



資料 2 - 4

（参考）

有用二枚貝に関する調査の情報収集等

「有明海における二枚貝類の成長・生残要因の 検討結果」

令和6年2月
環境省

- 環境省「有明海二枚貝類の減少要因解明等調査」において、有明海の有用二枚貝類の保全・回復を図ることを目的とし、二枚貝類の生息環境モニタリングや餌料環境の長期変化の把握に向けた検討等を実施している。
- 有明海において二枚貝類の成長・生残等に影響を及ぼしていると考えられる①貧酸素や浮泥などの環境要因の空間分布を把握し、併せて②貧酸素がタイラギ資源に与える影響を検討した結果も報告する。
- なお、今回の報告は、「今後の情報の収集・整理・分析等の具体的内容（水産小委）」のうち、以下の太字の部分に該当する。

今後の情報の収集・整理・分析等の具体的内容（水産小委）

3. 今後の情報収集等の具体的内容

ア) 有用二枚貝

令和8年度委員会報告に向けて、関係省庁等において集中的に調査・研究が実施されている「**タイラギ**」、「アサリ」を中心に検討を行う。

なお、生活史（幼生、稚貝、母貝等）の観点から生息状況（時期・場所（海域）・生息量など）を整理するとともに、環境項目等（底質、**浮泥**、**貧酸素**、水温、塩分濃度、餌料環境、食害（エイ類や小型捕食者等）等の要因）の影響や、**海域ごとの環境特性等との関連性**等について、直近のデータも踏まえて分析する。

①二枚貝類をとりまく現在の生息環境の把握 (生息環境調査)

浮泥と貧酸素の時空間分布

● 底質環境モニタリング

有明海奥部の8測点において、密度法により浮泥層厚*1)を測定、その他、浮泥の有機物含量、クロロフィル a 含量、粒度組成、酸化還元電位を測定

*1 浮泥層厚はアサリ、サルボウ生貝と密度（1.4g/cm³）がほぼ同じ塩化ビニル（PVC）の小型の円盤を用いた密度法により測定し、二枚貝が埋没する堆積層の厚さと等しいものとした（速水祐一・岡村和磨, 浮泥層厚の簡易測定手法の開発. 沿岸海洋研究, 2022: 60(1), 17-23.）。

● 水質環境モニタリング

底層を中心に水温、塩分、D O、クロロフィル蛍光、濁度を測定

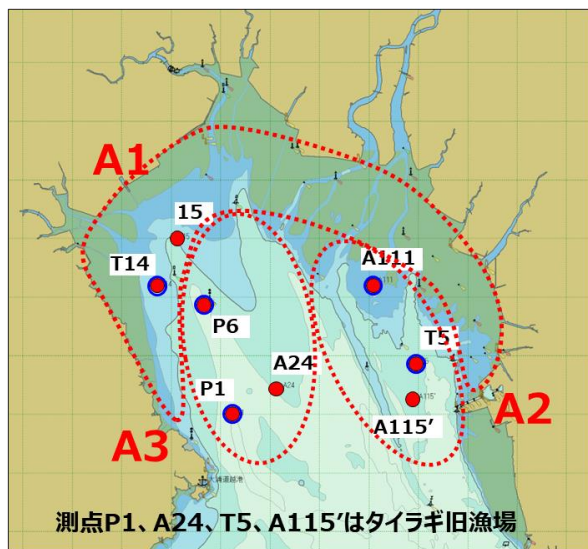


図 1 a 底質環境モニタリング測点

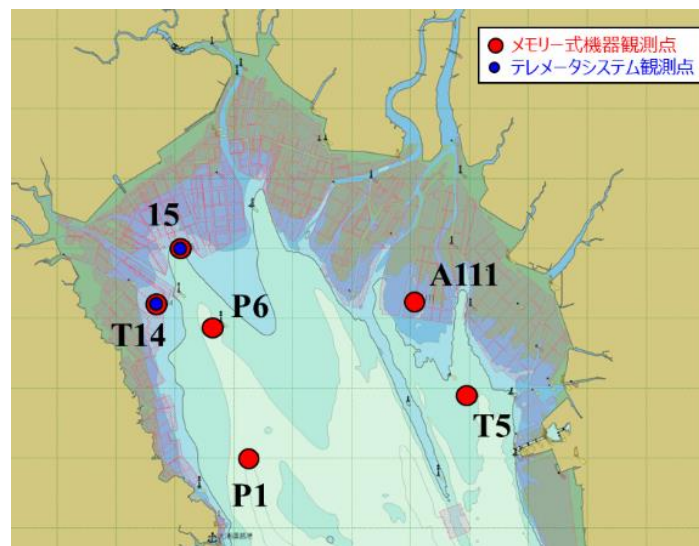
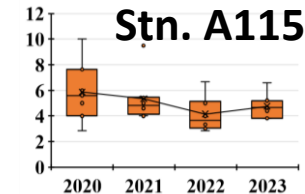
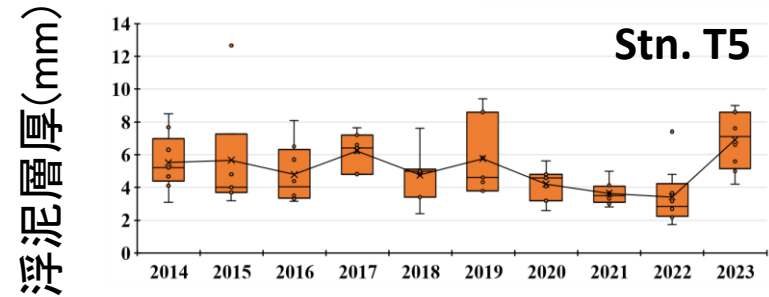
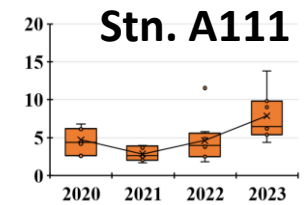
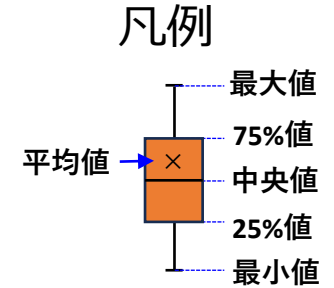
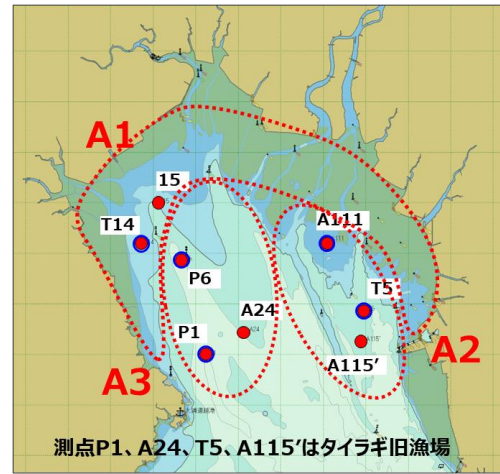
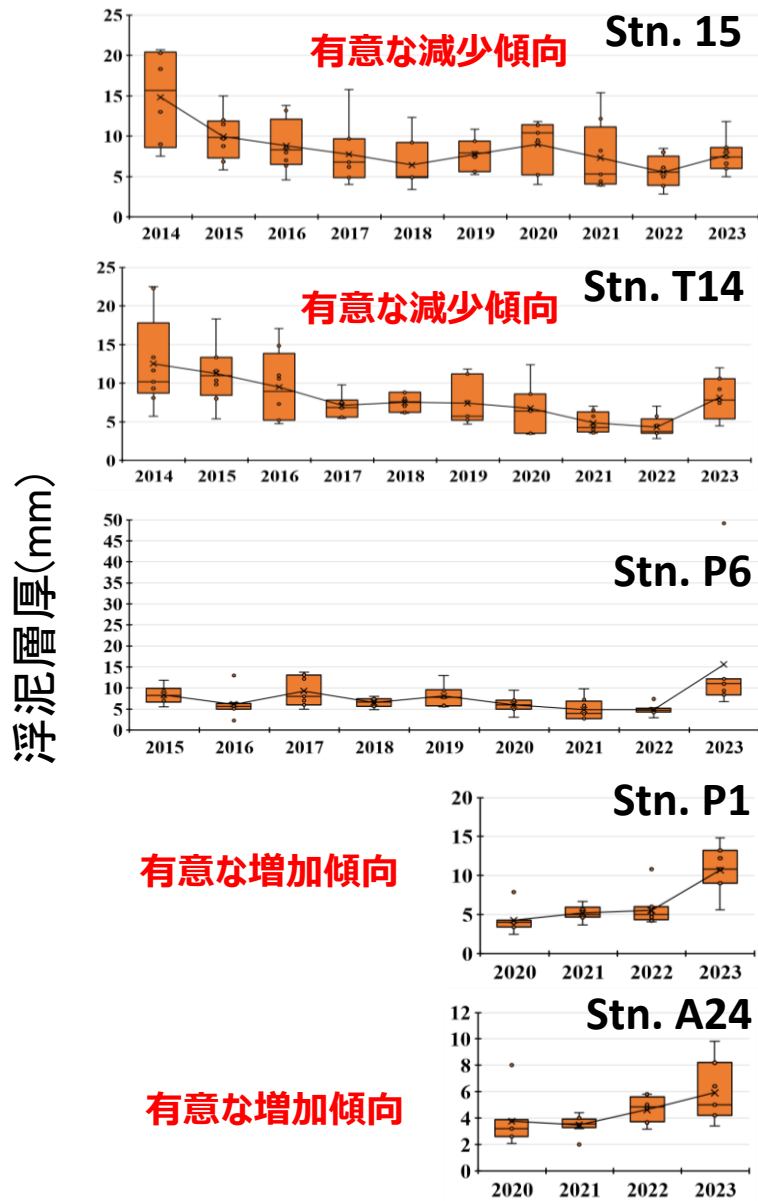


