

灣内海水の汚濁進行度算出法

安藏, 善之輔
九州帝國大學流體工學研究所

<https://doi.org/10.15017/7152016>

出版情報：流體工學研究所報告. 2 (4), pp.1-7, 1944-08-25. Research Institute for Fluid Engineering, Kyushu Imperial University

バージョン：

権利関係：



灣内海水の汚漬進行度算出法

所 員 安 藏 善 之 輔

(昭和18年3月1日受理)

1. 緒言 灣内沿岸にある都市の發展につれて灣内海水が汚漬される事は當然と考へられる。若し此都市が工業都市であれば幾多の工場から排出される工場排水は一層汚漬度を促進せしむるのみならず其液中に含有せらるゝ酸、アルカリは其濃度に應じて沿岸の海草や魚介類に種々の悪影響を及ぼす事は想像するに難くない。現在之れに關しては何等取締規則の如きものなく此儘に放置すれば衛生上風致上甚だ寒心に堪えざるものあるのみならず若し沿岸に多數の水産業者あれば彼等の生活を脅かし現今國策の一つなる食料増産に反する結果を齎らすに至る。然れ共一方工業の發展は國運の進展に伴ふ必然的の勢にして濫りに抑制し得べきものではない。此の間に在りて若し將來の海水汚漬進行度を推定し豫め之れが對策を講ずる事が出来れば國策遂行を圓滑ならしめる上に極めて効果あるものと信ずるのである。

汚漬程度を左右するものゝ中主なるものを挙げれば次の如くなる。

- (1) 排水の量 (p) 及其性質
- (2) 灣内の潮汐
- (3) 直接汚漬を蒙むる海面積及其海水量 (M)
- (4) 灣内の地形、風、海水の比重及温度の變化等に因り複雑な流れが生じ絶えず清掃作用を爲す海水の量 (Q)
- (5) 灣内注入河川の流量 (R)
- (6) 灣内海面上の雨量 (r) 及蒸發量 (e)

是等の中 (1) の如く最初より判つて居るもの (5), (6) の如く觀測に依て比較的容易に判るものもあるが (3) 及 (4) の如きは其量も大きく觀測も困難である。殊に (4) の如きは觀測のみを以てしては不可能とさへ考へられるものである。

本研究の重點は是等觀測困難なる數量を如何に推定し而して如何に算式に組み入れて海水の汚漬程度を算出すべきかにある。構想、理論未だ幼稚の域を脱せざれども著者は實際的研究の裏付けを得て將來の完璧を期し度き希望を有するものである。

2. 灣内潮汐の理論的考察 灣内の潮差、潮流は觀測に依つて求めらるゝが、若し灣の形、水深の變化が簡単な數理的取扱ひを許すならば灣内潮汐の理論的考察が可能となり潮差、潮

流其他を知る上に極めて有力なる参考資料を供するのみならず急を要する場合には理論的計算結果を以て唯一の資料たらしむる事があり得る。

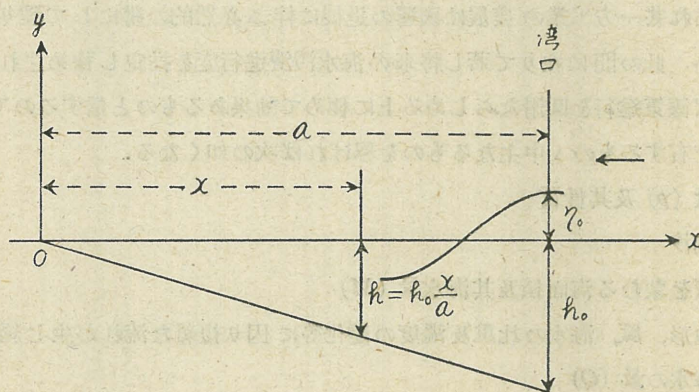
潮波即ち長波が幅 (b) 深さ (h) 共に灣口からの距離に従ひ徐々に變化する灣内に進行する場合の運動及連續の方程式は次の如きものである。⁽¹⁾

$$\text{連續方程式} \quad \eta = -\frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial x} (hb\xi) \quad (1)$$

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2)$$

但し座標原點を灣の一番奥に取り、 x 軸を靜水面上灣口に向けて取り、 y 軸は靜水面に垂直に上方に向けて取る。 ξ, η は夫々水面水分子の x 及 y 方向の移動距離を示す。従つて η に依つて潮差、 ξ に依つて潮流を知り得るのである。 h 及 b は一般に x の函數であるが h 及 b の中一方が不變で他方が直線的變化をする場合、 h, b 共に直線的變化をする場合は完全に解ける。⁽²⁾

