

ホウボウはなぜ歩くのか
－遊離軟条の動き方パターン分析と他の生物との比較－

東京都立新宿山吹高校 2年

芦谷 朋樹

■01 研究の動機

1) 歩く魚「ホウボウ」との出会い

葛西臨海水族園を訪れた時、魚なのに足が生えていて、砂底を歩く「ホウボウ」の異様さに目を引かれた。その歩き方は、人の歩き方や人の指先の動きに似ているようにも見えた。調べてみると、足の先には味蕾と呼ばれる味を感じる感覚器官があり、これを使って地面の中にある餌を探していることが分かった。しかし、観察を続けていくと、餌を探す以外の目的でも足を使っているように見えた。この足は何のためにあるのか。どのような歩き方、足の使い方があるのかに興味を持った。

2) 「ホウボウ」とはどんな魚か

学名：Chelidonichthys spinosus

スズキ目カサゴ亜目ホウボウ科ホウボウ属

(カサゴ目だったが近年スズキ目に吸収された)

全長約30cm～40cm。北海道南部以南から黄海、東シナ海、南シナ海まで分布している。水深100～200mほどの砂泥底に多く生息するが、生息域は浅い海から水深600mほどの深海まで幅広い。

名前の由来は「方々を歩く」ことからホウボウ、這うように進むので「這う、這う」からホウボウ、陸に揚げると鳴くため、鳴き声の「ゲー、ゲー」が転じてホウボウとなった、などの説が有力である。



図01：葛西臨海水族園のホウボウ

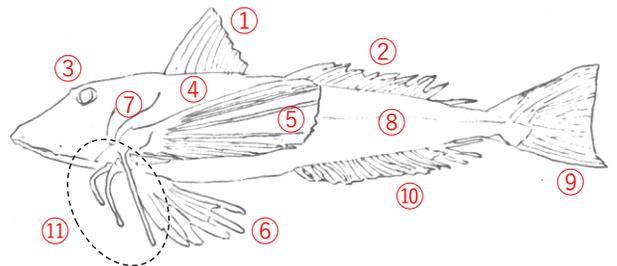


図02：ホウボウの各部位の名称と役割

3) 「ホウボウ」の各部位ごとの特徴

- ①背鰭：旋回するときや姿勢を安定させる部位。
- ②第2背鰭：姿勢を安定させる部位。
- ③目：視力は悪くはない。真上から落ちる餌を認識できる程度には見える。
- ④体色：深海では赤色の光はほとんど吸収され、赤いほど暗い色に見える。そのため、深海にいるホウボウは体色が赤である。しかし、葛西臨海水族園のホウボウは浅瀬を再現した水槽の中にある為、砂に似た擬態色になったと考えられる。
- ⑤胸鰭：旋回するときや泳ぐときに使われるほか、外敵に会うと鮮やかな緑色を生かし、相手の前に広げることで目をくらませるフラッシングをするときに使われる。
- ⑥腹鰭：泳ぐときは収納し、海底にいるときは体を支えるために使われる。
- ⑦浮袋：浮袋を振動させ「ゲー、ゲー」と鳴く。仲間とのコミュニケーションのために使われる。
- ⑧側線：水圧、水流、電場を感じるための器官。人の平衡感覚器官や、聴覚器官の感覚細胞はこの側線の細胞が特殊化したものと言われている。
- ⑨尾鰭：旋回するときや泳ぐときに使う。飛び立つとき体を持ち上げる為にも使われる。
- ⑩腎鰭：旋回するときや泳ぐときに使われる。
- ⑪遊離軟条（以降、足と表記する）：胸鰭が変化したもの。先端に味蕾がある。歩くときや餌を探すために使われる。今回の研究対象部位。

■02 仮説（なぜ歩くか？）

1) 餌を探す以外の足の用途とは？

わざわざ足を持つならば、それなりの用途があるはずだ。砂底ギリギリを泳いだり、砂底の上をヒレを使って這うよりも、足を使う方が移動するときの利点が多いのではないか。歩くことだけでなく、スピードを無くすとき、その場に留まるとき、泳ぐときの助走など、様々な状況で足を使っているのではないか。鰭を使うより、足を使う方がエネルギー効率が良いのではないか。ホウボウの足の用途を観察と分析によって解き明かしたいと思った。

2) 歩く意味を進化から考える

ホウボウはカサゴ亜目の生き物である。カサゴは餌の多い岩場で生活していて、餌を待つ待ち伏せ型の魚である。岩場は餌が豊富な為、移動する必要は少ない。一方、砂底では、餌が少なく、移動して餌を探す必要がある。ホウボウは、岩場で生活するカサゴの一種が、砂底に新たに適應するために進化した種で、移動の手段として足が発達したのではないか。味覚器官は、発達した足に後から追加されたもので、6本の遊離軟条は移動する為の器官としてまず発達したのではないか。ホウボウの足の変化の過程は、オニオコゼの4本の遊離軟条の形を見てもよく分かる。



ホウボウの祖先であるカサゴ岩場での活動が多い

腹鰭が変化し4本の遊離軟条に変化したオニオコゼ

砂場での移動に適應する為に6本の足に変化したホウボウ

えさを探す為に、味覚器官を更に追加

図03：カサゴからホウボウへの胸鰭の変化の過程（仮説）

生き物は海から生まれ、地上に進出した。両棲類に進化した魚類は肺をもつシーラカンス・ハイギョなどの肉鰭類であり、ホウボウを含む一般的な魚が属する条鰭類からの進化でないことは、過去の研究で分かっている。しかし、本当にそうなのか。条鰭類から陸へと上がった生き物もいるのではないかと疑問に思った。ホウボウの足の研究はそれのヒントになるのではないか。

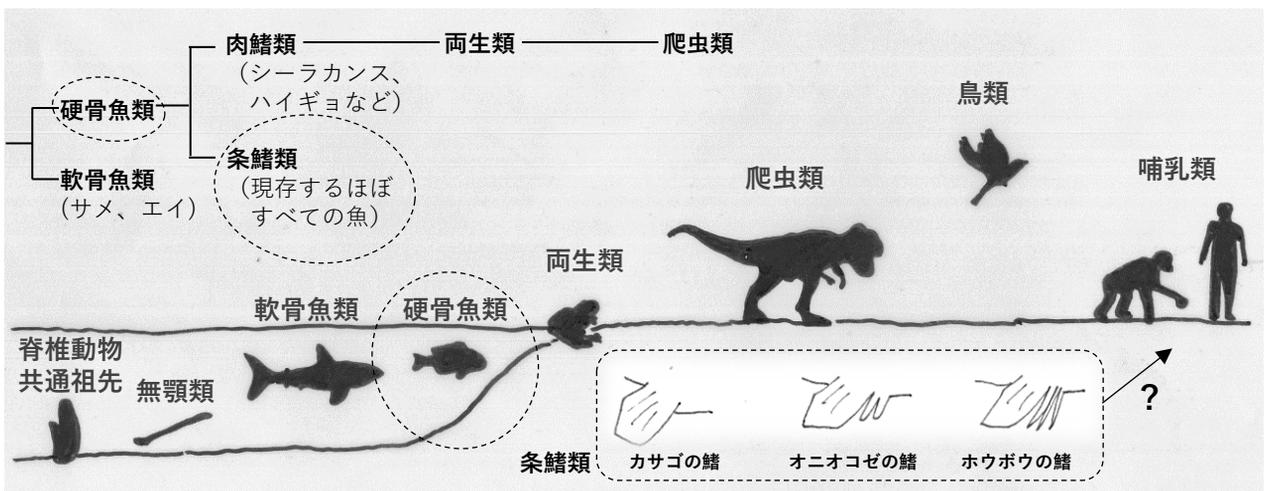


図04：海中から陸上への進化の過程

■03 研究方法

1) 観察と動画撮影

葛西臨海水族園のホウボウがいる水槽で動きを観察し、併せて動画を撮影した。撮影した動画を家でスロー再生し、足の動かし方を分析した。この水槽には2匹のホウボウがいた。それぞれ個体A(体長約30cm、胸鰭が正常)、個体B(体長約20cm、右胸鰭に損傷あり)とする。それぞれの個体で足の動かし方に違いがあるかを観察する。

