



日本バイオリギング研究会会報 No. 137

発行日 2018年1月15日 発行所 日本バイオリギング研究会(会長 荒井修亮)

発行人 牧口祐也 日本大学 生物資源科学部 海洋生物資源科学科 魚群行動計測学研究室  
〒252-0813 神奈川県藤沢市亀井野 1866

Tel: 0466-84-3687 E-mail: [biolog@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp](mailto:biolog@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp)

会費納入先: みずほ銀行出町支店 日本バイオリギング研究会 普通口座 2464557



## もくじ

### 新しい発見

深海へのレース。トップはヒレナガゴンドウ!

青木かがり (東京大学大気海洋研究所)

### 研究トピックス

バイオリギングによる環境エンリッチメント評価

佐藤信彦 (東京大学大気海洋研究所)

### 学会報告

第13回 日本バイオリギング研究会シンポジウム

吉田誠 (東京大学大気海洋研究所)

第13回バイオリギングシンポジウムに参加して

土屋昌範 (東京大学大気海洋研究所)

第11回サケ学研究会に参加して

阿部貴晃 (東京大学大気海洋研究所)

「第13回バイオリギングシンポジウム集合写真」(提供:渡辺伸一)、撮影場所:福山大学

# 深海へのレース。トップはヒレナガゴンドウ！

青木かがり（東京大学大気海洋研究所）

鯨類の中で中・深層への深い潜水を行うのは、マッコウクジラ、アカボウクジラ、ヒレナガゴンドウなどの中・大型のクジラで、主に頭足類を捕食している。ちなみに、最も深い潜水記録を持つのはアカボウクジラで3500メートルを超える。データロガーの記録から、ヒレナガゴンドウは他の深く潜るクジラと少し違う潜水戦略を持っていることが分かってきたので紹介したい。

ヒレナガゴンドウと聞いて、その姿形が思い浮かぶ人はあまりいないと思う。体長6-7m、体重1-1.5tの中型のクジラだ。体は黒々とツヤツヤしており、頭は丸くずんぐりとしている（写真1）。イルカと違って吻が出ておらず、正面から見るとまるで笑っているように見える。ヒレナガゴンドウは大西洋にしか分布していないが、日本近海にはよく似たコビレゴンドウという種類がいて、沿岸捕鯨の対象にもなっている。



写真1. 群れで泳ぐヒレナガゴンドウ

クジラを含む息こらえ潜水を行う動物が、採餌する深度になるべく長く滞在したいと思ったら、最適遊泳速度（距離あたりの移動コストが最も少ない速度）で水面と採餌場を行き来するはずである。深海へと潜水するクジラなら、なおさらだと思う。数式モデルから、最適遊泳速度は（基礎代謝/抗力）<sup>1/3</sup> に比例し<sup>引用1, 2</sup>、動物の体重に従って増加することが予想されている（図1）。実際に、野外の動物から得られたデータでも、潜降あるいは浮上中の巡航速度が体重に従って増加することが示されている<sup>引用2</sup>。体重に従って増加するといっても、多くの動物では最適遊泳速度が秒速1~2メートルの間で、ヒレナガゴンドウの場合も体重から予想される最適遊泳速度は秒速約1.5メートル程度である。ところが、ヒレナガゴンドウは予想の2倍弱の秒

速3メートルの速い速度で水面と深海を行き来していた（図1、2）。一方、他の深く潜るクジラは、体重から予想される程度の速度かやや遅い速度で水面と深海を行き来していた。

