

有明海奥部における貧酸素水塊の発生メカニズム、 予測技術の現状

国立研究開発法人 水産研究・教育機構
水産技術研究所

□ 貧酸素水塊の発生状況

大規模出水の影響*

□ 貧酸素水塊の短期変動

干潟縁辺域と沖合域での特性の違い**

□ 貧酸素水塊の経年変化特性

潮流振幅と貧酸素水塊の関係**

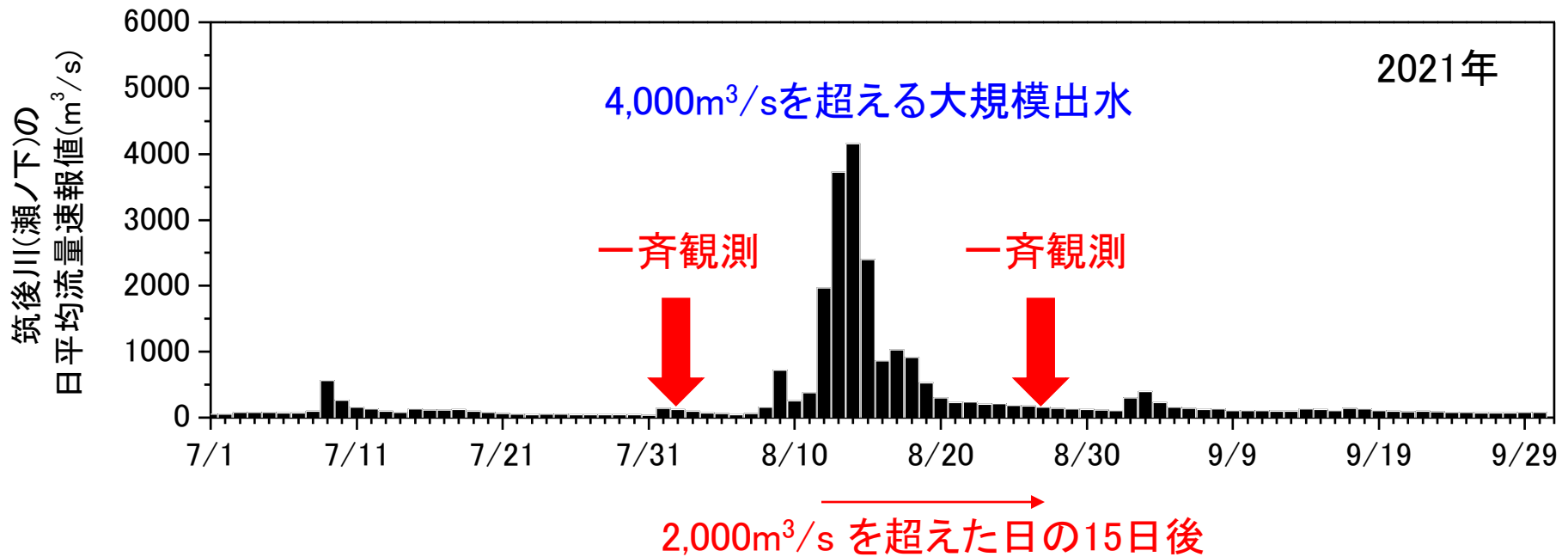
*徳永貴久・古賀まりの・川崎北斗・山砥 稔文・秋永将志・丸吉浩太・高木剛・芹川大成・山口浩・上田 倫大・速水祐一・山口創一・木村和也・柴原芳一:2020年及び2021年の有明海における大規模出水に起因した貧酸素水塊の発生状況、土木学会論文集 80 (3), 2024.

**水産庁委託「漁場環境改善推進事業のうち栄養塩、赤潮・貧酸素水塊に対する被害軽減技術等の開発」

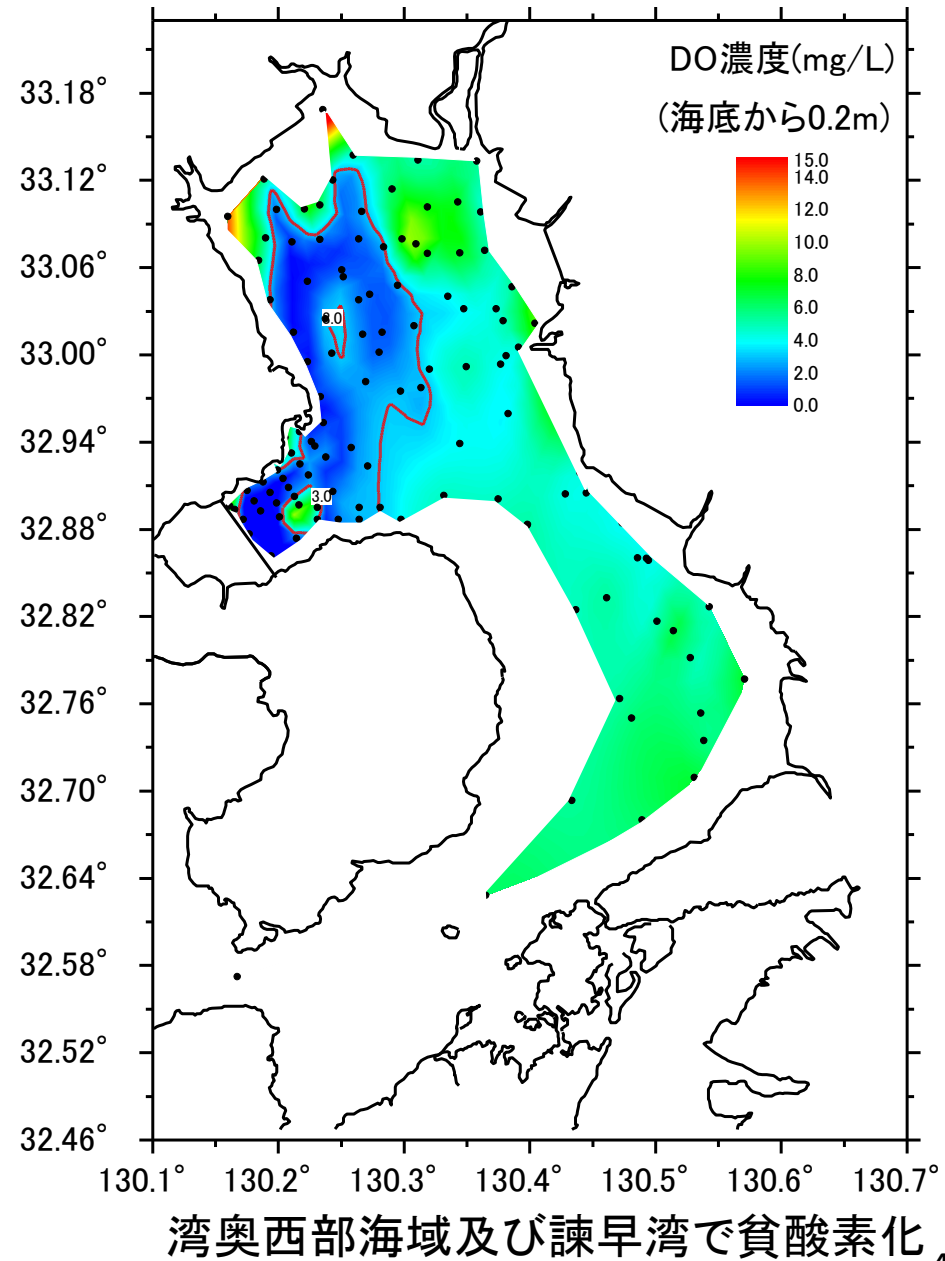
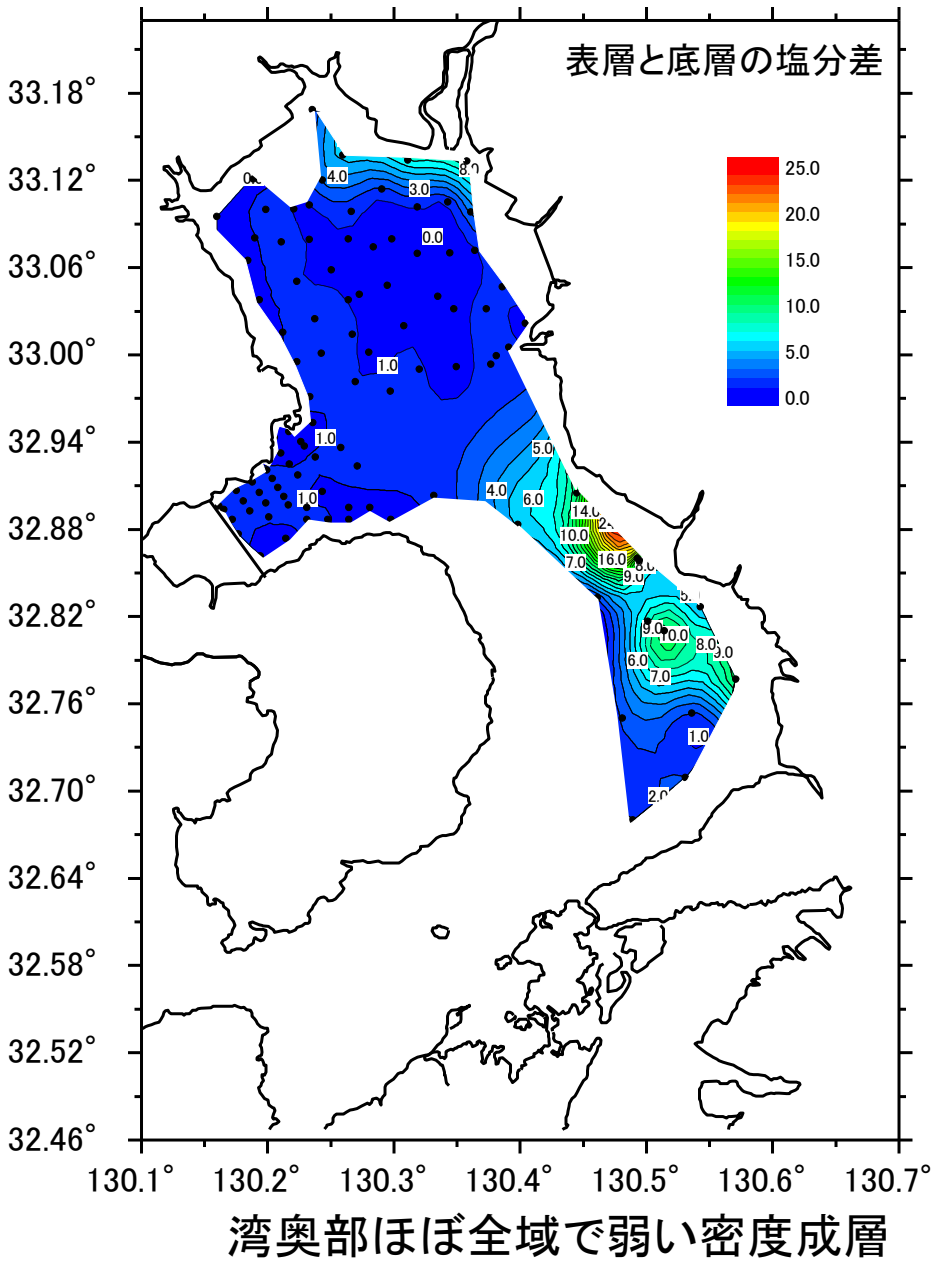
貧酸素水塊の発生状況

