

Cyber HPC Symposium 2019

# 大型計算機を利用した内湾・湖沼の 流動水質シミュレーション

大阪大学 大学院工学研究科 地球総合工学専攻  
助教 中谷 祐介

# 研究テーマ

対象水域

湖沼

河川

流域圏

上下水道

沿岸域

水環境

防災

新技術

解析事象

水質汚濁

環境再生

洪水・津波

気候変動

人口減少

アプローチ方法

現地観測

水質分析

数値シミュレーション

AI

本日はご紹介する解析例

①内湾環境×埋め立て

②湖沼環境×気候変動

# 大阪湾の概要

## ■高い生産性

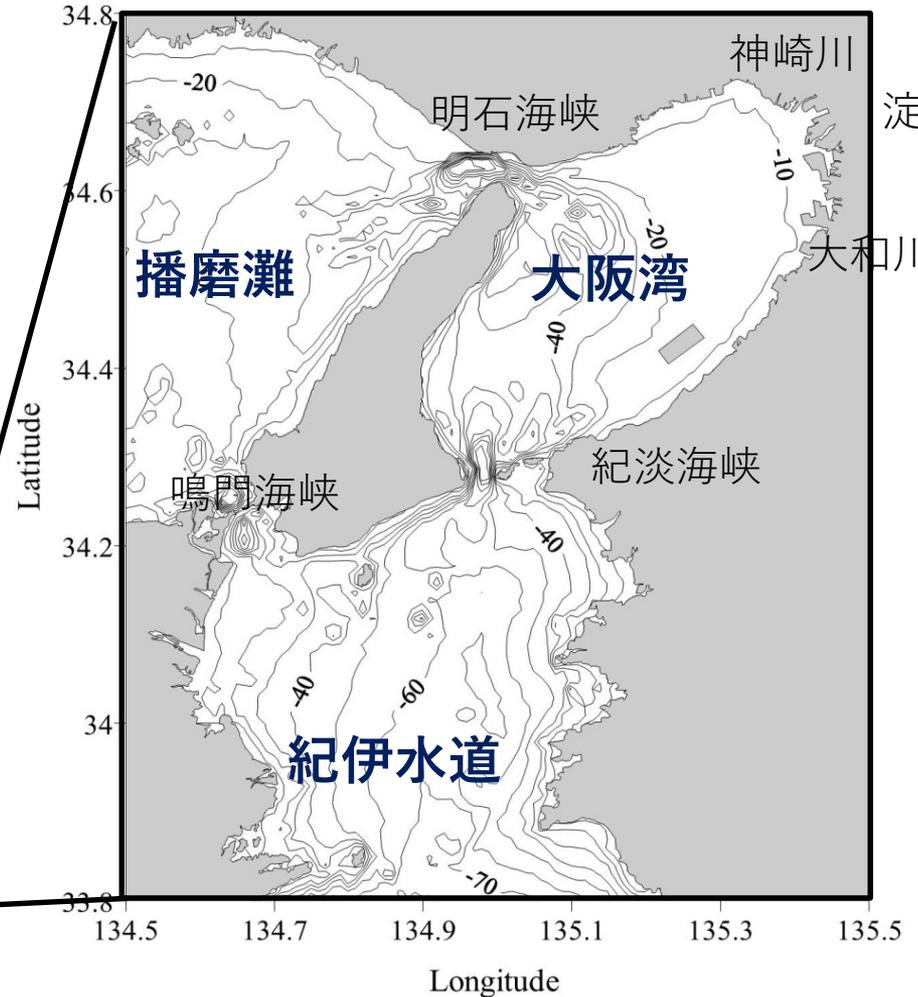
豊かな生態系サービス

## ■活発な人間活動

過剰な汚濁負荷

## ■高い閉鎖性

汚濁物質の滞留、蓄積



# 汚濁負荷の削減

## 戦後・高度成長期

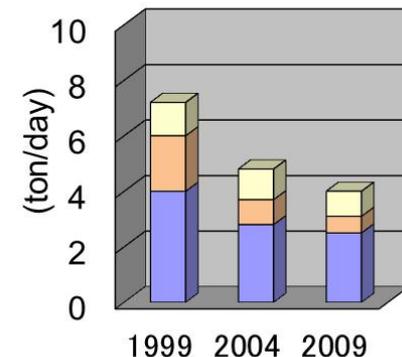
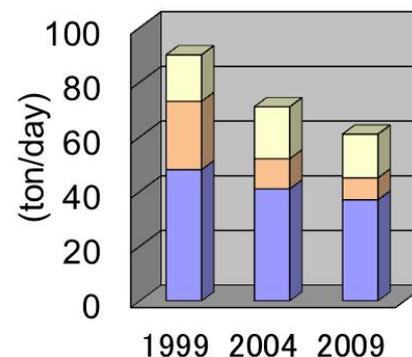
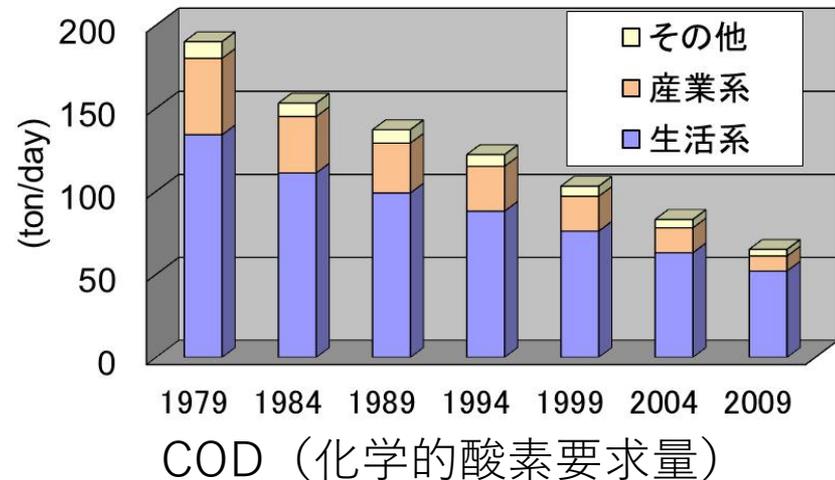
- 汚濁負荷が急増
- 海域の有機汚濁、富栄養化

### 汚濁負荷の削減

水質総量規制  
下水道施設の整備

## 現在

- 汚濁負荷は着実に減少
- 赤潮、貧酸素水塊は未だに頻発

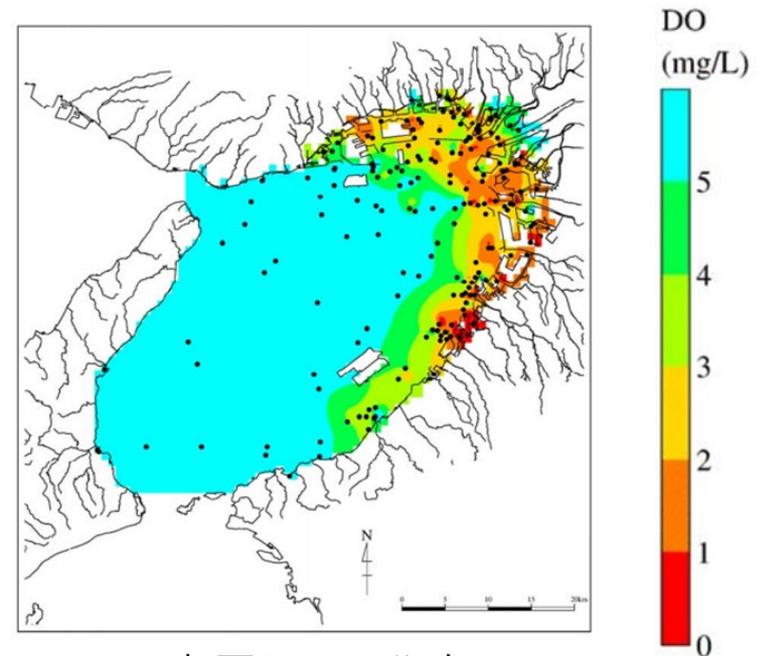


大阪府域の発生負荷量

# 埋立てと貧酸素水塊

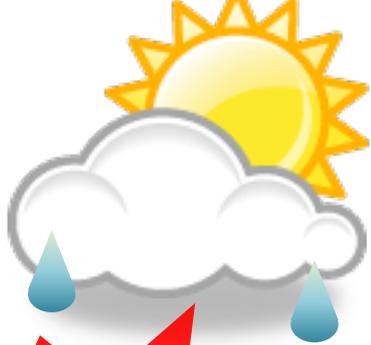


埋立の変遷  
(瀬戸内海環境保全協会, 2013)

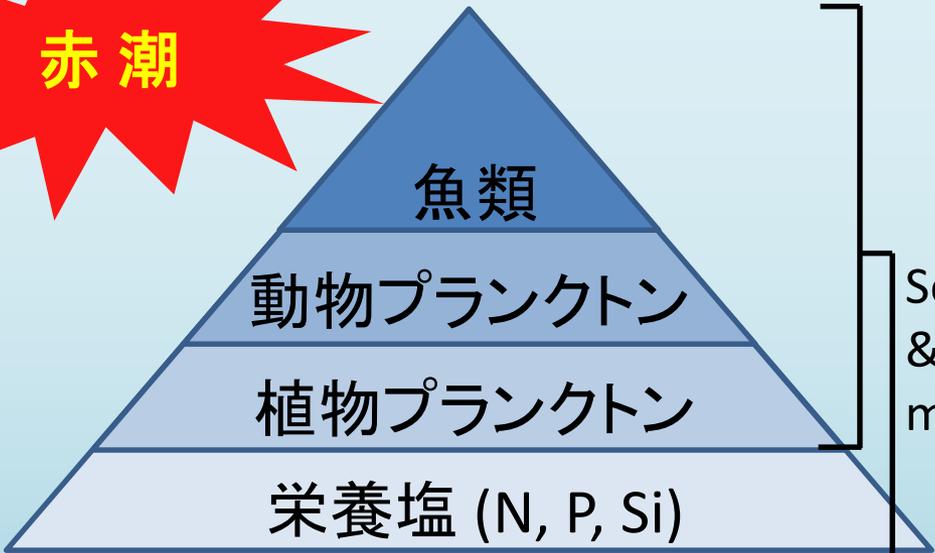


底層DOの分布  
(大阪湾再生水質一斉調査, 2015. 8)

