

(30) 瀬戸内海における流量収支と水質応答特性に関する研究

A STUDY ON THE BUDGET OF NET FLUX AND THE CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY RESPONSE IN SETO INLAND SEA

李 寅 鉄*・浮田正夫*・藤田健一**・関根雅彦*

In-cheol LEE *, Masao UKITA *, Kenichi FUJITA **, Masahiko SEKINE *

ABSTRACT ; The budget of the net flux of water and the relationship between load and water quality was studied as the base of water quality management in Seto-Inland Sea . A numerical simulation of the tidal current by level-model, data analyses of load and water quality of COD and nutrients and a diffusion simulation of water quality by Δ COD method were conducted. The main results obtained are as follows.

(1) Computed results of tidal residual current showed an eastward flow pattern flowing from Bungo-Channel and out through Kii-Channel, and it was in good agreement with the phenomenon of model domain in Seto-inland Sea. The estimated results of vertical advection flux were upward in Iyo-Nada, Suoh-Nada and Osaka Bay and downward in Aki-Nada and Hiuchi-Nada.

(2) The ratio of the retention time for water quality items and the retention time of fresh water could be the useful parameters for the filtering effect of each item, or for the environmental capacity in enclosed sea areas. The ratio was apparently large in the order of COD, TN and TP.

(3) Inner productivity of COD was large in Osaka Bay and Harima-Nada and small in Bisan-Seto. Although Δ COD method was also applicable for water quality control in Seto-Inland Sea, the water-sediment quality simulation and the ecological modelling including fish were thought to be developed for more sophisticated management .

KEY WORDS : net flux, water quality management, pollutant load, eutrophication , Seto Inland Sea

1. はじめに

大都市圏を抱える閉鎖性海域においては、沿岸開発のニーズが高く、海洋環境の創造的保全と海域有効利用との継続的調和を図るための具体的方策が望まれている。また、水産・リクレーション等利水目的のみであった水質管理が重要であることは論をまたない。最近では、このような海域の水質管理のため、既に水質監視項目のCODに加えて窒素、リンについての環境基準が設定され¹⁾、その類型指定作業が進められている。また、流れを変化させたり海水交換量を促進させる工学的手法^{2) 3)}も導入されてきている。

近年、水質の適正な管理のために、物質循環モデルあるいは生態系モデル等、生物反応を取り入れた複雑なモデルも開発され、現況の汚濁メカニズムの解析にあたって、そのモデルを構成するパラメータの精度や、適合性が検討されている^{4) 5)}。しかしいたずらに詳細なモデルが優れているとは限らず、簡便で信頼性の高い水質予測モデルの構築が求められている。

瀬戸内海のような広域な水質管理を考える場合においても、1) 灘単位の水質予測ではなく、環境基準点や海水浴場地点などの局地的な水質分布を論じうるメッシュモデルであること、2) 富栄養化水質の予測に

* 山口大学工学部社会建設工学科 (Department of Civil Engineering, Yamaguchi University)

** 九州環境管理協会 (Kyushu Environmental Evaluation Association)

は少なくとも水層2層でなければならず、鉛直混合が適切に表現できるモデルでなければならないこと、3) また当然のことながら、CODの内部生産機構を組み込んだモデルであることが必要である。一般的に、水質に影響する最重要な要素は対象水域に流入する汚濁負荷量であると考えられるが、流入する物質と水域内の物質存在量あるいは物質濃度との関係は、水域によって異なり、また同じ水域であっても、負荷量と水質が素直な比例関係を示すとは限らない。沿岸の密度流とプランクトン等への吸収・沈降などの相互作用により栄養塩などが沿岸部に捕捉されやすい現象をCoastal Trappingとよんでいるが⁶⁾、この点について、上⁷⁾は、富栄養化によるPlankton sizeの変化によって、鉛直的な物質輸送が影響を受け、Coastal Trapping⁸⁾の現象を通じて、海域全体の物質滞留時間が変化することを指摘している。このことは、栄養塩の負荷と水域の栄養塩濃度の間に非線形な関係を与えることになる。また、栄養塩濃度と内部生産COD濃度の間の1次生産を介した非線形性にも注目する必要があると考えられる。これらの機構については、概念的には議論されているが、実測値の時空間的な解析によって実証的に示されたものは少ない。

