

## 1980年代以降の生物相の変化と適応策

日 時：2019年10月27日（日）10:00-13:00

場 所：ワークピア広島（芙蓉）〒732-0825 広島市南区金屋町1-17

開催挨拶 生田 和正（日本水産学会中国・四国支部長） 10:00～10:05

趣旨説明 加藤 修（水産機構瀬水研） 10:05～10:10

### 話 題

座 長 吉田 勝俊（水産機構瀬水研）

1. 豊後水道底層水温の十年規模変動と西部瀬戸内海の栄養塩環境 10:10～10:30  
加 三千宣（愛媛大沿岸研セ）

2. プランクトン・ベントスの分布変化

1) 播磨灘における海域環境の変動と植物プランクトンの応答 10:30～10:50  
西川 哲也（兵庫水技セ）

2) 動物プランクトン 10:50～11:10  
藤原 建紀（京大名誉教授）

3) 瀬戸内海におけるベントスの変化 11:10～11:30  
辻野 睦（水産機構瀬水研）

休 憩 11:30～11:40

座 長 吉田 吾郎（水産機構瀬水研）

3. 瀬戸内海における漁業資源の変動 11:40～12:00  
河野 悌昌（水産機構瀬水研）

4. 環境変動への適応策

1) 徳島県のワカメ養殖が直面する環境変動とその適応策 12:00～12:20  
多田 篤司（徳島農水総技セ）

2) 長崎県福江島周辺海域におけるハタ科魚類の漁獲量変化と海水温との関係、  
およびその有効利用に関する活動の紹介 12:20～12:40  
中川 雅弘（水産機構西海水研）

5. 総合討論 加藤 修（水産機構瀬水研） 12:40～12:55

閉会挨拶 生田 和正（日本水産学会中国・四国支部長） 12:55～13:00

**開催趣旨：**1980年代以降、「レジームシフト」といわれている生態系の大きな変化が、我が国周辺海域で認められている。瀬戸内海においても、漁獲量の減少及び漁獲対象種の変化等が報告されているものの、これらの変化が「レジームシフト」と呼ばれるものに関係した現象であるかについては十分整理されていない。本シンポジウムでは、1980年代以降におけるプランクトンや魚類等の出現傾向の変化等を整理して、他海域におけるレジームシフトとの類似性について検討するとともに、近年の環境変動による漁業・養殖業等への影響を緩和するために現在実施されている取り組みを紹介し、生物相の変化を踏まえた今後の研究方向を考えるための意見交換の場としたい。

## 豊後水道底層水温の十年規模変動と西部瀬戸内海の栄養塩環境

加 三千宣 (愛媛大学 CMES)

豊後水道は、瀬戸内海と外洋を結ぶ海域で両者の水塊の影響を強く受ける海域である。愛媛県・大分県による浅海定線観測が1964年から始まり、宇和海では愛媛大学沿岸環境科学研究センター (CMES) と各漁協との協力により水温塩分の沿岸モニタリングデータが充実している。CMES と愛媛県水産試験所のこれまでの研究から豊後水道には、急潮や底入り潮といった外洋とのインターアクションによる海水の交換が活発で、特に底入り潮と呼ばれる外洋起源の冷水の侵入現象が、豊後水道内に豊富な栄養塩を供給することが知られている。そうした外洋起源の栄養塩供給によって珪藻等の一次生産が高いため、アコヤ貝等の養殖漁業を支えていると考えられている。

近年の豊後水道研究により、外洋起源の栄養塩供給と深く関わる豊後水道底層の低温化と冷水の侵入の原因や、底層水温や栄養塩の十年規模変動に関する知見が得られてきた。兼田ほか (2002) は、豊後水道の底層水温が都井岬沖の黒潮流軸距離と相関を示し、黒潮流軸が接岸するときに陸棚斜面上の湧昇が強くなり、これが豊後水道への冷水の侵入と低温化現象の原因であると指摘した。Kuwaie et al. (2006) は、海底堆積物を用いて過去 100 年間の宇和海の珪藻生産量を復元し、太平洋十年規模変動が外洋の黒潮流軸や流量変化を介して底入り潮の強弱に影響を与え、外洋起源栄養塩供給に応

