

[J. Ferment. Technol., Vol. 52, No. 5, p. 343~347, 1974]

## 河川水質日間変動のシミュレーションと汚濁負荷量の把握

福永 勲・宇野 源太・小田 国雄・石井隆一郎\*

大阪市立衛生研究所, \*近畿大学農学部

## The Simulation of the Diurnal Variation of the Water Quality of the River and the Determination of Its Pollution Load

Isao Fukunaga, Genta Uno, Kunio Oda, and \*Ryuichiro Ishii

Osaka City Institute of Hygiene, Kitaogimachi 38, Kitaku, Osaka; \*Department of Agriculture, Kinki University, Kowakae, Higashi-Osaka

We simulate the diurnal variation of the water quality of the river using the given equation.  $a$ ,  $c$  and  $\bar{Y}$  were determined by the least squares method, and  $b$  estimated by the observed tidal phase.

$$Y = a \sin b(t-c) + \bar{Y}$$

in which  $a$ =variation width (dimension equal to that of  $Y$ ,  $\bar{Y}$ )

$$b = 2\pi/\text{periodic time, rad/hr}$$

$$c = \text{phase, hr}$$

$Y$ ,  $\bar{Y}$ =water level, water quality and their average value

Water level, stream velocity, water quality etc. were simulated by sine curve.

River pollution load was most accurately determined by calculating the product of the average value of BOD, the average value of water level, and the average water velocity, determined respectively by simulation.

## 緒 言

大阪市内河川は、人口の過密、工場生産の増強によって10数年来相当な汚濁状態にあり、かつ地盤沈下により河川の流況は潮位によって大きく変動している。そこで市内河川汚濁対策のために可動堰運用、清澄河川水の導入、自動水質監視装置の設置などが講じられているが、そのために水質推定と正確な汚濁負荷量把握は欠かせない課題である。そこで河川の水位、流速、流量、水質の日間変動が sine curve にシミュレートされることを確認し、かつ汚濁負荷量を正確に把握しようと試み、かなりの知見を得たので報告する。

## 理 論

シミュレーションは次式によっておこない、 $b$  は水位変化より、もっとも適当な値をあてはめ、 $a$ ,  $c$ ,  $\bar{Y}$  は実測値より最小二乗法によってもとめた。

$$Y = a \sin b(t-c) + \bar{Y} \dots \dots \dots (1)$$

$Y$ ,  $\bar{Y}$ : 水位, 水質の各指標とその平均

$a$ : 振幅 (単位は  $Y$  と同じ)

$b$ :  $2\pi$ /周期, radian/hr

$c$ : 位相ずれ, hr

$t$ : 時間, hr

$a$ ,  $c$ ,  $\bar{Y}$  は次のようにして求めた。

(1)式を展開すると,

$$Y = p \sin bt + q \cos bt + \bar{Y} \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{ここで } c = -1/b \tan^{-1}(q/p) \dots \dots \dots (3)$$

$$a = \pm \sqrt{p^2 + q^2} \dots \dots \dots (4)$$

実測値と計算値の差  $R$  は次のようになる。

$$R = p \sin bt + q \cos bt + \bar{Y} - Y \dots \dots \dots (5)$$

$$\sum R^2 = \sum (p \sin bt + q \cos bt + \bar{Y} - Y)^2 \dots \dots \dots (6)$$

つぎに  $\sum R^2$  を最小にするために

$$\partial(\sum R^2)/\partial p = 0 \quad \partial(\sum R^2)/\partial q = 0, \quad \epsilon(\sum R^2)/\partial \bar{Y} = 0$$

とすると次の三元一次連立方程式がえられる。

$$p \sum \sin^2 bt + q \sum \sin b t \cos b t + \bar{Y} \sum \sin b t - \sum Y \sin b t = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$p \sum \sin b t \cos b t + q \sum \cos^2 b t + \bar{Y} \sum \cos b t - \sum Y \cos b t = 0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$p \sum \sin b t + q \sum \cos b t + n \bar{Y} - \sum Y = 0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

(7), (8), (9)から  $a, c, \bar{Y}$  を求めた (ここで  $n$  は標本数).

