

淀川流域圏の水環境と大阪湾への影響解析

WATER ENVIRONMENT OF YODO RIVER BASIN AND ITS IMPACT ON WATER QUALITY IN THE OSAKA BAY

西田修三¹・北畠大督²・入江政安³

Shuzo NISHIDA, Daisuke KITABATAKE and Masayasu IRIE

¹正会員 工博 大阪大学大学院助教授 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

²学生会員 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

³正会員 博(工) 大阪大学大学院助手 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

To clarify the influence of the population increase and the urban development in the Yodo River basin on the water environment of the basin area and the Osaka bay area, at first we collected present and past data of the distribution of population and the land use in the basin, and made GIS data. Water qualities were calculated by using the grid-base model with the GIS data. We proposed some measures scenarios toward environment conservation and urban renaissance, and evaluated the effect on the water environment of the basin area.

It was found that the water quality of the Yodo river basin will hardly be improved in the future though that has been considerably improved in the past 30 years. As the result of evaluating the effects of the measures scenarios, the inflow load to the Osaka bay hardly change in any case.

Key Words : Yodo River basin, Osaka bay, Grid-base model, Water quality, Basin management

1. はじめに

8,240km²の流域面積を有する淀川水系は、上流に琵琶湖を、その下流には大阪と京都の二大都市を抱える一級河川であり、関西地域の社会と経済の基盤を支えている。平均流量300m³/sに上る高負荷の淀川河川水は大阪湾奥部に注がれ、著しく水質の悪い大和川とともに、大阪湾に大きな環境負荷を与えている。1950年代の高度経済成長期に流入負荷量が急増し、1970年にピークを迎え、その後、1979年の総量規制の実施により急減し、淀川下流域（伝法大橋地点）のBODはピーク時の約10mg/Lから現在は4mg/Lと大きく改善された。しかし、この流入負荷量の減少ほどには大阪湾沿岸の水質改善は進まず、未だに赤潮の発生が続き、近年は青潮も度々観測されている。これは、大阪湾の有機物に占める内部生産の割合が大きいことや、埋立による浅水域の消失や停滞水域の増加等により沿岸域の水質が悪化したことが原因と考えられる。

本研究では、淀川流域の人口増加や都市開発が流域環境、ひいては、大阪湾の水環境にどのような影響を及ぼすかを明らかにするために、まず、現在および過去の流域環境データの収集とGIS化を行った。あわせて、人口推計資料等を基に予測された将来の流域人口分布や土地



図-1 淀川流域圏

利用データのGIS化も行い、水文・水質モデルを用いた流出解析により、淀川流域圏と大阪湾の水環境の変遷を明らかにするとともに将来予測を行った。また、流域環境の保全や再生に向けて提案された施策シナリオが、流域の水環境に及ぼす効果について評価も行った。

