３－１．海

沿岸海域の低次生物生産環境に関する研究

チーム瀬戸内海　（代表: 多田邦尚）

本研究では、瀬戸内海東部海域をフィールドとして、沿岸海域の低次生物生産環境について検討した。具体的には、「瀬戸内海の栄養塩異変の原因究明と海域栄養塩管理」および「貝リンガルを用いた二枚貝養殖の適正管理」について検討した。

尚、本研究は、科研 B「瀬戸内海の栄養塩異変の原因究明と海域栄養塩管理」(H23-25 年代表者: 多田邦尚)、水産庁委託事業「海面養殖業振興対策事業のうち、新たなノリ色落ち対策技術開発のうち沿岸海域の栄養塩管理技術の開発委託事業」(H22-26 年)、水産庁補助事業「漁場環境・生物多様性保全総合対策事業のうち赤潮・貧酸素水塊対策推進事業のうち漁場生産力向上のための漁場改善実証試験」(H25-29 年) および香川大学リーディングリサーチ「豊かな里海の実現戦略と栄養塩管理」(H25-27 年) に採択され実施したものである。

本プロジェクトでは、具体的には、下記の２課題について研究を実施した。

１．瀬戸内海の栄養塩異変の原因究明と海域栄養塩管理
２．貝リンガルを用いた二枚貝養殖の適正管理　～海域環境の変化に応答する養殖ガキの殻体開閉運動に関する基礎的検討～

本研究は、８名からなる研究集団、チーム瀬戸内海（代表者：多田邦尚）により実施された。

【研究組織・チーム瀬戸内海】
多田邦尚・農学部・教授（瀬戸内圏研究センター長）
一見和彦・瀬戸内圏研究センター・准教授
末永慶寛・工学部・教授
原直行・経済学部・教授
石塚正秀・工学部・准教授
山口一岩・農学部・准教授
朝日俊雅・農学部・博士研究員
滝川佑子・農学部・技術補佐員

はじめに

過去、瀬戸内海では、高度経済成長期には著しく富栄養化し、その環境は悪化していた。このような状況下で、1973 年に瀬戸内法が制定され、水質を中心に環境改善の努力が続けられ、その結果、赤潮発生件数の減少に代表されるように水質はかなり改善された。しかし、瀬戸内海がきれいになったことにより、イワシ類やアサリ等の漁獲量は低迷を続け、特に、養殖ノリの収穫期である冬季に栄養塩が不足してノリが色落ちし、最盛期に比べて 1/3 程度まで生産量が減少する深刻な問題が起きている。海水中の栄養塩の減少原因は、基本的には瀬戸内法の排水総量規制によるものと考えられるが、近年の減少の原因は不明である。沿岸海域における栄養塩の供給源は三つあると考えられる。即ち、①河川から、②海底泥からの溶出、③外洋からの栄養塩流入である。沿岸域では河川からの供給量が最も注目されるが、近年、海水中の特に底層の栄養塩濃度が、夏に低下している事実がある。

一方、香川県は四国有数の牡蠣の産地として知られているが、前述の栄養塩濃度減少問題と同時に、近年、養殖ガキが大量に斃死する問題が生じている。貧酸素水塊の形成、有害赤潮プランクトンの発生、疾病等、様々な斃死原因が考えられるが、その原因を明らかにし、大量斃死を軽減する手法を開発することは急務である。

１．瀬戸内海の栄養塩異変の原因究明と海域栄養塩管理

1-1. 諸言

本研究では、瀬戸内海域の栄養塩濃度減少について以下の（a）～（d）を通してその原因を明らかにするとともに、適切な栄養塩負荷量と栄養塩管理法について検討する。(a）瀬戸内海東部海域（主に播磨灘）をモデル海域とし、灘全域の表層堆積物中の有機物含量の調査を実施し、約 30 年間で表層堆積物中の有機物含量がどのように変化したかを明らかにする。(b)同海域の底泥からの栄養塩溶出速度を測定し、同時に過去のデータと比較し、海底泥からの溶出量の変化を明らかにする。(c)原単位法を用い、陸域から海への窒素・リンの負荷量を見積もり、過去から現在までにその負荷量がどのように変化したのかを検討する。(d）同海域の過去から現在までの栄養塩、塩分、水温等の基礎データとともに、赤潮発生件数およびノリの生産枚数等のデータを総合的に解析し、適切な栄養塩濃度管理について検討した。

1-2. 研究の方法

<u>(1)陸域からの生活系Ｎ・Ｐ負荷量の見積もり</u>

GIS（Geographic Information System:地理情報システム）を用いて、播磨灘流域圏の範囲データを作成し、国勢調査の人口基準メッシュデータを切り出した。また、兵庫県下水道計画図を基に下水道の整備地範囲を切り出した。さらに生活排水処理施設の整備範囲を考慮して、可視化したデータと原単位法を用いて発生負荷量の算出を行った。河道網、流域界には国土 数値情報、人口には国勢調査人口調査の 1 km メッシュデータの 1985 年から 2010 年の 5 年ごと計 6 回分を使用した。下水道の整備範囲は兵庫県かが公表している兵庫県下 水道計画図(平成 24 年 3 月, https://web.pref.hyogo.lg.jp/)を GIS によって、デジタル化した。

(2)海域（播磨灘）の調査・観測

香川大学調査船カラヌスIIIを用いて、播磨灘の全域にわたる33定点において、観測を実施し海水中の光環境と懸濁物の水平分布および季節変動を調査した。観測ではCTDによる水温、塩分、クロロフィル蛍光、および海水中の光量子量を鉛直的に測定し、有光層内の光減衰係数を算出した。また、バケツを用いて表層海水を採取し、浮遊懸濁物量（SPM)、クロロフィルa（Chl*a*)、懸濁態有機炭素・窒素（POC・PON)、および懸濁態リン（PP）を測定した。PPについては全懸濁態リン（PP）と懸濁態無機リン（PIP）に分別して定量した。

さらに、播磨灘の全域にわたる63定点から、KK式柱状採泥器を用いて堆積物試料を複数本採取した。採取した試料は0-1，1-2cm層に分画し、それぞれの含水率および全有機態炭素（TOC)・全窒素（TN）含有量を測定した。

