

豊川の流況変化が三河湾の海水交換に及ぼす影響把握 ～三河湾の海水流動シミュレーション～

Effects of Flow Change in Toyokawa River on Seawater Exchange in Mikawa Bay
-- Simulating the Seawater Flow in Mikawa Bay --

研究第三部 研究員 中野慎一
研究第一部 主任研究員 高木史人
研究第三部 次長 石川高史

三河湾は、東側の渥美湾と西側の知多湾からなる浅い内湾で、1970年頃から水質汚濁が顕著になった。これは流入負荷の増大等の他に、特に渥美湾の海水交換の悪いことが原因となっている。

海水交換を引き起こす要因には、潮の干満による潮汐流、海上風によって生じる吹送流、日射による海面の水温上昇及び河川等からの流入水に起因した密度流等がある。この中で、流出先が渥美湾である豊川の水資源開発等の水需要の増大による流況変化が、渥美湾の海水交換にどの程度の影響を与えるのか把握することが、今後の豊川の低水管理を行う上で必要となった。

本報告は、豊川の流況変化及びそれ以外の要因等が三河湾の海水交換に及ぼす影響について、流動モデルを用いたシミュレーションにより推定を行ったものである。

シミュレーションの結果、豊川の流量を20%増減させた場合において、海水流動の湾内断面通過流量の変化率は、最大でも3%程度にとどまることが明らかになった。

キーワード：三河湾、渥美湾、豊川、赤潮・青潮、富栄養化、海水交換、密度流

The Mikawa Bay is a shallow basin that is comprised with the Atsumi Bay on the east-side and the Chita Bay on the west-side. Water pollution became a serious problem in the Mikawa Bay area from around 1970. This pollution was due to the increased inflowing loads, and especially due to the poor seawater exchange in the Atsumi Bay area. Main causes to exchange seawater include tidal flow, drift current by marine wind, seawater surface heating by sun exposure, and density current by river-water inflow. This report focuses on the density current by river-water inflow among the causes.

The Toyo River is flowing into the Atsumi Bay. Simulation was conducted on effects of progress in water use and water resource development in the Toyo River water system on seawater exchange in Atsumi Bay.

As a result of the simulation, it was found that the maximum changes in the intra-bay cross-section flow would remain at merely 3%, even when the Toyokawa River flow is increased or decreased by 20%.

Keywords : Mikawa Bay, Atsumi Bay, Toyo River, Redtide, Bluetide, Eutrophication, Seawater Exchange, and Density Current.

