

ウミガラス・エトピリカと ペンギンの泳ぎ方の違い



東京女学館中学校 1年

岡崎 智香

1. 研究の動機

2023年8月9日葛西臨海水族園（以下、水族園とする。）で初めてウミガラスとエトピリカという海鳥を見ました。この時、水に潜って餌をとっている姿を見ていくうちに、今までに見たことのあるペンギンと水中での泳ぎ方が違うことに気付いた。そこでどちらも水中で泳げる海で生活している鳥類なのにどうしてこのような違いがあるかという疑問がわいてきたので、これを調べてみることにした。

2. 研究方法

2-1. 水族園で、ウミガラスやエトピリカとフンボルトペンギンの泳ぎ方をよく観察し、観察記録をつける。

2-2. ウミガラスやエトピリカとフンボルトペンギンの泳ぎの違いの理由を予測する。

2-3. それぞれの泳ぎ方に関する翼の特徴や空を飛ぶときの飛び方について詳しく書かれている書籍や情報を図書館やWebサイトで調査する。

2-4. 調べた結果と観察した結果から予想した泳ぎ方の違いの理由が正しかったかどうか確認し、分かったことから泳ぎ方の違いについて考察する。

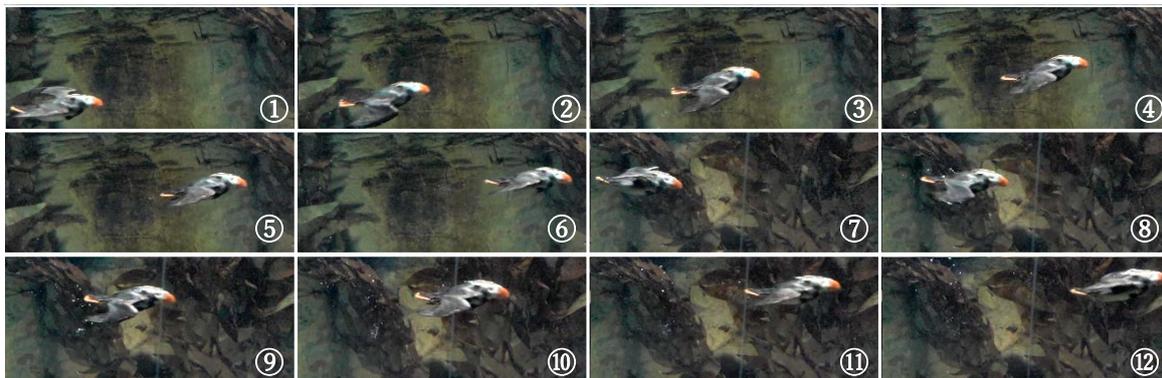
3. 水族園での観察結果

3-1. ウミガラスとエトピリカの泳ぎ方の観察結果

- ・ 空を飛ぶ時と同じように絶えず翼をはばたかせて泳いでいた。
 - ・ 翼には羽が並んでたくさん生えており、翼の根元から先端までのちょうど中間ですこし曲がっている翼で、泳ぐときは肩をすくめるように少し翼を縮めていた。
 - ・ 泳ぐときは下の写真のように上下に動きながらまえにすすんでいた。
 - ・ ペンギンよりも一生懸命羽ばたいているように見えた
 - ・ ペンギンは泳いだ後に泡が立っていないが、泳いだ後に泡がたくさん立っていた
- ・ ウミガラス(水族園で撮影)