(3)堆積物からのNP溶出量の測定

堆積物からのNP溶出量の測定は、本研究で得られた播磨灘全域63点の堆積物表層（0-1 cm）のTOC・TNの水平分布（図5；Yamaguchi et al (in press)）から、有機物含有量の高い順にStn.9, 81, 119の3点を設けて実施した。調査は2012年7月、8月、9月の計3回行った。CTDで水温、塩分および溶存酸素（DO）濃度を、また温度計で泥温を測定した。さらに、KK式柱状採泥器にて柱状堆積物試料、およびバンドン採水器にて底層水を採取し、次の方法でNP溶出量を測定した。柱状堆積物試料のコア上部の海水のDO濃度を窒素ガス注入により現場底層水と同程度に調整した後、現場水温・暗条件で24時間インキュベートし、経時的に採集した直上水の栄養塩濃度を測定し、その変化から栄養塩fluxを算出した。

1-3. 結果および考察

(1)陸域からの生活系TN、TP負荷量

本研究では生活系排水に注目してN，P負荷量を見積もった。高度経済成長期には、COD負荷量でみると産業系排水の占める割合が高かったが、1980年以降は生活系排水が全負荷量の約半分程度を占めている。図1，2に示すように、播磨灘流域圏の生活系TN,TP負荷量はともに緩やかに減少している。TNでは1985年から2010年にかけて、15.1 t/dayから13.7 t/dayへと、1.4 t/day減少した。TPでは1985年から2010年にかけて、1.4 t/dayから0.97 t/dayへ、約30％（約0.4 t/day）減少した。各処理方法別の負荷量の変化を見てみると、TNでは1985年に兵庫県浄化槽からの負荷量が最も多く全体の41％を占めていたが、2010年では、単独公共下水道の割合が最も高く、全体の42％を占めるようになり、兵庫県浄化槽は17％となった。またTPでは、1985年に兵庫県浄化槽および兵庫県未整備がそれぞれ全体の37％を占めており、ついで単独公共下水道が10％を占めていた。2010年では、単独公共下水道の割合が高くなり、全体の33％を占めるようになり、また、25年間で、兵庫県浄化槽および兵庫県未整備の占める割合は、それぞれ20％と19％となった．全体的な割合をみると、兵庫県・香川県の未整備地区・浄化槽の割合が1985年では82%であり、兵庫県・香川県の未整備地区・浄化槽からの発生が多くを占めている。2010年では、兵庫県と香川県の未整備地区および浄化槽の割合が45%となり、2010年では未整備地区と処理施設からの発生負荷量がほぼ同じとなった。

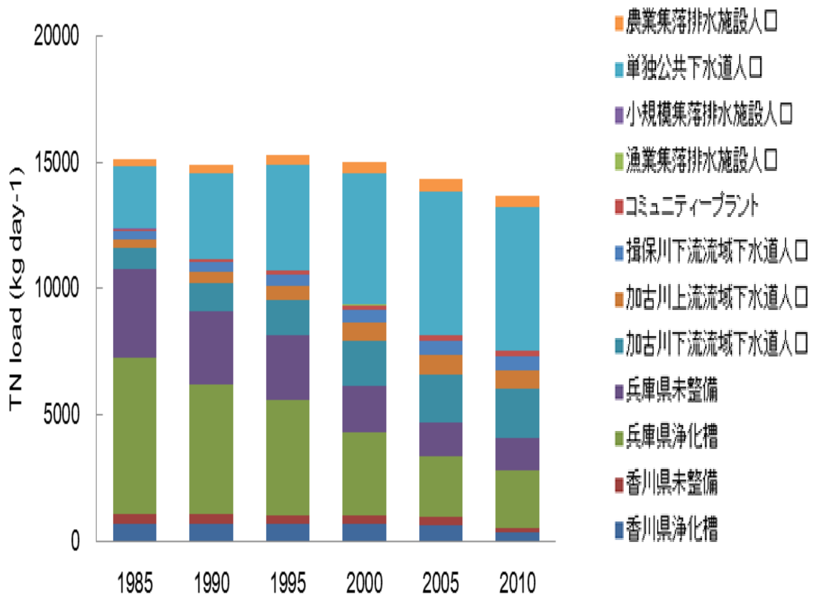

図1　播磨灘流域圏における生活系
TN発生負荷量の長期変化

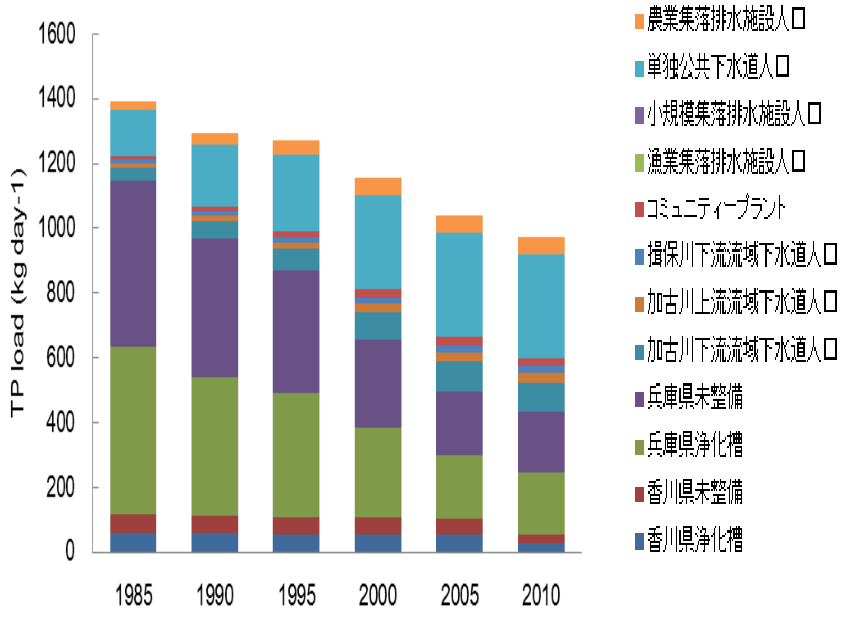

図2　播磨灘流域圏における生活系
TP発生負荷量の長期変化

(2) 海域の植物プランクトンの生育環境（懸濁物の挙動と光条件）

播磨灘全域における表層水中の懸濁物量について、これらの一連の懸濁粒子の水平分布、季節変動から総合して判断すると、植物プランクトン量は灘北部で高く、そのため懸濁粒子量あるいは懸濁態有機物量も灘北部で高い。しかし、海峡部では、堆積物の舞い上がりあるいは再懸濁を含めて常に植物プランクトンに由来しない粒子が多く存在していることが考えられた。また、光環境については、申請者らの別のプロジェクトの研究も合わせて、水柱の光消散係数には、トリプトン（植物プランクトン以外の懸濁粒子）が一番寄与するが、その変動には植物プランクトン量の変動が一番大きく影響していることが明らかとなった(Asahi *et al.* 2014a, b)。