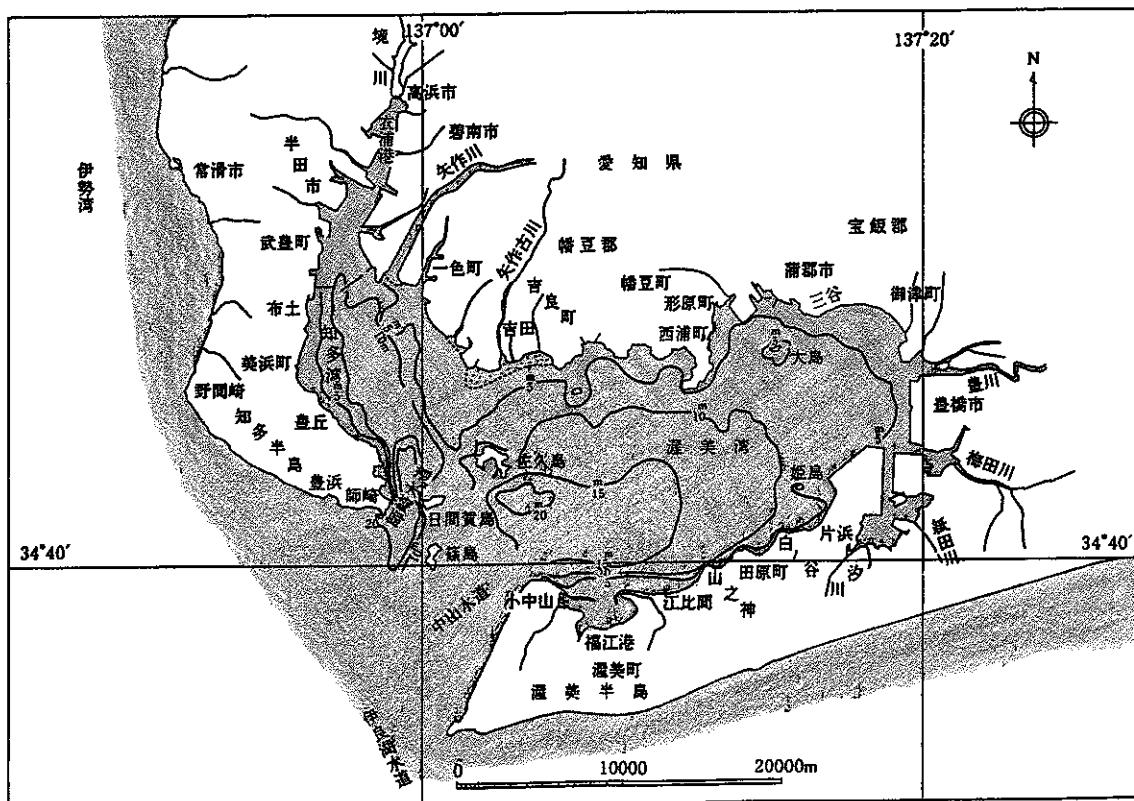
1. はじめに

1-1 三河湾の概要

三河湾は、伊勢湾の支湾で図1-1に示すような複雑な形を呈し、東西約35km、南北約15km、全面積約600km²、平均水深約10m、容積約5km³の浅い内湾である。湾中央やや西寄りにある佐久島によって知多湾と渥美湾に分けられる。両湾とも湾口に向かって水深を増し、知多湾口である師崎水道は、幅は狭いが水深は20mを超える。

三河湾には、主として愛知県全面積約5100km²の約7割を占める集水域から、年間約3.6km³の陸水が流入する。このうち約60~70%に相当する陸水が矢作川によって知多湾に注

いでいる。渥美湾に比して面積、容積ともはあるかに小さい知多湾のほうが流入量が大きいことは、外洋水の深層流入をそれだけ多く誘うことになる。この傾向は夏の雨季において特に顕著である。冬季においては、季節風が矢作川河口→師崎水道→伊良湖水道を指向して、表層水を湾外へと吹送する。したがって知多湾は、内外水が年中よく交換しているが、一方の渥美湾においては、内外水交換は活発ではない。これは地形的な原因の他に湾奥の河川、豊川から流入する水量が少ないことが原因であるといわれている。



(注) 佐久島の北西部は知多湾、東部が渥美湾

図1-1 三河湾の地形

Fig.1-1 Topographical Features of Mikawa Bay

1-2 三河湾の水質汚濁

富栄養化による赤潮の大発生等で、三河湾の環境悪化が社会的に注目されるようになったのは 1970 年頃からである。富栄養化の進行は、集水域内の畜産排水、工業排水、生活排水からの COD、窒素、リンの流入負荷が、経済の高度成長に伴って増えたことに起因している。この富栄養化による水質汚濁は、渥美湾において特に著しく、東京湾に匹敵するほどといわれている。しかし、汚濁負荷量を湾全体の面積あたりで比較すると、渥美湾は東京湾の 1/10 以下である。にもかかわらず、東京湾と同レベルまで水質汚濁が進んでいるのは、渥美湾奥部の水と外海の水との交換が非常に悪いことが主な原因となっている。

2. 赤潮・青潮の発生状況

2-1 赤潮

赤潮は、ある種のプランクトンが窒素やリン等の栄養塩類によって増殖し、濃密な群集を形成し海面等に集積する結果、海面等が桃紅色～茶褐色に変色する現象である。

魚介類の鰓等にプランクトンが付着し、魚介類を窒息死させる他、多量の赤潮生物が斃死してそれらが分解することにより、水中が無酸素化し、魚介類を斃死させる。

渥美湾の赤潮発生回数は、知多湾のほぼ倍程度となっている。昭和 51 年以降発生回数が急激に増加し、特に昭和 59 年～平成 2 年にか

けて非常に多くなっているが、平成 3 年以降は減少傾向にある。しかし、1 回あたりの平均発生日数は平成 3 年以降も増加傾向にある（図 2-1、図 2-2）。

2-2 青潮

青潮は、強風などにより表層の海水が沖へ運ばれたとき、底層の酸欠海水が沿岸一帯に湧き上がり、底層に含まれる硫化水素が酸化され、青色ないし白濁色を呈する現象である。

青潮の発生は、夏季における日射で表層海水の水温が上昇することで表層と底層の間に躍層ができ、これによって上層からの酸素の供給が遮断された状態で、多量の有機物等が海底に沈降・堆積し、それが分解される過程で酸素を消費するため底層が酸欠状態になることが条件となる。

青潮は、水中の酸素欠乏による魚介類の斃死や、底泥中からの硫化水素等の発生による魚介類の斃死をまねく。

渥美湾では赤潮発生の増加にともなって昭和 47 年頃から青潮の発生規模も拡大している。特に昭和 60 年には 24 回／年と最も多くなっているが、それ以降は減少傾向にある。しかし、平成 6～7 年には渥美半島沿岸域から渥美湾中央部海域へかけての広い範囲で発生しており、その発生規模も昭和 53 年ごろと同様、大規模なものとなっている（図 2-3、図 2-4）。