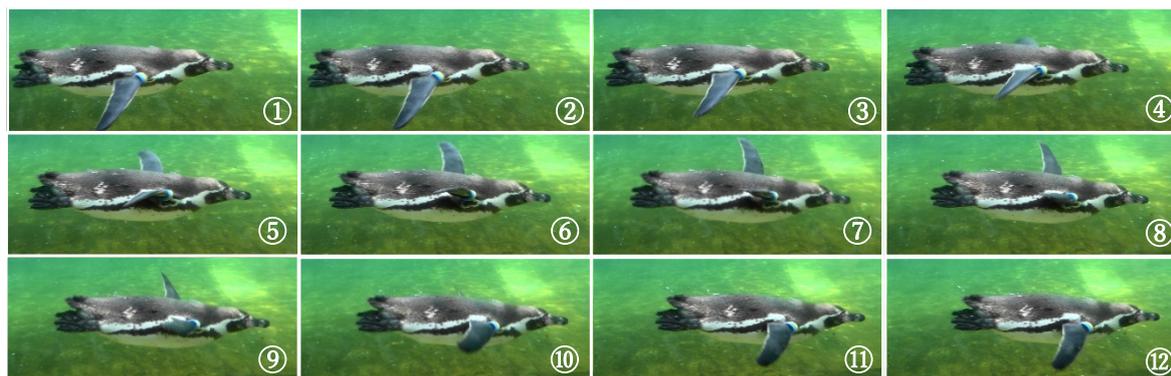


・エトピリカ(水族園で撮影)



3-2. フンボルトペンギンの泳ぎ方の観察結果(水族園で撮影)

- ・ 一回の羽ばたきで一気に前に進むので、たまに羽を動かすくらいで泳いでいた。
- ・ ボートのオールのような左右一枚ずつの翼をパタパタと少しだけ動かし、進むときは翼を体につけて棒のように動いていた。
- ・ 泳いでいる間は下の写真のように時々翼を動かし、一直線に魚のように進んでいた。



4. 泳ぎ方の違いの理由についての観察から導かれた予測

4-1. <予測>ウミガラスとエトピリカの泳ぎ方の理由

- ・ 翼に羽がたくさんついているため、水中の抵抗を少なくするために肩をすくめるように翼を少したんでいると予測する。
- ・ 水中ではたくさんの羽が水分を吸い込んで重くなるために沈みやすく、これを持ち上げるために体を上下に動かしながら前に進んでいると予測する。

4-2. <予測>フンボルトペンギンの泳ぎ方の理由

- ・ ペンギンはもともとから翼が一枚の板のようにになっているため、たくさん羽が生えている鳥に比べて水から受ける抵抗が少ないから一回のはばたきでたくさん進むと予測する。
- ・ ペンギンは翼に生えている羽毛が薄いので水分をあまり吸わず、翼が重くならないため上下には動かさずまっすぐ泳いでいると予測する。

5. 調査結果

5-1. 鳥類としての分類と体の大きさや分布の違いについて

5-1-1. ウミガラス¹⁾(水族園で撮影)



- ① チドリ目ウミスズメ科ウミガラス属に分類され鳥類であり、学名は *Uria aagle* という。
- ② 全長（くちばし先端から尾の先端までの長さ）：42-47cm
- ③ 翼開長（翼を広げた状態で、翼の両端の長さ）：66-79cm
- ④ 翼長（翼をたたんだ状態で、翼角の関節から初列風切先端までの長さ）：205-235mm
- ⑤ 体重：945-1044g
- ⑥ 分布：本州中部以北の太平洋・日本海に非繁殖期に渡来する。北海道天売島で繁殖するが個体数は少ない。

5-1-2. エトピリカ¹⁾(水族園で撮影)



- ① チドリ目ウミスズメ科ツノメドリ属に分類され鳥類であり、学名は *Fratercula cirrhata* という。
- ② 全長：37.1-40.6cm
- ③ 翼開長：49.7-68.7cm
- ④ 翼長：180-214mm
- ⑤ 体重：520-1000g
- ⑥ 分布：北海道東部のユルリ島、モユルリ島でごく少数が繁殖し、道東太平洋側で春から秋に観察される。北日本の沿岸に非繁殖期に渡来するが、個体数は少ない。

5-1-3. フンボルトペンギン^{3,5,6}(水族園で撮影)



- ① ペンギン目ペンギン科フンボルトペンギン属に分類され鳥類であり、学名は *Sphenidcus humboldti* という。
- ② 全長：67-72cm
- ③ 翼長：164.5-173.5mm
- ④ 体重：約 4.2-5.0kg
- ⑤ 分布：チリ、ペルー

