

第 15 回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0633

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : ニホンヤモリの体色変化パート3～ストレスと模様の関係～

学校名 : 茨城県 茨城県立並木中等教育学校

学年 : 3 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。

ニホンヤモリの体色変化 パート3

～ ストレスと模様の関係 ～



茨城県立並木中等教育学校 3年次 大久保 惺

1. はじめに

昨年行ったパート2の実験では、八丈島でミナミヤモリを採集し、茨城県内の自宅にて二ホンヤモリとの比較実験を行った。今年も3月にミナミヤモリの採集を計画し、比較実験を計画していたが、新型コロナウイルスの影響で八丈島へ行くことができなかった。そのため、今年には二ホンヤモリのみで実験を行うことにした。また、現在ペットショップなどのペットとして飼育されているヤモリで流行しているクリプトスポリジウム症という病気がある。感染している個体を一緒に飼育することで、自然界へキャリアとして持ち帰ってしまうことがあると知ったため、伝染病の観点からもヤモリを生息地へ戻すことはせずに、自宅で通年飼育をする。そのために、自宅に飼育小屋を設計製作し、ヤモリが自然に近い状態で1年を過ごすことができるよう環境を整えてから二ホンヤモリの採集を行った。

2. 飼育環境

通年飼育できるように、百葉箱をモデルにして50cm×60cm×50cmの飼育スペースに、脚部分は高さ50cmの図1の飼育小屋を設計し、製作した。骨組みは角材を使用し、腐敗防止のために木材は水性ペンキの白で塗装し、雨風、通気性、温度管理を考慮して屋根や網戸用ネット・壁を張った。床材は清掃のしやすさや水はけを考慮して、ポリカーボネート板を使用し、少し傾斜を付け、いくつか穴を開けた。その穴にはコオロギの脱走防止や、木材への浸水防止のためにシリコンを入れた。入り口はヤモリの脱走防止、ケガ防止のためにスポンジを付けるなど様々な工夫をした。小屋内のヤモリの隠れ場や家は、自然にある木や竹を使用した。設置場所は、直射日光が当たらない駐車場の影にした。



図1 完成した飼育小屋

3. 前回までに分かっていること

● ヤモリの色覚と体色変化が起こるメカニズム

二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L錐体が機能しない2色型第1色覚であり、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。

● 光と模様発生との関係

光の有無による模様の現れ方について実験を行った結果、皮膚から色を感じ取るのではなく、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るという考察に結び付いた。また、模様発生までにかかる時間は2分以上5分以内であることも分かっている。

4. 動機と仮説

前回の実験時に、視覚からの情報だけでの体色変化であれば模様が出ないはずの状態、模様が多く出たことがあった。そのことから、視覚以外の条件では、どのような反応が出るのか疑問を持った。ヒトの場合、温度や熱など目に見えないものに対しても、皮膚が感覚として認識する。ヤモリも同様に、目に見えないものを皮膚が直接感知したり、環境のストレスによって体色変化が起きたりする興味を持った。そのため、文献や論文、インターネットで調べたが「ストレスで体色変化が起こることがあるようだ。」など、あいまいな表記しか見つけることができなかった。そこで、環境の変化に対してストレスを感じた際に黒色素胞が活発に働きだし、体色変化を起こすのではないかと考え、いくつかの環境変化を与え、模様の発生とストレスの関係に着目し実験を行うことにした。

表1 仮説

	寒冷	高温	振動	匂い	騒音
体色変化	する	する	する	しない	する

ストレスによる体色変化は表1のように起きると予想した。同じ爬虫類でも、ヘビの嗅覚は優れているが、ヤモリの嗅覚については情報が少ない。(鈴木：2014)では、「主にフェロモンを受容しているようだ」と書かれていたが、そのほかの臭いをどれだけ感知しているのかは分からないため、体色変化はしないと考えた。聴覚に関しては、(工藤：2004)によると、ほ乳類よりは劣るが爬虫類の中では優れているとの資料が載っていたため、変化があると考えた。