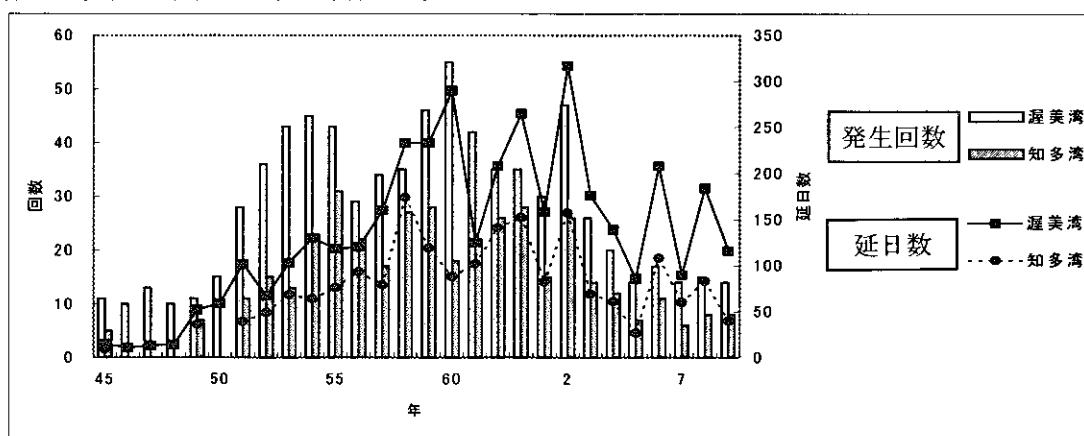


図 2-1 赤潮年別発生状況（回数・延日数）

Fig.2-1 Occurrence of Red Tide By Year (frequency, total days)

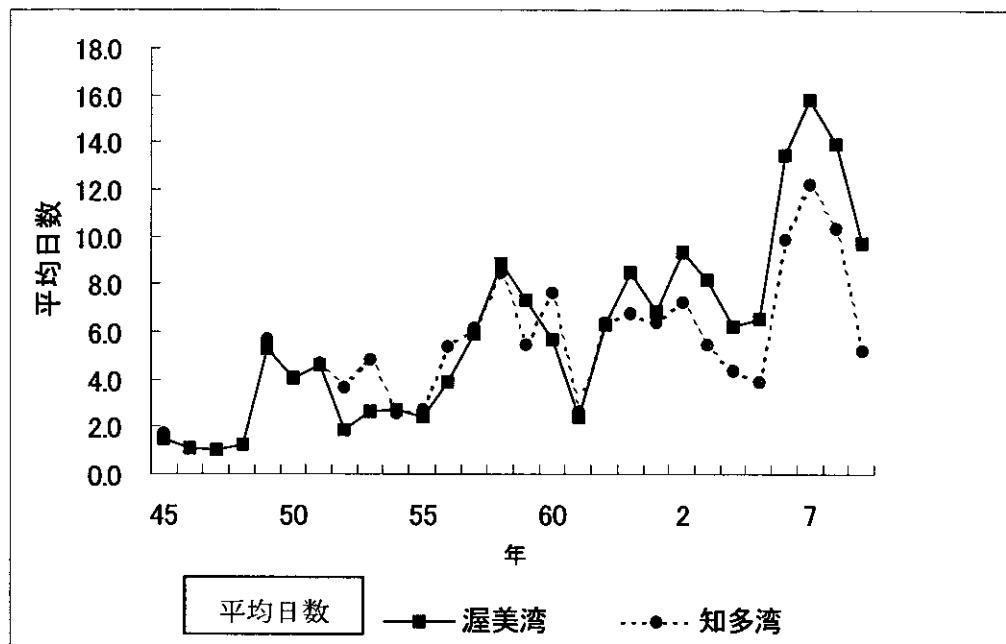


図2-2 赤潮年別発生状況（平均日数）

Fig.2-2 Occurrence of Red Tide By Year (mean days)