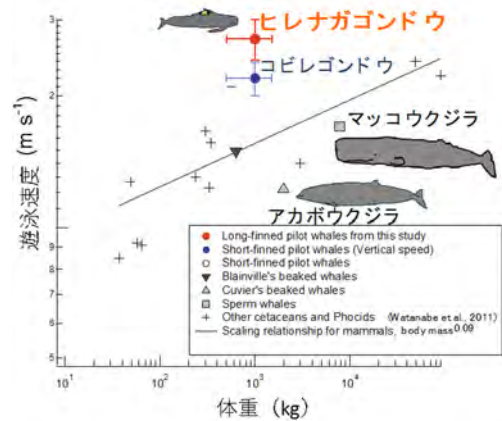


図1. 体重と巡航速度の関係（引用2を改変）。ストロークしている際の速度で浮上あるいは潜降中の平均。十字以外のシンボルが深く潜るクジラ。

なぜヒレナガゴンドウは速く泳ぐのだろうか？ヒレナガゴンドウが最適遊泳速度で泳いでいたとすれば、

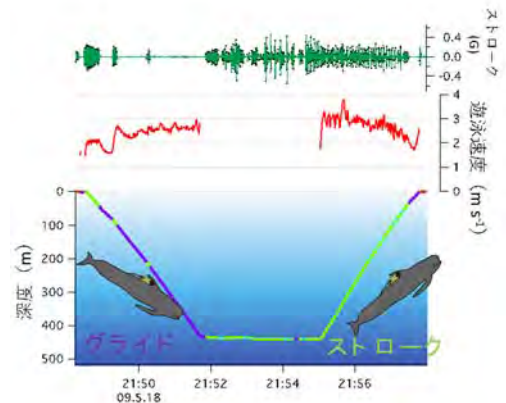


図2. ヒレナガゴンドウの1回の潜水。潜降中はグライド、浮上中は主にストロークしており、秒速3メートル程度で泳いでいた。

前述した式から、基礎代謝が高いか、他のクジラよりも抗力係数がとても低いからだと考えられる。そこで、ロガーに記録されたデータから水平にグライドしている部分を抽出し、減速率から抗力係数を推定した。すると、抗力係数は他のクジラと同程度の値であることがわかった。このことから、ヒレナガゴンドウは他のクジラに比べて潜水中の代謝が高いと推察される。現時点では



潜水中のヒレナガゴンドウの代謝は測定できないが、実際、彼らの潜水時間は同じ体サイズのミナミゾウアザラシの半分ほどしかない（ヒレナガゴンドウ：平均潜水時間 9分、ミナミゾウアザラシ 20分<sup>引用3</sup>）。

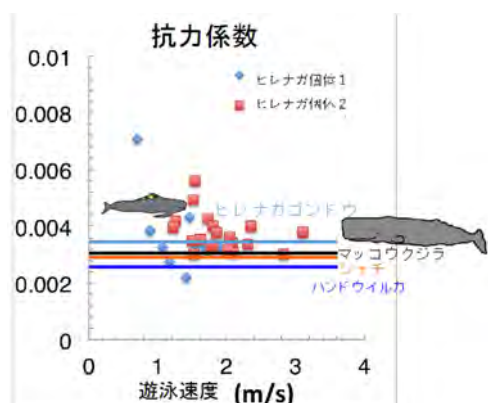


図3. ヒレナガゴンドウのグライドから推定された抗力係数と他のクジラとの比較。

さらに、ヒレナガゴンドウの体の密度をグライド中の加減速から推定した。加減速は抗力と浮力のバランスによって説明されるため<sup>引用6</sup>、沈みがちな動物ほど潜降で加速、浮きがちな動物ほど浮上で加速することになる。体密度を操作してシミュレーションした加減速が、実際の値と最も一致するように体密度を求めた。その結果、ヒレナガゴンドウの未成熟、成熟個体ともに海水 ( $1026 \text{ kg m}^{-3}$  前後) よりも大きな体密度 ( $1035\text{-}1044 \text{ kg m}^{-3}$ ) を持っていることがわかった。私たちの過去の研究から、移動の効率は浮きも沈みもしない中性浮力で最も良いことがわかっている<sup>引用4</sup>。体の密度が推定されている他の深く潜るマッコウクジラやキタトックリクジラも、ほぼ中性浮力である<sup>引用5,6</sup>。