- 埋め立てにより高閉鎖性水域が出現し、**貧酸素水塊**が発生している
- **埋め立てに起因した水質劣化機構**は明らかにされていない
- 埋立地周辺だけでなく、**湾灘スケールの流動・水質**にも影響が及んでいるのでは？



大 気  
雨水、降下煤塵



生態系

Settling & mineralization

release

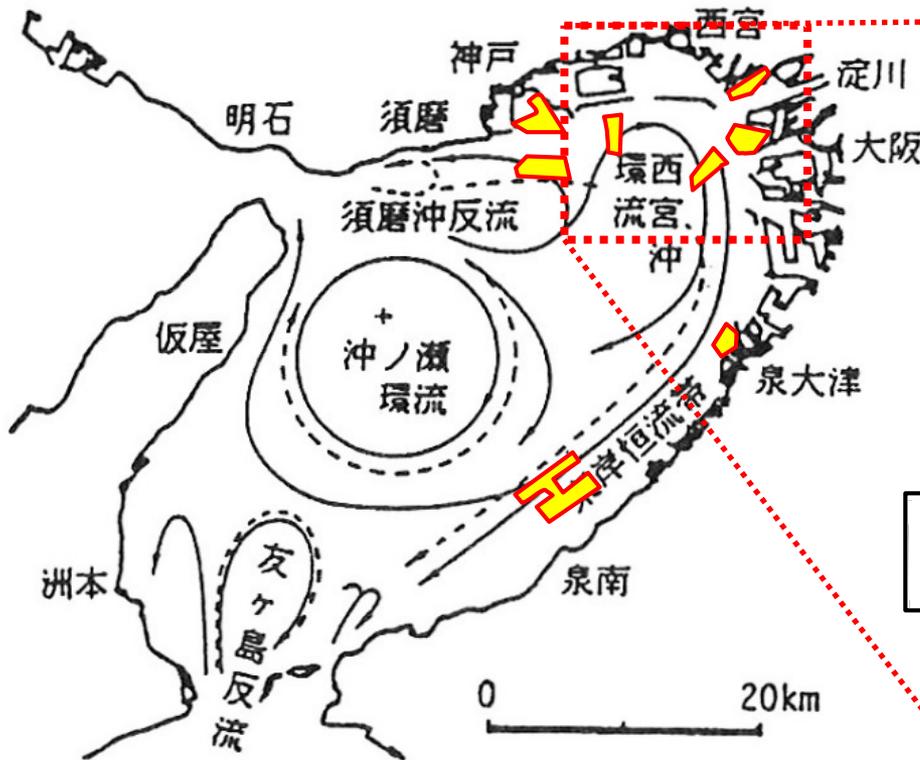
陸 域  
生活排水  
産業排水  
農業排水  
畜産排水

外 海  
海水交換

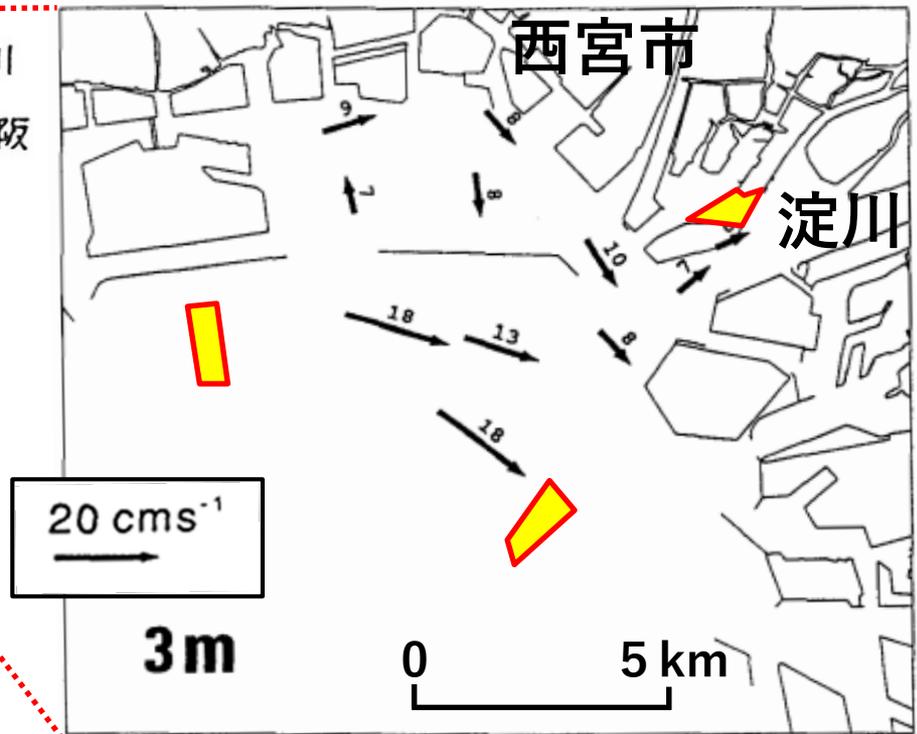
貧酸素水塊

底 質  
海底からの溶出  
有機物分解にともなう酸素消費

# 大阪湾の残差流系と近年の埋め立て

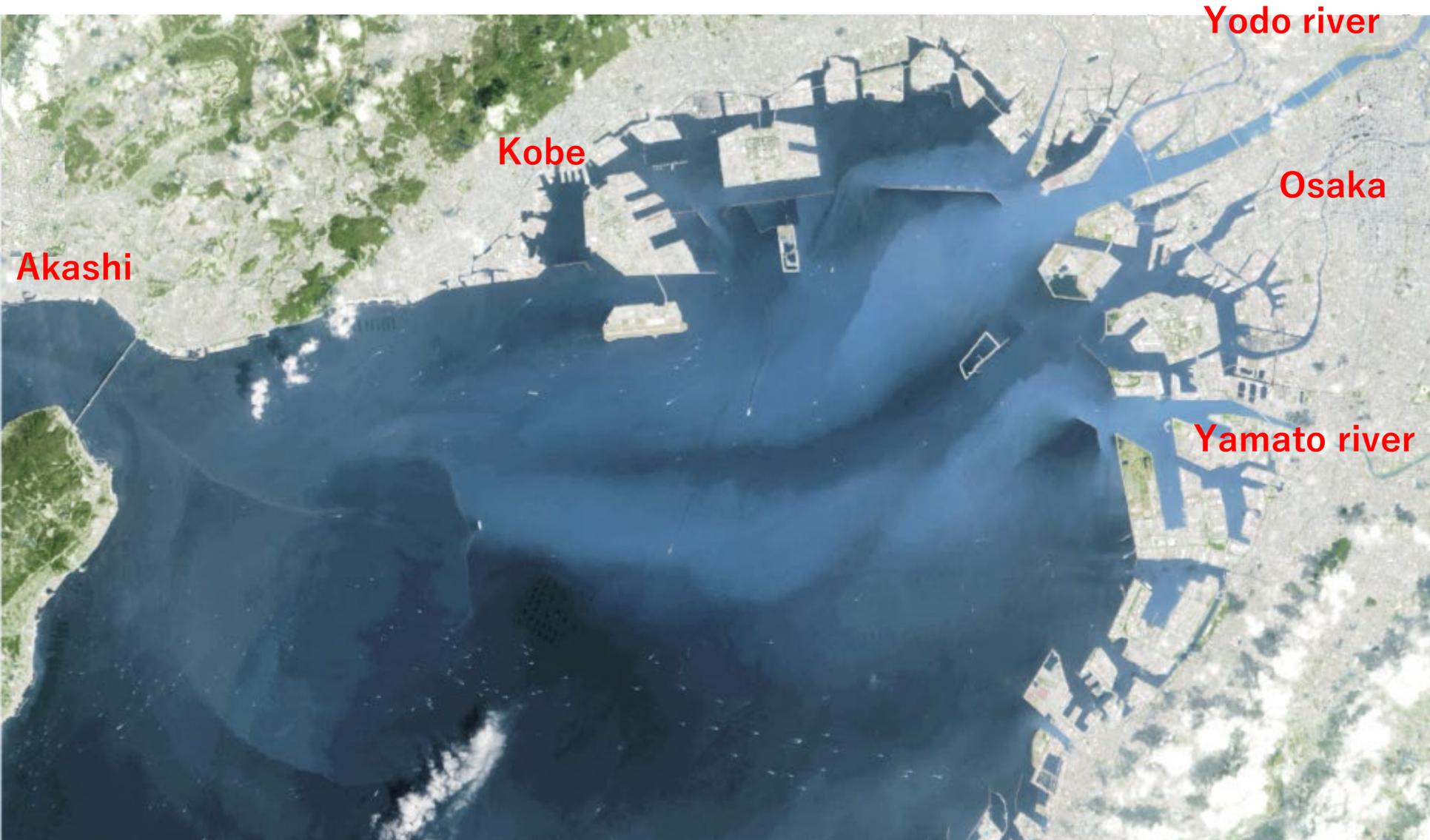


残差流系 (藤原ら, 1989)



西宮沖環流 (藤原ら, 1994)

- 大阪湾奥部には、時計回りの循環流（西宮沖環流）が存在する。  
(上嶋ら, 1987; 藤原ら, 1989; 中辻ら, 1994)
- 近年の埋め立てにより、残差流系は変貌した可能性が考えられるが、現況は明らかにされていない。



LANDSAT8 US

2015-03-20 T01:34:20Z

# 数値シミュレーション

- 1) 現況（2012年）の再現計算を実施
- 2) 地形条件のみを1930年代に変更し、  
現況計算と結果を比較

## 3-D数値流動モデル

ECOMSED (HydroQual, 2002)