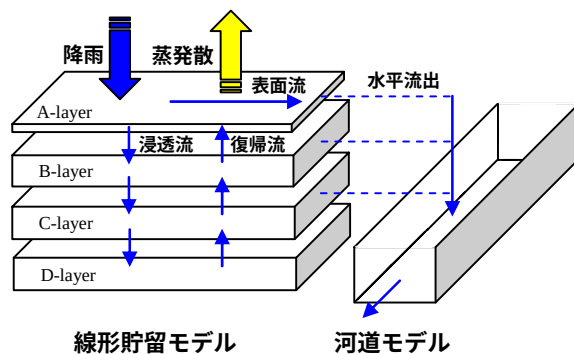


図-2 モデル概要

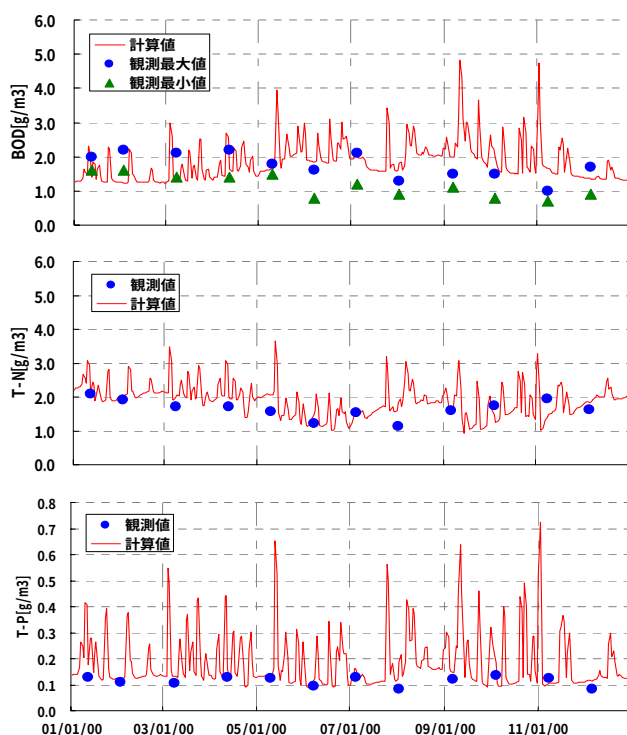


図-3 BOD, T-N, T-Pの計算結果

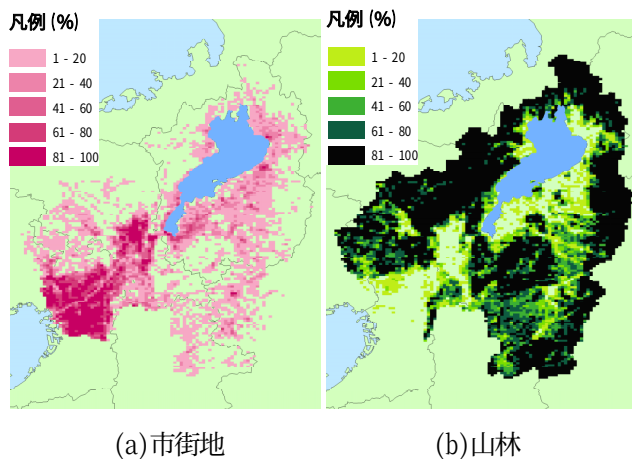


図-4 土地利用GISデータ

2. モデル概要

(1) グリッドモデル

水平方向には分布型のグリッドモデルを採用し、図-2に示すように鉛直方向には4層の線形貯留モデルを適用した。モデルの基本構造は、小尻ら¹⁾によって開発されたモデルと同様である。グリッドサイズは1km×1km、総数8242個（琵琶湖を除くと7557個）である。土地利用の状況は「山林」「水田」「畑」「市街地」「水域」「その他」に分類し、各グリッド上の面積率（%）として数値化した。落水線は、低平地等においても計算が可能なように、国土数値データの流路位置および流域界データを基に定義した。

(2) 水文モデル

降水量からグリッド毎に算出された蒸発量を減じ、有効降雨量とした。グリッドの表面流およびA層にはkinematic waveモデルを適用し、B～D層には線形貯留モデルを適用した。土地利用状況の差異は表面流およびA層に考慮される。水田は灌漑期と非灌漑期を計算に反映させるため、表面流とA層にタンクモデルを適用した。また、グリッド中央に仮想河道を設定し全流出量を流入させ、その河道流量をグリッドの流出量として算定した。各層の飽和水量を上回った差分は上層に復帰させ、A層の飽和水量の差分は表面流に流下させた。

琵琶湖および流域ダムからの放流に関しては、流量制御を考慮したモデル²⁾も提案されているが、今回は実際の放流量を境界条件として与えた。また、流域には取水地点および排水地点も設置し流入流出を考慮している。