以上のことから、ヒレナガゴンドウは他のクジラに比べてハイコストな潜水戦略、そしてそれに見合ったハイゲインな採餌戦略を持っていると考えられる。実際、クジラの餌生物の熱量を比べた論文によると、ヒレナガゴンドウは他の深く潜るクジラに比べて、グラムあたりの熱量の高い餌を食べているという<sup>引用7</sup>。

ここからは私の想像になるが、ヒレナガゴンドウやよく似たコビレゴンドウは、筋肉質で大型な質の良い餌を食べるために、代謝を高め、最適遊泳速度を高速側にシフトしたのかもしれない。一方、マッコウクジラやアカボウクジラは移動にかかるコストをなるべく節約し、その分採餌時間に割り当て、出会った小さなエサを選び好みせずに食べる、質より量的な戦略を取っているのではないか。実際、餌の探査に用いるクリックスと呼ばれる音は採餌深度ですっと発しているものの、エサに近づく時に出すと言われている音（バズ）の頻度は、マッコウクジラやアカボウクジラよりコビレゴンドウの方が低い（ヒレナガゴンドウも今後調べていく予定

です）。

ヒレナガゴンドウがなぜちょっと変わった戦略を持つことになったのか？他の深く潜るクジラとどのようにニッチを分け合ってきたのか？進化の時間を巻き戻して、深海への適応競争を覗いてみたい。

Aoki K, Sato K, Isojunno S, Narazaki T, Miller PJO. High diving metabolic rate indicated by high-speed transit to depth in negatively buoyant long-finned pilot whales. *J Exp Biol.* 2017 Oct 15;220:3802-3811.

#### 引用文献

1. Sato et al. (2010). Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 277, 707-714.
2. Watanabe et al. (2011). J. Anim. Ecol. 80, 57-68.
3. Hindell et al. (2000). Physio. Biochem. Zool. 73, 790-798.
4. Sato, K. et al. (2013). Sci. Rep. 3, 2205.
5. Miller et al. (2004). J. Exp. Biol. 207, 1953-1967.
6. Miller et al. (2016). J. Exp. Biol. 219, 2458-2468.
7. Spitz, J et al. (2012). PLoS ONE 7, e50096.

# バイオリギングによる環境エンリッチメント評価

佐藤信彦（東京大学大気海洋研究所）

## 環境エンリッチメントとは？

あまり聞きなれないが、動物園・水族館関係者には馴染みの深い用語である。動物園や水族館の動物は、飼育環境下での行動が単調になりがちである。これは、行動範囲が檻や柵に制限されていること、採食を飼育員からの給餌に依存していることなどが原因と考えられている。単調になってしまった行動は、野生本来の行動とかけ離れており、運動不足などの諸問題を引き起こしている。この問題に対し、飼育環境に工夫を凝らすことで、飼育動物たちの行動を多様化させ、ひいては野生本来の行動に近づけようとする試みが各園館で進められている。この試みを総じて「環境エンリッチメント」と言う。

## 葛西臨海水族園が抱える問題

マグロの巨大水槽で有名な葛西臨海水族園（東京都）だが、実は国内最大規模の海鳥の飼育展示施設を有しており、計 60 羽近いウミガラスとエトピリカが飼育されている。鳥類であるにも関わらず水中に潜るという両種の生態展示を目的とした施設なのだが、昨今、飼育個体の着水時間の短さが問題視されている。着水時間が短いということは、潜水性というウミガラスとエトピリカの生態的特徴を展示できていないことを意味する。また、着水時間が短い＝陸にいる時間が長いことによって、脚に負担がかかってしまい、足裏に魚の目のようなコブができる趾瘤症の罹患率が高くなっている。このように、ウミガラスとエトピリカの着水時間が短いということは、教育普及や動物福祉の面に弊害を及ぼしており、改善が必要な問題である。

