

ただし, a : 長半径, b : 短半径, $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$

また島の形も全体の傾向を明らかにするため島の形にはば一致するだ円と仮定し, 長軸を x 軸とする次式で表わす。

$$r^2 = \frac{n^2}{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし, m : 島の長半径, n : 短半径, $\varepsilon = \sqrt{\frac{m^2 - n^2}{m^2}}$

島の海岸上の一点 $P(r, \theta_0)$ における切線の方角 θ_α は

$$\tan \theta_\alpha = -\frac{n^2}{m^2} \tan(90 - \theta_0) = -(1 - \varepsilon^2) \tan(90 - \theta_0) \quad \dots\dots\dots (3)$$

海岸上の一点に作用する Wave Energy はこの点における切線に平行な直線で Wave Energy Diagram を原点を通して切断したときの海側の半分の面積である。またこの点に作用する Wave Energy の x 軸に垂直な成分 A は

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \int_{\theta_\alpha}^{\theta_\alpha + \pi} \rho^2 \sin \theta \, d\theta = \frac{1}{2} \int_{\theta_\alpha}^{\theta_\alpha + \pi} \frac{b^2 \sin \theta}{1 - \varepsilon^2 \cos^2(\theta - \beta)} \, d\theta \\ &= \frac{b^2}{4e} \cos \beta \log \frac{y^2 - 2ey + 1}{y^2 + 2ey + 1} \\ &\quad + \frac{b^2 \sin \beta}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{1 + y^2 - 2e^2} \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

同様に x 軸に平行な Energy 成分 B は

$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{2} \int_{\theta_\alpha}^{\theta_\alpha + \pi} \rho^2 \cos \theta \, d\theta = \frac{1}{2} \int_{\theta_\alpha}^{\theta_\alpha + \pi} \frac{b^2 \cos \theta}{1 - \varepsilon^2 \cos^2(\theta - \beta)} \, d\theta \\ &= \frac{b^2 \cos \beta}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{1 + y^2 - 2e^2} \\ &\quad - \frac{b^2}{4e} \sin \beta \log \frac{y^2 - 2ey + 1}{y^2 + 2ey + 1} \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

ここで

$$y = \frac{1 - \sin(\theta - \beta)}{\cos(\theta - \beta)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

(4), (5) の積分の限界の y は (6) の θ に次式の $\theta_\alpha, \theta_\alpha + \pi$ を用いる。

$$\theta_\alpha = \tan^{-1} \{ (1 - \varepsilon^2) \tan(\theta_0 - 90) \} \quad \dots\dots\dots (7)$$

さらに海岸上の一点 $P(r, \theta_0)$ において海岸線に垂直な Energy 成分 E_n および平行な成分 E_p はそれぞれ次式で表わされる。ただし E_p の (+) は沖に向かって立った時その右に向かう方向のものとす。

$$\begin{aligned} E_n &= A \cos \theta_\alpha - B \sin \theta_\alpha \\ &= \frac{b^2}{4e} \cos(\theta_\alpha - \beta) \log \frac{y^2 - 2ey + 1}{y^2 + 2ey + 1} \\ &\quad - \frac{b^2 \sin(\theta_\alpha - \beta)}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{1 + y^2 - 2e^2} \\ E_p &= -A \sin \theta_\alpha - B \cos \theta_\alpha \\ &= -\frac{b^2}{4e} \sin(\theta_\alpha - \beta) \log \frac{y^2 - 2ey + 1}{y^2 + 2ey + 1} \\ &\quad - \frac{b^2 \cos(\theta_\alpha - \beta)}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{1 + y^2 - 2e^2} \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