2) 足の動かし方のパターン分析

色々な動き方のパターンや、個体ごとの動きの比較をしやすいするため、次のような方法を用いて分かりやすく図示し、分析を行った。図06のように、ホウボウの足を記号化。それぞれ前から順に前足、中足、後足と呼ぶことにし、前足を赤色の丸、中足を青色の四角、後足を緑色の三角で表した。左側の足を塗りつぶさず、右側の足を塗りつぶした。図07のように、記号化した足を実際に観察した記録と照らし合わせて、足が地面に着いた位置を図示した。進んだ距離はそれぞれの足に対応する色の矢印をつけ、分かるようにした。図08のように、足をどのように動かしているかをそれぞれの足に対応する色を使い、側面からの図を作成した。

3) 他の歩行生物との歩き方の比較

歩く意味を進化から考えるために、ホウボウとオニオコゼ、アリ、エビ、ウマ、ヒトなどの生き物との歩き方を比較してみた。アリとオニオコゼは自分で図示し、エビ、ウマ、ヒトはインターネットで歩き方についての研究を調べ、参考にした。図09のように他の生き物を、ホウボウと同じやり方で図示し、比較しやすいようにした。



図05：葛西臨海水族園の2匹のホウボウ(左：個体A、右：個体B)

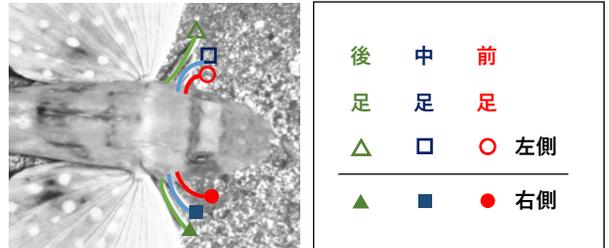


図06：ホウボウの足を記号化する

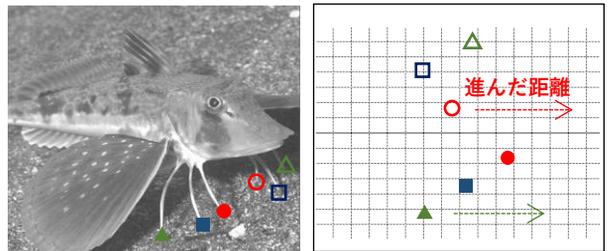


図07：足が地面に着いた位置を図示する

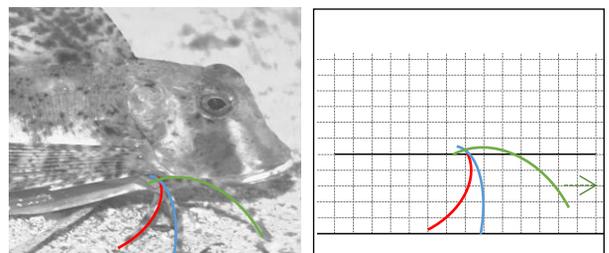


図08：側面から見た図を作成する

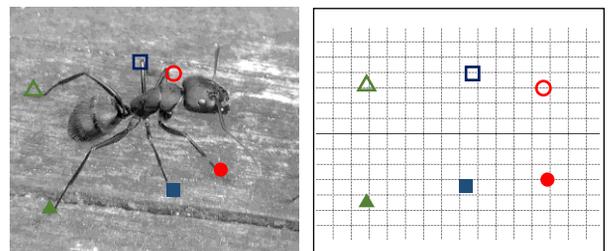


図09：アリの足を記号化する

■04-1 「前に進む時」の足の動かし方のパターン分析



図10：前に進む時のホウボウの足の動き

前に進む時、足を出す順番が決まっている。Ⅰ(左後足、右中足)、Ⅱ(左前足、右後足)、Ⅲ(左中足、右前足)の3つのパターンを繰り返して歩いていた。1度に2本の足を前に出していること、足が以前出した足を追い越すように動かしていることなどが分かった。胸鰭は、開いているとき、閉じているとき、片方だけ開いているときもあった。個体Aの方が個体Bよりも歩く動きは速かった。

