



公益財団法人  
海洋生物環境研究所

海生研シンポジウム 2017

海域環境保全に求められる  
新たな視点

講演要旨集

日時

平成 29 年 8 月 31 日 (木) 13:00

場所

御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター  
2 階 Hall West

第 1 回海のフォトコンテスト優秀作品 「豊饒な海」 長谷利宏さん (兵庫県)

## 開催の趣旨

近年、火力発電所の新設や建替え、また洋上風力発電設備の新設など、沿岸海域の開発・利用が増加傾向にある中で、沿岸海域の環境保全はこれまで以上に重要となっています。

本シンポジウムでは、海生生物の「生死」や「分布」を主体とした従来の評価に加え、海域の環境保全における新たな視点として「行動」をキーワードに、これまでの海生研の成果がどのように活用できるのか、また今後どのような調査・研究が必要となるのかを考えていくとともに、沿岸海域の開発・利用と環境保全の両立の一助としたいと思います。

## プログラム

- 12:30 開場・受付開始
- 13:00 開会（司会進行：研究企画調査グループマネージャー 渡邊 剛幸）  
開会挨拶 公益財団法人海洋生物環境研究所理事長 香川 謙二  
趣旨説明 公益財団法人海洋生物環境研究所理事 藤井 誠二
- 13:20 話題提供
- |                  |                |       |
|------------------|----------------|-------|
| 温度に対する魚類の行動反応の把握 | 海洋生物グループマネージャー | 三浦 雅大 |
| 温度と植食動物の行動       | 実証試験場長代理       | 渡邊 幸彦 |
| 水中音と魚類の行動        | 海洋生物グループ総括研究員  | 島 隆夫  |
| 行動解析手法の現状と可能性    | 海洋環境グループ主査研究員  | 長谷川一幸 |
- 質疑応答
- 15:00 休憩
- 15:20 特別講演 日本の豊かな魚食文化を支える海洋生態系の多様性を考える  
東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター長・教授 河村 知彦
- 16:20 休憩
- 16:30 総合討論（座長：東京大学名誉教授 日野 明德）  
テーマ：今後の海域環境保全に求められる新たな視点－生物行動に着目して－
- 17:30 閉会挨拶 公益財団法人海洋生物環境研究所理事 木下 泉



## 本シンポジウム開催にあたって（趣旨説明）

公益財団法人海洋生物環境研究所  
業務執行理事 藤井誠二

近年、様々な沿岸海域の利用・開発が増加し、環境アセスメントの重要性が増加しています。また、洋上風力発電から発生する低周波水中音、CO<sub>2</sub>海洋海底下隔離実証試験ではCO<sub>2</sub>の漏出、海底鉱物資源開発では海底かく乱など、新たな影響要因に対応した新しい影響予測・評価が求められています。本シンポジウムでは沿岸海域の開発・利用にあたって、どのような海洋環境保全が求められるのか、技術的にどこまで可能かを考えます。

大きな開発事業にあたっては環境アセスメントが行われますが、発電所アセスの場合、海洋生態系については未解明の部分が多く予測評価の対象としていません。その理由の一つは、海は人を寄せ付けない環境であることが上げられます。例えば、海の生態系は海の下にあり見ることはできません。海水は重く、スキューバダイビングで潜れる水深は40m程度。また、電波は水中で減衰されるため、水中で撮影した映像などの大量データはケーブルをつながなければ海上に送信できません。その結果、空間的、時間的に連続した情報を得ることは、労力と費用を伴う非常に困難な作業となります。

もう一つの理由は、海の生態系の特徴にあります。生態系の基礎は、光合成を行い無機物から有機物を生産する植物が担っています。陸域では森林や草本が長期間、大量に存在し、その一部である落ち葉や種子、草などが草食動物に利用されます。一方、海域では微小な単細胞の植物プランクトンが日単位で分裂を繰り返し、動物プランクトンが速やかにそれを摂食し、そして動物プランクトンが上位の捕食者に速やかに利用されるため、植物プランクトンの現存量は少なく、生産量は非常に大きなものとなっています。

植物プランクトンを摂食した動物プランクトンは、プランクトン食の魚類に捕食され、さらに肉食魚類に捕食される、複雑な食物連鎖を作っています。各栄養段階には非常に多くの競合する生物が存在し、ある種が欠けたとしても他の種が代役を務めることにより連鎖が切れることはありません。このようなことから、陸はストックの生態系、海はフローの生態系とされています。

このようなフローの生態系では、ある時期の調査結果は一瞬の姿であり、複雑な生活史や遊泳性のある海生生物では、事業前後の比較を行っても影響の予測・評価は困難です。また、ほとんどの生物が生息場を変える（付着生物でも浮遊期がある）ので、生態系には地理的な広がり、連携があり、遊泳性の海生生物については、生活史ごとの行動と環境要因の関係を把握することが、生態系の地理的な連携、調査の範囲決定に重要となります。