ただし (6) の θ に (7) の $\theta_\alpha, \theta_\alpha + \pi$ を用いて差し引かなければならない。結果は

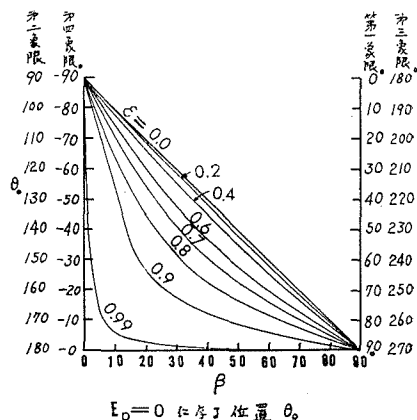
$$\begin{aligned} A &= \frac{b^2}{4e} \cos \beta \log \left\{ \frac{1 + e \cos(\theta_\alpha - \beta)}{1 - e \cos(\theta_\alpha - \beta)} \right\}^2 \\ &\quad + \frac{b^2 \sin \beta}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin(\theta_\alpha - \beta)}{1 - \varepsilon^2 - e^2 \sin^2(\theta_\alpha - \beta)} \\ B &= \frac{b^2 \cos \beta}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin(\theta_\alpha - \beta)}{1 - \varepsilon^2 - e^2 \sin^2(\theta_\alpha - \beta)} \\ &\quad - \frac{b^2}{4e} \sin \beta \log \left\{ \frac{1 + e \cos(\theta_\alpha - \beta)}{1 - e \cos(\theta_\alpha - \beta)} \right\}^2 \\ E_n &= \frac{b^2}{2e} \cos(\theta_\alpha - \beta) \log \frac{1 + e \cos(\theta_\alpha - \beta)}{1 - e \cos(\theta_\alpha - \beta)} \\ &\quad - \frac{b^2 \sin(\theta_\alpha - \beta)}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin(\theta_\alpha - \beta)}{1 - \varepsilon^2 - e^2 \sin^2(\theta_\alpha - \beta)} \\ E_p &= -\frac{b^2}{2e} \sin(\theta_\alpha - \beta) \log \frac{1 + e \cos(\theta_\alpha - \beta)}{1 - e \cos(\theta_\alpha - \beta)} \\ &\quad - \frac{b^2 \cos(\theta_\alpha - \beta)}{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \tan^{-1} \frac{2e\sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin(\theta_\alpha - \beta)}{1 - \varepsilon^2 - e^2 \sin^2(\theta_\alpha - \beta)} \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

もし Wave Energy Diagram が円形であれば,

$$\left. \begin{aligned} A &= \rho^2 \cos \theta_\alpha & B &= -\rho^2 \sin \theta_\alpha \\ E_n &= \rho^2 & E_p &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

この時浸食が E_n に比例する¹⁾ ならば島はそのままの形で次第に小さくなる。(9) 式において垂直成分の影響が小さいと仮定すると $E_p = 0$ または一定のとき海岸線形は安定であると考えられる。 $E_p =$ 一定であれば島は次第に相似な形のまま縮小することになるであろう。 θ_0 に対する E_n, E_p の分布は (9) により e, β, ε によって変化する。また $\theta_\alpha = \beta, \beta \pm 90^\circ, \beta + 180^\circ$ の時 $E_p = 0$ となり, この時の θ_0 の位置は次式の θ_α に上の値を代入し

図-2



て求められる。

$$\theta_0 = \tan^{-1}\{(\varepsilon^2 - 1) \cot \theta_\alpha\} \dots\dots\dots(11)$$

結果は 図-2 のとおりである。

(3)式で任意の ε の時任意の θ_0 に対する θ_α の値は 図-3 より求められるから、任意の β の時 $(\theta_\alpha - \beta)$ が得られる。(9) 式を次式のように書き換えた時 $(\theta_\alpha - \beta)$ に対する N, P, N', P', N'', P'' の値は 図-4, 5, 6 のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} E_n &= \frac{b^2}{2e} N' = \frac{b^2}{2} N = \frac{A}{2\pi} N'' \\ E_p &= \frac{b^2}{2e} P' = \frac{b^2}{2} P = \frac{A}{2\pi} P'' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