5-2. 海鳥の翼の特徴と働き¹⁾

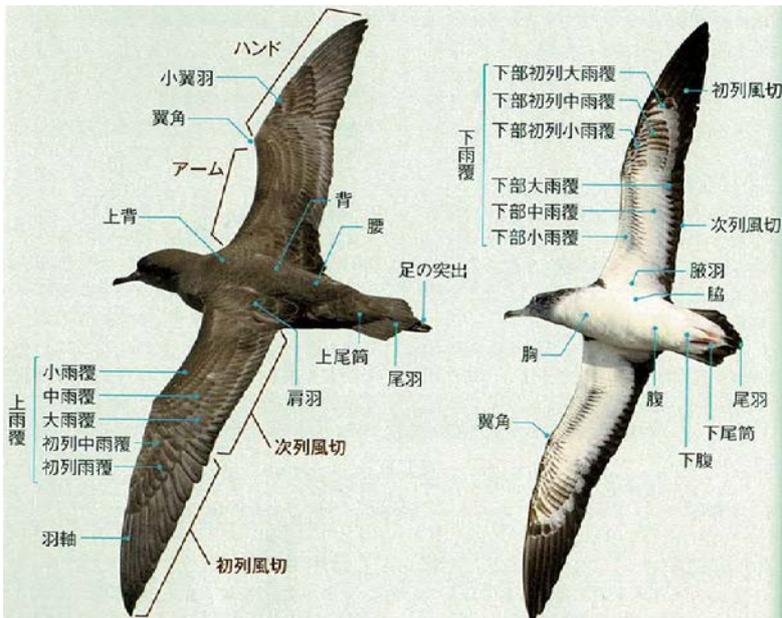


図1. 海鳥の各部 (文献1より抜粋)

ウミガラスやエトピリカなど海鳥の翼は、図1にあるようにハンドとアームという2つの部分に分かれ、この境目を翼角という。このハンドという部分をさらに細かく見ていくと、図2のように翼の前部分は雨覆に覆われ、後ろ部分は初列風切りという部分となっている。また、アームの前部分は雨覆に覆われ、後ろ部分は次列風切りという部分となっている。

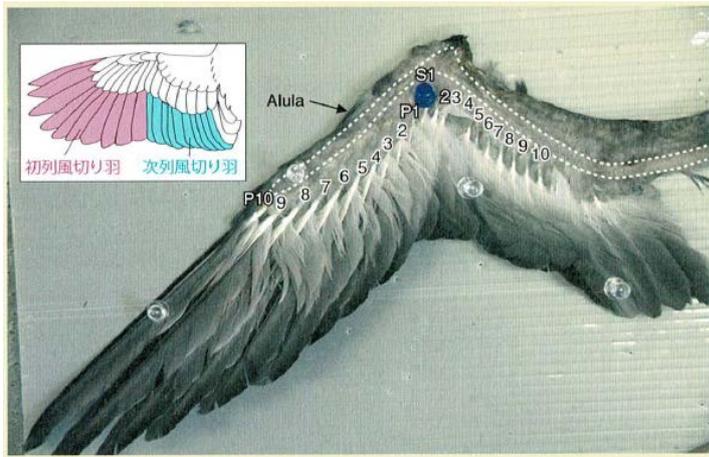


図2. 海鳥の翼の仕組み (文献2より抜粋)



図3. 海鳥の羽 (文献2より抜粋)

初列風切りは飛行機でいうプロペラの働きをしていて、羽ばたくことで推進力が生まれる。この初列風切りの羽は図3のように羽が羽軸に対してアンバランスな形をしているため、進行方向とは反対に風の抵抗を流すことができる。そのため、前に進むための力が生まれる。これに対し、次列風切りは飛行機の翼本体のような働きがあり、羽ばたくことによって揚力が生まれる。この羽は図3の初列風切りの羽とは違い、羽軸に対してバランスの取れた左右対称の形をしているため、風の抵抗を下に流すことができる。そのため、上に浮くための力となる。