大規模出水の影響

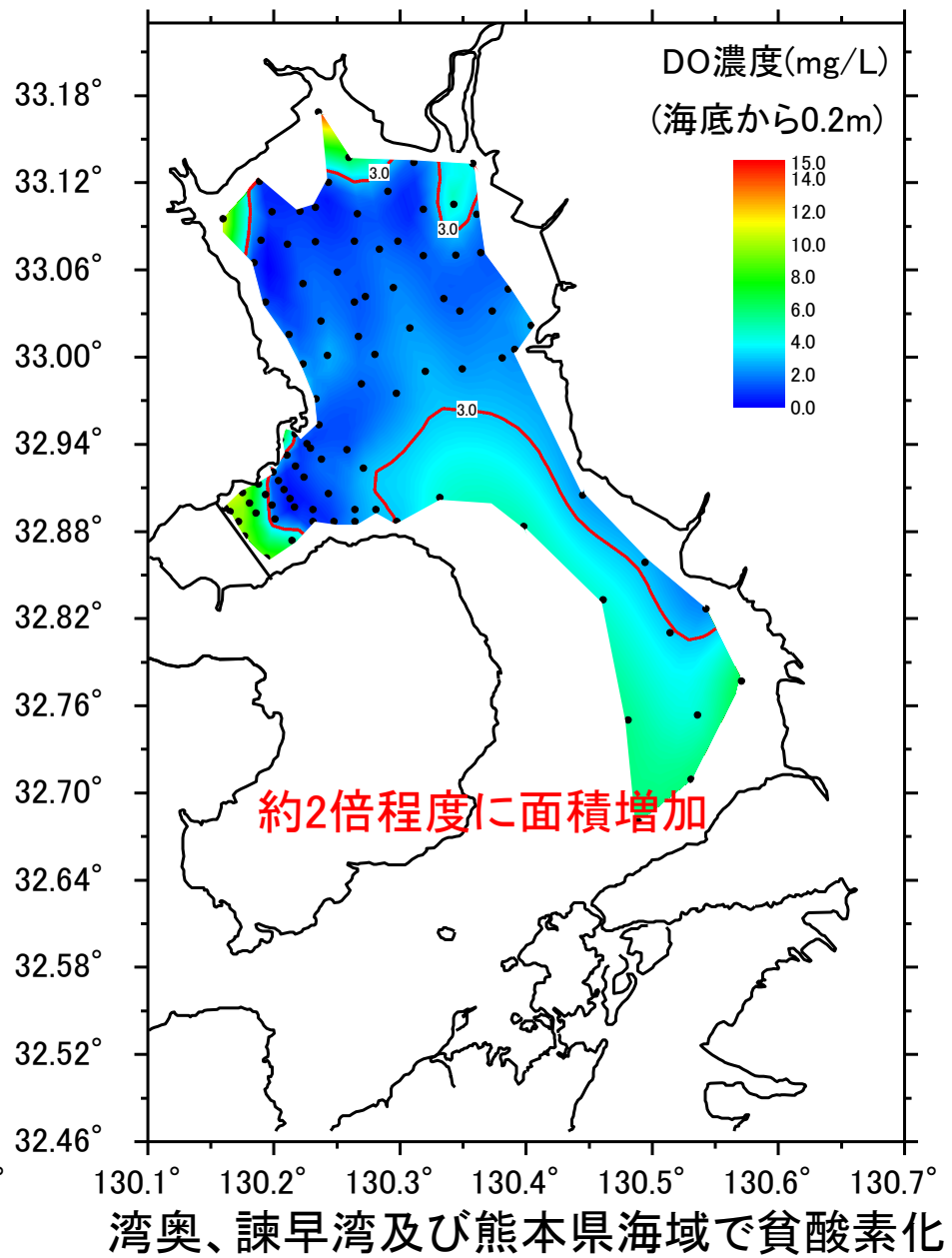
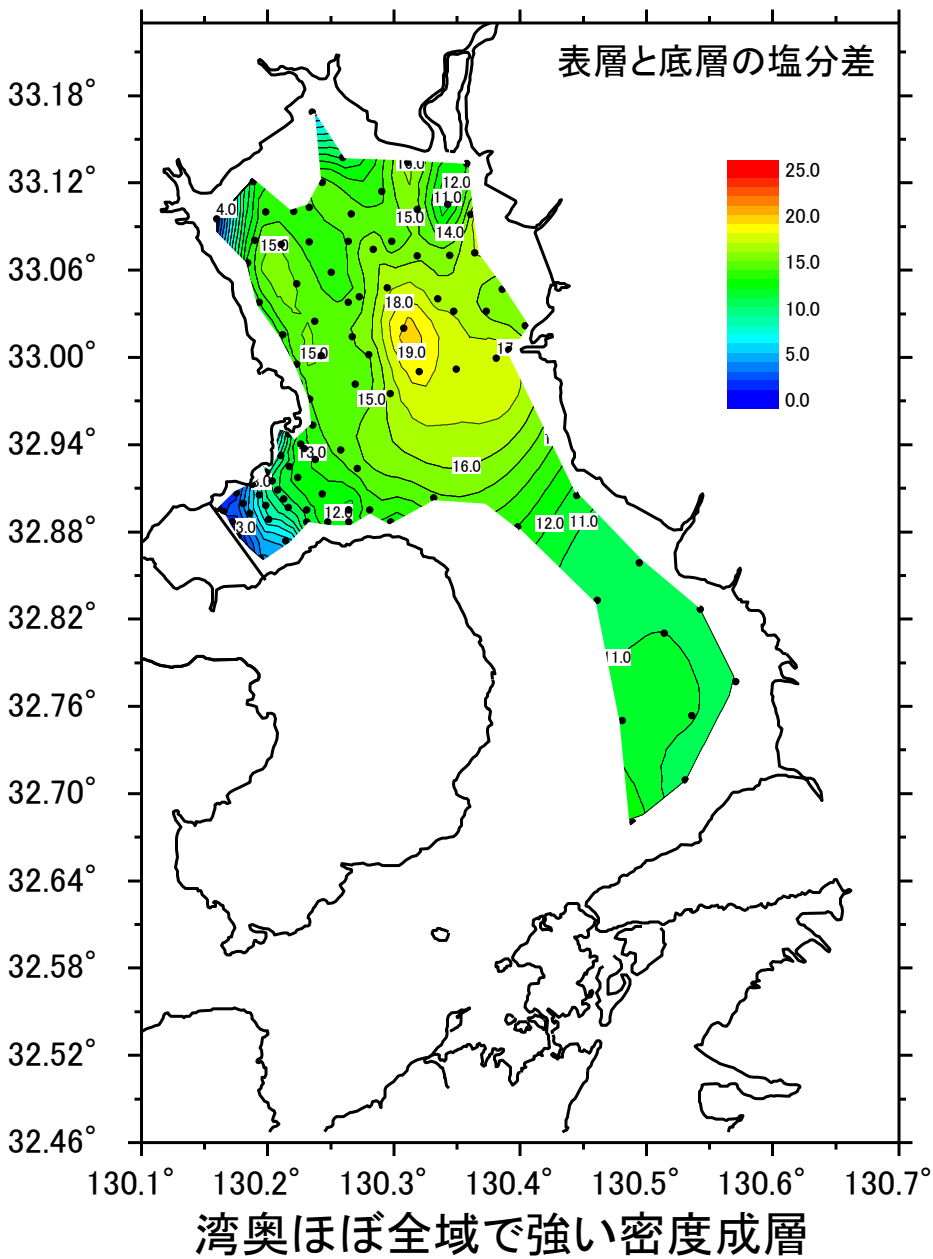
大規模出水の影響(2021年)



