

# 大阪湾沿岸域の地形改変が港域スケール・湾灘スケールの物質循環に及ぼす影響解析（その2）

中谷祐介<sup>1)</sup>, 西田修三<sup>2)</sup>

1) 大阪大学大学院工学研究科 助教

2) 大阪大学大学院工学研究科 教授

## 1. はじめに

大阪湾奥部では、古くは江戸時代以前より干拓による埋め立てが行われていたが、戦後の高度経済成長期の港湾整備と沿岸開発により自然海浜はほぼ消失した。沿岸域には人工島を含む複雑な閉鎖性水域が出現し、現在、富栄養化や貧酸素化など水環境の劣化を引き起こしている。しかし、沿岸地形の変化に起因した水質劣化機構については未だ明らかにされていない。

これまで、埋め立て等の事業では周辺海域の水環境への影響評価にとどまり、湾全域におよぶ流動構造や物質循環への影響についての評価はなされてこなかった。しかし、事業の周辺海域への影響は軽微であっても、例えば湾灘間の物質輸送量に大きな影響を及ぼす可能性も考えられる。地形変化にともなう流動構造や水交換への影響に関する研究は過去にいくつか存在するが、物質循環の視点から港域スケールおよび湾灘スケールの水環境への影響に着目した研究はほとんどみられない。

研究代表者らはこれまで大阪湾における栄養塩の収支・循環の定量的解明に向けて研究を進めてきた。本研究課題の開始年である平成 26 年度には、地形改変による流動場への影響に着目した解析を行うとともに、海域への栄養供給機構のうち未だ定量的データの蓄積が乏しい地下水の海底湧出に伴う栄養塩負荷の算定に向けた現地調査を行った。

2 年目である平成 27 年度は、北部港湾域において現地調査により水質・底質特性を明らかにし、さらに三次元数値シミュレーションにより大阪湾沿岸の地形改変が港域スケール・湾灘スケールの水質構造と物質循環に及ぼす影響を明らかにすることを目的として研究に取り組んだ。紙面の都合上、本稿では水質問題が顕在化する夏季を対象とした数値シミュレーションの結果を抜粋し報告する。

## 2. 方法

大阪湾沿岸域の地形改変が港域スケール・湾灘スケールの水質構造と物質循環に及ぼす影響について、三次元流動モデルおよび物質循環モデルを用いた数値解析を行った。2ヶ月間の助走計算期間の後、2012年9月1日～9月30日の1ヶ月間を解析対象期間とした。現況の再現計算に対して、地形条件のみを埋め立てが進行していない1930年代の条件に変更した計算を行い、現況地形（2012年）の結果と比較することで地形改変による影響を評価した。

流動計算には準三次元モデル ECOMSED、水質や物質循環の計算には RCA を用いた。計算領域は隣接海域との交換過程を考慮して大阪湾、播磨灘、紀伊水道とした。埋め立てにより複雑化した海岸地形を十分解像できるように、水平格子は湾奥部で 250m、それ以外で 1000m の直交格子を用いた。鉛直方向には 15 層等分割の  $\sigma$  層を用いた。

気象条件のうち、気温、相対湿度、海面気圧、雲量、降水量、全天日射量について

は、気象庁による毎時の地上気象観測データを時間方向に線形補間し、計算領域内で一様に与えた。風場については流動場は無視できない影響を及ぼすため、沿岸に位置する 19 地点の気象庁測候所における毎時観測データより、時空間分布を考慮したデータセットを作成し与えた。

陸域からの流入条件については、平成 25 年度本助成制度による研究成果を基に算定し、大阪湾については河川、下水処理場、事業場、浄化槽からの淡水流量および物質負荷量を沿岸の 36 河川に集約して与え、播磨灘と紀伊水道については一級河川のみを考慮した。また、窒素やリンを形態別に区分して算定するとともに、沿岸に立地する各下水処理場からの放流負荷や、雨天時の河川水質調査結果より構築した L-Q 式を基に主要河川の出水時負荷特性についても考慮している。