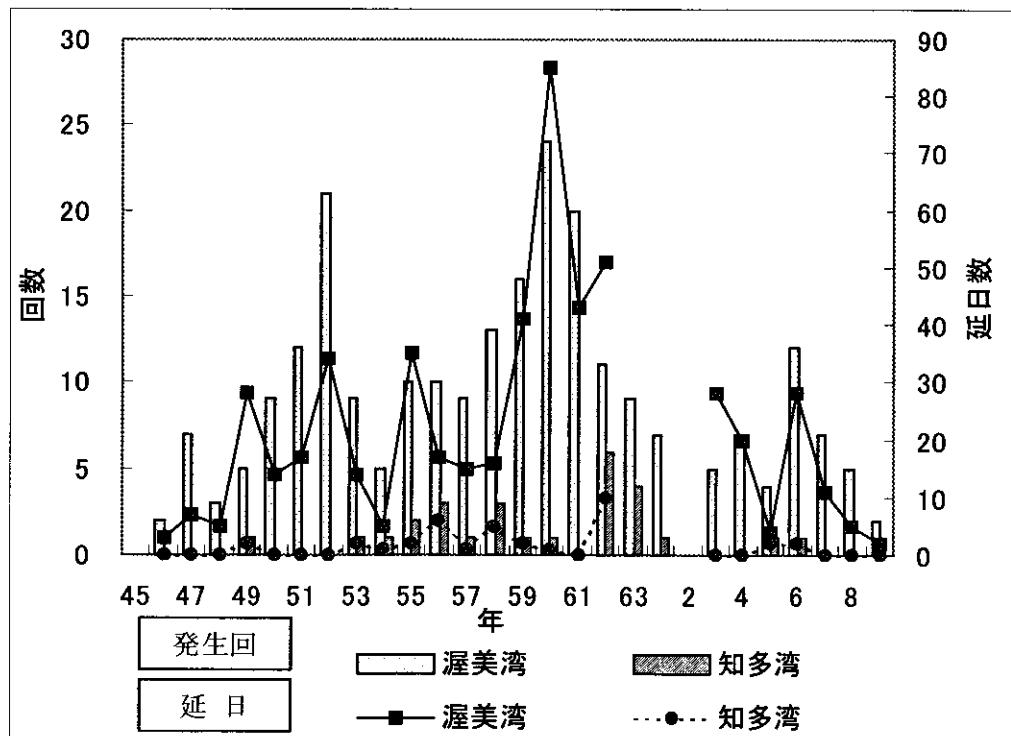


図2-3 青潮年別発生状況（回数・延日数）

Fig.2-3 Occurrence of Blue Tide By Year (frequency, total days)

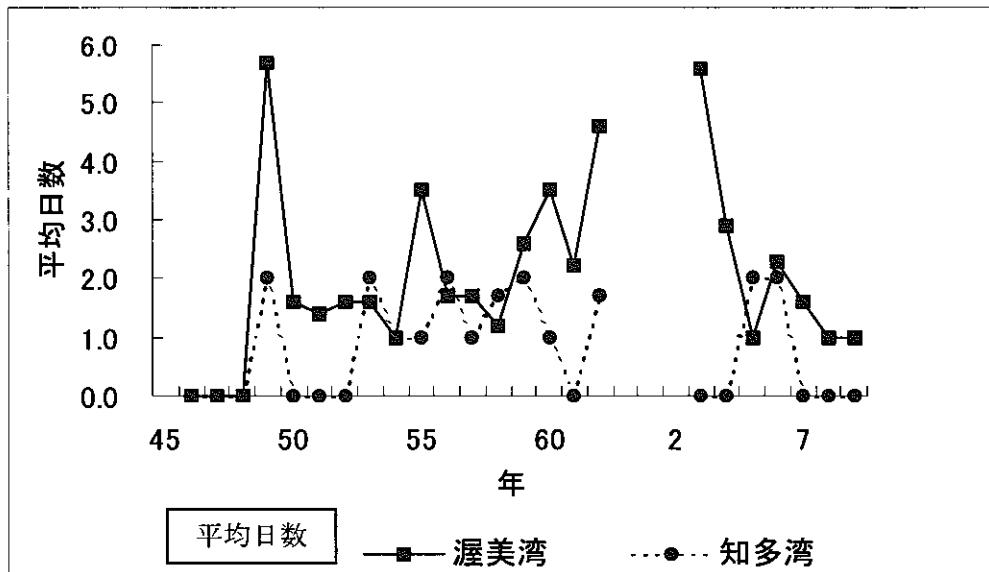


図2-4 青潮年別発生状況（平均日数）

Fig.2-4 Occurrence of Blue Tide by Year (mean days)

3. 豊川の流況変化等が三河湾の海水交換に及ぼす影響

渥美湾における赤潮・青潮発生の主たる原因は、図3-1に示すように整理できる。

本論では、これら主たる要因のうち、海水交換に着目する。海水交換は、様々な要因によって生じている。主な要因を以下に挙げる。
 ①潮汐流：潮の干満によって生じる海水の流れ
 ②吹送流：海上風によって生じる海水の流れ
 ③密度流：上層と下層の密度の違いによって生じる海水の流れ

このうち密度流は、日射による海面の水温上昇の他、河川からの流入水に起因している。

河川から流入する淡水は塩水に比べて軽い（密度が小さい）ため、湾の表層を冲合いに流れしていく。その際、下層に接している海水を取り込んで（連行加入）いく。このため取り込み・連行された海水を補うだけの外海水が、沖合いから下層を通って湾奥に供給される。

流出先が渥美湾である豊川の流況変化が、密度流すなわち渥美湾の海水交換に及ぼす影響を把握するため、流動モデルの数値シミュレーションを行った。また、流況変化の影響度を相対的に比較するため、密度流以外の要因（潮汐流、吹送流）についてもシミュレーションを行った。