## 解析期間

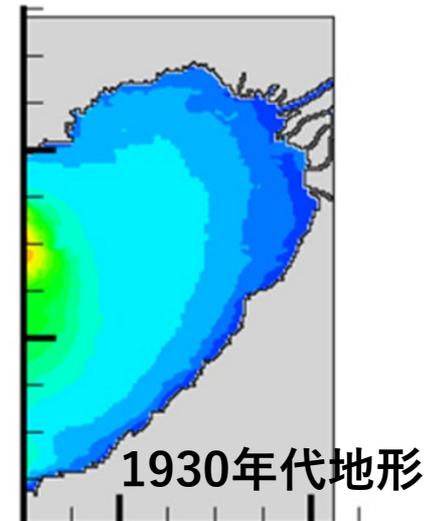
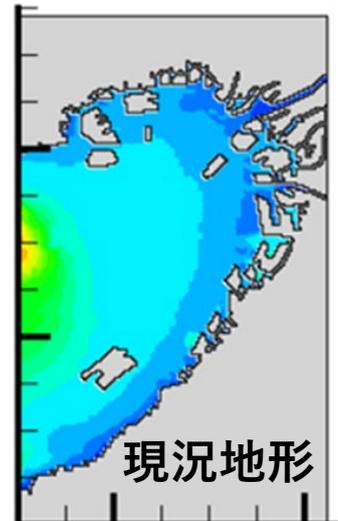
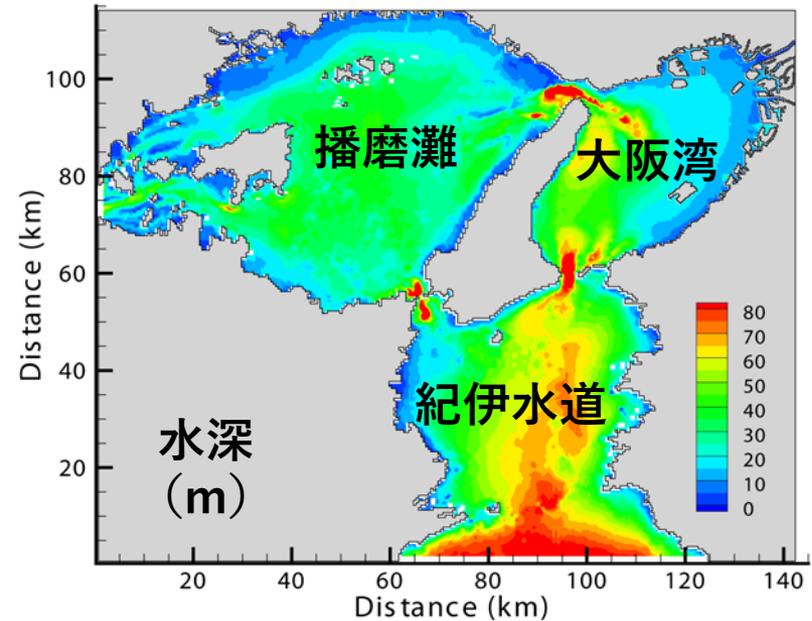
2012年7月1日～9月30日