気象データは、10ヶ所のSDP観測データをティーセン法により各グリッドに割り振った。

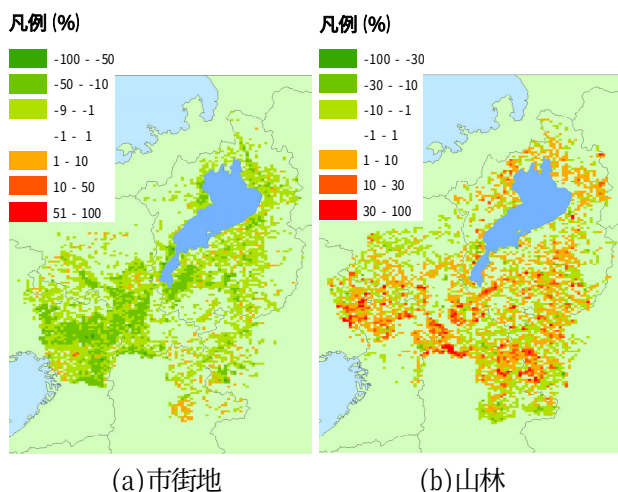
(3) 負荷量の算定

負荷量算定には幾つかの方法が提案されているが^{3),4)}、ここではL-Q式によって負荷量の推定を行った。流域内の各水質観測点の観測データを基に、土地利用別にL-Q式を求め、BOD、T-N、T-Pの負荷量を推定した。また、人口増加に対応させて将来の下水道普及率を予測し負荷量計算に反映させた。2000年の水質（BOD、T-N、T-P）の計算結果を図-3に示す。水質観測が実施されている平水時の計算結果を見る限り、再現性は良好と考えられる。

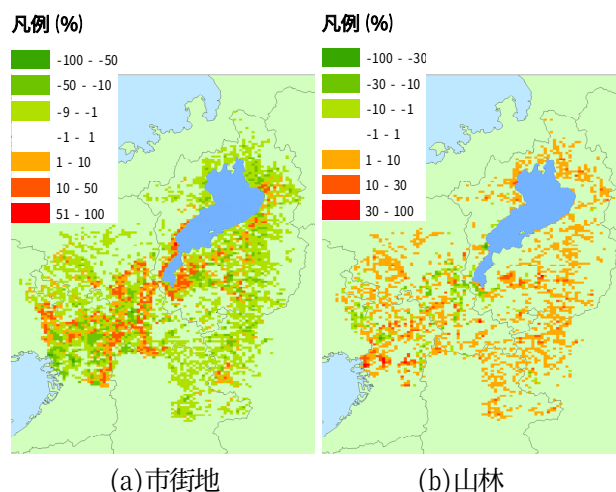
3. 流域の水環境の変遷と将来予測

(1) 土地利用状況の変化

淀川流域の土地利用の変化が水環境に及ぼす影響を明らかにするために、1970年（過去）、2000年（現在）、2035年（未来）を対象にシミュレーションを実施した。2035年



(a)市街地 (b)山林
図-5 土地利用の変化(1970～2000年)



(a)市街地 (b)山林
図-6 土地利用の変化(2000～2035年)

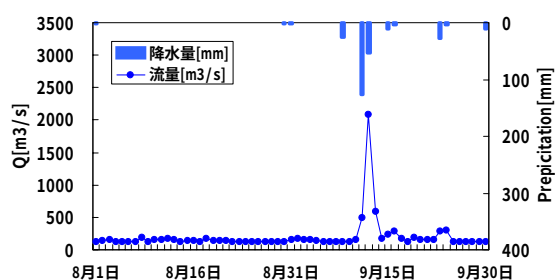
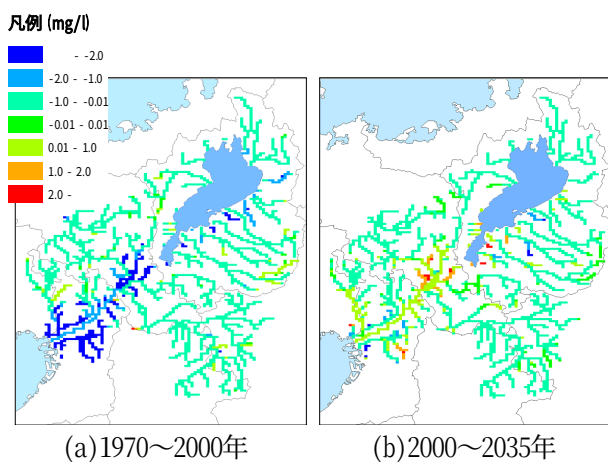