本シンポジウムでは、海域環境保全を考える上でこのようなダイナミックな生態系をどう捉えるか等について議論したいと思います。

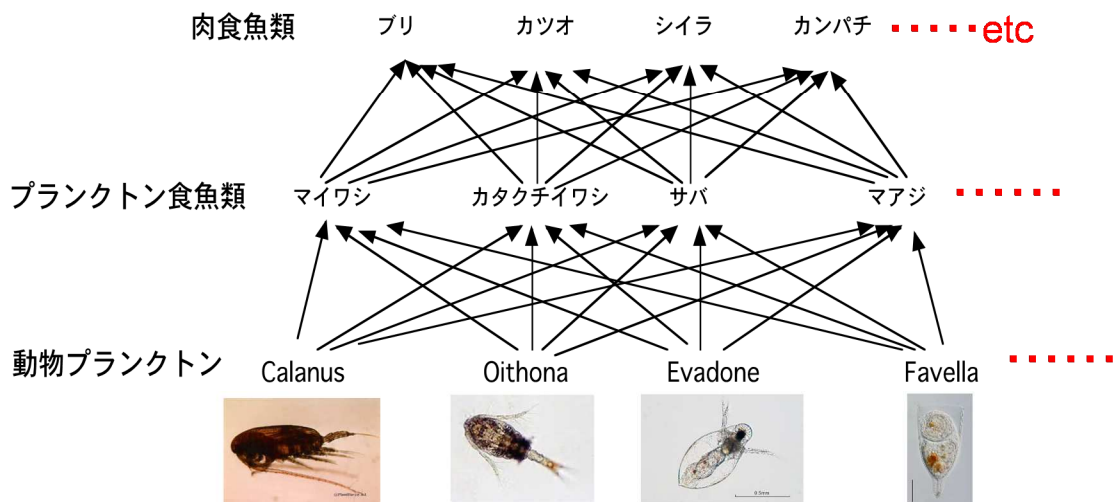
まず話題提供として、海生研の研究者から、温度上昇や水中音などが海の生物に及ぼす影響について、海生研が行ってきた調査研究を紹介しします。また、調査研究で用いてきた行動把握、解析手法の有効性について紹介しします。

次の特別講演では、東京大学大気海洋研究所の河村知彦教授より「日本の豊かな魚食文化を支える海洋生態系の多様性を考える」と題して、海の生態系、特に沿岸生態系の特徴とその保全を考える上で何が重要かをご講演いただきます。

総合討論では、東京大学名誉教授の日野明德先生を座長として、ご講演いただいた河村先生と話題提供した4名の研究者をまじえて、海域の環境保全に求められる調査・研究の方向性と、その測定技術の可能性について、特に生物行動に着目した議論を行います。その際には、沿岸海域の開発・利用と環境保全の両立の一助となるよう、ご来場の皆様の活発なご発言をお願い申し上げます。

## 海の生態系の特徴

### 食物連鎖の上位者(動物:消費者)



天然の複雑な栄養網

日野「魚の科学事典」2005より一部改変

同じニッチの生物が多い→フローが維持される

## 温度に対する魚類の行動反応の把握

公益財団法人海洋生物環境研究所中央研究所  
海洋生物グループマネージャー 三浦雅大

### 【はじめに】

海生研では、長年にわたって海生生物に対する発電所温排水による海水温度の上昇（以下、昇温とする。）の影響解明のための調査研究に取り組んできた。様々な海生生物のうち、移動能力（遊泳力）に優れた魚類については、高水温を忌避することによる周辺海域からの逸散や回遊行動の阻害が懸念される。一方、高水温を選好して温排水放水口近傍に蟄集する魚種も知られている。今回は、海生研で実施してきた調査研究例を基に、温度と魚類の反応行動の関係について紹介する。

