

(47) 洪水時の汚濁負荷が湖水質に及ぼす影響について  
～ 湖内溶存態栄養塩の挙動 ～  
Effects of Wet weather Loadings on Lake Water Quality  
Movement of Dissolved Nutrient in the lake

森田弘昭\*  
Hiroaki Morita\*

**ABSTRACT;** Nitrogen is considered as one of the limiting substrates of the primary production in Lake Kasumigaura. The concentrations of dissolved nitrogen (referred to as DTN) in Takahamairi area during wet weather periods were measured and the fate of DTN in the area under the storm conditions were analysed by a numerical model on the basis of measured data.

The conclusions are settled as described below;

- 1) 79 to 86 percent of DTN in the lake are attributable to the river inflows during wet weather periods, while the rest are supplied by scouring of lake sediment.
- 2) Unlike the movement of particulate nutrients, most of the DTN remain in the lake water over a period of 5 days after the passage of a storm.
- 3) The rate of DTN transported from the inner water of the sediment by scouring (referred to as "exchange rate of dissolution") during wet weather periods was estimated from 30 to 95 times higher than the rate of diffusive DTN from the sediment during dry weather periods.

**Key words;** Dissolved total nitrogen (DTN), Sediment, Dissolution, Scouring, Numerical simulation.

## 1. はじめに

霞ヶ浦は湖面積220 km<sup>2</sup>、総貯水量約8億m<sup>3</sup>を有する日本第2の湖である。海跡湖という生い立ちから水深は平均4mと極めて浅くまた都心に近いという立地条件から流域の人口増加や産業活動の活発化などによって昭和40年代から急速に水質の悪化が進んだ。霞ヶ浦は滞留時間の長い典型的な閉鎖性水域であることから水質悪化の主要因のひとつは窒素、リンなどの栄養塩と呼ばれる物質の湖への流入と考えられている。

このため、住民、企業、行政による水質保全の取り組みが積極的に行われてきているが河川などから流入する窒素やリンなどの栄養塩負荷の水文学的解析が進むにつれて降雨によって自然地や農地、都市の地表面等から流送される負荷が場合によっては晴天時の負荷よりも大きいことがわかってきた<sup>1)</sup>。筆者らはこのような観点から霞ヶ浦に洪水時に流入する汚濁物質の影響を検討してきている。<sup>2) 3)</sup> 本報では、洪水時に流入する栄養塩のうち溶存態窒素について高浜入水域を対象として洪水時の湖内における挙動を数値モデルを用いて解析した結果を報告する。

\*建設省土木研究所 下水道部 汚泥研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

\*Sludge Management Division, Water Quality Control Department, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1-banchi Asahi, Tukuba City, Ibaraki Prefecture 305-0804, Japan

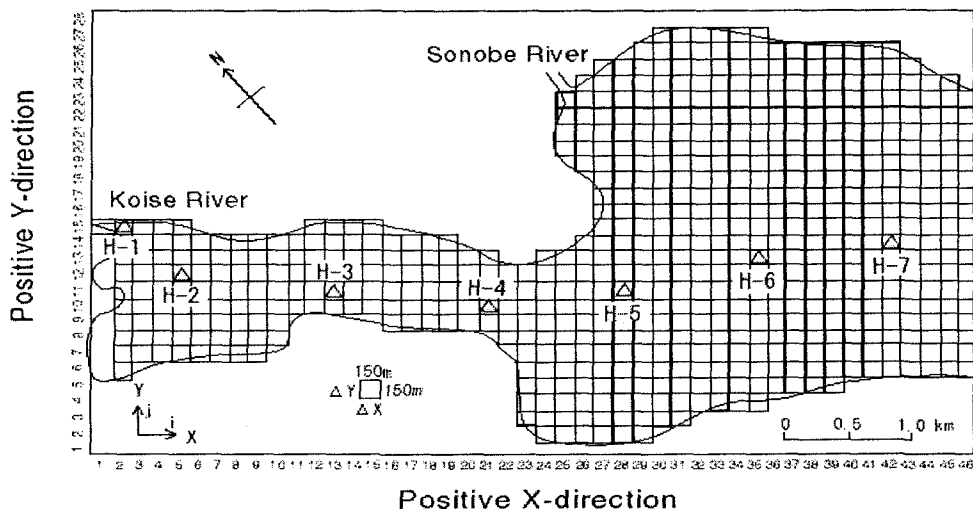


Fig. 1 Domain of Calculation  
( Takahamairi Area , Lake Kasumigaura )