このような背景から、本研究では、瀬戸内海の水質管理を考えるために必要な水質予測モデルを構築する研究の一環として、以下に示す2, 3の検討を行った。すなわち、1) レベルモデルにより流況、流量収支の計算を行い、2) 灘別の流入負荷量と平均水質の間の応答特性を検討した。また、3) 瀬戸内海の水質項目相互間の関係の検討を行うとともに、4) これらを基にして、簡便な△COD法によるCOD濃度予測を試みた。

2. 瀬戸内海の流量収支

2.1 潮流の計算

日本沿岸海域の中で最大の閉鎖性海域である瀬戸内海は東西約450 km、南北15～55 km、面積21,800 km²、平均水深37.3 mで、総容積は815.8 km³とされている。また、数10 km程度のスケールの海域単位である灘や湾の連結系であり、Fig.1に示すように、各海域に特有の循環流と、海水交換性が極めて悪い停滞性水域が共存していることが、上嶋⁹⁾等によりあきらかとなっている。

この停滞性水域には、富栄養な河川水が滞留することから、強い貧酸素水塊の形成や赤潮が発生している。速水・宇野木¹⁰⁾は、1次元定常モデルを用いて、塩分の分布過程を取り扱った研究で、瀬戸内海の年平均塩分濃度を説明するためには、 $K_h = 10^{-7} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ という水平拡散係数が必要であることを示した。しかし、このような拡散係数は乱れのみによる拡散(乱流拡散)としては説明できず、今日その本質は恒流のシアなどによる分散であると考えられている。

a) 流況差分モデル

瀬戸内海の潮流計算範囲をみると、大阪湾奥、広島湾奥のような内湾性の強い海域と、明石海峡、鳴門海峡、関門海峡のような強流域で混合が発達している海域が混在している。また、瀬戸内海内部は島が多く、地形が複雑であるため、レイヤーモデルではなくレベルモデルを用いた。

計算の基礎式はナビエーストークスの方程式および連続方程式であり、計算は二次元2層非定常の差分モデル

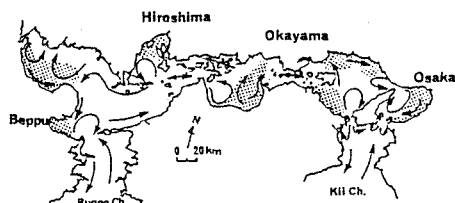


Fig. 1 Stagnant water regions (shaded areas) and tidal residual circulations in the Seto Inland Sea.

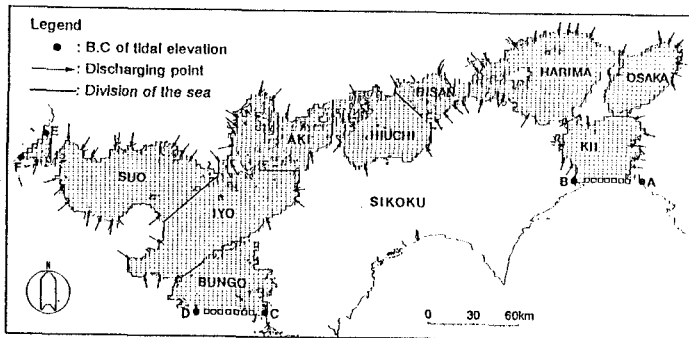


Fig. 2. Calculation domain of tidal current and the division of the sea in Seto-inland Sea.

ルによった。本モデルでは連続の式より鉛直流量を概略算定しうる。なお、海岸地形、水深は海図をもとに設定し、上層と下層の分割は、夏期の成層状況を考慮して上層を平均水面下5m、下層を以下の水深とした。境界条件として、開境界線上に中潮期(M2分潮)の潮汐振動を与え(Fig. 2)、潮位勾配によって発生する流れを15潮汐間計算したものを与えた。潮流計算の境界水位点のデータと潮流計算条件はTable 1とTable 2に示すとおりであり計算の格子間隔は3 kmとした(Fig. 3)。また、境界条件として、淡水流入量は昭和62年度の流量年表を用いて、瀬戸内海全域の河川別の流域面積と平水比流量から求め、Table 3に示した瀬戸内海全域の淡水流入量はおよそ $132 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ と推算された。

b) 潮流の計算結果

Fig. 4は潮流ベクトルを時計板上にグラフ表示した潮流楕円を観測値と計算値について比較を示すとともに潮汐残差流の再現結果を示している。これによると、潮流の向きや流速は、島の影響の多い一部を除いて、ほぼ観測値を再現している。また、最大流速は豊後水道で現れ、その値は約80 cm/sであり、紀伊水道と比べると、約2倍となっている。そして、瀬戸内海の潮汐残差流計算結果では、豊後水道で東向きの流れ、大阪湾で時計まわりの環流が強調されている。また、豊後水道に見られる東向きの流れは、宇野木¹⁰⁾の結果で得られたものと同様の傾向を示し、その最大流速は19 cm/sであり、海峡部で早い傾向が表れた。