図 1 b 水質環境モニタリング測点

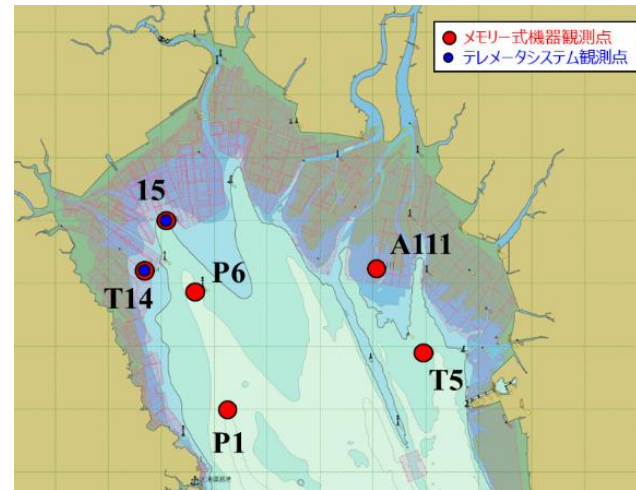
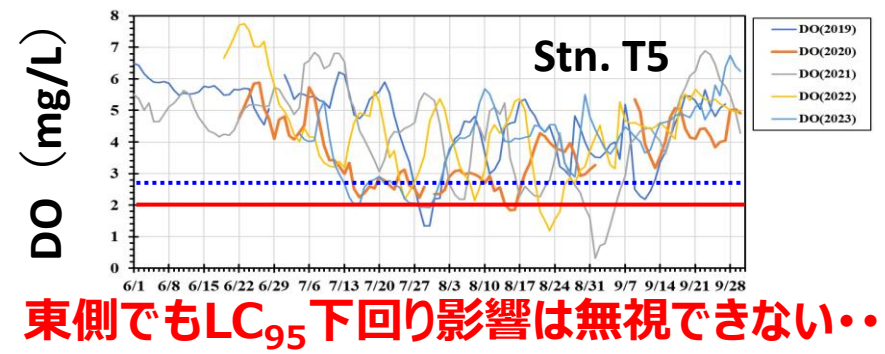
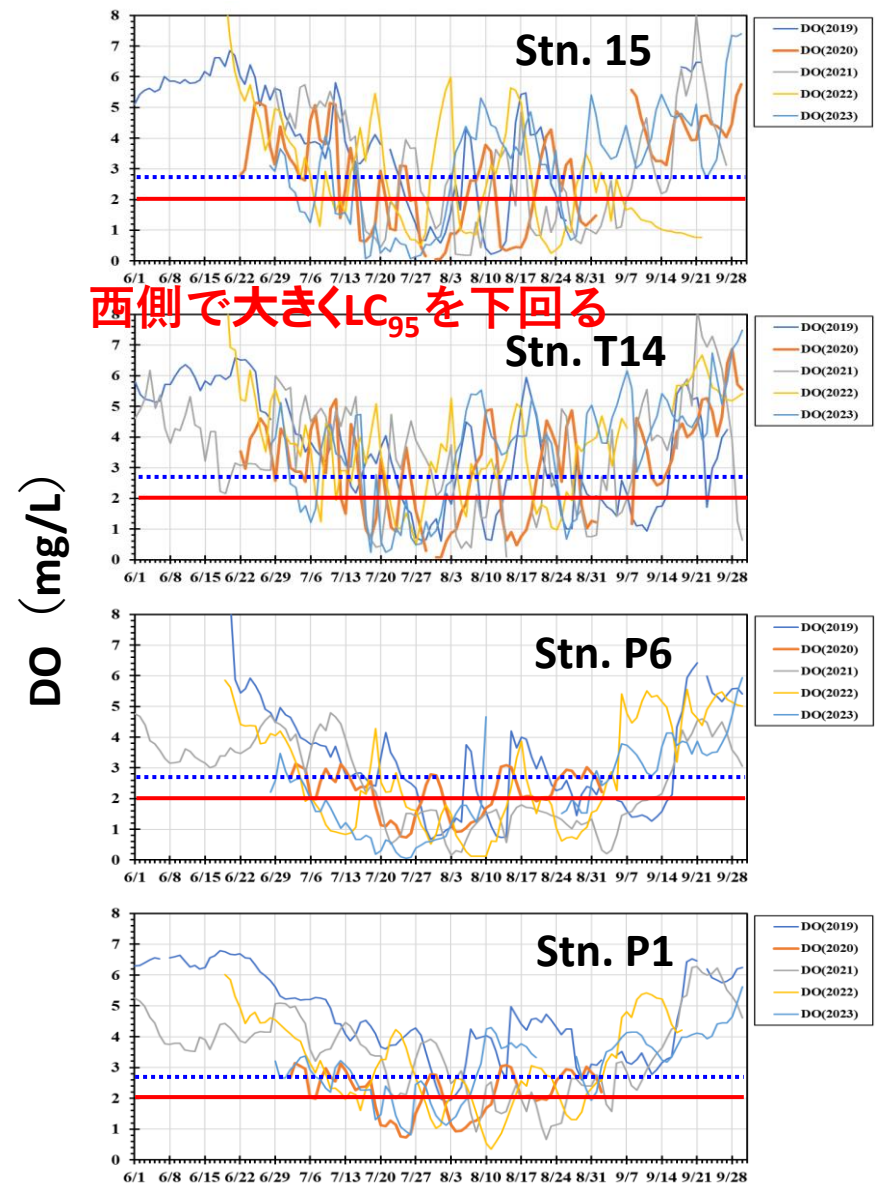
夏季（6～9月）における浮泥層厚の経年変化



※西側沖合域では土砂の流入がみられることから、浅海→沖合への輸送が示唆される。

図2. 夏季（6～9月）における各測点の浮泥層厚の経年変化

夏季（6～9月）における底層DOの経時変化



*2 水産研究・教育機構・佐賀大学・いであ株式会社（2017）平成28年度環境省請負「有明海・八代海等再生評価支援（有明海二枚貝類の減少要因解明等調査）」業務結果報告書, 31-35.
 *3 水産研究・教育機構・佐賀大学・いであ株式会社（2022）令和3年度環境省請負「有明海・八代海等再生評価支援（有明海二枚貝類の減少要因解明等調査）」業務結果報告書, 63-99.

表1. 室内実験によるタイラギの生活史ステージ別貧酸素耐性*2,3)

稚貝 (LC ₉₅)	1歳貝 (LC ₉₅)	2歳貝 (LC ₉₅)
DO < 0.72 mg/L > 24h DO < 2.02 mg/L > 48h DO < 2.63 mg/L > 72h DO < 2.74 mg/L > 96h	DO < 0.39 mg/L > 48h DO < 0.62 mg/L > 72h DO < 0.64 mg/L > 96h	DO < 0.31 mg/L > 48h DO < 0.77 mg/L > 72h DO < 1.29 mg/L > 96h