備讃瀬戸と紀伊水道沖の開境界（高松、宇野、阿波由紀、白浜）には実測潮位変動を与え、海上は線形補間して与えた。水温と塩分については月 1 回の頻度で境界近傍において観測されている鉛直プロファイルを与えた。紀伊水道の水質は低温・高栄養である太平洋亜表層水と高温・低栄養である黒潮表層水の影響を受けることが知られている。そこで本研究では、紀伊水道南方の外洋での観測結果より得られた水温・栄養塩濃度の相関を用いて境界栄養塩濃度を推定した。

底質による酸素消費速度および栄養塩溶出速度については、既往研究および本研究において実施した現地底泥試料を用いた室内実験結果を参考に、西宮港域、神戸港域、湾東部海域、その他海域にゾーニングして空間分布を与えた。

各種モデルパラメータは、既往研究における一般的な採用値を基に、大阪湾の水質構造を再現するようにチューニングして与えた。

### 3. 結果と考察

図-1 に残差流と塩分の水平分布（15 日間平均値）を示す。淀川河口から流出した低塩分水は、現況地形では西宮沖防波堤と新島の間を抜けて沖合へ広がっている一方で、過去地形では淀川河口よりコリオリ力の影響によって北上し、北部沿岸を西向きに流れている。また、現況地形では淀川河川水は西宮沖防波堤の西側から北部港湾域へ流入しており、港湾内では時計回りの循環流が生じている。さらに、現況地形では港湾域において多くの人工島や防波堤が建設されたために、局所的に様々な流向を持つ流速が発生しており、過去地形でみられるような北部沿岸に沿った大きな西向きの流れは消失している。このように、港域スケールの流動構造は地形改変によって以前とは大きく異なった構造に変化していることがわかる。

水深 5m の分布をみると、過去地形では湾奥部においてエスチュアリー循環に起因する高気圧性循環流（西宮沖還流）が確認できるが、現況地形では明瞭な流れは認められない。このことは、地形改変により湾奥部の物質輸送場は弱化し、陸域や底泥から供給された汚濁物質が湾奥部に滞留しやすくなったことを示唆している。

図-2 に平水時における表層 Chl. -a 濃度と底層 DO 濃度のスナップショットを示す。現況地形では沖ノ瀬還流の外縁から南方にかけて表層 Chl. -a が高い値を示しているのに対して、過去地形ではこのような分布はみられない。これは過去地形に比べて現況地形では湾東部の滞留性が強くなったために、湾東部で発生した植物プランクトンが集積しやすくなったものと考えられる。底層 DO 分布についてみると、現況地形で

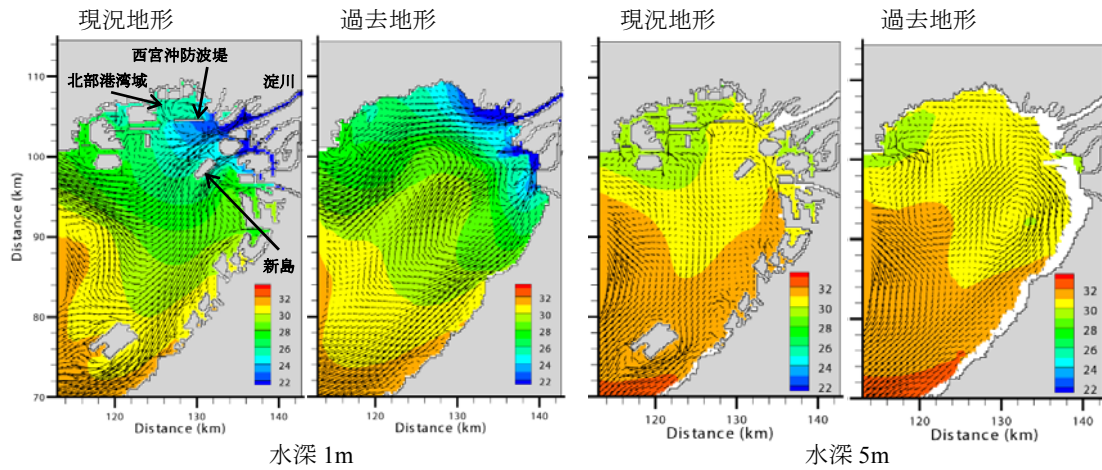


図-1 残差流と塩分の分布 (15日間平均値)

