

1 はじめに

河川水質は、河川流量、汚水放流等の不均一性によって大きく変動するが、この変動の内容を正確に把握し汚染源を規制する事は、水質基準設定後の監視体制にとってきわめて重要である。このため水質基準設定後の監視体制における基礎的資料の一つとして汚染源からの排出汚水が変動した場合、河下に伴う河川の影響を河川応答モデルによって追跡し汚染源の変動を平坦化する拡散現象を明確に評価しようと試みた。

2 河川応答モデルについて

流量変化、水質変化に応じて変動する河川水質を監視し規制するうえで現象を巨視的に把握しうる応答モデルを用いて河川中の拡散現象に対する考察をおこなった。河川のある地点において、流量変化に応じた断面積変化を明らかにし、流量 Q_i における断面積を A_i とし、 Q_i における流速 V_i を①式で求める。 $V_i = Q_i / A_i$ ① ある水塊が微小時間 Δt に流下する距離は $\Delta L_i = \Delta t \times V_i$ ② である。ここで、ある考える区間の距離を L とする時、 $L = \sum_{i=1}^m \Delta L_i$ ③ である。③より“ m ”を求め、②式より $Q = Q_i$ における $x=0$ から $x=L$ 地点までの流下時間 T_i を求める。 $T_i = m \times \Delta t$ ④ いま、 $x=0$ 地点における流量変化、水質変化を Δt 時間ごとに分割した時、分割された水塊が $x=0$ から $x=L$ 地点まで流下する時の拡散現象を各水塊の“影響時間”としてあらわした。影響時間とは、 Δt 時間ごとに分割された水塊が前後の水塊と混合しながら流下するものとし、その混合の影響を受ける水塊の範囲を時間であらわしたものである。すなわち、影響時間 I_t は、 $I_t = n \times \Delta t$ ⑤ で示される。 n は影響係数であり、 $n=1$ の時、水塊は Δt 時間内で混合され $x=L$ 地点で流出するが、 $n=\infty$ の時は、完全混合され流出する。

$x=L$ 地点において、ある影響時間のときに水塊が到達する時、その水塊の $x=0$ 地点での時間 t_i における流量、水質は⑥、⑦式で示される。

$$t_i = t_{is} + \frac{n-1}{2} \times \Delta t \quad (s=1, 2, 3, \dots) \text{ において}$$

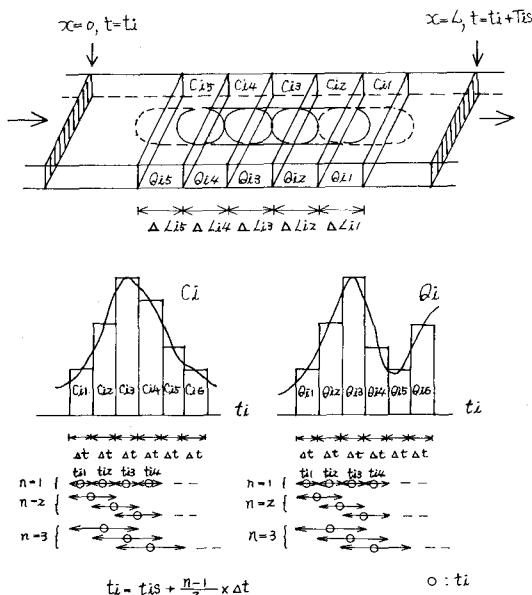
$$Q_i = \frac{\sum_{s=1}^{s=n-1} Q_{is}}{n} \quad (s=1, 2, 3, \dots) \quad \text{⑥}$$

$$C_i = \frac{\sum_{s=1}^{s=n-1} C_{is}}{n} \quad (s=1, 2, 3, \dots) \quad \text{⑦}$$

⑥式を①、②、④式に代入する事により

$s=1, 2, 3, \dots$ における水塊の $n=1, 2, 3, \dots$ とした時の $x=L$ 地点までの流下時間が求められる。

図1. 河川応答モデル



また⑦式を Streeter, Phelps の式に代入する事により, BOD, DO 不足量, を巨視的に把握した⑧,⑨式を得る。

$$C_L = \sum_{s=5}^{s=s+n-1} \frac{C_{is} \times 10^{-k_0 T_{is}}}{n} \quad (8)$$

$$D_L = \frac{k_0}{k_2 - k_0} \times \frac{\sum_{s=5}^{s=s+n-1} C_{is}}{\alpha} \times (10^{-k_0 T_{is}} - 10^{-k_2 T_{is}}) + D_0 10^{-k_2 T_{is}} \quad (9)$$