答して珪藻生産量が十年規模で変動する可能性を示唆した。こうした CMES を中心とした一連の研究から、豊後水道の海洋環境が、十年規模の外洋起源栄養塩供給の長期変動とそのメカニズムを知る上で鍵を握る海域であることがわかってきた。

一方、外洋起源の栄養塩の寄与が 6~8 割を占めるとされる西部瀬戸内海において、豊後水道を介した外洋起源の栄養塩供給がどの程度一次生産に影響を及ぼすかの知見は乏しい。別府湾の海底堆積物のクロロフィル a の年間堆積量を調べた Tsugeki et al. (2017) は、底層水温及び栄養塩の変動と関連した十年規模の一次生産変動を明らかにした。これにより、瀬戸内海西部における一次生産もまた、外洋起源栄養塩供給の影響が及ぶ可能性が示唆された。

本発表では、以上の豊後水道における一連の研究の概略を述べ、十年規模で変動する外洋起源栄養塩供給の瀬戸内海栄養塩環境に対する役割の重要性について述べる。

### 参考文献

- 兼田ほか(2002) 沿岸海洋研究 39, 181-188.
- Tsugeki et al. (2017) Journal of Oceanography 73, 309-320.
- Kuwaie et al. (2006) Journal of Oceanography 62, 657-666

# 播磨灘における海域環境の変動と植物プランクトンの応答

西川 哲也（兵庫水技セ）

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターでは、1973年4月から毎月1回、月の上旬に播磨灘に設けた19地点において、定期的な海洋観測調査（浅海定線調査）を実施している。本調査では、水温、塩分、栄養塩濃度といった水質に関する観測項目に加え、無固定、無濃縮の表層海水1 mlを検鏡し、植物プランクトンの種同定と計数を行ってきた。ここでは1973年4月～2008年12月まで36年間のデータセットを用いて、海域環境の変動とそれに対する植物プランクトン群集の応答について解析した。さらに、夏季に出現する瀬戸内海の代表的な有害赤潮藻 *Chattonella* と冬季の養殖海苔色落ち原因珪藻として最も問題視されている *Eucampia zodiacus* について、同データセットを用いてその長期変動を解析した。

植物プランクトンの年平均細胞密度は、1970年代に高く、1980年代前半に大きく減少し、1980年代後半以降は、ほぼ横ばいで推移した。調査期間を通して植物プランクトン構成種の大部分は珪藻であったが、1970年代～1980年代前半は、ラフィド藻が全体の20%近くを占める年も見られた。海域環境では、水温に有意な上昇と溶存態無機窒素（DIN）濃度に有意な低下が認められ、植物プランクトンの年平均細胞密度とDIN濃度の年平均値は同調的な変動を示した。さらに、珪藻の種組成も細胞密度やDIN濃度が大きく低下した1980年代前半に劇的な変化が見られた。すなわち、1970年代～1980年代前半は、*Skeletonema* が構成種の大部分を占めていたが、1980年代半ば以降は *Chaetoceros* をはじめ他の珪藻の占める割合が増大した。

*Chattonella*（ここでは、*Chattonella antiqua*、*Chattonella marina*、*Chattonella ovata*を含む）は、瀬戸内海において最も漁業被害を発生させてきた代表的な有害赤潮藻である。1970～1980年代、本種は8月にしばしば播磨灘全域を着色域とする大規模な赤潮を形成していたことが、本調査