2.2 灘間の流量収支

瀬戸内海全域を8つの灘で区分して(環境庁区分)各灘別の断面流量を計算した。Fig. 5は流れの最終1潮汐間における灘間の流量収支を示す。各灘間のネット流量は豊後水道より流入した海水が一部は周防灘を通じて響灘に流出し、大部分は伊予灘より東に流れ、紀伊水道を通じて流出するパターンを示している。また、Table 4には瀬戸内海の海峡部でのネット流量と文献値と比較した結果並びに潮流の計算より求めた灘別の鉛直移流量を示した。これによると、ネット流量の計算値は関門海峡を除いた2個所の海峡でほぼ近い値が見られた。鉛直移流量の推定値は、播磨灘で最大値を示し、備讃瀬戸で $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ の最小値が見られ、この海域では鉛直的な物質輸送が少ないことが推定された。

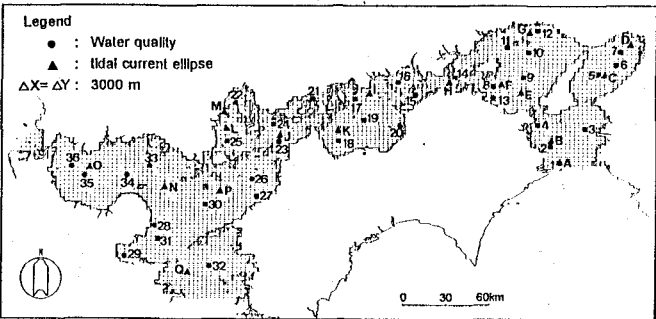


Fig. 3. Finite-difference grid and the verification stations of calculation in Seto-inland Sea.

Table 1. The boundary conditions of the tidal elevation.

Point	Amplitude(cm)	Phase(deg.)
A	48.0	172.0
B	46.0	174.0
C	55.0	186.0
D	50.0	206.0
E	31.0	289.0
F	40.0	282.0

Table 2. Calculation conditions in this study area.

ITEMS	CONTENTS
Grid Interval	$\Delta X = \Delta Y = 3,000 \text{ m}$
Time step	$\Delta t = 20 \text{ sec}$
Coriolis parameter	$7.8 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$
gravitational acceleration	9.8 m/sec^2
Horizontal Eddy Viscosity	$1 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$
Bottom friction coeff.	0.0026
Calculation Time	7.5 days

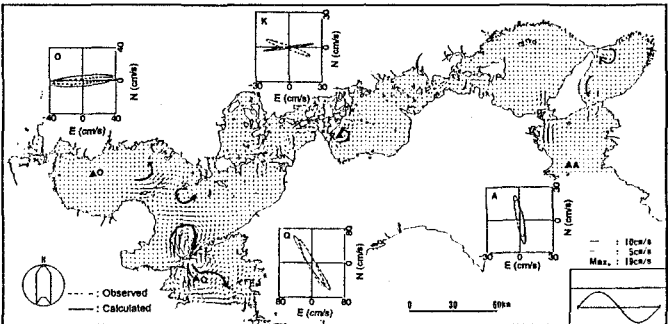


Fig. 4. Verifications of the tidal current ellipse and the computed tidal residual current.

収支を示す。各灘間のネット流量は豊後水道より流入した海水が一部は周防灘を通じて響灘に流出し、大部分は伊予灘より東に流れ、紀伊水道を通じて流出するパターンを示している。また、Table 4には瀬戸内海の海峡部でのネット流量と文献値と比較した結果並びに潮流の計算より求めた灘別の鉛直移流量を示した。これによると、ネット流量の計算値は関門海峡を除いた2個所の海峡でほぼ近い値が見られた。鉛直移流量の推定値は、播磨灘で最大値を示し、備讃瀬戸で $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ の最小値が見られ、この海域では鉛直的な物質輸送が少ないことが推定された。

Table 3. The averaged discharging of river in the Seto-inland Sea.