図3. 夏季（6～9月）における底層（B-0.2m）DOの各測点・2019～2023年における経時変化 5

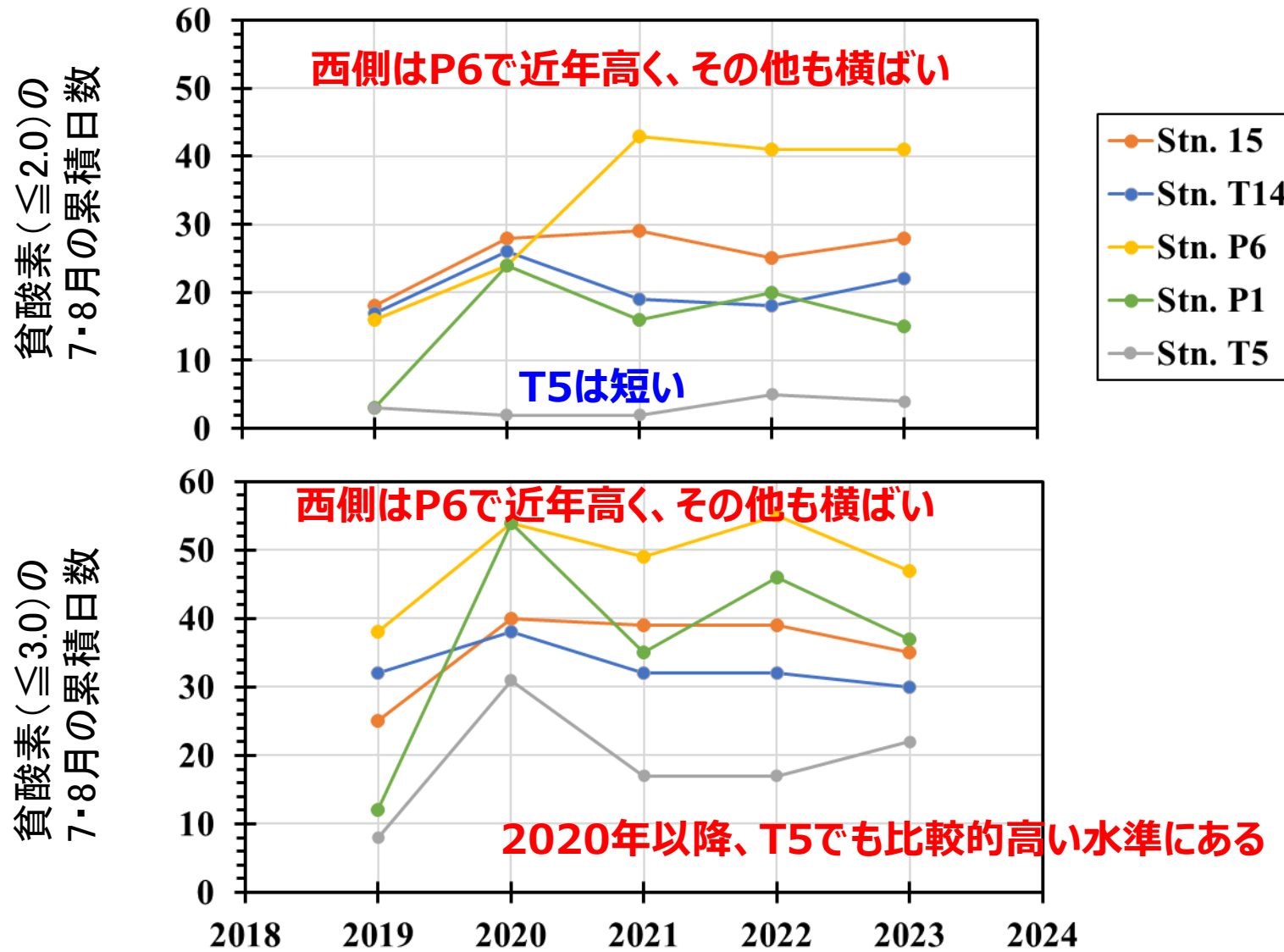


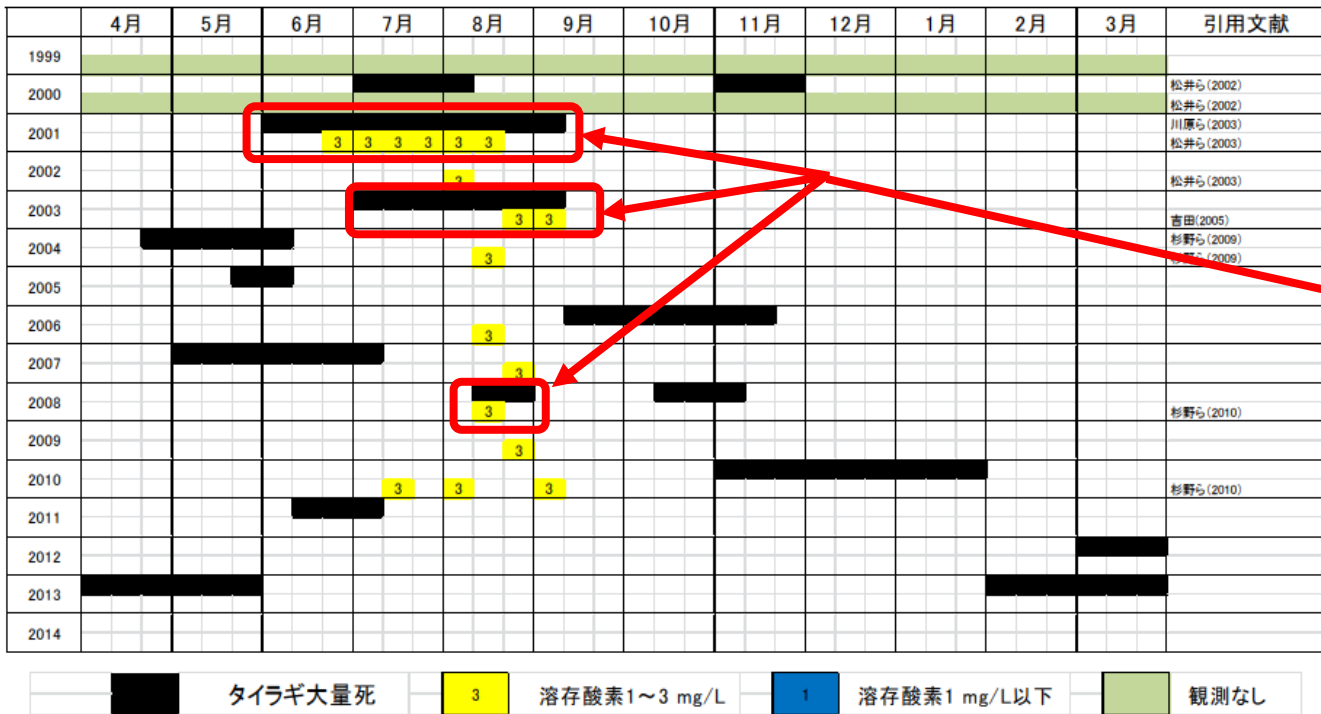
図4. 底層 (B-0.2m) における貧酸素 (≤2.0 (上図)、≤3.0 (下図)) の7・8月の累積日数の経年変化

②タイラギ資源変動と貧酸素にかかる検討

タイラギ貧酸素曝露試験と数値モデルに基づく底層溶存酸素濃度がタイラギ資源に与える影響の評価

A1海域：資源量や漁獲量のデータが無いいため、タイラギ減耗要因の議論は難しい（H28報告※p228）

A2海域：タイラギ大量死と貧酸素（溶存酸素1~3mg/L）との時期が全9年のうち6年で一致せず、かつ発生期間も短い（H28報告p267）



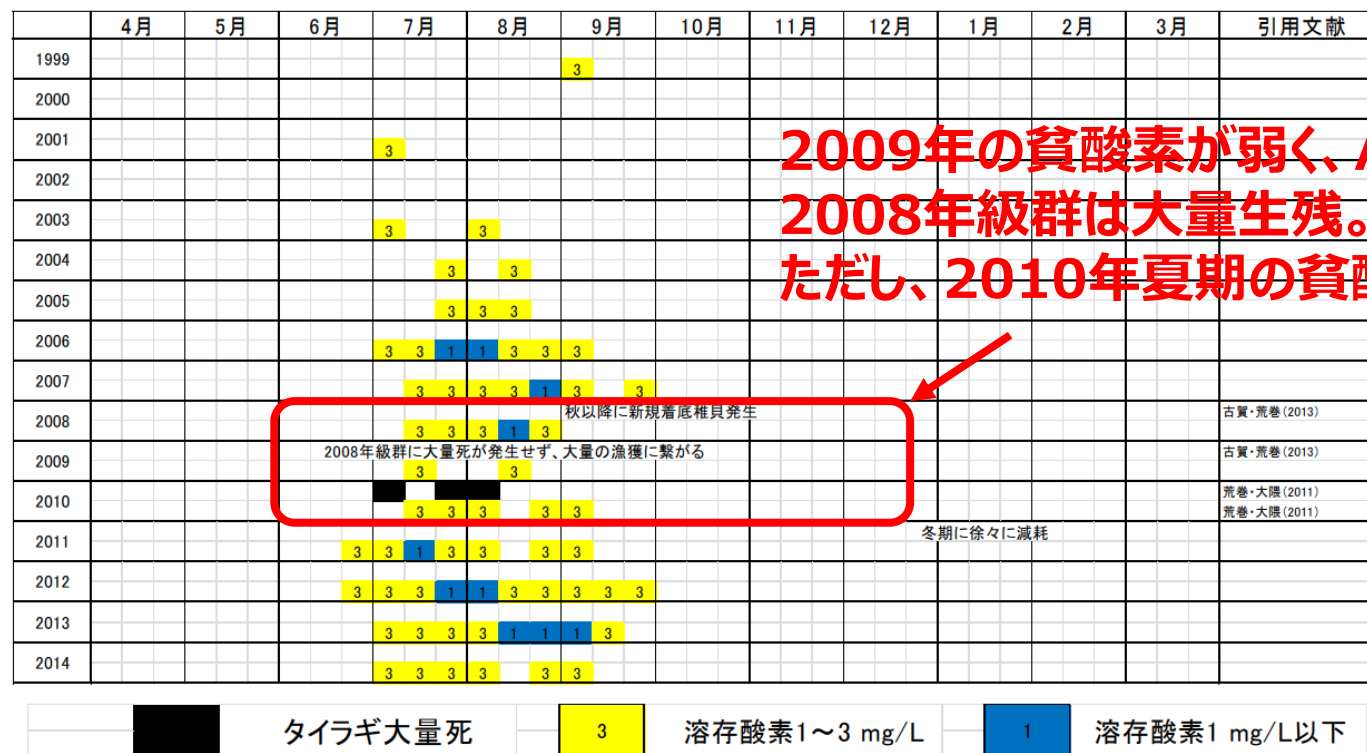
2001,2003,2008年は大量死と貧酸素の時期が一致。

他年は不一致

図 4.4.42 A2海域におけるタイラギ大量へい死と溶存酸素量との関係

※)本資料では「平成28年度有明海・八代海等総合調査評価委員会報告」を「H28報告」と略す。
また、「令和3年度有明海・八代海等総合調査評価委員会中間取りまとめ」を「R3中間取りまとめ」と略す。

A3海域：豊漁につながった2008年級群の消長が貧酸素の強弱と対応したことや、1980年代以降の底層の溶存酸素量（以下、DO）の推定値（速水 2007※）とタイラギ漁獲量の長期的減少が対応すること等、貧酸素がタイラギ資源変動に影響を与えていることが推定された。ただし、2012年以降、稚貝密度が低いため、タイラギ減耗と貧酸素との因果関係が不明（H28報告p302）。



※ 速水祐一（2007）：
有明海奥部の貧酸素水塊，
海洋と生物，第173号，
pp.577-583

図 4.4.75 A3海域のタイラギ生息域における溶存酸素とタイラギ大量死との関係

有明海奥部のタイラギ減耗と貧酸素についての課題

A1海域ではデータ無し。A2海域では大量死の時期と貧酸素発生期との対応が不明瞭。A3海域では貧酸素との関係性が認められるが、2012年以降はタイラギ稚貝密度が低く、タイラギ減耗と貧酸素との因果関係を検証しにくい。



課題：

- ・タイラギ減耗と溶存酸素との関係を、より定量的に評価する必要がある
- ・相対的に野外データの少ない稚貝についても、その減耗と溶存酸素の関係を明らかにする必要がある

➡ 生活史ステージ別のタイラギの貧酸素曝露実験を実施

- ・底層の溶存酸素を時空間的に密に推定してタイラギ減耗との関係を整理する必要がある

➡ 底層の溶存酸素濃度の数値モデルで評価

方法：

3通りの生活史ステージ（稚貝、1歳貝、2歳貝、いずれも人工種苗）
× 7通りの溶存酸素（0, 1, 2, 3, 3.5, 4, 7 mg/L）の組み合わせで
96時間の室内曝露試験※）を実施し、生残率の変化を記録した

※参考文献

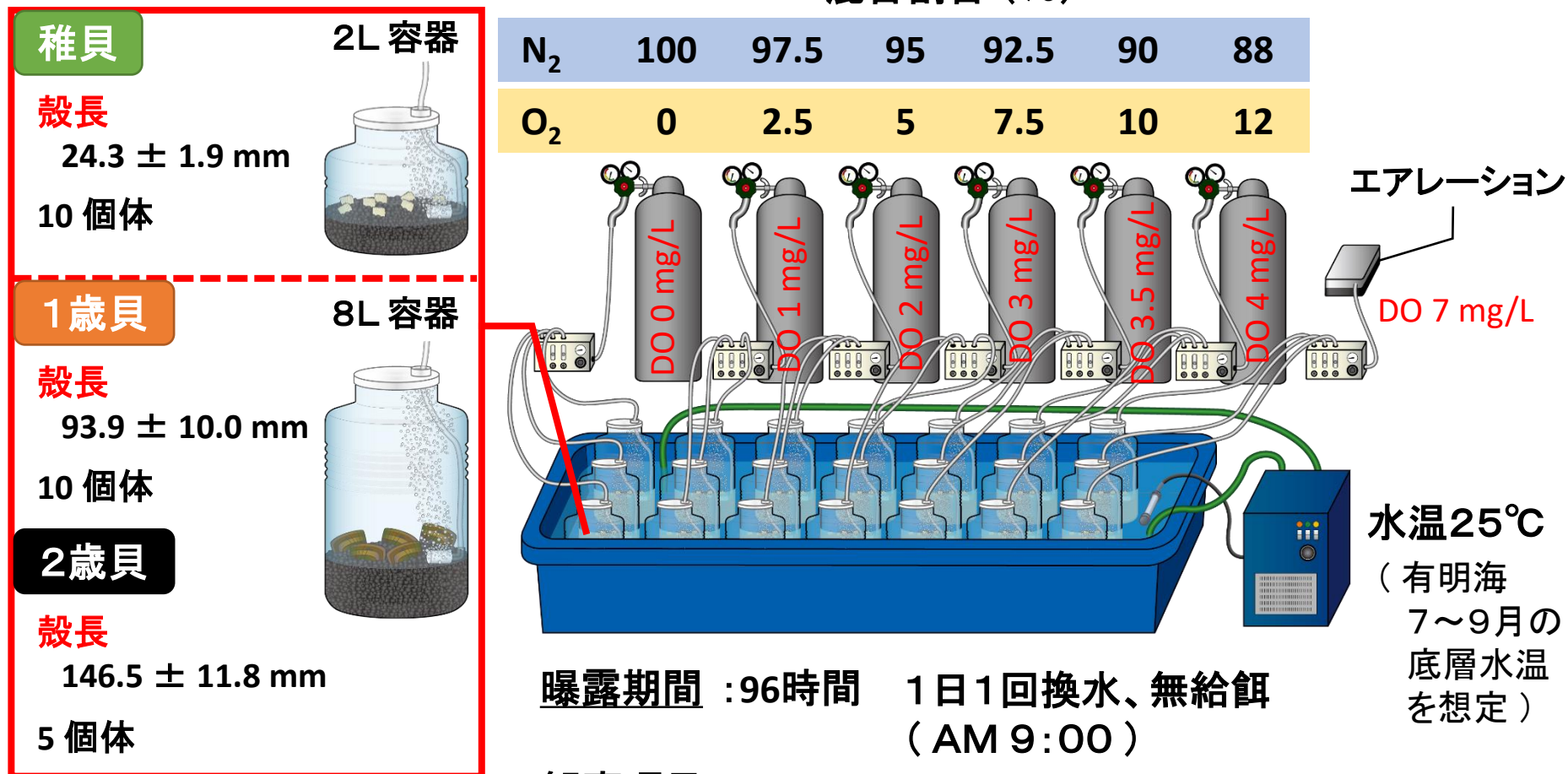
文献1. 水産研究・教育機構, 佐賀大学, いであ株式会社 (2017) 平成28年度環境省請負「有明海・八代海等再生評価支援（有明海二枚貝類の減少要因解明等調査）」業務結果報告書