## 環境エンリッチメントの実施

今回、葛西臨海水族園のウミガラスとエトピリカの着水時間の増加を目的とした環境エンリッチメントを実施した。効果を定量的に評価するため、各個体の脚に Biologging Solutions 社製の深度・温度ロガーを装着することで 14 日間の行動を連続記録した(写真 1)。両種の着水は、採食を目的とした行動であることから、環境エンリッチメントの内容は、給餌に関連したものとした。従来は、飼育員が 1 日に 2 度キビナゴを水中に撒くという給餌をしていたが、餌の種類にバリエーションを持たせることによって、着水時間がどのよう

に変化するか調べた。



写真 1. プラスチック足輪で深度・温度ロガーを装着された飼育個体。水槽の前室で待機している。

## 結果①：飼育個体の着水時間は極めて短かった

従来の給餌方法（1 日に 2 度キビナゴを撒く）の場合、1 日の着水時間の合計はウミガラスが平均 23.0 分（幅：8.3 ~ 36.0 分）、エトピリカが平均 13.8 分（幅：7.5 ~ 20.7 分）であった。これらの値は、野生個体のそれ（約 10 時間）に比べて極めて短いものであった。また、大半の着水が飼育員の動き（給餌や水槽内の清掃）と関係しており、水槽内における海鳥の着水行動は自発的なものではなかったことが明らかとなった(図 1)。

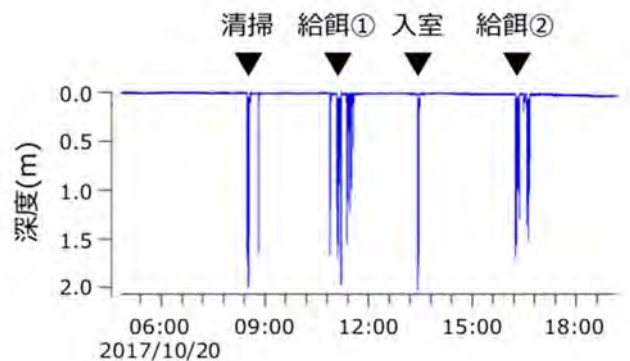


図 1. ウミガラス 1 個体の深度データの一部。着水のまとまりが 1 日に 4 回観察されている。この 4 回のまとまりは、全て清掃・給餌による飼育員の入室と運動している。

## 結果②：与える餌種によって着水時間が変化した

日毎に与える餌種を変える環境エンリッチメントを実施した結果、餌種によって1日あたりの着水時間が大きく変わることが分かった。ウミガラスでは、ワカサギ・オキアミ・カタクチイワシを給餌すると着水時間が増加しており、その増加度合いはオキアミで最大（1.9倍で43.0分）となった（図2a）。エトピリカでは、オキアミとカタクチイワシを給餌すると着水時間が増加しており、ウミガラス同様、オキアミで増加度合いが最大（2.6倍で33.8分）となった（図2b）。

オキアミで着水時間が最大となったことは、水中での餌の散らばり方が関係していると思われる。オキアミは、他の餌（キビナゴ・ワカサギ・カタクチイワシ）に比べ、給餌した際に水中で拡散する様子が観察された。ウミガラスとエトピリカは、水中で拡散したオキアミ1匹1匹をついばんで採食するため、結果として着水時間が長くなっていたのだと思われる。

ワカサギとカタクチイワシでの着水時間の増加は、魚に含まれる脂分が関係していると思われる。ワカサギとカタクチイワシは、魚に含まれる脂質が水中に多く溶け出すため、魚が食べ尽くされてからも、依然として水中に魚が存在しているかのような錯覚を引き起こし、着水時間が長くなっていたのだと考えられる。実際、キビナゴを給餌された際、水中に餌がなくなると直ぐに陸に上がっていたウミガラスとエトピリカが、ワカサギとカタクチイワシを給餌された際は、餌が食べ尽くされているにも関わらず、陸に上がらず着水を続けていた。