### 【研究内容】

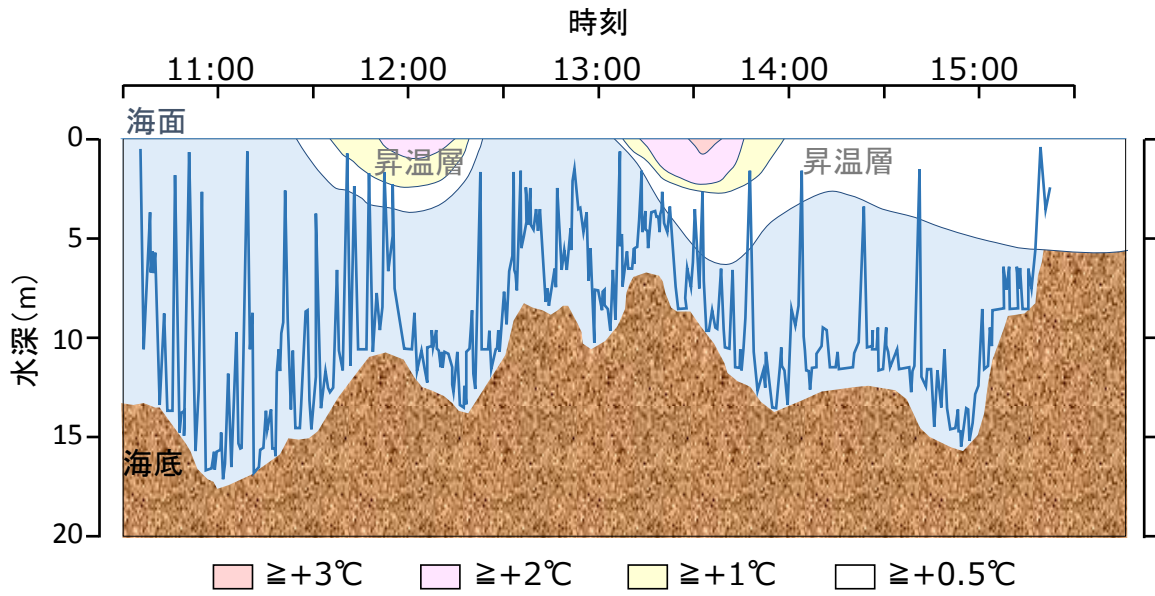
温度勾配試験装置を用いた室内実験によって、多くの魚種について、温度に対する行動反応の方向性（より高い温度を好むのか、低い温度を好むのか）の基準となる最終選好温度を求めた。熱帯・亜熱帯性種の最終選好温度は30℃前後の高い値となり、深海性種や寒帯・亜寒帯性種では15℃以下の低い値となった。温帯性種はこれらの中間的な値となる場合が多いが、温排水放水口近傍に集まる魚種として知られているスズキ、クロダイは熱帯・亜熱帯性魚種に匹敵するほどの高い値を示した。

寒帯・亜寒帯性種のサケは、冷水を好むため、昇温による回遊行動（特に産卵のための母川回帰）の阻害が懸念される魚種である。そこで、実際の発電所周辺海域において、河川遡上期のサケに発信機を装着して追跡したところ、サケは表層に形成される昇温層の下を潜って移動することが確認された（第1図）。なお、この行動は、大型生簀を用いた野外実験によっても確認された。

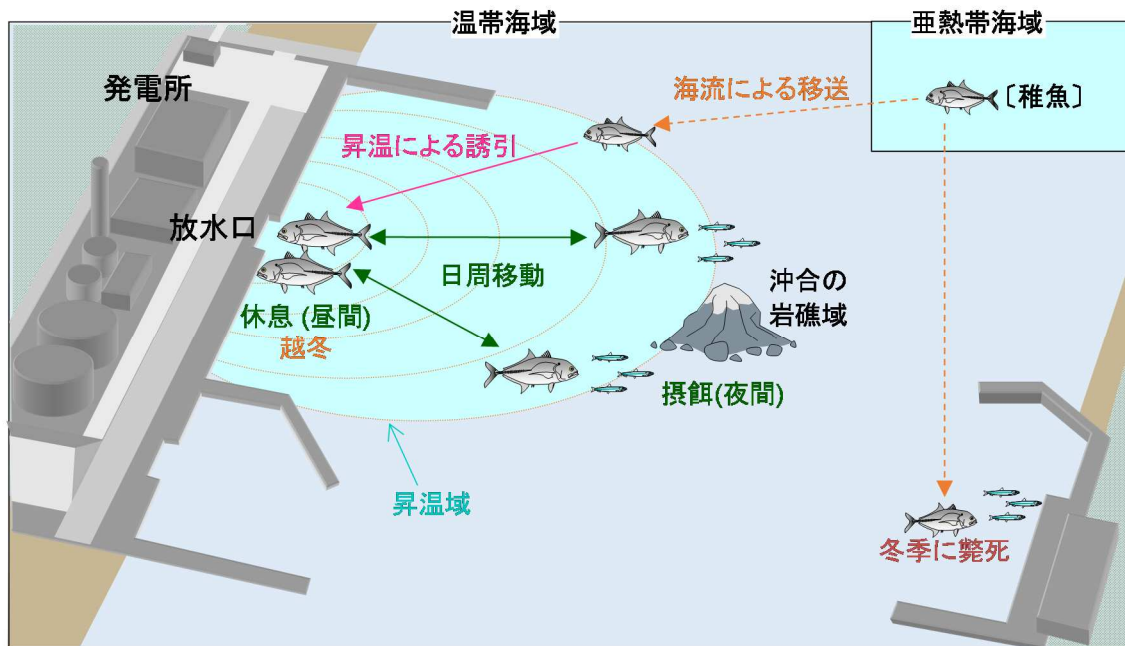
熱帯・亜熱帯性種のギンガメアジは、潜水観察調査により、発電所周辺海域において最も水温が高い温排水放水口近傍にほぼ周年にわたって蟄集することが確認された。ただし、超音波発信機と設置型受信機を用いた調査の結果、夜間は沖合の岩礁域に移動して小型魚類等を捕食することが判明した（第2図）。

### 【終わりに】

野外調査によって、発電所周辺海域における魚類の分布や行動は、温排水による昇温に影響を受けていることが確認され、最終選好温度のデータに基づいて、ある程度の予測は可能と考えられる。ただし、ギンガメアジの例のように、魚類の行動は温度によってのみ規定されるわけではない。そのため行動の予測には、行動を規定する他の要素（餌の有無や光、音等）に対する行動反応の把握が必要である。また環境保全に際しては、餌生物の分布等の他の環境要素の影響や、周辺海域の生息場との往来等も考慮した方策の検討が望まれる。