文献2. Nagasoe S, Tokunaga T, Yurimoto T, Matsuyama Y (2020) Survival and behavior patterns associated with hypoxia at different life stages of the pen shell *Atrina* cf. *japonica*. *Aquatic Toxicology* 227. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105610>.

文献3. 水産研究・教育機構, いであ株式会社 (2022) 令和3年度環境省請負「有明海・八代海等再生評価支援（有明海二枚貝類の減少要因解明等調査）」業務結果報告書

試験概要図

窒素・酸素の混合比の異なるガスで飼育容器内の海水を曝気し、異なるDOの海水を用意し、稚貝、1歳貝、2歳貝を貧酸素に曝露した

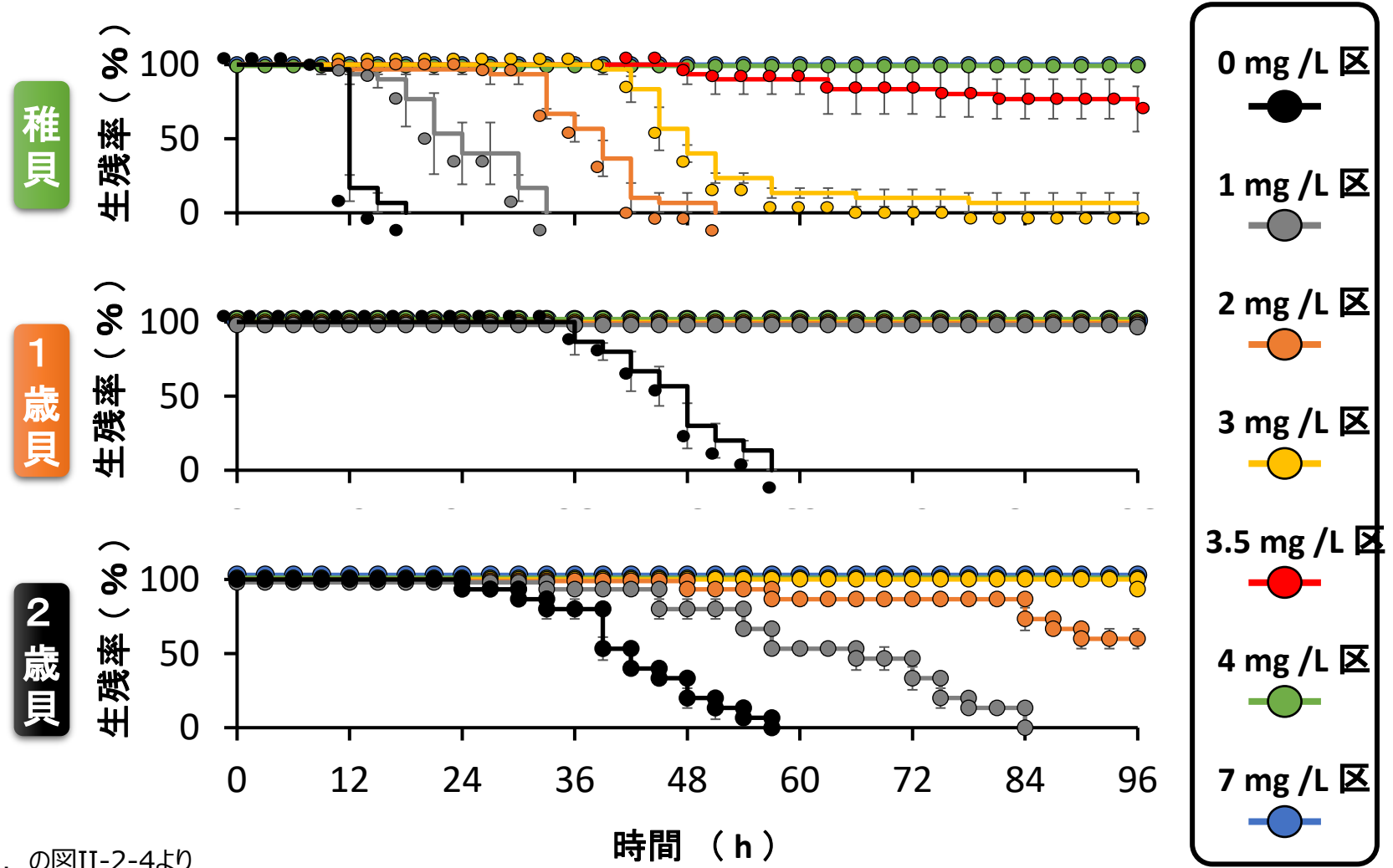


観察項目

- ・DO
- ・タイラギの生死を3時間毎に記録

結果（稚貝，1歳貝 および 2歳貝の生存率）

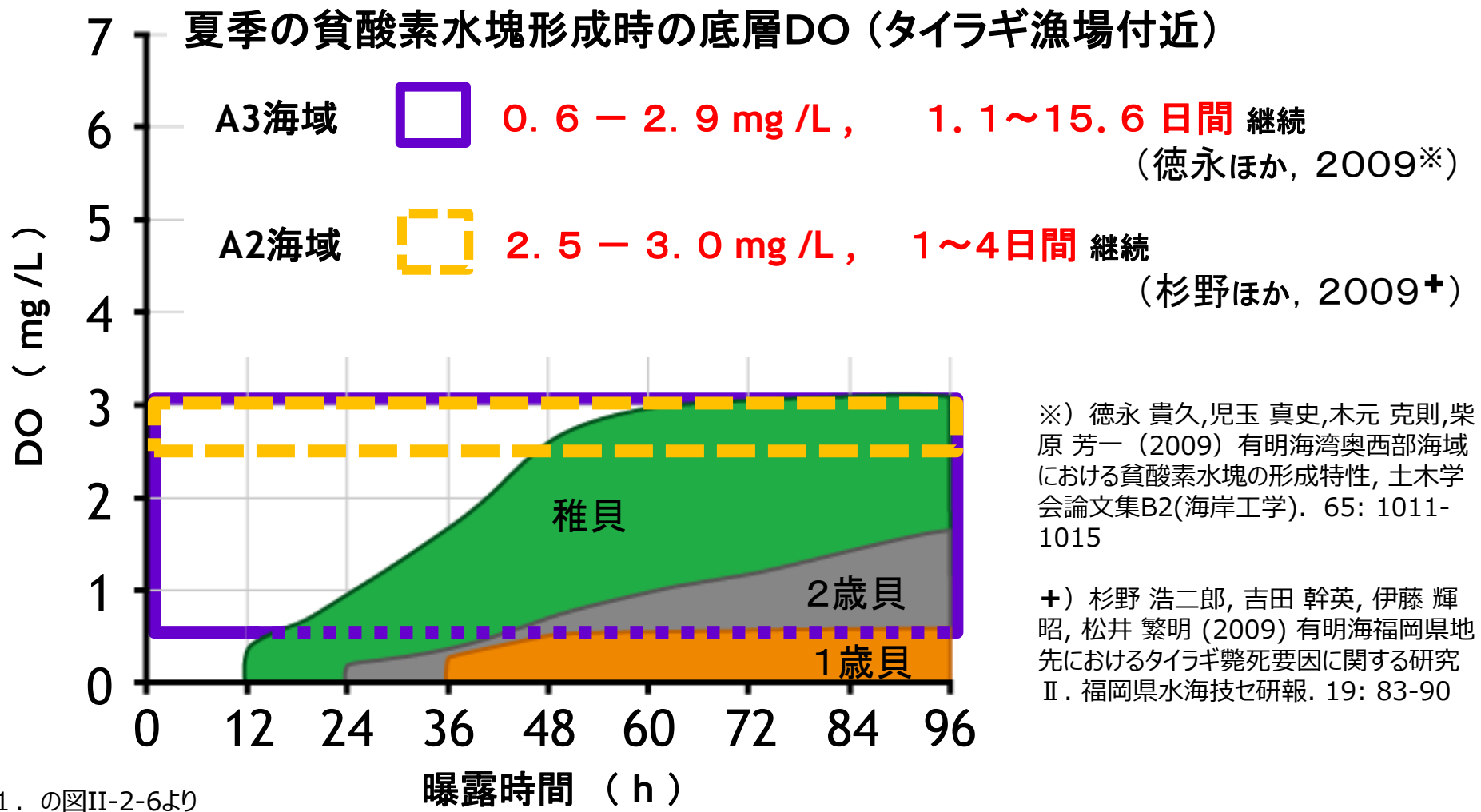
- ・各齢の生存率は、DOに比例し、曝露時間に反比例した。
- ・生存率低下をもたらすDOは、稚貝では ≤ 3.5 mg/L、1歳貝では約0mg/L、2歳貝では ≤ 2 mg/Lであり、貧酸素耐性は稚貝 < 2歳貝 < 1歳貝の順に高まると考えられた