標本の標準偏差  $s_Y$ , 標準誤差  $s_{res}$ , 相関係数  $r$  は,  $Y_c$  を  $Y$  の計算値として次のようにもとめた.

$$s_Y = \sqrt{\sum (Y - \bar{Y})^2 / n - 1} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$s_{res} = \sqrt{\sum (Y - Y_c)^2 / n} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$r = \sqrt{1 - s_{res}^2 / s_Y^2} \quad \dots\dots\dots(12)$$

**実験方法**

採水と測定は, 本町橋, 上大和橋, 大黒橋の3ヶ所で可動堰の終日開扉時に行った. 採水は直接または自動採水器 (朝日理化製) で, 流速観測は電流速計 (東邦電探製 CM-IB), 水位測定は OP 水位計で測定した. なお水質分析は下水試験法<sup>1)</sup>によった. その測定地点は Fig. 1 に示す.

**実験結果**

1. 水位変化は Fig. 2 のような変化を示し, その結

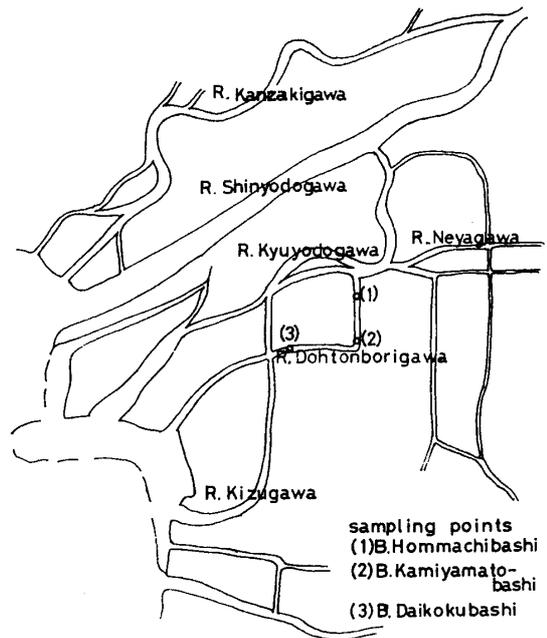


Fig. 1. Sampling points in Osaka City

果を分類すると Fig. 3 の I 型, II 型および III 型になった.

2. いずれもかなり良い相関係数をもってよく(1)式にシミュレートされ, とくに III 型は相関係数がたかかった. それらの数例を Fig. 4~Fig. 8 に示す. Fig. 4