第1図 発電所前面海域におけるサケの鉛直移動の例



第2図 発電所周辺海域におけるギンガメアジの生活

## 温度と植食動物の行動

公益財団法人海洋生物環境研究所  
実証試験場長代理 渡邊幸彦

### 【はじめに】

近年、海藻を食べる動物（植食動物）が原因と考えられる藻場の衰退（磯焼け）が各地で報告されている。その要因の一つとして水温上昇による南方系の植食動物の分布域の拡大や個体数の増加が、植食動物と海藻類との間の「食う／食われる」の関係へ影響を及ぼしていることが指摘されている。また、発電所温排水の昇温域で、植食動物が食べる海藻の量（採食量）が増大することも考えられる。そこで、海生研では温排水影響という視点から、植食動物（アイゴ）と種々の海藻類との種間関係に及ぼす水温の影響を室内実験により調べた。ここでは、アイゴと海藻類の種間関係に着目した研究成果の一部を紹介する。

### 【研究内容】

アイゴが生存できる最低水温の指標となる最終致死水温を調べた結果、9.5～9.6℃と求められた。このことから、海域の最低水温がこの温度より高い場合には、アイゴが当該海域で越冬し生き残る可能性が高まることが推測された。

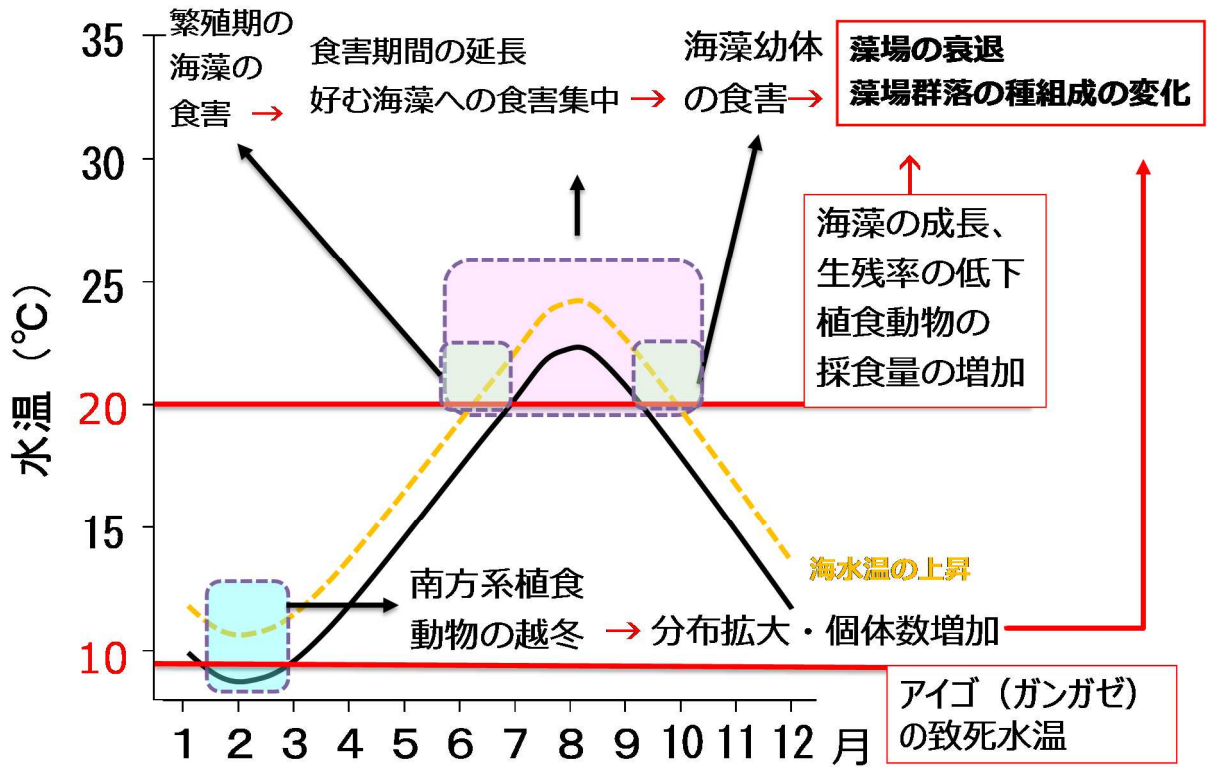
アイゴのアラメ、ホンダワラ類に対する採食量と水温の関係を、14～29℃において、夏の水温上昇期および秋から冬の水温下降期に調べた。その結果、水温が高いほどアイゴの採食活動は活発化し、採食量は29℃で最大となり、水温が14℃まで下がると採食活動はほぼ停止することが明らかになった。また、採食量は海藻の種類毎に異なることが確認された。