5. ストレスの定義

ストレスによる体色変化の実験を考えた時、1番最初にぶつかった難題が、ヤモリにおけるストレスとは何か?であった。これを定義するために、聴覚や、嗅覚をはじめ様々な生物に関する論文を読んだが、ヤモリや爬虫類のストレスに関する情報は極めて少なく、未知な部分が多かった。また、動物愛護の観点からも、痛みや極度の恐怖を与えることは避けるべきだと考えた。そこで、爬虫類がストレスにより起こる体調変化などの情報を参考にして、痛み・苦痛・恐怖感を伴わない環境の変化を中心とした項目をストレスとして定義することにした。今回の実験では、図2の環境要因の部分である寒冷、多湿、振動、臭い、騒音の5つをヤモリのストレスと定義した。

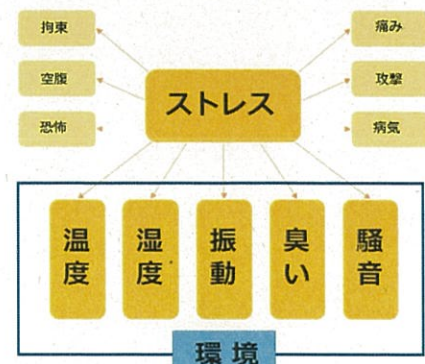


図2 ヤモリにおけるストレスの定義

6. ヤモリが皮膚から色を認識しているか?

● 実験の動機と目的

ストレスとの関係を調査前に、前回の実験から導き出した考察「視覚情報による体色変化」を確認したことにした。この考察が正しいと確認できれば、皮膚と視覚の関係が深いことが、裏付けられるだろうと思ったからだ。前回の実験時は、盲目ヤモリを入手しない限り確かめられないのではないかと考えていたが、皮膚に印をした何かを直接つけることで皮膚から情報を読み取るか確認できるのではないかと考えた。

● 仮説






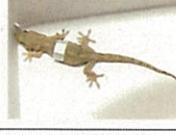
パート2までの実験から、ニホンヤモリは光が壁に当たることによって明度の変化が起こった色を、視覚で認識し、その情報によって体色を変え、模様を発生させていたと考察している。この考察が正しければ、皮膚に直接、色の情報を与えた場合でも体色変化は起きないと考え。

● 実験 1 の予備実験

まずは、どのように皮膚から情報を与えられるか、方法を見つける実験を A, B, C と名付けたニホンヤモリ 3 匹で行った。

- ① 予備実験 1・黒い付箋で作成した文字を胴体に貼った。
黒い付箋の粘着部分を「大」の形に切り抜き、皮膚に貼り 1 時間経っても剥がれないかを確認した。
 - ② 予備実験 2・黒い紙で作成した文字をラップで胴体に巻いた。
予備実験 1 で使用した黒い付箋で作成した「大」をラップで胴体に巻きつけ、1 時間経っても外れないかを確認した。
 - ③ 予備実験 3・紙に印刷した黒い文字を胴に巻き付けた。
白い紙に黒い文字で「X」を印刷した白い紙を輪にしたものを胴体にそっと通し、1 時間経っても外れないかを確認した。
 - ④ 予備実験 4・紙に印刷した黒い文字を医療用紙テープで貼った。
白い紙に黒い文字で「X」を印刷した白い紙を医療用紙テープで胴体にそっと貼り、1 時間経っても剥がれないかを確認した。
- 予備実験を 4 つの方法で行った結果、予備実験 1~3 では剥がれてしまったり、すり抜けてしまったりした。表 2 のように 3 匹とも 1 時間後も剥がれていなかった予備実験 4 の方法で実験 1 を行うことにした。

表 2 予備実験 4 の結果

	A	B	C
実験前			
実験後			

7. 電子顕微鏡で撮影した脱皮後の皮膚

ヤモリの脱皮した皮を、高倍率の電子顕微鏡で観察してみると、図 3 のように体の場所によって鱗の形や生えている向きが違うことが分かった。凹凸が多いため、弱い粘着力では貼り付けることが出来なかったようだ。

