

○ 東京工業大学・工学部 正員 日野 幹雄
東京工業大学(理・運輸省) 林 直樹
東京工業大学・大学院 宇多 高明

〔I〕概説：ここでは、リップ・カレントの発生およびそれに伴う海岸地形の形成について、安定理論による解析を行う。これらの形成過程については、いくつかの説明が行われて来たが、解析的な研究は最近 Bowen により発表された standing edge wave による radiation stress の周期分布と強制力と考える理論的説明が一番説得性をもっている。この理論にも edge wave の卓越波長とリップカレントの波長が離れているとか、外部からのエネルギー供給が大きすぎるなどの反論がある。

著者らは、Bowen によるリップカレントの発生機構を否定するものではないが、それよりも“自然はより巧妙なカラクリで、極く少ないエネルギーで、大きな規則的变化を形成する”という哲学から、この説に満足せず、以下に述べるような安定理論による自励的リップカレントと海底砂床の変化の発生機構を考えてみた。

〔II〕基礎方程式：水深方向に積分した平均流速 u, v ，平均水位上昇高 $\bar{\eta}$ ，水深 h について、運動量方程式，連続式，底質輸送方程式は次のようである。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} - \frac{1}{f(\bar{\eta}+h)} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{c u}{\bar{\eta}+h} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} - \frac{1}{f(\bar{\eta}+h)} \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} - \frac{c v}{\bar{\eta}+h} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(\bar{\eta}+h)u] + \frac{\partial}{\partial y} [(\bar{\eta}+h)v] = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} (C_s u) - \frac{\partial}{\partial y} (C_s v) = 0 \quad (4)$$

こゝに、 S_{xx}, S_{yy} : radiation stress, c : 海底摩擦係数, C_s : 底質輸送係数。

さて、 $u, v, \bar{\eta}, h$ の微小変動を考え、これらを次の形に仮定する。

$$\left. \begin{aligned} u &= u(x) e^{pt} \cos ky \\ v &= v(x) e^{pt} \sin ky \\ \bar{\eta} &= \bar{\eta}_0 + \eta(x) e^{pt} \cos ky \\ h &= d + h(x) e^{pt} \cos ky \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式(5)を式(1)~(4)に代入すれば、次の関係式を得る。

$$(p + \frac{c}{d})u + (1+3d)gD\eta + 3dgDh = 0 \quad (6)$$

$$(p + \frac{c}{d})v - (1+d)gk\eta - dgDh = 0$$

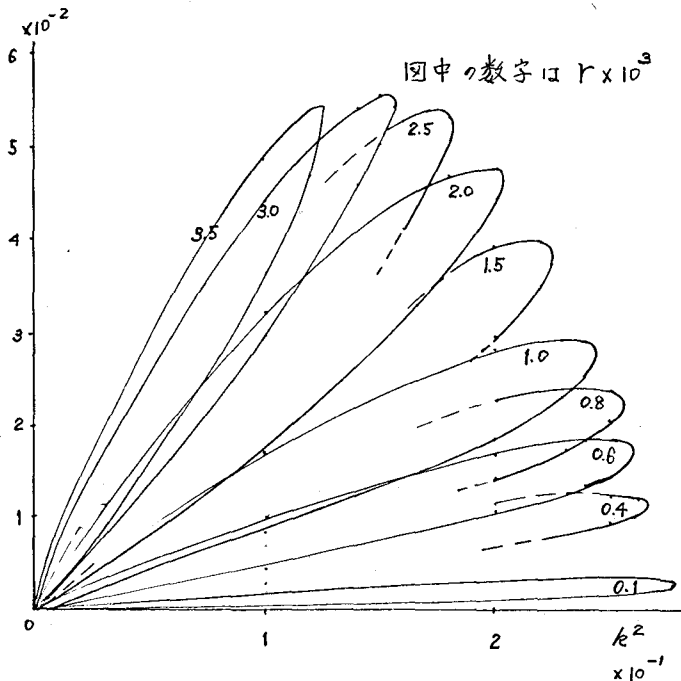
$$p(\eta + h) + D(d \cdot u) + K(d \cdot v) = 0 \quad (8)$$

$$p h - C_s D u - C_s h v = 0 \quad (9)$$

こゝに、 $D = d/dx$ 、 d ：元海底地形、 σ ：radiation stress の係数。

〔Ⅲ〕 応答性の遅延を考慮した場合：

さて、上式を解析的に解くために、現象への物理的解釈を導入する。(例えば、Prandtlによる境界層理論も流体運動の物理的解釈にもとづいている。) 海底境界面の変化に対し、上の水域の応答は速く、底質の移動は遅い。すなわち、 u, v, η は準定常流とみなしうる。さらに、式(6)~(9)の各変数をFourier級数で展開し整理をすれば、時間変化に属するパラメータの固有値を決めるように得る。ただし、Fourier級数は2項までとし、式(8)の $(d \cdot u)$ は二重Fourier展開で表した。



$$\sigma = \frac{1}{2} \left(-\frac{k^2}{|A|} \pm \sqrt{\frac{k^4(d^2 - 4|A|)}{|A|^2}} \right), \quad \sigma = c p / 2 a g c l \quad (10)$$

こゝに、 $|A| = a k^4 + b k^2 + c$ 、 $a = (8/9\pi^2 - 1/16)(L/r)^2$ 、 $b = (40l^2/9\pi^2 - 5l^2/16)(L/r)^2 + l^2/4r$ 、 $c = (32l^4/9\pi^2 - l^4/4)L^2/r^2 - l^2L/2r + 2l^2$ 、 $L = \pi/2l$ 、 L ：砂波帯までの距離

〔Ⅳ〕 行列表示による固有値・固有ベクトル：式(6)~(8)を直接解くのは、 d/dx について差分表示をし、式系を決る行列表示に直す。

$$A X - p X = 0 \quad (11)$$

こゝに $X^T = (u_1, u_2, \dots, u_n, v_1, v_2, \dots, v_n, \eta_1, \dots, \eta_n, h_1, \dots, h_n)$ 。これは、明らかに固有値問題であり、固有値 $(-p)$ の正負により初期振動の減衰・増幅、固有ベクトルより流速分布・水深変化の分布が決定される。

〔Ⅴ〕 結論：元海底地形を $d = X^T$ と表わし、ベキ数 γ をパラメータとし、リッポカレントおよび海底変化の波数 k と時間増幅率 σ との関係を示せば、図-1のようである。 $\sigma > 0$ ならば、初期の微小な海底および流れの変化は時間的に exponential で増幅する。図によれば、パラメータ γ のある範囲について、 $\sigma > 0$ であり；かつ一つの γ についても σ が最も大きいリッポカレントの波数(汀線沿いの発生間隔の逆数)が存在することがわかる。こゝに、外的擾乱の自励的選択的増幅機構が説明された。“無理をしない自然”という著者らの考えに基づいた理論は以上の如くであるが、更に実地実験や数値実験による検討を計画している。