さらに、アイゴが好む海藻の種類と水温の関係を、14～29℃において、夏の水温上昇期および秋から冬の水温下降期に調べた。その結果、アイゴが好む海藻の順位は水温により変化しないこと、また、餌として好む海藻の順位は、水温よりも季節による海藻の成熟状況が影響することが明らかになった。

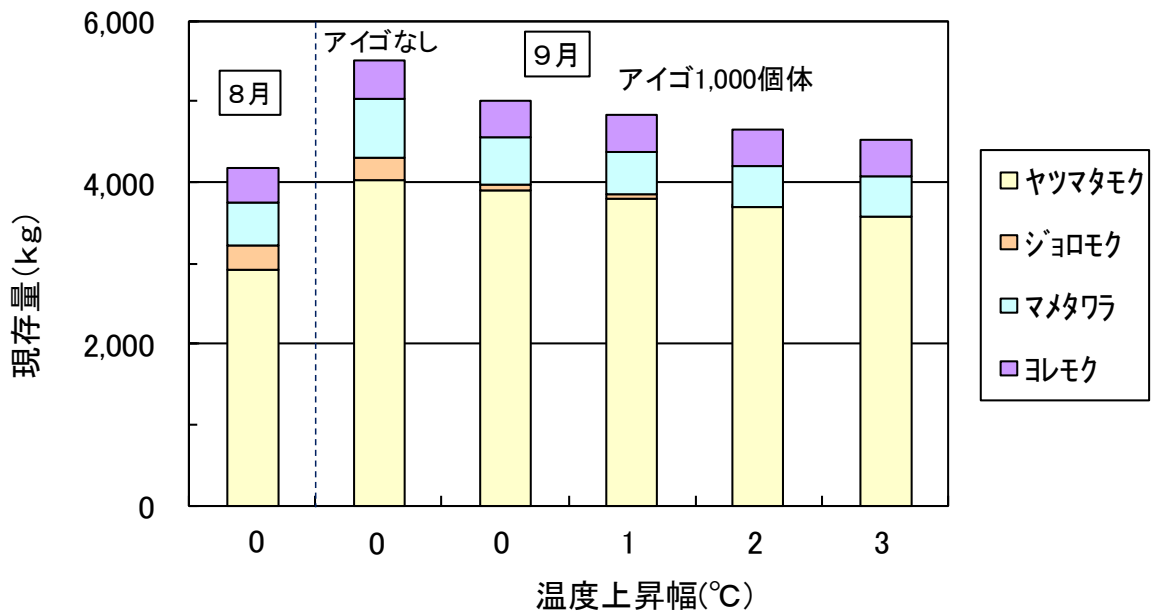
また、海藻類の生育適温と生育上限温度を調べた結果、成長適温範囲の上限はアラメが20℃、ホンダワラ類5種が20～23℃の範囲であり、これらの水温を超えると、海藻類の成長率は水温上昇に伴って低下することが明らかになった。

### 【終わりに】

以上の室内実験で得られた結果から、水温の上昇は、冬季においてはアイゴの生き残りを助長し、春～秋季においては採食行動を活発化させ、これに高水温による海藻類の成長低下が加わることにより、磯焼けが拡大することが推測された（第1図）。また、植食動物が好む海藻を選択的に採食することにより、特定の海藻が減少し、藻場群落の種組成が変化することも推測された（第2図）。



第1図 予想される海水温上昇が海藻と植食動物の関係に及ぼす影響



第2図 1haの混成ホンダワラ藻場におけるホンダワラ4種の現存量に対する温度上昇幅とアイゴ個体群の採食影響の量的関係の推定



## 水中音と魚類の行動

公益財団法人海洋生物環境研究所中央研究所  
海洋生物グループ総括研究員 島 隆夫

### 【はじめに】

風力発電は再生可能エネルギーの中でも、発電ポテンシャル面からも有力な電力供給源であり、近年、陸域に加え洋上風力発電所の開発が進んでいる。洋上風力発電施設からは、低周波数帯域に特徴的な周波数ピークを持つ水中音が発生することが報告されている。このような低周波水中音は洋上風力発電施設が稼働している間、周辺海域に絶えず発生し続けると考えられるが、低周波水中音の長期的な影響については国内外を含めほとんど検討されていない。海生研では国立研究開発法人海洋安全技術研究所と共同で、低周波水中音長期的曝露が魚類の摂餌行動、成長、生理的ストレス応答および再生産に与える影響を解明することを目的とした研究を行っている（JSPS（C）15K00575）。ここではその一部について紹介する。