2021年(出水前)



2021年（出水15日後）



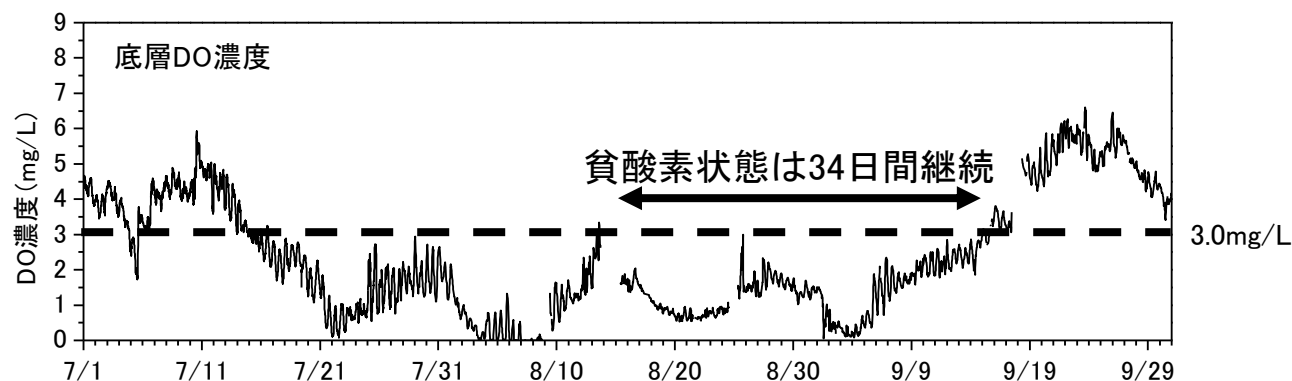
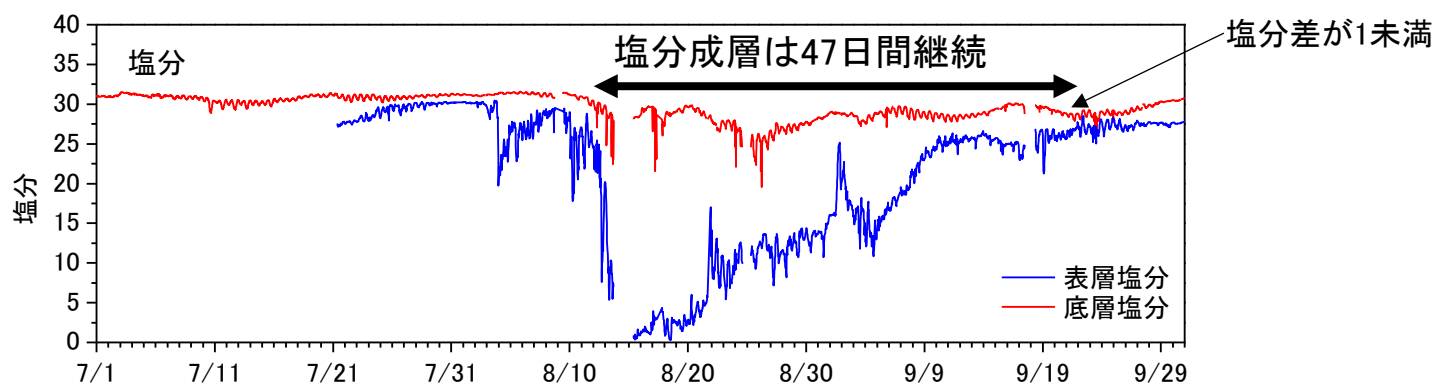
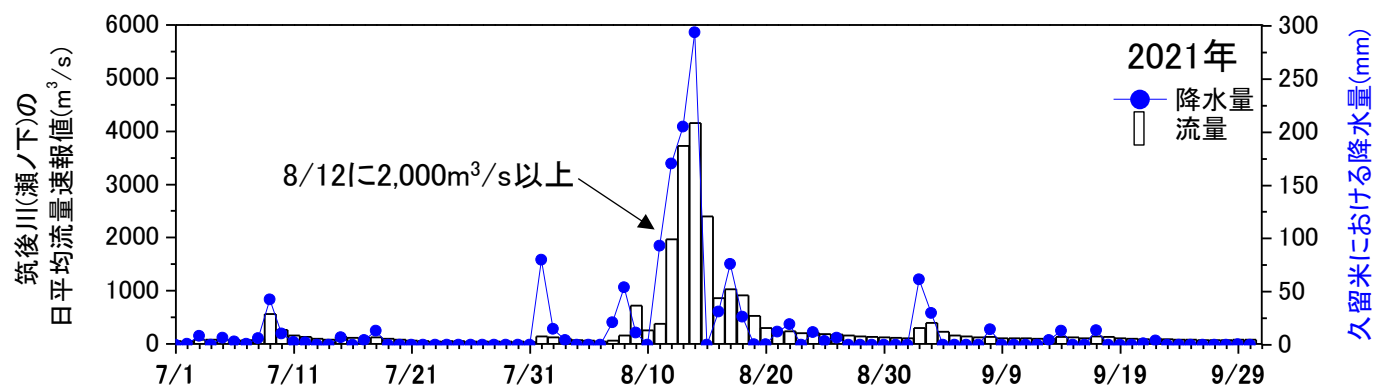
一斉観測によって観測されたDO濃度3.0mg/L未満の面積

