

筑波大学

朝永振一郎記念

第14回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0480

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : ニホンヤモリとミナミヤモリの体色変化パート2～光と模様の関係～

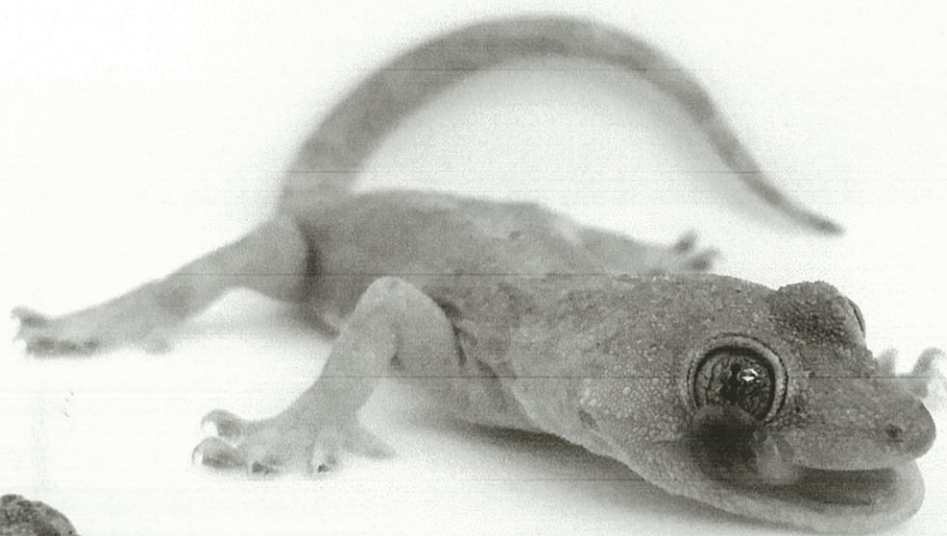
学校名 : 並木中等教育学校

学年 : 2年生

代表者名 : 大久保 惺

※個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

ニホンヤモリとミナミヤモリの体色変化 パート2 ～光と模様の関係～



茨城県立並木中等教育学校

科学研究部 2年次 大久保 惺

1. 研究の動機と目的

1.1 前回までの研究で分かっていること

前回の研究では、ニホンヤモリは赤色を認識できず赤色を黒、黄色などの明度の高い色は白と認識する 2 色型第 1 色覚の視覚 (図 1) であり、黄色素胞・黒色素胞・虹色素胞の運動によって、全ての壁色で体色変化が起きていることが分かっている。また、黒色素胞顆粒が下層に集まることで明るい体色になり、最下層の黒色素胞の顆粒が上部に集まることで皮膚に現れる色は暗くなる。黒色素胞が真皮層のどこまで送り込まれてくるかにより、表皮に出る色が変わってくることも分かっている (図 2)。

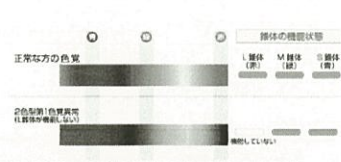


図 1 2 色型第一色覚での色の見え方



図 2 変温脊椎動物の表皮と真皮

1.2 動機と目的

前回の実験で観察を続けている時に、体色変化と同じように皮膚の模様の濃淡や面積が変わっていることに気付いた。明るいよりも、暗い時に観察したときのほうが濃い模様が現れるようだった。つまり、光と黒色素胞による模様の発生は関係があるのではないかと考えた。色覚以外の方法で光を感じ取っている可能性もあるのではないかと?どんな環境で模様が多く出て変化していくのか?と興味が出てきたため、体色変化の際に現れる模様について調べようと思った。今回は、光とヤモリの模様の関係について注目し、光が模様の発生に影響し、黒色素胞が光の有無によって働くかどうかを調べていきたい。

表 1 仮説

2. 仮説

前回の研究で、ニホンヤモリは同じ色の壁色であっても暗い時に模様が強く発生していて、逆に明るい時の時は模様があまり発生していなかった。そのことから、光の有無をどこかで感じ取り、黒色素胞の働きによって模様を出しているのではないかと考えた。黒色素胞の中にも光を検出するメラノプシンと呼ばれる光受容体タンパク質がある。カエルの黒色素胞はそのメラノプシンを持っていることが発見されていて (I. Provencio, G. Jiang, W. J. De Grip, W. P. Hayes and M. D. Rillag, 1998), 光を受けると、カエルの黒色素胞は働きだす。そこで、もしかしたら、ヤモリの黒色素胞でも同様なことが起こっている可能性もあるのではないかと予想して実験をすることにした (表 1)。その関係を調べるために、今回の実験では使用する壁色は白と黒の 2 色のみを選んだ。前回の実験で明度の高い色は模様が出にくく、ヤモリの色覚で黒に見える色では模様が強く出ることが分かっているため、この 2 色で実験することにした。この実験で 2 色のケースどちらでも光の無い時の方が、模様は多く出ることが分かれば、光が無い時に黒色素胞が働き、光が有ることによって黒色素胞の働きが抑えられていることが分かるだろう。

壁色	光	模様の発生
白	無	視覚によって体色変化はするが模様は出ない
	有	光により、黒色素胞は働かない→模様無し
黒	無	視覚によって体色変化はするが模様は出ない
	有	光により、黒色素胞は働かない→模様無し

3. ニホンヤモリとミナミヤモリの飼育

3.1 八丈島でミナミヤモリを採集

実験開始時には、ニホンヤモリのみで実験していたが、実験 2 の後でミナミヤモリの個体を八丈島でメス 3 匹、オス 1 匹を採取することが出来た。採集場所は八丈島の底土野営場付近の樹木 (図 3, 4)。



図 3 八丈島底土野営場付近



図 4 樹木にいたミナミヤモリ



図 5 採集したミナミヤモリ



図 6 ミナミヤモリ 3 匹

採集時間は 22 時頃だった。比較的簡単に見つけることが出来た。ニホンヤモリと違い、人家の付近では見つけることが出来なかったが、樹木にはたくさんいた。採集したときに感じたのはニホンヤモリよりも黄みが強く、動きが素早かった。普段ニホンヤモリを見慣れていたので顔つきが違うことにも驚いた (図 5)。

3.2 ニホンヤモリとミナミヤモリについて

3.1 で書いた様に、実験 2 の後に八丈島でミナミヤモリのメス 3 匹、オス 1 匹を採集した。そのため、実験 3 よりニホンヤモリとミナミヤモリの 2 種で実験を進めることにした。まずは、よく観察してスケッチ

表 2 ニホンヤモリとミナミヤモリの違い

和名	ニホンヤモリ	ミナミヤモリ
学名	<i>Gekko japonicus</i>	<i>Gekko hokouensis</i>
形態	体長 100~140mm, 頭胴長 50~72mm, 体重 2.3~4.0g, 2~4 対の側肛疣を持つ	体長 100~130mm, 頭胴長 50~65mm, 体重 2.4~5.8g, 1 対の側肛疣を持つ
	背面の色は短時間に濃褐色から淡灰色まで著しく変化する	背面は灰褐色だが、短時間に濃褐色から淡灰色まで著しく変化する
生息環境	人家や灯りの近くに多く生息している	樹木や夜間照明の無い建造物に多く生息