図-7 流量と降水量(枚方,2000年)



(a)1970～2000年 (b)2000～2035年
図-9 BODの変化量

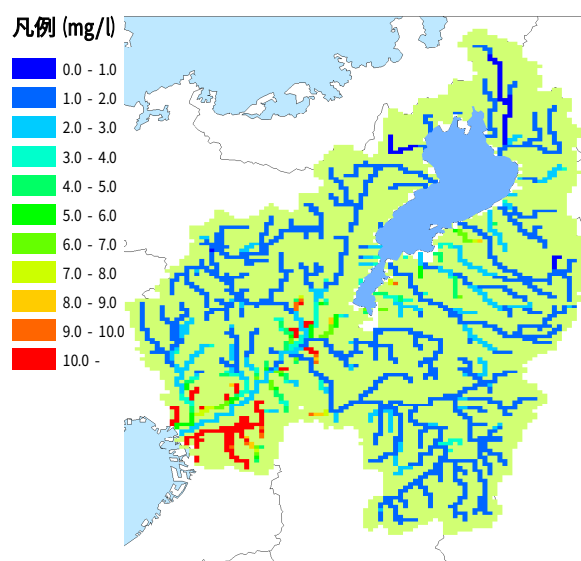


図-8 2000年のBOD分布

(2) 計算結果

図-7に示すように、一度の出水(2100m³/s)があった2000年8月11日～9月30日の51日間を対象に水質シミュレーションを行った。一例としてBODの計算結果を図-8、図-9に示す。図-8は2000年のBOD分布を、図-9は2000年を基準としたBODの変化量(負値が改善)を表している。

BOD濃度は、計算期間のBOD輸送量を総流量で除した平均濃度で示している。2000年の流域全体のBODの平均濃度は2.2mg/L、1970年のBODの濃度平均は3.2mg/Lであり、1970年から2000年にかけて全体的にBOD濃度の低下が見られた。淀川河口部では1.0mg/L程度の水質改善が確認された。2035年にかけての流域全体のBOD平均濃度は2.15mg/Lであり、水質変化はほとんど見られなかった。

図-10は、代表地点のBOD濃度を示したものである。BOD濃度は桂川で高く、木津川で低く、淀川本川では大きな水質変化は見られない。このような傾向はどの年も

については、国立社会保証・人口問題研究所の2030年の人口推計値と、過去の土地利用状況の変動傾向を基に予測しGIS化を行った。作成した現在の土地利用GISデータを図-4に示す。また、図-5、図-6にはそれぞれ土地利用の変化を図示した。淀川流域全体でそれぞれの占める割合は、1970年には市街地10%、森林59%、農地17%であったが、2000年には13%、58%、15%、さらに2035年には12%、59%、13%と変化している。大阪、京都を抱える下流域では、過去30年間に都市化が進行したが、森林が大半を占める琵琶湖上流域ではほとんど変化は見られない。