大規模な出水が観測された時刻	筑後川 最大流量 (m³/sec)	一斉観測日	DO濃度3.0mg/L以下の面積 (km²)
2010.7.14 3:00	3,394.50	2010.8.4※	261.98
2011.7.6 21:00	2,326.27	2011.7.25※	97.31
2012.7.2 1:00, 2012.7.13 15:00	5,864.88	2012.8.10※	187.83
—	—	2013.8.1	3.58
—	—	2014.8.5	23.58
—	—	2015.8.7	81.69
—	—	2015.8.21	46.48
2016.7.13 14:00	2,189.61	2016.8.12※	220.43
—	—	2016.8.26	31.00
—	—	2017.8.16	0.00
—	—	2017.8.29	90.08
2018.7.6 14:00	5,502.27	2018.8.6※	168.06
—	—	2018.9.3	0.00
2019.7.21 7:00	2,920.54	2019.7.26※	99.64
2019.7.21 7:00	2,920.54	2019.8.26※	197.53
2020.7.7**	5,224.7**	2020.7.29※	331.96
2020.7.7**	5,224.7**	2020.8.27※	165.84
—	—	2021.8.2	195.90
2021.8.13**	4,157.2**	2021.8.31※	400.50

大規模な出水後に大規模な貧酸素水塊が形成

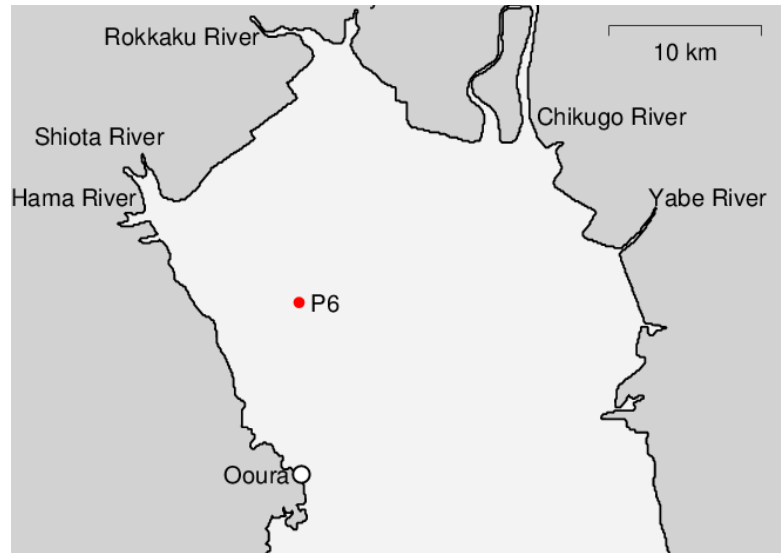
※ 一斉観測日前47日以内に筑後川日流量が2,000m³/sec以上の出水があったことを表す。
** 日平均流量(速報値)を用いた。

P6における表層・底層塩分及び底層DO濃度の時系列変化(2021年)



大規模な出水による密度成層が影響する時間スケールは、1ヶ月程度と見積もられた

P6における貧酸素化時間スケール



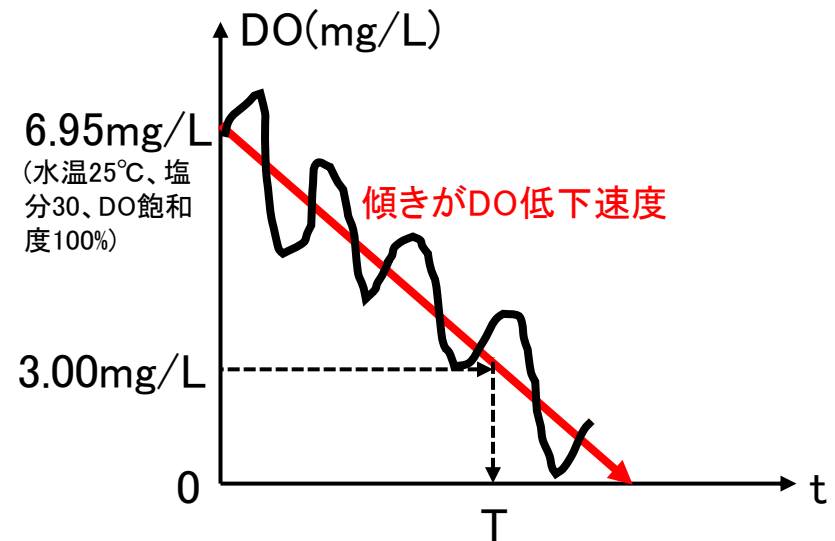
貧酸素化時間スケールT

(飽和DO濃度の海水が貧酸素状態になるまでの時間)

$$T(\text{day}) = \frac{\text{飽和DO濃度}(=6.95) - 3.00 \text{ (mg/L)}}{\text{DO低下速度 (mg/L/day)}}$$

DO低下速度

2005年から2019年までの湾奥西部海域(P6)における底層DO濃度の時系列変化から、見かけ上DO濃度が1日以上継続して低下しているものについて直線回帰で算出。さらにその期間の塩分変動が1以内かつDO濃度が3.0mg/L以上であるものについてのみ抽出された。



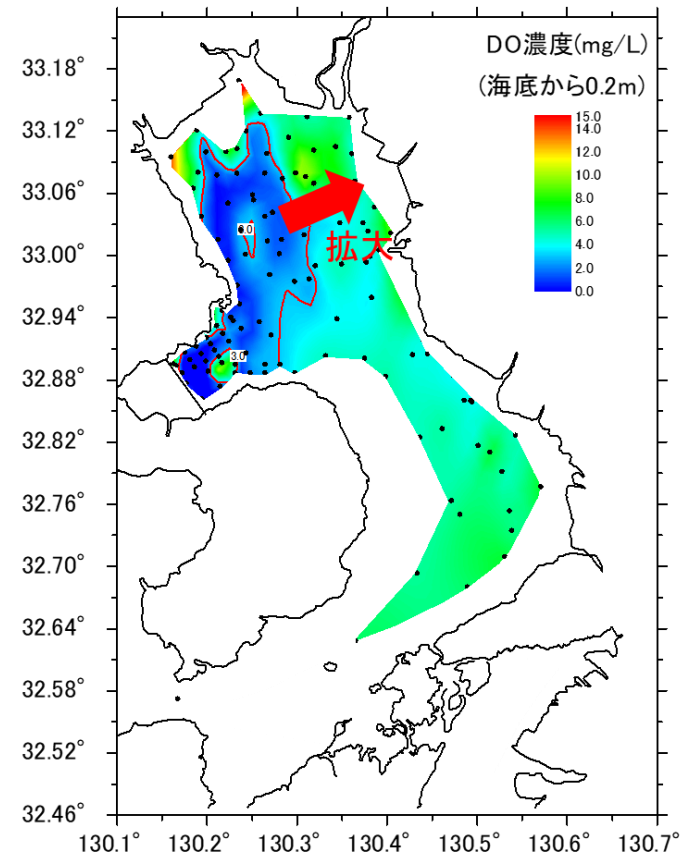
P6におけるDO低下速度の平均値は0.483mg/L/day
貧酸素化の時間スケールは8.2 day