結果からも確認できた。しかし1990年代以降、播磨灘ではそのような大規模な赤潮の発生は見られなくなった。夏季の播磨灘では、DIN濃度が減少傾向にあり、近年の環境下では、*Chattonella* が以前のように大規模な赤潮を形成できなくなったことが考えられた。一方、1990年代後半以降、*Chattonella* はそれ以前に比べて出現密度や発生規模は小さいものの、北部沿岸域において7月に出現する頻度が高くなった。*Chattonella* は、一年の大部分をシストとして海底土中で生残り、底層水温が20℃近くに上昇するとシストが活発に発芽することが知られている。近年、播磨灘では水温の上昇により、底層水温が20℃に達する時期が早まっており、*Chattonella* シストの発芽時期も数週間～1か月近く早まっていることが指摘されている。その結果、*Chattonella* の栄養細胞増殖期の多くが梅雨の期間と重なるようになった。そのため、主要河川が集中する播磨灘北部では、珪藻のブルームが一時的に衰退した河口域などにおいて、栄養塩濃度が上昇した場合、*Chattonella* の増殖できるチャンスが増大していることが考えられた。

一方、冬季の播磨灘では1990年代半ば以降、*E. zodiacus* が大量発生するようになった。本種が大量発生した海域では養殖海苔に深刻な色落ち被害が頻発し、大きな問題となっている。本種は、1970年代から毎年、本調査において出現が確認されてきたが、他の珪藻とは異なり、1990年代半ば以降に出現細胞密度が増大し、特に1～4月にかけて優占種となる頻度が高くなった。冬季水温の上昇やDIN濃度の低下など、近年の海域環境の変動が *E. zodiacus* の増殖に有利に作用していると考えられ、近年の大量発生は、現在の播磨灘の海域環境によく適応した *E. zodiacus* の生理生態学的特性を反映した結果であると考えられた。

# 動物プランクトン

藤原建紀(京都大学名誉教授)

海域の「富栄養化」による漁業被害は、赤潮の発生、青潮の襲来など、突発的で目に見えるものが多い。一方、「貧栄養化」の影響は、生物の成長速度の低下、小型化、漁獲量の経年的減少など、徐々に進行しているため分かりにくく、一般には知られることが少ない。

しかしながら、全国の開鎖性海域で、かつて考えられなかったほどの貧栄養化が進み、2016年度には全窒素の環境基準(全国151海域)の96.7%が達成されることとなった。この数十年における開鎖性海域(東京湾・伊勢三河湾・瀬戸内海)の水環境変化の中で、「全窒素濃度の低下」が突出して顕著である。

動物が生きていくためにエサが必要なことは、周知の事実である。しかしながら海産動物について、必要なエサ量についてはほとんど知られていない。このため、海域の「生物生産に最低限必要な窒素・リン濃度」(下限値)を、実海域での飼育実験により求めるとともに、食物網を構成する栄養段階ごとの生物量の、海域の栄養塩濃度の経年的低下に対する応答を調べた。本発表では、動物プランクトンの部分について紹介する。

## 材料

大阪府公共用水質測定では、水質・クロロフィル a とともに、植物プランクトンおよび動物プランクトンの計数(バンドン採水器 6L による採取)が、1970年代から毎月行われており、そのデータは公表されている。

このデータに基づいて、植物プランクトン量と、

動物プランクトン量の経年変化を調べた。植物プランクトン量は、クロロフィル a を指標とした。動物プランクトンは、種別に炭素量に換算して生物量(バイオマス)を調べた。

動物プランクトンでは、「魚介類のエサ」として特に重要なカイアシ類について本資料に示した。

また、「実海域での飼育実験」からは、海中に垂下した付着板上に成長した付着生物群集の成長と、実験場の肥沃度(全窒素濃度およびクロロフィル a 濃度)の関係を紹介する。

## 結果

大阪湾の植物プランクトン、動物プランクトンとも、生物量のピークの高さが減少する形で、減少していた。カイアシ類・繊毛虫・二枚貝幼生も減少が明瞭であった。

カイアシ類量は、2012年以降は、1990年代の約1/2になった。また、カイアシ類量のピーク時期が遅くなり、イカナゴの成長期のカイアシ類量は、約3分の1と、大きく減少した。

イカナゴの、胃内容物重量が年と共に減少し、たくさん食べているイカナゴが、ほとんどいなくなった(胃内容物重量の減少)。

どの生物種群においても現存量は大きく季節変動しており、そのピークの値が小さくなる形の減少であった。このため、測定頻度が数年に1回程度では、経年変化を明らかにすることが不可能であることが明らかになった(本解析の教訓)。