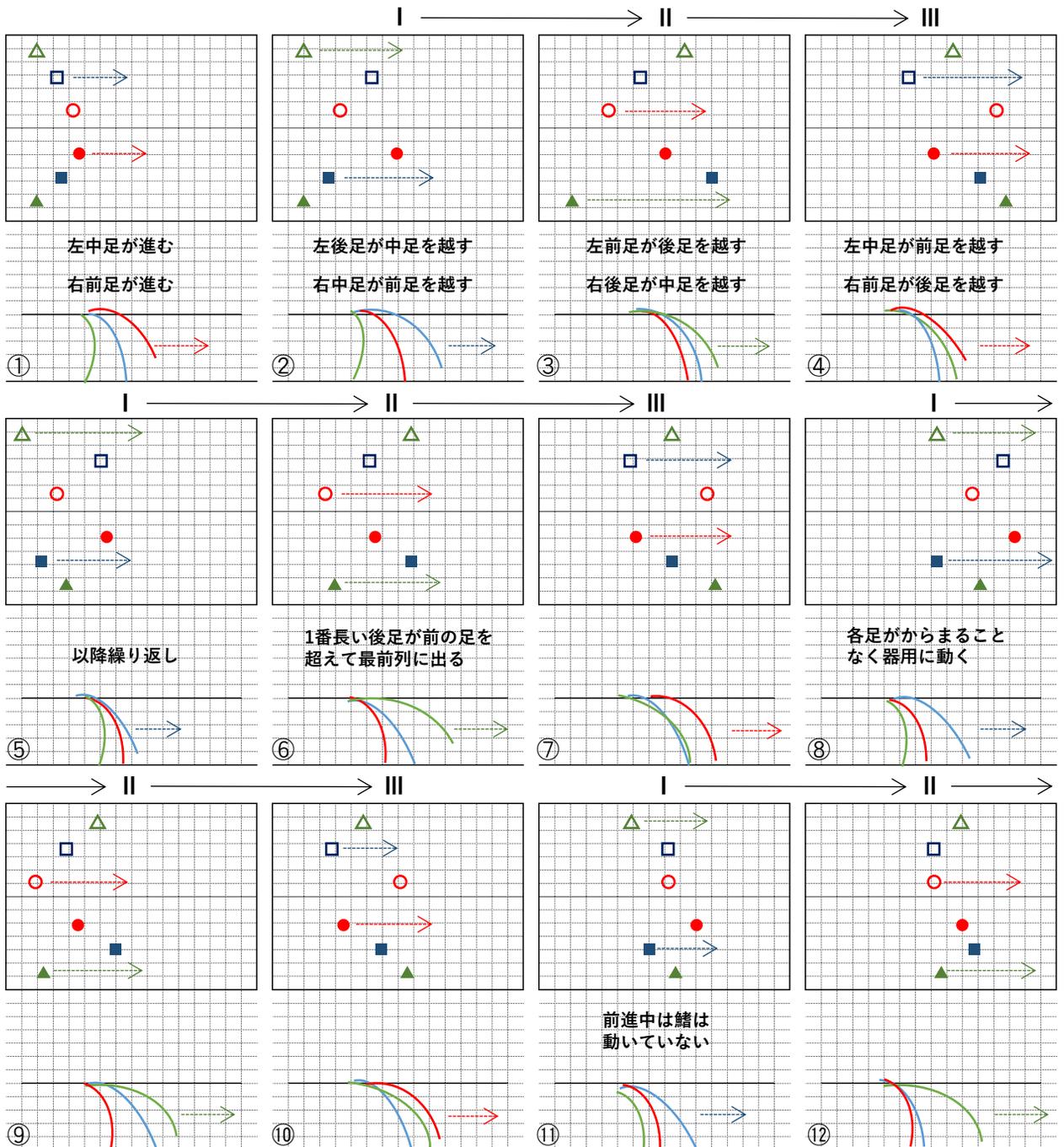


図11：前に進む時のパターン分析図

■04-2 「左に曲がる時」の足の動かし方のパターン分析



図12：左に曲がる時のホウボウの足の動き

左に曲がる時、片方の足のみを動かしたり、足をあげたり、歩幅を変えたり、足をだす速さを変えたりすることを組み合わせて曲がっていた。前に進む時と、足を出す順番は同じであった。その場で急旋回をするときは、体を一旦浮かしジャンプするようにして旋回していた。曲がるときには足の他に、背鰭と第2背鰭を舵のように使っていた。個体Aと個体Bは基本は同じ動きだった。

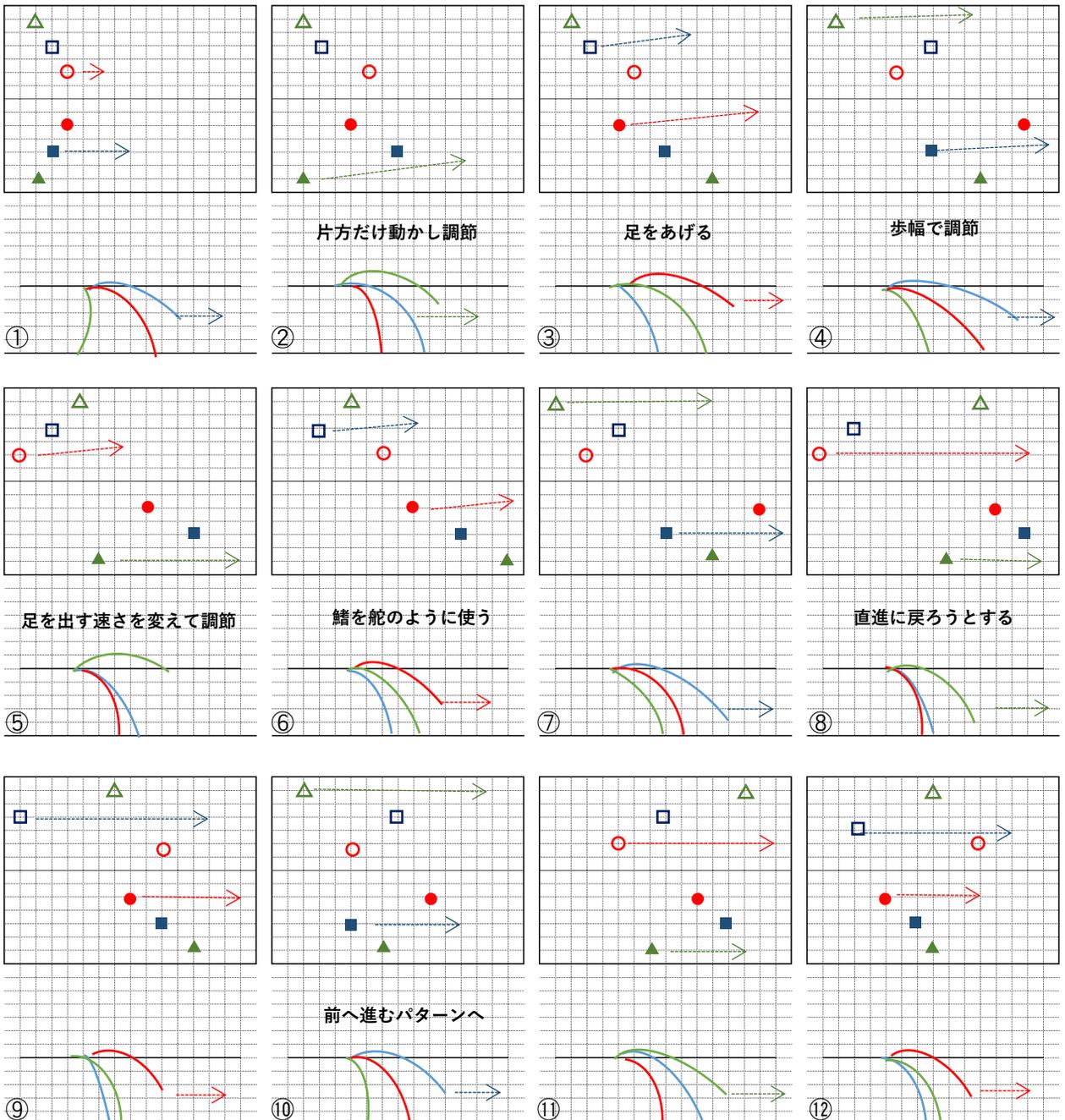


図13：右に曲がる時のパターン分析図

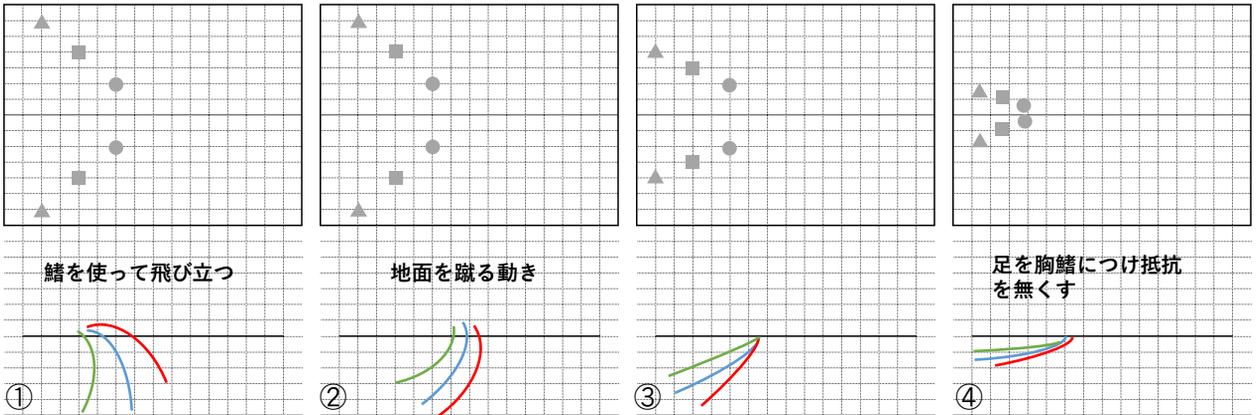
■04-3 「離陸する時」の足の動かし方のパターン分析



図14：離陸する時のホウボウの足の動き

離陸する時は個体Aと個体Bでは違う動きが見られた。個体Aはその場で胸鰭と尾鰭で飛び立つことが多かった。個体Bは飛び立つときや飛び立った後、右側の足のみを動かしていた。右鰭に損傷があることから、右足をうごかすことで補っていたのだと推測できる。どちらの個体も助走をつけて飛び立つときがあった。足は飛び立った後胸鰭につけ収納し、なるべく抵抗を無くしていた。