出典: 侵入生物データベース/国立環境研究所 (最終アクセス: 2019 年 7 月 31 日)



図 9 ニホンヤモリのスケッチ



図 10 ミナミヤモリのスケッチ



図 7 灰色みの強いニホンヤモリ



図 8 黄みの強いミナミヤモリ

チ(図9, 10)をした。簡単に見分ける方法は、側肛疣がニホンヤモリは2~4対、ミナミヤモリは1対である。ミナミヤモリは背中に鎖状に模様がある個体が多い。また、ニホンヤモリの体色は全体的に灰色っぽいが、ミナミヤモリは黄色っぽい(表2, 図7, 8)。それは、ニホンヤモリは人家付近に生息するのに対して、ミナミヤモリは木の上で生活するためだろう。観察していてもミナミヤモリの行動範囲や産卵場所もほぼ木の上であり、擬態能力が極めて高かった(図6)。

3.3 飼育環境

飼育ケース(図11, 12, 13)は、コロ付き収納ケース(40×75×30.5 材質PP)の床に新聞紙を敷き、その上に犬猫用のトイレシートを敷いた。それを剥がれない様にマスキングテープで、シートを囲むように留めた。これはシートの下にニホンヤモリや餌のコオロギが潜り込むことを防ぐためである。飼育ケースにダンボールで作成したシェルター(図14)を入れ、隠れる場所を確保した。明るい時間はシェルターに隠れている。餌は、コオロギを2, 3日に1度あげた。たまにハニーワーム(ハチノスツヅリガの幼虫)を与え、飼育ケース内に給水器も設置した。また、工夫した点は、コロ付き収納ケースのフタ(図15)には、電動ドリルで穴をあけ、空気がこもらないようにした。また、フタとケースの隙間からニホンヤモリが逃げないようにサッシなどに貼る隙間にテープを貼った(図16)。冬場は、冬眠させないようにアルミシートを貼ったダンボールで囲いを作成し、上にも同様のフタを作り置いた。その中には、爬虫類用のシートヒーター(ピタリ適温プラス、みどり商会)を1枚敷き、アルミシート側面にはさらに2枚貼った(図17)。これによって、23~25°Cに保つことができた。

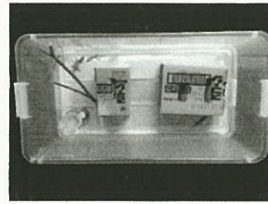


図11 ニホンヤモリの飼育ケース

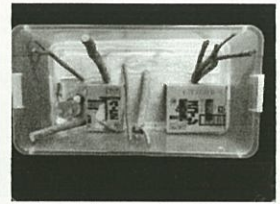


図12 ミナミヤモリの飼育ケース

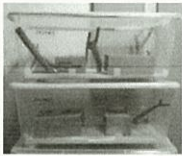


図13 飼育ケース

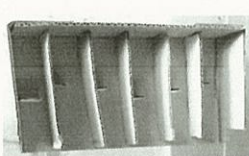


図14 シェルター

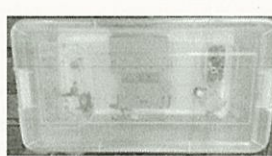


図15 フタ



図16 隙間テープ

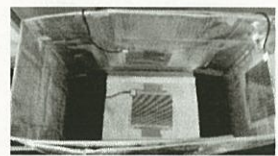


図17 温度管理

4. 【実験1】光と模様を調べる①

4.1 実験内容

ライトの有無によってニホンヤモリの模様の現れ方には違いがあるのかを調べる。

4.2 準備したもの

白いフタ付きケース 3個(図18)、黒いフタ付きケース 3個(図18)、白いLEDライト 3個(図18)、黒いLEDライト 3個(図18)、iPadで撮影するための台(図19)、iPad(撮影用)、ニホンヤモリ 10匹(図20)

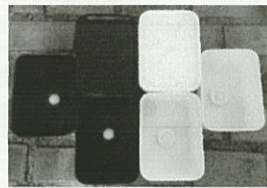


図18 ケースとLEDライト



図19 撮影用の台

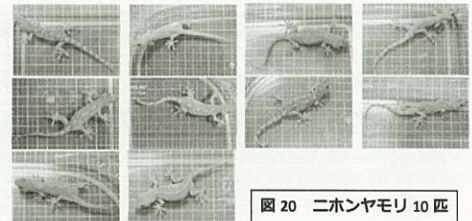


図20 ニホンヤモリ 10匹

4.3 実験方法

ニホンヤモリ(図20)を3匹ランダムで選びA・B・Cと振り分け、3箱にそれぞれ入れる。光ありの場合、箱に入れた後、床に設置したLEDライトをつけて1時間置く。1時間経ったらフタを開けライトを取り除いた後、すぐに写真を撮る。光無しの場合、箱に入れた後、そのまま1時間置き、1時間経ったらフタを開けてすぐに写真を撮る(図21)。

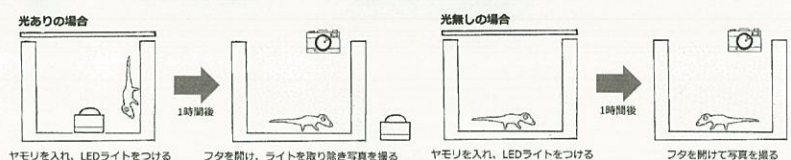


図21 実験1の方法

4.4 実験結果

11月25日, 27日, 28日, 29日, 12月9日の計5回実験をした。撮影した写真を見てみると黒いケースでのニホンヤモリがiPadのカメラの自動補正のために、色飛びしてしまい正確に模様を読み取ることが出来なかった(図22)。白いケースでは自動補正は起こらず、写真は鮮明に写っていた(図23)。画像に正確性がなければ正確な画像解析を行うことが出来ないと感じたため、1度実験を中止して改善策を考えることにした。



図22 ニホンヤモリA



図23 ニホンヤモリA

4.5 考察・改善点

カメラの自動補正や明るさの違いから正確に模様を読み取ることが出来なかった。これを揃えるには、撮影するときの箱の色を揃え、同条件の下で撮影をする必要があるということに気が付いた。黒ケースでは自動補正により、模様が鮮明に写らないが、白ケースでは撮影時に自動補正が起こりにくく、写真もきれいに写る。そこで、1時間置いた後に、すべてのヤモリを白ケースに移動させて、撮影をすることにした。そのためには、ヤモリを移動して

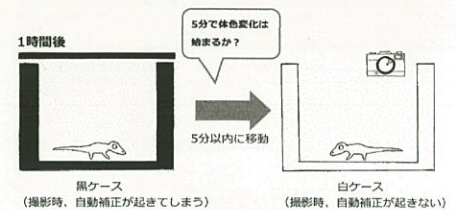


図24 実験1の改善策

いる際の時間に体色変化が起こらないということを証明する必要があると考えた。そのことを証明する方法として何分で体色変化が始まるかという実験をすることにした。まずは、5分で体色変化するか確認する実験2をすることにした。5分で体色変化が起こることが分かった場合は、時間を短くして再度実験をすることにした(図24)。