## 地形条件

水平：構造格子（湾奥250m，沖合1000m）  
鉛直： $\sigma$ 座標系（20層）

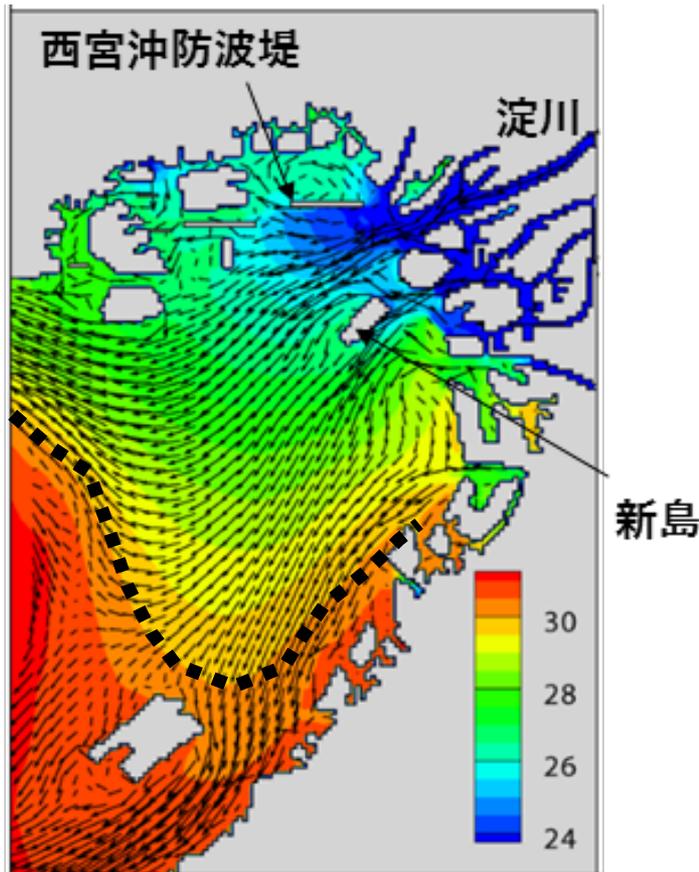
## 境界条件

水面境界：熱収支，風応力  
底面境界：海底摩擦，塩分・水温  
流入境界：淡水流入  
外洋境界：潮汐伝播，塩分・水温

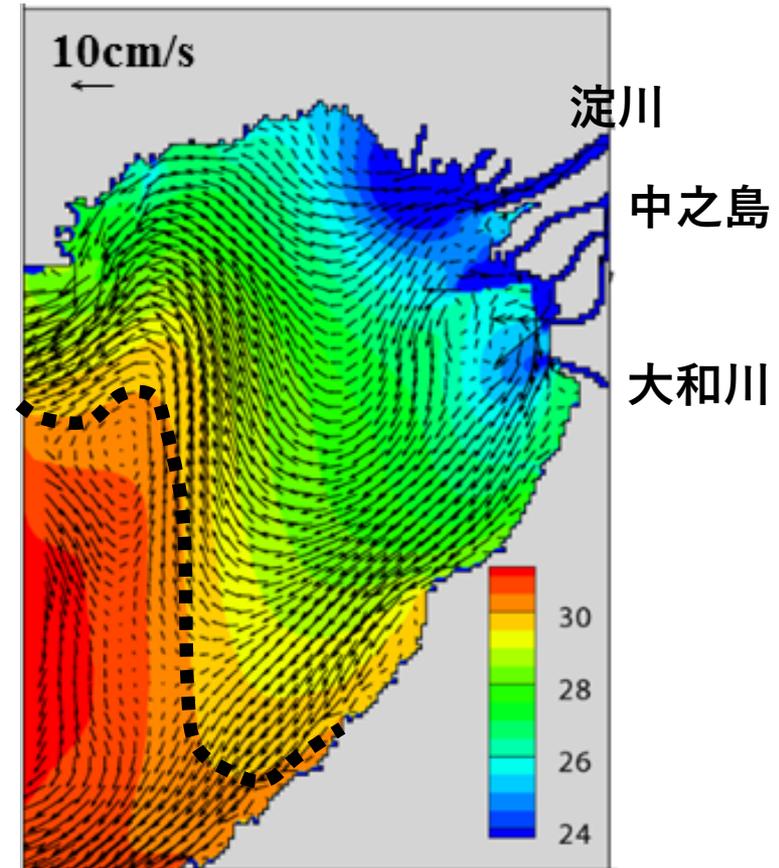


# 残差流系と塩分（水深1m, 15日間平均値）

現況地形



1930年代地形

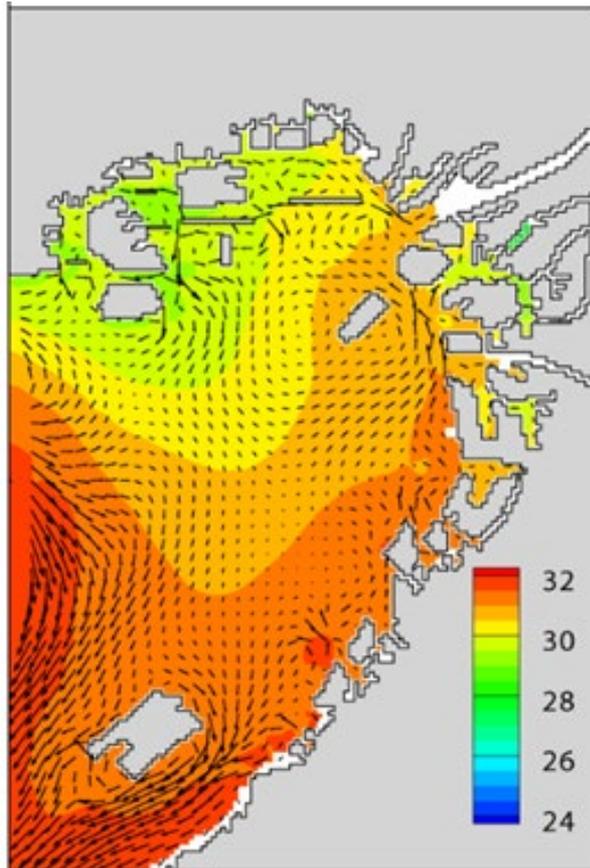


河川水の拡がりや潮汐フロントの位置・形状が変化

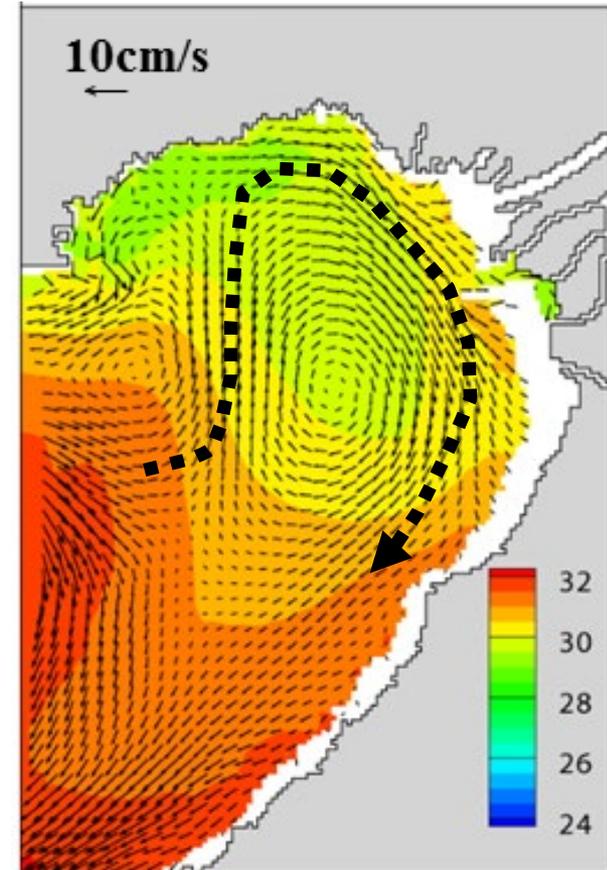
→陸域由来の汚濁物質の輸送経路が変化

# 残差流系と塩分（水深5m，15日間平均値）

現況地形

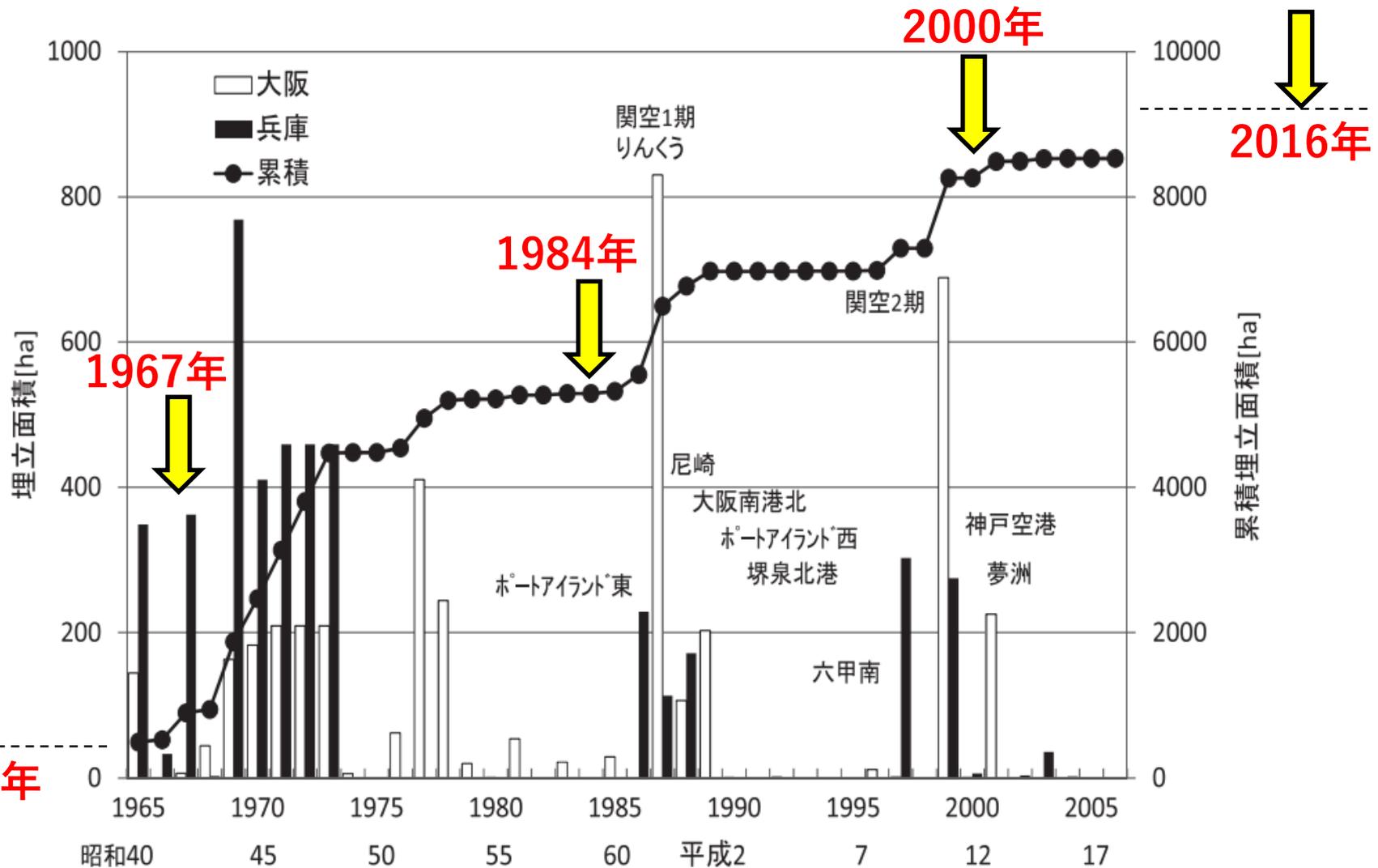


1930年代地形



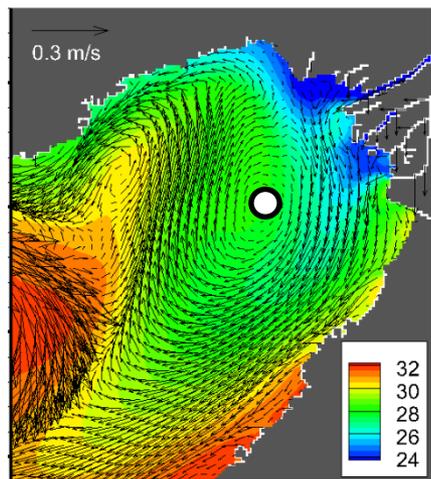
埋め立て地近傍だけでなく、湾スケールの残差流構造が歪められ、物質輸送場が大きく変化

# 大阪湾における埋め立て面積の推移

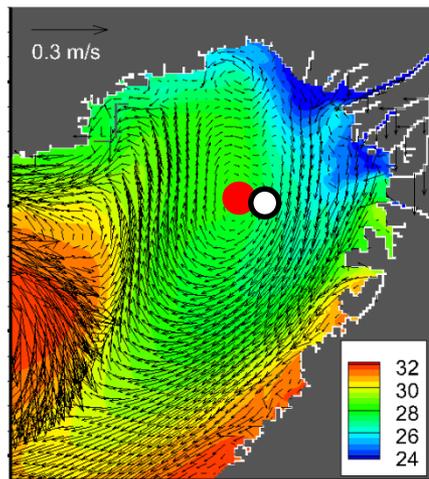


石垣・山中(2012)