文献1. の図II-2-4より

評価（稚貝，1歳貝 および 2歳貝の生残率）

稚貝、1歳貝、2歳貝の生残率が50%以下となる曝露時間とタイラギ漁場で観測される底層DOの組み合わせを、曝露実験の結果と重ね合わせた。その結果、稚貝生残率はA2海域でもA3海域でも50%以下になる可能性、2歳貝生残率はA3海域で50%以下になる可能性が示唆された。1歳貝生残率はA3海域でいくぶんか低下する可能性が示唆された。



文献1. の図II-2-6より

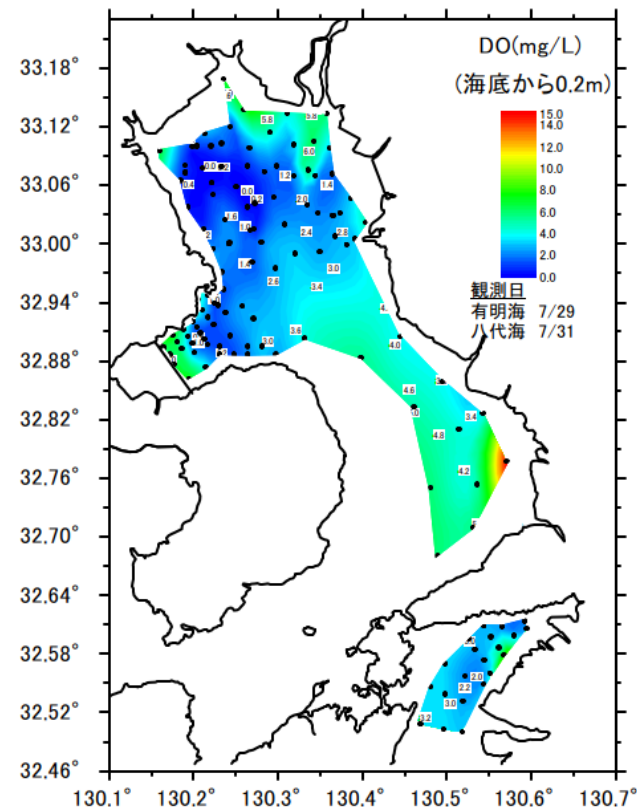
課題：

有明海奥部における底層DOのデータは、特定日の面的なデータあるいは数定点の連続観測データである。

しかし、生活史ステージごとのタイラギの生息環境を十分に評価するには、時空間的に密な底層DOのデータが必要。

解決方法：

数値モデルを活用し、観測データの欠測部分を補完し、2006～2012年夏季のタイラギ生息海域における底層DOを推定し、タイラギへの影響を推察する



底層DOの分布の例
(2020/7/29、31)

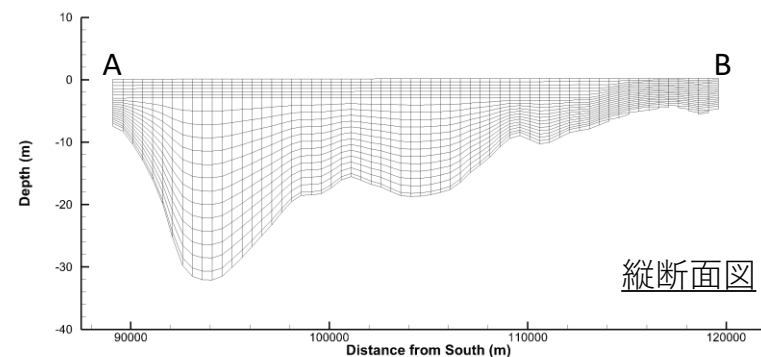
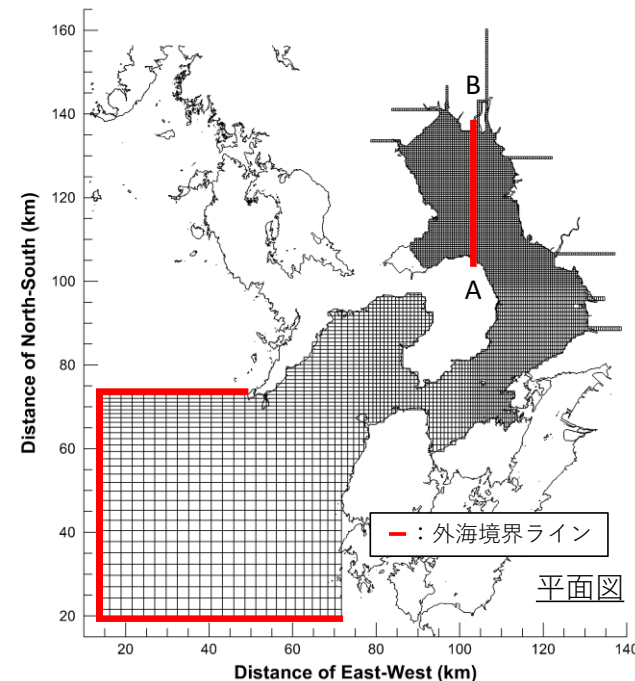
R3中間取りまとめの図2.6.2-1より

数値モデルにより2006～2012年の7～9月について、有明海奥部の広域にわたり、毎時の底層DOを推測（文献3.）



文献1. および、文献2. の曝露実験結果から各生活史ステージのタイラギについて、 LC_{95} （95%の個体が死亡するようなDOと継続時間の組み合わせ）の分布をモデル上で計算。この分布を、佐賀県有明水産振興センターによるタイラギ生息調査結果と重ね合わせた（文献3.）。

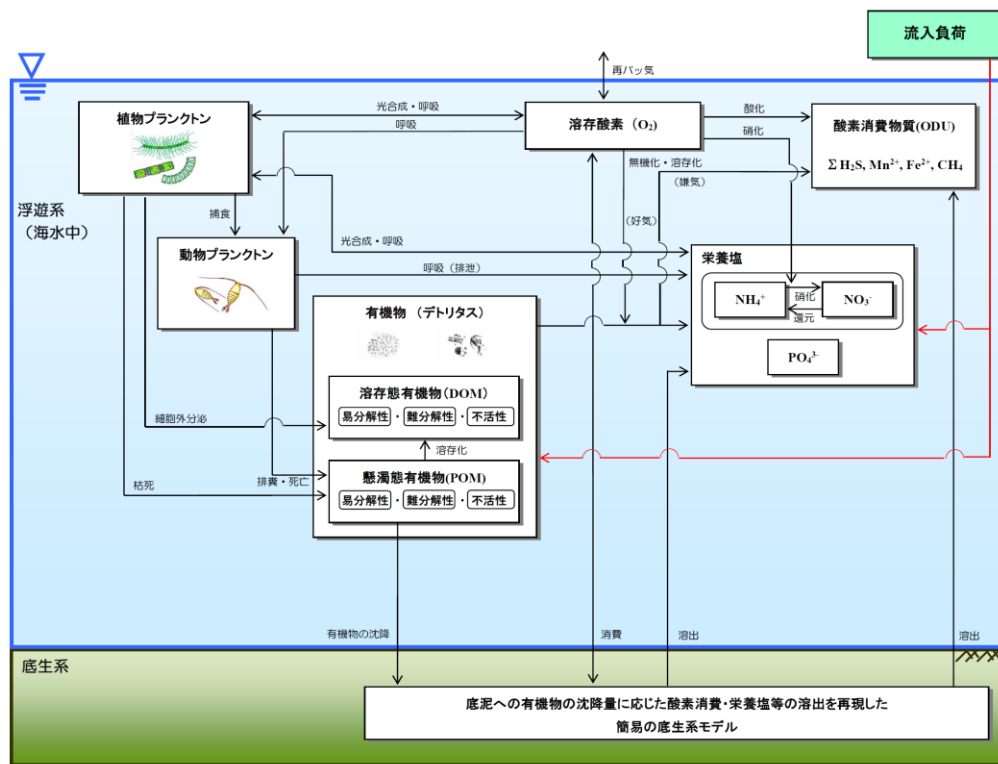
なお、死亡率95%に着目した理由は、曝露実験におけるタイラギ生残曲線の接線の傾きが死亡率95%の時点ではほぼ0になったことによる。