5-3. ペンギンの翼の特徴と働き

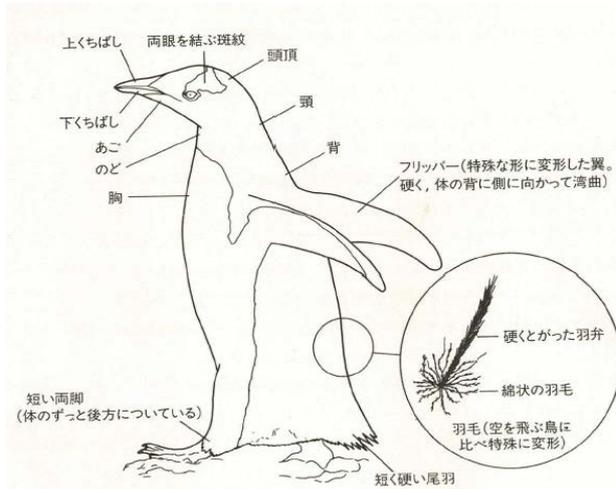


図4. ペンギンの各部 (文献3より抜粋)



図5. ペンギンの骨格 (文献4より抜粋)

空を飛ぶことのできる鳥の骨は空中に浮きやすくするために不要な骨が進化とともになくなっていく形となっていった。しかし、海の深くまで潜るペンギンは骨が少なくなってしまうと泳ぐときに不利になってしまうため、空を飛べる鳥類とは逆に骨を大きく丈夫に進化させた。

このため、図4の「フリッパー」と呼ばれるペンギンの翼は硬く丈夫にできており、水の抵抗を受けたとしても折れないようになっている。そして、その構造は図5のように上腕骨より先の骨が1枚の板のような形状になっており、各関節は可動域が非常に狭くほとんど固定されている。つまり、ペンギンは翼全体を1枚のオールのような形に変化させ、硬くて丈夫になっているため、フリッパーを羽ばたかせることにより抵抗も少なく、たくさん水をかくことができる。だから、すいすいと泳ぐことができる。また、ペンギンのフリッパーに生える羽根はひとつがとても小さくびっしりと重なるようになっており、水にぬれると羽根同士がかみ合っただけで全体が一枚の布のように体を覆っている。そして、脂でコーティングされているため撥水効果があるから水から上がってもすぐ乾くようになっている。

5-4. 泳ぎ方の特徴とその違い²⁾

5-4-1. ウミスズメの水中遊泳中と飛行中の翼の違い

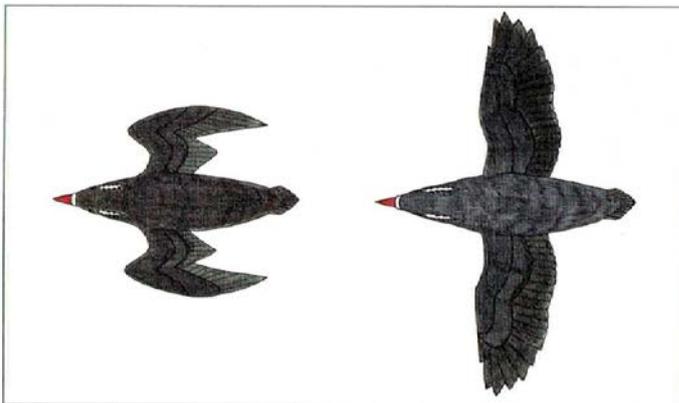


図6. 水中と飛行中の翼の違い (文献2より抜粋)

水中では翼を半分縮めており、空中では翼を広げている。ウミガラスやエトピリカなどのウミスズメは左右の翼を羽ばたいて、抵抗と浮力が大きく異なる空中と水中の両方を飛行する。そのため、翼は空中を飛ぶにはちょっと小さめだし、水をこぐにはちょっと大きめなのだ。そのため、図6のように翼の形を変化させたり、羽ばたく回数を調整したりしなくてはならない。