Name of the Sea	Discharge (× 10 ⁶ m ³ /day)
SUO (SUO-NADA)	14.1
IYO (IYO-NADA)	10.3
AKI (AKI-NADA)	13.1
HIU (HIUCHI-NADA)	7.9
BIS (BISAN-SETO)	8.8
HAR(HARIMA-NADA)	23.7
OSA (OSAKA)	34.1
KII (KII-SUIDO)	20.9
SUM	132.9

Table 4. Calculated results of the net flux in the Seto-inland Sea (Unit : 10⁶ m³/day).

Boundary of net flux	Horizontal flow		Vertical flow
	this study	by Reference	this study
OPEN SEA → BUNGO	149.7		
SUO → OPEN SEA	135.3	30.2(HUJIHARA)	125.3
BUNGO → IYO	149.7	192.0(UNOKI)	
IYO → SUO	121.3		130.9
IYO → AKI	38.7		
AKI → HIUCHI	51.9		113.3
HIUCHI → BISAN	59.8		128.9
BISAN → HARIMA	68.6		1.8
HARIMA → OSAKA	88.1	172.8(HAYAMI)	228.0
HARIMA → KII	4.2		
OSAKA → KII	122.2		45.0
KII → OPEN SEA	147.3		8.6

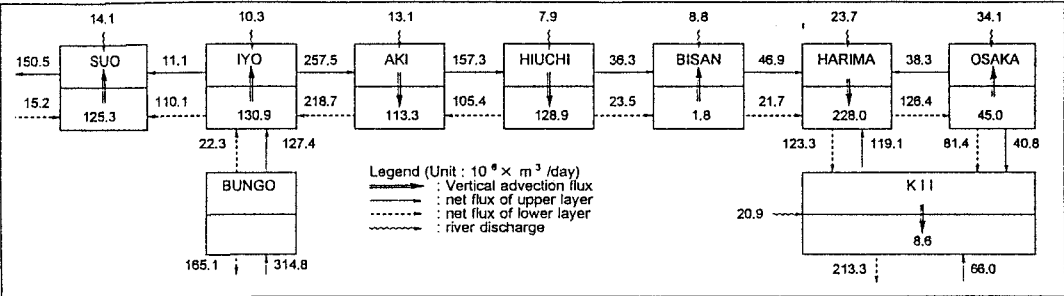


Fig. 5. Computed results of the net flux of water in Seto-inland Sea (Unit : 10⁶ × m³/day).

3. 瀬別流入負荷量と水質

3.1 瀬別流入負荷量

Fig. 2 に示す瀬戸内海の 8 つの瀬（周防瀬、伊予瀬、安芸瀬、燧瀬、備讃瀬戸、播磨瀬、大阪湾、紀伊水道）を対象に、昭和 62 年度について瀬戸内海の瀬別負荷量の計算を行った。流入負荷算定項目は、COD、TN、TP である。算定法は原単位法¹¹⁾ によった。昭和 62 年度における瀬戸内海の流入負荷量の発生源別内訳と、瀬別、発生源別の COD 負荷量を各々 Table 5 と Fig. 6 に示した。これによると、昭和 62 年度の総流入負荷量は COD、TN、TP それぞれ 994、495、52 ton/day となり、産業系排水の占める割合が大きい結果になった。瀬別に見ると、全域の約 1/3 の負荷を占める大阪湾で、産業系排水が約半分を占めていることと、TN、TP については全域で点源性負荷が大部分を占める。Fig. 7 は昭和 62 年度の瀬戸内海全域の COD 負荷量算定結果から各瀬の負荷の割合を求めたもので、大阪湾で 37 %、播磨瀬 18 % と、瀬戸内海東部（備讃瀬戸～紀伊水道）が、全体の約 70 % を占めている。次に、瀬別の流入負荷量と水質濃度との相互関係を見るために、瀬別の単位容積負荷量を算定して、瀬の

Table 5. Pollutant loads of COD, TN and TP into Seto-inland Sea from each kind of discharger in 1987(Unit : ton/day).