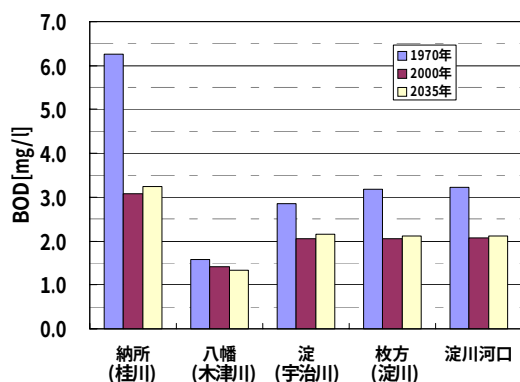


図-10 流下方向の水質変化

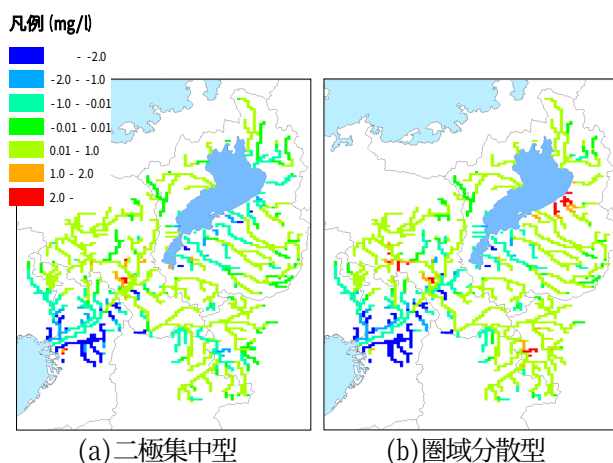


図-12 BODの変化量

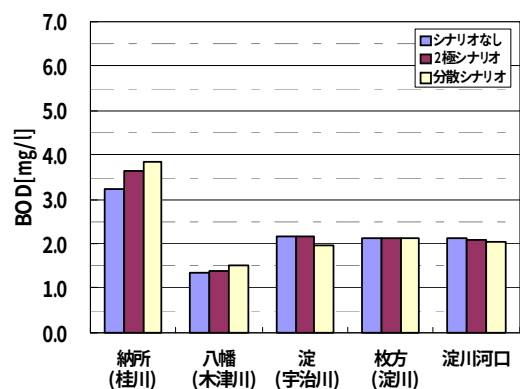


図-13 流下方向の水質変化

表-1 施策シナリオ

二極集中型	圏域分散型
大阪市と京都市を流域圏の社会活動の核都市として設定し、周辺で人口を増加させるシナリオ。主として、大阪の都心6区（北区、中央区、福島区、天王寺区、西区、浪速区）及び京都の都心4区（上京区、中京区、下京区、東山区）の発展を想定している。	二極集中型シナリオの大阪市と京都市に加えて、高槻市、大津市、彦根市を新たな拠点とし、計5都市を流域圏の社会活動の核都市として設定し、周辺で人口を増加させるシナリオ。

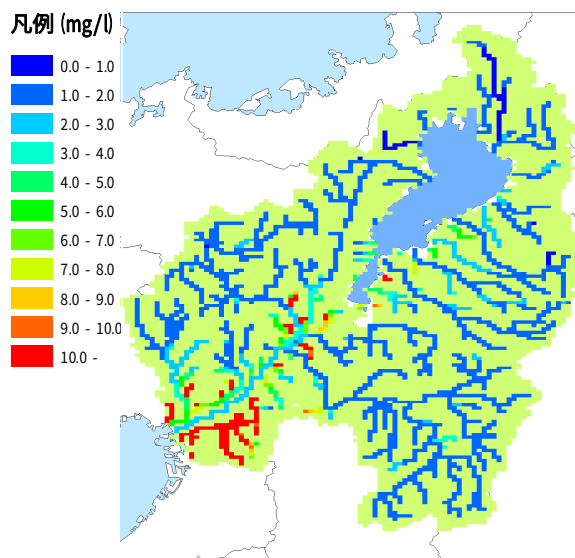


図-11 BOD分布(2035年)

同じであるが、図-9の平面分布にも見られるように、1970年から2000年にかけて桂川の納所地区でBODが約50%改善され、その影響が本川下流域に及び約30%のBODの低下が見られる。この桂川の水質改善は、下水道の整備によるところが大きいと考えられる。2000年～2035年のBOD濃度の変化は小さく、下流域では僅か0.1mg/L程度であることがわかる。