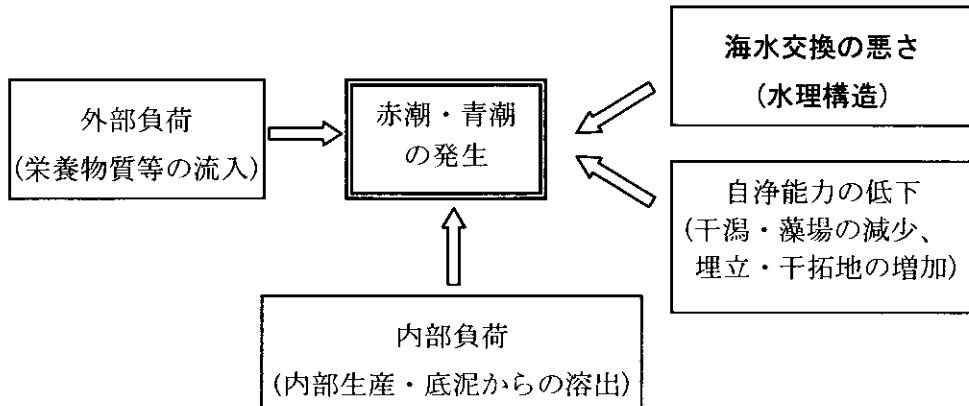


図3-1 赤潮・青潮発生の主たる要因

Fig.3-1 Major Factors that Cause Red/Blue Tide

3-1 解析方法及び条件

使用した数値モデルは、内湾域の流動を把握するために開発された「マルチレベル傾圧流動モデル」¹⁾で、内湾で生じる流動の主要因である潮流及び潮汐残差流、吹送流、密度流が計算できるモデルである。

解析に先立ち、現況の再現性を確認するため潮流樁円、水温及び塩素量について現況計算を行った。その結果、潮流樁円については観測データ（昭和 54 年）と計算値の一一致に若干のばらつきがみられるものの、水温及び塩

素量の観測データ（平成 7 年 6, 7, 8 月）と計算値の対応はよく、夏季の成層状態はシミュレーションで再現されているものと考えられた。したがって、本解析で対象としている密度流も再現できているものと判断できる。

計算では、水平方向 500m、鉛直方向 1.2~2.0m 間隔で格子分割し、特に鉛直方向の層を多く設定し、密度流及び吹送流の再現精度を高めるよう留意した。

なお、流動計算条件の一覧を表 3-1 に示す。

表 3-1 流動シミュレーションにおける計算条件

Table 3-1 Conditions to Compute Flow Simulation

格子幅	500m
鉛直層区分	第1層 : 0.0~1.2m 第2層 : 1.2~2.5m 第3層 : 2.5~4.0m 第4層 : 4.0~6.0m 第5層 : 6.0~8.0m 第6層 : 8.0~10.0m 第7層 : 10.0~12.0m 第8層 : 12.0~14.0m 第9層 : 14.0~16.0m 第10層 : 16.0~海底
対象季節	平成 7 年夏季（6、7 及び 8 月）
潮汐	M2 潮
風向、風速	三河湾周辺のアメダスデータより平均的な分布を作成
海上気温	25.3°C
雲量	0.65
相対湿度	77.7%
完全晴天時日射量	746.0 cal·m ⁻² ·day ⁻¹
太陽高度定数	0.33
コリオリ定数	$8.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
海面摩擦係数	0.0013
海底摩擦係数	0.0026
水平渦動粘性係数	$9.2 \times 10^4 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$
水平渦動拡散係数	$9.2 \times 10^4 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$
鉛直渦動粘性係数	乱流エネルギー モデルにより毎計算ステップで算出
鉛直渦動拡散係数	渦動粘性係数に関する Mamayev 定数 : 1.5 渦動拡散係数に関する Mamayev 定数 : 3.0 中立安定条件下の鉛直渦動粘性係数 : $0.01 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ 中立安定条件下の鉛直渦動拡散係数 : $0.01 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ 乱流プラントル数 : 1.0 Prandtl-Schmidt 数 : 1.0