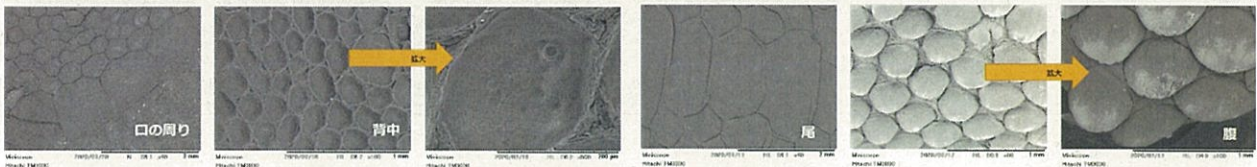


図 3 電子顕微鏡で撮影した脱皮後の皮膚

8. 【実験 1】ヤモリが皮膚から色を認識しているか確かめる

● 実験内容

予備実験 4 の方法で、ヤモリが皮膚から「X」の印を認識して、その部分で体色変化が起こるかどうか A, B, C と名付けた 3 匹のヤモリで、5 回ずつ実験を行う。

● 準備したもの

ニホンヤモリ 3 匹、白いケース、LED ライト、iPad、白い紙に「X」印を印刷したもの、医療用紙テープ

● 実験方法 (図 5)

- 1. 実験前のニホンヤモリの写真を図 4 の装置で撮影した。
- 2. 予備実験 4 の方法で、医療用テープでニホンヤモリの背中に X 印を貼り付けた。この時、医療用テープは粘着力が強力なため、皮膚を傷付けない為に皮脂を何回かつけ粘着力を落としてから貼り付けた。
- 3. ライトをつけた白いケースに、ニホンヤモリ 3 匹を入れた。
- 4. 1 時間後、ヤモリを取り出して白いケースに移動し、体色変化が起きないとわかっている 2 分以内に撮影した。
- 5. 胴部の模様を ImageJ で画像解析し、実験前後で「X」の印を貼り付けた部分の模様の割合が変化するか確かめた。

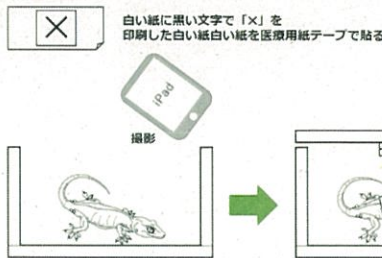


図 5 実験 1 の方法



図 4 撮影装置

● 解析方法

解析方法として図 6 の黄色の線で囲ったように、ニホンヤモリの前足の付け根から後ろ足の付け根までを胴体部分をトリミングして、全体面積を測定した。模様面積は、X 印を貼っていた胴体の中心部分を抜き出し測定した。閾値の調整で黒く現れている模様を選択し、模様が分散されている場合は、分割してすべての模様部分を選択できるようにした。これを実験前後で行い、模様の割合を算出し表 3 にまとめた。また、前回の実験で、同じ模型で実験を行っても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により、±2% 程度の誤差が発生していたが、今回は前回の実験時よりも技術的な解析精度が向上したため、誤差は±1%とし、その誤差範囲内であれば、体色変化は起きなかったとし、±1%よりも変化が起きた場合は体色変化で模様の増加・減少が起きたと判断した。割合を求める際のパーセンテージは、小数点第 2 位で四捨五入した。

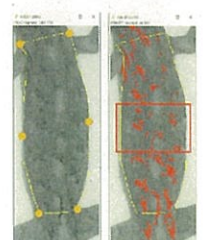


図 6 解析部分

● 結果

表3のように解析結果を個体別にまとめ、表4、5に結果の回数と割合をまとめた。×印を貼った部分には、×の模様が一度も出なかった。また、14回中3回で模様面積が減少していたが、模様面積が増加した個体はいなかった。