## 瀬戸内海におけるベントスの変化

辻野 睦（水産機構瀬水研）

近年、瀬戸内海は大阪湾奥部等の一部の海域を除き貧栄養化している。2011年から2014年にかけて瀬戸内海全域で底質環境およびベントスの調査を行った。その結果を中心に過去の調査と比較することで、海水中の栄養塩濃度の低下に伴う底質環境の変化および底魚類の餌になるベントスの定量的・定性的変化について考察した。

### 瀬戸内海の底質環境(2011-2014年)

2011年から2014年にかけて瀬戸内海全域で行った調査では、底質環境は1980年代と比較すると酸揮発性硫化物濃度(AVS)の高濃度域は狭まり、年平均で泥分率70%以下、AVS 0.1 mg/g dry sediment 以上、全有機炭素量(TOC) 20 mg/g dry sediment および全窒素量(TN) 2 mg/g dry sediment 以上の海域は大阪湾奥部のみであった。

### 瀬戸内海のマクロベントス(2011-2014年)

マクロベントスの生息密度は大阪湾を除き、瀬戸や海峡部に近い底質の粗い海域で高く、生息密度が1,000 個体/m<sup>2</sup> 以上の海域は大阪湾奥部、明石海峡、備讃瀬戸、安芸灘および周防灘の一部であった。10-30年前と比較して生息密度の分布傾向に大きな変化はなかった。マクロベントスの動物群組成は大阪湾奥部では多毛類が95%前後を占めた。大阪湾西部、播磨灘東部、燧灘東部、広島湾および周防灘等の泥分率が高い海域では多毛類が40-70%を占めた。伊予灘全域と周防灘東部の泥分の低い砂質域、安芸灘西部、播磨灘中央から南部にかけてはカニやエビ等の甲殻類の割合が高かった。播磨灘中央部、燧灘の西部から安芸灘東部海域では、棘皮動物の割合が、備讃瀬戸および関門海峡に近い海域では、ユムシ動物や星口動物等の割合が高い特徴があった。

### 広島湾, 燧灘, 大阪湾の底質環境およびベントス変化

広島湾の2016年と20年前の調査結果を比較した。湾全体の泥分率および湾奥沿岸部の有機物量およびAVSが低下した。マクロベントスの個体数は湾中央部で減少し、動物群組成では軟体類(二枚貝)の割合が低下した。春季の種組成では、汚染指標種であるシズクガイ、フクロハネエラスピオおよびエーレルシスピオの密度が低下した。メイオベントスの生息密度は湾全域において低下し、特に線虫類の密度が低下した。

大阪湾と燧灘の2011および2012年の底質環境を10年前と比較すると、大阪湾奥部および燧灘北東部ではAVSが低下したが、TOCおよびTNについては同レベルであった。大阪湾の2003年の調査では、湾奥部で秋季に汚染指標種であるシノブハネエラスピオが高密度で認められたが、2011年の同時期にはその密度が低下した。分布や種組成の傾向に有意な変化はなかったが、一部海域において種数の増加が認められた。

# 瀬戸内海における漁業資源の変動

河野悌昌(水産機構瀬水研)

瀬戸内海は水深が浅くて半閉鎖的な海域であるため、長期的な気候変動に加え、年々の気候変動の影響を受けやすい。また瀬戸内海は沿岸域で構成されているため、外洋域と比較して高い漁獲圧にさらされやすく、漁業資源の変動に及ぼす漁獲の影響は外洋域よりも大きいことが推察される。これらの理由から、長期的な海洋環境の変動が漁業資源に及ぼす影響は外洋域よりも検出しにくいことが予想される。

漁業資源の変動をみると、一般的には漁獲量がよく利用される。しかし、漁獲量には漁業資源の量的な変動のほか、さまざまな人為的影響、すなわち漁獲努力量の変化による影響が含まれる。例えば長期的な影響として、漁業者の高齢化にともなった漁獲努力量の減少がある。また短期的な影響として、瀬戸内海以外の地域での需要増による漁獲努力量の増加などがある。