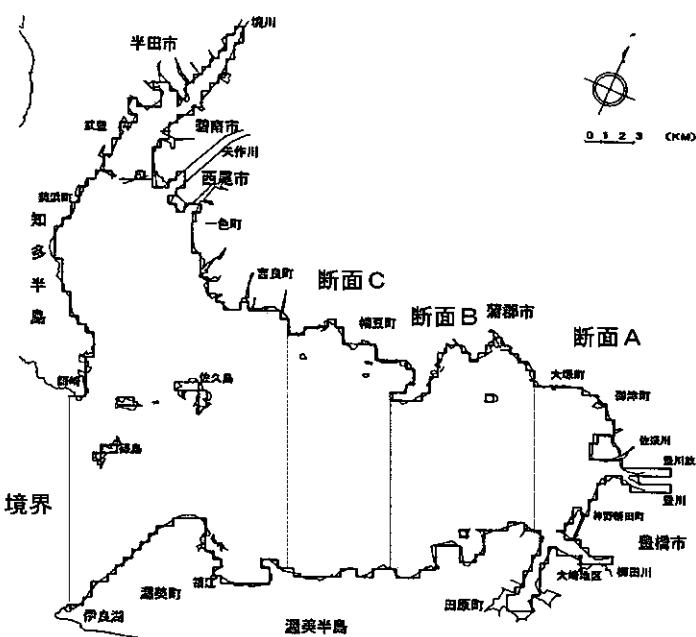


図3-2 断面通過量を算出した断面位置

Fig.3-2 Sectional Location Computing Sectional Passage Level

3-2 豊川の流況変化に関する計算結果

豊川の流量変化が、三河湾の流動環境へ及ぼす影響を把握するために、豊川の流量について現況の流量（平成7年6月～8月の平均）を基準として±10%及び±20%の流量を与えた4ケースの流動計算を実施した。各断面における流出量と豊川流量を比較した結果を表3-2に示す。これによると、豊川の流量に対して断面流出量は20倍（断面A）から最

大で80倍以上（断面C）となっている。

また、この時の断面流出量の現況からの変化量を豊川流量の変化量と比較した結果を表3-3に示す。断面流出量と豊川流量のそれぞれ変化量を比較すると、断面流出変化量は豊川流量変化量の3～9倍程度となっている。

しかし、断面流出の変化率をみた場合、最大でも3%程度の変化率にとどまっている。

表3-2 断面流出量と淡水流入量

Table 3-2 Sectional Loss of Flow (LOF) and Aquatic Inflow

		20%減	10%減	現況	10%増	20%増
豊川流量 (m ³ /日)		2,024,000	2,277,000	2,530,000	2,783,000	3,036,000
断面からの流出量 (m ³ /日)	断面A	50,552,010	51,406,456	52,178,797	52,938,148	53,463,265
	断面B	108,389,595	109,562,683	110,396,406	111,755,812	112,630,375
	断面C	177,414,963	179,419,007	180,693,790	182,934,416	184,389,355
流出量/豊川流量	断面A	25.0	22.6	20.6	19.0	17.6
	断面B	53.6	48.1	43.6	40.2	37.1
	断面C	87.7	78.8	71.4	65.7	60.7

注) 流出量は、各断面を通して湾口方向へ流れる海水の総量である。

表3-3 豊川流量及び断面流出量の変化率(%)並びに
豊川流量変化量に対する断面流出量の変化量

Table 3-3 Rate (%) of Change in Toyokawa River Flow and Sectional Loss of Flow (LOF) Level, and Level of Change in Sectional Loss of Flow over Change in Level of Flow of Toyokawa River

		20%減	10%減	現況	10%増	20%増
断面流出変化量/ 豊川流量変化量	断面A	3.2	3.1	—	3.0	2.5
	断面B	4.0	3.3	—	5.4	4.4
	断面C	6.5	5.0	—	8.9	7.3
断面流出変化率 (%)	断面A	-3.1	-1.5	—	1.5	2.5
	断面B	-1.8	-0.8	—	1.2	2.0
	断面C	-1.8	-0.7	—	1.2	2.0

一方、ダムの存在がダム下流の河川流量に及ぼす影響は、多量の降雨に伴う洪水時に最も大きいと考えられる。そこで洪水時を対象として、ダムの有無による豊川の流量変化が三河湾の海水交換に及ぼす影響について検討した。計算は、ダムが存在しない条件及びダムが存在する条件で算出された洪水時の流量について行った。対象とした洪水は、昭和44年8月の台風7号によって引き起こされ、大きな被害を引き起こしたものである。その時

の8月4日午前1時から8月6日24時までの3日間における1時間毎の流量を用いて、三河湾の海水交換の変化を計算した。結果は、表3-4ならびに図3-3に示す通りである(例として断面Cの結果を示す)。

各断面流出量は、豊川流量の変化と同様に、豊川流量ピーク時付近においては、ダム有りの条件の方がダム無しの条件より少なく、時間が経過するにつれダム有りの条件の方がダム無しの条件よりも多くなっている。

表3-4 豊川洪水時における三河湾海水交換に対するダムの影響
(1潮汐間平均断面流出量のダム有り/ダム無しの比率 %)

Table 3-4 Mikawa Bay Seawater Exchange During Toyokawa River Floods and How they Affect the Dam (% Rate of Dam Presence/Absence in Mean Sectional Loss of Flow during One Tide Table (Ebb/Full))

	変化最大時		洪水を挟んだ3日間 (8月4日～6日) の合計
	河川流量ピーク付近 (ダム有り < ダム無し)	洪水後 (ダム有り > ダム無し)	
断面A	88.0	111.9	98.5
断面B	89.2	109.2	99.6
断面C	89.3	106.7	98.5