P6における貧酸素化時間スケールの経年変動

貧酸素化時間スケール(8.2day) < 密度成層が影響する時間スケール(47day)



密度成層が強く、潮汐・潮流や強風等による鉛直混合が8.2日以上にわたって密度成層を破壊できない場合には、P6から水深が深い湾奥南部海域へ貧酸素水塊が拡大することが示唆された。



湾奥東部海域への拡大については連続観測データが取得できていないため言及できない。今後、湾奥東部海域においても密度成層が継続する時間スケールと貧酸素化の時間スケールの算定のために連続観測データの収集が必要である。

- 2021年では出水前後で貧酸素水塊の分布を把握できており、大規模な出水により貧酸素水塊の分布面積が約2倍程度に増加することが明らかになった。
- 大規模な出水による密度成層の継続は1ヶ月程度と算出され、これは貧酸素化の時間スケールよりも長かった。
- 大規模な出水により、湾奥西部海域を中心に形成された貧酸素水塊は湾奥南部海域へ拡大することが示唆された。

令和3年度委員会報告の内容(貧酸素水塊の発生状況)

毎年夏期の小潮期を中心に有明海奥部と諫早湾の2箇所で貧酸素水塊が別々に発生している。特に、九州北部地方で豪雨が記録された2020(令和2)年には、7月から8月にかけての1ヶ月程度の長期間にわたって表層塩分は低下し、大規模な貧酸素水塊が発生した。

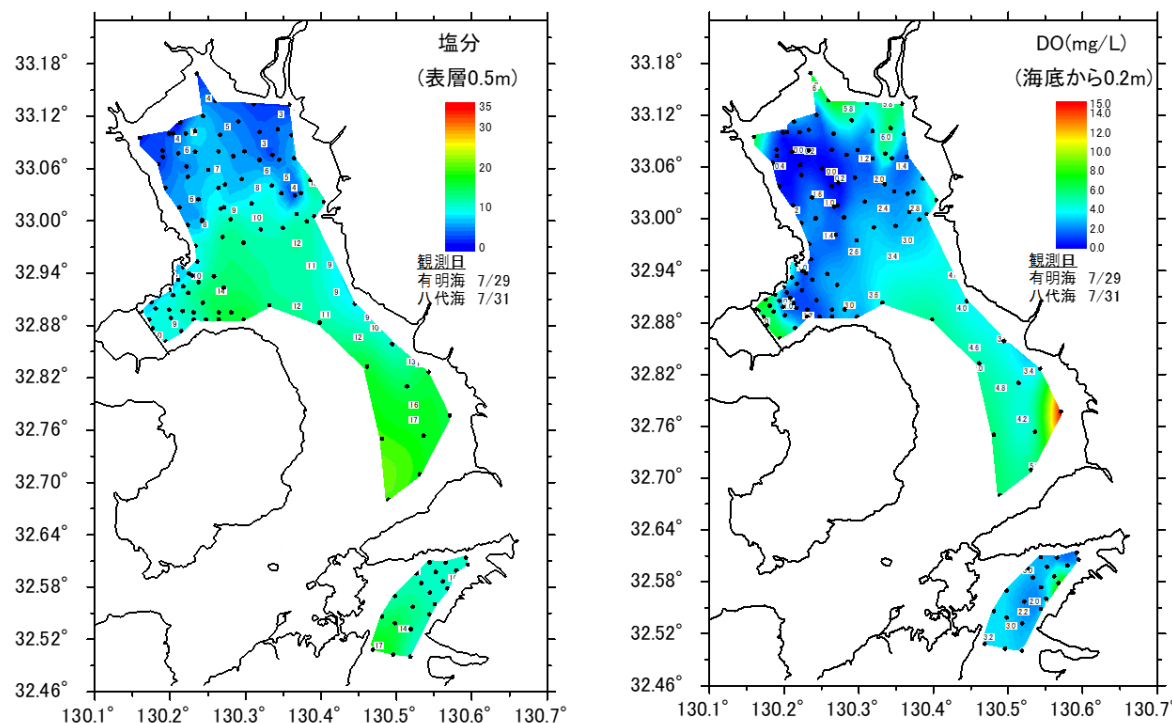


図 2.6.2-2 有明海及び八代海における表層塩分と底層溶存酸素濃度の分布
(有明海:2020年7月29日、八代海7月31日)

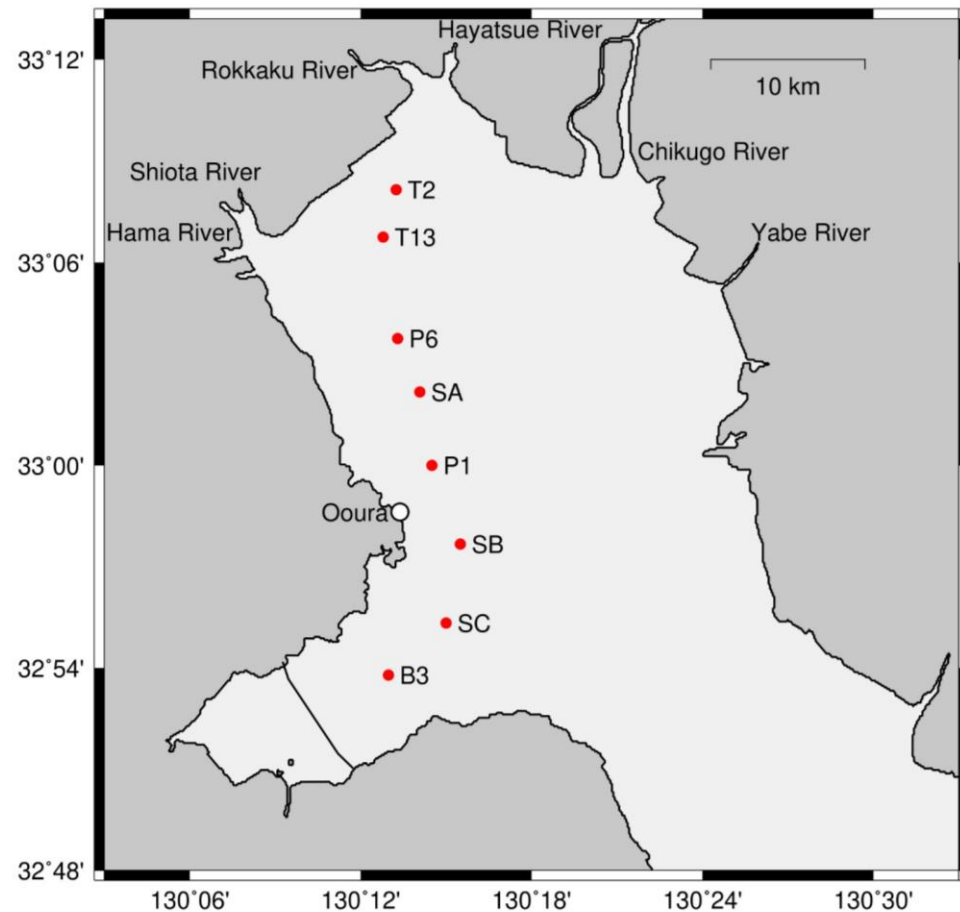
出典:水産技術研究所、農林水産省九州農政局、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、佐賀県有明水産振興センター、長崎県総合水産試験場、長崎県県南水産業普及指導センター、熊本県水産研究センター、九州大学、佐賀大学、日本ミクニヤ株式会社、による共同一斉観測