5. 【実験2】5分で体色変化は始まるのか

5.1 実験内容

写真を撮影する際、正確に模様を読み取るためカメラの自動補正が起こらない白ケースで撮影することにした。そのために、移動してから写真を撮影するまでの5分間で体色変化が起こらないことを証明する。

5.2 準備したもの

白いフタ付きケース 1個(図18)、黒いフタ付きケース 3個(図18)、iPadで撮影するための台(図19)、iPad(撮影用)、ニホンヤモリ10匹(図20)、タイマー、実験1で使用したものと同じものを使用した。

5.3 実験方法

ニホンヤモリ(図20)を3匹ランダムで選びA・B・Cと振り分け、黒ケース3箱にそれぞれ入れる。そのケースを暗所で1時間置き、1時間経ったらフタを開け、5分間のタイマーをスタートさせた後、急いで白いケースに移動させる。その時、写真撮影をしておく。5分経ったら、白いケースを開けすぐに写真撮影をする。黒いケースから白いケースにヤモリを移動させてから、5分前と5分後を比べて体色変化が起こっているのか実験する。これを、3匹ずつ4回行い12回分のデータを取る(図26)。5分前と5分後に撮影した写真をImageJで画像解析をする。解析方法としてニホンヤモリの頭部の下から尻尾の付け根までをトリミングして、その部分の全体面積と模様面積の比率を求めた。



図25 紙粘土で作った模型

5分前と5分後で同様の解析をして、模様の割合を表にまとめた。事前に、紙粘土で作ったヤモリの模型(図25)に模様を描き、明るさの違う時間、角度、場所を変えて撮影し、画像解析を5回行ったところ、同じ模型でも測定結果に誤差が2%程発生してしまうことがあった。そのため、撮影機器や明るさの条件の誤差と、画像解析の技術力による読み取り誤差を考慮して±2%を誤差範囲と決め、その誤差範囲内であれば、体色変化は起きなかったとして×、±2%よりも変化が起きた場合は○と判断することにした。

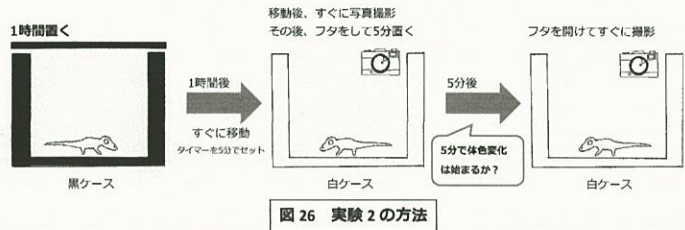


図26 実験2の方法

5.4 ImageJでの解析方法

- ① 下準備として、写真を編集と作成から回転をさせ、できるだけ垂直になるように編集する。編集したファイル名は、2019-02-01 ipad 039-1.jpgとなるように、-1を末尾につける。
- ② imageJでの解析を始める。まずは、垂直にした写真ファイルを開き、トリミング加工をする。トリミング範囲は頭部の下～尻尾の付け根までの胴体部分のみとする。トリミング後の画像は、名前を付けて保存する
- ③ ②の画像を8bitで白黒化をして、画像を保存する。
- ④ 模様の面積を調べるため閾値設定をする。指定コマンドから最小、最大を設定し、模様の部分が赤くなるように調整する。その際、注意することは模様以外の選択を避けるため、範囲選択をして適当な部分を抜き出す。
- ⑤ 粒子解析を実行し、各ファイルを保存しておく。その際は、赤文字のように、ファイルの頭にA前模様など分かりやすく名前を付ける。模様の総面積は結果をまとめたExcelの表に記入しておく。
- ⑥ ⑤で使用した白黒画像を開き、全体面積を調べるため、画像を二値化する。⑥と同様に粒子解析を実行し、全体の面積をExcelの表に記入する。模様の解析と同様に各ファイルに名前を付けて保存する。

5.5 実験結果

表3 実験2の結果

2月1日	実験前	5分後	2月4日	実験前	5分後	2月8日	実験前	5分後	2月11日	実験前	5分後
A											
B											
C											

表4 実験2の結果をまとめた表

2月1日			面積	模様の割合(%)	2月4日			面積	模様の割合(%)	2月8日			面積	模様の割合(%)	2月11日			面積	模様の割合(%)
A	開始時	全体面積	48,136	1.05%	A	開始時	全体面積	55,778	2.31%	A	開始時	全体面積	70,628	0.00%	A	開始時	全体面積	39,604	2.51%
		模様面積	506				模様面積	1,287				模様面積	0				模様面積	996	
	5分後	全体面積	40,077	7.83%	A	5分後	全体面積	47,750	10.76%	A	5分後	全体面積	65,364	3.96%	A	5分後	全体面積	34,372	1.54%
		模様面積	3,139				模様面積	5,137				模様面積	2,587				模様面積	528	
判定				-6.78%	判定				-8.45%	判定				-3.96%	判定				0.98%
				○					○					○					x

2月1日			面積	模様の割合(%)	2月4日			面積	模様の割合(%)	2月8日			面積	模様の割合(%)	2月11日			面積	模様の割合(%)
B	開始時	全体面積	46,969	3.74%	B	開始時	全体面積	48,167	7.33%	B	開始時	全体面積	52,787	0.00%	B	開始時	全体面積	38,237	1.58%
		模様面積	1,758				模様面積	3,530				模様面積	0				模様面積	606	
	5分後	全体面積	47,672	1.34%	B	5分後	全体面積	45,757	7.75%	B	5分後	全体面積	55,965	4.29%	B	5分後	全体面積	32,893	2.10%
		模様面積	637				模様面積	3,544				模様面積	2,402				模様面積	692	
判定				2.41%	判定				-0.42%	判定				-4.29%	判定				-0.52%
				○					x					○					x

2月1日			面積	模様の割合(%)	2月4日			面積	模様の割合(%)	2月8日			面積	模様の割合(%)	2月11日			面積	模様の割合(%)
C	開始時	全体面積	42,597	0.22%	C	開始時	全体面積	37,128	7.33%	C	開始時	全体面積	54,587	0.00%	C	開始時	全体面積	38,633	0.00%
		模様面積	94				模様面積	2,723				模様面積	0				模様面積	0	
	5分後	全体面積	50,117	2.74%	C	5分後	全体面積	44,770	10.61%	C	5分後	全体面積	54,276	2.73%	C	5分後	全体面積	42,156	0.00%
		模様面積	1,371				模様面積	4,750				模様面積	1,483				模様面積	0	
判定				-2.51%	判定				-3.28%	判定				-2.73%	判定				0.00%
				○					○					○					x