(3)海底の堆積物表層の有機態炭素・窒素、全リンの水平分布の変化（1980、2010 年の比較）

播磨灘全域における表層堆積物中の TOC, TN の水平分布を図 3 に示した。灘の北部や中央部などで TOC, TN は 20 mgC/g, 2.0 mg N/g 以上の高濃度域が、また、小豆島北部、明石海峡や鳴門海峡付近に 10 mgC/g, 1.0 mgN/g 以下の低濃度域が見られた。また、TOC・TN が高濃度を示した地点に 63 μm 以下の粒子が比較的多く見られ、TOC・TN 含有量と 63μm 以下の粒子の割合との間にはそれぞれ強い相関性（r=0.756, r=0.750）が認められた。

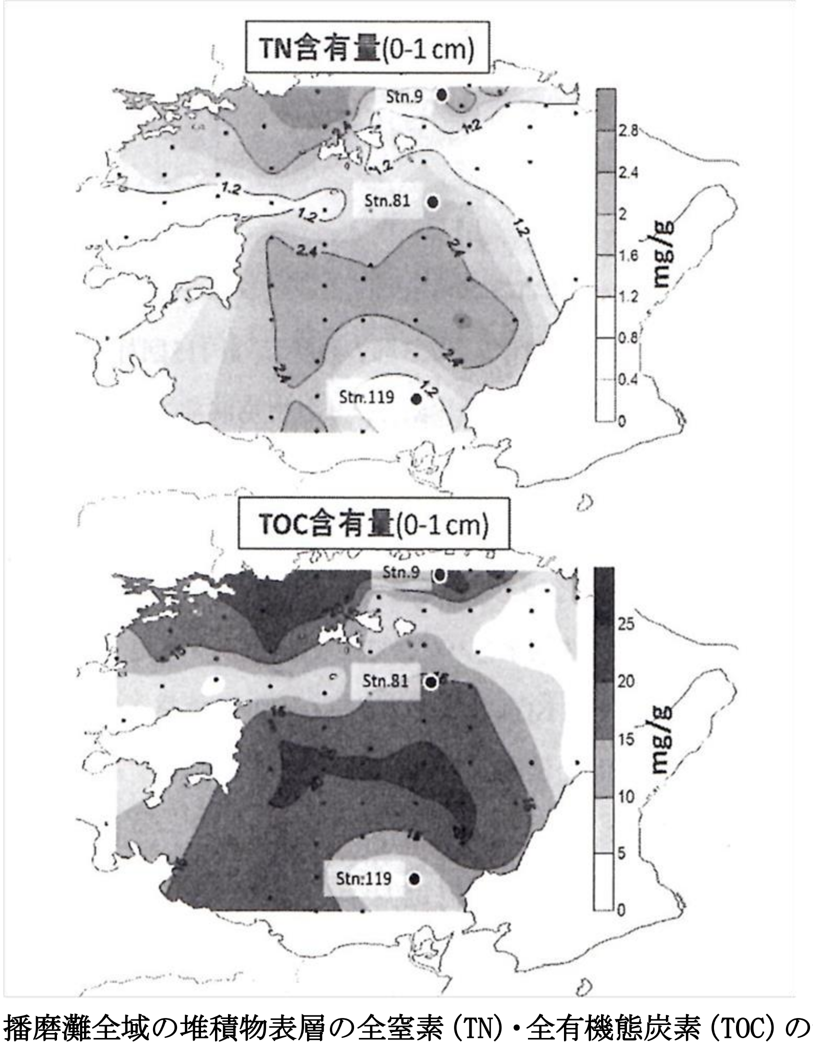

図 3 播磨灘全域の堆積物表層の全窒素(TN)・全有機態炭素(TOC)の含有量(Yamaguchi *et al* (2014) を改変)

また、TOC・TN 含有量の平均値は、それぞれ 15.0±6.6、13.9±6.3 mgC/g (0-1, 0-2 cm 層)、1.91 ±0.83、1.75±0.74 mgN/g(0-1, 0-2 cm 層)であった。一方、70 年代の平均 TOC、TN 含有量は、それぞれ 16.7 mgC/g、1.7 mg N/g であり (塩沢ら 1975)、80 年代はそれぞれ 12.1 mgC/g、1.6 mgN/g であった (門谷ら 1987)。これらの平均含有量の年代間の変動幅は 10%以内であった。

TOC・TN と 63μm 以下の粒子の関係から、水平分布の決定要因は播磨灘の潮汐流による粒子の運搬作用が大きく影響していると考えられた。このため、70、80 年代の TOC・TN の水平分布は現在のものと類似した傾向を示し、水平分布の決定要因は変化していない事が考えらえた。今回得られた結果と 70 年代、80 年代の TOC の値は、測定法の違いを考慮しても、過去の水柱の有機物濃度の減少が著しい一方で、堆積物中の有機物含有量の年代間の変動は小さいと示唆された。一般的に、水質の応答に比べて底質の応答はタイムラグが生じる事が知られており、底質の有機物量が減少するためには、より多くの時間が必要である事が推察された (Yamaguchi *et al.* 2014)。

(4)栄養塩濃度減少の原因と底泥からの栄養塩溶出

近年、瀬戸内海に存在する窒素やリンが、大方の予想に反してその半分以上が外洋起源であると報告されている (藤原ら 1997、武岡ら 2002、Yanagi and Ishii 2004)。事実、過去 25 年間で、瀬戸内海の陸域からの栄養物質の流入は窒素で 2 割、リンでは 4 割も削減されていながら、海水中の窒素・リン濃度は期待するほど改善されない事実と照らし合わせると、この研究結果は理解しやすい。しかし、外洋域からの栄養塩流入量がこの 40 年で減少してきた報告はない。