令和3年度中間報告では2020年度の大規模出水後のデータのみ示されたが、2021年度では大規模出水の前後のデータが示されたことで、大規模出水の影響を現地データで評価できた。

貧酸素水塊の短期変動

干潟縁辺域と沖合域での特性の違い

有明海奥部から諫早湾までの断面観測

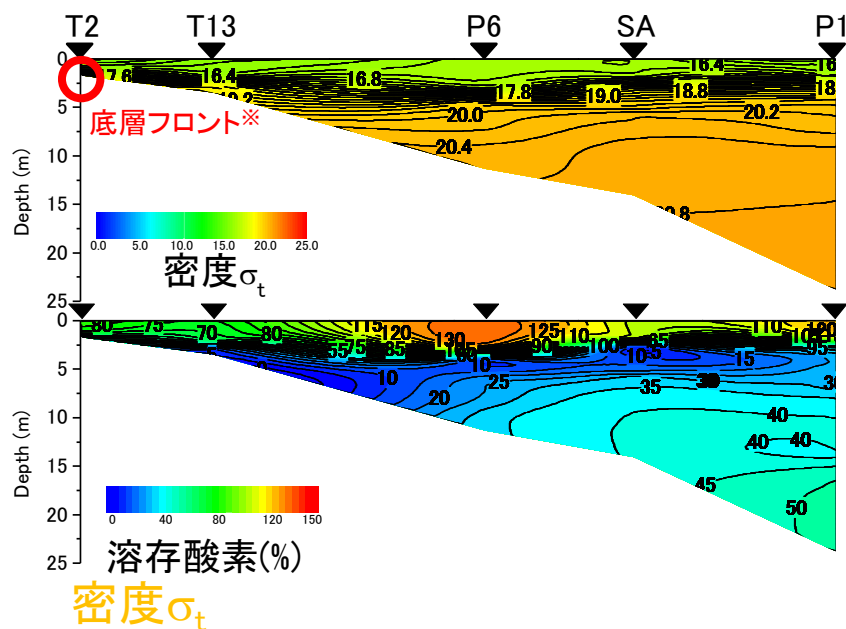


観測概要

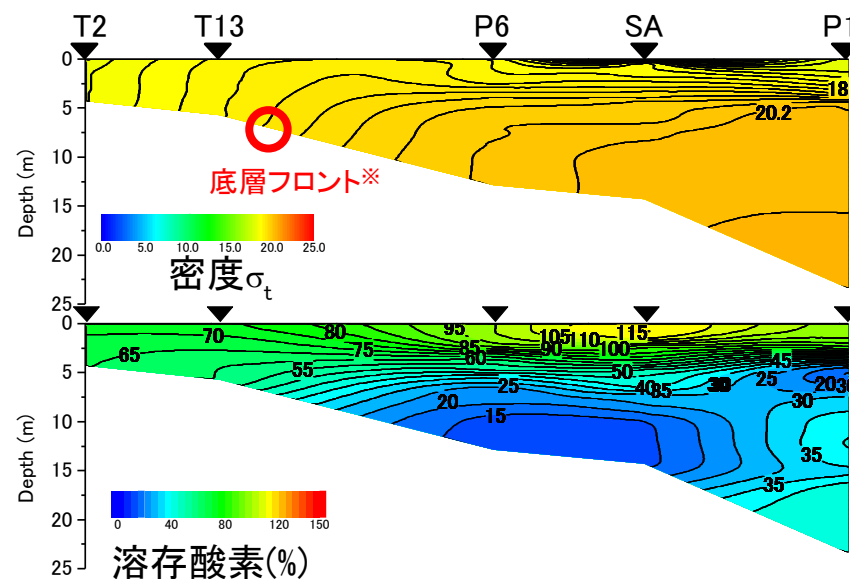
- 毎年7月から9月までの約1週間毎
- CTDを用いた水質の鉛直分布

有明海奥部西部海域における貧酸素水塊の短期変動(平常時)

2021.7.19(小潮期)



2021.7.26(大潮期)



※強い塩分勾配が海底と交差する場所 (Badin et al. 2010、Geyer and Ralston 2015)

小潮期

- 等密度線は水平方向に伸びる
- 底層フロントはT2より岸に位置

大潮期

- 等密度線はT2～T13で鉛直方向に伸びる
- 底層フロントはT13～P6に位置

溶存酸素

小潮期

- 底層では低い
- P6から沖はさらに沖からの高い溶存酸素の水塊の移流により中層が低くなる

大潮期

- 岸は高い溶存酸素
 - 底層フロントより沖で溶存酸素低下
- ➡ 貧酸素が沖に移動した様に見える

干潟縁辺域(T2、T13)では底層フロントの位置と貧酸素化の関係が示唆される

まとめ

- 小潮期は底層フロントがT2周辺に位置し、底層フロントよりも沖側は底層DO濃度は低下
- 大潮期は底層フロントが沖側へ見かけ上移動し、貧酸素水塊も見かけ上沖側へ移動したようになる。
 - 干潟沖合域は大潮小潮周期で貧酸素化と回復を繰り返す
- 沖合域(P6)は底層フロントの影響が大きい。
 - 鉛直1次元プロセスで貧酸素化する可能性

有明海湾奥部の貧酸素水塊の中長期変動の要因に関する文献

(1)有機物量増加にともなった酸素消費量の増加

Hayami and Fujii(2018)

(2)地形改変

Yamaguchi and Hayami(2018)

(3)河川流量増加

Hao et al(2024)

令和3年度委員会報告の内容(貧酸素水塊の短期変動)

干潟縁辺域においては底層水の移流が大きく、沖合域は小さい

水深5m 程度の干潟縁辺域(A1 海域)と水深15m 程度の沖合域(A3 海域)では貧酸素状態の継続時間等は大きく異なること、**底層酸素消費は干潟縁辺域が沖合域より大きいことから、有明海奥部の底層溶存酸素濃度の短期変動及び経年変動を明らかにするため、干潟縁辺域と沖合域とに区分して整理**

