

1. 目的・動機

私たち科学同好会のカエルを対象とした研究結果より、「前肢と後肢は同じタイミングで骨形成が行われている」、「先に軟骨が形成され、後に硬骨に置き換わる」ということが分かった。また、リュウキュウカジカガエル、ヌマガエル、ヒメアマガエル、シロアゴガエルを詳しく観察し、見分け方や行動の様子、住んでいる場所などの調査を実施した。

これらの研究を行う中で、種によって左右の前肢が生えてくる順に異なる傾向があることに気づいた。そこで、今年度は、幼生から成体へと変わっていく中で、特に前肢が生えてくる時期の変化に焦点をおいて、研究することにした。具体的には、これまでの研究対象としている4種類について、前肢が左右のいずれ側から生えてくるのか、また、そのときに内臓はどのように変化していくのかについて腸の長さを測定することで調査した。

2. 方法・内容

名護市及び沖縄市内の側溝や水たまりからおたまじゃくしを採集・同定した。

(1) 前肢の生える順番について

シロアゴガエルは特定外来種であり、飼育等が禁止されていることから、その場で固定した。リュウキュウカジカガエル、ヌマガエル、ヒメアマガエルのオタマジャクシは、洗面器や虫かごに深さ5cmほどの水を張って飼育した。エサはホウレンソウや熱帯魚用のフレーク状のエサを与えた。水が濁ってきたら、カルキを抜いた水で交換した。一昨年でも昨年も、長期的な飼育はできていないので、採集時に、後肢が発達した個体を選び、持ち帰った。シロアゴガエルに関しては、採集時に片方の前肢のみが生えている個体を探し、固定して標本とした。他の3種については、片方の前肢が生えた時点で固定して標本とした。

(2) 腸の長さについて

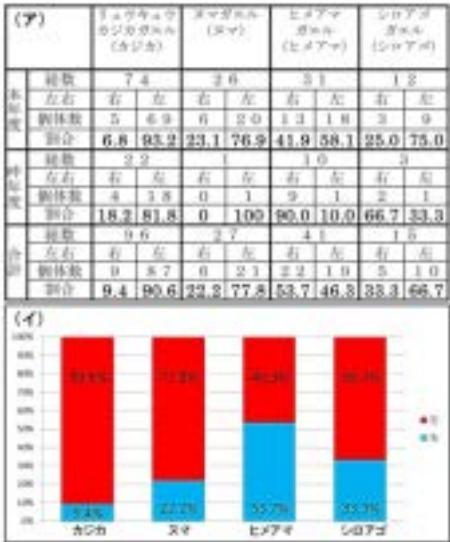
さまざまな段階のヌマガエルを70%エタノールで固定し、口から尾の端までの長さ(全長)、口から後肢の付け根までの長さ(胴頭部)をそれぞれ測定した。また、ピンセットで腹部の皮膚を破いて、内臓を観察し、腸を取り出して水を入れたシャーレでほぐし、紙の上に広げて、長さを測定した。腸を広げるときに切れることも多かったが、断片の長さを測り、合計して測定値とした。

3. 結果

(1) 前肢の生える順番について

研究対象とした4種のカエルについて、前肢が左右のいずれから生えてくるかを調べた結果は右図のとおりである。今年度は、昨年度よりも多くの個体について調査することができた。今年度と昨年度の合計数から、グラフを作成した。どちら側の前肢から生える場合であっても、生えていない側では、前肢の形に皮膚がもりあがっており、皮膚下に形成されていることが確認できる。

リュウキュウカジカガエルについて、右側前肢から生えてきた個体(右図ア、イ)と生えていない個体(同ウ、エ)について、左側前肢が生え方を比較した。いずれの場合も、左側前肢が噴水孔を通して肘から生えてくることが分かる。