## 2. 調査方法

調査は昭和 58 年 9 月 27 日から 29 日に台風 10 号が南関東地方を襲い、100mm 程度の降雨があった際の洪水を対象とし、洪水期間中の（流出開始時刻 9 月 27 日 20 時、流出終了時刻 9 月 30 日 10 時）の恋瀬川と園部側の流量、水質と洪水ピーク後 1 週間の高浜入の水質観測を行った。台風 10 号がもたらした総降水量は、恋瀬川流域（209.0km<sup>2</sup>） $2.0 \times 10^7$  m<sup>3</sup>、園部川流域（81.8km<sup>2</sup>） $7.3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>、それぞれの流出率は 0.44、0.31 で恋瀬川流出量は高浜入湾奥部（Fig.1 の H4 地点より湾奥部）の容量（ $7.4 \times 10^6$  m<sup>3</sup>）の約 120% であった。

### 2. 1 調査対象水域および対象期間

Fig.1 に水質再現計算の対象水域を示す。再現対象水域はこれまでの調査結果<sup>2)</sup> から恋瀬川、園部川の洪水の影響が及ぶ範囲を想定し設定した。対象期間は恋瀬川の洪水流出が始まった昭和 58 年 9 月 27 日 14 時から 10 月 3 日 8 時までとした。設定水域は水質再現計算のために（46×28）の格子に分割し、1 格子を 150m×150m とした。河川及び湖内の採水位置ならびに水質分析項目等については、過年度の調査結果<sup>2)</sup> のとおりである。なお、Fig.1 の中の H-1 から H-7 は湖内に設定した 39ヶ所の採水地点<sup>2)</sup> のうち高浜入のほぼ中心線に沿って設定したものを示す。

### 2. 2 計算資料の収集

計算資料はこれまでの調査結果<sup>2) 3)</sup> を用いた。Fig.2 に調査データの一部である恋瀬川、園部川の流量ならびに DTN の濃度を示す。また、Fig.3 に溶存態窒素（以下 DTN）の湖内平面分布の時系列変化を示す。洪水前には湖内の平均的な DTN 濃度は  $1\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  程度で河川流末部のみに流入河川の影響が観測されたが洪水終了後には高濃度域が高浜入湾奥部水域に分布している。