個体A



個体B

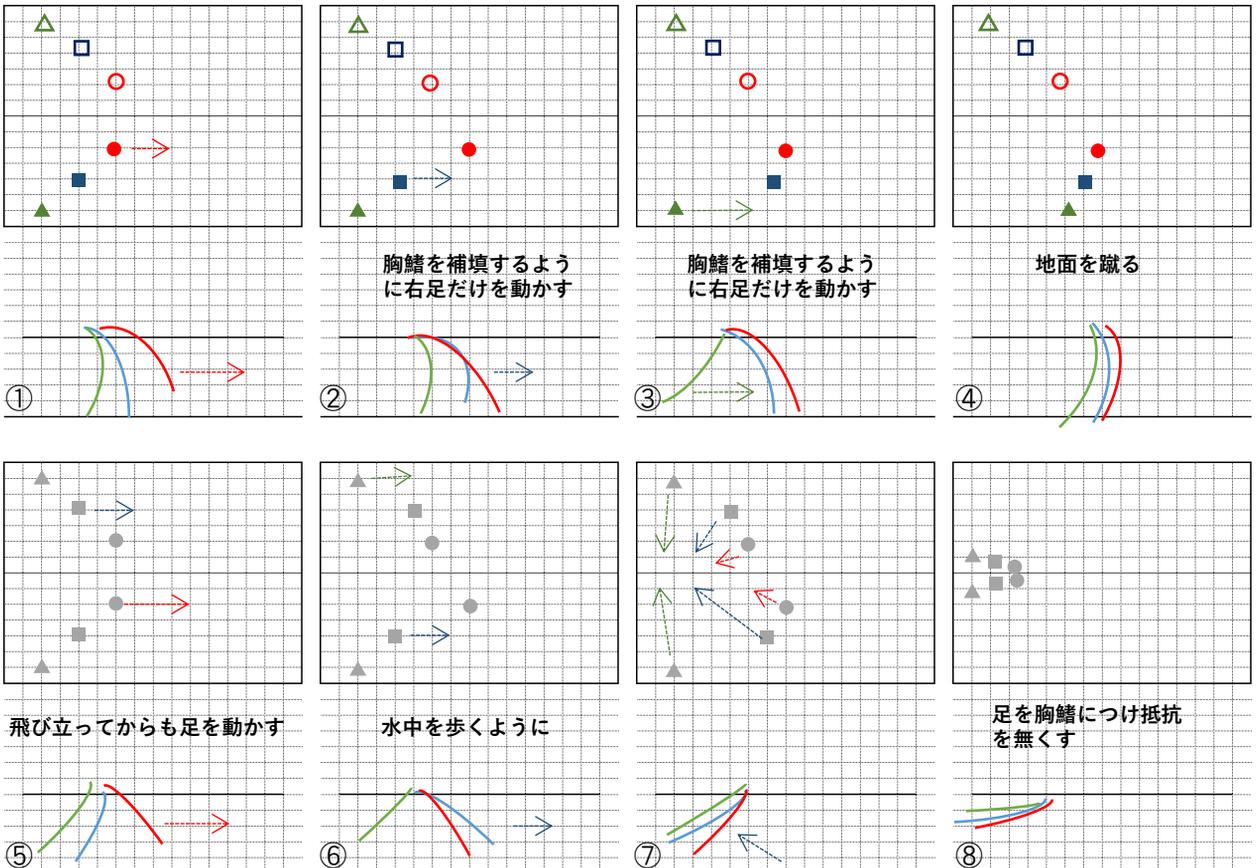


図15：離陸する時のパターン分析図

■04-4 「着陸する時」の足の動かし方のパターン分析

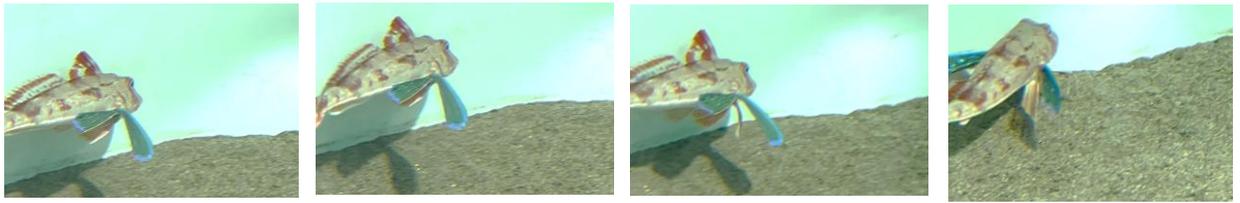


図16：着陸する時のホウボウの足の動き

着陸の時にも足を使っていた。飛行機のように足を着陸の前に開いて、砂底に着く準備をしていた。着陸した後の勢いを無くすために、着陸直後は少し早めに歩いていた。その後、通常に戻って、前に進む足の動きに戻っていた。胸緒を広げ抵抗を大きくすることで着地することもある。着陸した後、背緒と第2背緒をしまっていた。個体Aと、個体Bでは基本同じ動きで着陸していた。