計算領域及び格子分割

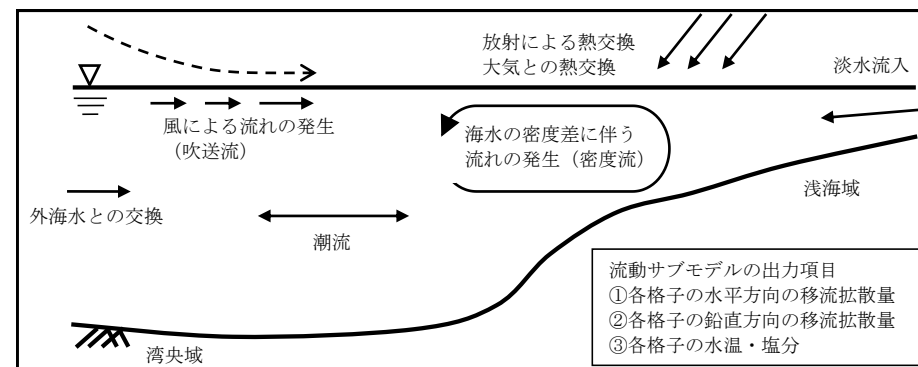
文献3. の図II-3-1より

流動モデル、懸濁物輸送モデル、低次生態系モデルを組み合わせ、貧酸素の時空間的分布を数値モデル上で再現した



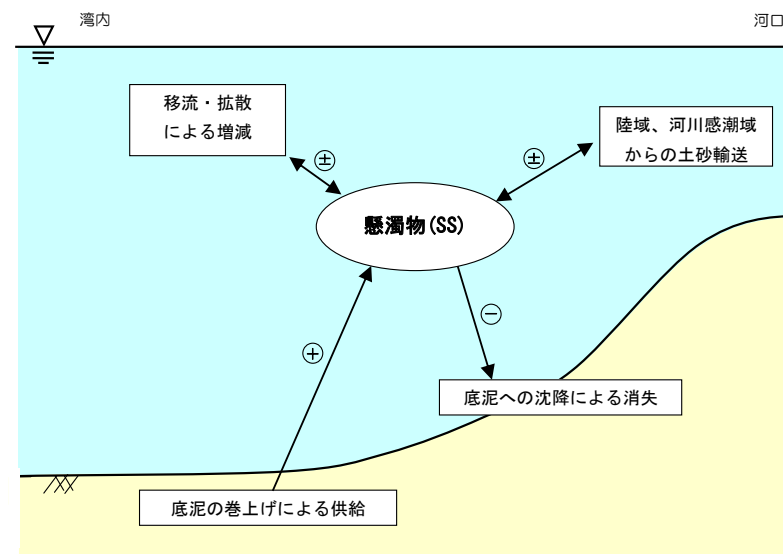
低次生態系モデルの概念図

文献3. の図 I I - 3 - 7より



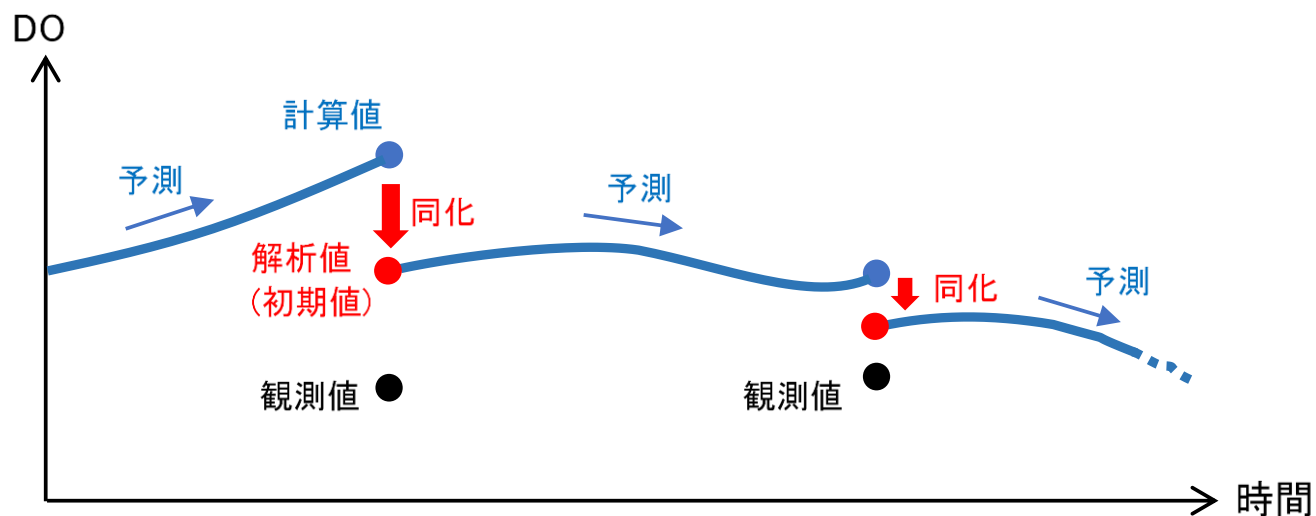
流動モデルの概念図

文献3. の図 I I - 3 - 5より



懸濁物輸送モデルの概念図

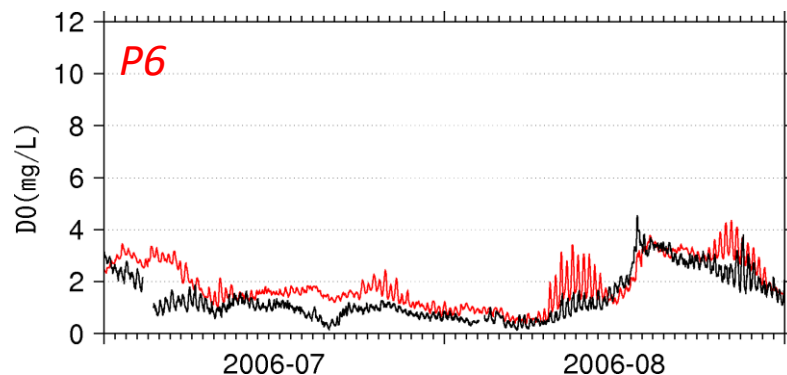
文献3. の図 I I - 3 - 6より



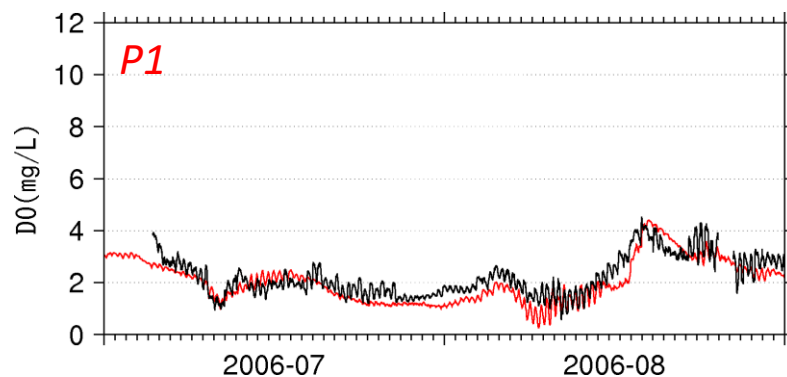
データ同化の概念図

水温・塩分・DOの計算値が、現地実測結果に基づいて、モデルのパラメータを同化させた

文献3. の図 I I - 3 - 8より

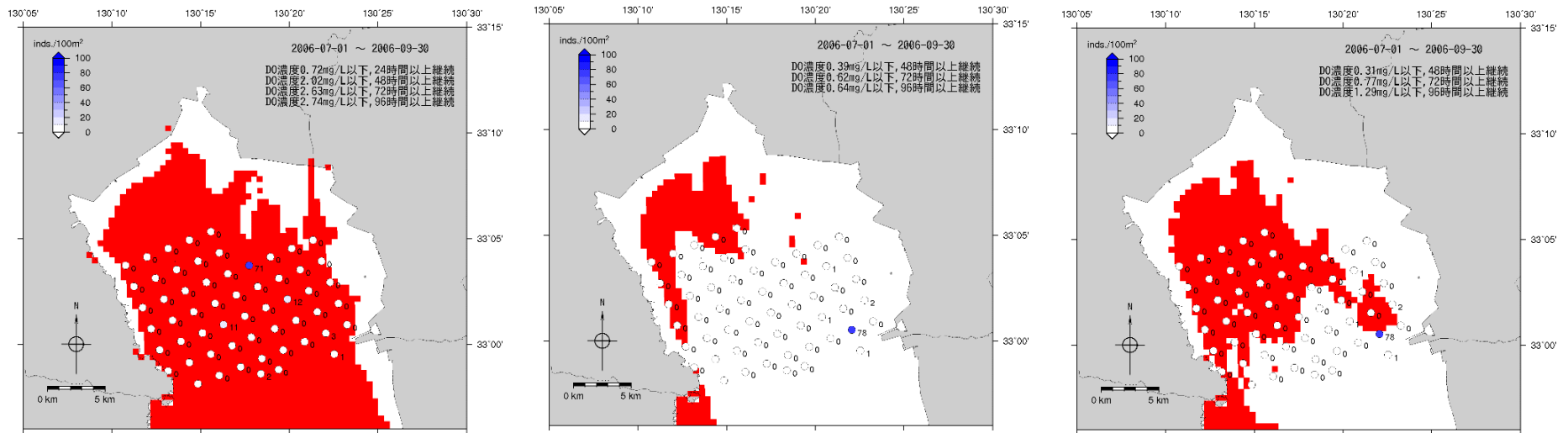


— : 観測値 — : 計算値



同化後の底層DOの再現性（2006年の例）

DOの計算値と観測値の差はおおむね1mg/L以内におさまった



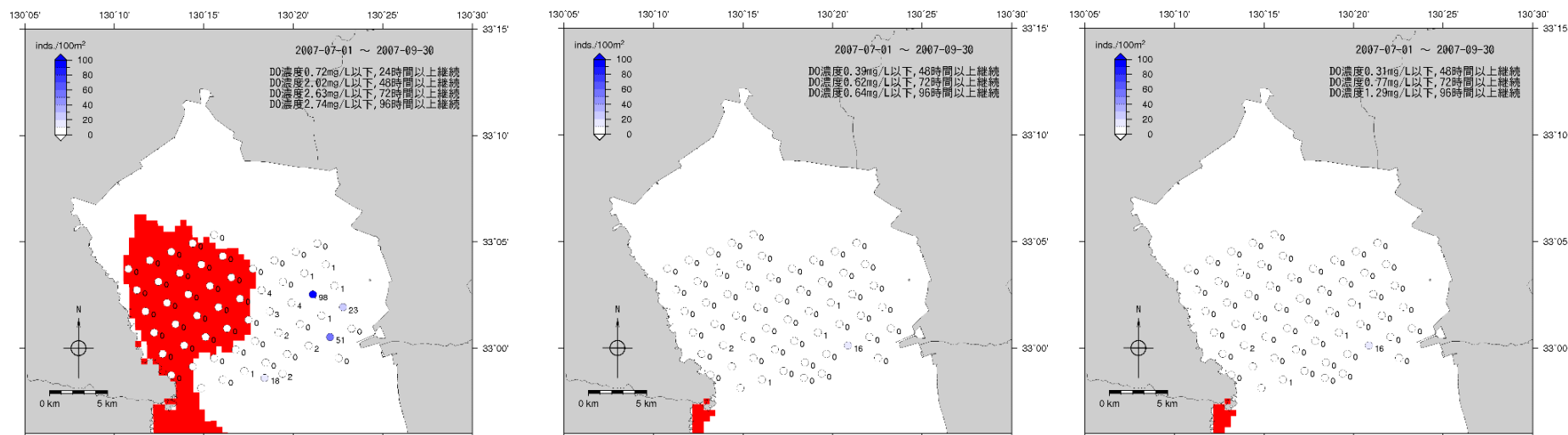
(a) 稚貝LC₉₅と稚貝分布

(b) 1歳貝LC₉₅と成貝分布

(c) 2歳貝LC₉₅と成貝分布

2006年7~9月についての推定結果

大規模な貧酸素の発生年で、全域で稚貝にとって生存できない溶存酸素濃度であった。1歳貝と2歳貝はLC₉₅の外側に生息していた。



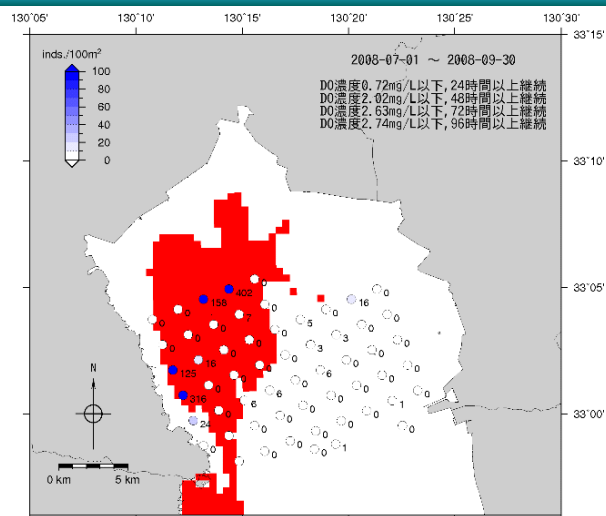
(a) 稚貝LC₉₅と稚貝分布