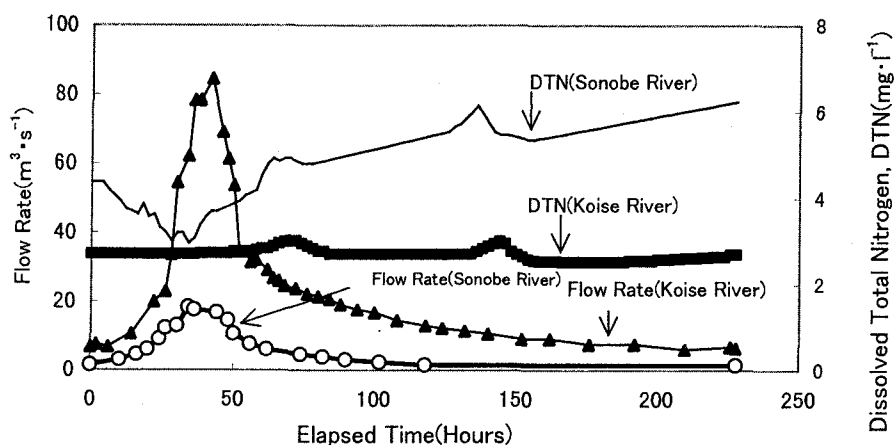


Fig. 2 Time History of the Flow Rate and DTN  
in Koise River and Sonobe River

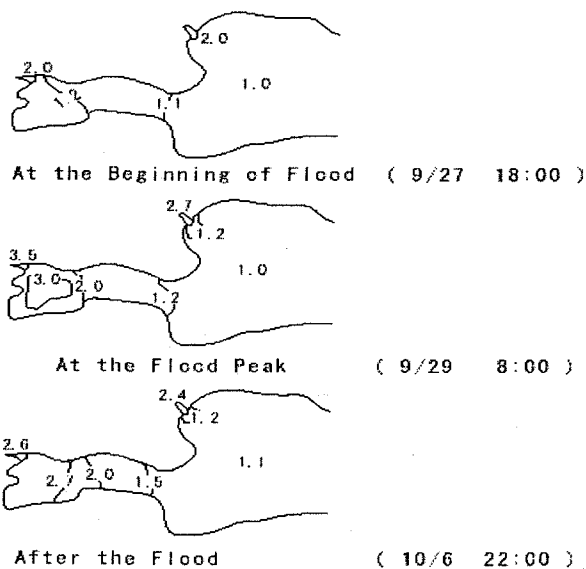


Fig. 3 Time History of DTN in Takahamairi  
during a Flood  
( Period : Sep. 27 ~ Oct. 6 , 1983 )

### 3. 数値モデル

#### 3. 1 モデル作成上の基本的考え方

洪水時の湖内 DTN の挙動は次のような考え方に基づいてモデル化を行った。洪水時に湖内に存在する

DTN は、河川から輸送されたものと湖内から供給されたものによって構成されている。後者については、底泥からのいわゆる溶出によって供給されるものと湖水中に浮遊する粒子態栄養塩の分解によるものの二つを考えた。河川から供給される DTN ならびに湖内 DTN の時系列データは調査対象期間の実測値を用いた。また浮遊性粒子態栄養塩の分解速度については、過年度の調査結果<sup>7)</sup>を使用した。

底泥からの溶出は、静止溶出と交換溶出の二つの現象が考えられるがここでは、交換溶出のみをモデルに組み入れた。なお静止溶出とは、底泥が外力によって流送されない状態の時に底泥中の間隙水が湖水との濃度差で拡散輸送されることを想定しており交換溶出とは、底泥が巻上がることによって、間隙水が瞬間的に湖水中に輸送される現象を想定している。また、湖内における消失という観点から DTN は脱窒菌によって気化され湖水中から消失する可能性があるが、洪水時に河川から流入した DTN が約  $9.0\text{ton}\cdot\text{d}^{-1}$  であるのに対し、脱窒速度を  $20\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  とした場合の高浜入水域の脱窒量は  $0.06\text{ton}\cdot\text{d}^{-1}$  であり、その寄与度は無視し得る程僅かであることから、モデルには組み入れなかった。さらに植物プランクトンによる吸収が考えられるが本調査では、湖内における DTN の供給源としての交換溶出速度を把握することを主目的としていること及び日照量の小さい、台風による降雨期間を計算対象期間に含んでいることからこれもモデルには組み入れなかった。そのため、計算期間の後半において交換溶出量が相対的に小さく見積もられた可能性がある。

### 3. 2 交換溶出と静止溶出

前節で述べたように、底泥からの栄養塩の溶出は二つの現象が考えられるが、洪水時には河川の流入水量の増加と風による湖流の増大があり、常に底泥の巻き上げが起こっていることから、静止溶出の起きている期間ならびに量は交換溶出に比べると無視できるほど小さいものと考えられる。さらにモデル化に際し、静止溶出を組み入れることは、計算を複雑にするだけなので著者は、交換溶出のみをモデルに組み入れた。尚、建設省土木研究所の研究成果<sup>10)</sup>によれば、霞ヶ浦における平均的な静止溶出量は、 $10\sim 30\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 、本調査期間（昭和 58 年 9 月 27 日～10 月 3 日）における底泥からの溶出量は  $946\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  であった。

### 3. 3 粒子態栄養塩の分解速度

これまでの調査結果<sup>3)</sup>によれば洪水時には短期間とは言え多量の粒子態栄養塩が湖内に存在しており、これらの分解に伴う溶存態栄養塩の湖水への供給が予想される。

建設省霞ヶ浦工事事務所<sup>7)</sup>では底泥ならびに湖水 SS の分解量を推定している。Table 1 に底泥ならびに湖水 SS の分解実験結果を示す。