4. 施策シナリオに対する水環境評価

(1) 施策シナリオ

筆者らが参画した研究プロジェクト⁵⁾において、流域環境の保全と改善に向けて、幾つかの誘導型施策シナリオを提案し、その効果の検証を行っている。流域圏の都市再配置や土地利用誘導等を考え立案された、二極集中型、東海道集中型、圏域分散型、農村回帰型の4つの施策シナリオについて、道路交通、都市気象、生態系、大気環境、水環境についてその効果を評価し、また、流域の森林管理についても、水土保持型、生物多様性保全型、二酸化炭素吸収促進型の3つの管理施策について検討を行っている。シナリオの検討結果の詳細は研究プロジェクト報告書⁵⁾にまとめられている。ここでは、そのうち都市化に係る表-1に示す2種類のシナリオ（二極集中型、圏域分散型）について、解析結果を述べる。

(2) シナリオの評価

前章でも解析した2035年のBOD濃度の将来状況（施策を講じない自然発展型）を図-11に、二極集中型および圏域分散型シナリオの施策を行った場合のBOD濃度の変化量を図-12に示す。流域全体のBOD平均濃度は、二極集

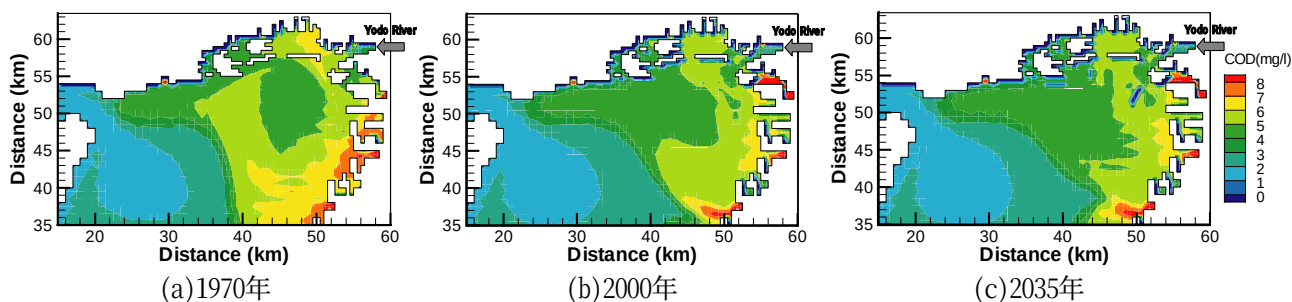


図-14 大阪湾奥部の表層COD分布

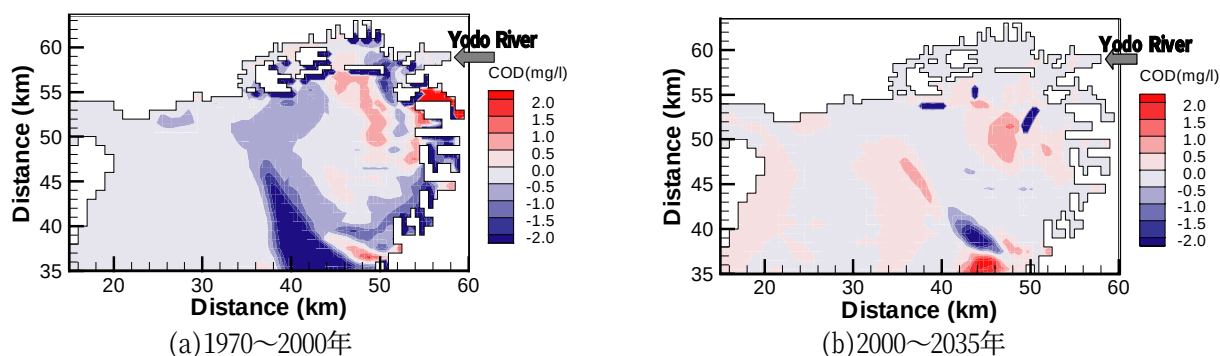


図-15 大阪湾奥部のCOD変化量

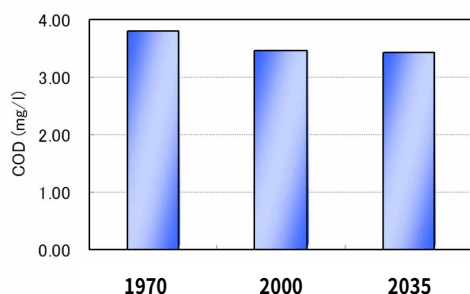


図-16 大阪湾全域のCOD平均濃度

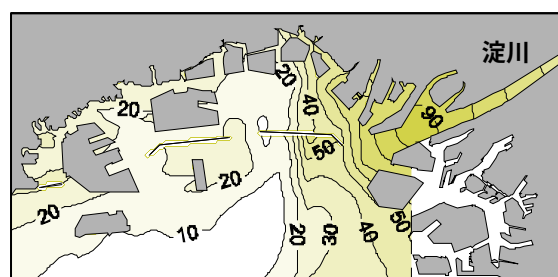


図-17 陸起源有機物の堆積割合(%)

中型で0.07mg/Lの減少、圏域分散型で0.02mg/Lの減少を示した。計算で得られた代表地点の濃度を図-13に示す。二極集中型では桂川のみに影響が現れ約10%の濃度上昇が生じたが、圏域分散型では桂川と木津川において悪化し宇治川では改善傾向がみられた。桂川においてシナリオの影響が大きく現れたのは、市街化率の変化に起因している。市街化面積の増加による都市化は、負荷量の増加を生じる。本モデルでは人口増加に対応させて下水道普及率を向上させているが、その効果を上回る負荷の増加が生じたことを意味している。しかし、いずれの場合も淀川下流域への影響は少なく、大阪湾への流入負荷はほとんど変わらなかった。