ただし

$$A: \text{Wave Energy Diagram の全面積} = \pi ab \dots\dots(13)$$

$$N'' = \sqrt{1 - e^2} N \quad P'' = \sqrt{1 - e^2} P \dots\dots\dots(14)$$

図-3

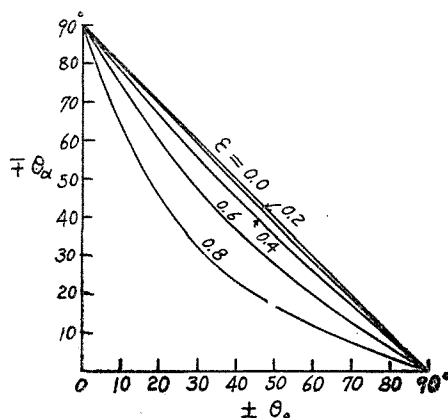


図-4

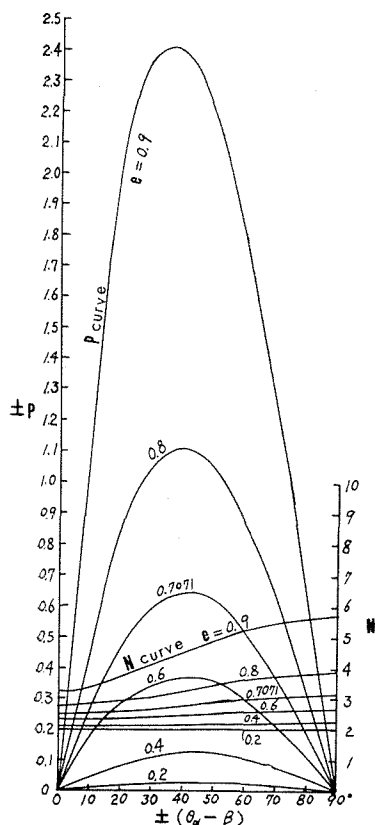


図-5

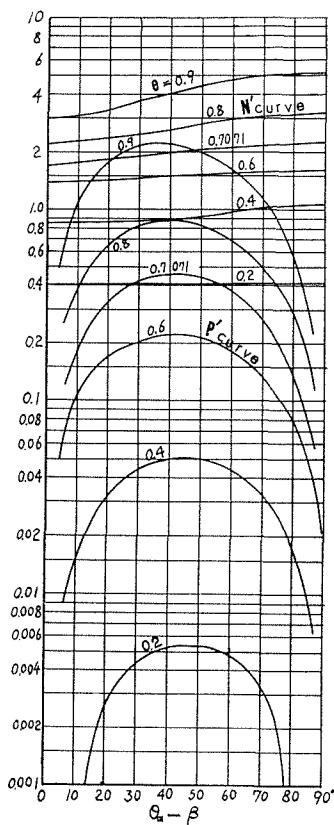
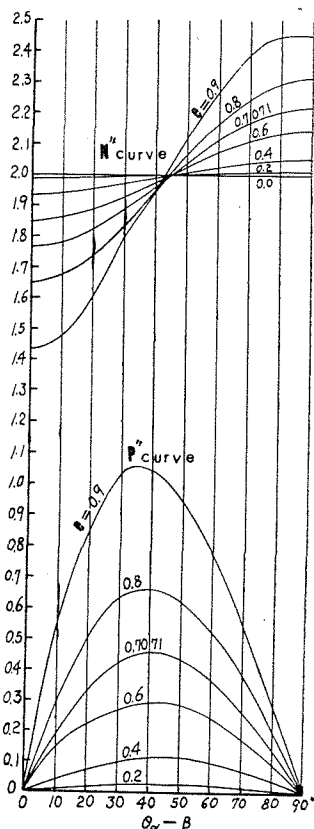


図-6



これらの図表を用い次の場合の N, P の分布を求めた結果は 図-7, 8, 9, 10, 11, 12 である。

- 例-1 $\varepsilon = 0.4 \quad \beta = 15^\circ \quad \begin{cases} e = 0.2 \\ e = 0.8 \end{cases}$
 2 $\varepsilon = 0.2 \quad \beta = 30^\circ \quad \begin{cases} e = 0.2 \\ e = 0.8 \end{cases}$
 3 $\varepsilon = 0.8 \quad \beta = 30^\circ \quad \begin{cases} e = 0.2 \\ e = 0.8 \end{cases}$

小笠原諸島中の大島は $m \div 7630 \text{ m}$, $n \div 4690 \text{ m}$, $\varepsilon = 0.789$ で風向図および平均の波の近似的な Energy Diagram は 図-13 に示した。これより E_n, E_p の分布をほぼ推定することができる。この作用する Energy と島の地質の抵抗力とから島の海岸の変形の傾向を調べることができる。