既報<sup>2)</sup><sup>3)</sup>によれば 9 月 30 日 9:00am の時点で 439ton の粒子態窒素が高浜入に浮遊しており、これに Table 1 の実験結果を適用すれば、 $0.04\sim 0.10\text{ton}\cdot\text{d}^{-1}$  の DTN が湖内に供給されたことになる。 $0.1\text{ton}\cdot\text{d}^{-1}$  の DTN は高浜入水域の DTN 濃度を 1 日当り約  $0.02\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  高めるが、洪水期間中の同水域の DTN 上昇濃度と比べると無視しうほど小さい。以上の結果から、湖内 DTN 再現モデルには粒子態栄養塩の分解に伴う DTN の供給は組み入れないこととする。

Table 1 Rate of Disintegration of Suspended Solid  
from Particulate to Dissolved Substance

|         | Rate of change into Dissolved<br>Substance[ $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{ss})^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ] |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C (DOC) | 0.30~0.70                                                                                                             |
| N (DTN) | 0.08~0.22                                                                                                             |
| P (DTP) | 0.01~0.03                                                                                                             |

### 3. 4 交換溶出のモデル化

霞ヶ浦においては、瞬間的な底面剪断応力 ( $\tau b$ ) が  $0.1 \sim 1.0 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$  近傍で底泥の破壊が生じ<sup>11)</sup> 底泥の間隙水中の溶存態栄養塩が底泥から湖水中へ溶出する。

建設省霞ヶ浦工事事務所<sup>12)</sup> は昭和61年1月~3月の約2ヶ月半に亘り、霞ヶ浦全域の風による底泥舞い上がり調査を連続的に調査し、平均  $5 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上の風が5~8時間以上継続して吹いた場合に底泥の舞い上がりが顕著であるとの知見を得ている。同調査では高浜入における底面剪断応力とSS換算の底泥舞い上がり量の関係を次式で近似することができた。

$$\Delta \text{SS} = 186.62 (\tau b)^{0.8641} \dots\dots (1)$$

但し、 $\Delta \text{SS}$ : SS換算の底泥舞い上がり量 ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )

$\tau b$ : 底面剪断応力 ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ )

式(1)に霞ヶ浦底泥の破壊限界の下限値と考えられる  $\tau b = 0.1 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$  を代入すると約  $26 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  のSS換算底泥が湖水中へ巻き上げられる。

底泥の交換溶出量は底泥の巻き上げ量と比例関係にあると仮定し、底泥交換溶出量を次式で表した。

$$R_D = K_D [186.62 (\tau b)^{0.8641}] \dots\dots (2)$$

但し、

$R_D$ : 底泥交換溶出量 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ )

$K_D$ : 底泥交換溶出速度定数 ( $\text{m} \cdot \text{S}^{-1}$ )

底泥交換溶出速度定数、 $K_D$  は水質再現計算によるキャリブレーションの結果から、 $0.5 \times 10^{-7} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  とした。(2)式の交換溶出量は  $\tau b = 0.05 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$  (底泥の流送限界下限値<sup>11)</sup>) では  $0.06 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $\tau b = 0.1 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$  (底泥の破壊限界下限値)<sup>10)</sup> では  $0.11 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $\tau b = 1.0 \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$  (底泥の破壊限界上限値)<sup>10)</sup> では  $0.81 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  となる。建設省<sup>7)</sup> の調査結果によると、霞ヶ浦の高崎沖、湖岸、湖心の平均交換溶出量(攪拌溶出量)は  $0.08 \sim 0.30 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  であり、計算に用いた底泥交換溶出量は調査結果とほぼ同程度の値となっている。

### 3. 5 洪水時溶存態窒素予測モデルの作成

以上の推論を根拠に基本式を(3)式~(6)式のように作成した。なお、湖内のDTNについては底

泥からの鉛直的な供給ならびに河川からの水平的な供給及び風による吹送流の存在が報告<sup>13) 14)</sup> されていること等を考慮すると三次元的取扱<sup>15) 16) 17)</sup> が必要と思われるが、調査対象水域は水深が浅く良く混合されていることが報告<sup>18) 19)</sup> されていることから、平面二次単層水域として取り扱うこととする。

a) 連続の式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(H \cdot u) + \frac{\partial}{\partial y}(H \cdot v) = 0 \dots (3)$$