ここで C_L : $X=L$ での BOD (PPM), D_L : $X=L$ での 溶存酸素不足量 (PPM)

k_0 : BOD 減衰係数 (1/D), k_2 : 再曝気係数 (1/D)

T_{is} : 滞下時間 (D), $\frac{\sum_{s=5}^{s=s+n-1} C_{is}}{\alpha}$: 最終 BOD 濃度 (PPM)

以上の河川応答モデルの考察の結果を図.1 に示す。

3 排水負荷量の変動実験について

水質基準設定地点の監視という目的から, 河川応答モデルの考察をおこなったが, この考察ではいくつかの仮定を含んでいるためそれぞれの妥当性が問われる。ここでは, 個々の仮定をとりあげず河川応答モデルを実際の適合度だけ総合的に検証するため, 汚染源が確定している下河川を選定し汚染源に人為的な変動を与え追跡をおこなった。(汚染源はパルプ工場排水である。) 監視地点は, 横方向拡散終了地点 L_1 (8.2km) と溶存酸素最小地点 L_2 (22.2km) を経験的に選定した。また $X=0$ 地点における初期算定 BOD 値は ⑩式より求めた。

$$C_0 = C_0 + C_0 / Q + 0.8 \quad (10)$$

ここで, C_0 : 河川水中汚染物質質量 (g/s) C_0 : 排水負荷量 (g/s)

下河川の L_1, L_2 地点における流量変化に伴う断面横, 流速変化を図.2 に示し, 人為的な排水負荷量の変化を図.3 に示す。

下河川における $X=L_1, L_2$ 地点の BOD, DO の実測値を河川応答モデルによって追跡した結果を図.4, 図.5 に示す。この結果, 計算値が実測値を忠実に追跡するにはいたらなかったが, 排水負荷の変動に対して河川の拡散現象もある考える水塊の影響時間として総合的に把握するには十分効果的である事が確認された。また, 下河川の一側にすぎないが, 排水負荷の変動に対して, DO は BOD よりも影響時間が長い事が認められた。

4 影響時間の効果について

排水負荷量の変動に対する河川の拡散現象を, ある考える水塊の影響時間であらわした時, 水質基準監視地点における影響時間の効果から拡散現象の評価を試みた。

ある任意の変動を排水に与えた時, 監視地点における一定の時間帯の平均水質から, 影響時間の BOD 減り, DO 増加におよぼす効果を明らかにする事が可能である。

図 2 河川流量変化に伴う断面横, 流速変化

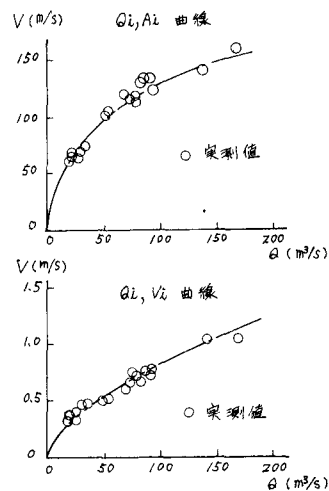
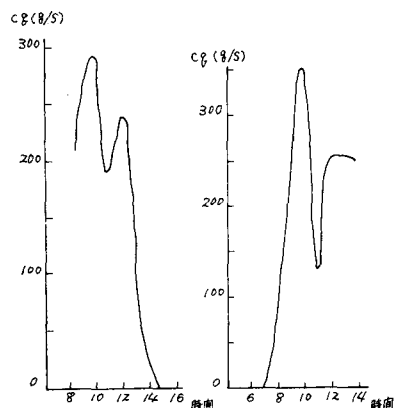