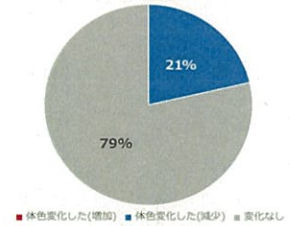
表3 実験1の結果

2回目		A		B		C	
		実験前	1時間後	実験前	1時間後	実験前	1時間後
写真							
面積 (ピクセル)	全体	31,871	30,562	50,754	47,984	47,442	44,780
	模様	172	0	584	497	0	92
割合 (%)	模様/全体	0.54	0.00	1.15	1.04	0.00	0.21
	実験前後の差	-0.54		-0.11		0.21	
結果		変化なし		変化なし		変化なし	

表4 実験結果の回数

	回数(回)
体色変化した(増加)	0
体色変化した(減少)	3
変化なし	11

表5 実験結果の割合グラフ



● 考察

背中に黒い×印を貼り付けたヤモリに、体色変化は起きず、逆に模様面積の減少する個体がみられた。これは、白ケースに1時間入れたことで、視覚情報で白を認識し模様が減少したからだと考える。この結果から、皮膚から黒い×印を認識していたとは考えられない。この実験により、視覚と体色変化の関係は強いと確信した。

● 実験1の結論

二ホンヤモリは、皮膚から色の情報を認識することはできず、視覚情報によって体色変化を起こしている。

9. ヤモリはストレスによって体色変化が起こるか？

● 実験の動機と目的

今回の目的である視覚以外で、ストレスによる体色変化が起こるか調べるため、5.で定義したストレス(環境変化・刺激)を与え、それぞれで体色変化が起きるか図7のA~Fと名付けた二ホンヤモリ6匹で実験する。

今回は、温度・湿度・振動・臭い・音の5種類のストレスを6匹(メス4匹、オス2匹)に与える実験を、各5回ずつ行った。また、温度によるストレスでは、実験時期が30℃を超える日が続いたため、高温実験は行わず、寒冷のみ行うことにした。

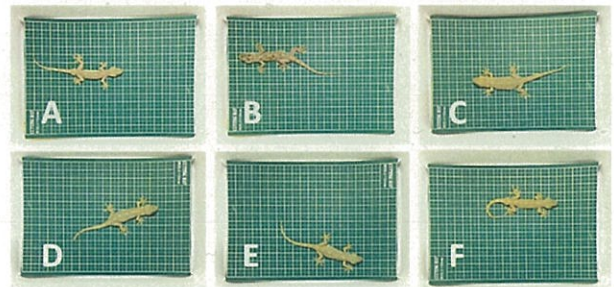


図7 実験した二ホンヤモリ6匹

● 実験2の予備実験 (発泡スチロールの箱で15℃前後を保つ方法を探す)

- 予備実験1・発泡スチロールの箱に保冷剤を1時間入れ、温度を15℃前後にした後、保冷剤を抜き、その後の1時間も15℃前後の温度を保てるか確かめた。
- 予備実験2・発泡スチロールの箱に保冷剤を乗せ、温度を15℃前後に保てるか確かめた。
- 予備実験3・2つに仕切った発泡スチロールの箱の仕切りの1つに保冷剤を1時間入れ、15℃前後の温度を保てるか確かめた。
- 予備実験4・発泡スチロールの箱に、ビニール袋に入れた小さい保冷剤(50g)を入れ1時間、15℃前後の温度が保てるか調べた。

4つの予備実験を行った結果、予備実験2と4の方法で、15℃前後を保つことが出来たが、予備実験2ではヤモリを移動中に温度が上昇すると考え、表6のように一定の温度を保つことが出来た予備実験4の方法で実験2を行う。

表6 予備実験4の結果

	実験前	氷を入れて 30分後	氷を入れて 1時間後
温度(℃)	26	17.8	17.5

10. 【実験2】 寒冷ストレスによる体色変化を確かめる

● 実験内容

発泡スチロールの箱内に予備実験4の方法で15℃前後の低温環境を作り、1時間後の体色変化が起こるか図7のA~Fと名付けた二ホンヤモリ6匹で、5回ずつ実験する。実験は1日1回とした。