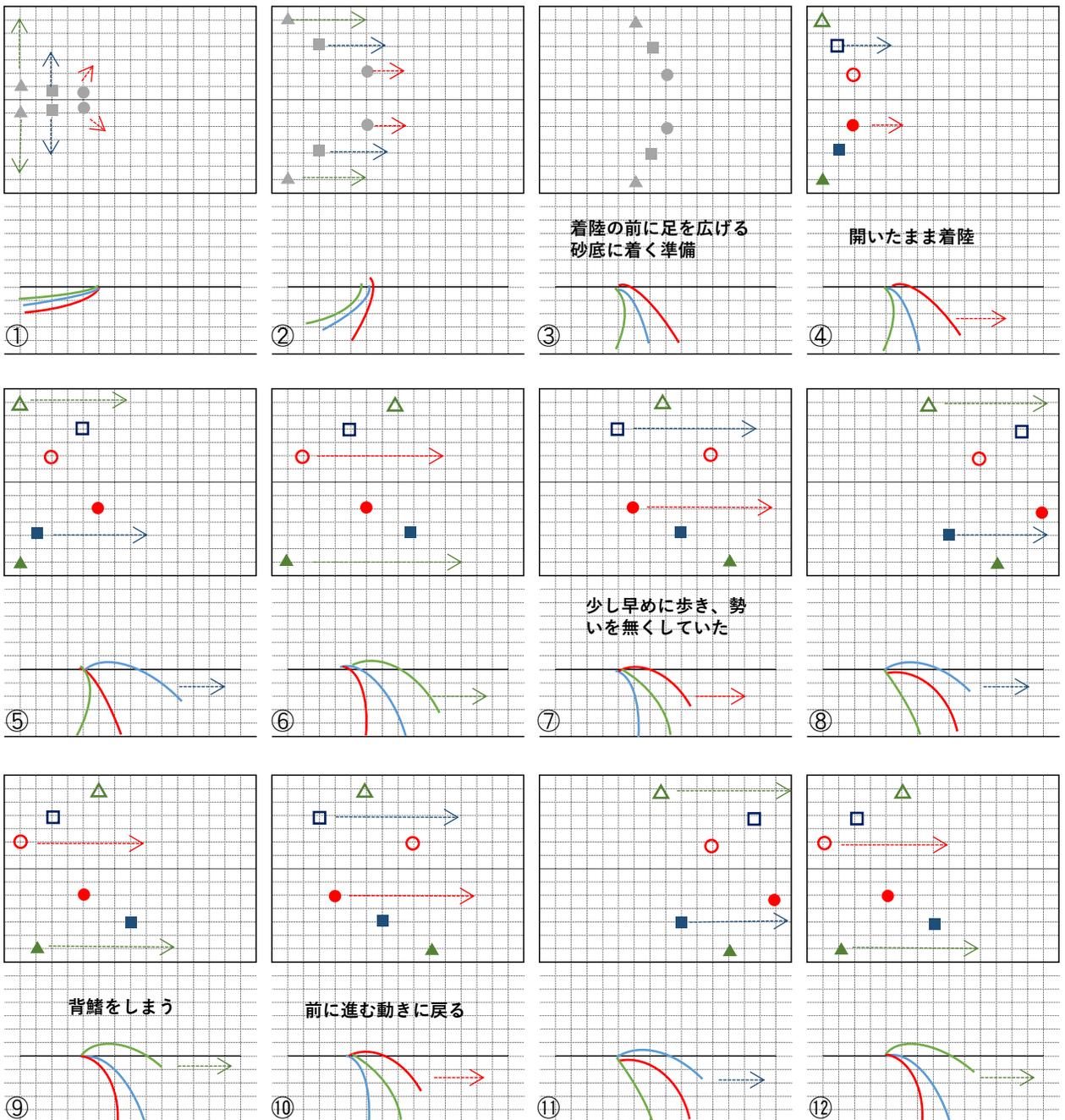


図17：着陸する時のパターン分析図

■04-5 「餌を探す時」の足の動かし方のパターン分析

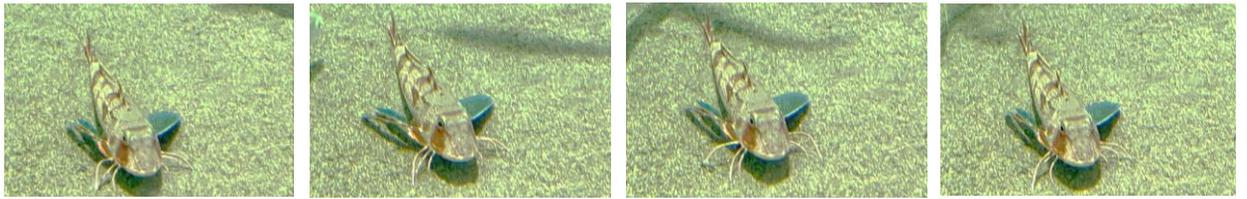


図18：えさを探す時のホウボウの足の動き

餌を探す時は、他の4つのパターンとは足の使い方が明らかに異なっていた。移動することと同時に、なるべく足を広げ、足の先を砂に刺し、餌を探していた。足の出す順番、歩幅、出す本数、出す向きなどすべて法則がなく、ランダムに、一度に何本も動いていた。広く餌を探す為に、同じ場所になるべく足をつけないよう歩いているように見えた。個体Aと個体Bでは似たような動きであった。

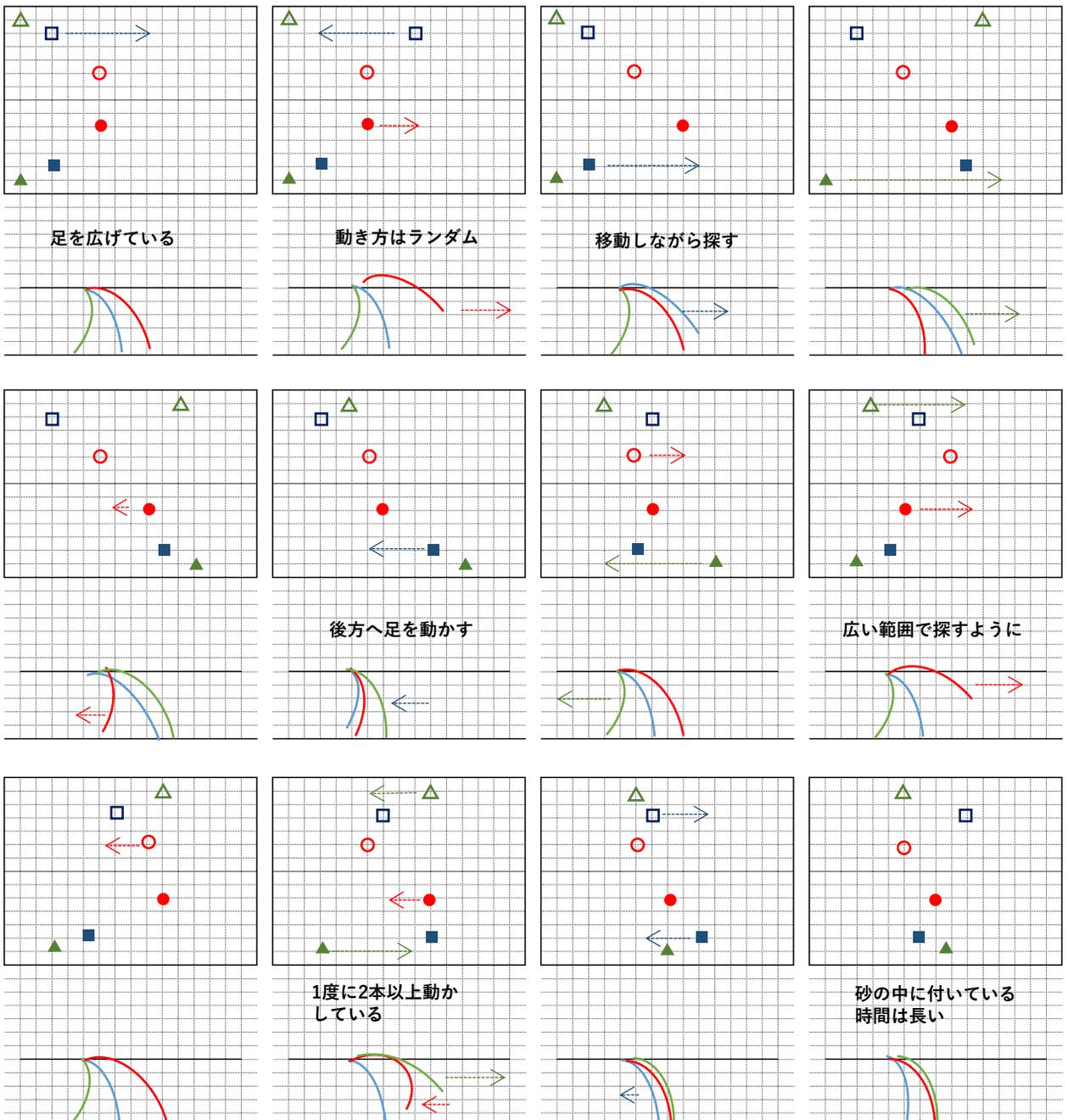


図19：えさを探す時のパターン分析図

■05-1 「オニオコゼ」との歩き方の比較・分析

歩く魚、オニオコゼについて調べた。ホウボウと同じく足（遊離軟条）を使っていた。足の本数はホウボウが6本なのに対して4本で、太かった。歩くというより足を4本同時に出し、体を引っ張って這いずるように移動していたことが、ホウボウとの大きな違いであった。4本同時にしか動かない為、全ての足の神経がつながっているように見えた。移動する時、力を込めているのか、足の先が深く地面に刺さっていた。そもそも移動することが少なかった。歩く時、鰭を全く使わなかった。体がホウボウよりも重いのに足で体を動かしているため、ホウボウよりも足の力が強いように見えた。ホウボウの足よりも原始的だと思った。