(b) 1歳貝LC₉₅と成貝分布

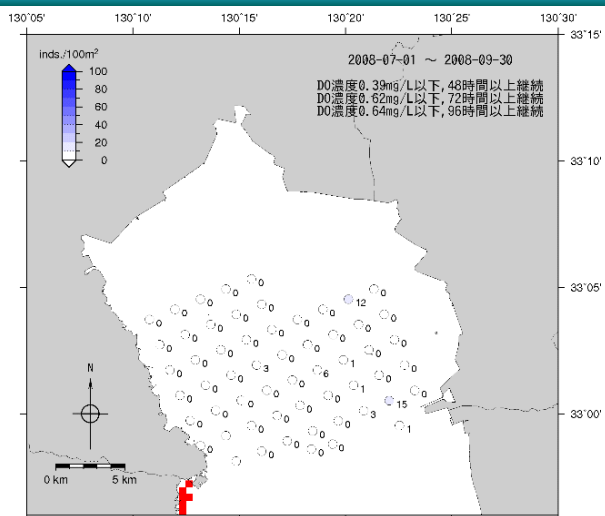
(c) 2歳貝LC₉₅と成貝分布

2007年7~9月についての推定結果

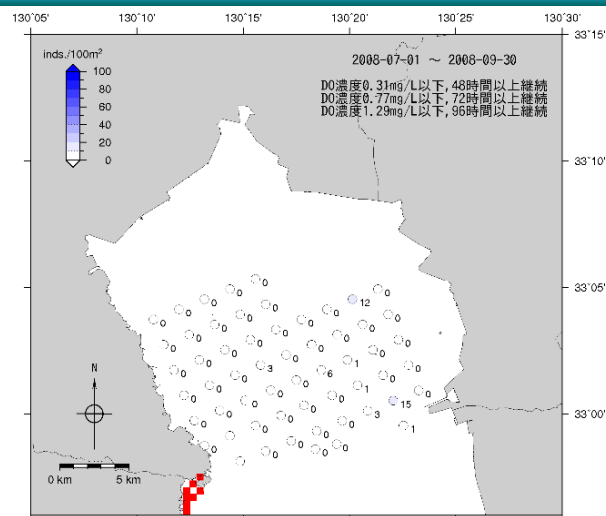
西部で貧酸素が拡大した年。稚貝、1歳貝と2歳貝のいずれもLC₉₅の外側に生息しており、底層溶存酸素の分布と対応関係がみられた。



(a)稚貝LC₉₅と稚貝分布

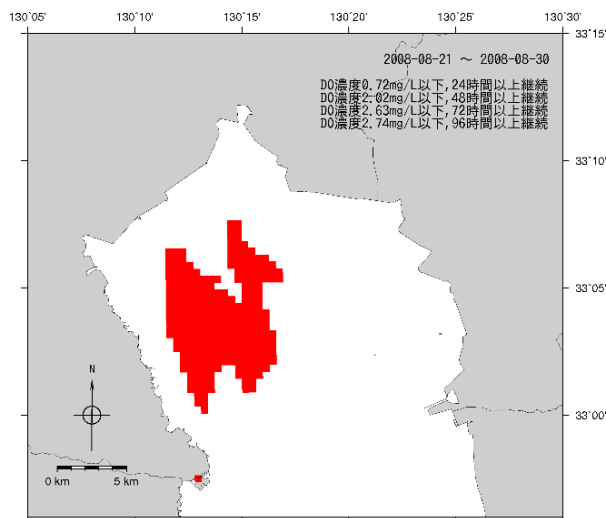


(b)1歳貝LC₉₅と成貝分布

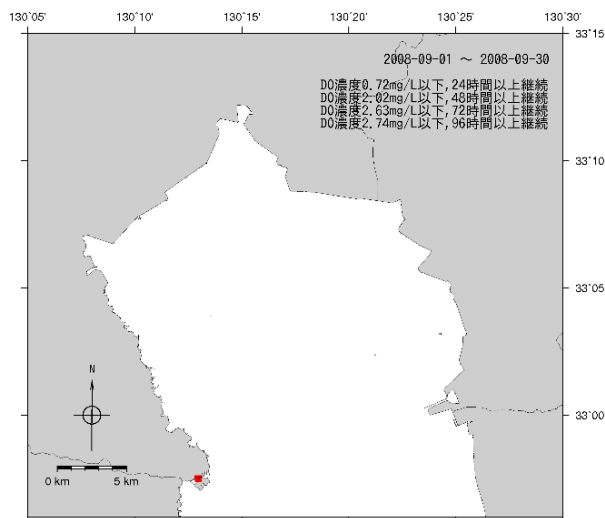


(c)2歳貝LC₉₅と成貝分布

2008年7~9月についての推定結果

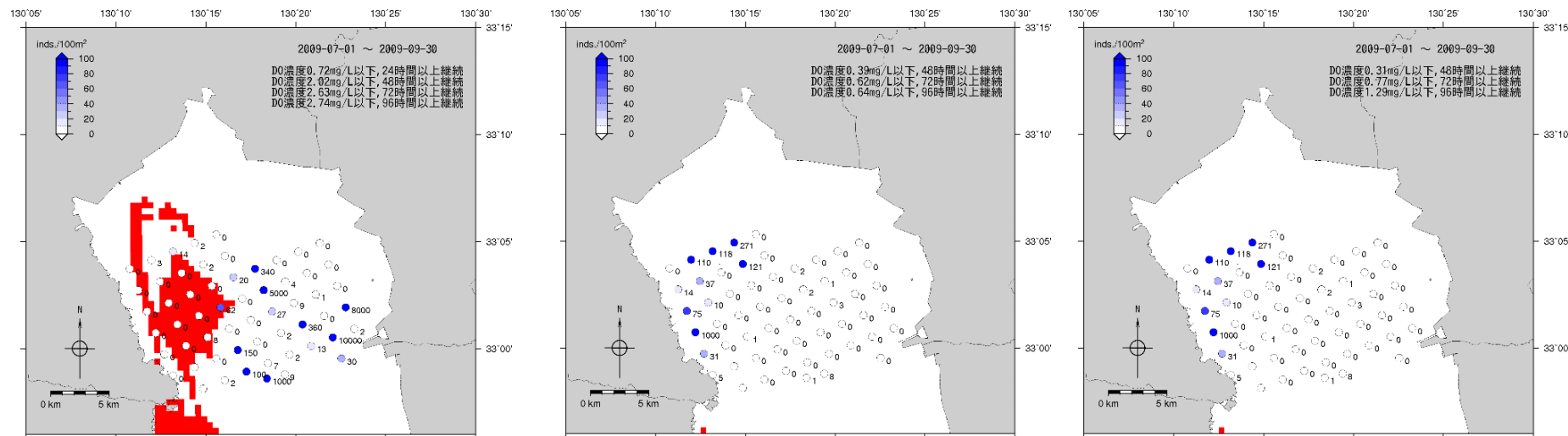


(d)2008年8月下旬の稚貝LC₉₅



(e)2008年9月下旬の稚貝LC₉₅

2007年同様西部で貧酸素が拡大した年。稚貝のLC₉₅の内側に生息しており、底層溶存酸素の分布と対応関係がみにくい。8月下旬の推定結果と比較すると、LC₉₅の僅かに外側に生息していた。



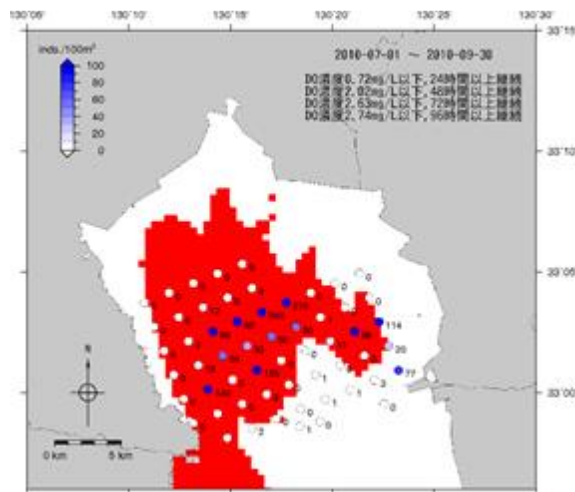
(a)稚貝LC₉₅と稚貝分布

(b)1歳貝LC₉₅と成貝分布

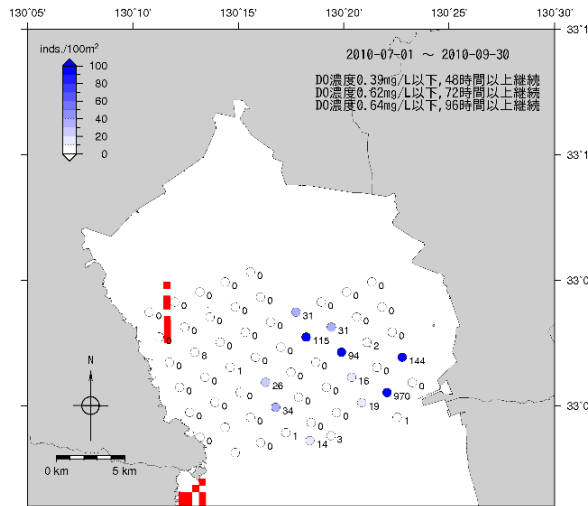
(c)2歳貝LC₉₅と成貝分布

2009年7~9月についての推定結果

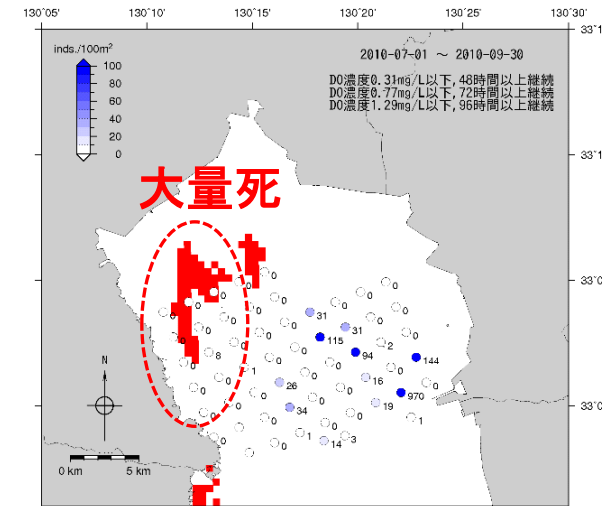
貧酸素が最も弱い年。西部に前年度着生した稚貝が1歳貝として高密度生息しており (b)、LC₉₅も分布していなかったため、この年は1歳貝が生存して、12月以降漁獲対象となった