ITEMS	COD	TN	TP
Household wastewater	320 (32)	168 (34)	22 (42)
Industrial wastewater	411 (41)	201 (41)	24 (47)
Livestock wastewater	36 (4)	42 (8)	1 (3)
Fertilizer discharge	26 (3)	44 (9)	2 (3)
Natural sources	201 (20)	40 (8)	3 (5)
SUM	994(100%)	495(100%)	52(100%)

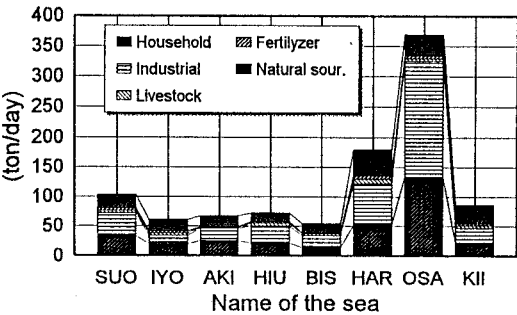


Fig. 6. Pollutant load of COD from each kind of discharger in Seto-inland Sea.

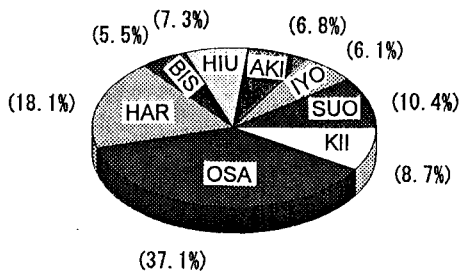


Fig. 7. Distribution of percentage(%) for the pollutant load of total discharger in Seto-inland Sea.

昭和62年度の実測平均水質との対応を試みた (Fig. 8(a) ~ (c)). 全般的に見ると、容積負荷と水質は比較的良好に対応している。大阪湾、備讃瀬戸は容積負荷の割には水質は低め、播磨灘は逆に高めの傾向を示している。灘毎に独立した水域ではないので隣接海域の負荷の影響も考える必要がある。一方、水質を容積負荷で除して各水質項目の滞留時間 τ を式(1) ~ (4)によって求めてその結果をTable 6に示した。

$$\tau_{cod} = (\text{COD} - \text{COD}_0) / \text{LCOD} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\tau_n = (\text{TN} - \text{TN}_0) / \text{LN} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\tau_p = (\text{TP} - \text{TP}_0) / \text{LTP} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\tau_f = (\text{Clo} - \text{Cl}) / \text{Clo} / \text{Lf} \quad \text{-----} \quad (4)$$

ここで、 τ_f は淡水滞留日数、 τ_{cod} 、 τ_n 、 τ_p は水質項目の滞留日数を示し、 COD_0 、 TN_0 、 TP_0 、と Clo は水質の Background 濃度であり、 LCOD 、 LN 、 Lp は水質の容積負荷量である。また、 Lf は淡水容積負荷量を示す。Table 6を見るとCODでは130 ~ 1570日、TNで78 ~ 510日、TPで42 ~ 360日と容積の大きい伊予灘で最も大きい。容積の違いを補正するために、データの都合で年度は異なるが、昭和63年度の淡水滞留時間 τ_f を推定した。結果を同表に示す通りであるが、各水質項目の滞留時間とこの淡水滞留時間の比は各灘の各水質項目に対する滞留度を示すものと考えられる。Fig.9はこれら滞留度の灘別比較を示したものである。 τ_{cod} / τ_f は1.2 ~ 2.9、 τ_n / τ_f は0.4 ~ 2.5、 τ_p / τ_f は0.1 ~ 1.3で、CODは内部生産があるために滞留度が大きく、TNで淡水滞留時間と同程度、TPで沈殿などにより水中より失われる傾向を反映して滞留度が小さい。灘別の特性をみると、CODでは西部海域、播磨灘、TNでは紀伊水道、安芸灘、TPでは紀伊水道、安芸灘で滞留度が高いが、平均的な水質の把握が困難であること、淡水滞留時間と水質滞留時間の年度が異なることもあり、Coastal Trappingや鉛直流量などと明確に関連づけることは困難であった。