5-4-2. ウミスズメの水中遊泳の特徴

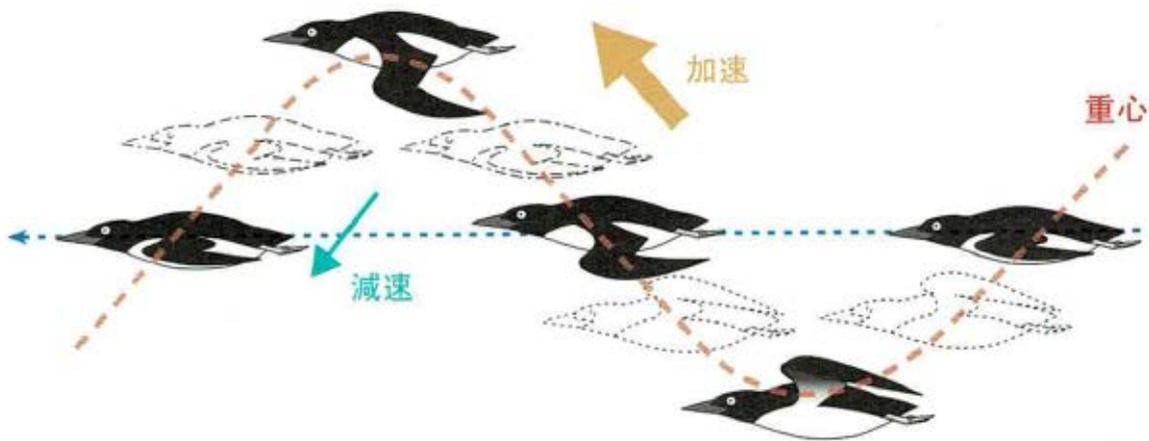


図7. ウミガラスの水中遊泳の動き (文献2より抜粋)

ウミガラスやエトピリカなどのウミスズメが水中で翼を動かすときは、図7のように、翼を下に動かす（打ち下げ）時だけ前に進む力（推進力）を出すことができる。翼を折り曲げて上に引き上げるときには体が下に沈んでしまい減速してしまう。スピードを上げるために翼を下に動かす（打ち下げ）時には体が浮いてしまうため、上下に動いてまっすぐ泳ぐことが難しい。これにより、水中の抵抗も大きくなり、泳ぎがぎこちなくなり、泳ぐスピードも遅くなる。