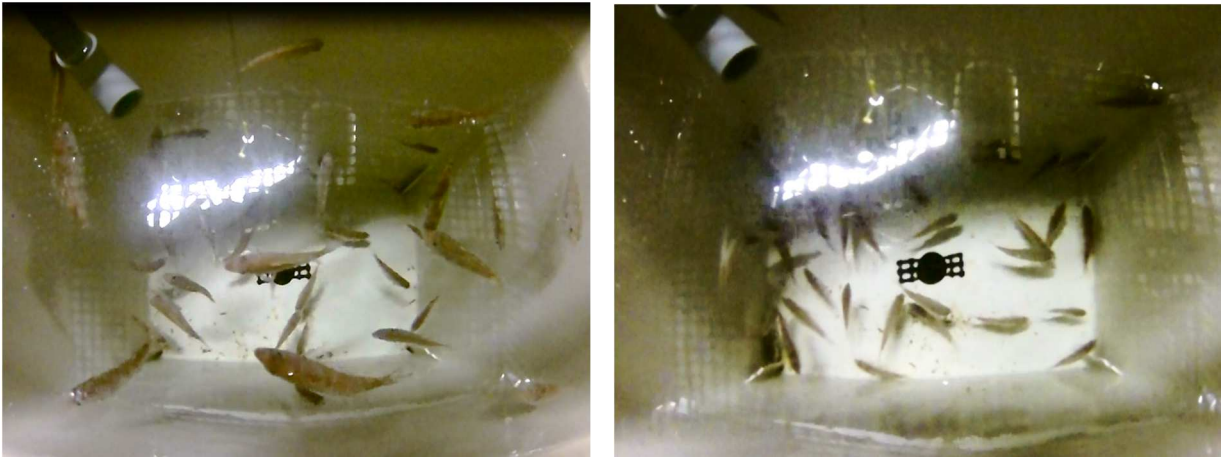
### 【研究内容】

試験は、周波数が 100Hz 純音の音圧レベルが 100, 120, 140dB re 1 $\mu$ Pa の場合および環境音のみの場合を設定した。マダイ稚魚は 140dB の低周波音に曝露した直後では、驚愕反応や摂餌行動の停止が認められたが（第 1 図）、これらの反応は一時的であり、低周波音に連続曝露した期間中の摂餌リズムや成長には、音圧レベルの影響は認められなかった。

同様の水中音条件にシロギス受精卵を曝露し、低周波水中音が卵発生に及ぼす影響について検討した結果、いずれの水中音条件でも正常孵化率は 96% 以上であり、音圧レベルの影響は認められなかった（第 1 表）。

### 【終わりに】

音圧レベルが 140dB re 1 $\mu$ Pa の低周波水中音は遊泳行動、摂餌行動に一時的に影響を及ぼすが、その後の摂餌行動や成長および卵発生に顕著な影響は認められなかった。洋上風力発電施設から放音される低周波水中音が海洋生物に及ぼす影響を把握するためには、魚種による影響の違いや逃避行動等、さらなる知見の集積が必要である。



第1図 低周波水中音(100Hz, 140dB re 1 $\mu$ Pa)曝露前(左)および曝露後(右)のマダイ

第1表 低周波水中音に曝露したシロギス卵の異常卵率, 異常孵化率および正常孵化率

試験区	異常卵率 (%)	異常孵化率 (%)	正常孵化率 (%)
コントロール区	2.5 $\pm$ 2.8	0.6 $\pm$ 1.1	96.9 $\pm$ 3.8
100 dB区	1.7 $\pm$ 0.2	0.6 $\pm$ 1.1	97.7 $\pm$ 1.2
120 dB区	1.2 $\pm$ 1.0	-	98.8 $\pm$ 1.0
140 dB区	1.8 $\pm$ 1.8	-	98.2 $\pm$ 1.8

N=3 試験区間に有意な差は認められなかった(一元配置分散分析, P>0.05)

## 行動解析手法の現状と可能性～海生研での調査・実験を例として～

公益財団法人海洋生物環境研究所中央研究所  
海洋環境グループ主査研究員 長谷川一幸

### 【はじめに】

沿岸海域において環境影響評価を実施する際に、評価の対象となる海生生物は固有の生態特性を持ち、その行動様式も多種多様である。そこで、これまで海生研で実施してきた海生生物の野外や室内実験で検討してきた行動解析の結果を中心に、行動解析手法の現状と可能性について紹介する。

### 【野外行動解析】

野外における行動解析は、調査機材の測定精度の向上、バッテリーの能力向上、メモリーの大容量化、観測機器の小型・軽量化および調査機材の低価格化などにより、様々な海生生物に対して適用事例が蓄積されつつある。また、平成15年に日本バイオリギング研究会が発足し、平成26年度水産学会ではバイオテレメトリー関係のシンポジウムが開催されるなど研究インフラストラクチャーも整備されてきた。

海生研では、サケ、サクラマス、ブリ、ギンガメアジ、アイゴ、アオリイカ、コメツキガニ等を対象に行動解析を実施し、発電所温排水域での遊泳状況や日周行動パターン等を解明した。