片方の前肢が生えたヒメアマガエルの標本を観察したが、左右の前肢の生え方の違いを見つけることはできなかった。

シロアゴガエルの標本を撮影した結果を右に示す。左側前肢から生えてきた個体の右側前肢について、体外には出ていなかったが、手首の部分に皮膚の破れが見られた。また、右側前肢から生えてきた個体の左側前肢についても、体外には出ていなかったが、噴水孔から前肢が見えた。これらの、体外に出ていない側の皮膚の様子を比較すると、右側の皮膚は手首部分が破れているのに対し、左側の皮膚は肘の中程に穴があり、噴水孔にある筒状の皮膚の名残が見られるなどの違いが見られた。

また、左側前肢のみ生えた個体を観察すると、前腕から手にかけて、手首の部分で「くの字」に折れ曲がっており、手首の下側の皮膚が薄くなっていた。この皮膚が薄くなった部分をピンセットでつつくと、容易に皮膚が破れ、前肢が見えるようになった。左側前肢のみ生えたヌマガエルを用いて行った実験でも、同様の結果が得られた。

片方の前肢が生えたリュウキュウカジカガエルの標本の一部を用い、透明骨格標本作製し、皮膚下での前肢の様子を観察した。いずれの標本であっても、体内で同様に前肢の骨形成がなされており、左側前肢から生えた個体の右側前肢、右側前肢から生えた個体の左側前肢、右側前肢から生えてきたリュウキュウカジカガエルの割合は9.4%と低い値であるが、何らかの異常があったとは考えにくい。

(2) 腸の長さについて

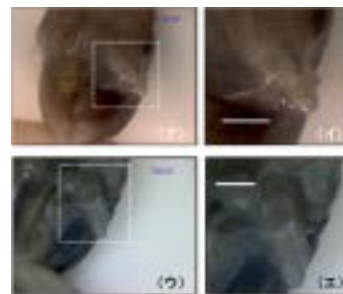
本研究では、ヌマガエルとシロアゴガエルを用いて、腸を中心に観察・比較を行った。ヌマガエルでは、後肢が生えた個体を、各段階にグループ分けをして、解剖を行って腸を取り出し、胴頭部の長さに対する腸の長さの割合を比較した。シロアゴガエルでは、内臓を取り出さずに透明骨格標本作製して、透けて見える腸の様子を比較した。

ヌマガエルの、後肢が小さい個体、後肢は大きく発達した個体、前肢が生えた個体について、固定した標本を開腹し、内臓の様子を調べた。

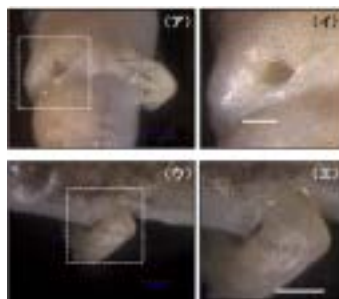
後肢が小さい個体の結果は右のとおりである。腹腔内の大部分を腸が占めており、腸を取り除くと、肝臓が観察できた。腸を口側にたどっていったが、膨らんだ胃の構造を見つけることはできなかった。

後肢が大きく発達した個体の結果は、右のとおりである。後肢が小さい個体と同様に、腹腔内の大部分を腸が占めている。また、エラの下に前肢が形成されている様子を観察することができた。

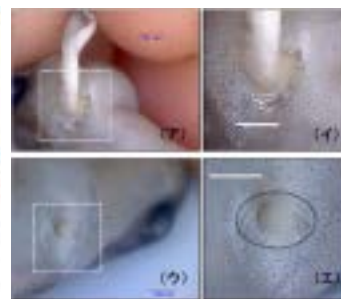
前肢が生えた個体では、2種類に分けられた。1つは、前肢が生えていない個体同様に、腹部が膨らんでいる。開腹するとやや腸が腸が占める割合が減り、肝臓など他の臓器が観察できた。もう1種類では、腹部の幅が大きく減少している。開腹すると、腸が占める割合は極端に減少しており、