流域全体の平均として水質を捉えた場合には、二極集中型の流域構造が他の3つのシナリオに比べて最も水質改善の効果が大きかった。二極集中型シナリオでは上述のように局所的な水質悪化は見られるが、流域の面源負荷の減少による効果が大きく現れ、平均濃度としては約3.7%の改善効果が現れた。

5. 大阪湾に及ぼす影響解析

(1) 水質シミュレーション

淀川流域における土地利用の変化が大阪湾の水質に及ぼす影響を確かめるために、1970年、2000年、2035年を対象に水質のシミュレーションを実施した。1970年の計算では、海岸地形を当時の地形に戻し、水文モデルによって得られた淀川下流端における流量および水質を境界条件として与えた。底質については当時の詳細なデータがないため、現状値を与えた。また、2035年の将来予測計算においては、1970年の計算と同様、底質については現状のままとし、流入負荷については人口や下水処理等の将来予測値を基に計算された水文モデルの計算結果を境界条件として与えた。なお、地形については神戸空港や関西空港の埋立拡張等の新規埋立地を考慮した。ただし、計算結果の図化においては簡単のため現況地形で示している。大阪湾の流動と水質の3次元計算には、入

江ら⁶⁾のモデルを使用している。

流域と閉鎖性水域の環境改善政策の検討ツールとして、同様のモデル研究が東京湾においてもなされている⁷⁾。

(2) 計算結果

図-14に大阪湾の表層COD分布を示す。どのケースにおいてもCOD分布は潮汐フロントの存在する水深20mの等深線より東側の海域で高くなっている。特に尼崎西宮芦屋港、堺泉北港沿岸において高い値を示すことがわかる。

CODの濃度変化量（負値が改善）を図-15に示す。1970年に比べると2000年には埋立により河口位置や海岸線が沖合に前進し、湾奥部で形成されていた循環流が湾央に向けて移動したことが流動の計算結果から確認された。この影響により河口より沖合数kmの範囲でCODが増加したものと考えられる。しかし、他の海域ではCOD値は減少傾向を示し、陸域からの負荷の減少が水質改善に僅かではあるが貢献していることがわかる。

2000年から2035年にかけては、神戸空港の建設や関西空港の拡張などの新規埋立により、それらの周辺海域でCOD濃度の増減がみられる。しかし、流入負荷の減少が小さくほとんど変化がなかったため、水質改善は認められない。図-16に大阪湾全域のCODの平均濃度を示す。この結果からも、将来に向けてほとんど水質改善が進まないことがわかる。