b) 運動方程式

$$x: \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{u(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}}{c_s^2 \cdot H} = \frac{\tau_x}{\rho \cdot H} \dots (4)$$

$$y: \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \frac{v(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}}{c_s^2 \cdot H} = \frac{\tau_y}{\rho \cdot H} \dots (5)$$

c) 物質保存式

$$\frac{\partial [Hc]}{\partial t} + \frac{\partial [Huc]}{\partial x} + \frac{\partial [Hvc]}{\partial y} = - \frac{\partial \left[ Hkx \frac{\partial c}{\partial x} \right]}{\partial x} + \frac{\partial \left[ Hky \frac{\partial c}{\partial y} \right]}{\partial y} + R_D \dots (6)$$

ここに、

$\zeta$  = 自由水面高さ (m)、 $h$  = 水深 (m)、 $H = \zeta + h$  (m)

$u, v, c = -h < z < \zeta$  の間で平均化された  $x, y$  方向

流速成分と物質濃度 ( $m \cdot s^{-1}$ 、 $g \cdot m^{-3}$ )

$g$  = 重力加速度 ( $m \cdot s^{-1}$ )

$\rho$  = 媒体の密度 ( $\approx 1.0 \times 10^6 \cdot g \cdot m^{-3}$ )

$f$  = コリオリパラメータ

$\tau_x, \tau_y$  = 自由水面上の風の剪断応力

( $x, y$  方向)、( $N \cdot m^{-2}$ )

$\tau_x = \rho_a \cdot C_D \cdot W^2 \cdot \sin \theta$  at water surface

$\tau_y = \rho_a \cdot C_D \cdot W^2 \cdot \cos \theta$  at water surface

$\rho_a$  = 空気密度 ( $0.0016 \times 10^6 \cdot g \cdot m^{-3}$ )

$C_D$  = 風速剪断応力係数 ( $\approx 0.0025$ )

$\theta$  = 風向 (真北からの角度)

$C_z$  = Chezy 係数  $= n^{-1} \cdot h^{1/6} \text{ (m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$

$n$  = マニングの粗度係数 ( $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ )

$k_x, k_y$  = 拡散係数 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$R_D$  = 底泥交換溶出量 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

基本式は AD I<sup>20)</sup> 法により数値モデル化した。

#### 4. 計算結果

再現計算は以下の2ステップで実施した。また、モデル校正後、高濃度 DTN 水塊の拡散状況を把握するために模擬風を与えた再現計算を行った。計算結果は高浜入のほぼ中心線に沿って設定した採水地点 (Fig.1:H1~H7) を結んだ縦断線について示す。

##### (1) ステップ1

底泥巻き上げに伴う交換溶出がない条件で拡散計算を行った。ステップ1の計算結果は底泥交換溶出量を評価するためのベースとして用いた。計算結果の1例を Fig.4 に示す。

計算条件

I) 流入河川流量と溶存態総窒素は Fig.2 の通りであり風向、風速は過年度の調査結果<sup>3)</sup> の通りである。

II) 拡散係数は Leendertse<sup>21) 22)</sup> の研究成果を引用し (7) 式で与えた。

$$\begin{pmatrix} k_x \\ k_y \end{pmatrix} = 5.93 \sqrt{g} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \frac{h}{C_z} \dots\dots\dots (7)$$

III) マニングの粗度係数は高浜入の湖底の値として過年度の調査<sup>3)</sup> で得られた値を用いた ( $n=0.026$ )

IV) 計算時間のステップは2分、計算水域は150m 格子に分割した。

$\Delta t = 2 \text{ 分}, \Delta x = \Delta y = 150 \text{ m}$

結果と考察

①ステップ1では流入河川のみによる DTN 負荷量で再現計算を実施したが、実測値より低い結果となり、湖内からの DTN 負荷の供給が必要な事が推測された。(底泥巻き上げに伴う交換溶出を考慮する必要がある)。