一方、播磨灘の表層と底層における各月ごとの平均の DIN 濃度の変化については、夏季の成層期に、これまでのように底層水中に DIN が蓄積されていないことが報告されている (多田ら 2010)。夏季の成層期に底層で栄養塩が蓄積されない理由としては、①近年、透明度が高く、太陽光がより深い層まで届き、植物プランクトンの光合成が深い層まで可能になり、栄養塩の消費が活発であったこと、②近年、成層構造が弱くなって、底層に蓄積された栄養塩が拡散しやすいこと、③底泥から底層への栄養塩溶出が減少したことの、三つの可能性が考えられる。①に関しては、著者らは、現場観測において 2007 年にはより深い層にまでクロロフィル蛍光値 (植物プランクトン量の指標) が高かったことを、また、②については、1990 年以降、夏季の表層と底層の間の水温と塩分の差はともに小さい傾向にあり、成層強度が弱まっていることを報告した (Tada et al. 2008)。③については、著者らが過去、1982 年に播磨灘北部沿岸の姫路沖で底泥からのリンの溶出量を測定した結果 (Tada and Montani 1997) と、その約 30 年後の 2011 年に測定した値を比較してみると、約 35%減少していた。また、播磨灘に隣接する香川県志度湾において、2000 年に測定された底泥からの栄養塩の溶出量(Srithongouthai *et al.* 2003a)と、その 10 年後の 2010 年に測定した値とを比較すると、有意に減少していた (Tada et *al.*, 2012)。

本研究では、播磨灘全域の底泥からの栄養塩の溶出を見積もる事を試みた (多田ら、印刷中)。その結果、夏の成層期で、窒素では堆積物からの TN 溶出量が、96.7 ton/day、DIN 溶出量が 46.4 ton/day と見積もられた (Table 1)。これは TN 発生負荷量の 38.0 ton/day と比較すると 2.5 倍となり、陸域よりも底泥からの供給量の方が大きい事がわかる。また、TN の河川流入量の 18.5 ton/day、DIN の河川流入量の 14.5 ton/day(山本ら 1996)と比較すると、それぞれ 5.2、3.2 倍となる。一方、リンでは堆積物からの TP 溶出量が、3.8 ton/day、DIP 溶出量が 1.2 ton/day と見積もられた (Table

1)。これはTP発生負荷量の1.8 ton/dayと比較すると2.1倍となり、陸域よりも底泥からの供給量の方が大きい。また、TPの河川流入量の1.6 ton/day（山本ら 1996)と比較すると、2.4倍となる。いずれにしても、播磨灘へのNP供給量としては、陸域からよりも底泥の方が大きい。但し、播磨灘において窒素やリンの供給量としては陸域よりも底泥からの方が大きい事は、単なる供給量の比較であり、播磨灘におけるNPの循環あるいは収支ではない。しかし、窒素やリンの供給源として堆積物からの溶出を考えると、この溶出量が減少することは、単純に陸域からの供給が同じ割合で減少するよりも海水中の濃度の減少への寄与は大きい事になる。今、瀬戸内海を大きな水槽として考えた際に、水質は蛇口を締めれば比較的短時間で改善されるが、底泥堆積物の泥質はさらに長い時間をかけて改善すると考えられる。現在、瀬戸内法制定40年を経て、底質が徐々に改善され、底泥堆積物からの溶出量が減少している可能性が考えられる。

著者らは、過去、1999年および2000年に、香川県沿岸の志度湾において、底泥堆積物から供給される窒素およびリン量が水柱内の植物プランクトンによる光合成の栄養塩要求量に対して、それぞれ平均 33%および 22%を占めると見積もっており（Srithongouthai *et al.*, 2003b)、この見積もり値から判断しても、底泥からの栄養塩の供給量は決して小さいものではなく、この溶出量が減少すれば、当然、水柱の植物プランクトンの増殖にも影響が及ぶものと考えられる。

Table 1　N and P loads from the land and upward N and P fluxes from the bottom sediment during summer in the Harima-Nada, the Seto Inland Sea

	ton / day	Reference
TN load	38.0	Ministry of Environment (2013)
Discharged TN from the river	18.5	Yamamoto *et al*. (1996)
Discharged DIN from the river	14.5	Yamamoto *et al*. (1996)
TN flux from the sediment	96.7	This study
DIN flux from the sediment	46.4	This study
TP load	1.8	Ministry of Environment (2013)
Discharged TP from the river	1.6	Yamamoto *et al*. (1996)
TP flux from the sediment	3.8	This study
DIP flux from the sediment	1.2	This study

(5)海水中の栄養塩濃度減少と赤潮発生件数

前述のように、瀬戸内海の赤潮発生件数は、高度経済成長期から現在まで減少してきた。赤潮発生件数と海域への TP 負荷量の減少との関係について見てみると（図 4)、近年、TP の発生負荷量が1960年代レベルまで減少しているのに、赤潮発生件数は1960年代前半のレベルにまでは減少してい

ない。即ち、あるTP負荷量に対する赤潮発生件数は、富栄養化進行過程と栄養塩濃度減少過程では異なり、TP 負荷量を以前のレベルに減少させても、赤潮発生件数は以前のレベルには戻らない。Mee(2006)は、栄養塩濃度低下と生態系の復元について報告しており、荒廃した生態系を元の状態に戻すには、栄養塩濃度を富栄養化以前の水準に下げるだけでは不十分であり、それ以上に減らさなくてはならないとしている。TP負荷量と赤潮発生件数との関係は、このこととよく一致している。