単位：ピクセル

この実験で、12回中8回は5分で体色変化が起こっていた。目で確認できる程の体色変化が起きている個体が多かった。結果を表3と表4にまとめた。

5.6 考察・改善点

撮影機器や明るさの条件の誤差と、画像解析の技術力による読み取り誤差を考慮して±2%を誤差範囲と決め、その誤差範囲内であれば、体色変化は起きなかったとして×、±2%よりも変化が起きた場合は○と判断することにした。その結果、12回中8回で○になった。このことから、ニホンヤモリは5分では体色変化が起きてしまうと分かったので、次回はさらに時間を短くして2分で体色変化が起こるか実験することにした。しかし、結果から1つ気になる点があった。黒ケースから白ケースに移動させたので模様は薄くなると予想していたのだが、実際には模様は5分後には多くなっていく個体が多かった。今回の実験では5分後に体色変化が起こるか、起こらないかに着目して実験をしたため、5分後に体色変化が起こるという結果は出たのだが、疑問が残った。そこで、ヤモリ類について書かれている文献を調べてみたところ「ヤモリは緊張度合いにより体色変化が起こることもある」(海老沼, 2014)と記載されていた。また、他のヤモリ種の説明でも「周囲の環境や気分によって体色変化する」(二木, 2015)とも書かれていた。ニホンヤモリだけの生態を記載している文献を見つけることは難しく、インターネットで検索してみたところ、「ある程度気分と環境により色を変化させる」や「危険を感じると変化する」など書かれているニホンヤモリの飼育サイトも多く見られた。このことを知り、今回の実験では黒ケースから短時間に移動させ、写真撮影をしたことにより、ニホンヤモリに強いストレスが加わってしまい体色変化が起きたのだと考えた。また、この実験を行っていた2月頃、ニホンヤモリの元気がなくなっていた。本来ならば冬眠している時期だったので暖房管理で人工的に越冬させることで負担がかかるのかもしれないと感じた。そこで暖房管理をさらに徹底し、カルシウム、ビタミンを与え、爬虫類飼育書などを調べ、紫外線ライトを浴びせた。しばらく実験を中止し、続け飼育したところ、元気になってくれた。暖かくなった4月20日に、特に元気だった4匹を残し元の生息場所へリリースした。生物観察の難しさを実感した。

6. 【実験3】ミナミヤモリの壁色による体色変化

6.1 実験内容

5月に八丈島で採集したミナミヤモリ4匹でも実験をするために、前回のニホンヤモリの壁色による体色変化の研究で行った同様の実験をミナミヤモリでも行い、ミナミヤモリの色覚もニホンヤモリと同様であることを調べる。

6.2 準備したもの

ミナミヤモリ4匹(メス3匹, オス1匹)(図28)、塗装した飼育ケース5つ、(ニホンヤモリの体色変化の実験で使用した赤, 橙, 黄, 緑, 青のペンキを塗った飼育ケース, 18x29.5x20cm PP製)(図27)、色見本を貼ったケース(図29)、コロ付きケース、ラップ(クレラップ, 飼育ケースのフタとして)

6.3 実験方法

A~Dの名前を付けたミナミヤモリ4匹を赤, 橙, 黄, 緑, 青のケースにそれぞれ1匹ずつ入れ, 明所, 暗所に1時間ずつ置いた後に, 観察をする。明所は日光または電灯の下で1時間以上当てておく。暗所は真っ暗な場所, 押し入れて1時間以上置く。その後, 色付きケースから出し色見本を貼ったケース(図29)に移動させ写真撮影をする。その時, どの色の分類に体色変化をしているかデータを記録する(図30)。実験が終わったらいつもの飼育ケースへ戻す。これを各色2回ずつ行った。前回のニホンヤモリの体色変化の実験時に必要だと感じた色見本を作成した(図33)。色味をパソコンで



図27 使用したケース

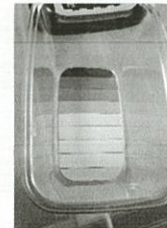


図29 色見本を貼った

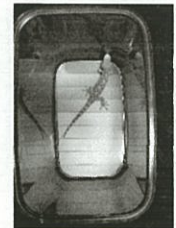


図30 近い色を探す

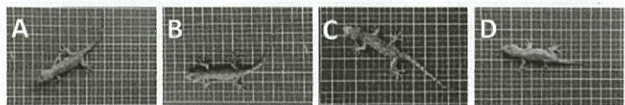


図28 実験したミナミヤモリ



図31 脱走防止策



図32 ラップを貼ったケース

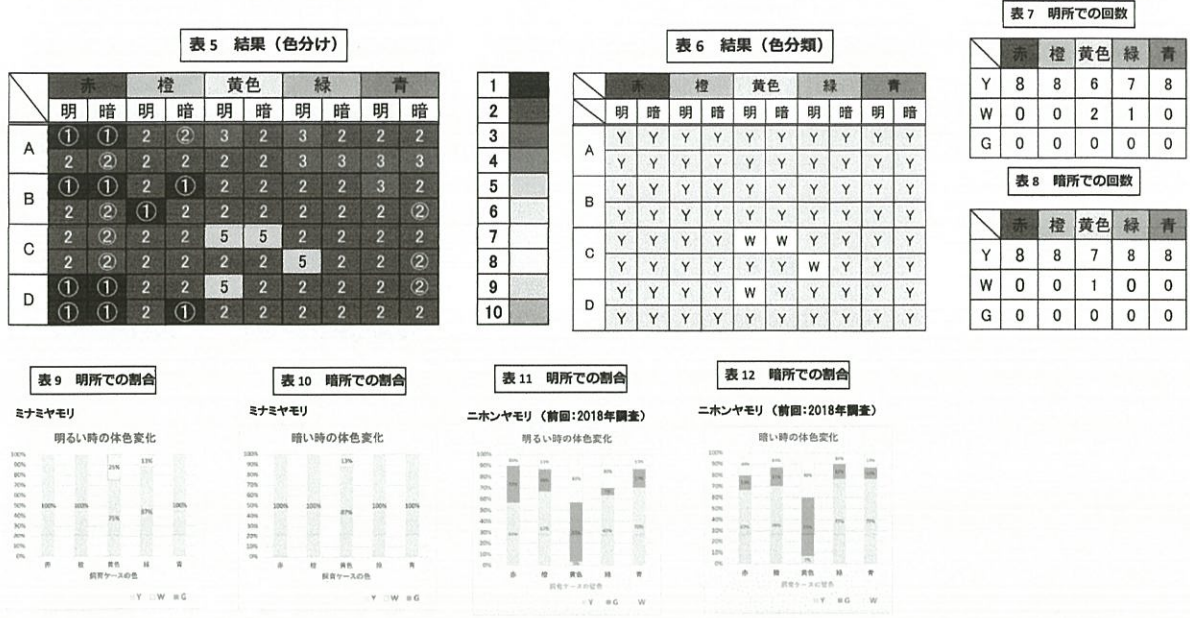


図33 色見本

出すのに苦労した。また、実験時以外の時間は飼育ケースにいるため、ニホンヤモリの実験時に使用したトイレットペーパーの芯で作ったシェルターと、水入れは置かないことにした。黒いフタに反応しないようにするためと、ライト・日光がたくさん当たるようにフタを付けず、ラップを付けて、空気穴を開けた。それを動きの素早いミナミヤモリの逃走防止のため、コロ付きケースに入れた(図31, 32)。