● 準備したもの

二ホンヤモリ6匹、2つに仕切った発泡スチロールの箱3個、保冷剤(50g)6個、ビニール袋、温度計、白いケース、iPad

● 実験方法 (図9)

- 2つに仕切った発泡スチロールの箱へ、ビニール袋に入れた保冷剤を1つずつ入れた。
- 実験前の二ホンヤモリを白いケースに入れて、写真を撮影した。
- 発泡スチロールの箱へヤモリを移動し、フタをして、1時間置いた。
- 1時間後、ヤモリを取り出して白いケースに移動し、体色変化が起きないとわかっている2分以内に撮影した。
- 実験1と同様の方法で、胴部の模様をImageJで画像解析し、実験前後で模様の割合が変化するか確かめた。

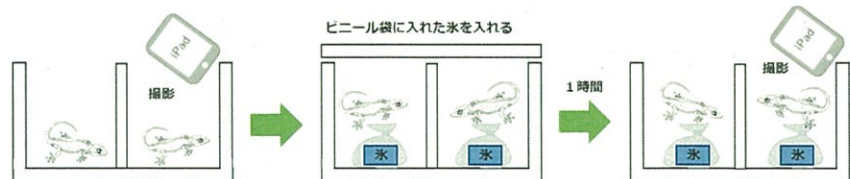


図9 実験2の方法



図8 実験の様子

● **結果**

表7のように解析結果をまとめ、表8、9に結果の割合をまとめた。30回中18回は模様が増加が起こり、1回は模様の減少、11回は変化が起こらなかった。

● **考察**

寒冷ストレスを与えた時、模様が増加することが多かった。本来ならば、白い発泡スチロールの箱に入れた場合は、視覚の情報から体色変化を起こし模様は減少するはずだが、模様が増加した割合が多かったことから、寒冷ストレスは模様の発生に関係していると考えられる。しかし、この実験時、ヤモリの体温が下がっており、動きがゆっくりであった。ヤモリは変温動物のため、直接氷に触れたことにより体温が下がり活動が鈍くなり、視覚機能も低下していた可能性も考えられる。また、模様の発生は黒色素胞の動きによることから、黒色素胞は寒い環境だと活性化すると考えられる。

● **課題**

ヤモリが直接、氷に触れたことによって急激に低体温になった可能性もある。そのため、予備実験2の方法で再度、実験を行う。

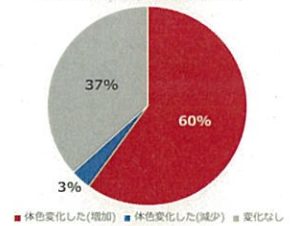
表7 実験2の結果

		A		D	
1回目		実験前	1時間後	実験前	1時間後
室温(°C)		23	15	23	15.3
湿度(%)					
写真					
面積(ピクセル)	全体	31,287	32,135	33207	34045
	模様	0	2,410	13	66
割合(%)	模様/全体	0.00	7.50	0.04	0.19
	実験前後の差	7.50		0.15	
結果		体色変化した(増加)		変化なし	
2回目		実験前	1時間後	実験前	1時間後
室温(°C)		24	15	23.6	14.5
湿度(%)					
写真					
面積(ピクセル)	全体	32,144	32,789	43830	44788
	模様	0	890	516	1776
割合(%)	模様/全体	0.00	2.71	1.18	3.97
	実験前後の差	2.71		2.79	
結果		体色変化した(増加)		体色変化した(増加)	

表8 実験結果の回数

	回数(回)
体色変化した(増加)	18
体色変化した(減少)	1
変化なし	11

表9 実験結果の割合グラフ



11. 【実験3】湿度ストレスによる体色変化を確かめる

● **実験内容**

予備実験を浴室で行った結果、浴室では実験を行う部屋よりも、湿度が20%近く上昇した。そこで湿度の高い風呂場へ移動し、1時間後に体色変化が起こるか図7のA~Fと名付けた二ホンヤモリ6匹で、5回ずつ実験する。実験は1日1回とした。