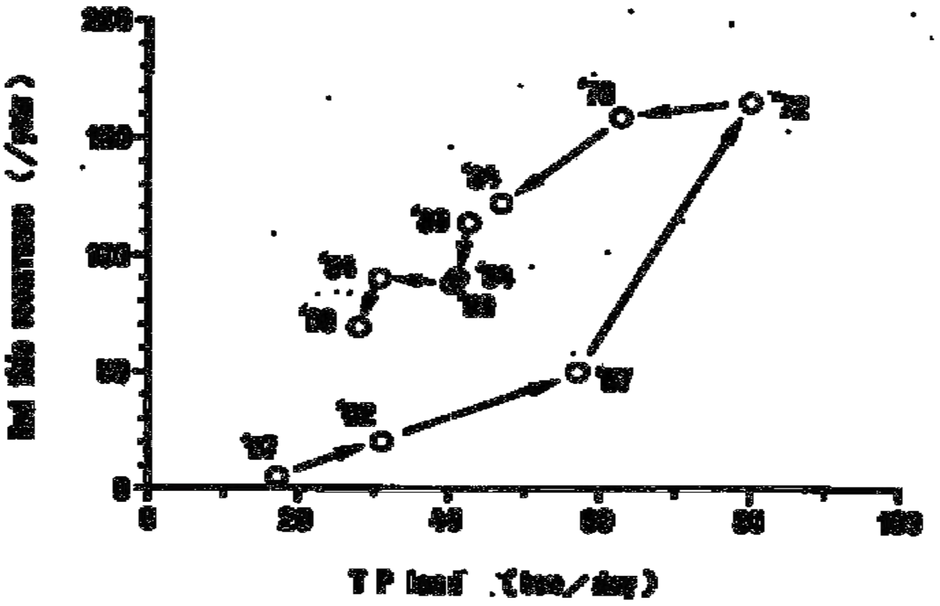

図4　全リン負荷量と赤潮発生件数との関係
（Yamamoto(2003)の図にデータを追加して作成）

瀬戸内海の栄養塩濃度レベルとしてどの濃度が一番適切か？が近年話題となっている。瀬戸内海東部海域では、1990年代がノリ養殖も好調で赤潮発生件数も少なかった。従って、1990年代の栄養塩濃度レベルが適当との考えがある（反田、未発表）。しかしながら、瀬戸内海では干潟・藻場の面積は高度経済成長期から著しく減少しており、栄養塩濃度は浅場の回復とペアーで考えるべきである。更には、荒廃した生態系を元の状態に戻すには、栄養塩濃度を富栄養化以前の水準に下げるだけでは不十分であり、それ以上に減らさなくてはならない事も考慮して考えるべき事も含め、今後さらに議論する必要がある。

２．貝リンガルを用いた二枚貝養殖の適正管理
～海域環境の変化に応答する養殖ガキの殻体開閉運動に関する基礎的検討～

２－１．緒言

貝リンガルは、二枚貝にホール素子センサーと小型フェライト磁石を取り付け、二枚貝の殻体開閉運動によって生じた磁力の変化を測定装置に取り込み、開殻距離に変換して記録することができるシステムである（図 5)。センサーは貝殻に容易に装着でき、個体に負荷をかけることなく二枚貝の殻体開閉運動を長期にわたってモニターすることができる。二枚貝の殻体開閉運動は呼吸、摂餌、排泄などの生活活動と密接に関連し、殻体外部から新鮮な海水を取り入れたり、体内で生成された糞や偽糞などを殻体外に排除したりするなど、生活活動に応じた日周性や季節的変化を有し、同時に外部刺激や環境悪化に対する防御反応として現れることもある。このように二枚貝の殻体開閉運動を理解することは、貝の生育環境の水質異常や健康状態の管理を行うにあたって非常に重要であると考えられる。永井ら（2005）は貝リンガルを用い、*Heterocapsa circularisquama* の存在、貧酸素、硫化水素を伴う貧酸素などの、様々な環境ストレス下におけるアコヤガイ（真珠貝）の殻体開閉運動パターンを検証した。その結果、アコヤガイは様々な物理化学的、生物学的環境変化に対して、特有の殻体開閉パターンを示すことが明らかになった。とりわけ二枚貝の大量斃死を引き起こす有害鞭毛藻 *H. circularisquama* の存在下では微細開閉が著しく増加する以上パターンを示し、現在、貝リンガルシステムは三重県の英虞湾で行われている真珠養殖場で *H. circularisquama* ブルームの早期発見に非常に役立っている。

本研究では、二枚貝の殻体開閉運動パターンを視覚化することができる貝リンガルを用い、マガキ（養殖ガキ）が様々な悪環境に曝された際の殻体開閉運動パターンの採取を行うことにより斃死原因解明の糸口を掴み、それらの被害軽減のシステムを確立するための基礎的な検討を行うことを目的とした。