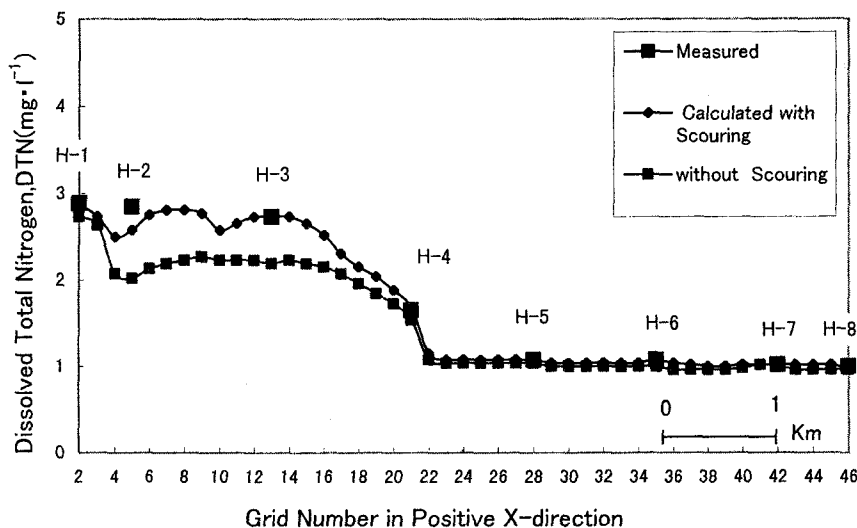


Fig. 4 Profiles of Calculated DTN in Comparison  
with Measured Values  
68 Hours after the Start of Computation

## (2) ステップ2

底泥交換溶出項を(2)式のようにモデル化し、再現計算を行った。ステップ2では、底泥交換溶出が底泥巻き上げと同時並行的に発生していると考え、底面剪断力の関数で底泥溶出を表した。

### 結果と考察

- ① Fig.4 及び Fig.5 に示すように水質の再現性は良好であり、底泥巻き上げに伴う交換溶出量が本モデルで定量化できたものとする。
- ② 計算結果から高浜入における洪水時湖内 DTN は、大部分が河川から流入したものと推定されるが、底泥から供給される分もありあるものと思われる。そこでこれを定量的に把握するために昭和 58 年 9 月 30 日 9:00am ならびに 10 月 3 日 10:00am の高浜入〔 $i=2\sim 21$ ,  $j=6\sim 15$ 〕に存在する DTN 量を底泥由来のものと、河川由来のものにわけて求め、Table 2 に示した。洪水期間中の①と、ほぼ終了時の②とも交換溶出の寄与率は約 16%~21%程度であることがわかった。
- ③ 洪水期間中に底泥から供給された DTN 量は約 18ton で、高浜入の底泥面積を約  $3.17\text{ km}^2$  とすると、溶出量は約  $946\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  となる。この値は霞ヶ浦の平均的な窒素溶出量<sup>10)</sup>  $10\sim 30\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  の 30~95 倍程度であり、洪水時の底泥からの溶出量が非常に大きいことがわかる。



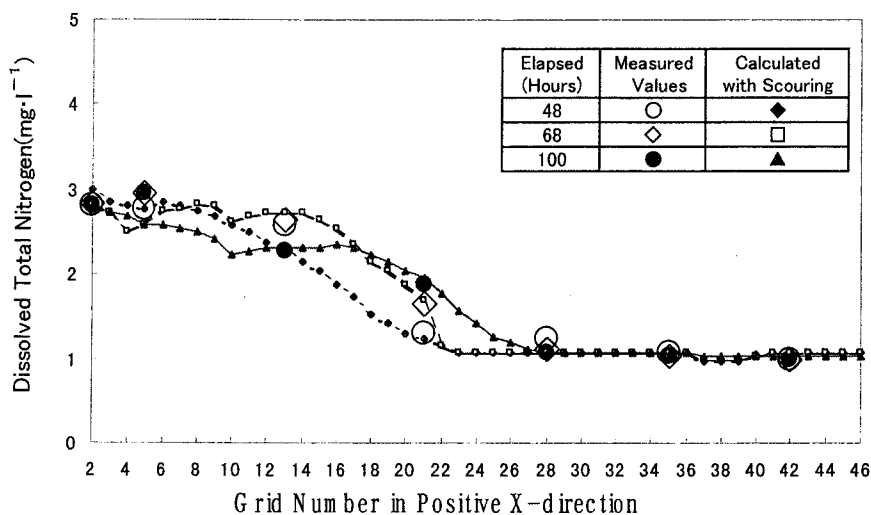


Fig.5 Profiles of Calculated DTN in Comparison with Measured Values

Table 2 Calculated DTN Load in Takahamairi  
(Integrated grid No: i=2~21, j=6~15)