3-3 豊川の流況変化以外の要因による影響

次に豊川の流況変化以外の要因による影響を見るために、以下に示す条件でシミュレーションを行った。

- ① 海上気温が5°C低下した場合
海水交換に対する海面水温上昇による海水成層の影響を検討する。
- ② 東風及び西風が風速4m/secで吹いた場合
海水交換に及ぼす海上風の影響を把握する。

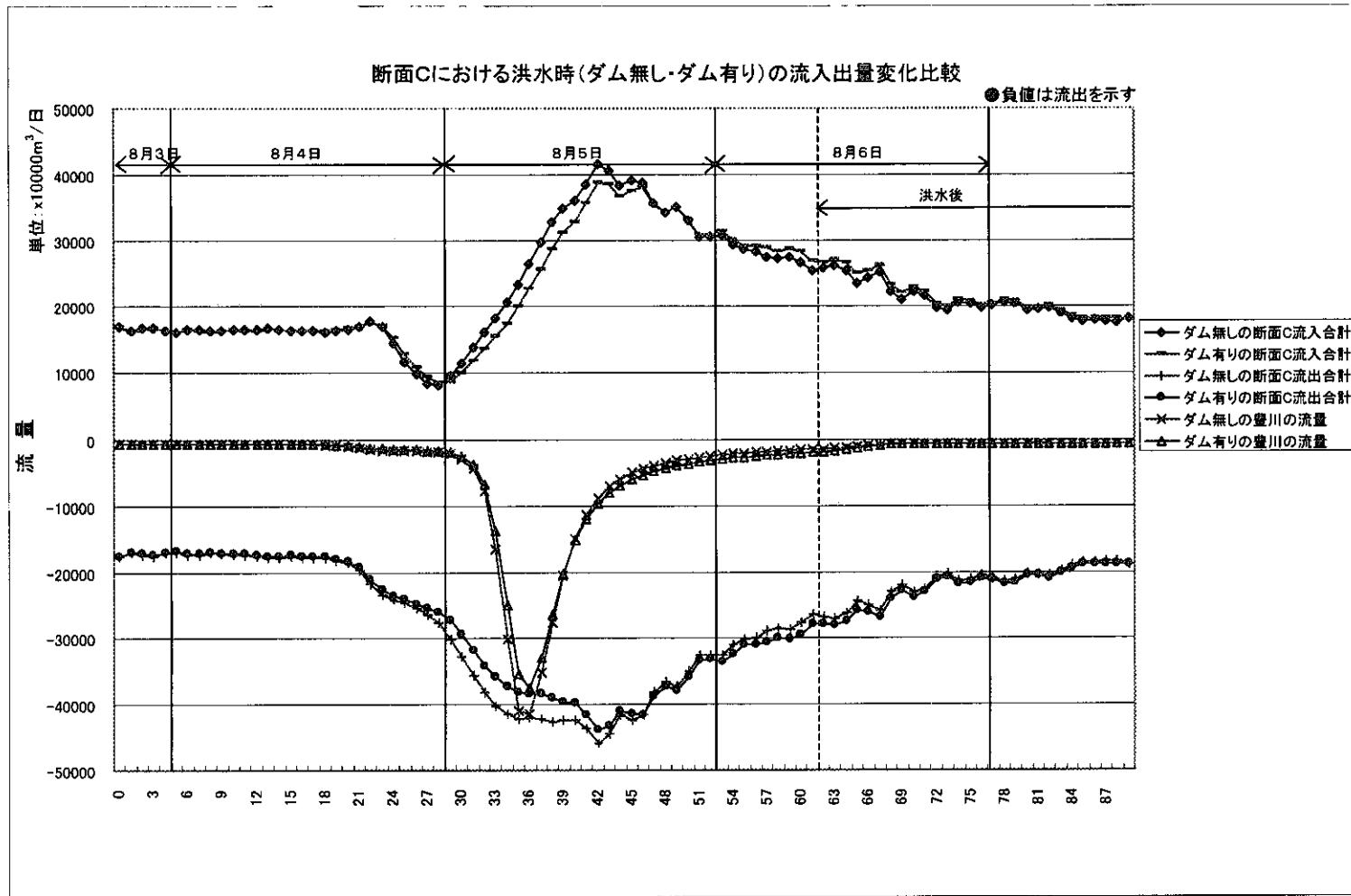


図3-3 洪水時におけるC断面通過流量の時間変化（断面通過流量は1潮汐間の移動平均、豊川の流量は時間値）

Fig.3-3 Time Change in C-Section Passage Flow During Flood
(Sectional Passage Flow is mean shift during one tide table; Toyokawa River flow in time value)