図-7

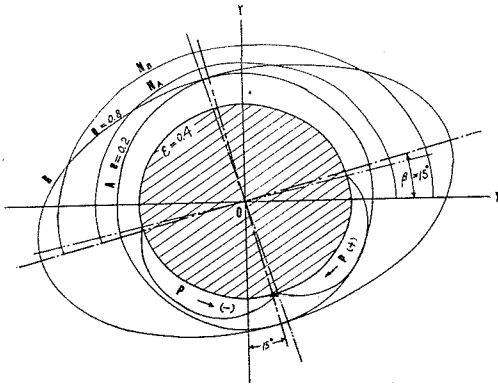


図-8

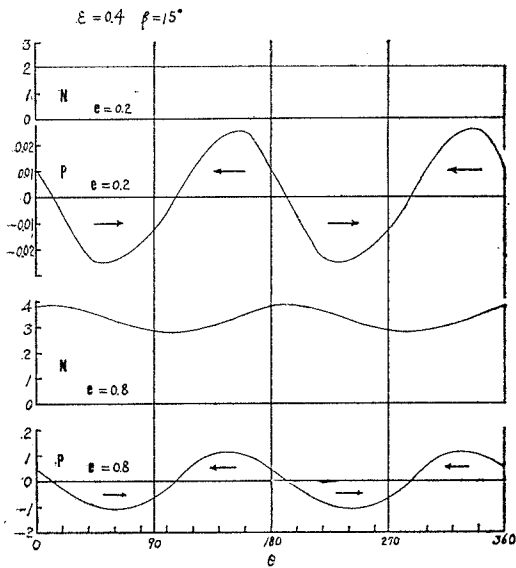


図-9

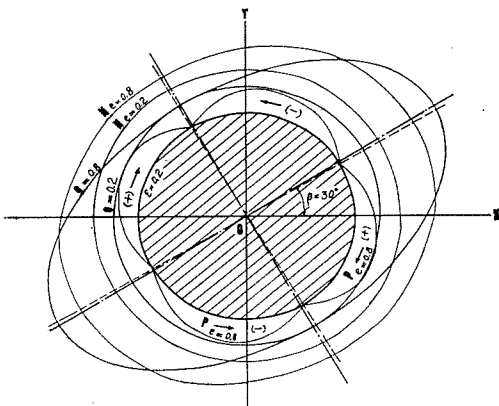


図-10

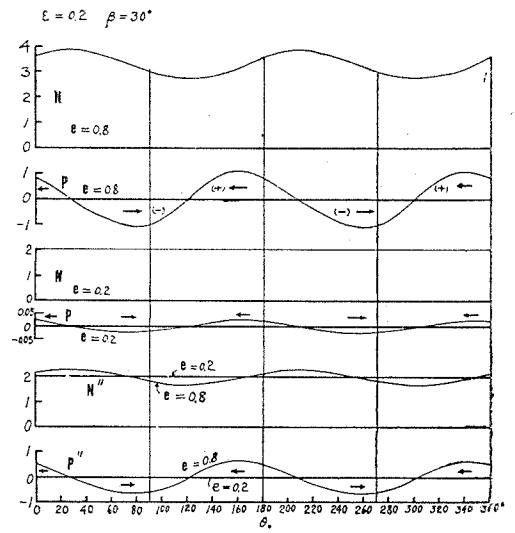


図-11

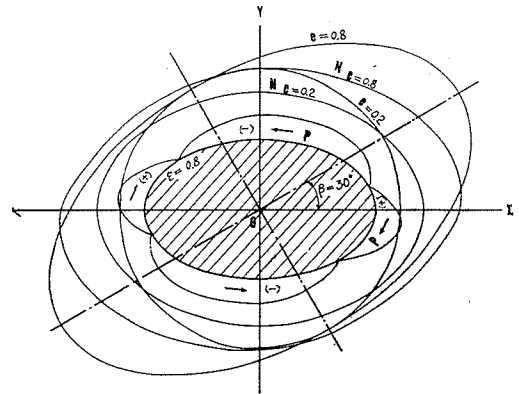


図-12

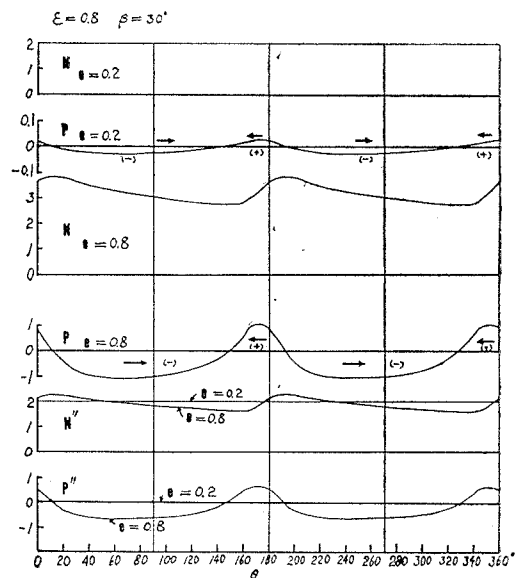
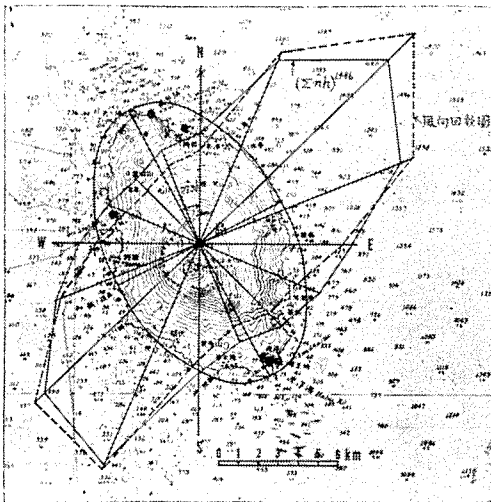


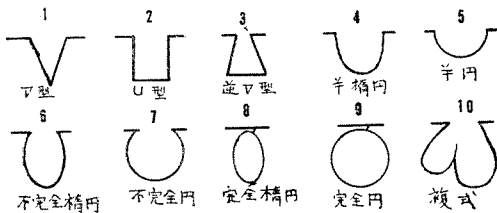
図-13 大島付近



3. 湾内沿岸における波のエネルギーの分布

大きく湾入した湾では湾内と外海は湾口で連絡した形で湾口方向から外海の波が進入するが、それ以外の方向では湾内対岸により定まる Fetch のため波があまり大きくなならない。湾口より進入した波は屈折、回折して湾内に伝播するが湾に水路が屈折しているときは湾外の波の進入はきわめて制限されることになる。湾内沿岸に到達する波は湾外よりの波と湾内に生じた波に分けられる。湾の形は模型的に 図-14 のように多くの種類に分類される。

図-14



(1) 進入波のエネルギー分布

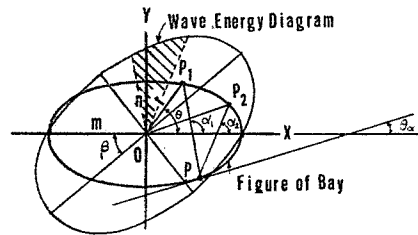
図-15 で $P_1 \sim P_2$ の間を湾口とすると湾内海岸上任意の点 $P(r, \theta)$ において PP_1, PP_2 が x 軸となす角 α_1, α_2 は

$$\begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \frac{r_1 \sin \theta_1 - r \sin \theta}{r_1 \cos \theta_1 - r \cos \theta} \\ \tan \alpha_2 &= \frac{r_2 \sin \theta_2 - r \sin \theta}{r_2 \cos \theta_2 - r \cos \theta} \end{aligned} \quad (15)$$

進入波の屈折、回折を一応無視すると P 点に達する進入波は Wave Energy Diagram のうち α_1 と α_2 の方向の間の部分である。湾の形、湾口付近の波の Energy Diagram を知れば外海の波が直接そのまま進入したと仮定した時のエネルギーの分布を求められる。湾口における波の変形、湾内の波の屈折、回折、反射などのため

前記の分布は多少変化するが、ここでは第二義的に考えることにする。

図-15



もし湾形が

$$r^2 = \frac{n^2}{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta} \quad \varepsilon^2 = (m^2 - n^2)/m^2 \quad (16)$$

m : 長半径, n : 短半径

Wave Energy Diagram が (1) 式にて表わせると

$$\begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \frac{\sin \theta_1 \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta} - \sin \theta \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_1}}{\cos \theta_1 \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta} - \cos \theta \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_1}} \\ \tan \alpha_2 &= \frac{\sin \theta_2 \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta} - \sin \theta \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_2}}{\cos \theta_2 \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta} - \cos \theta \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_2}} \end{aligned} \quad (17)$$