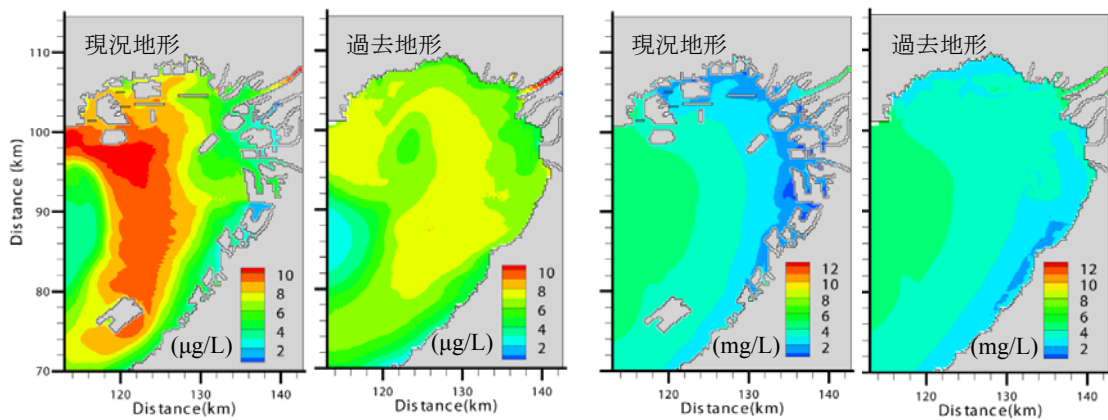


図-2 (左) 表層 Ch1. -a 濃度と (右) 底層 D0 濃度の分布

は過去地形に比べて貧酸素域が拡大しており、さらに沿岸の港湾付近ではD0が2mg/Lを下回る水域が出現している。このことより、地形改変は湾スケールの一次生産構造を変化させるとともに、貧酸素化を助長させる大きな要因の一つと考えられた。

図-3に大阪湾全域における物質循環量と隣接海域との物質交換量の変化を示す。上段の数値は現況地形、下段の数値は過去地形における値であり、2012年9月の月積算値を日単位に変換して示している。地形改変によって湾外への物質輸送量が減少しているが、一方で湾内底泥への堆積量が増加しており、窒素やリンが大阪湾内にストックされやすくなっている。地形改変により多くの物質フローが増加しているが、その変化量は全体のフローに対して小さい。これは海域によって地形改変の影響が異なるために、湾全域で見ると明瞭な変化が現れなかったためである。

明石海峡および紀淡海峡を通じた断面流量フラックスは、地形条件に依らず、明石海峡では大阪湾へ流入、紀淡海峡では大阪湾から流出する傾向にあったが、地形改変による変化は両海峡ともに5%以下と小さかった。一方、窒素やリンの断面フラックスにおいては、地形に依らず両海峡でほとんどの項目において大阪湾から流出傾向を示し、地形改変による変化は、例えば明石海峡ではT-N、T-Pがそれぞれ約30%、約40%も減少するなど、無視できない変化が生じる結果となった。

局所的な変化に着目した例として、北部港湾域における単位面積水柱内の物質循環量を図-4に示す。ほとんどのフローが地形改変によって増加しており、停滞水域になったために港湾内における再生産が活発化するとともに、海底への堆積量も増加したものと考えられる。