### 【室内実験行動解析】

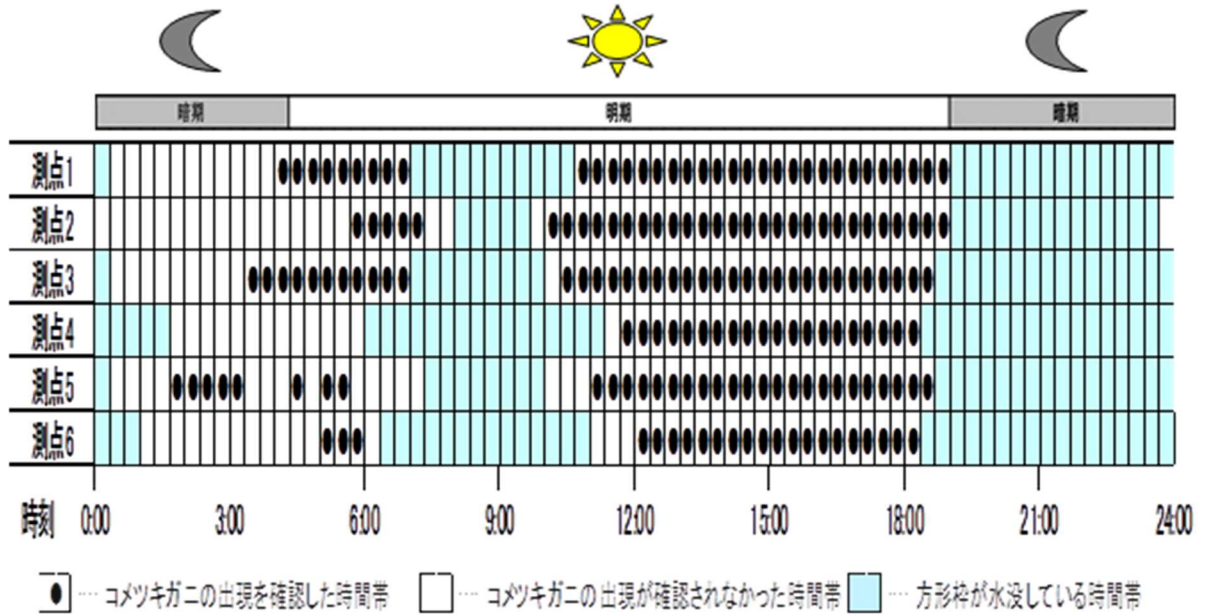
室内実験での行動解析は、測定機材の高性能化・低価格化およびパソコンによる行動解析ツールの拡充などにより様々な海生生物の行動を把握するための実験装置や行動解析手法が提案されている。

海生研では、魚類38種の選好温度・平衡喪失温度試験、マコガレイ、マハゼ、クルマエビ、ヒラメ、シキシマフクロアミ、チョウセンハマグリ of 貧酸素・低塩分に対する忌避行動試験、キタクシノハクモヒトデに対する高CO<sub>2</sub>に対する忌避行動試験、ウニ類やアイゴの摂餌選択や日周行動試験などを実施し、特に海生生物の環境変化に伴う行動の変化について解析を進めてきた。

### 【まとめ】

近年、野外および室内実験で行動解析を行うための調査機材は飛躍的に測定性能・精度が上昇した。また、海生生物の行動特性を把握するための調査・実験手法についても様々な提案がなされ、知見が蓄積されつつある（海生研研報第18号など）。そのため、これまで不明な点が多いとされた海生生物の行動解析を実施し、行動パターン（例：第1図）を推定できる可能性がある。ただし、様々な生態特性を持つ海生生物の正確な行動解析を行うためには、

固有の生態特性に合わせて野外調査や室内実験を計画することが、調査・実験の成否の鍵となる。



第1図 コメツキガニの活動の日周変化

夏期(6月)の干潟の6測点にインターバル機能付きデジタルカメラを設置し、コメツキガニの行動記録から活動状況を解析した。



## 日本の豊かな魚食文化を支える海洋生態系の多様性を考える

東京大学大気海洋研究所

国際沿岸海洋研究センター長・教授 河村知彦

日本の食文化には魚介類が欠かせない。特に海外でしばらく暮らすと、改めて実感することの一つである。日本人が食用にする魚介類は実に多様であり、地域ごとに独特な魚類や貝類、エビ・カニ類等を食す習慣は日本文化において重要な位置を占めている。

この魚食文化は、日本の周辺海域から得られる海洋生物の種多様性の高さに依存している。日本列島は亜熱帯から亜寒帯に跨って南北に長く連なり、その長く複雑な海岸線に沿って南から暖流が、北から寒流が流れて互いにぶつかり合う。このため日本列島沿岸には複雑な海洋環境が形成され、多様な生物が生息する。全海洋容積の0.9%を占めるに過ぎない日本周辺海域に、全海洋の既知生物種約25万種の13.5%に相当する3万数千種の生物が生息するとされる。

しかし、20世紀後半以降の人間活動の拡大によって日本周辺の沿岸海域は大きく改変され、本来持っていた生物種の多様性は失われつつある。多くの魚介類が今や絶滅に瀕している。種の多様性ばかりでなく、沿岸域の生物生産力自体も大きく低下している。日本の沿岸海域における漁業生産量は1985年の227万トンピークに減少し続け、2007年には129万トンとピーク時の57%にまで減少した。沿岸海域における生物の再生産・成育場としての機能が損なわれた結果、生物種の多様性と生物生産力がともに大きく低下したと考えられる。