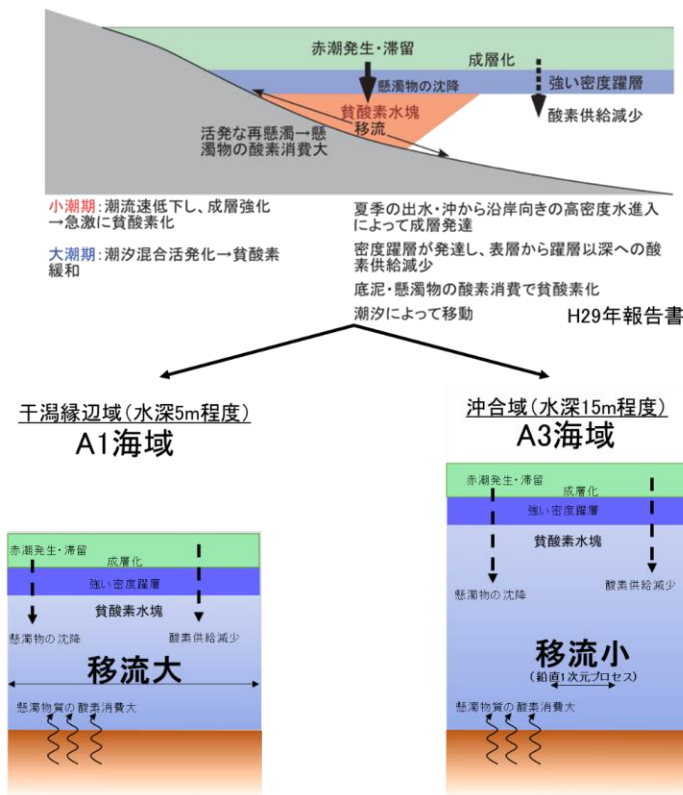
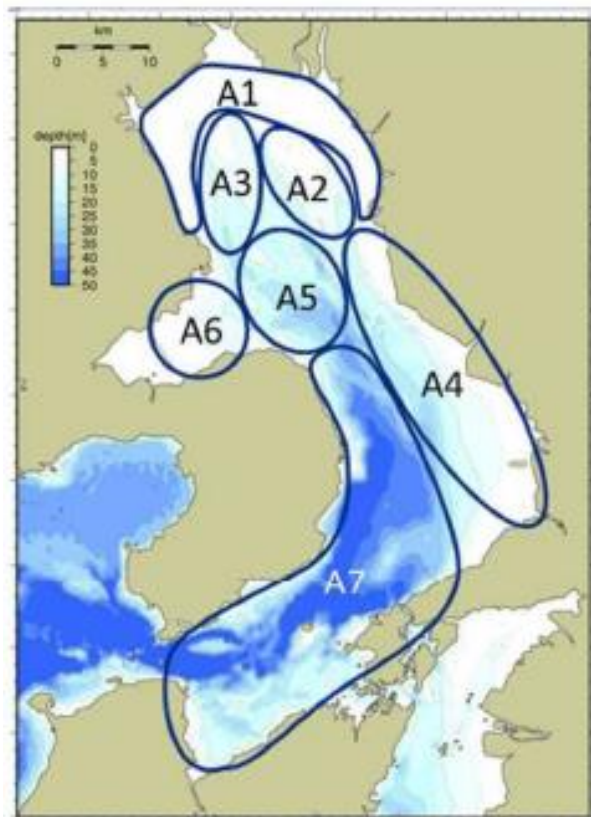


図 2.6.2-1 有明海湾奥部における貧酸素水塊発生の様式図

令和3年度中間報告ではA1海域とA3海域に区分して貧酸素水塊発生の様式図が示された。その理由として、今回示したA1海域における大潮期と小潮期の底層フロントの見かけ上の移動やA3海域での鉛直1次元プロセスが関係するためと推察された。

貧酸素水塊の経年変化特性

潮流振幅と貧酸素水塊の関係

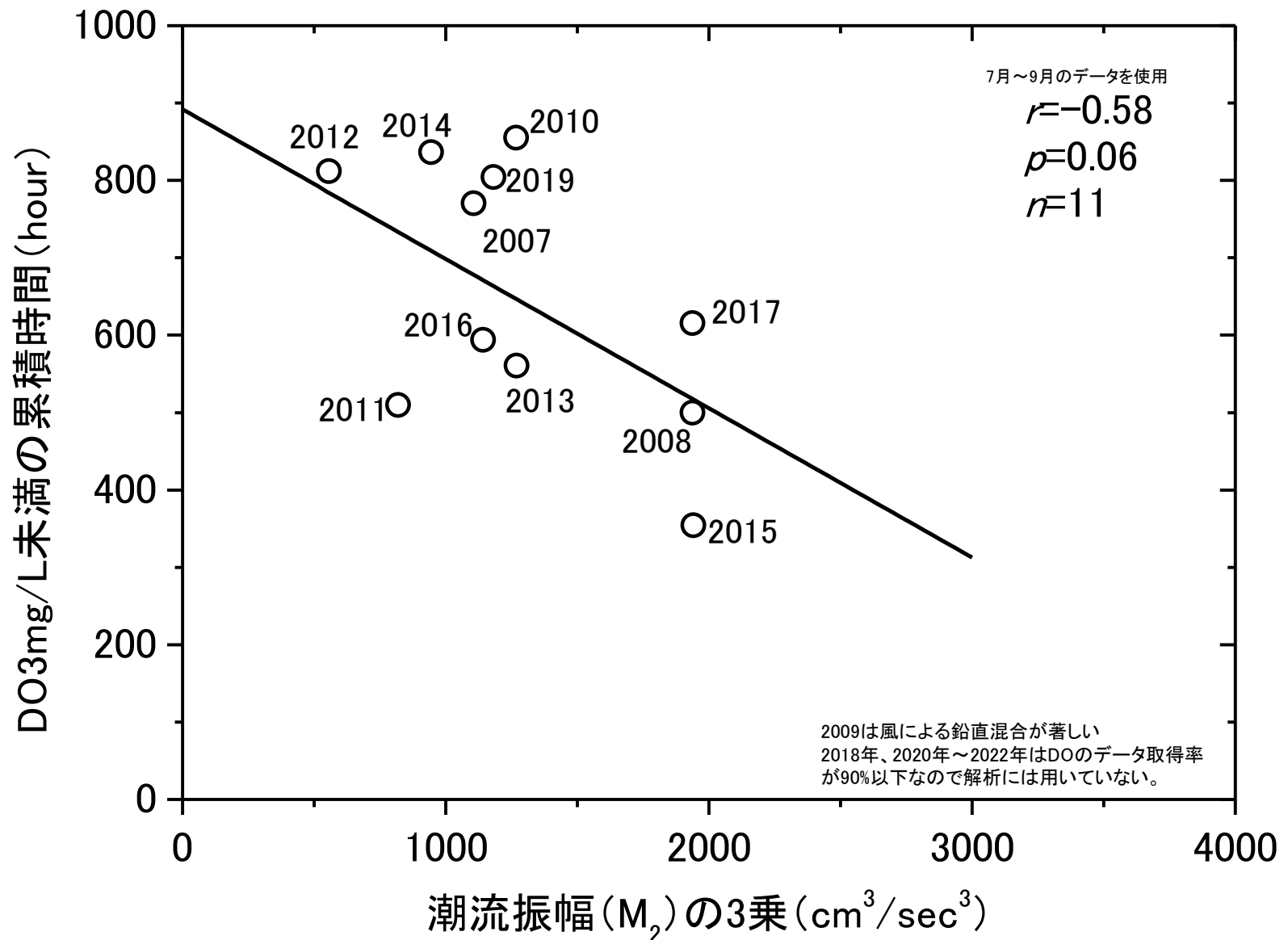
有明海奥部西部海域における貧酸素水塊の経年変動

- 貧酸素水塊の要因(速水2007): 物理的要因(密度成層、潮流による鉛直混合等)
生物・化学的要因(酸素消費)
- 貧酸素水塊の経年変動: 栄養塩負荷では説明できないことはしばしば(Hagy et al. 2004, Murphy et al. 2011, Scully 2013,2016)