## 今後の展望

今回の結果から、与える餌種によって飼育個体の着水時間が大きく変化することが明らかとなった。しかし、この効果が餌の嗜好性に由来するものなのか、はたまた、これまで給餌されなかった新しい餌種への好奇心に由来するものなのか明らかにはできていない。本稿には詳細な結果を記していないが、若齢個体ほど環境エンリッチメントの効果が大きくなっていた、与える餌種によってウミガラスとエトピリカで潜水深度の棲み分けが見られたなどの結果も得られている。未だ駆け出しである本研究であるが、今後も水族園と共同で海鳥の着水時間を増加させる環境エンリッチメントの確立とそのメカニズムの解明を進めていく予定である。

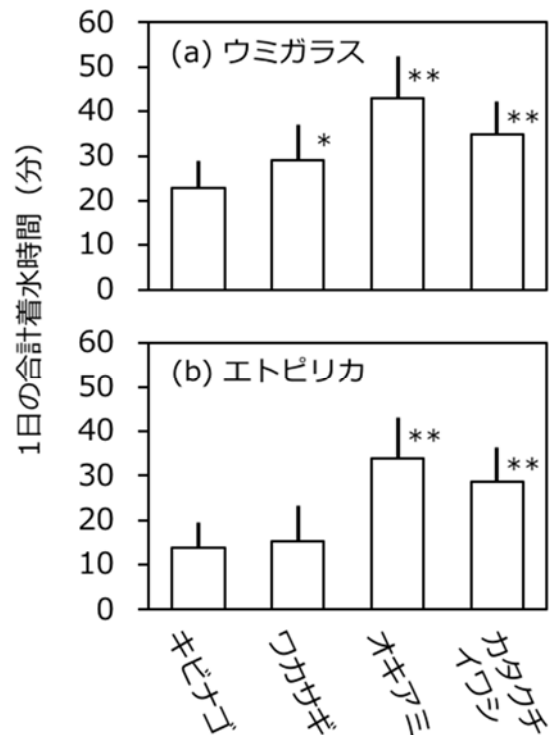


図2. 与えた餌種ごとにまとめた1日の合計着水時間（a:ウミガラス、b:エトピリカ）。平均値と標準偏差を示す。



## 第 13 回 日本バイオリギング研究会シンポジウム

吉田誠（東京大学大気海洋研究所）

江戸時代屈指の名城・福山城のふもとで開かれた今回のシンポジウムでは、「10 年後のバイオリギング」をテーマに、バイオリギング分野の今後の展開とそこへの期待が語られた。今年は私にとって学位を取った節目の年でもあり、「バイオリギングの歴史を振り返り、将来を考える」とのテーマ設定が自身の心境にぴったりマッチしたように感じ、報告の筆を執ることにした。

全体講演の中で印象に残ったのは、東大・岩崎さんからお話のあった、バイオインフォマティクス分野の趨勢について。バイオリギングと同様、共通の研究手法を用いる研究者が集まって成立したバイオインフォマティクスでは、創設 10 周年を記念する講演で、分野を生み出した立役者自らが「次の 10 年、バイオインフォが他分野で使われるツールに成り下がってしまえば、分野の存在意義は無くなるのでは」と述べ、分野全体のグランドデザインを見直した経緯があったようだ。

その際に掲げられた方針が、以下の 4 点だ：

- (1) 研究の出口として社会でのニーズを開拓し、分野内に、基礎から応用まで幅広く研究者を確保する
- (2) バイオインフォに加え、もう 1 つ別の専門をもつ“バイリンガル人材”の育成を強化する
- (3) 技術の普及を上回るスピードで技術開発を進める
- (4) 長期的視点に立ち、次の 10 年の間に分野全体で目指すべき Discipline を議論する

バイオインフォマティクス分野の今日の隆盛が、この一貫した方針で“10 年目の危機”を乗り越えた先に実現したものであることを考えると、バイオリギング分野が学べることも多いのではないかと感じた。