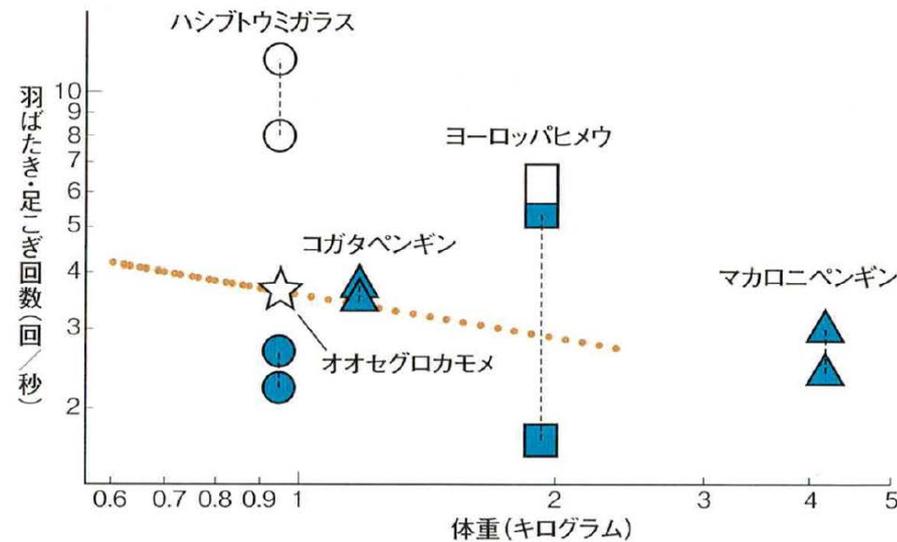
5-4-3. ペンギンの水中遊泳の特徴



図8. ペンギンの水中遊泳の動き（文献2より抜粋）

ペンギンが翼を動かすときには、図8のように、翼を下に下げる（打ち下げ）時だけでなく、翼を上を上げる（打ち上げ）時にも推進力（前に進む力）が得られるため、上か下かどちらか一方に重心がかからず、ほぼまっすぐ進むことができる。そのため、無駄な抵抗も少なく、なめらかに泳ぐことができるため、矢のように一直線に泳ぐことができ、スピードが出せる。

5-4-4. ウミスズメとペンギンの羽ばたき回数の違い



左図は各種海鳥の水中と空中での1秒間の羽ばたき回数と体重の関数を表したグラフ。記号は海鳥の種類を示し、色が水色のときは水中、無色の時は空中での値を示す。点線でそれぞれの最大値と最小値が結ばれている。

図9. 水中と空中での羽ばたき回数と体重の関係（文献2より抜粋）

図9のように、コガタペンギンやマカロニペンギンなどのペンギンは水中で泳いでいるときの羽ばたき回数が毎秒3回~4回程度である。これに比べて、ハシブトウミガラスなどのウミスズメは空中ではめいっばい翼を伸ばしているが、毎秒9~10回羽ばたかないと飛行できず、

一方、水中では翼を縮めながら羽ばたいているため、頑張っても毎秒2～3回しか羽ばたけない。このため、ペンギンに比べて、水中では羽ばたける回数が少なくなり、効率が悪い泳ぎ方となっている。

5-5. 泳ぎに関する翼以外の特徴

5-5-1. 体重と潜水時間の関係⁴⁾

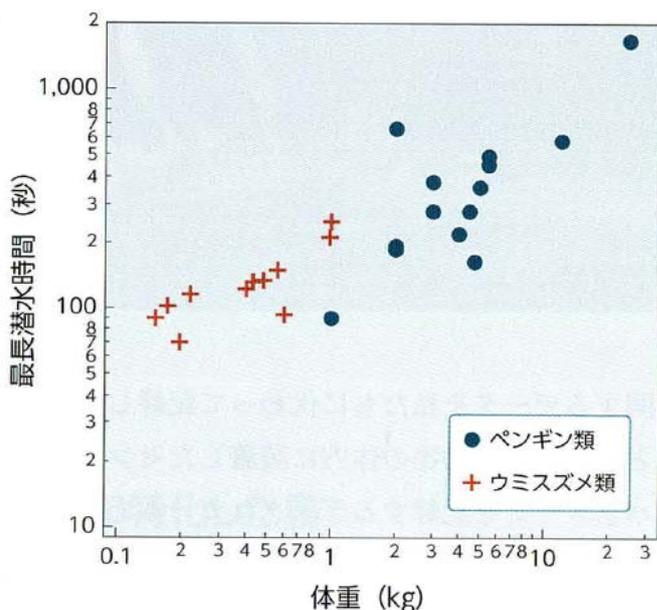


図10. 潜水時間と体重の関係(文献4より抜粋)

ウミスズメよりペンギンのほうが骨もたくさんあり、体重は重い。

潜水時間の長さは体の大きさとともに関係している。図10のように、体重が重くなればなるほど潜水時間が長く、逆に軽くなればなるほど潜水時間は短くなる傾向にある。

体内に蓄えられる酸素量は体が大きくなった分だけ増えるのに対し、単位時間あたりの酸素消費量は体のサイズの増加分ほどには増えない。そのため、体重が重くなれば重くなるほど潜水時間も長くなっている。