図20：オニオコゼ



図21：オニオコゼの足

■ホウボウ

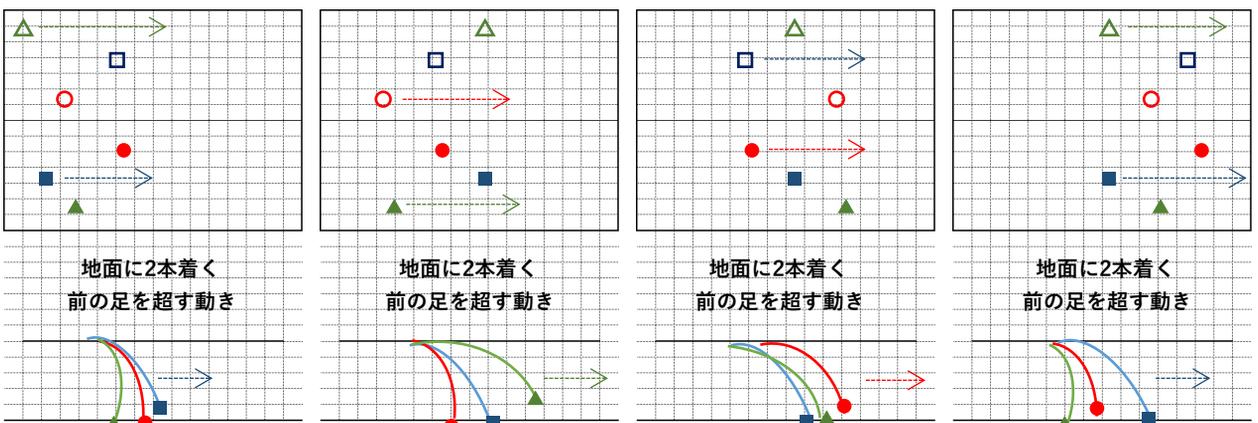


図22：ホウボウの前進のパターン分析図

■オニオコゼ

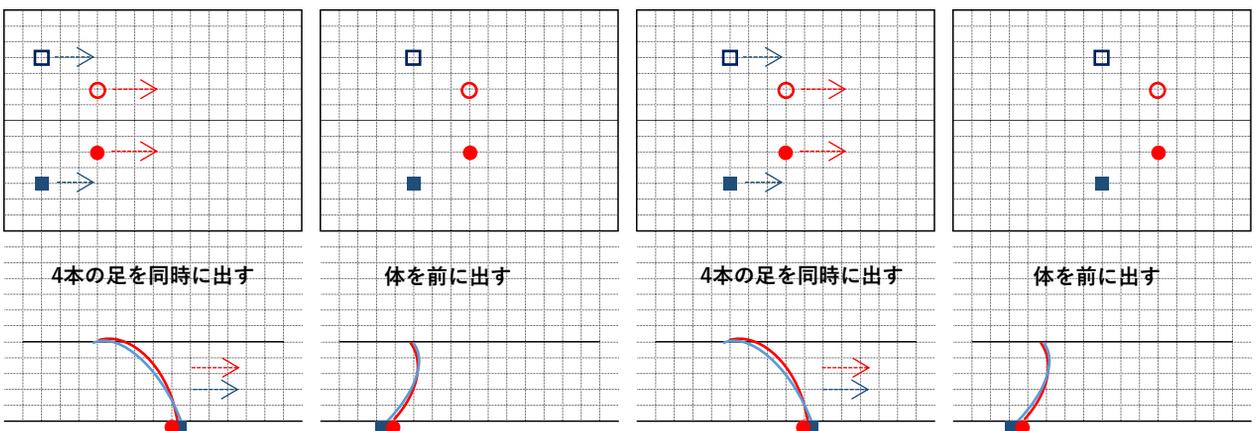


図23：オニオコゼの前進のパターン分析図

■05-2 「アリ」、「エビ」との歩き方の比較・分析

昆虫には2種類の歩き方がある。1つは3本の足で体を固定し、もう3本の足を前に出す3足歩行。もう1つは波のように足を1本ずつ流れるように出す波状歩行である。2本ずつ動かすホウボウの歩き方と比較すると、それぞれ、動かす本数が全く違った。ホウボウは、前の足を追い越すように足を出すのに対して、アリ、エビは後ろの足が前にある足を追い越すことはなかった。エビは、1度に2本の足をランダムに動かしていた。エビの足は8本だが、歩く為に使っているのは6本だった。あまり長い距離を歩かないことが分かった。昆虫やエビは節がありそこから足を曲げ、歩いているが、ホウボウは足をどう曲げているか分からなかった。