海岸上の任意の点における切線方向 θ_α は (3) 式で、また x 軸に垂直方向の Energy 成分および平行な成分は (4), (5) 式で表わされる。ただし積分の限界は (17) 式の $\alpha_2 \sim \alpha_1$ である。任意の点 P において海岸線に垂直および平行な Energy 成分はそれぞれ

$$\begin{aligned} E_n &= A \cos \theta_\alpha - B \sin \theta_\alpha \\ E_p &= -A \sin \theta_\alpha - B \cos \theta_\alpha \end{aligned} \quad (18)$$

である。

(2) 湾内波浪による海岸の波のエネルギーの分布

湾口がきわめて狭いか、または湾口水路が長く屈曲して外海からの波の進入が少ない時は、湾内沿岸に達する波は湾内発生で Land Fetch に支配されることが多い。ここで湾形の一例として (16) 式のだ円形の場合、海岸上の一点 $P_0(r_0, \theta_0)$ と他の任意の海岸上の点 $P(r, \theta)$ との距離 F は

$$\begin{aligned} F = P_0 P &= n \sqrt{\frac{1}{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_0} + \frac{1}{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta}} \\ &\quad - \frac{2 \cos(\theta_0 - \theta)}{\sqrt{(1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_0)(1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta)}} \end{aligned} \quad (19)$$

$P_0 P$ の方向は

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{r_0 \sin \theta_0 - r \sin \theta}{r_0 \cos \theta_0 - r \cos \theta} \\ &= \frac{\sin \theta_0}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_0}} - \frac{\sin \theta}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta}} \\ &\quad \frac{\cos \theta_0}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta_0}} - \frac{\cos \theta}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \theta}} \end{aligned} \quad (20)$$

また湾はあまり大きくはなく一つの風向図が湾全体に適用できるものと仮定する。風速 V (m/sec) 風の継続時間 t_d (h), Land Fetch F (km) とすると Wind

Fetch

$$F_w = 3.6 V i_d \dots\dots\dots (21)$$

$F < F_w$ ならば波は F により決まる。さらに湾内は一般に外海より水深は小さく、同じ風でも波の発達は小さい。このための Correction は別に考えることにして水深の影響を無視することにする。一つの風に対して海岸に到達する波のエネルギーは前の報告³⁾と同様に

$$E_t = 0.0672 t_d F^{1.159} V^{2.982} \dots\dots\dots (22)$$

1年間に生じた 5 m/sec 以上の風による波のエネルギーは測候所の記録を用い (22) 式より求められる。ここでは個々の観測値を用いるめんどうをさけるため平均風速、平均継続時間、風向回数を風向図より求めて使用し、全般的傾向の推定を行なうことにする。台風などの特殊の風、波については別に考えることにする。

富崎、銚子各測候所の一年間の風向別風向観測回数 Σnh 、風の回数 Σn 、平均風速の累計 Σv を 5 m/sec 以上の風について求め、その相互の関係を最小自乗法で計算すると

$$\Sigma nh = 0.81635 (\Sigma n)^{1.25059} \dots\dots\dots (23)$$

$$\Sigma v = 5.7136 (\Sigma n)^{1.07666} \dots\dots\dots (24)$$

したがって平均継続時間

$$\bar{t}_d = \Sigma nh / \Sigma n = 0.81635 (\Sigma n)^{0.25059} \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{平均風速 } \bar{v} = \Sigma v / \Sigma n = 5.7136 (\Sigma n)^{0.07666} \dots\dots\dots (26)$$

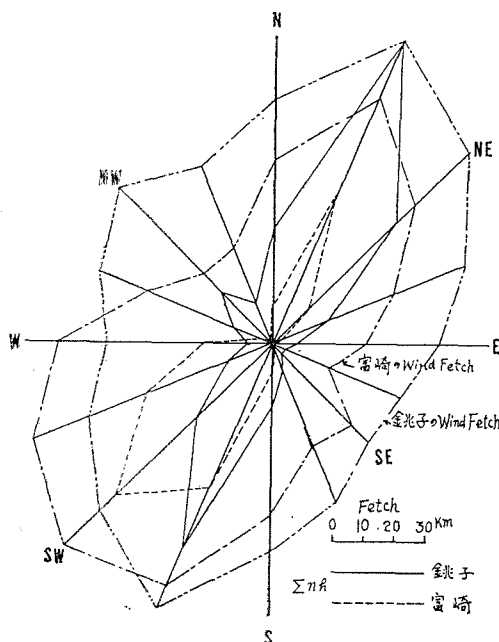
$$(23) \text{ より } \Sigma n = 1.051 (\Sigma nh)^{0.7996} \dots\dots\dots (27)$$

$$(25), (27) \text{ より } \bar{t}_d = 0.81945 (\Sigma nh)^{0.20037} \dots\dots\dots (28)$$

$$(26), (27) \text{ より } \bar{v} = 5.7202 (\Sigma nh)^{0.061297} \dots\dots\dots (29)$$