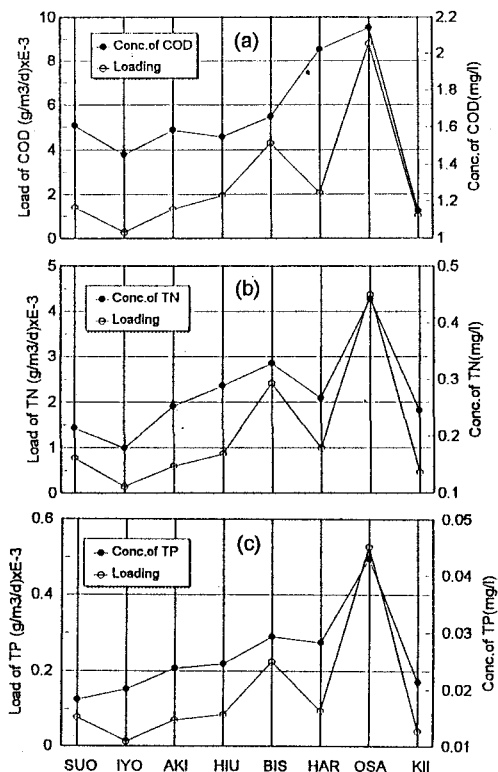


Fig. 8. Comparison of loading and water quality for COD, N and P in Seto-inland Sea.

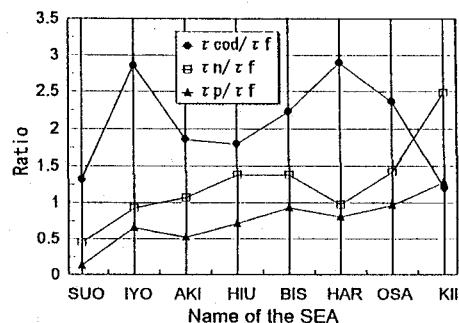


Fig. 9. Comparison of the retention time ratio between effluent and river discharger in Seto-inland Sea.

Table 6. Retention time of COD, TN, and TP in Seto-inland Sea.

Name of Sea	Volume ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	Mean of water quality(mg/l)			Retention time (day)			
		COD	TN	TP	τ_{cod}	τ_n	τ_p	τ_t
SUO	73,000	1.609	0.214	0.0183	434	147	42	332
IYO	211,000	1.452	0.179	0.0201	1575	510	364	551
AKI	51,000	1.584	0.252	0.0238	441	255	124	237
HIU	38,000	1.547	0.288	0.0246	284	218	113	158
BIS	13,000	1.656	0.328	0.0293	153	94	64	68
HAR	88,000	2.023	0.267	0.0283	499	168	138	172
OSA	42,000	2.142	0.442	0.0430	130	78	53	55
KII	87,000	1.148	0.245	0.0214	149	310	160	125

*) Background concentration (COD : 1.0, TN : 0.1, TP : 0.015)

3.2 水質項目相互の関係

昭和 62 年度において Fig. 2 に示す瀬戸内海灘別の各地点で調査された広域総合水質調査データ¹²⁾を基に、水質相互の関連性を検討した。その結果を Fig. 10(a) ~ 10(b) に示した。TP と COD の間には、頭打ちの傾向が見られ、内部生産の非線形性が伺える。TP と TN の間にもやや頭打ちの傾向があり、栄養塩の高濃度域は窒素制限に近づくものの、概ね $N/P = 7.2$ の線以上の範囲にあり、年平均的にみれば、瀬戸内海はほぼリン制限であると考えて良い。

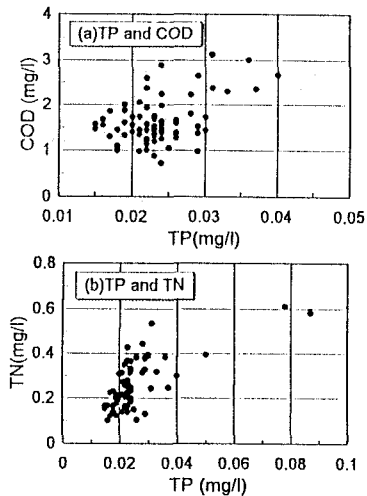


Fig. 10. Comparison of water quality items by observed data in Seto-inland Sea.