5-5-2. 羽毛の量と浮力について²⁾

海鳥の体の密度は、人間とほぼ同じで水と一緒にくわいである。しかしながら、羽毛に大量の空気を含んでいるため、羽毛を合わせると人間より水から受ける浮力は大きくなる。水に潜るときにこの羽毛の空気は少しずつもれていくものの、かなりの空気が閉じ込められたままである。よく水に潜るペンギンやウミスズメでは羽毛が少ないのに対し、アホウドリなどでは羽毛が多いため体重1キログラム当たり10ニュートン以上の浮力があり、水面でも体の半分以上が浮いている。羽毛を合わせた場合の浮力は、体重1キログラム当たり、ウミスズメで3.9～4.9ニュートンに対し、ペンギンでは2.4～2.8ニュートンとなり、ウミスズメにかかる浮力はペンギンより大きい。

5-5-3. 翼と羽毛の撥水効果について^{5,6)}

ペンギンは羽毛が生えていて一見もふもふだと思いきや、ゴムのようなベタベタした感じだそう。このベタベタの正体は尾の付け根にある尾脂線というところから分泌される脂。ペンギンはこの脂をくちばしで器用にすくいとり、全身に塗りたくっている。そして、脂で体をコーティングすることで泳いだ時に水が羽毛にしみこまざ泳ぎやすくなる。エトピリカとウミガ

ラスでも、この尾脂腺が発達しており、撥水効果のために地上にいる時には念入りに羽づくろいをしている。最近では表面の脂を十分に洗い落としても、羽は水を弾くことがわかってきており、水を弾くのは羽の表面の微細な構造が関係しているのではないかと注目されている。

尾脂腺が発達していないウミウという海鳥は翼を使わず足こぎで潜水する。ウミウの羽毛は特殊で、羽毛の半分くらいはすぐ水に濡れる構造になっている。そのため体から空気を追い出しやすく、潜るときにはさらに浮力を小さくできる。しかしながら、空を飛ぶ前には翼を大きく広げて、濡れてしまった翼を乾かす必要があり、堤防などで翼を乾かしている光景を目にすることが多い。

6. 考察

今回の調査結果と観察結果を合わせ、ウミガラス、エトピリカのような海鳥とペンギンの泳ぎ方の違いの理由について、次のようなことが分かった。

- 海鳥が空を飛ぶときには、翼のハンドの部分にある初列風切りが推進力を発生させる役割をし、アームの部分にある次列風切りが揚力を発生させる役割をしている。水と空気の密度の違いから水の中では浮力が働くことから、水で泳ぐときには揚力を抑えて推進力を出す必要があるために、翼を少したたんで初列風切りのみを使うように泳いでいることが考えられた。私のはじめの予想ではなるべく翼に受ける抵抗を少なくして動きやすくするために、翼の面積を抑えているのではないかと考えていたが、それだけでなく、翼の使う部分を分けて泳いでいるために翼を少し折りたたんでいるように見えたことが分かった。
- 海鳥は泳ぐときに、次列風切りを完全にたたむことができず、翼を下に動かすとき推進力とともに揚力が少しついて体が浮き上がり、逆に翼を上を動かすときには、揚力と反対方向に水をかいてしまうため体が沈みこむことから、体を上下に動かしながら移動していることが考えられた。私のはじめの予想では羽が水分を吸い込んで重くなるから体が上下に動くと思っていたがこれは違っていた。
- ペンギンのフリッパーの構造は上腕骨より先の骨が一枚の板のような形をしており、各関節が非常に幅広く固定されているためフリッパー全体がボートのオールのような形になっている。これに対し、海鳥の翼は初列風切りや次列風切りに見られるようなたくさんの細かい羽が並んでついており、くしのような形になっている。このため、水をかいたときに海鳥はペンギンに比べて、空気の泡がたくさん発生していることが観察された。このことから、たくさんの水をかくことのできるペンギンは海鳥よりも一回の羽ばたきで効率よく進むことができると考えられた。さらに、前に述べたように次列風切りのような揚力に関係する羽がないペンギンでは上下に動きながら移動することはなくなり、直線的に進むことができることも効率よく進むことができることに関係していると考えられた。また、羽毛を尾脂腺からの脂で全身手入れしている点もフリッパーに隙間を作りにくくし、水分を吸わなくすることで泳ぎやすくなることに関係があると考えられた。私のはじめの予想のペンギンの翼全体が一枚の板のような形になっているという理由と、羽毛が海鳥に比べてあまり水分を吸わないからとい