● **準備したもの**

二ホンヤモリ6匹、衣装ケース、湿度計、白いケース、iPad

● **実験方法 (図11)**

1. 実験前のヤモリを白いケースに入れ、写真撮影した。
2. 浴室で湿度を上げた衣装ケースにヤモリを移動し、1時間置いた。
3. 1時間後、ヤモリを取り出して白いケースに移動し、体色変化が起きないとわかっている2分以内に撮影した。
4. 実験2と同様の解析方法で、胸部の模様をImageJで画像解析し、実験前後で模様の割合が変化するか確かめた。

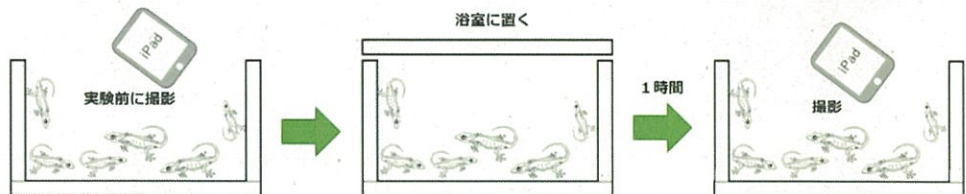


図11 実験3の方法



図10 実験の様子

● **結果**

表10のように解析結果をまとめ、表11、12に結果の割合をまとめた。30回中1回は模様の増加が起こり、10回は模様の減少、19回は変化が起こらなかった。

● **考察**

多湿ストレスを与えた時、模様が減少と、変化なしの割合が多かった。これは、湿度には関係なく透明な衣装ケースに入れて実験を行ったことにより、視覚からの情報で模様が減少したのだと考えられる。

● **課題**

ストレスによる体色変化ではなく、視覚からの体色変化の可能性があるため、実験3の方法でケースの色のみを黒に変えて再実験を行う。

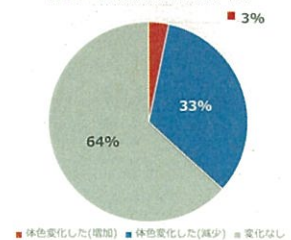
表10 実験3の結果

		B		C	
1回目		実験前	1時間後	実験前	1時間後
室温(°C)		26	26	26	26
湿度(%)		80	H1	80	H1
写真					
面積(ピクセル)	全体	41,899	40,782	41,314	40,999
	模様	794	525	0	0
割合(%)	模様/全体	1.87	1.29	0.00	0.00
	実験前後の差	-0.58		0.00	
結果		変化なし		変化なし	
2回目		実験前	1時間後	実験前	1時間後
室温(°C)		25	24	25	24
湿度(%)		68	90	68	90
写真					
面積(ピクセル)	全体	42,865	40,218	41,068	42,237
	模様	2,315	990	0	0
割合(%)	模様/全体	5.40	1.72	0.00	0.00
	実験前後の差	-3.68		0.00	
結果		体色変化した(減少)		変化なし	

表11 実験結果の回数

	回数(回)
体色変化した(増加)	1
体色変化した(減少)	10
変化なし	19

表12 実験結果の割合グラフ



12.【実験4】振動ストレスによる体色変化を確かめる

● 実験内容

予備実験でマッサージチェアの肩たたき機能で15分を2回繰り返した時の平均震度を調べると、改正メルカリ震度階級の震度5になった。そこでマッサージチェアの振動を利用し、改正メルカリ震度階級の震度5を発生させ、30分間で体色変化が起こるか、図7のA~Fと名付けた二ホンヤモリ6匹で、5回ずつ実験する。実験は1日1回とした。

● 準備したもの

二ホンヤモリ6匹、マッサージチェア、スマートフォン、アプリ(アプリ名:地震計, 振動計, Smart Tools co.), 衣装ケース, 2つに仕切った発泡スチロールの箱3個, 白いケース, iPad