◇

全体講演の前日に開かれたワークショップでは、「社会における多様性（ダイバーシティ）」の基本的な考え方の紹介、大学および企業における事例研究を通じて、今後の学界のあり方が議論された。私自身、「多様性（ダイバーシティ）」の単語を耳にする機会が増えてきたと感じていたが、今回の WS に参加して、社会で起こりつつある動きについて整理するよききっかけになった。ワークショップの最終的なメッセージは、「多様性に配慮した社会を実現するには、すぐに行動に移れる小規模なグループの中で、できる取り組みから実行していこう」というもの。バイオリギング研究会では、シンポジウムでこうしてワークショップが開かれ、また幹

事会でもジェンダーバランスに配慮した人材登用がなされるなど、まさに「可能なところから取り組む」姿勢があると感じる。こうした態勢を今後もとり続けていくことが大切であろう。

◇

冒頭にも紹介した福山城（写真 1）を拠点とした、福山藩七代藩主・阿部正弘は、黒船来航時に幕府の老中として開国問題の指揮を執り、日米和親条約の締結に関わるなど、鎖国体制を打破し開国への先鞭をつけた立役者と言われている。そんな彼の縁の地で、バイオリギング分野の将来像を議論する集まりが開かれたことは、ずいぶん運命的な巡り合わせだ。



写真 1. 江戸時代建築の最高峰とも讃えられる名城・福山城。本丸にたどり着くまでにぐるぐると遠回りをさせられ、戦国時代の足軽気分を味わった。

バイオリギングが本格的に始まってからこの 12 年で、数々の研究者が、装置の開発を通じて分野を開拓し、対象動物と解析手法を多様化させ、さらに近年は異分野の研究者と協働して学際的研究へと乗り出している。既存の手法と最新の技術を組み合わせ、従来の視点にとらわれない自由な発想で新たな地平を拓く、バイオリギング研究のより一層の発展に期待したい。

◇

最後に、今回のシンポジウム運営に尽力された、渡辺伸一さんはじめ、福山大学の皆様に感謝申し上げます。前号の開催報告で『福山（どこ？）という微妙な場所』と書いておられましたが（かくいう私自身、行くまで場所の見当がついていませんでしたが）、普段の学会ではトンボ返りしてしまう自分に珍しく、城や博

博物館を散策（写真 1, 2）したり、ご当地グルメに舌鼓をうったりと、魅力ある福山の街を存分に満喫して帰ったことを申し添えて、筆を置かせていただきます。

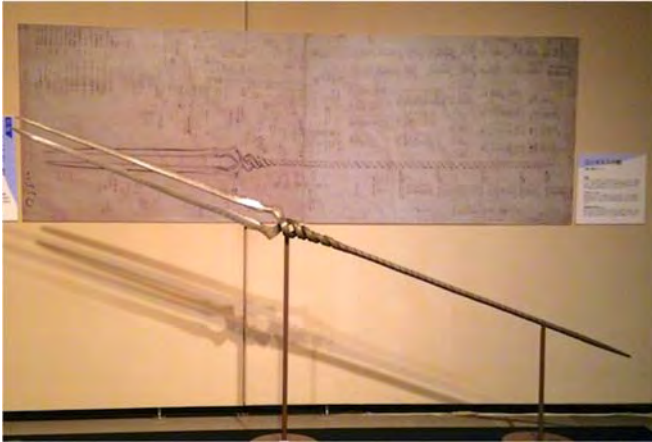


写真 2. 広島県立博物館に展示されていた、伝統技法と最新技術を融合させ、刀剣の造形美に生物の意匠を取り入れた気鋭の作品。これくらいエッジの効いた、大胆かつ洗練された研究成果を生み出したものだ。

## 第 13 回バイオリギングシンポジウムに参加して

土屋昌範（東京大学大気海洋研究所）

東京大学大気海洋研究所 行動生態計測分野所属  
修士課程 1 年の土屋昌範と申します。

私は茨城県沿岸のマカジキを主とするカジキ類を対象  
に研究をしています。

先日、私は第 13 回日本バイオリギング研究会シンポジ  
ウムに参加しました。以下に私がシンポジウムに参加  
したときの様子および感想を書き記します。

今回のシンポジウムは、福山大学後援のもと 11/10（金）  
および 11/11（土）に福山駅前の宮地茂記念館にて開  
催されました。11/10 はワークショップ（と懇親会）、  
11/11 は招待講演とポスター発表（と懇親会）が行わ  
れました。