6.4 実験結果

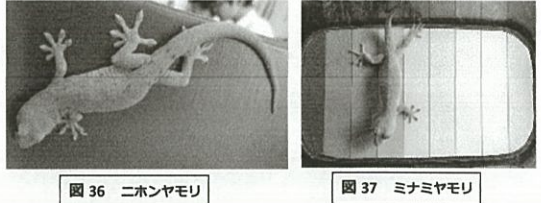
実験で起こった体色変化を色分けした表にまとめた(表5)。それをさらに色分類に分けた表を作成し(表6)、その回数を数え(表7, 8)、割



合グラフにまとめた(表9, 10, 11, 12)。

割合をニホンヤモリの時と同じようにグラフにしたところ、明所、暗所の割合がニホンヤモリと似ていた(表9, 10, 11, 12)。黄色の飼育ケースの時にY以外の反応が多く出ていて、黄色のケースでは、明るい体色変化になった。赤、橙のケースの時に体色変化とともに濃い模様が多く現れ全体的に黒くなっていた。青みのかかった色は出てこない。

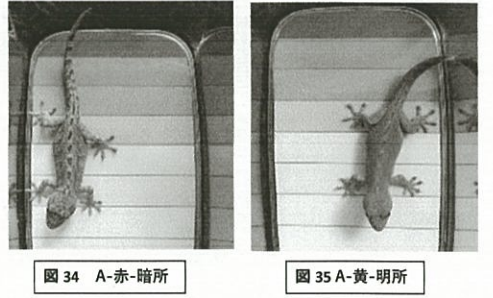
ニホンヤモリではW(白っぽい)、G(灰色っぽい)体色変化が多く出ていたが、ミナミヤモリではW(白っぽい)、G(灰色っぽい)反応がほとんど出なかった。出ていたのは黄色のケースでW(白っぽい)が4回あったが、真っ白にはならなかった。Y(黄色っぽい)色が多く、ニホンヤモリでは見られない緑がかった黄色になることが多く、飼育し始めてから1度も灰色っぽく体色変化をする様子が見られなかった。ミナミヤモリの背骨に沿って出る模様は、濃さは違っていても毎回同じ形・位置であったが、ニホンヤモリには、背骨に沿っての模様は無い。ミナミヤモリの特徴のようだ(図34, 35)。



6.5 考察・改善点

この実験結果の割合からミナミヤモリもニホンヤモリと同様で、暗所での視覚があることが分かった。青みのかかった色は出てこないことから虹色素胞はほとんど無いことも分かる。割合も似ていることから、ニホンヤモリと同様にL錐体(赤)が機能していない色覚であり、ミナミヤモリの色覚も2色型第一色覚であると分かった。人間と同じように見えている色覚は黄色の部分だけで、黄色は明度の高い色として認識しているのだろう。

ニホンヤモリは、人家付近で生活するため、様々な壁の色やライトの色・コンクリートの色へ体色変化させる必要がある。そのために体色の幅が広いのではないだろうか(図36)。しかし、ミナミヤモリは人家に現れることは無く、木の上で過ごす。そのため、白・灰色に体色変化させることが必要ないのではないだろうか。最も必要なことは木に擬態することであり、黄色・緑がかった黄色になることで生き伸びていくのだろう(図37)。同じヤモリ科であっても、生活する場所によって体色変化が違うのだろう。ニホンヤモリは、黄色っぽい白～灰色っぽい白まで白っぽいにも数色あった。ミナミヤモリは、ニホンヤモリのように真っ白・灰色がかった色になることは無いようだ。



7. 【実験4】2分で体色変化は始まるのか

7.1 実験内容

実験2では移動してから5分以内に体色変化が起きてしまうことが分かったため、今回は2分で体色変化が始まるのか調べることにした。実験3でニホンヤモリと同じ色覚だと分かったミナミヤモリも実験することにした。

7.2 準備したもの

白いフタ付きケース 1 個 (図 18)、黒いフタ付きケース 4 個 (図 18)、iPad で撮影するための台 (図 19)、iPad (撮影用)、ニホンヤモリ 4 匹 (図 38)、ミナミヤモリ 4 匹 (図 38)、タイマー、実験 1 で使用したものと同じものを使用した。

7.3 実験方法

実験 2 と同様の実験を NA~ND と名前を付けたニホンヤモリ 4 匹, MA~MD と名前を付けたミナミヤモリ 4 匹で行う (図 38)。各ヤモリを黒ケース 4 箱にそれぞれ入れる。そのケースを暗所で 1 時間置き、1 時間経ったらフタを開け、2 分間のタイマーをスタートさせた後、急いで白いケースに移動させる。その時、写真撮影をしておく。2 分経ったら、白いケースを開けすぐに写真撮影をする。黒いケースから白いケースにヤモリを移動させてから、2 分前と 2 分後を比べて体色変化が起こっているのか実験する。これを、4 匹ずつ 5 回行い 40 回分のデータを取る (図 39)。2 分前と 2 分後に撮影した写真を ImageJ で画像

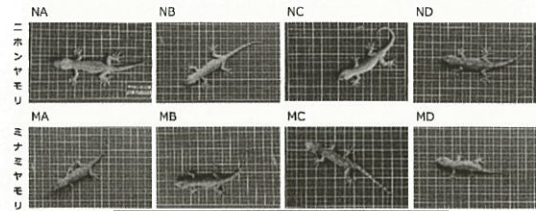


図 38 実験したニホンヤモリ ミナミヤモリ

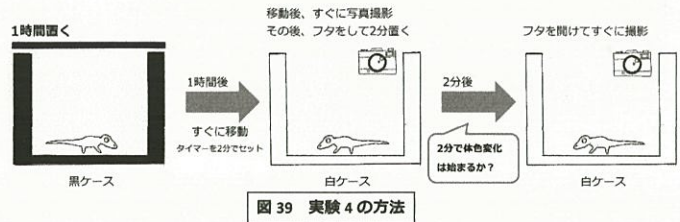


図 39 実験 4 の方法

解析をする。方法としてニホンヤモリの頭部の下から尻尾の付け根までをトリミングして、その部分の全体面積と模様面積の比率を求めた。2 分前と 2 分後で同様の解析をして、模様の割合を表にまとめた。5.3 と同様に、撮影機器や明るさの条件の誤差と、画像解析の技術力による読み取り誤差を考慮して $\pm 2\%$ を誤差範囲と決め、その誤差範囲内であれば、体色変化は起きなかったとして \times 、変化が $\pm 2\%$ よりも変化が起きた場合は \circ と判断することにした。

7.4 実験結果

表 14 実験 4 の結果 ニホンヤモリ

4回目			5回目			1回目			2回目			3回目		
実験前	2分後		実験前	2分後		実験前	2分後		実験前	2分後		実験前	2分後	
NA			NA			NA			NA			NA		
NB			NB			NB			NB			NB		
NC			NC			NC			NC			NC		
ND			ND			ND			ND			ND		

表 15 実験 4 の結果 ミナミヤモリ

4回目			5回目			1回目			2回目			3回目		
実験前	2分後		実験前	2分後		実験前	2分後		実験前	2分後		実験前	2分後	
MA			MA			MA			MA			MA		
MB			MB			MB			MB			MB		
MC			MC			MC			MC			MC		
MD			MD			MD			MD			MD		