上述のような問題はあるものの、漁業情報は瀬戸内海の広い範囲で、比較的長期的、かつ統一的に情報が収集されており、水産庁が実施している資源評価事業の情報として有効に利用されている。また同事業に関連して、卵稚仔調査などの漁獲情

報によらない継続的で定常的な調査が実施されており、これらの情報をうまく利用することによって漁業資源の変動傾向を把握することは、漁業資源の変動と環境との比較を試みる上で有効、かつ重要であると考えられる。

本報告では、まず瀬戸内海における魚種別漁獲量の変動を概観し、瀬戸内海における漁業資源の遷移について考察する。つぎに瀬戸内海区水産研究所が資源評価を担当している水産上重要種である6魚種(カタクチイワシ、イカナゴ、サワラ、ヒラメ、マダイ、トラフグ)について漁業情報、資源状態に関する情報の経年推移を示す。例えば瀬戸内海におけるカタクチイワシでは、1980年代後半に資源量が増加、1990年代の後半資源量が減少し、2000年代に増加傾向を示した。サワラについてもカタクチイワシの変動傾向とほぼ同様の変動傾向を示した。これらの変動と海洋環境の変化、特に太平洋でレジームシフトが起こったとされている年を照合し、瀬戸内海の漁業資源にレジームシフトが影響していたのか、について議論を深めるための端緒としたい。

## 徳島県のワカメ養殖が直面する環境変動とその適応策

多田篤司（徳島水研）・棚田教生（徳島県農林水産部）・村瀬 昇（水大校）・吉田吾郎（瀬戸内水研）

徳島県における養殖ワカメの生産量は、1980年代には平均で年間11,000トン以上あったが、近年は6,000トン前後まで減少している。この要因として、高齢化や担い手不足による漁業者数の減少もさることながら、漁場の高水温化に代表される気候変動の影響も指摘されている。特に10月中旬から11月上旬の育苗期と2月から3月の収穫期の水温が上昇傾向にある。本報告では、これらの環境変動への適応策として、気象の影響を受けない種苗生産法と、漁場の高水温化に適応した養殖品種の開発について、漁業者と共同で取り組んでいる事例を紹介する。

### 環境変動の影響を受けない種苗生産法の開発

従来のワカメの種苗生産は、種糸上に生じた配偶体を、屋外水槽で春季からの約半年間粗放的に培養管理することにより行われている。しかし、近年は夏季の猛暑等、異常気象の影響を受け、十分は種苗（ワカメ幼芽）量が生産できなくなっている。一方で遊走子から発芽した配偶体を基質に着生させずに培養した「フリー配偶体」を用いた種苗生産方法は、夏季の屋外管理が不要で、従来法に比べ短期間で生産が可能であるが、秋季の不安定な気象の影響は払拭しきれていない。そこで、培養環境を完全に制御することで、環境変動の影響を受けず従来法より安定した種苗生産法を開発することを目的とした。生産現場の遊休施設を活用し、エアコンによる水温制御、LED照明とタイマーによる光量・日長の制御により種苗生産を行った結果、従来法よりサイズが大きく歩留まり90%以上の極めて良好な種苗が生産できた。培養環境を制御することにより、生育が良好な種苗の安定生産が可能となり、漁場環境の不安定な育苗期における芽落ちリスクの軽減につながると考

えられる。

### 高水温化に対応した養殖品種の開発

育苗期と収穫期の水温が高くなることにより、収穫期が短くなるだけでなく、ワカメの生長や品質も低下している。このため、養殖現場では在来品種よりも生長が早く早期に収穫量が確保できる高水温耐性品種の開発が求められてきた。系統保存に利便性の高い前述のフリー配偶体を用いることで、交雑による品種改良も容易となる。そこで、徳島県鳴門海域で養殖されている在来品種 NN、在来品種に自県産暖海性ワカメを交雑させた NT について、種苗期の生長特性、収穫期の葉重（収穫量）を評価した。その結果、種苗期の生長特性については、通常の育苗期（23℃前後）よりも高水温である 26℃において、NT は NN に比べて有意に高い生長率を示し、高水温耐性を有することを確認した。また、収穫期の葉重については、NT は NN の 1.2~2.1 倍となり、特に水温の高い早期ほどその差は明瞭であった。さらに NT の品質については、葉状部表面の皺、色調ともに在来品種と同等の値を示した。漁業者の評価も高く、生、塩蔵ワカメとして出荷された。