(a)稚貝LC₉₅と稚貝分布

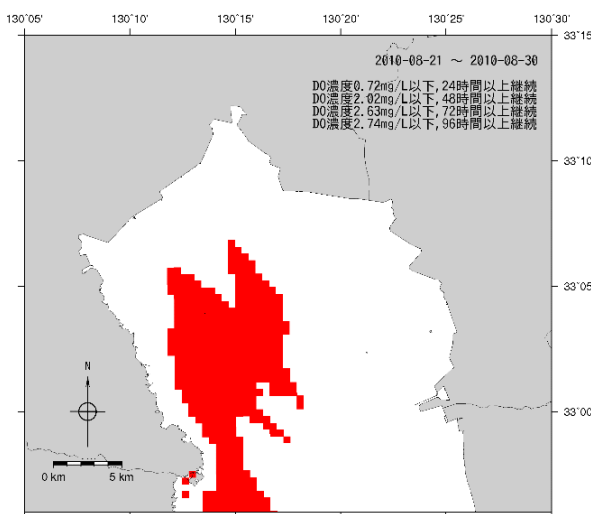


(b)1歳貝LC₉₅と成貝分布

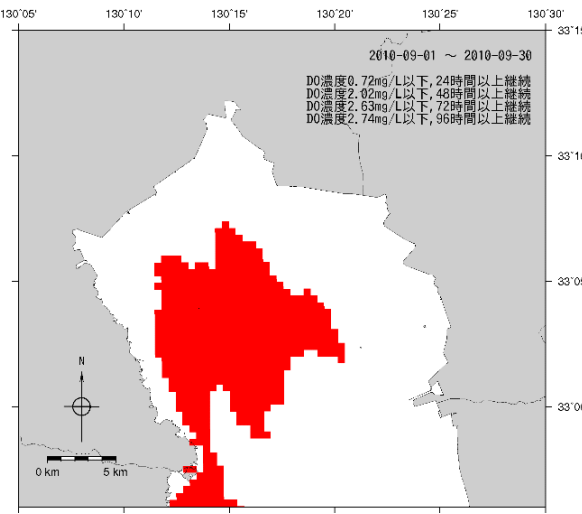


(c)2歳貝LC₉₅と成貝分布

2010年7~9月についての推定結果

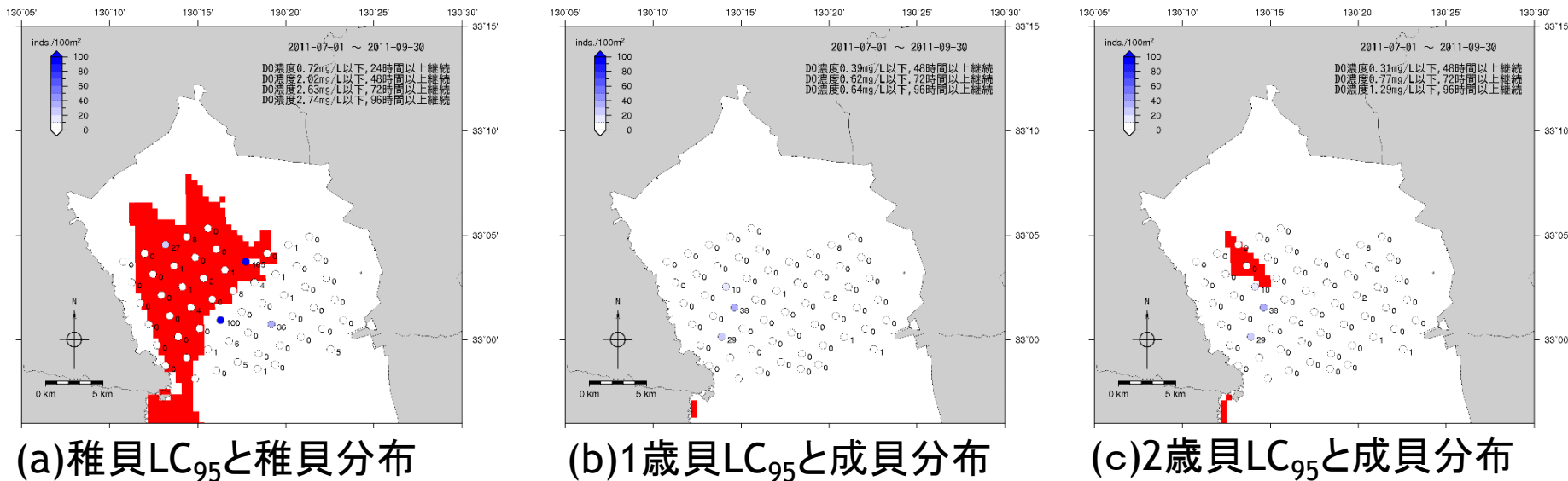


(d)2010年8月の稚貝LC₉₅



(e)2010年9月の稚貝LC₉₅

2006年同様広域で貧酸素が拡大した年。稚貝のLC₉₅は全域にみられたが、その範囲内に稚貝が着生しており、対応関係がみられなかった。2009年に漁獲対象となった個体群は、2歳貝のLC₉₅と被って大量死するなど、H28年委員会報告図 4.4.73の結果を支持するものであった。



2011年7~9月についての推定結果

西部を中心に貧酸素が拡大した年。稚貝はLC₉₅の外側にみられた。前年A2海域に着生していた個体群は、1歳貝のLC₉₅が分布していないのに大量死した。この年はH28年報告図4.4.41にあるように、A3海域で立ち枯れへい死が大規模に発生した年であった。

H28年報告より

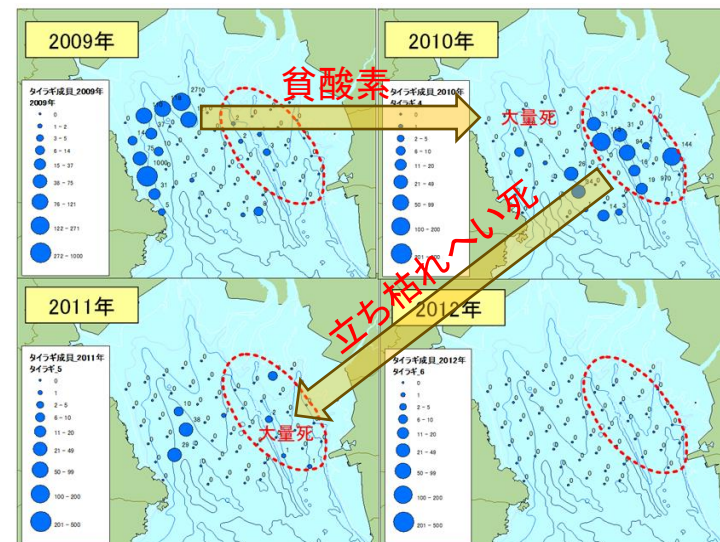
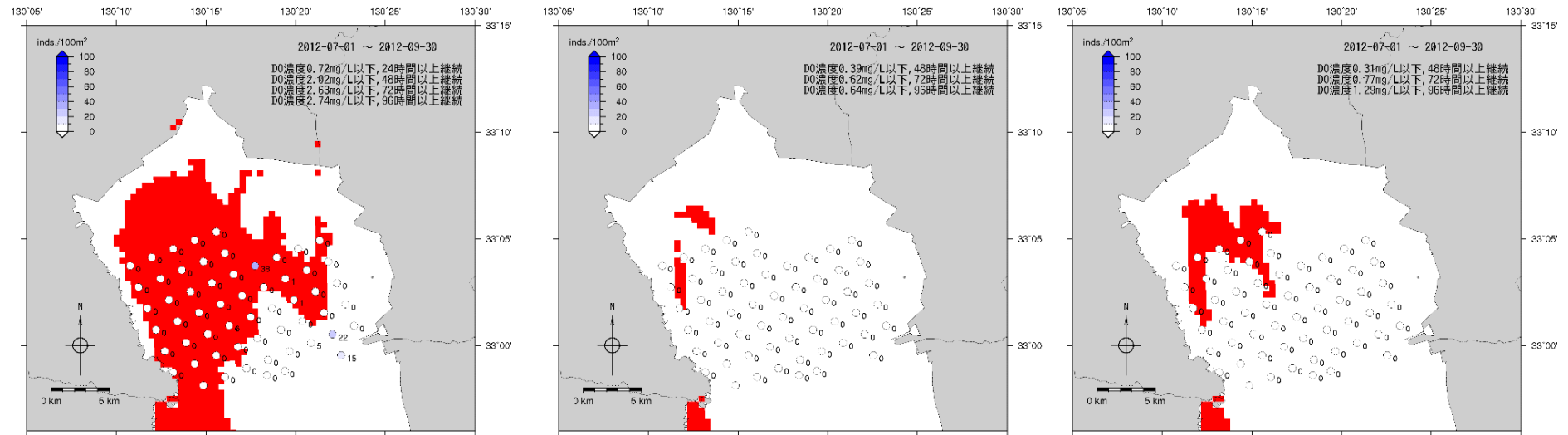


図 4.4.41 2009年から2012年にかけて発生したタイラギ大量死現象
 (出典：2009~2012年、佐賀県調査結果をもとに環境省が作成) 凡例において、nd (1個体以下/100m²) は0と表示した。



(a)稚貝LC₉₅と稚貝分布

(b)1歳貝LC₉₅と成貝分布

(c)2歳貝LC₉₅と成貝分布

2012年7~9月についての推定結果

広域で貧酸素が発生した年。稚貝のLC₉₅は広範囲に分布し、一部その分布範囲内に稚貝がみられた。前年の立ち枯れへい死もあり、成貝は確認されなかった。

- 2006～2012年の7～9月におけるタイラギ稚貝・1歳貝・2歳貝のLC₉₅と、佐賀県が実施した稚貝・成貝の生息調査結果との関係性を評価した。
- タイラギ稚貝のLC₉₅分布領域に稚貝が概ねみられないなど対応関係が認められた。2008年の不一致については、LC₉₅の推定期間とタイラギ浮遊幼生の着生期間とのずれが原因（貧酸素が収まってから着生した）もしくは8月下旬のLC₉₅の縁辺部で生残したと推定された。2010年の稚貝着生は、LC₉₅では説明できなかった。
- H28年報告で示された2010年のA3海域個体群の大量死と溶存酸素濃度の関係について、2歳貝のLC₉₅の推定結果と合致した。
- 底層溶存酸素濃度では致死적ではないのに、A2海域で1歳貝が大量死する現象もみられ（2011年）、溶存酸素以外の要因（立ち枯れへい死）が働いている可能性が考えられたので、さらなる原因・要因の解明が必要。
- 資源の加入に重要なタイラギ稚貝は、底層溶存酸素の影響を敏感に受けており、底層溶存酸素濃度を3.5mg/L以上維持することが、タイラギ生息環境を再生させる際の重要指標項目となり得る。