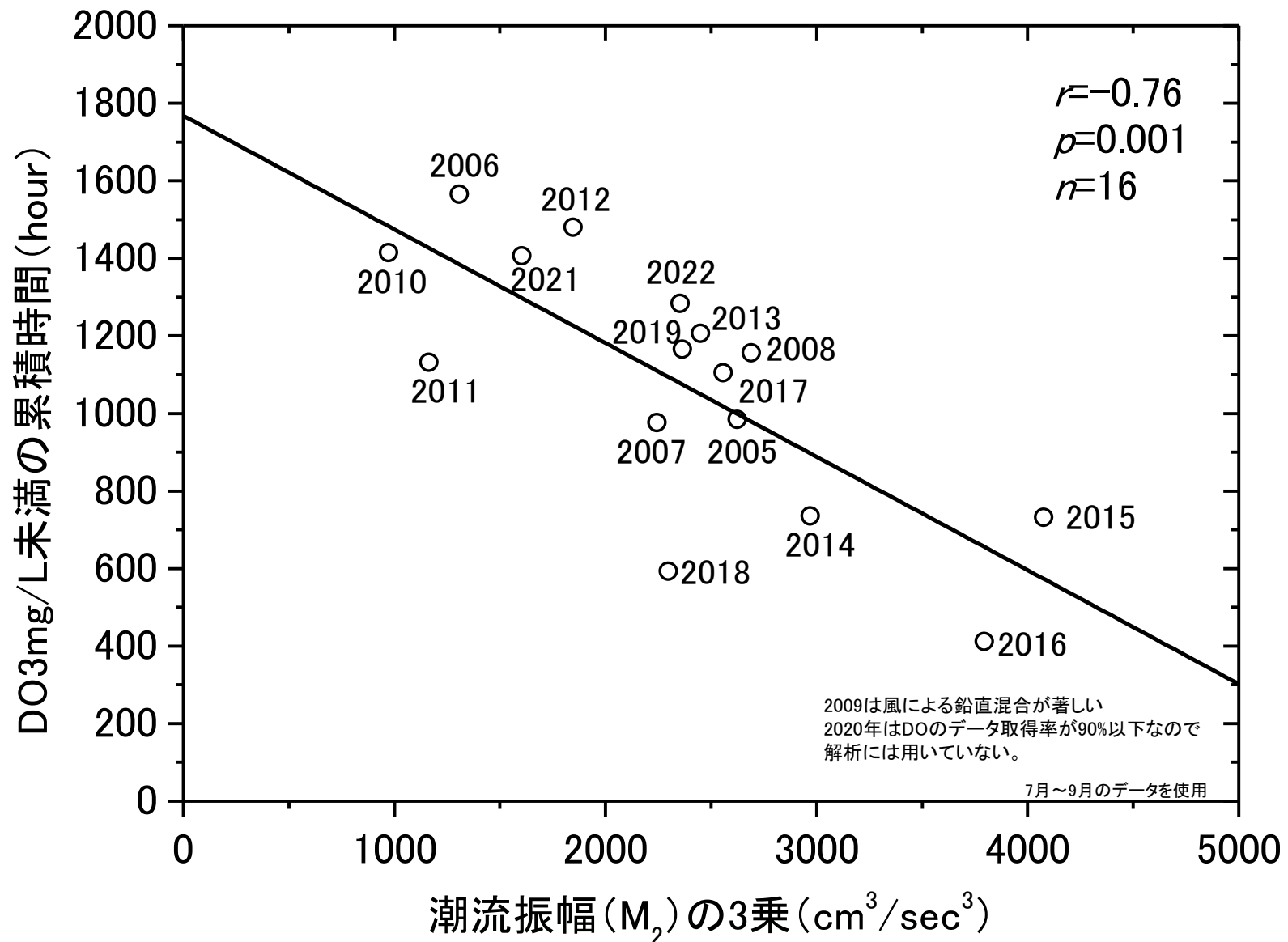
ここでは、**物理的要因に着目**して解析

- 成層した領域と鉛直混合した領域の境界→ H/U^3 (H:水深、U:潮流振幅) (Souza and Simpson 1996)
- 連続観測は定点観測なので、 H ＝一定を仮定すると、成層した領域と鉛直混合した領域の境界は **U^3 で規定**される。

干潟縁辺域(T13)の底層における M_2 潮流振幅の3乗と DO3mg/L未満の累積時間との関係



沖合域(P6)の底層における M_2 潮流振幅の3乗と DO3mg/L未満の累積時間との関係



令和3年度委員会報告の内容(貧酸素水塊の経年変化特性)

海底摩擦による鉛直混合を表す指標として、海底から0.2m 高さのM₂潮の潮流振幅の3乗を採用した。干潟縁辺域及び沖合域のいずれも相関関係が見られ、**M₂潮の潮流振幅の3乗が大きければ、鉛直混合が大きく密度成層は形成しにくく、底層溶存酸素濃度3mg/L 未満の累積時間は小さくなることが示唆された。**逆に、M₂潮の潮流振幅の3乗が小さければ、鉛直混合が小さく密度成層は形成しやすく、底層溶存酸素濃度3mg/L 未満の累積時間は大きくなることが示唆された。

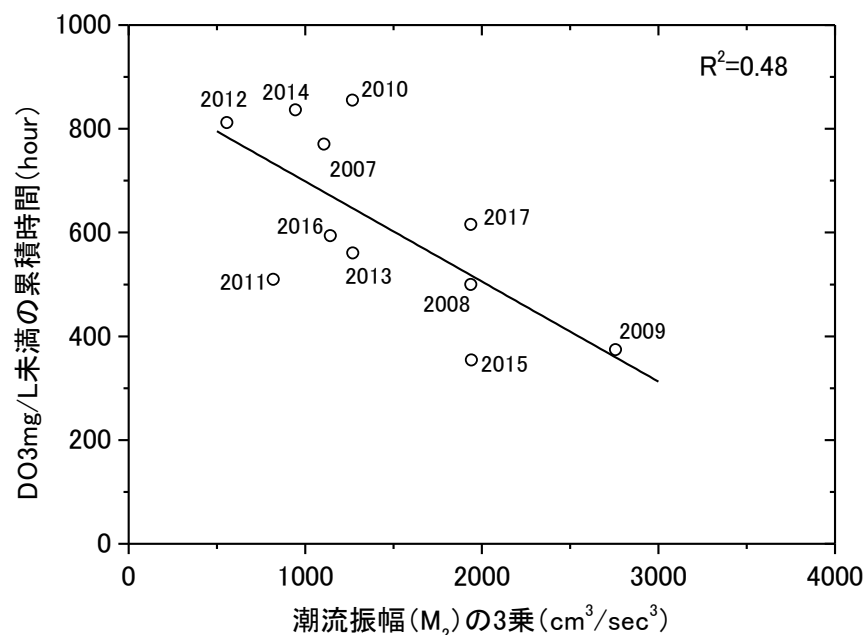


図 干潟縁辺域(T13)における底層潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO3mg/L未満の累積時間との関係

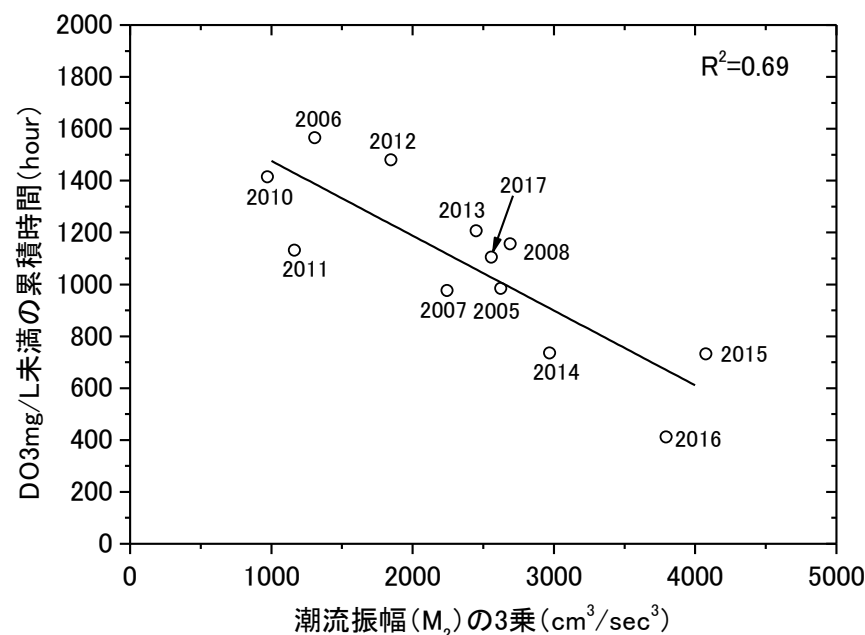


図 沖合域(P6)における底層潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO3mg/L未満の累積時間との関係

2018年度から2022年度までのデータを追加しても、令和3年度中間報告と同様に干潟縁辺域と沖合域では底層潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO3mg/L未満の累積時間の間には相関関係が見られた。この関係の要因、貧酸素化の生物化学的要因については現在論文投稿中。