③ 潮汐運動がない場合

海水交換に対する潮流及び潮汐残差流を含む潮汐の影響を把握する。

これらは必ずしも実際に起こり得る事象

ではないが、豊川の流況変化との比較を行うことを目的に検討を行った。結果を表3-5に示す。

表3-5 断面流出量及び現況からの変化率

Table 3-5 Change Rate Seen in Sectional Loss of Flow and Current Situation

		現況	気温 5°C低下	西風 4 m/秒	東風 4 m/秒	潮汐なし
断面からの流出量 (m³/日)	断面A	-52,178,797	-66,636,684	-32,804,155	-101,663,940	-28,350,748
	断面B	-110,396,406	-133,953,261	-60,394,878	-213,788,673	-65,217,807
	断面C	-180,693,790	-172,265,233	-110,437,085	-505,644,005	-120,450,774
断面流出量変化率 (%)	断面A	0.0	27.7	-37.1	94.8	-45.7
	断面B	0.0	21.3	-45.3	93.7	-40.9
	断面C	0.0	-4.7	-38.9	179.8	-33.3

注) 流出量の値は湾口方向への流動を示す。

4. 考察

① 各断面における「流出量」と豊川の「流量」との比較

現況における各断面からの流出量は、豊川流量の20~70倍である。豊川流量が20%増えると、その比率は17~60倍、逆に20%減ると25~88倍程度になっており、豊川の流量が減った時の方がそれに対する断面流出量の比率が大きくなる傾向にある(表3-2)。

② 各断面における「流出変化量」と豊川の「流量変化量」との比較

各断面流出量及び豊川流量のそれぞれ変化量で比較してみると、断面流出変化量と豊川流量変化量の比率は、豊川流量が減った場合で3~7倍、増えた場合で3~9倍となっている(表3-3)。豊川の流量が増えた時の方がその変化量に対する断面流出量の比率は若干大きくなる傾向にあるが、あまり明確な差はない。

③ 各断面における流出量の「変化率」について

各断面における流出量について、それ自体がどの程度変化しているかを変化率で見て

みると、豊川流量が±20%変化した場合において最大3%程度の変化率となっている(表3-3)。つまり、豊川の流量が20%変化しても断面流出量は、現況の流出量に比べそれほど変化しないと言える。

④ 洪水時におけるダムの影響について

豊川洪水時において、ダムの存在による流量ピーク時付近の断面流出量減少率及び流量ピーク後の断面流出量増加率は、各断面とも1割程度となっている。また、洪水前の8月4日から洪水後にダムの影響がほぼ見られなくなる8月6日までの3日間の合計の断面流出量によって比較すると、ダムの有無による差は1%程度となっている(表3-4)。

⑤ 豊川の流況変化以外の要因による影響について

豊川の流況変化以外の要因による影響については、豊川流量の変化(最大20%)によって生じた断面流出量の変化率が数パーセントであったのと比較して、気温が5°C低下した場合では27%、西風4m/secのケースで45%、東風4m/secのケースでは180%といずれも大きな値となっており(表3-5)、

三河湾の海水交換にとって豊川からの河川水流入以外の要因は、ある程度大きく寄与していると考えられる。

以上のことから三河湾の海水交換は、豊川からの河川流入水のみによって引き起こされているのではなく、他の要因も存在すると考えられる。

5. 今後の検討課題

5-1 赤潮・青潮の発生と豊川の流況等との関わり、及び豊川の流況変化が三河湾の水環境に及ぼす影響について

夏季の解析によって、三河湾の流動に対する豊川の影響度はある程度把握できた。しかし、これ以上の定量的な検討や水質の検討には、現在のシミュレーションモデルでは限界があり、時系列データの入手とモデルへの適用等の課題を解決する必要がある。

5-2 三河湾における赤潮・青潮の発生状況に関する問題点・課題

①各年における赤潮の発生海域が不明確であり、海域毎の発生特性については把握できなかった。

②三河湾における赤潮・青潮の発生には、豊川以上にその他の各中小河川等からの流量、水質（流入負荷量）が大きく関与していると考えられるが、渥美湾に流入する各中小河川等については、流量・水質に関するデータのない河川が多い。

③豊川の感潮域等において考えられる赤潮・青潮発生対策について、その適用性、実施の可能性等に関わる検討を含め、今後検討する必要がある。

6. おわりに

本報告は、「平成10年度 豊川低水整備計画検討業務委託」の一部をまとめたものである。本報告をまとめるにあたり、建設省中部地方建設局豊橋工事事務所ならびに株式会社エコテクノロジー研究所 大槻氏にご協力をいただき、ここに深く謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 横山長之他：「海洋環境シミュレーション」白亜書房（1993）
- 2) 片田実：「海域における問題点とその対策」漁業と環境、水産学シリーズ 53、恒星社厚生閣（1984）
- 3) 三河湾研究会：「三河湾」八千代出版会（1999）
- 4) 松倉源造、樋口義治、小久保修身、田中良明：「東三河の環境問題」奥三河書房（1998）