Σnh は一年間の風向別の風向観測回数で毎時観測の場合のものであるから一年間の風向図があれば得られる。

図—16



(27), (28), (29) 式を (22) 式に用いると一年間の各風向についての波のエネルギーの合計は

$$\Sigma E_t = \Sigma n \cdot E_t = 10.1507 (\Sigma nh)^{1.18275} F^{1.158} \dots\dots\dots (30)$$

Wind Fetch

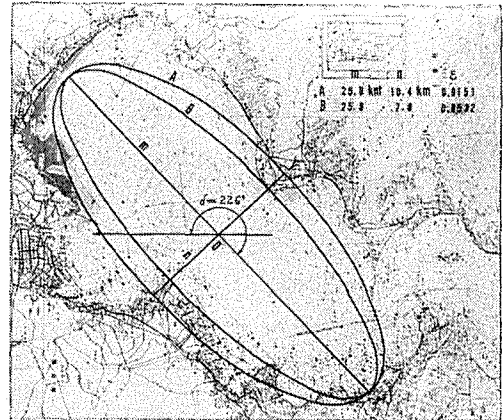
$$F_w = 16.8747 (\Sigma nh)^{0.261667} \text{ (km)} \dots\dots\dots (31)$$

これらの式中の係数、べき数はこの地方特有の値である。湾が大きくて Wind Fetch で波がきまる時は

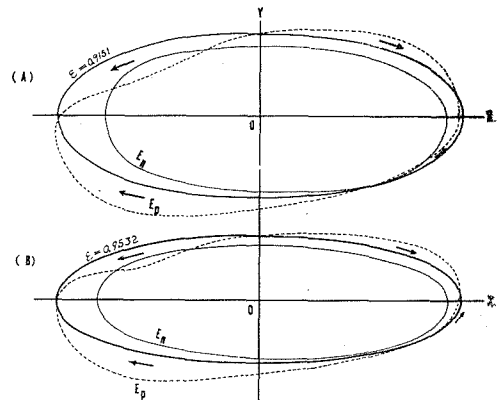
$$\Sigma E_t = 186.15 (\Sigma nh)^{1.486} \dots\dots\dots (32)$$

富崎、銚子の Σnh -Diagram は 図—16 のとおりである。以上の関係を用い富崎の Σnh Diagram を東京湾 図—17 に適用した結果は 図—18, 19 のごとくになった。

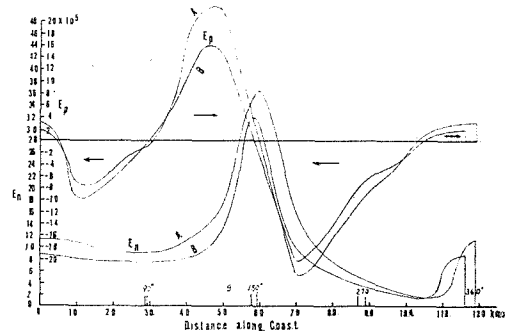
図—17



図—18



図—19



4. 結 び

本文において島および湾の沿岸の年間における波のエネルギー分布の全般的傾向の計算法をのべたが、まれに生ずる台風などによる特殊の波については別に考えなければならない。これにより沿岸が堆積性であるか、浸食性であるか、一般漂砂がどの方向に移動する傾向にあるか、またエネルギーの規模と分布など海岸地形変化について推定の根拠が得られることになる。

本研究には富崎、銚子測候所、防衛大学校土木教室、文部省科学試験研究費の援助によること多大なるものがあり、ここに厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 真鍋恭雄：沿岸漂砂量について，土木学会海岸工学講演集 Vol. 5, 昭和33年11月.
- 2) 真鍋恭雄：海岸線の安定形状について，土木学会海岸工学講演集 Vol. 6, 昭和34年11月.
- 3) 真鍋恭雄：海岸の形状と抵抗性について，土木学会海岸工学講演集 Vol. 7, 昭和35年11月.