図24：6足の昆虫



図25：海中で歩行するエビ

■ホウボウ

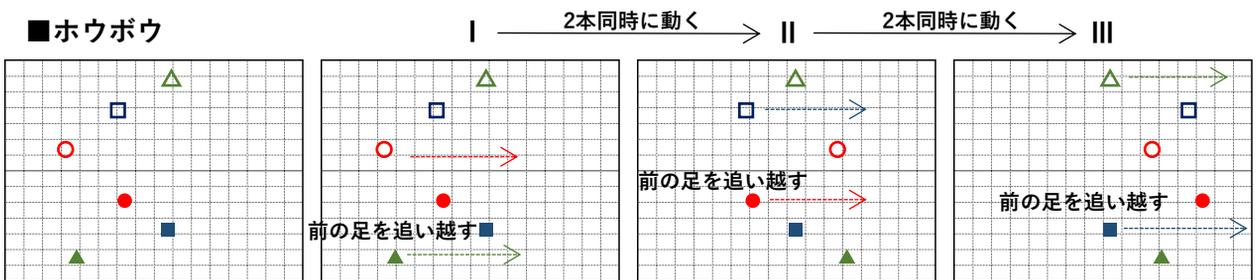


図26：ホウボウの前進のパターン分析図

■3足歩行（昆虫）

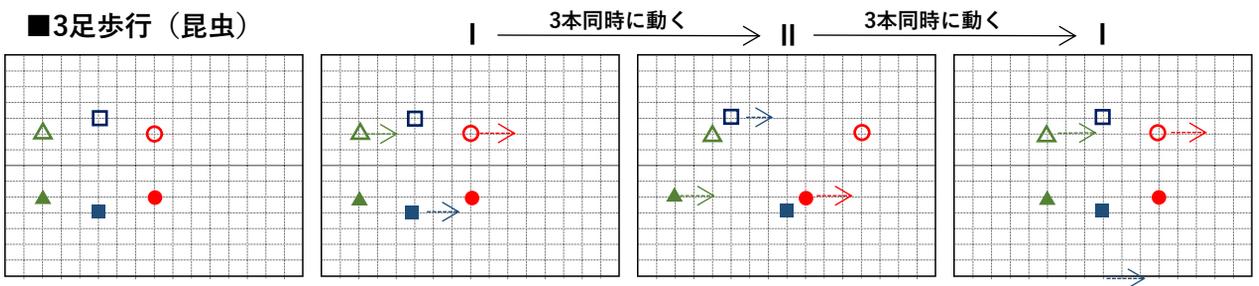


図27：3足歩行のパターン分析図

■波状歩行（昆虫）

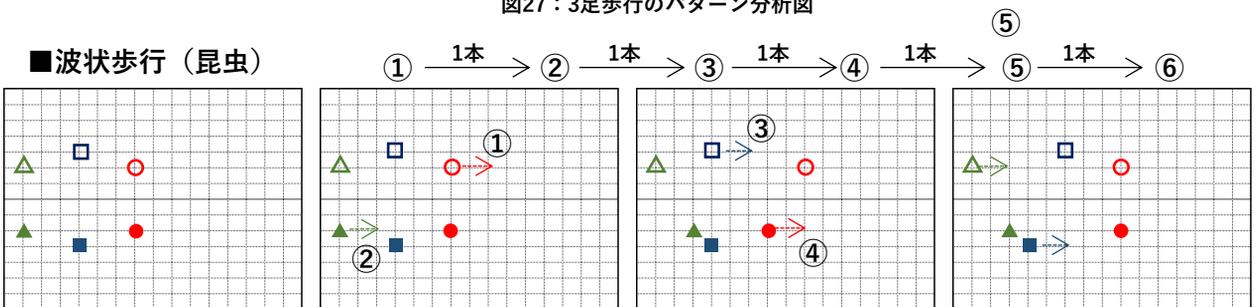


図28：波状歩行のパターン分析図

■エビ

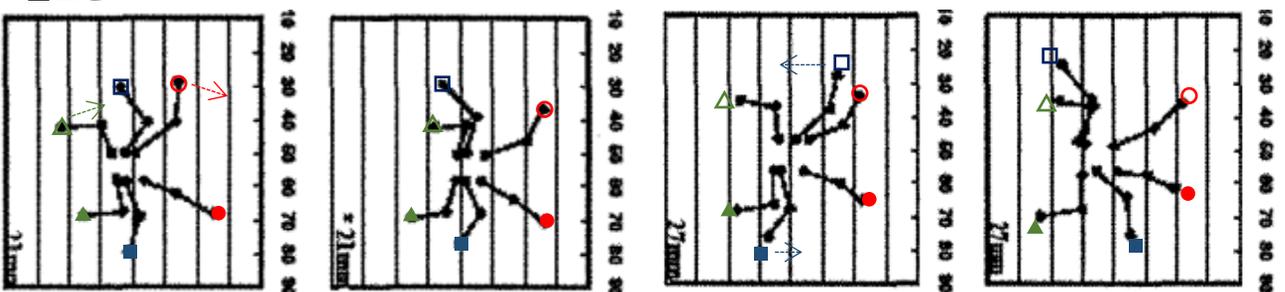


図29：エビの歩行パターン分析図（出展：トヤマエビかごにおけるエビの歩行特性と入かご過程に関する研究2008年7月）

■05-3 「ウマ」、「ヒト」との歩き方の比較・分析

6本足のホウボウとは異なり、哺乳類である4本足のウマ、2本足のヒトの歩き方を調べ、比較した。ウマは歩くとき、後ろ足が前足にギリギリ付かない位に動かしている。そのため、後ろ足は前足を追い越さない。4本の足のうち左足を1本、右足を1本ずつ動かしている。ホウボウとは一度に出す足の数、前足を追い越す動きが違っていた。ヒトは足が2本である為、常に左足を追い越して右足を出す。その姿はホウボウの歩き方に似ているように思った。哺乳類には骨をつなげる関節があり、これを使うことで足を曲げているが、ホウボウは関節はない。ホウボウとの大きな違いは関節の有無でもあったと思った。