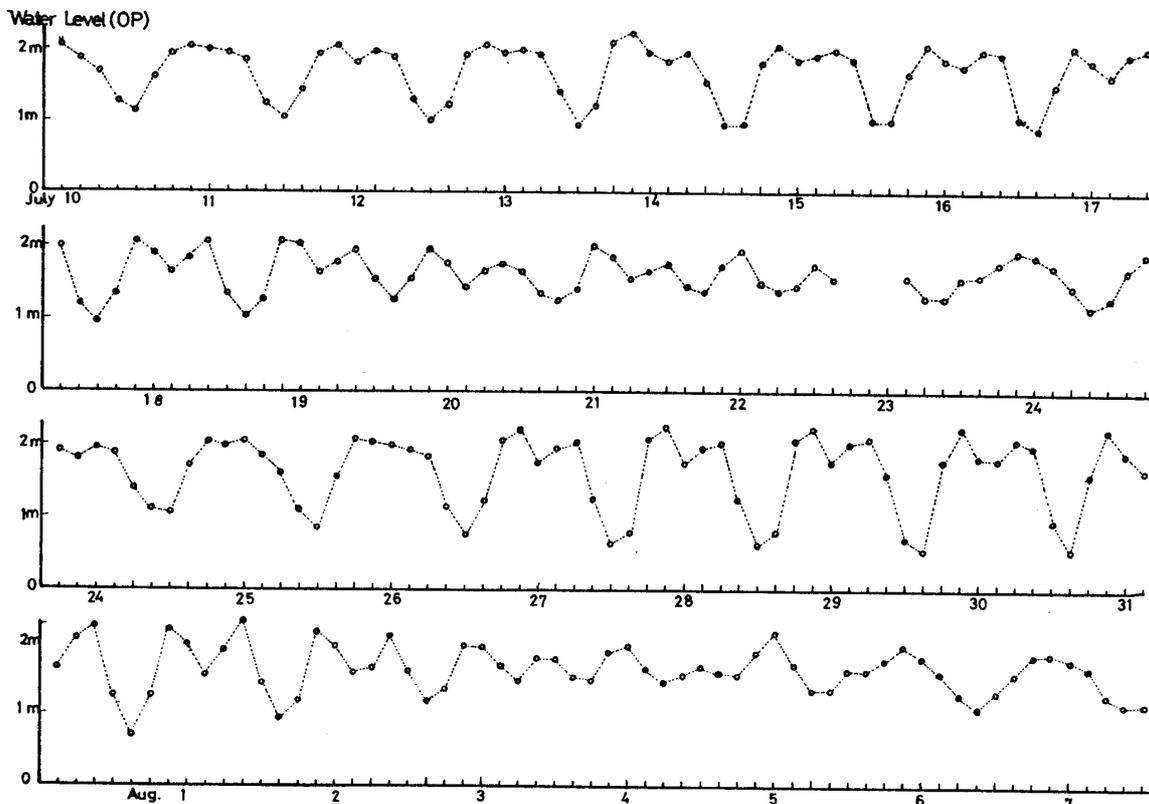


Fig. 2. A example of water level variation (at B. Daikokubashi from July 10 to August 7 1969).

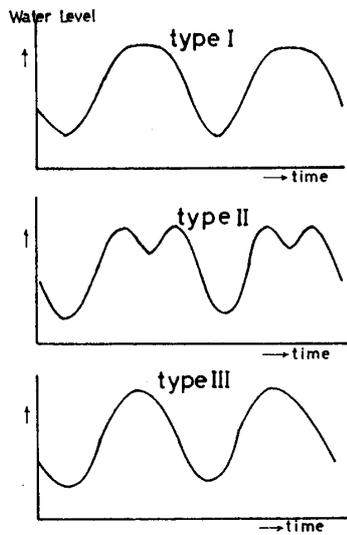


Fig. 3. Three types of water level variation.

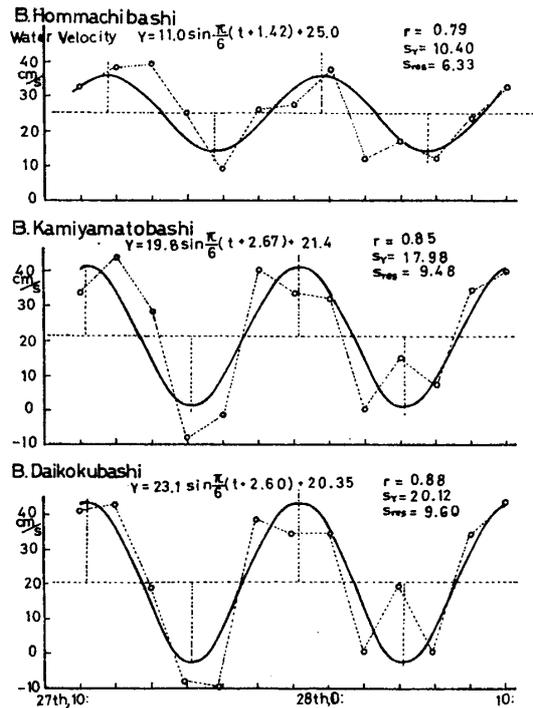


Fig. 5. Example 2 of simulation (water velocity from Aug. 27 to 28 1969).