前章で評価を行った2つの施策シナリオを含む、4つすべてのシナリオについて計算を行った結果、淀川流域の土地利用や人口分布の変化等は、大阪湾の水質にはほとんど影響を及ぼさず、むしろ沿岸地形の改变に伴う流動変化や底質改善の方が大阪湾の水質に大きく作用することがわかった。

(3) 流出有機物の影響

淀川から流出した陸域起源の有機物の挙動を知るために、底質調査を2004年に実施した⁸⁾。河口沿岸域で採取された底泥の炭素安定同位体比より陸起源有機物(27‰)と海起源有機物(20‰)の混合比を算定し、それを陸起源有機物の堆積割合と考えて図示したのが図-17である。

この結果を見ると、陸起源有機物の影響域は淀川河道部と沿岸数kmの範囲に限られ、ほとんどの陸起源有機物がこの領域で沈降堆積し、CODにも増して大阪湾全域への影響は極めて小さいことがわかる。

6. おわりに

本研究ではグリッドモデルを用いた流出解析により、淀川流域圏と大阪湾の水環境の将来予測を行うとともに、流域環境の保全や再生に向けた誘導型施策シナリオの効果について評価を行った。得られた主要な結論は以下のとおりである。

(1) 大阪、京都を抱える下流域では、過去30年間に著しく都市化が進んだが、森林が65%を占める琵琶湖上流ではほとんど変化は見られない。

(2) 1970年から2000年にかけてほとんどの地域でBODの低下が見られ、特に水質悪化が進んでいた桂川流域において著しい水質改善が認められた。その結果、本川下流域においてもBODが約30%低下した。

(3) 二極集中型の流域構造が他のシナリオに比べて最も水質改善の効果が大きかった。しかし、いずれの場合も淀川下流域への影響は少なく、大阪湾への流入負荷の変化はほとんど見られなかった。

(4) これまで陸域からの負荷の削減が大阪湾の水質改善に僅かながら貢献してきたが、将来に向けては流入負荷の減少がほとんど見込めず、水質改善は進まないと予測される。

(5) 淀川流域の土地利用や人口分布の変化等は、大阪湾の水質にそれほど大きな影響を及ぼすことはなく、むしろ地形改变や底質改善等の方が大阪湾の水質を大きく変化させる。

謝辞：本研究の一部は環境技術開発等推進事業（自然再生型流域圏・都市再生技術研究：研究代表者 加賀昭和）により実施したものであることを報告するとともに、ご協力頂いた方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小尻利治・東海明宏・木内陽一：シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発，京都大学防災研究所年報，第41号B-2，pp.119-134，1998。
- 2) 佐山敬洋・立川康人・寶馨：ダム群流況制御を考慮した広域分布型流出予測システムの開発，京都大学防災研究所年報，第47号B，pp.1-16，2004。
- 3) 野村佐和美・野口正人・西田渉・水野良宣：GISデータを用いた非点源汚濁負荷流出量の予測と評価，水工学論文集，第47巻，pp.1021-1026，2003。
- 4) 野原昭雄 他：グリッドベースの分布型汚濁負荷流出モデルの開発と適用，水工学論文集，第47巻，pp.1027-1032，2003。
- 5) 加賀昭和 他：流域圏自然環境の多面的機能の劣化診断手法と健全性回復施策の効果評価のための統合モデルの開発，環境技術開発等推進事業研究開発成果報告書，258p，2006。
- 6) 入江政安・中辻啓二・西田修三：大阪湾における貧酸素水塊の挙動に関する数値シミュレーション，海岸工学論文集，第51巻，pp.926-930，2004。
- 7) 安間智之・小路剛志・伊藤弘之・藤田光一：流域水物質循環モデルを用いた東京湾と流入河川における水質変遷再現について，水工学論文集，第50巻，pp.1381-1386，2006。
- 8) 西田修三・入江政安・中辻啓二：大阪湾奥部沿岸域における懸濁態物質の挙動と底泥特性，海岸工学論文集，第53巻，pp.991-995，2006。

(2006.9.30受付)