表 16 実験 4 の画像解析結果 ニホンヤモリ

ニホンヤモリ		2回目		3回目		4回目		5回目	
1回目		6月16日		6月16日		6月17日		6月17日	
面積	体積	面積	体積	面積	体積	面積	体積	面積	体積
開始時	49,743	開始時	44,994	開始時	49,165	開始時	51,649	開始時	45,940
2分後	52,197	2分後	52,385	2分後	42,943	2分後	45,825	2分後	53,819
判定	0.00%	判定	0.00%	判定	0.00%	判定	0.00%	判定	0.00%
	X		X		X		X		X
開始時	1,890	開始時	64,994	開始時	49,874	開始時	53,880	開始時	55,005
2分後	47,743	2分後	54,338	2分後	1,509	2分後	6,917	2分後	7,658
判定	0.12%	判定	1.28%	判定	0.96%	判定	-0.52%	判定	-0.72%
	X		X		X		X		X
開始時	39,383	開始時	40,220	開始時	39,644	開始時	38,593	開始時	37,295
2分後	38,402	2分後	1,039	2分後	91	2分後	514	2分後	1,524
判定	0.31%	判定	1.48%	判定	-0.55%	判定	0.38%	判定	2.59%
	X		X		X		X		X
開始時	50,771	開始時	51,862	開始時	52,526	開始時	49,456	開始時	49,456
2分後	47,259	2分後	6,453	2分後	47,967	2分後	3,431	2分後	7,521
判定	1.41%	判定	1.77%	判定	-1.65%	判定	0.74%	判定	1.28%
	X		X		X		X		X

表 17 実験 4 の画像解析結果 ミナミヤモリ

ミナミヤモリ		2回目		3回目		4回目		5回目	
1回目		6月22日		6月22日		6月23日		6月23日	
面積	体積	面積	体積	面積	体積	面積	体積	面積	体積
開始時	41,855	開始時	43,721	開始時	43,098	開始時	40,350	開始時	44,377
2分後	40,786	2分後	36,888	2分後	42,245	2分後	45,207	2分後	49,830
判定	0.20%	判定	0.65%	判定	-0.31%	判定	-0.40%	判定	1.28%
	X		X		X		X		X
開始時	32,763	開始時	38,910	開始時	33,277	開始時	35,976	開始時	33,313
2分後	30,527	2分後	681	2分後	1,413	2分後	2,385	2分後	1,981
判定	-0.79%	判定	-0.58%	判定	1.14%	判定	0.28%	判定	0.75%
	X		X		X		X		X
開始時	30,743	開始時	27,969	開始時	27,327	開始時	28,423	開始時	32,210
2分後	29,759	2分後	1,088	2分後	2,270	2分後	876	2分後	1,995
判定	-1.04%	判定	1.05%	判定	3.96%	判定	0.93%	判定	1.20%
	X		X		X		X		X
開始時	36,096	開始時	37,369	開始時	38,691	開始時	36,936	開始時	36,368
2分後	36,346	2分後	72	2分後	41,237	2分後	178	2分後	37,830
判定	0.00%	判定	-0.43%	判定	0.00%	判定	-0.07%	判定	-1.43%
	X		X		X		X		X

写真に記録し一覧にまとめ (表 14, 15), それを ImageJ で画像解析をした結果を表 (表 16, 17) にした。

40 回中 39 回の 97.5% が 2 分で体色変化が起きなかった。ヤモリ別だと、ニホンヤモリは 20 回中 20 回の 100%, ミナミヤモリは 20 回中 19 回の 95% が、2 分以内に体色変化がないという結果だった。

7.5 考察・改善点

撮影機器や明るさの条件の誤差と、画像解析の技術力による読み取り誤差を考慮して ±2% を誤差範囲と決め、その誤差範囲内であれば、体色変化は起きなかったとして ×, ±2% よりも変化が起きた場合は ○ と判断することにした。その結果、ニホンヤモリは 20 回全て、× になった。ミナミヤモリは 1 回だけ (3 回目・MC) ○ になり、体色変化が起きていることが確認できたが、それ以外の 19 回のデータは × だった。この結果から、2 分では体色変化が起きないと分かった。次の実験では 2 分以内に写真を撮れば、体色変化が起こる前の正確なデータが取れると証明できた。実験 2 と、今回の実験 4 からニホンヤモリ・ミナミヤモリは 2 分以上 5 分以内で体色変化が始まることも分かった。想像していた時間よりも短い時間で体色変化が起こるとわかり驚いた。

8. 【実験 5】光と模様を調べる②

8.1 実験内容

ライトの有無によってニホンヤモリ・ミナミヤモリの模様の現れ方には違いがあるのかを調べる。

8.2 準備したもの

白いフタ付きケース 4 個 (図 43)、黒いフタ付きケース 4 個 (図 43)、白い LED ライト 4 個 (図 40)、黒い LED ライト 4 個 (図 40)、マジックテープ (図 41)、iPad で撮影するための台 (図 19)、iPad (撮影用)、ニホンヤモリ 4 匹 (図 44)、ミナミヤモリ 4 匹 (図 44)

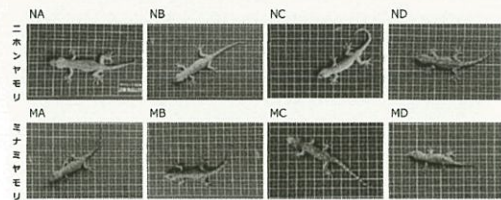


図 44 実験したニホンヤモリ・ミナミヤモリ

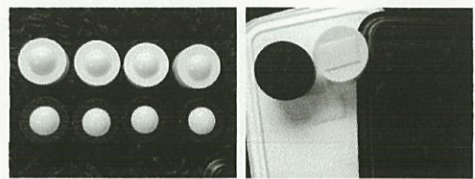


図 40 LED ライト

図 41 マジックテープ

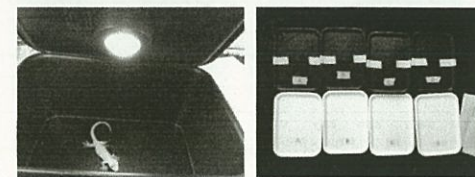


図 42 LED ライトを貼り付けた

図 43 使用したケース

8.3 実験方法

NA~ND と名前を付けたニホンヤモリ 4 匹, MA~MD と名前を付けたミナヤマモリ 4 匹で行う (図 44)。各ヤモリを 4 匹それぞれ 4 箱に入れライト有・無を 1 回 1 時間ずつ行う。1 時間経って開けたら光有りの場合はすぐにライトを取り, 写真を撮影する。光無しの場合はすぐに写真を撮影する。各ヤモリで白なし・白あり・黒なし・黒ありそれぞれ 3 回ずつデータを取る (図 45)。その後, 画像を ImageJ で模様を解析する。解析方法は, 実験 2 と実験 4 と同様に, ニホンヤモリの頭部の下から尻尾の付け根までをトリミングして, その部分の全体面積と模様面積の比率を求め, 模様の割合を表にまとめた。