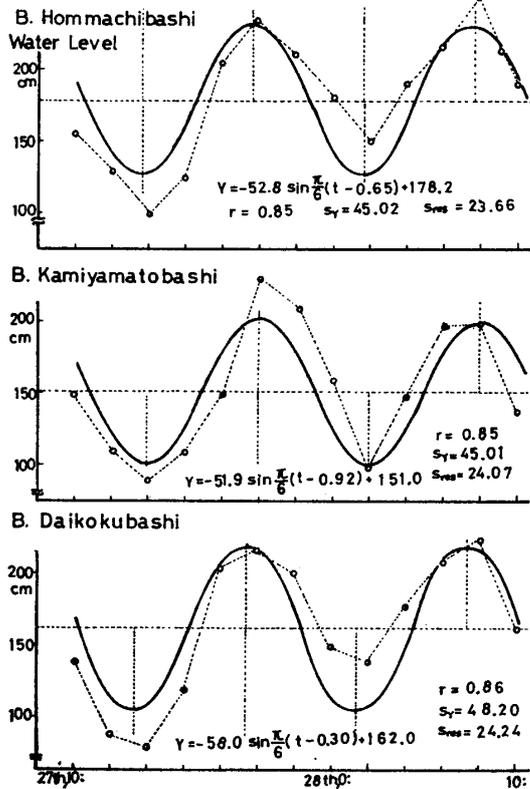


Fig. 4. Example 1 of simulation (Water Level from Aug. 27 to 28 1969).

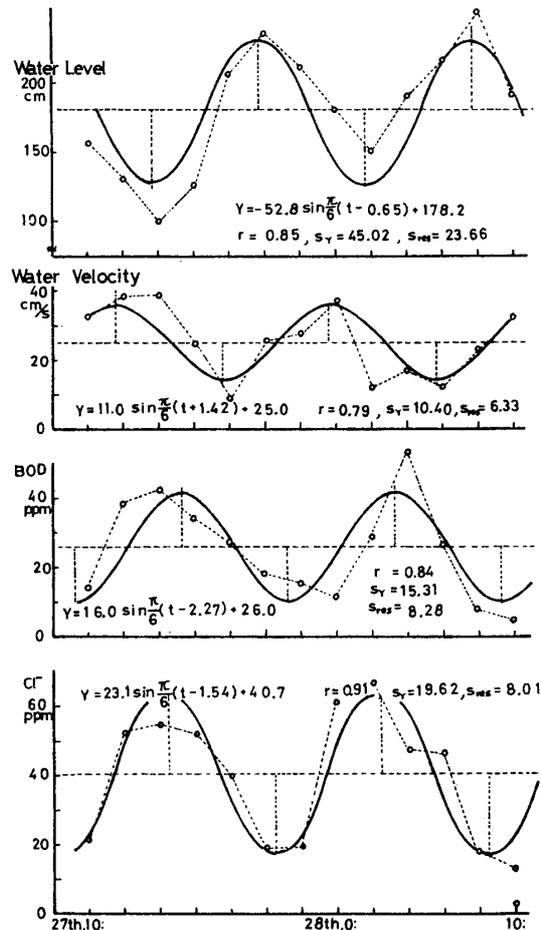


Fig. 6. Example 3 of simulation (at B. Hommachi-bashi from Aug. 27 to 28 1969).

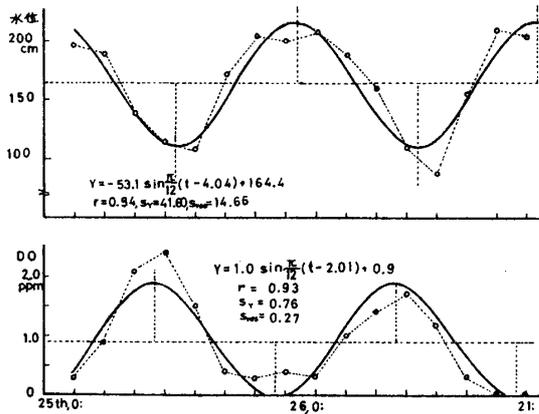


Fig. 7. Example 4 of simulation (at B. Daikokubashi from July 25 to 26 1969).

