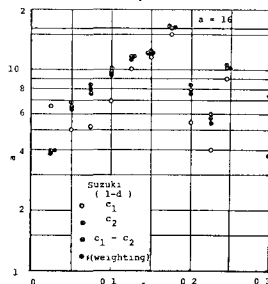


図-8