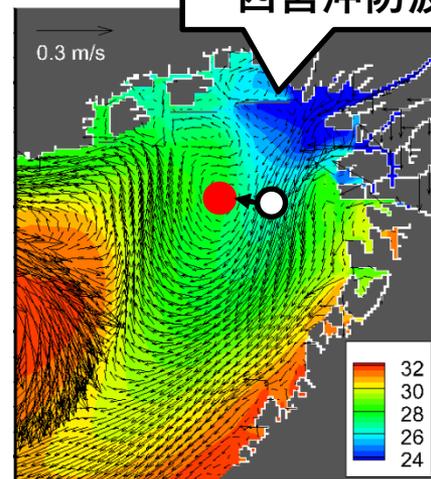
# 残差流と塩分の変化（15日間平均，水深1m）



1946年

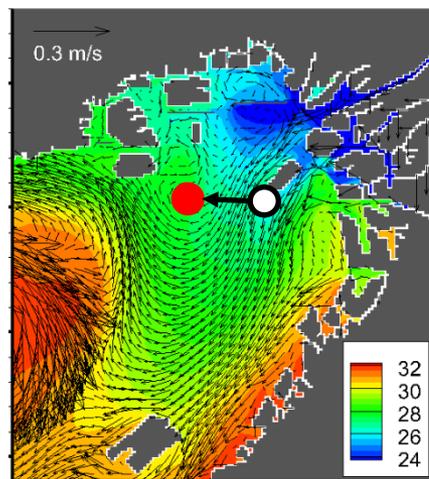


1967年

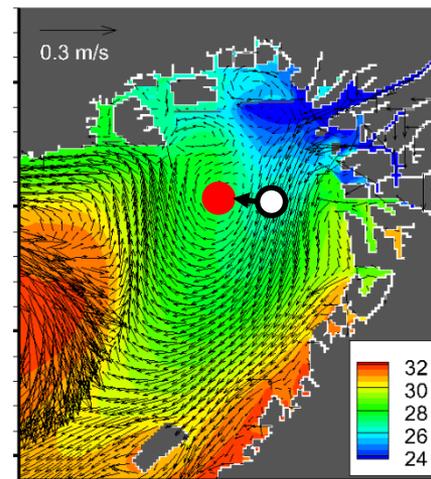


1984年

- ・埋め立てが進行するにつれ，河川水の拡がりが変化
- ・河川プルーム域が徐々に縮小し，潮汐フロントに沿う地衡流が変化

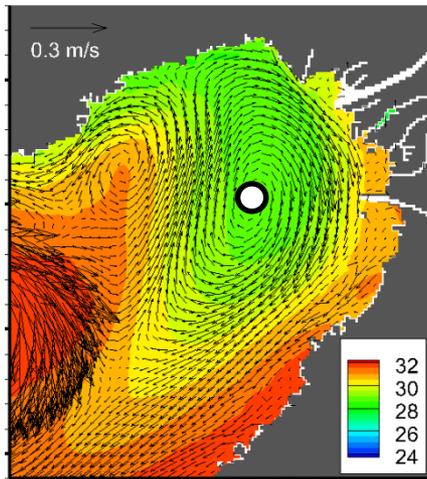


2016年

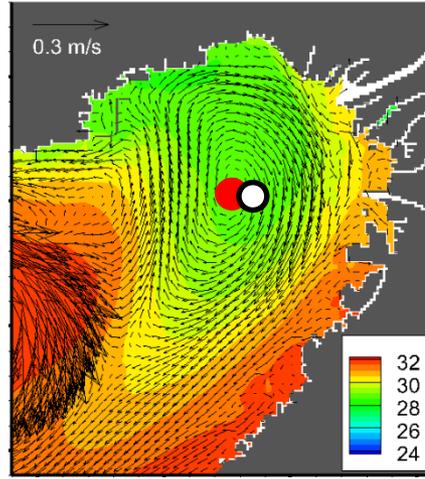


2000年

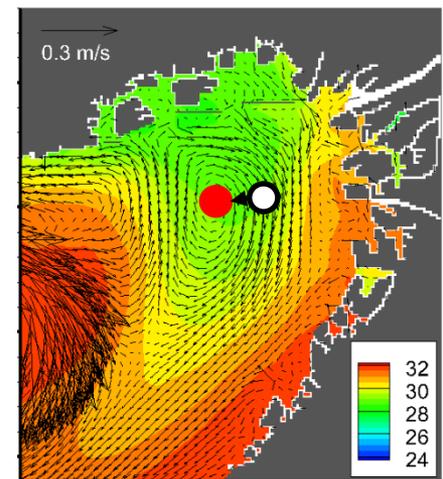
# 残差流と塩分の変化（15日間平均，水深3m）



1946年



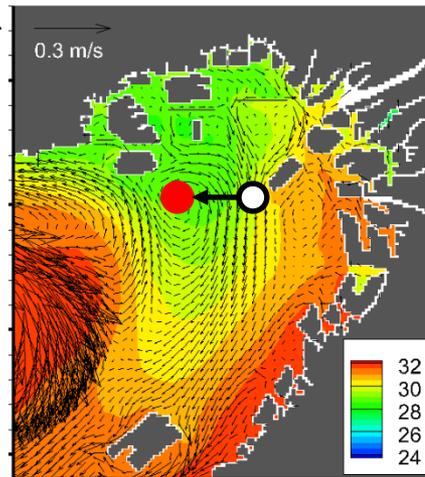
1967年



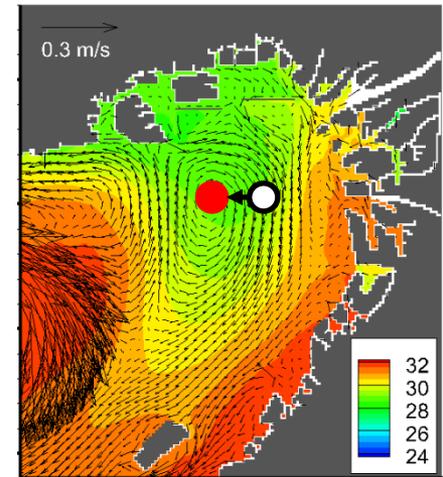
1984年

・埋め立てが進むにつれ，循環流が沖合に移動し，規模が縮小

・淡水流入がある限り，循環流が消失することはないが，埋め立てによって弱化

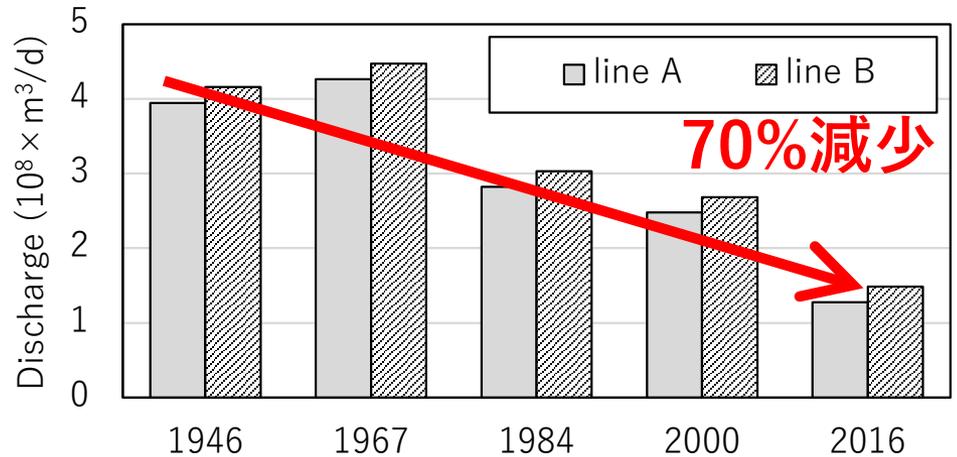
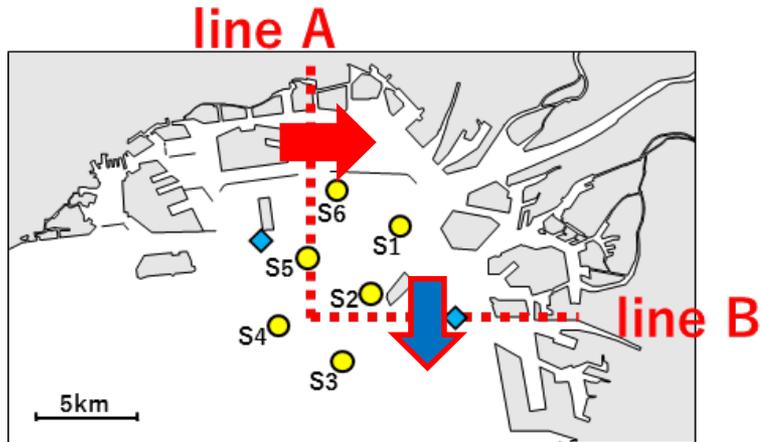