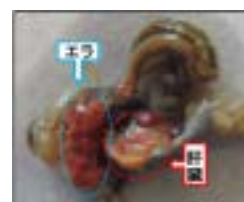
リュウキュウカジカガエル



左側前肢が生えたシロアゴガエル



右側前肢が生えたシロアゴガエル



腸には何もつまっていなかった。また、消化管の口側に膨らんだ胃のような構造が見られた。

前肢が生えた個体には2段階の内臓の様子が見られたことから、前肢が生えていない2段階と合わせた4段階に分けた。後肢が小さいものは9個体、後肢が大きく発達したものは5個体、前肢が生えたもののうち初期の段階は4個体、後期の段階は4個体観察することができた。それぞれについて、全長（口から尾の端までの長さ）、胴頭部（口から後肢付け根までの長さ）、腸の長さを測定し、胴頭部に対する腸の長さの割合を求めた。胴頭部の値については、後肢が大きいグループが若干大きい、ほぼ同じような値となった。一方、全長は、後肢が大きいグループの方が、後肢が小さいグループより大きい。胴頭部に対する腸の長さの割合について平均を求め、グラフに表した結果は下のおりである。この値は、後肢の発達にともない、若干の減少が見られるが、大きく変化するのは、前肢が生えた後の段階においてであることが分かる。また、割合の値が小さくなり始めた、つまり腸の長さが短くなり始めたと考えられる個体では、腸の内容物が少なくなっており、摂食していないと思われる。

4. 考察

(1) 前肢の生える順番について

昨年度も、4種類のカエルについて前肢の生える順を調べている。このとき、リュウキュウカジカガエルとヒメアマガエルは、10個体以上の標本が得られたことから、「リュウキュウカジカガエルは左側前肢から、ヒメアマガエルは右側前肢から生える傾向にある」とまとめた。この結果より、リュウキュウカジカガエルについて、「①左側の前肢は、皮膚下で十分に発達した後、皮膚下で動いているうちに、肘から噴水孔を通して出てくるのではないかと。②右側の前肢については、変態ホルモンであるチロキシンの作用によって腹部の皮膚が変化することで出てくるのではないかと。」と考察した。一方、ヌマガエルとシロアゴガエルについては、それぞれ1個体、3個体と標本数が少なかったため、傾向を示すことができなかった。

リュウキュウカジカガエルについては、昨年度と合わせると96個体について調査ができていたので、データとしての信頼性が高いと思われる。これらを調べた結果、左側から前肢が出る割合の90.6%という値は、右側から前肢が出る9.4%に比べて明らかに大きい数字であり、このことから、リュウキュウカジカガエルは、左側前肢から生えてくる傾向が強いといえる。また右側前肢が生えていても、生えていなくても、左側の前肢は、噴水孔を通して出てくる様子が観察できた。このことは、昨年度の考察①を支持すると考えられる。

ヌマガエルについては、今年度は26個体を観察することができ、昨年度と合わせると27個体について調査することができた。この結果は、左側から前肢が出る割合が77.8%であり、左側から前肢が出る傾向にあると考えられる。ヌマガエルも噴水孔が左側にある種であり、噴水孔から前肢の肘が出かかっている個体を観察することもできている。また、右側前肢については、噴水孔がないが、手首の下側の皮膚が薄くなっており、ピンセットでつつくことで容易に破れたことから、皮膚がさらに薄くなって右側前肢が体外に出てくるのではないかと考えられる。27個体という観察対象数が十分であるかの評価は難しいが、噴水孔が左側にあり、噴水孔を通して左手が出かかっている様子が見られたことから、リュウキュウカジカガエル同様に、左側前肢から生えてくるものと考えられる。一方、左側前肢が生えかけているヌマガエルをシャーレに入れ、水をごく少なくして動画の撮影を行ったところ、2時間観察しても左前肢は出てこず、出かかっていた肘が噴水孔に収納されてしまうこともあった。カメラやスマートフォンの充電がなくなったので、撮影をあきらめ、水を張った虫かごにもどしたところ、15分程後に、左手が出ていたということがあった。シャーレで観察している時には、水の量が極端に少なく、動きが制限されていたため、左側前肢が出にくかったものと考えられ、昨年度の考察①を逆説的に支持すると思われる。