今後述計算例と對照する關係上幅不變、深さのみ直線的變化を爲す場合を取扱へば



第 1 圖

$$\begin{aligned} (1) \text{ より } \quad \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} &= -\frac{\partial \left(h \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \right)}{\partial x} = -\frac{\partial \left(hg \frac{\partial \eta}{\partial x} \right)}{\partial x} \quad \{ (2) \text{ より } \} \\ &= g \left\{ \frac{\partial h}{\partial x} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} + h \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right\} = \frac{h_0 g}{a} \left\{ \frac{\partial \eta}{\partial x} + x \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right\} \quad \left\{ \text{但し } h = h_0 \frac{x}{a} \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

今 $\eta = \eta_1 e^{i\sigma t}$ $\left\{ \text{但し } \sigma = \frac{2\pi}{T}, T = \text{潮波の週期} \right\}$ と置けば

(1) Lamb: Hydrodynamics, 5th Ed. p. 254.

(2) 本間仁: 水理学

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = -\sigma^2 \eta$$

之れを (3) に代入すれば

$$\sigma^2 \eta + \frac{h_0 g}{a} \left\{ \frac{\partial \eta}{\partial x} + x \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right\} = 0$$

更に $2\sigma\sqrt{a/gh_0}=k$, $\sqrt{x}=X$ と置き上式に代入すれば

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial X} + k^2 \eta = 0$$

之れは零次の Bessel の微分方程式であるから一般解は

$$\eta = \{AJ_0(kX) + BY_0(kX)\}e^{i\sigma t}$$

$x=0$, 或は $X=0$ と置いても $\eta \neq \infty$, $\therefore B=0$

$x=a$ とせば $\eta = \eta_0 e^{i\sigma t}$, $\therefore A = \eta_0 / J_0(k\sqrt{a})$

$$\therefore \eta = \frac{\eta_0 J_0(k\sqrt{x})}{J_0(k\sqrt{a})} e^{i\sigma t} \quad (4)$$

$$(2) \text{ 式を用ひて } \xi \text{ を求むれば } \xi = -\frac{\eta_0 J_1(k\sqrt{x})}{J_0(k\sqrt{a})} \frac{kg}{2\sigma^2 \sqrt{x}} e^{i\sigma t} \quad (5)$$

故に湾口の潮差 $2\eta_0$ が與へられれば任意の點に於ける潮差 2η は (4) 式を用ひて算出せられ又潮流の速さ $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ 或は干満に従ひ水分子の往復する距離 2ξ などは (5) 式から求められる。

3. 直接汚濁を蒙る海水量 (M) 直接汚濁を蒙むる海水とは工場排液排出口の前を潮の干満と共に絶えず往復する海水を指すのである。此範圍内の海水の汚濁度を 知る事が本研究の目的である。之れは排出口を含む断面を出入する水量を觀測すれば判る理であるが、次節に述べる様な干満と共に往復しないで湾内を循環する海水の量も一緒になつて居る爲め判別が困難である。若し潮汐の理論的考察が可能な所では此點甚だ便利であつて (5) 式より ξ さへ計算すれば求むる海水量は

$$M = bh 2\xi \quad (6)$$

である。但し b, h は排出口を含む断面の幅及深さである。

4. 湾内を循環し清掃作用を爲す海水量 (Q) 上述の如く計算した M の量が非常に大であつても之れが絶えず排液排出口の前を潮の干満に伴ひ往復して居れば遂には百パーセント汚濁される理である。然し實際は湾内に注ぐ河の水、雨水、及び風や地形的關係等から生ずる複雑な流れに因る湾内循環海水ある爲めに絶えず清掃作用を受けて居る。此循環海水の存在する事は湾内の海水が河の水、雨の水で昔から今日迄絶えず稀薄せられて居るに拘らず相當の

鹽分を保持して居る事實から判る。依つて此稀薄する河水及雨水の量と、灣の内外の鹽分の差とから清掃作用を爲す海水量 (Q) は求められる筈であらう。

今灣内 (M の中) 及灣外の海水の鹽分を夫々 s_1 及び s_2 とし (普通 % で表はす), s 及 S を或る時代に於ける M の鹽分及び M 中の鹽分の量とす。又排出口より奥の灣の海面積を A , それに注ぐ河水の量を R , 其海面上の雨量 r , 蒸發量 e とすれば次の方程式が考へられる。

$$dS = s_2 Q dt - \frac{S + s_2 Q dt}{M + \{R + A(r - e) + Q\} dt} \times \{R + A(r - e) + Q\} dt$$

微量を省けば

$$\frac{dS}{s_2 Q M - S \{R + A(r - e) + Q\}} = \frac{dt}{M}$$

積分すれば

$$\frac{S}{M} = \frac{s_2 Q}{R + A(r - e) + Q} \left\{ 1 - \frac{C}{M} e^{-\frac{R + A(r - e) + Q}{M} t} \right\} \quad \text{但し } C \text{ は積分常數}$$