は水位変化の移動状況, Fig. 5 は流速変化の移動状況, Fig. 6 は本町橋での各因子の関係, Fig. 7~8 は大黒橋での各因子の関係である。

3. 大黒橋での各因子と負荷量のまとめを Table 1 に示す。これについて汚濁負荷量を次の四方法で計算した結果を Table 2 に示した。1) 時々刻々の BOD と

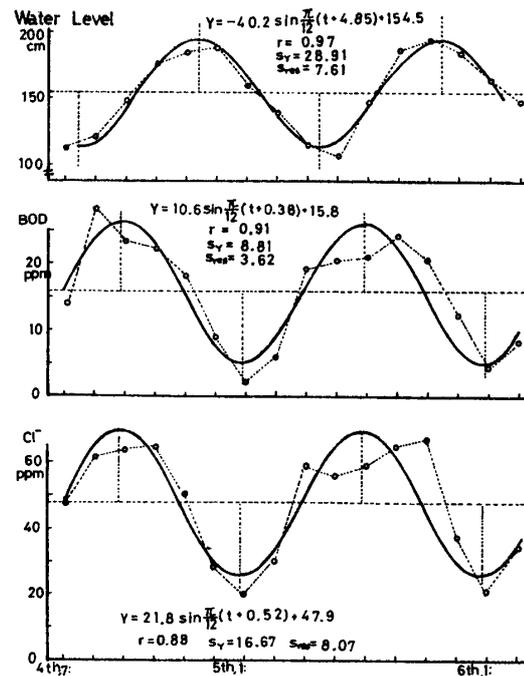


Fig. 8. Example 5 of simulation (at B. Daikokubashi from Sep. 4 to 6 1969).

Table 1. The Simulation of diurnal variations of water quality (at B. Daikokubashi of River Dohtonborigawa)

Date	Index	Y	a	c	r	S <sub>res</sub>	S <sub>Y</sub>	n
1969 8 14 15	Water level, m	1.65	0.45	-2.19	0.88	0.19	0.40	13
	Water velocity, cm/s	15.7	-12.7	-1.25	0.86	5.9	11.5	11
	Water volume, m <sup>3</sup> /s	8.9	-7.3	-0.92	0.86	3.3	6.5	11
	BOD, ppm	13.7	6.4	2.37	0.37	11.6	12.5	13
	Pollution load, ton/day	12.3	-14.8	-1.18	0.71	11.8	16.8	11
$b = \frac{2\pi}{12}$								
8 27 28	Water level, m	1.62	-0.58	-0.33	0.87	0.24	0.48	13
	Water velocity, cm/s	20.3	23.0	2.60	0.84	11.5	21.2	13
	Water volume, m <sup>3</sup> /s	12.5	18.1	1.72	0.63	9.9	12.7	13
	BOD, ppm	16.0	4.9	2.29	0.52	6.9	8.0	12
	Pollution load, ton/day	20.0	-23.2	-2.89	0.84	11.0	20.4	12
$b = \frac{2\pi}{12}$								
9 17 18	Water level, m	1.50	0.36	-2.98	0.77	0.21	0.34	16
	Water velocity,	18.0	-12.4	-0.23	0.67	9.8	13.1	16
	Water volume,	9.5	-6.2	0.29	0.60	6.2	7.7	16
	BOD, ppm	35.4	19.4	-2.74	0.75	13.1	19.7	16
	Pollution load, ton/day	25.8	-17.8	2.65	0.56	22.0	26.7	16
$b = \frac{2\pi}{15}$								

流量を積算した汚濁負荷量の単純平均値, 2) 各々の汚濁負荷量変動のシミュレーションから求めた平均値, 3) BOD と流量変動のそれぞれのシミュレーションの積分値, 4) BOD, 流速, 水位変動のシミュレーションの積分値。

その結果計算方法によってあまりかわらない場合もあるが, 9月17日~18日のようにかなり異なった結果がでることが分った。これは採水時間によって測定値が計算値と著るしく異なる場合などである。

Table 2. Comparison of pollution load.