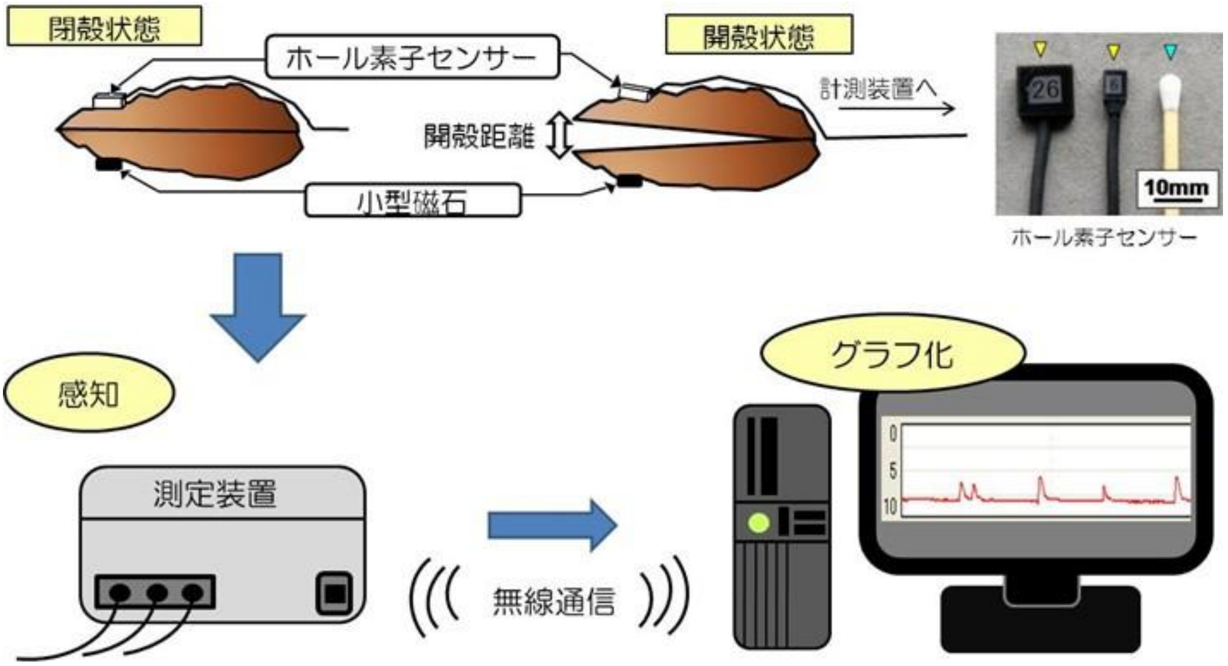

図 5.　殻体開閉運動監視システム（貝リンガル）のしくみ

2-2．牡蠣養殖場における現場観測試験

香川県さぬき市・志度湾で展開されている牡蠣養殖場の養殖筏において、貝リンガルセンサーをマガキ（4～8 個体）に装着し、貝リンガルシステムにより毎日殻体開閉運動パターンを取得した。秋季から冬季にかけて実施した 3 カ年の観測を通じて、養殖ガキが斃死する現象は認められなかった。したがって本観測を通じて、良好に生育する養殖ガキの殻体開閉運動のデータセットを十二分に採取することができた（図 6）。得られた特徴的な現象として、秋から冬にかけて水温が低下すると共に養殖ガキの閉殻時間が増加する傾向が見られた。また養殖ガキは 1 日のうち数時間は必ず閉殻する行動を示したが、その周期性を解析した結果、大潮・小潮に関わらず干潮時に閉殻していた（図 7）。カキや、イガイといった潮間帯に棲息する二枚貝の生理的行動は、干満周期に伴う潮流のサイクルによって支配されることが様々な現場実験およびリズム遺伝子解析によって明らかにされているが、本調査域の養殖ガキは海面筏に吊り下げられているため、干出に曝されることはもちろん、潮位変動による水圧変化も感じていないはずである。これらの結果から、養殖ガキは干満周期に伴う Chl *a* 濃度（餌の多寡）および流速といった環境因子の変動を感知し、連続閉殻行動を示したと考えられた。