$t = \infty$ とすれば $\frac{S}{M} = s = s_1$ なる故

上式より

$$s_1 = \frac{s_2 Q}{R + A(r - e) + Q}$$

$$\therefore Q = \frac{s_1 \{R + A(r - e)\}}{s_2 - s_1} \quad (7)$$

依つて灣の内外の河水の鹽分, 注入河川の水量, 雨量, 蒸發量を觀測すれば Q は (7) 式により計算出来る。

5. 汚漬度の算定 p を排液の量, P を M 中の排液の量, t を時間とすれば

$$dP = p dt - \frac{P + p dt}{M + \{R + A(r - e) + Q\} dt} \times \{R + A(r - e) + Q\} dt$$

微量を省けば

$$\frac{dP}{pM - P \{R + A(r - e) + Q\}} = \frac{dt}{M}$$

積分すれば

$$\frac{P}{M} = \frac{p}{R + A(r - e) + Q} \left\{ 1 - \frac{C}{M} e^{-\frac{R + A(r - e) + Q}{M} t} \right\}$$

積分常數 C を決定する爲に $t=0$ の時 $P=P_0$ とすれば

$$\frac{C}{M} = 1 - \frac{P_0 \{R + A(r-e) + Q\}}{pM}$$

$$\therefore \frac{P}{M} = \frac{p}{R + A(r-e) + Q} \left\{ 1 - e^{-\frac{R + A(r-e) + Q}{M} t} \right\} + \frac{P_0}{M} e^{-\frac{R + A(r-e) + Q}{M} t}$$

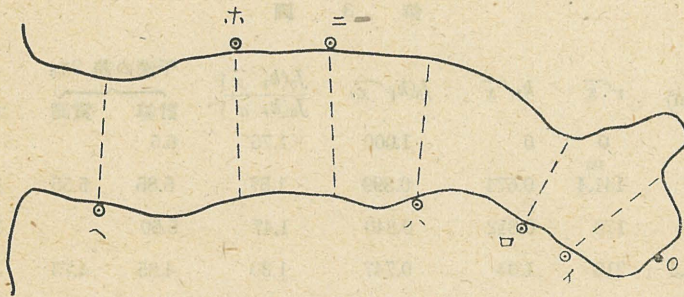
$$P_0 = 0, \quad t \rightarrow \infty$$

$$\frac{P}{M} = \frac{p}{R + A(r-e) + Q}$$

旱天の時の汚濁度を求める爲めには R の最小量を用ひ

$$\frac{P}{M} = \frac{p}{R_{min.} + Q} \quad (8)$$

6. 計算例 第 2 圖の如き某湾内の一部 (イ) に工場排水を放流する時の 海水の汚濁進行度を求めんとす。先づ圖の如く イロハ …… の六断面を取り各断面の幅及び平均水深を求めれば次の様になる。



第 2 圖

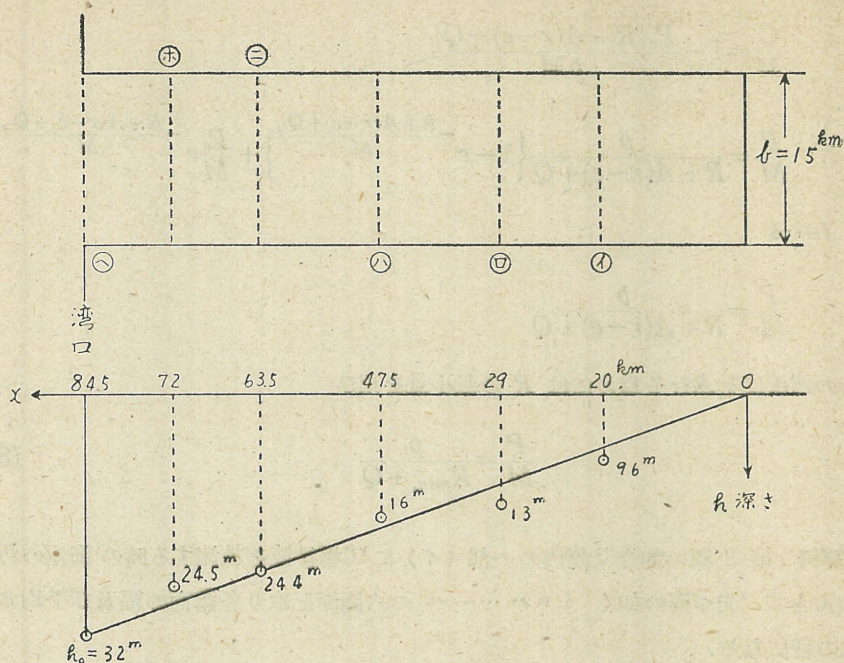
	ハ	ニ	ハ	ロ	イ	オ
断面 幅 (km)	15	11.5	17	13.5	15.5	16
水深 (m)	32	24.4	16	13	9.6	0
距離 (km)	84.5	72	63.5	47.5	29	20