開発した高水温耐性品種 NT は普及が進んでおり、2018 年度は県内ワカメ養殖業者全体の 2 割以上にあたる 58 名の漁業者が利用した。今後も漁業者と連携しながら、漁場環境の変化を見極め、さらなる品種改良及び適応策の開発に取り組んでいく。なお、本研究は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて行った。

# 長崎県福江島周辺海域におけるハタ科魚類の漁獲量変化と海水温との関係、およびその有効利用に関する活動の紹介

\*中川雅弘・種子田 雄（水産機構西海水研）

【目的】 福江島は、長崎県西方沖の五島列島を構成する島の一つであり、対馬暖流の影響を強く受ける海域に位置している。対馬暖流は九州西方沖に分布する黒潮系の水塊と、東シナ海の沿岸水が混ざり合った海流であるため、餌料となるプランクトンが豊富で多種多様な魚類等が大量に集まることが知られている。近年、温暖化等の影響と考えられる様々な現象の報告がなされているが、福江島周辺海域で漁獲される漁獲物の変化を知ることは、対馬暖流域の温暖化現象を知る上で、重要な知見になると考える。そこで、漁業資源として価値の高いハタ科魚類を調査対象として、福江魚市場に水揚げされた漁獲量の変化と九州北西海域の海面水温との関係を調べた。

【方法】 市場調査は2008年1月から2013年12月までの6年間において、全開場日（年間約300日）に水揚げされたすべてのハタ科魚類を対象に種判別を行い、各個体の全長（cm）及び体重（g）を測定した。このうち、年間100尾以上の水揚げが認められたハタ科魚類を集計対象とし、種別の水揚げ尾数の季節及び年変化を調べた。さらに、各種の主要分布域に関する知見に基づいて、これらを温帯性、亜熱帯性、熱帯性の3グループに分け、グループ別の水揚げ尾数の季節及び年変化を調べた。

【結果】 調査期間中に合計52,084尾の19種のハタ科魚類を測定した。年間100尾以上の水揚げが認められたのは、アオハタ、アカハタ、キジハタ、オオモンハタ、クエ、マハタ及びスジアラの7種（合計51,733尾）であった。2008年に対する2013年の水揚げ尾数の比率（倍）は、アオハタ1.8、アカハタ11.6、キジハタ1.4、オオモンハタ2.5、クエ1.1、マハタ1.1、及びスジアラ3.6となり、これらすべての種で増加傾向が認められた。これらを主要分布域に分けて集計すると、温帯性（キジハタ、アオハタ、マハタ）では1.7、亜熱帯性（クエ）では1.1、熱帯性（アカハタ、オオモンハタ、スジアラ）では8.5であった。同様に季節別に見ると、2010年以降の熱帯性の漁獲尾数が7～12月を中心に急激に増加していた。一方、九州北西海域の海水温を4季に分けて見ると、7～9月及び10～12月の水温が過去30年間で有意に高くなっている（ $p<0.05$ ）。10～12月の水温が熱帯性ハタ科魚類の越冬可能な生息水温に達している可能性があり、それを一つの要因として本海域の漁獲が増加している可能性が示唆された。他県の漁獲情報によると、類似した傾向が対馬暖流のより北側でも認められることから、これらハタ類の利活用が温暖化適応策の一つになり得ると示唆される。この様に、増加しているハタ科魚類資源の有効利用を図るために西海ブロック内に設立された「ハタ類資源解析研究会」で実施している活動についても併せて紹介する。