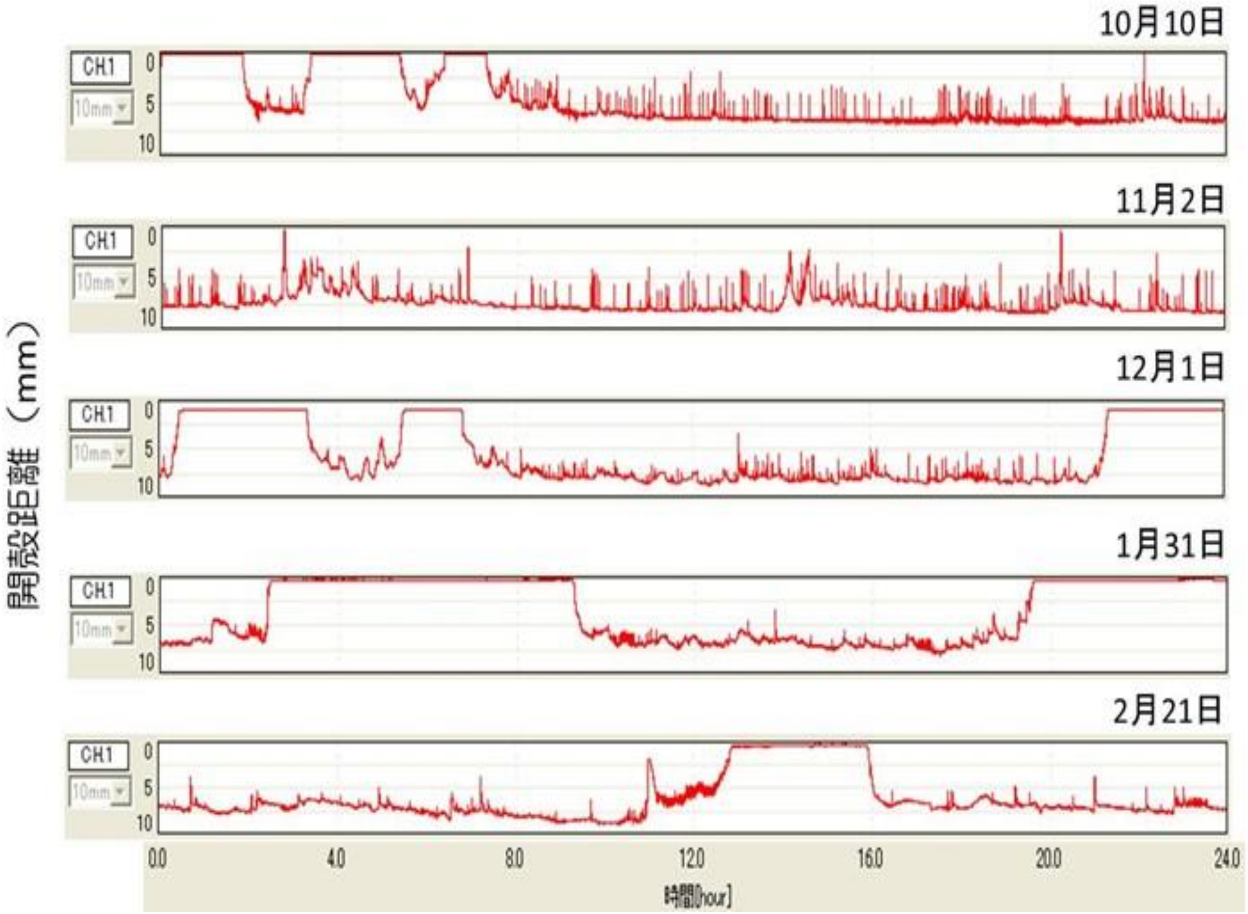

図 6　牡蠣養殖筏で垂下養殖した養殖ガキから採取された殻体開閉運動の波形パターン

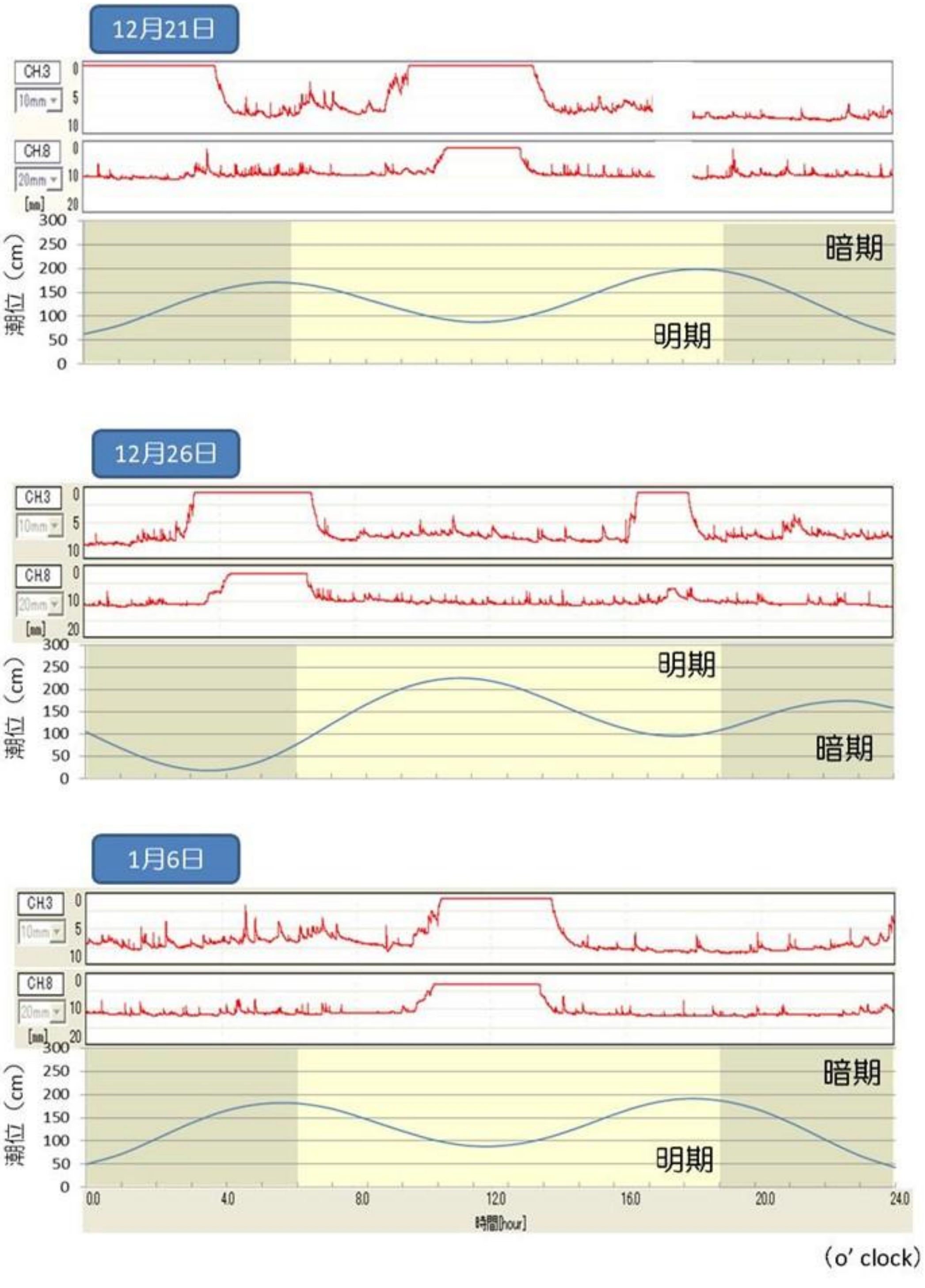

図７　潮汐（干潮時）と養殖ガキの殻体開閉運動の同調性

2-3. 様々な環境ストレス下におけるマガキの応答

室内飼育下においてマガキを、低塩分、低酸素濃度、有害・有毒プランクトンの存在といった環境ストレスに曝し、その殻体開閉運動がどのようなパターンを示すのか、詳細に検証した各環境下

におけるマガキの特徴的な殻体開閉運動パターンを図 8 に示す。低塩分環境下においては、不完全な閉殻行動を示すとともに、微細開閉をほとんど行わない開閉パターンを示した。また低酸素環境においては、ノコギリ状の規則的な微細開閉を示すとともに、微細開閉の継続時間が増加するという特異的な開閉パターンを示した。有害・有毒プランクトンに対する反応実験として、150 cells/ml の *Chattonella antiqua*（有害赤潮プランクトン）存在下においては異常な開閉パターンは示さなか