| Loading Conditions                                     | (1)9:00am<br>Sept 30, 1983 | (2)10:00am<br>Oct 3, 1983 |
|--------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Loading with scouring<br>(River inflow+mud resolution) | 6.7ton                     | 6.2ton                    |
| Loading without scouring<br>(River inflow only)        | 5.3                        | 5.2                       |
| Loading due to mud<br>resolution only                  | 1.4                        | 1.0                       |

### (3) ステップ3

ステップ3では各風向毎の湖内 DTN 拡散（特に湖心方向への拡散）特性を把握するために、ステップ2における再現モデルの計算条件のうち風向を東、西、南および北の一方に設定した場合の湖内の DTN を計算し結果を Fig.6 に示した。風速ならびに河川の流量、水質資料等はステップ2と同じである。

### 結果と考察

①各風向毎の湖内 DTN 量は Table 3 のとおりである。洪水ピーク直後は北風と西風の影響がやや顕著であるが、洪水ピーク後5日目になると風向による DTN の量の差は小さくなった。

②いずれの風向でも、流入河川及び河口部底泥から供給された高濃度の DTN 水塊が短期間（5日間程度）で湖心に拡散する現象は推定しにくい計算結果となった。

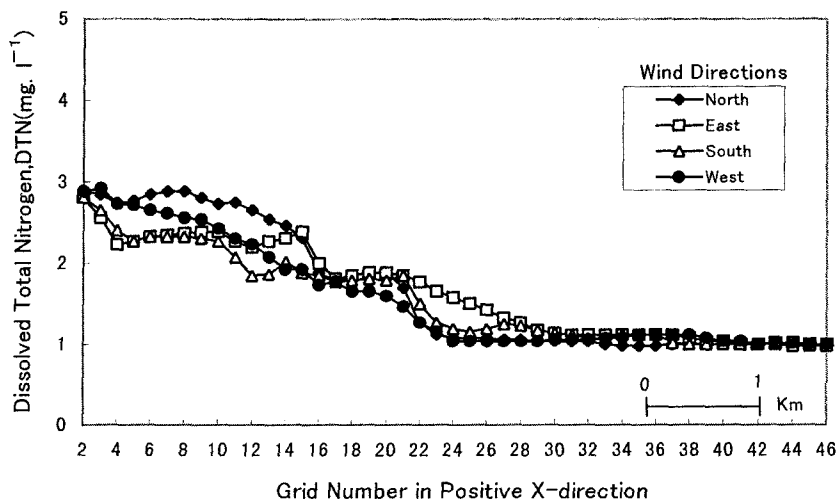


Fig.6 Result of Calculated DTN in Comparison  
with Various Wind Directions  
68 Hours after the Start of Computation

Table 3 Calculated DTN Load in Takahamairi in Various wind Conditions  
(Integrated grid No:  $i=2\sim 21$ ,  $j=6\sim 15$ )

| Wind Conditions            | (1)9:00am<br>Sept 30, 1983 | (2)10:00am<br>Oct 3, 1983 |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Loading by observed wind   | 6.7ton                     | 6.2ton                    |
| Loading by North wind only | 6.5                        | 6.2                       |
| Loading by East wind only  | 5.9                        | 6.0                       |
| Loading by South wind only | 5.6                        | 5.8                       |
| Loading by west wind only  | 6.3                        | 6.2                       |

## 5. まとめ

本調査で得られた結果は以下の通りである。

- 1) 100mm/日程度の降雨に伴う洪水時に、霞ヶ浦高浜入水域の底泥巻き上げに伴う交換溶出量を二次元モデルで定量化した。モデルは、対象水域内7地点でのDTN実測値との整合性を高めるように底泥交換溶出速度定数 ( $K_D$ ) をキャリブレーションし、最適な定数として  $K_D=0.5 \times 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  を得た。
- 2) 洪水時は底泥巻き上げに伴い、底泥間隙水中のDTNが顕著に水中へ回帰(溶出)するものと仮定し、既往報告<sup>3)</sup>に基づき、底泥溶出量を底泥巻き上げの主要因である底面剪断力の関数として表現した。計算結果から洪水時の湖内DTNは、底泥巻き上げに伴う底泥溶出(交換溶出)がないとDTN収支が合わないことから、仮定の妥当性が確認できた。
- 3) 本モデルから洪水時の湖内DTNの約79%~86%が河川から、残り16%~21%は底泥から供給されるという計算結果が得られた。