2016年



2000年

# 埋め立てによる海水交換能の低下



lineAとlineBを通過する  
断面流量の変化

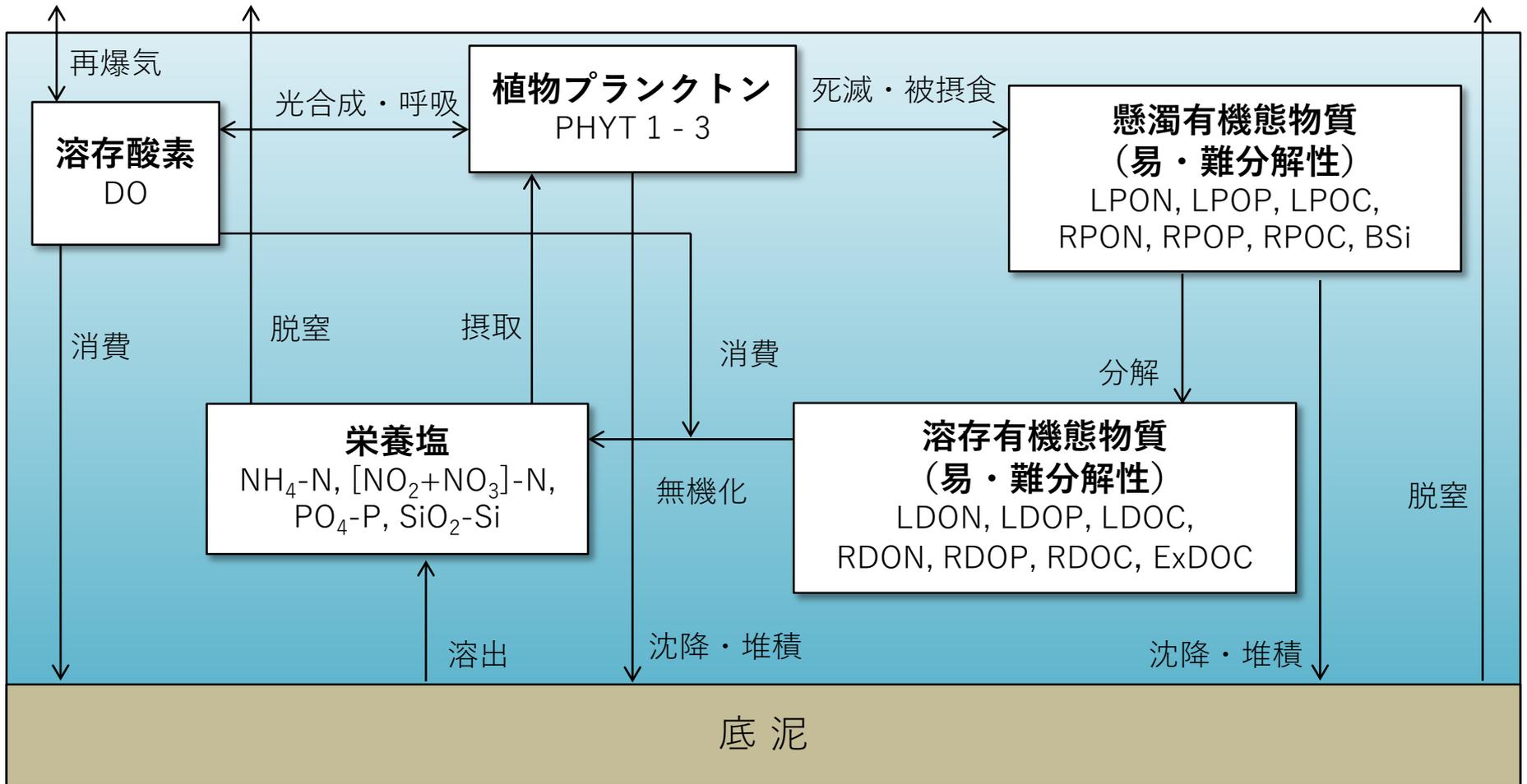
埋め立てが進行

→時計回り循環流が弱化

→湾奥部 - 沖合間の水交換能が大きく低下

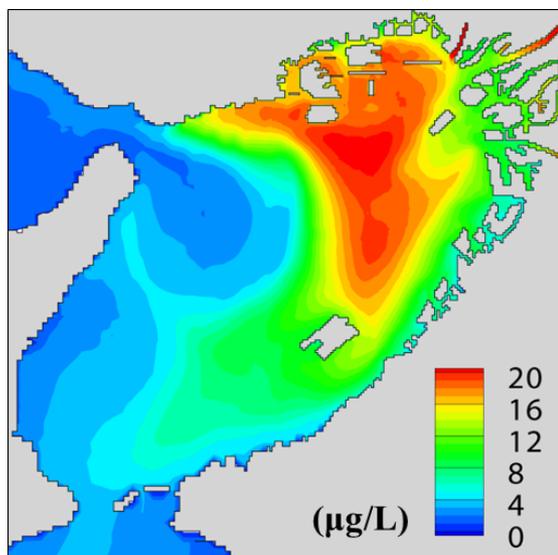
→水質汚濁が進行？

# 物質循環モデルRCA

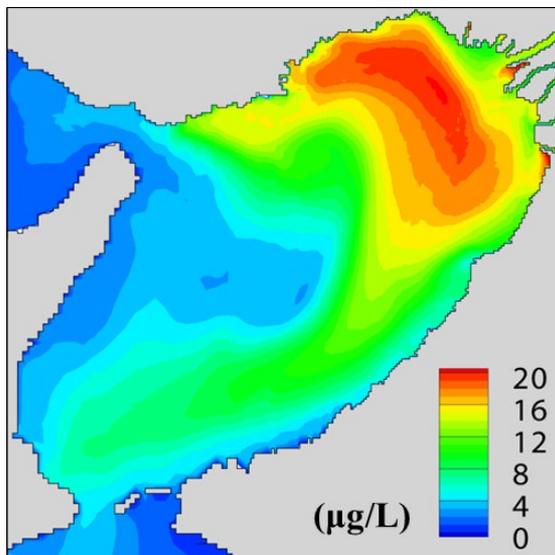


# 表層Chl.-a（植物プランクトン）の変化

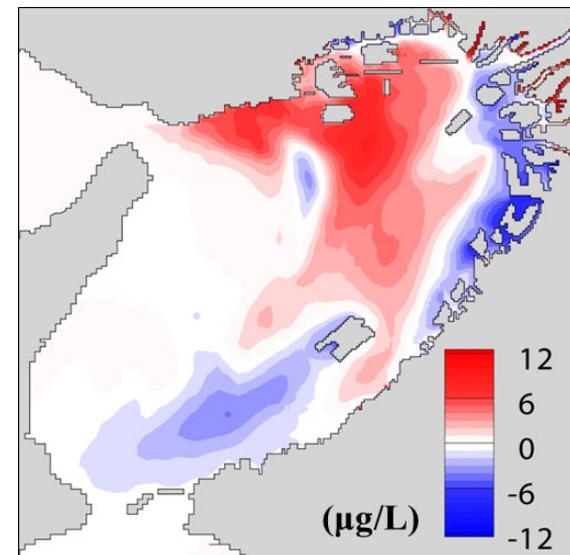
(a) 現況地形



(b) 1930年代地形



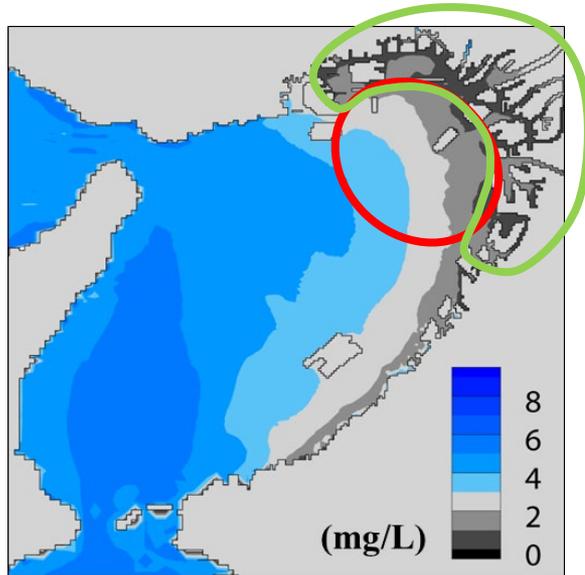
差 (a)-(b)



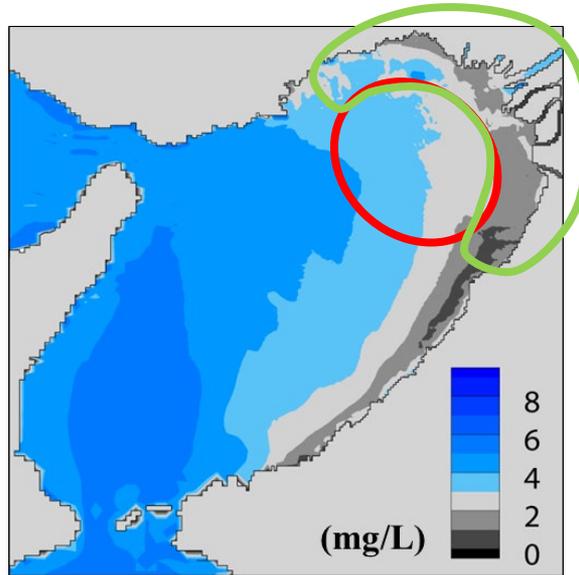
一次生産の活発な海域や、植物プランクトンの集積位置が変化。

# 底層DOの変化

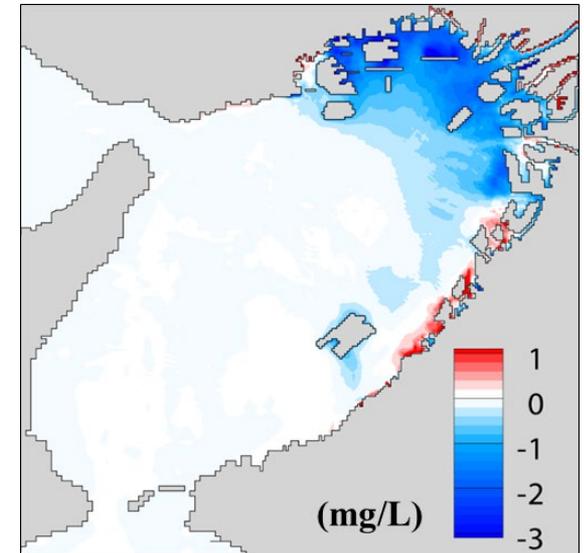
(a) 現況地形



(b) 1930年代地形



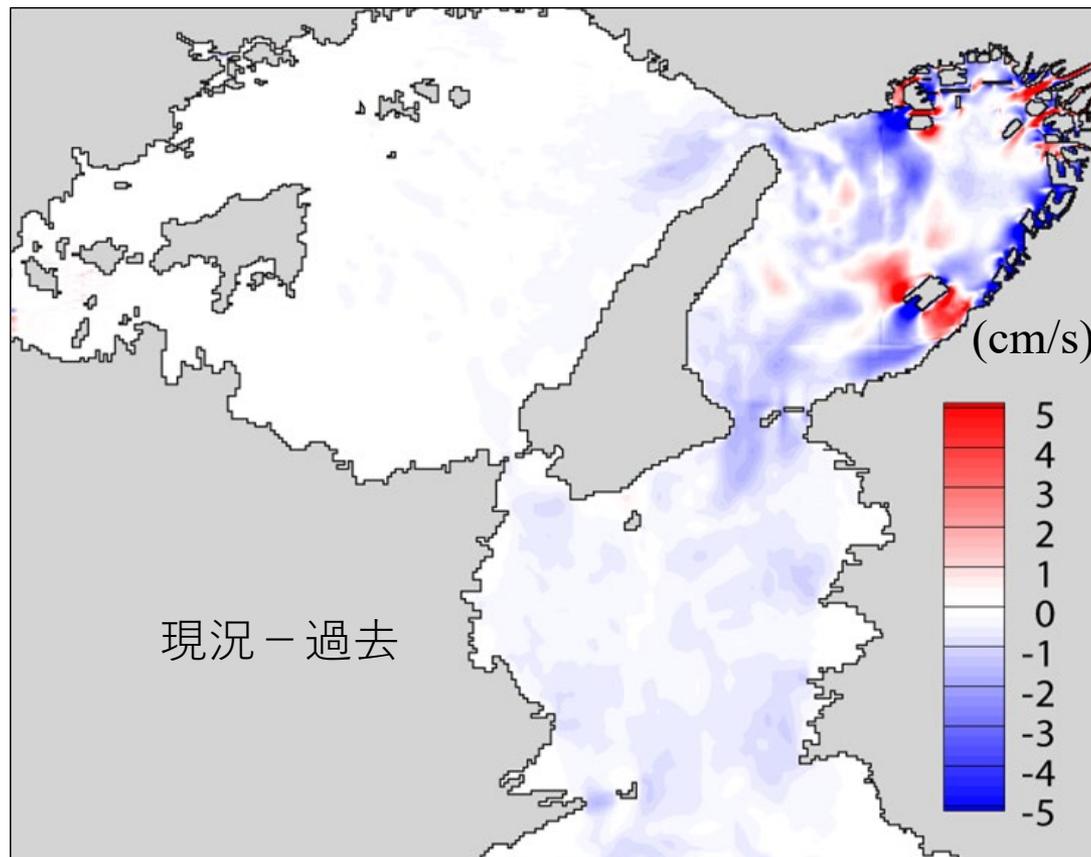
差 (a)-(b)



- ・ **港湾内**： 1mg/Lを下回る強貧酸素域が出現  
→埋立地や防波堤により，閉鎖性が高まったため
- ・ **港湾外**： 貧酸素域が拡大  
→循環流が弱化し，沖合との水交換量が減少したため

沿岸開発を行う際には，事業周辺だけでなく，湾スケールの環境影響評価も重要

# M2潮流振幅の変化



- 埋め立て地周辺では，局所的に大きな変化が発生
- 湾西部や隣接海域においても，潮流振幅が弱化  
→ 湾奥部の地形改変が，湾灘スケールの流動にまで影響を及ぼしている