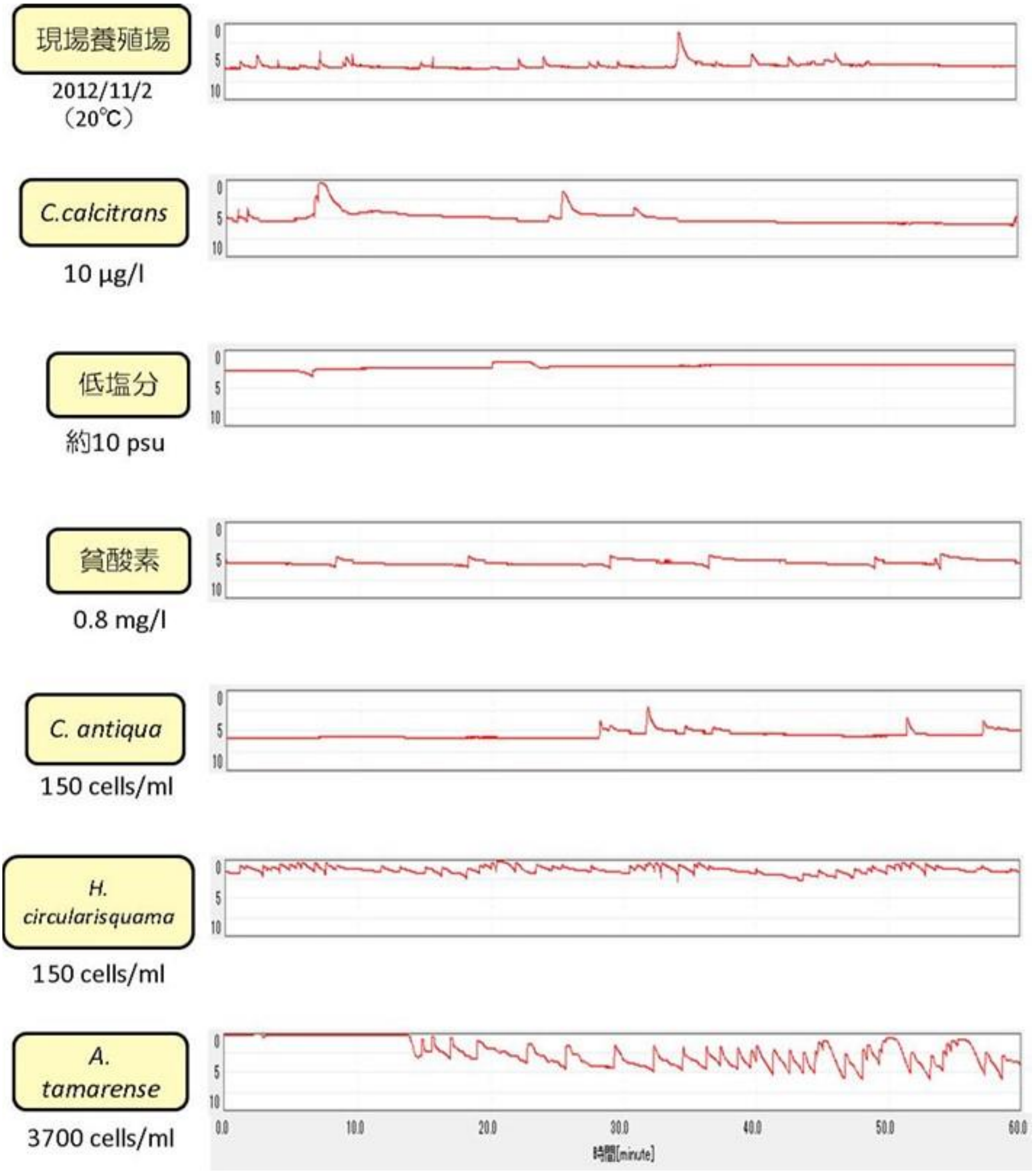

図 8　様々な環境ストレス下におけるマガキの殻体開閉運動パターン

ったが、150 cells/ml の *H. circularisquama* 存在下においては不規則に激しい微細開閉を繰り返すと共に、開殻距離の減少が確認された。また *Alexandrium tamarense*（有毒プランクトン：麻痺性貝毒原因種）存在下については、低密度では異常な開閉パターンは確認できなかったが、3,700 cells/ml という高密度下では、*H. circularisquama* の暴露時に認められた開殻距離の減少は見られなかったものの、明らかな微細開閉数の増加が確認された。したがって *H. circularisquama* と *A. tamarense* 存在下における殻体運動パターンの差別化については今後さらに検証を行う必要があるが、有害・有毒プランクトンの検出は可能であることが示された。

　これらの結果から、カキは様々な環境ストレスに対し、それぞれ特有の開閉パターンを示すことが明らかとなり、貝リンガルを用いることで、将来的に貧酸素水塊、淡水流入による低塩分海水および、*H. circularisquama* 赤潮の発生など、現場海域の異常環境を現場から離れた場所にてリアルタイムでモニタリングでき、現場環境変異による二枚貝の斃死被害を軽減できる可能性が示唆された。今後貝リンガルによる異常波形の検出精度を向上させるためにも、個体差を含めたさらなるデータの蓄積が必要である。

本プロジェクトに関連した著書・学術論文など

【学術論文】

Ichimi, K. Kawamura, T., Yamamoto, A., Tada, K. and Harrison, P.J. : Extremely high growth rate of small diatom *Chaetoceros sugineum* isolated from an estuary in the eastern Seto Inland Sea, Japan, Journal of Phycology, 48, 1284 – 1288 (2012).

明石英幹・滝川佑子・倉持卓司・吉松定昭・野村美加・多田邦尚：瀬戸内海備讃瀬戸から得られたドングリシャミセンガイ *Lingula rostrum*（SHAW, 1798）の記録, 南紀生物, 54, 19-21（2012）.

Yamaguchi, H., Katahira, R., Ogata, Y., Shiraishi, M, Ichimi, K., Tarutani, K., and Tada, K.: Comparison of fluorometric and spectrophotometric methods for determination of chlorophyll-a in coastal seawater samples, Sea and Sky, **88**, 49 – 56 (2012).

石塚正秀・石川真菜・宮川昌志・赤井紀子・多田邦尚：香川県における河川水の栄養塩形態と備讃瀬戸・播磨灘への影響. 土木学会論文集（水工学）B1, **69**, I_1423 – I_1428 (2013).

Yamaguchi, H., Katahira, R., Ichimi, K. and Tada, K. : Optically active components and light attenuation in an offshore station of Harima Sound, eastern Seto Inland Sea, Japan, Hydrobiologia, **714**, 49 – 59 (2013).

Chungopast, S., Thapanapongworakul, P., Matsuura, H., Dao, T.V., Asahi, T., Tada, K., Tajima, S., and Nomura, M : Glutamine synthetase I-deficiency in *Mesorhizobium loti* differentially affects nodule development and activity in *Lotus japonicus*, Journal of Plant Physiology, 171, 104-108, (2013).

一見和彦・山本昭憲・多田邦尚：微細藻類の生活史に関わる再懸濁作用　－冠水および再懸濁が干潟微細藻類の増殖に与える影響－沿岸海洋研究, **51**, 29-34（2013）

Nishikawa, T., Hori, Y., Nagai, S., Miyahara, K., Nakamura, Y., Harada, K., Tada, K., Imai, I.: Long-term (36-year) observations on the dynamics of the fish-killing raphidophyte *Chattonella* in Harima-Nada, eastern Seto Inland Sea, Japan, Journal of Oceanography, **70**, 153 – 164 (2014).

朝日俊雅・竹本沙紀・一見和彦・山口一岩・多田邦尚：新川・春日川河口干潟（瀬戸内海備讃瀬戸）

における懸濁粒子中のリンの挙動，海の研究，**23**，29-44（2014）.

Asahi, T., Yamaguchi, H., Ichimi, K. and Tada, K. : PIP/PP ratio as an indicator of phytoplankton activities and origin of particulate matter in Harima-Nada, the Seto Inland Sea, Japan, La mer, **52**, 1-11 (2014).

Asahi, T., Ichimi, K. , Yamaguchi, H. and Tada, K. : Horizontal distribution of particulate matter and its characterization using phosphorous as an indicator in surface coastal water, Harima-Nada, the Seto Inland Sea, Japan, Journal of Oceanography, 70, 277 – 287 (2014).

Yamaguchi, H., Hirade, N.,Kayama, M., Ichimi, K. and Tada, K. :Total organic carbon and nitrogen contents in surface sediments of Harima Nada, eastern Seto Inland Sea, Japan : A comparison under two different trophic states. Journal of Oceanography, **70**, 355 – 366 (2014).

多田邦尚・西川哲也・樽谷賢治・山本圭吾・一見和彦・山口一岩・本城凡夫：瀬戸内海東部海域の栄養塩異変とその影響，沿岸海洋研究，**52**，39−47（2014）.

Yamada, M., Otsubo, M., Kodama, M., Yamamoto, K., Nishikawa, T., Ichimi, K., Tada, K. and Harrison, P.J. : Species composition of *Skeletonema* (Bacillariophyceae) in planktonic and resting-stage cells in Osaka and Tokyo Bays. Plankton and Benthos Research, **9**, 168 – 175 (2014).

永井清仁・郷譲治・岡野晴樹・山下裕康・本城凡夫：貝が報せる海の異変!，バイオサイエンスとインダストリー，**63(4)**，265−267（2005）.