4. 水質予測モデルの計算

4.1 汚濁物質の拡散計算

拡散計算は、2次元2層の定常解モデルとして、各格子断面における15潮汐間の流量を正負それぞれの方向毎に合計した断面流量を用いた。水質拡散計算の対象項目はCl, COD, TN, TPである。簡便のため、TN, TPに関しても減少項は考慮せず、拡散係数を補正することで対応した。CODに対しては栄養塩からの内部生産を考慮した ΔCOD モデルを用いた¹³⁾。内部生産COD(ΔCOD)については、式(5)により求め、式(6)によりCODの値を計算した。

$$\Delta \text{COD} = \alpha p \cdot \text{COD}_p \quad \text{----- (5)}$$

$$\text{COD} = \text{COD}_b + \Delta \text{COD} \quad \text{----- (6)}$$

ただし、COD : 海域内でのCOD濃度の年平均値

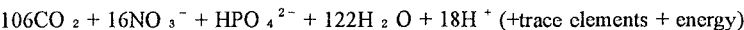
COD_b : 1次COD濃度(陸域由来のCOD流入負荷の拡散計算値)

ΔCOD : 内部生産COD濃度の年平均値

COD_p : 植物Planktonの生産反応式(7)より求めたTPから内部生産可能なCODの理論的最大濃度¹⁴⁾ $\text{TOD}_p = 143 \cdot P$, $\text{COD}_p = \text{TOD}_p / 2.26$

P : TP濃度の年平均値

αp : 変換率(実際に内部生産されるCOD濃度のCOD_pに対する割合)

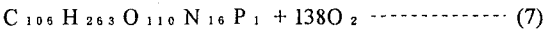


光合成

→

←

呼吸



なお、本モデルでは、 ΔCOD 中に内部生産以外の諸過程が含まれるものとして、1次CODの拡散計算にも減少項は設定していない。

4.2 水質拡散の計算結果

Fig. 11(a)～Fig. 11(c)は塩素イオンと栄養塩類の計算値をFig. 3に示した36ヵ所の実測値（環境庁²³⁾と比較して、再現性について検討した結果である。塩素イオンの再現性はほぼ十分であり、水質拡散計算は問題ないと考えられる (Fig. 11(a))。TNについては、やや高めであるが、平均的にみれば概ね再現性は良好である (Fig. 11(b))。TPの場合、実測値と計算値が0.02～0.03 mg/l間に集中している。一方、水質の実測値から多少離れている地点は、広島湾 (St.22) と大阪湾 (St. 7) の奥部の上、下層であり、これは、数値計算の格子が大きく地形的な影響を受けたことによるものと考えられる。

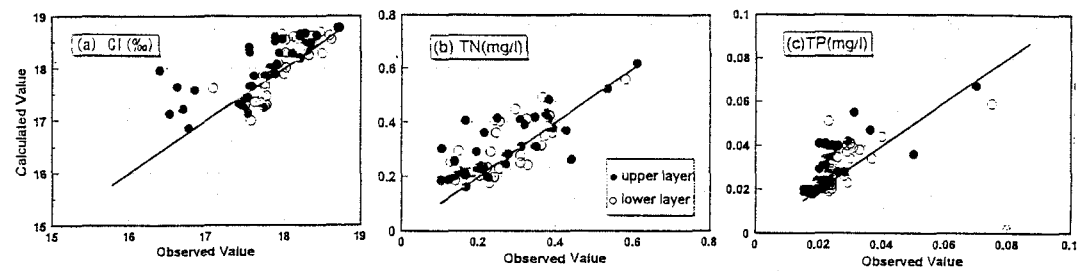


Fig. 11. Computed results of water quality by the numerical simulation in Seto-inland Sea.

4.3 CODの計算結果

海域水質の評価指標として用いられているCODのうち、内部生産由来CODを直接測定することは困難である。このため、本モデルでは、塩素イオン濃度の拡散計算結果により、再現性を確認した後、このモデルにより陸地からのCOD負荷に対応するCOD濃度の拡散計算を行い、その計算結果を一次CODすなわちCOD_bとした。次にCOD実測値とCOD_bの差を内部生産CODすなわちΔCODとした。このΔCODと実測のTP濃度との比率として変換率 αp を算出した。瀬戸内海の36地点について、灘毎にまとめた平均値として上下層の αp をTable 7に示す。これらの値には灘毎の特性が現れており、大阪湾、播磨灘で変換率が高い。また大阪湾、紀伊水道、燧灘では上層下層の差が大きい。生産段階での非線形性を反映させるのに、 αp をTP濃度の関数として表すことが提案されているが¹³⁾、今回は本表の値を各灘各層の αp の値をそれぞれ使用した。これらによって、計算した瀬戸内海のCODの実測値と計算値をFig. 12に示した。

Table 7. Average of the transform percentage (αp) with inner production of COD in Seto-inland Sea.