図30：4足歩行のウマ



図31：2足歩行のヒト

■ホウボウ

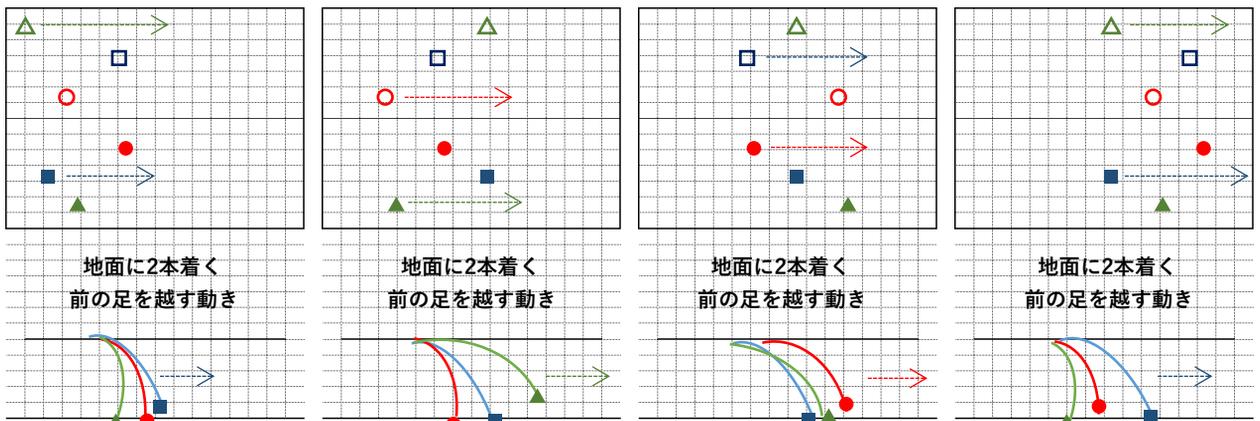


図32：ホウボウの前進のパターン分析図

■ウマ

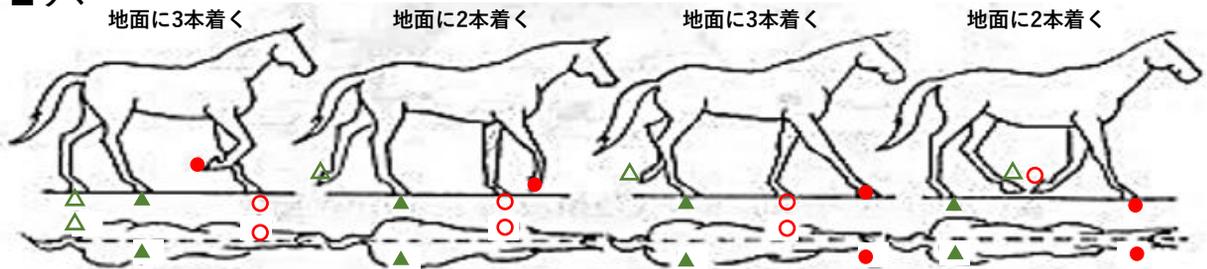


図33：ウマの前進のパターン分析図（出展：馬学講座（含む馬予防医学）に関する用語集③）

■ヒト

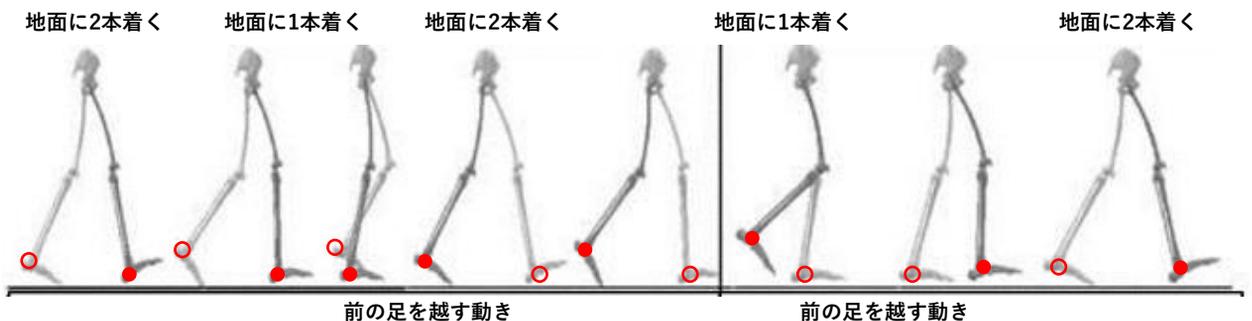


図34：ヒトの前進のパターン分析図（出展：歩行分析の基礎まとめ①～歩行周期、各相の役割、正常歩行の各関節角度～より）

1) 足の動かし方のパターン分析

ホウボウの足の使い方を観察すると、Ⅰ(左後足、右中足)、Ⅱ(左前足、右後足)、Ⅲ(左中足、右前足)の3つのパターンを繰り返して歩いていて、前に進む時に足を出す順番が決まっていること、必ず片方の足から1本ずつ、左右合わせて2本ずつ同時に出すことなど規則性があり、移動するため、歩くために効率的に使っていることが分かった。左に曲がる時は、片方の足のみを動かしたり、歩幅を変えたり、足をだす速さを変えたりして曲がっていた。また、離陸する時に、個体Bが右胸鰭の損傷を補填するように右足を使っていたことは大変、興味深い。それぞれの個体の欠点を足が補っていると考えられる。助走をつけるために足を使い、飛び立つ。着陸する時に勢いを無くすために鰭だけでなく足を使う。また、足を伸ばし、視点を高くすることで外敵を見つけやすくするしぐさも見られた。以上のことを踏まえると、足には餌を探す以外に様々な役割があり、ホウボウが砂底で暮らすうえでかなり器用に、有利に働くことが分かった。

2) ほかの生き物との比較

オニオコゼは、ホウボウと同じく足（遊離軟条）を使って歩く。ホウボウが6本で細い足なのに対して、オニオコゼは4本で太い。ホウボウの規則性のある歩き方に対し、オニオコゼは歩くというよりも足を全て同時に出し、体を引っ張って這いずるように移動している。このことから、ホウボウはオニオコゼの原始的な動きに比べ、より高度な足の動きであることが分かる。以上のことを踏まえると、ホウボウの足は砂底での生活に適応する為に進化したかたちであると考えられる。

同じ6本の足を持つ昆虫やエビとの比較では、昆虫の波状歩行がホウボウの歩き方と近かった。しかし、ホウボウの特徴である、前に出した足を追い越すという動きは、昆虫、エビ、ウマには見られなかった。一方、ヒトの歩き方は2足歩行の為、交互に足を追い越す。その動きは一番ホウボウに似ているように感じた。以上のことを踏まえると、共通点や異なる点があるが、ホウボウの遊離軟条は陸上の生き物の四肢と関連性があると考えられる。

3) 今後の展開

私はホウボウが面白い進化を遂げていることから、もしかしたら生物の進化の謎を解き明かす鍵になるかと思った。そのためにまず、足の動きを研究した。しかし動き方の観察のみでは、進化に関しての結論を出すことは難しかった。一方、2024年10月にアメリカの論文でホウボウの遊離軟条からヒトの足や腕と同じタンパク質「Tbx3a」が発見されたと発表されている。（2024/10/7/ニコラス・ベロノ氏他の論文）今後、人間の指や四肢の遺伝子（例えばHox遺伝子など）もホウボウから発見されるかもしれない。もしかするとこの研究が進めば進化の過程で陸上生物に条鰭類が関わっている可能性が発見できるのではないか。今までの進化の常識を覆すのではないか。ゲノム解析によりその謎を解き明かしたい。ホウボウには多くのロマンが詰まっている。

参考・引用

「ホウボウについて」

- ・歩くホウボウ（葛西臨海水族館） Walking Sea robin : YouTube
<https://www.youtube.com/watch?v=UuGjTz1zFfA>
- ・足で歩く魚「ホウボウ」(京急油壺マリパーク) 2018年2月25 : YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=o_0xWbR95Ss
- ・すいスイっとホウボウ(中日新聞デジタル放送部) : YouTube
<https://www.youtube.com/watch?v=FDNhE3QCfEY>
- ・Wikipedia ホウボウ
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9B%E3%82%A6%E3%83%9C%E3%82%A6>
- ・「Evolution of novel sensory organs in fish with legs」
- ・「Ancient developmental genes underlie evolutionary novelties in walking fish」
2024/10/7/ニコラス・ペロノ氏他の論文の要約
<https://nazology.kusuguru.co.jp/archives/163392>
- ・科学館日記 赤は派手な色？地味な色！？(新潟県立科学館)
<https://sciencemuseum.jp/cp-bin/wordpress/2022/03/18>

「進化について」

- ・魚と両生類の間 -現在生きている魚と比較して-
<https://kimbio.info/fish-to-tetrapod/>
- ・魚の鰭条と四足動物の指は共通の細胞系譜および発生の機構により形成される 2016/9/3中村哲也・Neil H. Shubin氏の要約
<https://first.lifesciencedb.jp/archives/13952>

「生物の歩き方について」

- ・NHK アリの歩きかた
https://www2.nhk.or.jp/school/watch/clip/?das_id=D0005300472_00000
- ・トヤマエビかごにおけるエビの歩行特性と入かご過程に関する研究 金,成勲 平石,智徳 山本,勝太郎 李,珠熙
<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010761738.pdf> 図29に引用
- ・馬学講座に関する用語集(馬の学校アニメジ)
<https://www.oc-avc.com/major-course/hippology-glossary/hippology-glossary3-2/> 図33に引用
- ・歩行分析の基礎まとめ①～歩行周期、各相の役割、正常歩行の各関節角度～
<https://forphysicaltherapist.com/2797/> 図34に引用

図02：ホウボウの各部位の名称と役割

<https://www.zukanbouz.com/syu/%E3%83%9B%E3%82%A6%E3%83%9C%E3%82%A6>の写真をもとに著作作図

図03：カサゴからホウボウへの胸鰭の変化の過程(仮設)

<https://www.tajima.or.jp/nature/animal/119421/>のカサゴの写真を引用

図03：カサゴからホウボウへの胸鰭の変化の過程(仮設)、図21：オニオコゼ、図22：オニオコゼの足

<https://www.youtube.com/watch?v=TeqTqi1fOPQ>のオニオコゼの写真を引用

図04：海上から陸上への進化の過程

<http://www.osteimmunology.com/research.html>の図をもとに著作作図

図10：前に進むときのホウボウの足の動き

<https://www.youtube.com/watch?v=UuGjTz1zFfA>より写真を引用

図24：六足歩行の昆虫

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35193569-2.html>より写真を引用

図25：海中で歩行するエビ

<https://syokunote.com/seafood/shrimp/botannebi/>より写真を引用

図30：四足歩行のウマ

<https://er-animal.jp/pepy/38186>より写真を引用

図31：二足歩行のヒト

<https://www.glico.com/jp/powerpro/oxygen/entry56/>より写真を引用

※その他の図は著者撮影及び著作作図