● 実験方法 (図14)

1. マッサージチェアに衣装ケースを置き、その中に2つに仕切った発泡スチロールの箱3個を設置した。
2. 実験前の二ホンヤモリを白いケースに入れて、写真を撮影した。
3. 二ホンヤモリを発泡スチロールの箱に入れ、震度5の揺れを発生させるように肩たたきモードで30分マッサージ機能を継続させた。
4. 30分後、ヤモリを取り出して白いケースに移動し、体色変化が起きないとわかっている2分以内に撮影した。
5. 実験2と同様の解析方法で、胴部の模様をImageJで画像解析し、実験前後で模様の割合が変化するか確かめた。

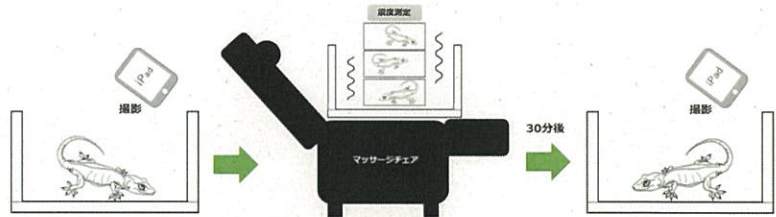


図14 実験4の方法

● 結果

表13のように解析結果をまとめ、表14, 15に結果の割合をまとめた。30回中9回は模様の減少が起こり、21回は変化が起きなかった。

● 考察

振動ストレスを与えた時、模様が減少と、変化なしの割合が多かった。これは、振動には関係なく白いケースに入れて実験を行ったことにより、視覚からの情報で模様が減少したのだと考えられる。

● 課題

ストレスによる体色変化ではなく、視覚からの体色変化の可能性があるため、実験3の方法でケースの色のみを黒に変えて再実験を行う。



図12 実験の様子

【改正メルカリ震度階級(日本気象庁)】

- 震度12(7) すべてのものが破壊される
- 震度11(7) 残った建物無し。山崩れ
- 震度10(7) 多くの建物が崩壊する
- 震度9(6強) 地表に亀裂が生じる
- 震度8(6弱) 一部の建物や構造物が崩壊する
- 震度7(5強) 立っているのが困難
- 震度6(5弱) 重い物が移動する
- ▶ 震度5(4) 建物全体が揺れる
- 震度4(3) ほとんどの人が感じる
- 震度3(2) ぶら下がっている物体が揺れる
- 震度2(1) ごく少数の人だけが感じる
- 震度1(0) 一部の動物だけが感知する

図13 改正メルカリ震度

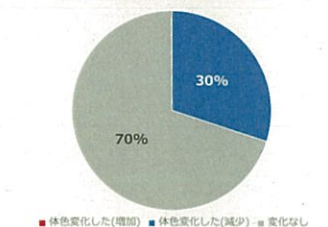
表13 実験4の結果

1回目	E		F	
	実験前	30分後	実験前	30分後
改正メルカリ震度階級	5		5	
写真				
面積(ピクセル)	全体	51603	58933	54020
	模様	224	0	1142
割合(%)	模様/全体	0.43	0.00	2.11
	実験前後の差	-0.43		-2.11
結果	変化なし		体色変化した(減少)	
2回目	E		F	
	実験前	30分後	実験前	30分後
改正メルカリ震度階級	5		5	
写真				
面積(ピクセル)	全体	55118	64980	64628
	模様	1878	0	0
割合(%)	模様/全体	3.41	0.00	0.00
	実験前後の差	-3.41		0.00
結果	体色変化した(減少)		変化なし	