1 日目は女子会ワークショップ（女子会とは言ってい  
ない）が開かれました。女性研究者独特のライフスタ  
イルの変化や、日本の女性研究者に対する対応が遅れ  
ているなどの現状を把握することができました。夜は  
懇親会が開かれ、20 名ほどの方が参加されました。他  
大学の学部生や修士学生など、年が近い方々とお話が  
できて楽しかったです（小並感）。

2 日目は招待講演およびポスター発表が行われました。  
招待講演では、獣害対策、海洋環境モニタリング、大  
気海洋観測、ヒトと動物の健康など多方面でバイオリ  
ギングが使われていることを知ることができました。  
ポスター発表では魚類、鳥類、両生類、哺乳類と様々  
な動物を対象にした研究発表が行われました（女子高  
生も発表していました）。

夜はおしゃれなホテルで立食パーティー形式の懇親会  
が開かれました。余興として来年のバイオリギングカ  
レンダーのお披露目もありました。学生ポスター賞の  
発表も行われ、先輩の坂尾さんが受賞されました。2 年  
連続受賞ということもあり、佐藤先生はご満悦でした。  
シンポジウム翌日の日曜日には念願の笠岡市立カブト  
ガニ博物館に行きました。学芸員の東川さんに解説お  
よび案内をしていただき、バックヤードでカブトガニ  
の幼生や抜け殻を見ることができました。

今回のシンポジウムに参加してバイオリギングを用い  
た様々な研究やその研究者たち、研究会の雰囲気など  
を知ることができました。今年は聴講のみの参加でし  
たが、来年はポスター発表者として参加したいです。

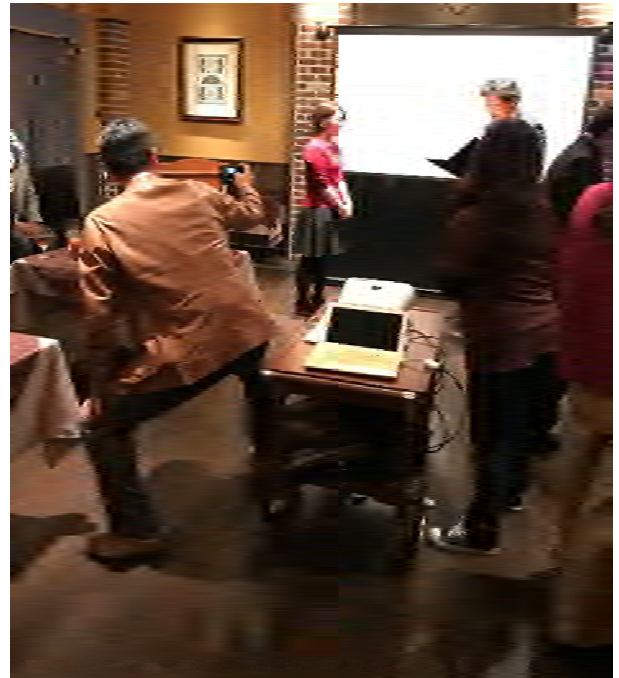


写真 1. 学生ポスター賞授賞式で坂尾さんを撮影する佐藤先生の図。その姿はさながらお父さん



写真 2. カブトガニはかわいいですね、ほんとに



## 第 11 回サケ学研究会に参加して

### 阿部貴晃（東京大学大気海洋研究所）

2017年7月8日に北海道大学札幌キャンパスにて開かれたサケ学研究会に参加したので、報告させていただきます。サケ学研究会は、その名の通りサケ科魚類の研究者のコミュニティであり、2007年に設立された比較的若い研究会である。いつか参加してみようと思っていたら、話が舞い込んできたので今回参加させていただきました。