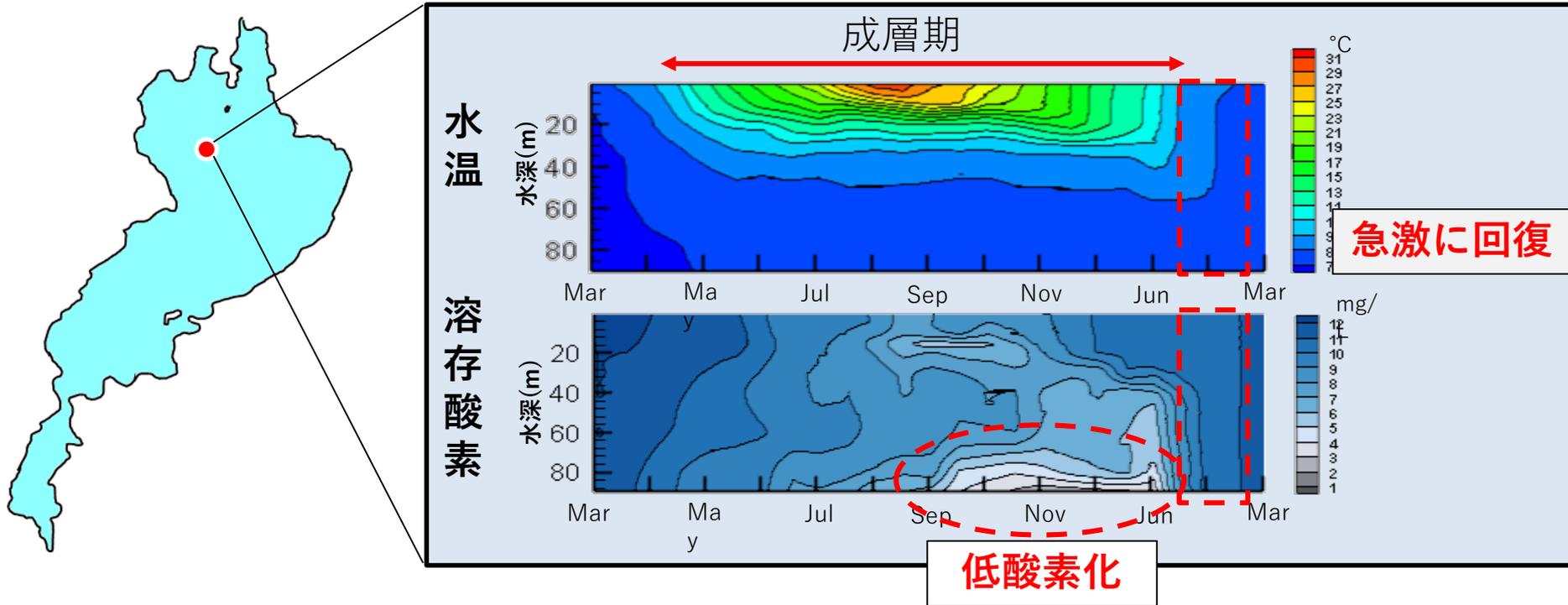
# まとめ（①内湾環境×埋め立て）

三次元数値シミュレーションにより，埋め立てが事業周辺だけでなく，大阪湾全体の流れと水質に無視できない影響を及ぼすことが明らかになった。

## 今後の展望

- ・埋め立てによる高次生態系・漁獲への影響評価
- ・埋め立てによる河川環境への影響評価

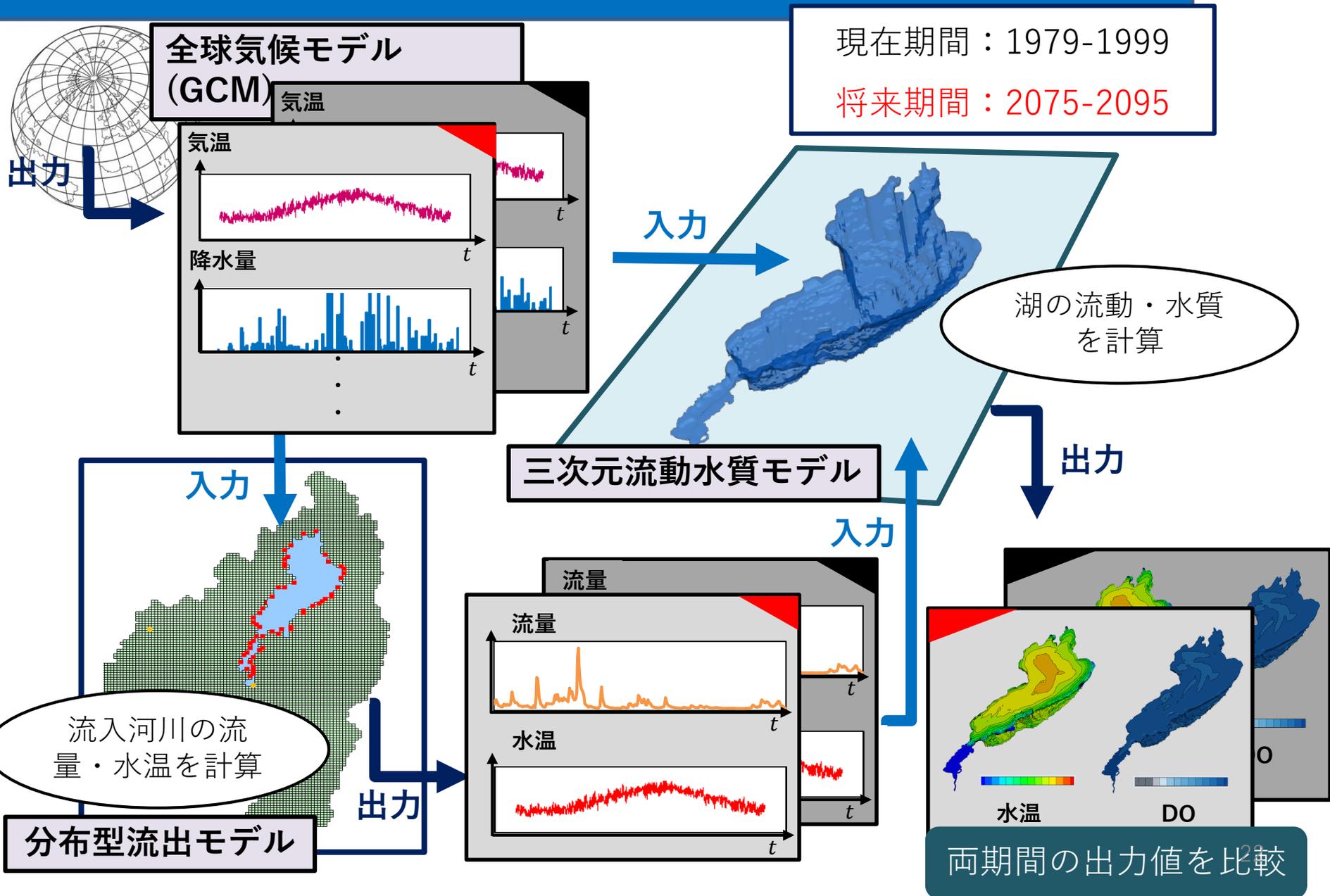
# 琵琶湖の全循環



- 全循環は底層DOにとって重要な現象  
→メカニズムは詳しくわかっていない
- 気候変動(気温の上昇, 降水パターンの変化等) によって  
全循環の完了時期や底層DOはどう変化するのか？

三次元流動水質シミュレーションにより,  
気候変動が琵琶湖の流動・水質に及ぼす影響を明らかにする

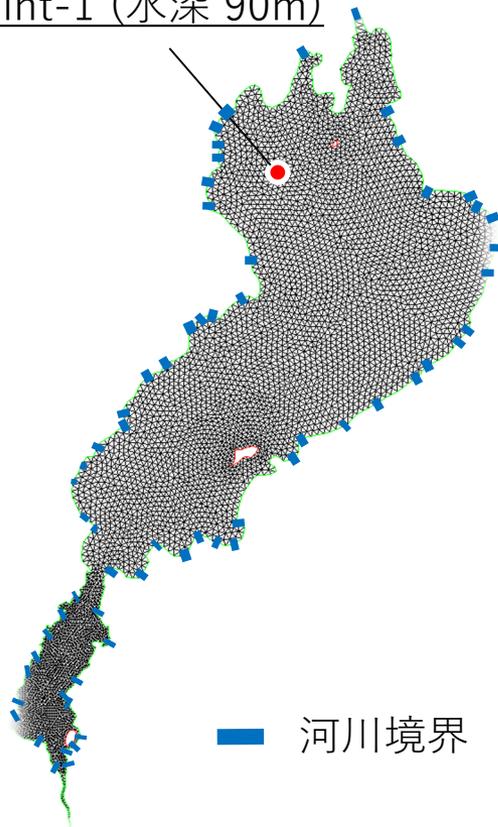
# ■ 解析フロー



# ■ 流動水質シミュレーション

検証地点

Point-1 (水深 90m)



## 計算条件

使用モデル	SCHISM (Zhang et al., 2016)	
格子サイズ	水平方向：北湖...500m スケール 南湖...250m スケール 鉛直方向：水深 0-10m( $\sigma$ 座標系・10層等分割) 水深10-90m(z座標系・層厚1m)	
計算期間	現在期間： 1979-1999 将来期間： 2075-2095	
気象条件	GCMデータ (気温・大気圧・東方風速・北方風速・比湿 下向き短波放射量・下向き長波放射量)	
河川境界	流入	64河川
	流出	瀬田川洗堰
初期条件	3月における平均的な値	