- 4) 洪水時の底泥からの DTN 溶出量は平常時の溶出量の 30~95 倍程度となる計算結果が得られた。
- 5) 高浜入湾奥部のような閉鎖水域に湾全体の水が交換するような規模の洪水などにより高濃度の栄養塩水塊が形成されると、短期間（5 日間程度）では解消されないことが推定された。

#### 参考文献

- 1) 山口高志, 吉川秀勝 (1978, 1980) 河川の水質・汚濁負荷量に関する研究 (I) (II), 土木研究所報告 No.151, No.154
- 2) 森田弘昭, 安中徳二, 山田幸男 (1985) 洪水時に湖に流入する粒子性栄養塩の挙動, 水質汚濁研究 8, 233-238.
- 3) 森田弘昭, (1989) 洪水時汚濁負荷の湖水質に及ぼす影響—湖内粒子態栄養塩の挙動について—, 水質汚濁研究, 12, 37-45.
- 4) 岡田光正 (1983) Microcystis による水の華の発生機構の解明とその制御に関する研究, 学位論文, 1983
- 5) 建設省 霞ヶ浦工事事務所 昭和 58 年度調査資料 (I)
- 6) 矢木修身, 萩原豊司, 高村義親, 須藤隆一: 霞ヶ浦における藻類増殖の制御物質, 水質汚濁研究 Vol.10, No.2 P 115~122
- 7) 建設省 霞ヶ浦工事事務所 昭和 54 年度調査資料
- 8) 吉田富男, 相崎守弘, 浅見輝男, 横島真樹 (1979): 霞ヶ浦における生物的窒素固定と脱窒, 陸水学雑誌, 40, 1-9
- 9) 細見正明, 須藤隆一: 霞ヶ浦からの窒素およびリンの溶出について, 国立公害研究所研究報告 R-51-84
- 10) 建設省土木研究所 湖沼の総合的水管理技術の開発に関する研究
- 11) 大坪国順: 底泥の再浮上機構に関する基礎的研究, 学位論文, 昭和 59 年 1 1 月
- 12) 建設省 霞ヶ浦工事事務所 昭和 61 年度調査資料
- 13) 村岡浩爾, 福島武彦: 霞ヶ浦 (西浦) の湖流, 国立公害研究所研究報告 R-19-'81
- 14) 建設省霞ヶ浦工事事務所 昭和 49 年度 吹送流調査報告書
- 15) 堀江毅: 沿岸海域の水の流れと物質の拡散に関する水理学的研究, 港湾技術研資料 No.360 Dec1980
- 16) Yamashita, Y.: Numerical Solutions For the Dispersion of Cold-Effluent into the Thermally Stratified Ocean Environment, Ph.D.Dissertation, May, 1980
- 17) Leendertse, J.J., R.C. Alexander and S.K. Liu: A 3-D Model for Estuaries and Coastal Seas, Rep. No. RM-6230-RC, Rand Corp. Dec. 1973
- 18) 細見正明, 福島武彦 (1979): 水の華形成期における Microcystis の動態, 土木学会年次講演会講演集第 II 部, 395-396
- 19) 建設省霞ヶ浦工事事務所 昭和 58 年度 調査資料 (II)
- 20) Peaceman, D.N., and Rachford, H.H. Jr. (1955) "The Numerical Solution of Parabolic and Elliptic Differential Equations" J. Soc. Indust. Applied Mathematics, Vol.13 No.1, March 1955 pp28~41
- 21) Leendertse, J.J.: Aspects of a Computational model for Long Period Water Wave Propagation, RM-5295-PR, the Rand Corporation, May 1967
- 22) Leendertse, J.J.: A water-Quality Simulation Model for Well-Mixed Estuaries and Coastal Sea, Vol.2, the Rand Corporation, 1971