う理由はあっていたと考えられた。

- ・ペンギンは飛べないが水中を深く泳ぐのが得意になった理由として、海鳥が水の浅いところの魚をほとんどとってしまっても、水の深いところの魚もとれるようになることで、共存するために、飛ぶことをやめて、深く潜って泳ぐことに進化したのではないかと考えられた。

7. 感想と今後の課題

今回、葛西臨海水族園で初めて見たウミガラスやエトピリカなどの海鳥の泳ぎ方とペンギンの泳ぎ方が違う点を見つけたことをきっかけに、泳ぎ方の違いの理由を予測し、様々な観点から調べることで、自分の予想と近い結果の部分とそうでない部分が理解できたとともに、さらに今まで知らなかったことが明らかになり、とても良い経験となりました。

今回の観察と調査から、どちらも水中で泳げる海で生活している鳥類でも大きな違いがあることがわかり、どうしてペンギンが飛ばなくなったのか、海鳥からどのように進化したのか、または別の鳥類から進化したのかなど、ペンギンがどのように体のさまざまな機能を進化させて環境に適応してきたのかについてとても知りたくなりました。

さらに、葛西臨海水族園の Web⁷⁾で「ウミガラスは、1年の大半を海上で過ごし、「飛ぶ」そして「潜る」という行動を両立させている海鳥です。しかし、飼育下では年中陸地で過ごすため、足に負担がかかり、痛めてしまうことがあります。ウミガラス 5羽に小型の記録計を装着し、2週間行動観察を続けたところ、なぜか 1羽が毎朝 6～7時に必ず水中に入ることがわかりました。この習慣がなにかの刺激に反応しているのであれば、その刺激を再現したり、刺激が生じる状況を作り出してやれば、水に入ってくれるはずですが、水に積極的に入ってくれば、足への負担も少なくなるのではないのでしょうか。しかし、なにが刺激になって水に入るのか、見分けることはできませんでした。まわりが明るくなったことに反応しているのか、はたまた、ただ体が汚れているからなのか、はっきりした理由は今もわかりません。」という記載を見つけ、とても興味がわきました。水族園で飼育されている海鳥の観察から、このような習慣の理由を見つけることができれば、それが自然の中でなぜそういう習慣がつくようになったのか、または水族園で飼育した場合にだけ起きていることなのかを考えることはとても面白いことだと思います。今後、調べてみたいと思いました。

8. 参考文献

- 1) 箕輪義隆 著 小田谷嘉弥 監修, 新 海鳥ハンドブック 2020年 文一総合出版
- 2) 綿貫豊 著, もっと知りたい! 海の生き物ペンギンはなぜ飛ばないのか? 海を選んだ鳥たちの姿 2013年 恒星社厚生閣
- 3) トニー・D・ウィリアムズ他 著 ペンギン会議 訳, ペンギン大百科 1999年 平凡社
- 4) 大西順雄 企画, 遺伝生き物ライブラリ 1 ペンギンの生物学ペンギンの今と未来を深読み 2020年 NTS
- 5) 渡辺祐基 監修, それでもがんばる! どんまいなペンギン図鑑 2018年 宝島社

- 6) パブロ・ガルシア・ボルボログ+P・ディー・ボースマ編 上田一生 他訳,ペンギン大全 青土社
- 7) 寒くないの？ 海鳥の羽の不思議 東京ズーネット(公益財団法人東京動物園協会運営/都立動物園・水族園公式サイト) ニュース 2014/08/15
https://www.tokyo-zoo.net/topic/topics_detail?kind=news&inst=kasai&link_num=22444
- 8) あるウミガラスの不思議な習慣 東京ズーネット(公益財団法人東京動物園協会運営/都立動物園・水族園公式サイト) ニュース 2018/01/13
https://www.tokyo-zoo.net/topic/topics_detail?kind=news&inst=&link_num=24641