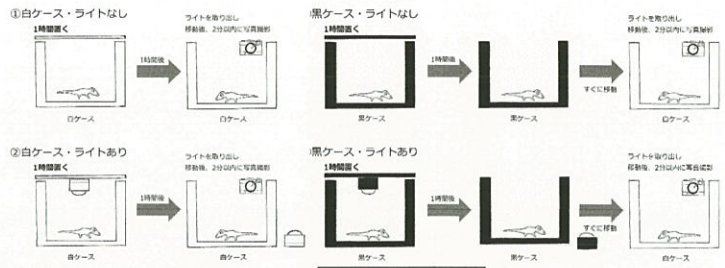


図 45 実験 5 の方法

8.4 実験結果

実験の結果を写真にまとめ (表 22, 23), 変化の有無を表にまとめた (表 25, 26, 27, 28)。

表 22 実験 5 の結果 ニホンヤモリ

ニホンヤモリ		単位: ピクセル							
	①白・光なし		②白・光あり		③黒・光なし		④黒・光あり		
	面積	模様の割合(%)	面積	模様の割合(%)	面積	模様の割合(%)	面積	模様の割合(%)	
NA	全体	53,590	0.00%	50,366	0.00%	49,780	0.00%	52,517	0.18%
	模様	0		0		0		95	
	面積	48,383	0.00%	48,090	0.00%	45,750	0.00%	44,716	0.00%
	模様	0		0		0		0	
NC	全体	49,202	0.00%	43,689	0.00%	43,179	5.02%	46,670	0.00%
	模様	0		0		2,166		3,201	
	面積	47,641	0.00%	45,065	0.00%	46,670	6.86%	42,951	0.00%
	模様	0		0		0		0	
NB	全体	62,649	0.53%	58,624	0.00%	55,437	6.44%	52,853	2.18%
	模様	331		0		3,571		1,150	
	面積	57,044	1.54%	56,772	0.00%	53,422	3.39%	51,512	0.40%
	模様	881		0		1,811		208	
ND	全体	59,114	0.00%	56,308	0.00%	60,993	9.32%	49,587	1.52%
	模様	0		0		5,683		753	
	面積	57,493	1.31%	53,439	0.00%	52,675	7.03%	52,964	0.96%
	模様	684		0		3,702		306	

表 23 実験 5 の結果 ミナヤマモリ

ミナヤマモリ		単位: ピクセル							
	①白・光なし		②白・光あり		③黒・光なし		④黒・光あり		
	面積	模様の割合(%)	面積	模様の割合(%)	面積	模様の割合(%)	面積	模様の割合(%)	
MA	全体	37,744	2.53%	39,783	0.79%	46,110	1.92%	45,641	1.90%
	模様	956		313		887		869	
	面積	41,160	1.95%	43,653	1.08%	42,911	7.67%	40,710	2.07%
	模様	803		470		3,292		841	
MB	全体	37,307	0.00%	38,999	0.00%	42,766	4.58%	44,018	1.35%
	模様	0		0		1,960		593	
	面積	40,007	0.48%	40,006	0.00%	39,663	3.37%	34,715	2.29%
	模様	193		0		1,337		795	
MC	全体	41,197	0.00%	38,425	0.00%	45,295	0.00%	43,758	1.04%
	模様	0		0		0		457	
	面積	37,263	0.46%	39,871	0.00%	36,046	0.38%	30,735	0.36%
	模様	172		0		138		112	
MD	全体	36,927	0.00%	40,924	0.00%	38,934	0.46%	36,389	0.42%
	模様	0		0		181		153	
	面積	35,760	0.00%	37,167	0.00%	36,117	1.15%	37,635	0.00%
	模様	0		0		415		0	

ニホンヤモリは、NAが1度だけ光ありの方が光なしの時よりも模様の割合が高かったが、それ以外のデータは白・黒両方とも光ありの時よりも光なしの方が模様の割合が高くなっていった。

ミナミヤモリも、MDが1度だけ光ありの方が光なしの時よりも模様の割合が高かったが、それ以外のデータは白・黒両方とも光ありの時よりも光なしの方が模様の割合が高くなっていった。ニホンヤモリとミナミヤモリで同じような結果になった。

白いケースでは、光が無い時の方がある時に比べて模様がよく出る割合がニホンヤモリ・ミナミヤモリ共に58%、変化無しも42%、光がある時の方が無い時に比べて模様がよく出る割合は0%だった。

黒いケースでは、光が無い時の方がある時に比べて模様がよく出る割合がニホンヤモリ75%、ミナミヤモリ92%とさらに高くなった。変化無しはニホンヤモリ17%・ミナミヤモリ0%と割合は低かった。白いケースと違い、光がある時の方が無い時に比べて模様がよく出る割合は、ニホンヤモリ・ミナミヤモリ共に8%あった。どちらの色のケースでも、変化無しの結果の時、光の有無に関わらず模様がでておらず、模様の割合は光が無い時0%、光がある時0%であった。

8.5 考察・改善点

この実験から光が無い時模様がよく出ることまでは確かめることができた。このことから、黒色素胞は光があると働きが弱くなるが、光がないと働きが強くなると考えた。しかし、その反応が皮膚などから光を感じ取って黒色素胞が働いているのか、視覚から伝達され黒色素胞が働いているのかはわからなかった。失明したヤモリを採集できない限りは確認できることではないと頭を悩ませていた。

8.6 暗間で模様の出ないヤモリ

実験5で出た結果から導き出す結論が出なくて悩んでいる時、普段ヤモリを飼育している部屋に用事があり、深夜の真っ暗な部屋に入った。すると、プラスチックケースに入っているニホンヤモリ・ミナミヤモリが共に模様が無く白い色をしていた(図46)。ヤモリは光を感じない時に、黒色素胞が活発に働くと考えていたので、ハッとした。光を感じない暗間に長時間いたのに模様が1つもない。この出来事から、今まで考えていた黒色素胞は光があると働きが弱くなるが、光がないと働きが強くなるという考えは違うと分かった。

そこで、実験5の結果を光の有無だけでなくケースの色別で考えてみた(表25, 26, 27, 28)。すると、興味深い結果に気づいた。ケース別に見ると、「変化無し」だった割合が多くあったことだ。それまでは、光の無い時に模様がよく出ることばかりに注目していたので考えが偏ってしまっていた。

白ケースでは光の有無で模様の発生を比較しても、変化が無い場合が多かった。変化があっても1%未満の違いであることが多かった。それは、光を受けていても、いなくてもあまり変わらないということだ。そして、光が無い時に、黒色素胞が働くのであれば、白でももっと模様は発生していたはずだったが差があまり無かった。つまり、光を感じ取ったのではなく、「白」として、視覚からの情報で認識し、白の明度の違いで多少の模様の差を出していたのだろう。