図 3 排水負荷量の変動について



いま、各影響時間 (I_t) における平均

BOD, DO をそれぞれ $C_{It}=h$, $D_{It}=h$

($h = 0.5^H, 1.0^H, 2.0^H, 3.0^H, 4.0^H$) とするとき、

各 I_t における BOD 減り率 (R_{BOD}),

DO 増加率 (R_{DO}) を $I_t = 0.5^H$ の値に

基づく百分率であらわす式を ⑪, ⑫ に

$$R_{BOD} = (C_{It=0.5^H} - C_{It=h}) \times 100 / C_{It=0.5^H} \quad ⑪$$

$$R_{DO} = (D_{It=0.5^H} - D_{It=h}) \times 100 / D_{It=0.5^H} \quad ⑫$$

ここで $h = 0.5^H, 1.0^H, 2.0^H, 3.0^H, 4.0^H$

任意の変動として $x=0$ における

BOD 算定曲線, および問題とする一定

時間帯 (T) を図.6 に示す。図.6 より

T 河川の実験値を用い, ⑪, ⑫, ⑬ 式

より, 各滞下時間 (T_t) における BOD

減り率, DO 増加率を計算した。

($k_0 = 0.70^{1/d}$, $k_z = 0.45^{1/d}$, $\alpha = 0.85$, $D_0 = 1.4^{ppm}$)

I_t の単位時間当りの BOD 減り率,

DO 増加率の結果を図.7 に示す。

図.7 より, I_t の増大に伴ない各 I_t 点

における BOD 減り率, DO 増加率は

共に高くなる。単位時間当りの BOD

減り率, DO 増加率より, 影響時間の

効果が最大に発揮しうる点は, $I_t = 2.0^H$

である事, また, I_t の単位時間当りの

DO についての効果は, 滞下時間の増

大に伴ない高くなるが, BOD につい

ては変らない事が明らかになった。

次に, 限界効用評価の応用¹⁾ により

水質基準監視地点の河川水質は, 影響

時間と滞下時間とからなりたつものと

し, 影響時間と滞下時間との相対的な

効果を明らかにした。

ある任意の変動を排水に与え, 水質

図 4. 河川 BOD 算定曲線

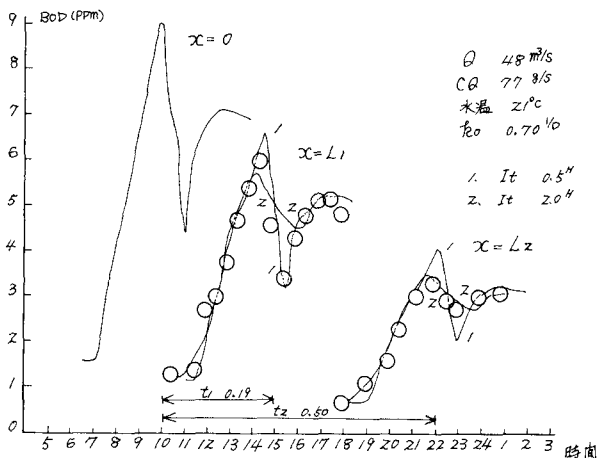
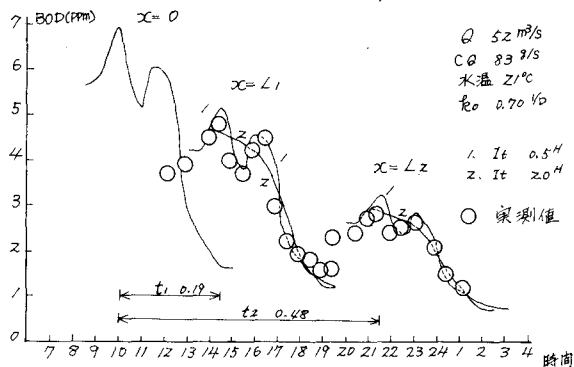
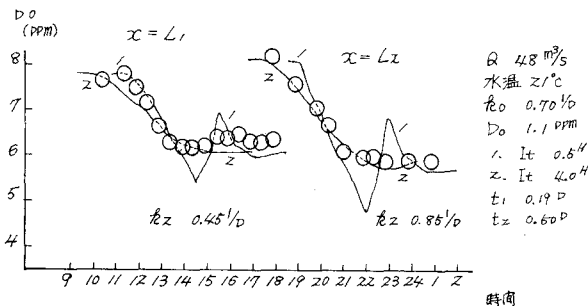
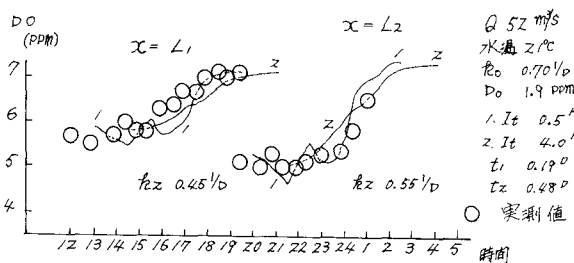