日本の沿岸海域において、生物資源の保全策や利用策はこれまで基本的に種個体群単位で講じられてきた。すなわち、資源となる生物種ごとに管理方策を策定し、あるいは対象種の大量放流等によって資源増殖を図ってきた。しかし、資源として重要な生物は、種多様性が高い日本の沿岸海域において、多様な他の生物種と複雑な関係を持ちつつ再生産を繰り返している。したがって、対象種の種苗放流や害敵種、競合種の排除によって、ある特定の対象種のみを増やして獲るといった畜産業のような手法は、沿岸海域の生物の保全や増殖には有効に機能しないことがわかってきた。すなわち、海洋生物資源を保全しながら持続的に利用するためには、群集生態学を基礎とした新たな手法を確立することにより、天然の生態系機能を効果的に発揮させることが重要と考えられる。

海洋生物の中には、魚類のように生活史の中で水平的・鉛直的に広範囲を移動し、複数の異なる生態系を跨いで、あるいは往来して過ごすものも少なくない。一生を通じて特定の生態系やさらに狭い範囲の固有のハビタットに留まると考えられていた底生生物の多くが、実際にはいくつかの異なるハビタットを成長段階によって使い分けていることも明らかにされつつある。したがって、漁獲対象となる種の保全・利用策を講じる上で、その種が生活史全体を通じて利用する複数の生態系を理解するとともに、物質循環や食物網を通じて連環する沿岸海域全体を一つの系として捉える必要がある。しかしながら、従来の資源管理・保全方策は、このような複数の異なる生態系を一つの複合系として捉える考えには基づいていない。

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う大津波は、三陸を中心とする北日本

の太平洋沿岸の生態系に未曾有の大規模な攪乱をもたらした。現在、多くの研究者によって地震や津波が海洋生態系に及ぼした影響と攪乱からの回復過程が調べられているが、それらの研究結果によって、東北沿岸域の海洋生態系の多様さ、複雑さ、豊かさが再認識されるとともに、地震や津波によって破壊された港湾施設や防潮堤の再建などの人間活動は、津波による攪乱から回復しつつある沿岸生態系に地震や津波よりもはるかに大きな不可逆的影響を及ぼす可能性が明らかになってきた。

人為的影響に加えて、地球温暖化や海洋酸性化の進行によって海洋生態系の変化が加速し、さらなる漁業資源の減少が懸念される中、陸上生態系と海洋生態系の関連性を考える「森里海連環学」が提唱されるとともに、陸上における「里山」と同様に、人間が海の環境や生物に積極的に手を加えることによって「里海」を作り、漁業資源の生産性を上げて豊かな生物多様性を保とうとする運動が盛んになってきた。この試み自体は有意義であり、古くから人が海を多様に利用して密接な関係を保ってきた日本ならではの試みであるが、海洋環境を人為的に管理することは容易ではなく、沿岸海洋の環境や生物を陸上の「里山」のように人間の意のままに管理することはきわめて困難と考えられる。

我々人類は、これからも食糧資源として海洋生物を利用しなければならず、住環境の改善等のためにはある程度の環境改変もやむを得ない。しかし、日本の沿岸生態系の多様性を保全し、日本人の豊かな魚食文化を支える海洋生物の多様性を維持するためには、人間が手を加えることによって海を変えようとするのではなく、海洋生態系の構造や変動のしくみを正しく理解し、その多様性や複雑さ保ったままそこで生産される海の幸を上手に利用すること、人為的な環境改変が生態系に及ぼす影響を最小限に抑えることが重要と考えられる。「里海を作る」のではなく「里海とうまく付き合っていく」ことが重要と言えるのではないだろうか。

略歴：河村知彦（かわむらともひこ）

東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター長・教授。博士（農学：東京大学）。水産庁東北区水産研究所主任研究官を経て、2000年7月より東京大学海洋研究所（現、大気海洋研究所）助教授に就任。現在に至る。

主な研究内容は、

1. 底生無脊椎動物の生態と資源変動機構に関する研究
2. 岩礁生態系の構造と機能に関する研究
3. 付着珪藻の群落変動機構に関する研究
4. 三陸の沿岸生態系における津波の影響とその後の二次遷移に関する研究

多彩な趣味は、バードウォッチングやサッカー、スキー、等々。

（以上、大気海洋研ウェブサイトより）

## 総合討論

総合討論では講演の内容を受けて、以下の点について議論し、まとめていきたい。

座 長：東京大学名誉教授 日野明德

テーマ：今後の海域環境保全に求められる新たな視点－生物行動に着目して

論 点：

- なぜ行動の調査研究が必要なのか？
- 今後求められる調査研究の方向

----- メ モ -----

海生研シンポジウム 2017  
海域環境保全に求められる新たな視点  
講演要旨集

平成 29 年 8 月 31 日

公益財団法人海洋生物環境研究所  
〒162-0801 東京都新宿区山吹町 347 番地  
藤和江戸川橋ビル 7 階  
TEL 03-5225-1161

本書の無断複写・複製・転載を禁じます。