黒ケースでは光の有無で模様の発生を比較した時、白ケースよりは少なかったが変化無しは2回あり、光がある時の方が無い時に比べて模様がよく出ること2回あった。光の有る時の方が、模様がよく発生するという事は、仮説とは逆の結果であり、光を感じとり、光の有無で黒色素胞が働くわけではないようだ。黒ケースの場合も、白ケースと同様に、光が壁色に当たり明度が変わった明るい黒・暗い黒をどちらも「黒」として視覚で認識して明度に合わせて模様を発生させているのだろう。こちらも、また光を感じ取ったのではなく、目から入った色の情報で模様を発生させているのではないか。この2色のケースでの結果から、ヤモリはどこからか光を感じ取り、光が無い時に黒色素胞が活発に働きますことという私の立てた仮説も違うとわかった。光が当たることによって明度の変化した色を視覚から認識し、模様の濃淡・面積を変えていたのだろう。

9. 結論と課題

9.1 結論

光が壁に当たることによって明度の変化が起こった色を、視覚で認識し、その情報によって体色を変え、模様を発生させていた。また、模様発生までの時間も2~5分以内で予想していた時間よりも圧倒的に短いことも分かった。

表 25 ニホンヤモリの白ケース

白ケース	光が無い時の方が ある時に比べて 模様がよく出る	変化無し	光がある時の方が 無い時に比べて 模様がよく出る
NA	1	2	0
NB	3	0	0
NC	1	2	0
ND	2	1	0
計	7	5	0
割合	58%	42%	0%

表 26 ミナミヤモリの白ケース

白ケース	光が無い時の方が ある時に比べて 模様がよく出る	変化無し	光がある時の方が 無い時に比べて 模様がよく出る
MA	3	0	0
MB	2	1	0
MC	2	1	0
MD	0	3	0
計	7	5	0
割合	58%	42%	0%

表 27 ニホンヤモリの黒ケース

黒ケース	光が無い時の方が ある時に比べて 模様がよく出る	変化無し	光がある時の方が 無い時に比べて 模様がよく出る
NA	0	2	1
NB	3	0	0
NC	3	0	0
ND	3	0	0
計	9	2	1
割合	75%	17%	8%

表 28 ミナミヤモリの黒ケース

黒ケース	光が無い時の方が ある時に比べて 模様がよく出る	変化無し	光がある時の方が 無い時に比べて 模様がよく出る
MA	3	0	0
MB	3	0	0
MC	3	0	0
MD	2	0	1
計	11	0	1
割合	92%	0%	8%

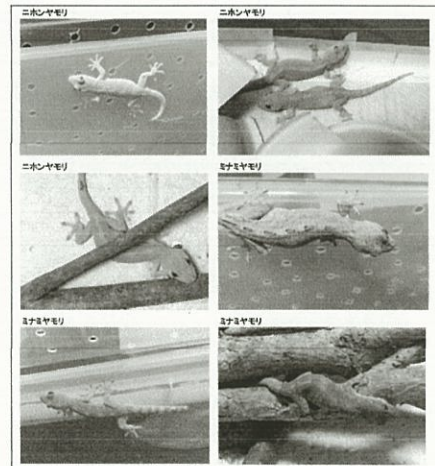


図 46 暗間で模様の出ないニホンヤモリとミナミヤモリ

9.2 課題

体色変化、黒色素胞と調べていくうちに虹色素胞についても調べたいと思った。しかし、ヤモリには虹色素胞が少ないことは前回の研究で分かっている。前回の研究で皮膚が金に光っているニホンヤモリを観察したことがある(図47)。虹色素胞の働きなどは予想しているが、どうやって、調べていこうかまだわからない。考えながら次の研究に進みたい。

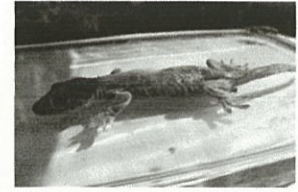


図47 金に輝くニホンヤモリ(2018年7月)

10. あとがき・謝辞

今回の研究で急激なストレスでも体色変化が起きるのではないかと感じた。なぜならば、実験中にヤモリが急に暴れだし、写真を撮ることが難しかったり、脱走してしまったりすることがあった。中には自切してしまった個体もいた。そのような時は、体色変化が起きていたからだ。ストレスと体色変化の関係にも興味があった。

前回の研究で採集したニホンヤモリと1年間を過ごした。室内で飼育したため、暖房をつけ越冬させた。それによって体調不良になってしまったヤモリが出てしまい、どうしたら元気になるか調べながらの苦労した1年間だった。生物研究、命を扱う研究の難しさも感じたが、暖かくなり元気になってきたヤモリを見て嬉しかった。昨年、卵から孵った2匹も元気に育ってくれた。

春になり、八丈島でミナミヤモリを採集し研究に加えた。同じヤモリでも姿、生態が違い、性格も違う。ニホンヤモリよりもミナミヤモリの方が素早く動き、ジャンプ力がすごい。擬態能力も素晴らしく、毎日木に隠れるヤモリを見つけることが日課だった。生息地が違うヤモリはこんなにも違うのかと驚き、比べて飼育しているとたくさんの違いに気づき楽しかった。ヤモリの体色変化を前回のパート1から継続して調べているが、調べれば調べるほど、ヤモリは暗闇で生き抜くために優れた視覚を持っていると驚かされる。まだまだ不思議な部分が多いヤモリに魅力を感じる。今後もヤモリについて継続して研究していきたいと思う。

また、今回の研究が終わり、越冬させることはヤモリの負担になると感じたため、ニホンヤモリは元居た自宅の庭へ逃がし、ミナミヤモリは夏の終わりに八丈島へ連れていき自然に戻してきた。また出会える日が来れば嬉しい。

本研究にあたり、並木中等教育学校科学研究部の粉川先生に研究指導をしていただき、ありがとうございました。また、科学研究部員や先輩方を始め、研究に協力してくださった方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

11. 参考文献・ウェブサイト

- I. Provencio, G. S. Jiang, W. J. De Grip, W. P. Hayes and M. D. Rollag: "Melanopsin: An opsin in melanophores, brain, and eye," Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A., 95 (1998) 340-345.
- 研究室での画像処理:ImageJの使い方・基礎編 2017.5.13 大金賢司 (26 page PDF)(最終アクセス:2019年2月1日)
- ImageJ 日本語情報 画像解析ソフトの定番 ImageJ のまとめ <https://seesaawiki.jp/w/ImageJ/>(最終アクセス:2019年2月1日)
- 爬虫類飼育サイト-Dragon's Gate- http://happytrigger.org/dragons_gate/about/jg_charm.html(最終アクセス:2019年8月21日)
- Woriver <https://woriver.com/5269> (最終アクセス:2019年8月21日)
- 二木 勝, 爬虫類飼育完全マニュアル vol.1, 笠倉出版社 P.18 (2015)
- 海老沼 剛, ゲッコウとその仲間たち, 誠文堂新光社 P.11 (2014)
- 侵入生物データベース/国立環境研究所 <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/>(最終アクセス:2019年7月31日)
- 八丈ビジターセンター八丈島自然情報 <http://www.hachijo-vc.com/> (最終アクセス:2019年7月31日)
- タワとも手帳 <http://tawatomotetyou.blog.fc2.com/blog-entry-6.html>(最終アクセス:2019年7月31日)
- WEB色見本 原色大辞典 - HTML カラーコード <https://www.colordic.org/>(最終アクセス:2019年8月5日)