之等數値を圖に示せば第 3 圖の如く幅 15 km, 水深は灣口 32 m より直線的に淺くなる一つの矩形断面の直線水路と看做す事が出来る。

依つて潮波の理論的考察が可能である。

第 2 節の計算方法に従て數値計算をすれば次の通りになる。

$$k = 0.00478, \quad h_0 = 32 \text{ m}$$



第 3 圖

地点	x (km)	$\sqrt{x}$ m	$k\sqrt{x}$	$J_0(k\sqrt{x})$	$\frac{J_0(k\sqrt{x})}{J_0(k\sqrt{a})}$	干満の差 $2\eta_0$		2ξ	
						計算	實測	大潮	小潮
0	0	0	0	1.000	1.75	6.5			
(イ)	20	141.4	0.674	0.899	1.57	5.85	5.55	16.2 km	4.65 km
(ロ)	29	170	0.812	0.840	1.47	5.50		15.9	4.56
(ハ)	47.5	218	1.04	0.747	1.30	4.85	4.73	14.56	4.18
(ニ)	63.5	252	1.21	0.666	1.165	4.35	4.34	14.4	4.14
(ホ)	72	268	1.28	0.630	1.124	4.18	4.26	14	4
(ヘ)	84.5	291	1.39	0.572	1.000	3.73	3.73	13.4	3.86

干満の差は計算値と實値と可成くよく一致して居る. 2ξ の大潮, 小潮の平均値は 10.425km である.

そこで (6) 式により $M = 15.5 \text{ km} \times 9.6 \text{ m} \times 10.425 \text{ km} = 15,5000,0000 \text{ m}^3$

今 $p = \text{排液量 (一ヶ年)} = 4525,0000 \text{ m}^3$

$s_1 = \text{灣内 (イ) 断面附近海水の鹽分} = 25.64\%$

$s_2 = \text{灣外 海水の鹽分} = 33.829\%$

$R = \text{注入河川の年平均流量} = 24,0000,0000 \text{ m}^3$

$R_{min} = \text{同上 渴水量} = 6,2380,0000 \text{ m}^3$

$$r = \text{年雨量} = 1600 \text{ mm}$$

$$e = \text{年蒸發量} = 0.4 r$$

$$A = 0 - (イ) \text{ 断面間の水面積} = 2,0000 \times 1,5000 = 3,0000,0000 \text{ m}^2$$

$$R_s = \text{同上海面に降下する雨量} = (r - e)A_s = 2,8800,0000 \text{ m}^3$$

とすれば (7) 式より

$$Q = \frac{s_1 \{R + R_s\}}{s_2 - s_1} = 84,4000,0000 \text{ m}^3$$

依つて旱天時の汚濁度は (8) より

$$\frac{P}{M} = \frac{p}{R_{min} + Q} = \frac{1}{200}$$

7. 結言 上述の計算方法を用ひて灣内海水汚濁程度を推定し得るが、此計算法を用ふるに當りて必要なる調査事項は次の如し。

- (i) 灣の形、水深を測り潮汐の理論的考察が可能なるや否を確める。
- (ii) 上記理論的考察から M が求められる。若し理論的考察不可能なる場合には浮子を用ひて干満に伴ひ往復する距離を實測して M を定める。
- (iii) 灣内 (排出口より上流) に注入する河川の平均及最少流量を觀測する。
- (iv) 灣内 (排出口より上流) の海面上の降雨量及蒸發量を調査す。
- (v) 灣内 (排出口附近) 及灣外の鹽分を調査す。
- (vi) (iii) 乃至 (v) の調査結果より循環海水量 Q が求められる。
- (iiv) 一日或は年平均排液の量を調査す。

かくして求め得た汚濁度は排水口附近の平均値である。實際は排水口からの距離に依つて濃度異なる事は明かである。濃度分布を知るのは相當困難であるが排水口對岸に於ける濃度を零として直線的に排水口の方に向つて増加すると考へるのも一つの考へ方であらう。又排液の比重が小なるものはむらなく河水と混交するとは考へられない。此場合は水深の $2/3$ 位が汚濁されると考へるのもよい。 M が $1/3$ だけ減ずる理けである。

尙上記の計算結果汚濁度が判つたとしてもこれが魚貝類に如何なる惡影響を及ぼすかと云ふ實際上の主要問題には觸れて居ない。蓋しこれは水産試験場あたりでやる仕事であつて著者の力の範圍外にある。但し若し汚濁度の限度が指定さるれば上記計算の逆を行つて排液の限度が決定される筈であり、之れに従つて工場側に於ても排液の中和等化學的物理的處理方法が検討されてくるわけである。