ヒメアマガエルについては、今年度は31個体を観察することができ、昨年度を合わせると、41個体について調査することができた。しかし、昨年度は10個体中9個体が右側前肢から出ていたのに対し、今年度は、左側から生えてくる割合が58.1%、右側から生えてくる割合が41.9%と、やや左側から出てくる割合が多いという結果になった。さらに、昨年度と今年度の結果を合わせると、左右の割合がほぼ半々であり、ヒメアマガエルが左右のいずれから前肢が生えてくるかについては、一定の傾向を示さないという結果になった。昨年度も今年度も、複数の場所から採集しており、同じように飼育したつもりであったが、何らかの違いがあったのかもしれない。ヒメアマガエルは噴水孔が胴頭部の腹側中央にあり、他の3種とは異なる様式で前肢が生えてきていると考えられるが、今回の研究では、左側から前肢が生えた個体と、右側から前肢が生えた個体で、違いを見つけることができなかった。41個体という観察対象数は少なくないと思うが、昨年度と違う傾向が見られることから、調査を続けたいと思う。

シロアゴガエルについては、今年度は12個体を観察することができ、昨年度を合わせると15個体について調査することができた。結果は、昨年度は3個体中1個体のみが左側から生えてきていたが、今年度を合わせると、左側から前肢が生えてくる割合は66.7%となった。シロアゴガエルは特定外来種に指定されているため飼育ができず、思うように、片方の前肢だけが生えている個体を確保することはできなかった。しかし、シロアゴガエルも左側に噴水孔があり、確保した個体の中に、右側前肢の手首部分あたりを覆っている皮膚が破れている様子がみられるなど、リュウキュウカジカガエルやヌマガエルと同じような機構で、前肢が体外に出ていくものと考えられる。シロアゴガエルについても、十分な標本数が得られるように、これからも調査を続けていきたいと思う。

(2) 腸の長さについて

ヌマガエルやヒメアマガエル・シロアゴガエルを用いた内臓の調査より、後肢のみが生えている段階では、腹腔内のほとんどを腸が占めており、内容物もぎっしりと詰まっていた。一方、両方の前肢が生えた個体では、腹腔内の腸が占める割合は明らかに減り、腸の内容物も見られなくなっていた。カエルは、幼生と成体で食性が異なっている。幼生は、落ち葉に群がっている様子が見られ、主に植物性のものを食べていると思われる。成長して陸上で生活する成体になるとハエやバッタなどの昆虫を食べようになる。中学校の授業で、草食動物の腸は長く、肉食動物の腸は比較的短いと聞いた。腸の長さの変化が両方の前肢が生えた時期に起こっていることから、食性が変化する準備であると考えられる。胃や肝臓が形成されたり発達したりするのも、食性の変化に対する準備と思われる。幼生の時に食べていたものは、腐食されてすでにどろどろの状態であることから、胃が必要ないのだと思う。しかし、成体になって昆虫を食べようになると、消化は複雑となり、各消化器官が発達してくるのだと思った。また、肝臓については、排泄機構が関連していると考えられる。幼生は水中で生活しているので魚類と同じくアンモニアとして排出しているが、成体になると、水辺や陸上で生活することから、尿素での排出となり、肝臓が発達してくるものと考えられる。

5. 参考文献

- 松井正文・関慎太郎「カエル・サンショウウオ・イモリのおタマジックハンドブック」
- 松橋利光・奥山風太郎「山溪ハンディ図鑑9 日本のカエル+サンショウウオ類」
- 松井正文「両生類の進化」
- 前田憲男・松井正文「改訂版 日本のカエル図鑑」
- Marion Anstis「Tadpoles and Frogs of Australia」