図 5. 河川溶存酸素算定曲線



監視地点における一定の時間帯の平均水質を C_0 とした時 C_0 の状態方程式は、③式で示される。

$$C_0 = f(I_t, T_t) \quad (3)$$

ここで I_t : 影響時間, T_t : 滞下時間

$$\text{③より, } dC_0 = (\partial f / \partial I_t) \cdot dI_t + (\partial f / \partial T_t) \cdot dT_t \quad (4)$$

$$\text{④より } C_0 \text{ を一定に保つ } (dC_0 = 0) \text{ によする}$$

I_t と T_t との関係式は

$$dI_t / dT_t = -(\partial f / \partial T_t) / (\partial f / \partial I_t) \quad (5)$$

⑤式は、 C_0 が変化する時の C_0 に占める影響時間、滞下時間の両方の効果を相対的にあらわしている。ここで、任意の水質変動として、図.6の $X=0$ におけるBOD算定曲線をもちい、 C_0 に占める影響時間と滞下時間との相対効果についての結果を図.8に示す。

図.8より、影響時間が2時間までは、 I_t と T_t との効果の比率は減少していくが、2時間以後の I_t の増加に対しては、 C_0 に占める I_t と T_t との効果の比率が変わらなくなる。また、水温の低下に伴ない、 C_0 に占める I_t の効果の比率が T_t の効果に比較して減少する事が明らかとなった。

5 おわりに

水質基準地点における河川水質変化を監視するうえで有効と思われる河川応答モデルの考察、およびモデルの妥当性を確認した。すなわち、排水負荷量の変動を平坦化する河川の拡散現象の表現方法の一つとして“水塊の影響時間(水塊の混合される範囲)”であらわし得る事が明らかとなった。

また、河川水質に占める影響時間の効果、さらに、滞下時間との相対的效果等について二三明らかにした。今後の課題として、河川応答モデルの定量的精度を高めたい。

最後に、京大、末石教授、住友助教の論文等を通しておしえられた事、また 北大、丹保教授より指導を受けた事に対して深く感謝する次第であります。

参考文献

1. 住友恒, 末石富太郎: 工業用水, 124, 59, (1969)

図 6. $X=0$ での BOD 算定曲線

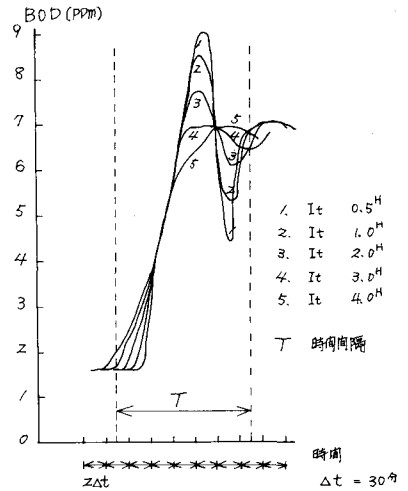


図 7. 影響時間(I_t)の効果について

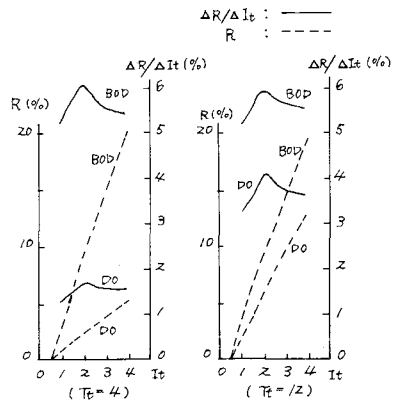


図 8. 滞下時間、影響時間の相対効果について