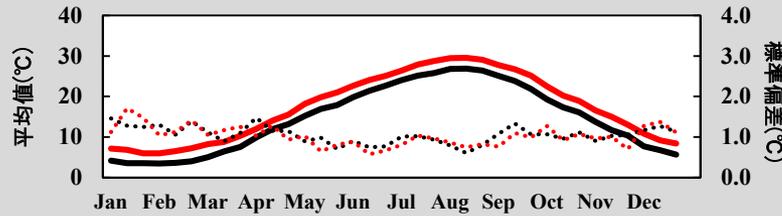
MPI(領域分割) + OpenMP



# ■ 将来の気候変化（GCMデータの解析）

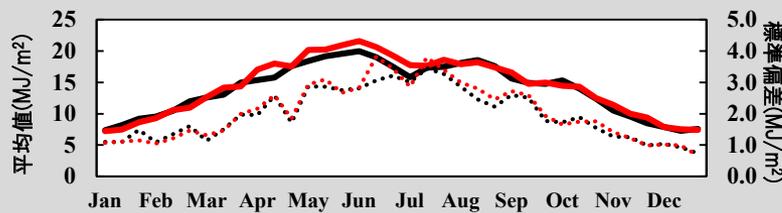
— 平均値(現在)      — 平均値(将来)  
 ..... 標準偏差(現在)      ..... 標準偏差(将来)

気温



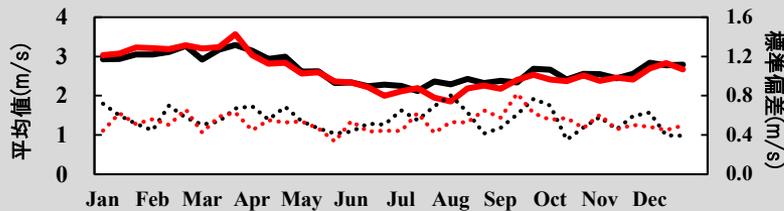
- 年間を通して**3°C**程上昇
- 標準偏差に大きな変化なし

短波放射量



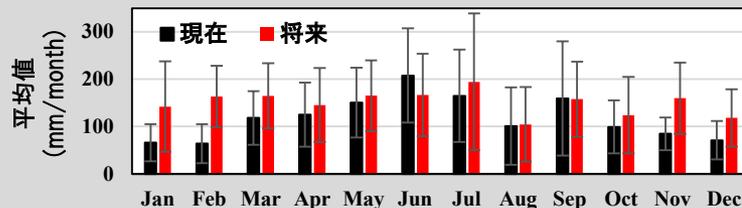
- 4～7月において**1.5MJ/m<sup>2</sup>**程上昇
- 標準偏差に大きな変化なし

風速



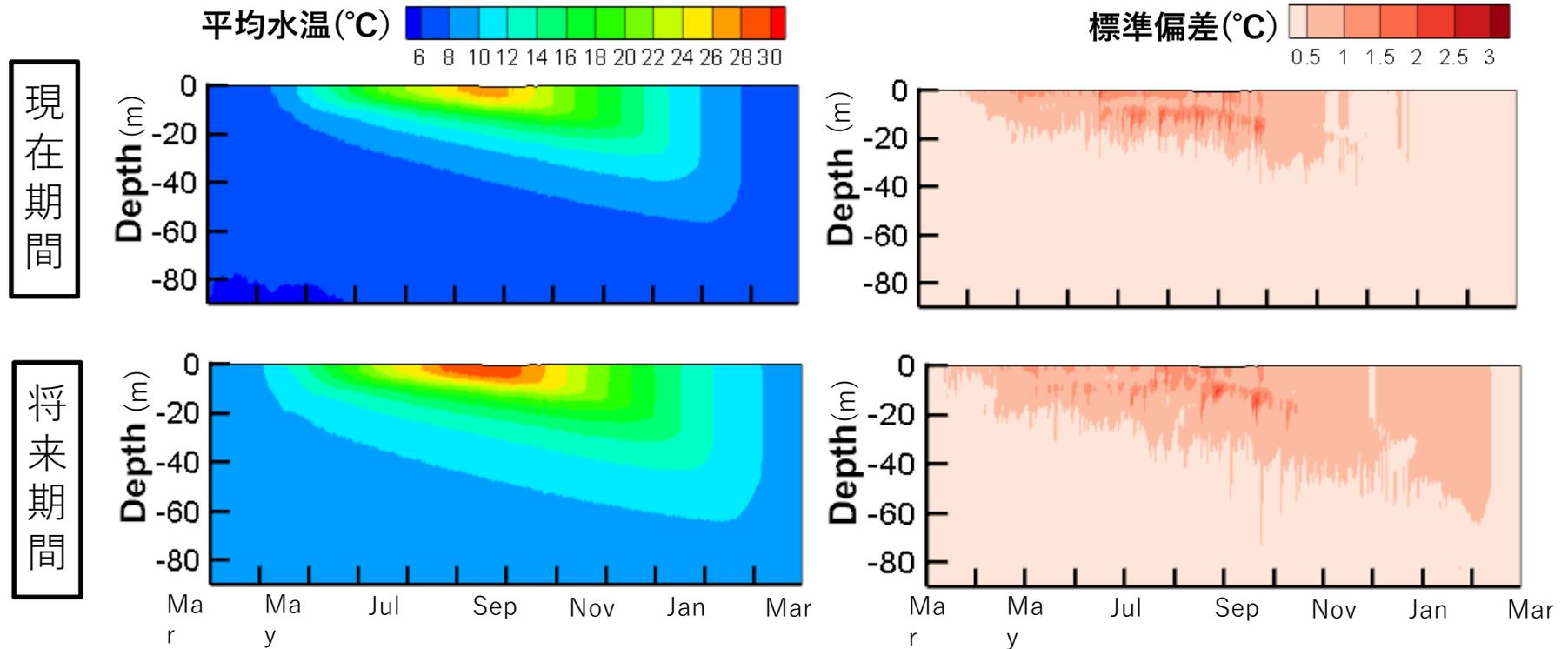
- 平均値に大きな変化なし
- 標準偏差に大きな変化なし

降水量



- 10～3月において**大きく増加**
- 標準偏差は冬季に**増加傾向**

# ■ 気候変動による水温への影響



- 年間を通して全層で、約2.5°C上昇
- 標準偏差（年々変動によるばらつき）は中層において増加

# ■ 気候変動によるDOへの影響

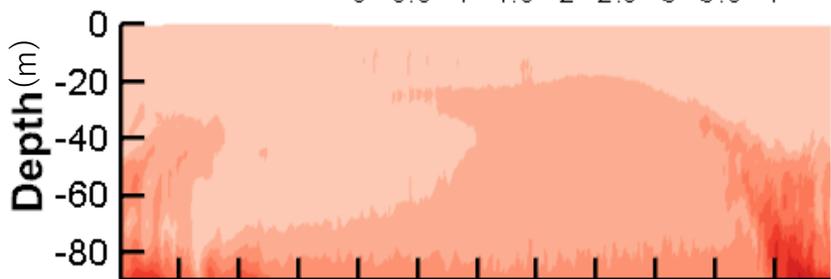
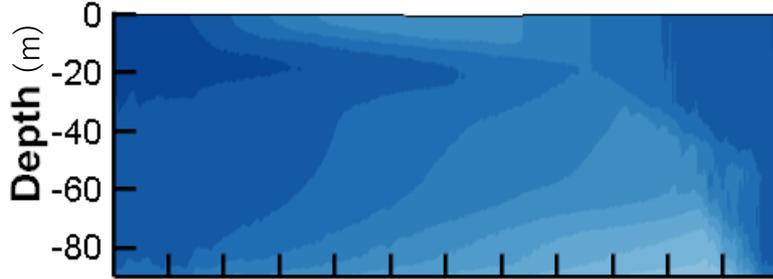
平均DO(mg/L)



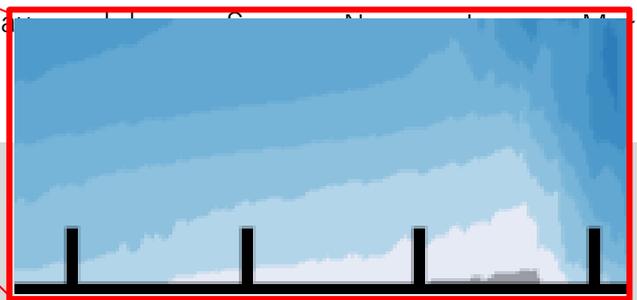
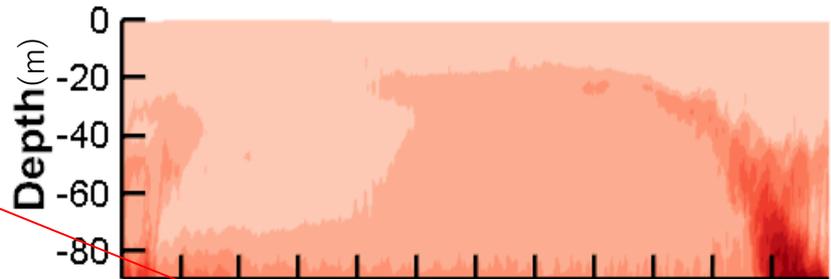
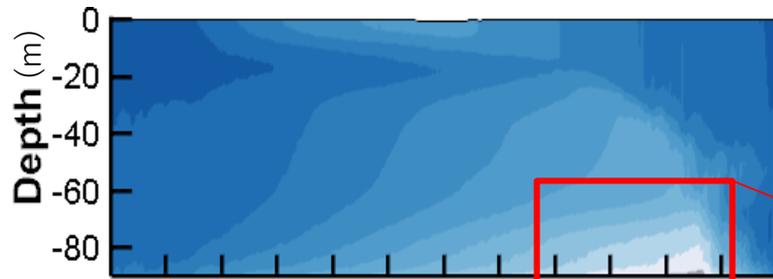
標準偏差(mg/L)



現在期間



将来期間



- 将来期間では冬季の底層DOは約2mg/Lを示し、現在期間に比べて約2.5mg/L低下
- 全循環の発生時期が年によって大きく異なり、底層に十分に酸素が供給されず、翌冬に無酸素状態 ( $\leq 1\text{mg/L}$ ) となるケースが発生する

## まとめ（②湖沼環境×気候変動）

三次元数値シミュレーションにより，気候変動が琵琶湖の底層DO濃度を低下させ，湖沼生態系に悪影響を及ぼす可能性が示唆された。

### 今後の展望

- ・気候変動による淀川流域の水環境への影響評価
- ・人口減少による琵琶湖・淀川流域の水環境への影響評価