そもそも事の発端は、ある初夏の日のことだった。その日、私は三陸のサケの研究集会に会場スタッフとして参加していた。研究集会が無事に終わり、帰り支度をしていたら、なにやら呼ばれている。ふと、目をやると満面の笑みで手まねくナイスミドルがいる。「阿部のバカ野郎はどこにいった」を始めとし、常日頃から愛ある罵詈雑言を投げつけてくる某教授だ。よくみると隣にはサケ研究の大御所教授もいる。「怪しい」と思いつつ、話を聞く。するとどうやらサケ学研究会が7月の頭にあり、若手のセッションにでてはとのことである。なるほど、しかし時はすでに6月の中旬。ちょっと、急すぎではありませんか。

早々と要旨を作成し参加登録を済ませたものの、一抹の不安は残っていた。話すネタはあるとはいえ、発表時間は20分と聞いていたからである。もう少し解析を加えてやりたい。そうだ、解析しようと、解析を進めるものの、なるほど、2週間ではスライドに加えるには間に合わなかった。これでは発表時間を余らせるが、こうなっては開き直ろう。なるようになるにちがいない。

そんなこんなで気づけば、札幌に私はいた。午前中から昼過ぎにかけては「サケの資源変動要因を探る」

という特集のセッションが組まれており、私が発表する若手のセッションはその後だった。特集のセッションでは、論文でよくみた名前が演者に連なっており、現在に到るまでのサケの資源変動に関する研究事情をよく知ることができたとともに、様々な時空間スケールの要因が影響するサケの資源変動を理解することの難しさをひしひしと感じた。

若手のセッションでは、環境DNAをもちいたイトウの分布に関する研究や、カワマスとアメマスの種間交雑が繁殖成功に与える影響を調べた研究など、サケ科魚類についての多様な研究を聞くことができた。私の発表は、当初の予定通り時間を余らせた状態で発表を終わらせ、多くの質問とコメントをいただいた、と書けば聞こえがよい。その後の飲み会で、普段お世話になっている方々から、さらなるコメントを頂いた。

とはいうものの、若手のなかから選ばれるサケ科学奨励賞をちゃっかりいただいた。サケ学研究会に誘っていただいた某教授からもお褒めの言葉をいただいたが、「俺は会員じゃないし、そもそも投票してないんだけどね。君の身内はだいたい会員じゃないから身内票に頼らず、受賞できたのはよかったね」とのことと、嬉しいが梯子を外されたような、なんとも言えぬ複雑な気持ちになった。

次のサケ学研究会は、2018年12月1日から2日にかけて函館市国際水産・海洋総合研究センターにて開かれることがすでに決まっている。次期会長は北海道大学の宮下和士教授である。サケ学研究会では、サケ科魚類をキーワードに多様な研究が求められている。サケ科魚類を対象としている方は、ぜひとも参加してみたいだろうか。



写真、第11回サケ学研究会の集合写真。賞状を持っているのが筆者。

# 総会のお知らせ

平成 30 年度のバイオロギング研究会総会（第 14 回）を、日本水産学会春季大会に合わせて以下の日程で開催いたします。

日時：平成 29 年 3 月 27 日（火）12:00~13:00  
 場所：東京海洋大学内会議室（\*号館\*\*番講義室）

平成 29 年度の研究会活動報告、会計報告、平成 30 年度の事業計画などについての審議が行われる予定です。ぜひご参加下さい。

また欠席される会員の方は、登録されたメールアドレスに送った（または下記の QR コード）Google フォームで、もしくは本会報に同封された委任状（研究会 Wiki にも掲載）をメール添付書類（宛先：biolog@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp）で 3/21（火）までに送っていただけますよう、よろしくお願いいたします。



## 編集後記

先週、関東近郊では数年ぶりの大雪になり公共交通機関交通機関が麻痺しました。関東近郊では雪が降るとすぐに公共交通機関がストップしてしまうので、大学から遠く（電車で 2 時間ほど）に住む私はすぐ帰宅なくてははいけません。卒論発表会が近いため痛い時間のロスになりました (YM)



【S.K.】