Date	ton/day			
	1)	2)	3)	4)
1969・8・14~15	12.9	12.3	10.6	11.4
8・27~28	20.0	20.0	17.2	17.0
9・17~18	25.2	25.8	30.0	33.1

Method;

- 1) Simple average value of pollution load that was the product of BOD and water volume
- 2) Average value determined by simulation of pollution load that was the product of BOD and water volume
- 3) Product of average value of BOD and average water volume determined respectively by simulation
- 4) Product of average value of BOD and average water level and average water velocity determined respectively by simulation

### 考 察

水位変化の例は Fig. 2 に示したとおりであるが、かなり規則的に変化している。Fig. 2 では I 型から順々に II 型, III 型, II 型, I 型, II 型, III 型, ……となっている。このうち水位の III 型については水位, 流速, 水質がよく sine curve にシミュレートし, 十分なデータの蓄積があれば任意の時間の水位, 流速, 水質をほぼ正確に予測することは可能である。しかし, I 型 II 型についてもある程度 (1) 式に合致することが分った。したがって, Fig. 2 のように連続的に変化している場合に a, b, c を簡単な時間関数とすれば長期の連続的関数として実測値により一層近づくと考えられ今後検討したい。

本町橋と上大和橋間で 1,700 m, 上大和橋と大黒橋間で約 1,000 m あり, 東横堀川は中央部が多少盛り上っている。このような地理条件を反映して各地点およびその間の水位, 流速, 水質の関係は次のような結果を示している。即ち, 水位の変化は 3 地点ともほぼ同時であるが (Fig. 4), 流速は上大和橋と大黒橋では

ほとんど同時で本町橋は約 70 分の遅れを見せている。

本町橋での水位, 流速, 水質の変化は Fig. 6 に示しているが, 水位にくらべて流速は約 4 時間の遅れを見せている。BOD, Cl<sup>-</sup> の相はほとんど同時であるが, 水位と逆の相になっている。

Fig. 7 に示すように, 一日一潮時の場合の大黒橋溶存酸素(DO)は水位と逆の相になっている。一方 BOD と Cl<sup>-</sup> はほとんど同じ相であるが水位にくらべて逆の相より 3.5 時間遅れている。

汚濁負荷量の把握にはいろいろな方法があり, 平均水質と平均流量を単に掛算するという全く不正確な方法もあるが, ふつう結果の項に示した 4 種の計算方法が考えられる。そのうち, それぞれ最も正確な平均値であるシミュレーションによりもとめた水位, 流速, 水質変動の平均値の積を求める計算方法 4) がもっとも正しいと考えられる。さらに一点採水, 四点採水より汚濁水準を推定するには次式が考えられる。

$$\bar{Y} = Y - a \sin b(t - c) \dots\dots\dots(13)$$

採水時点と BOD の測定値より平均 BOD が推定され, ついで汚濁水準が推定される。

### 要 約

大阪市内河川について汚濁負荷を推定する場合, 水位, 流速, 水質 (BOD, Cl<sup>-</sup> など) はよく sine curve (1) 式にシミュレートされ, 水質推定が可能であり, 汚濁負荷量の正確な把握が可能となった。かつ一点または四点採水により全汚濁水準を正確に推定することもできると考えられる。

本研究に当り御指導御鞭達をいただいた大阪大学工学部市川教授に感謝いたします。

なお本研究の要旨は昭和 46 年および昭和 47 年度日本醸造学会大会において講演発表した。

### 文 献

- 1) 日本水道協会編：下水試験方法 (1964)  
(昭 49. 2. 23 受付)