また、播磨灘や紀伊水道の中央部についても同様に地形改変による局所的な変化を調べたところ、いずれの物質フローについても5%以下の小さな変化に留まる結果となった。

#### 4. 結論

大阪湾沿岸域の地形改変は、湾奥部に流入する河川水の挙動を変化させるとともに、湾東部の残差流系を大きく歪めることがわかった。

また、地形改変は沿岸部の貧酸素化を促進させるとともに、湾スケールの一次生産構造を大きく変化させることが示された。さらに、地形改変は港域スケールの物質循環に無視できない影響を及ぼすと同時に、湾内における窒素やリンのストックを増加させ、隣接海域への物質輸送量を大きく減少させることがわかった。このことから、瀬戸内海東部における水質や物質循環の管理においては、湾灘ごとに独立した対策を講じるのではなく、隣接海域への影響も考慮した湾灘スケールの検討が必要であると考えられた。

本研究では、地形条件の違いによるシミュレーション結果を比較することで、地形改変による影響評価を行った。しかしながら、本研究で用いた数値モデルは大阪湾特有の流動・水質構造は再現しているものの、十分な検証には至っていない。数値モデルで扱う各素過程に関するパラメータの同定や境界条件の決定に必要な高密度な実測データが得られていないことが主たる原因であり、さらなる検討が必要と考えている。一方で最近の調査報告により、瀬戸内海における栄養塩溶出速度を比較的良好に算定することが可能になりつつある。現在、数値モデルの精度限界に関する検討も含め、より精緻な解析を進めており、埋め立てにより藻場や干潟の水質浄化機能や物質循環機能が失われた影響についても今後評価を行う予定である。

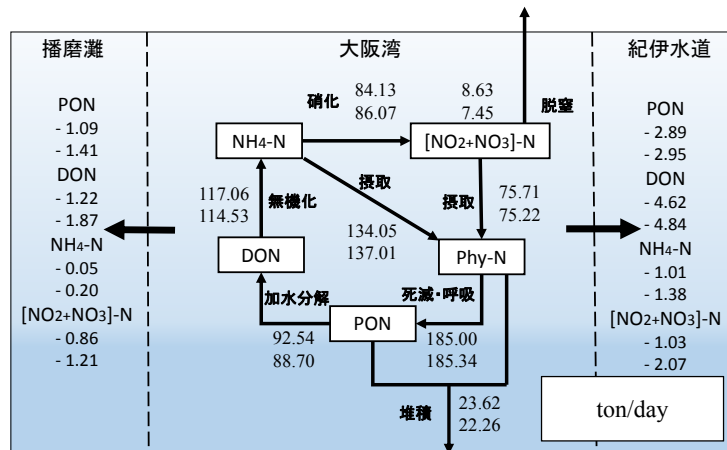


図-3 湾内物質循環と隣接海域との物質交換量の変化 (上段：現況地形結果，下段：過去地形結果)

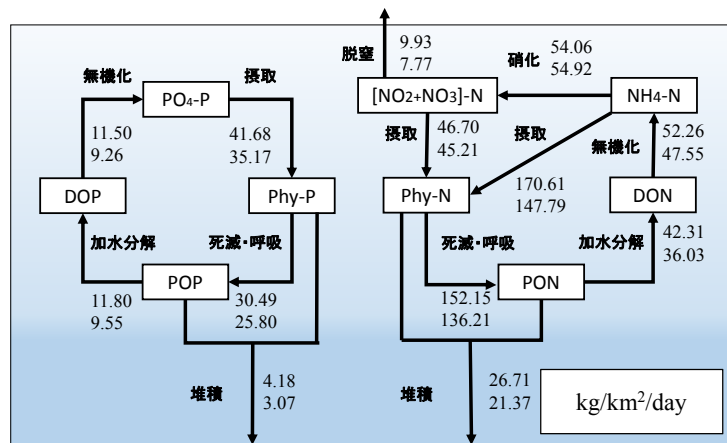


図-4 北部港湾域における物質循環の変化 (上段：現況地形結果，下段：過去地形結果)