Name of Sea	αp (%)	
	upper	lower
SUO	36.1	21.7
IYO	31.7	21.9
AKI	28.3	16.7
HIU	18.9	1.1
BIS	0	13.7
HAR	52.5	36.5
OSA	50.2	0.1
KII	22.6	0
Average	30.0	13.9

5. おわりに

瀬戸内海を対象に、レベルモデルによる流量収支の算定、流入負荷量および水質データ解析による負荷に対する水質の応答特性について検討を行った。これを基としてΔCOD法による水質予測を試みた。その結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 各灘間の流量収支の計算結果より、ネット流量は豊後水道より流入して東流し、紀伊水道を通じて流出するパターンを示した。また、鉛直移流量については、伊予灘、周防灘、大阪湾で上向き、安芸灘、燧灘で下向きの流れであった。

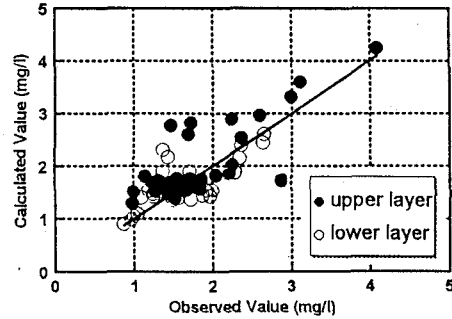


Fig. 12. Calculated results of COD concentration by the Δ COD simulation in Seto-inland Sea.

- (2) 瀬戸内海の難別流入負荷量を推定した結果より、点源性の負荷量が大部分を占めていることを示した
- (3) 容積負荷量と水質の関係、淡水流入量と塩分濃度の関係から、水質項目毎の滞留度 τ / τ_f を提案し、COD、TN、TP の順にみかけの滞留度が大きいことを示した。信頼性の高いデータが得られれば、滞留度は水域の環境容量の指標として有効であると考えられた
- (4) 大阪湾、播磨灘表層の変換率は高く、内部生産性が大きい。備讃瀬戸は表層においても内部生産性が小さい。

水質管理モデルに関しては Δ COD 法のような簡易なモデルが有益であるが、水・底質間の窒素、リンの挙動及び相互作用を含めたモデルと、魚を含めた漁獲変動生態系モデルなどのアプローチが必要と考えられ、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 合田 健：沿岸海域のN、P環境基準、水環境学会誌、Vol.16, No.8, pp.533, 1993.
- 2) 中村 充：水産土木学、工業時通信社、pp.508, 1979.
- 3) 野中 忠・村松高明・鈴木克宏・平井 享：浜名湖浅海開発工事の効果－海水交換について－、水産土木、No.10, pp.47-51, 1974.
- 4) 岸 道郎・池田三郎：赤潮生態系の数値モデル、沿岸海洋研究ノート、第22巻、pp.109-118, 1985.
- 5) Masahiko SEKINE and Hiroshi NAKANISHI : A Shallow-Sea ecological model using an object-oriented programming language, Ecological Modelling, 57, pp.221-236, 1991.
- 6) 武岡英隆：栄養物質負荷の変化に対する大阪湾の応答－Coastal Trappingによる物質輸送の非線形性－、1992年度日本海洋学会春季大会講演要旨集、213-214, 1992.
- 7) 上 真一：低次栄養段階における生物過程の時間的変動、沿岸海洋研究ノート、第30巻、第2号、165-176, 1993.
- 8) 武岡英隆：今後の物理学的沿岸海洋研究の展望、沿岸海洋研究ノート、30周年記念特別号、63-72, 1993.
- 9) 上嶋英機：瀬戸内海の物質輸送と海水交換に関する研究、中国工業技術試験所報告、第1号、179p. 1986.
- 10) 速水頌一郎、宇野木早苗：瀬戸内海における海水交換と物質拡散、第17回海岸工学講演会論文集、385-393, 1970.
- 11) 浮田正夫(1982)：わが国における窒素・リンの発生源構造と富栄養化の機構に関する基礎的研究、学位論文、151-168, 1982.
- 12) 環境庁水質保存局：広域総合水質調査結果、85-175, 1987.
- 13) 内田唯史、浮田正夫、関根雅彦、中西 弘：富栄養化海域の水質の非線形性とそのモデリングに関する研究、土木学会論文集、No.503 / II -29, 187-195, 1994.
- 14) 中西 弘、浮田正夫：環境における窒素、リンの収支、および水域の受容能力と対策、1982日本河川水質年鑑、863-880, 1983.