表14 実験結果の回数

	回数(回)
体色変化した(増加)	0
体色変化した(減少)	9
変化なし	21

表15 実験結果の割合グラフ



■ 体色変化した(増加) ■ 体色変化した(減少) ■ 変化なし

13.【実験5】臭いストレスによる体色変化を確かめる

● 実験内容

図15のように予備実験を行い、強い青臭さを放つとされるマリーゴールドの花をすり潰すことで、臭いを発生させることが出来た。そこで、マリーゴールドの強い臭いで、1時間後に体色変化が起こるか、図7のA~Fと名付けた二ホンヤモリ6匹で、5回ずつ実験する。実験は1日1回とした。

● 準備したもの

二ホンヤモリ6匹, 大きい発泡スチロールの箱, 白いケース, iPad, マリーゴールドの花, 小さいケース, キッチンダスター, ジップロック

● 実験方法 (図16)

1. マリーゴールドをすり潰し、小さなケースに入れ、キッチンダスターで覆った。
2. 大きな発泡スチロールの箱にマリーゴールドを設置した。
3. 実験前の二ホンヤモリを白いケースに入れ写真を撮影し、発泡スチロールの箱に入れ、1時間置いた。
4. 1時間後、ヤモリを取り出して白いケースに移動し、体色変化が起きないとわかっている2分以内に撮影した。
5. 実験2と同様の解析方法で、胴部の模様をImageJで画像解析し、実験前後で模様の割合が変化するか確かめた。



図15 マリーゴールドをすり潰す過程



図16 実験5の方法

● **結果**

表 16 のように解析結果をまとめ、表 17, 18 に結果の割合をまとめた。30 回中 2 回は模様の変化が起らなかった。

● **考察**

臭いストレスを与えた時、模様が減少と、変化なしの割合が多かった。これは、臭いには関係なく白い発泡スチロールの箱に入れたことにより、視覚からの情報で模様が減少したのだと考えられる。この実験からは、ヤモリの嗅覚については分からないが、変化なしの割合が 90% を超えることから、マリーゴールドの臭いは、ストレスに感じていないと考えられる。

● **課題**

ストレスによる体色変化ではなく、視覚からの体色変化の可能性があるので、実験 3 の方法でケースの色のみを黒に変えて再実験を行う。

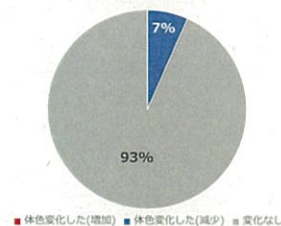
表 16 実験 4 の結果

		D		E	
		実験前	1時間後	実験前	1時間後
1回目		[写真]		[写真]	
画像 (ピクセル)	全体	65728	57796	72537	62255
	模様	0	0	0	0
割合 (%)	模様/全体	0.00	0.00	0.00	0.00
	実験前後の差	0.00		0.00	
結果		変化なし		変化なし	
2回目		[写真]		[写真]	
画像 (ピクセル)	全体	68077	65050	66692	64795
	模様	0	0	0	0
割合 (%)	模様/全体	0.00	0.00	0.00	0.00
	実験前後の差	0.00		0.00	
結果		変化なし		変化なし	

表 17 実験結果の回数

結果	回数(回)
体色変化した(増加)	0
体色変化した(減少)	2
変化なし	28

表 18 実験結果の割合グラフ



14. 【実験 6】騒音ストレスによる体色変化を確かめる

● **実験内容**

予備実験を行い「天国と地獄/オフエンバック」は 79~84 dB の間で、最低値と最高値の差は少なく、1 曲の平均値は 83 dB だった。そこで、特に音を立てない日常での騒音値は 10~20 dB、普通の会話では 50 dB 前後である中で、70~80 dB 程の騒音を発生させ、体色変化が起こるか図 7 の A~F と名付けた二ホンヤモリ 6 匹で、5 回ずつ実験する。実験は 1 日 1 回とした。

● **準備したもの**

二ホンヤモリ 6 匹, スマートフォン, アプリ(Sound Meter : Smart Tools co.), 大きい発泡スチロールの箱, iPad, スピーカー, 白いケース, キッチンダスター, 流す音楽「天国と地獄/オフエンバック」

● **実験方法 (図 19)**

1. 実験前の二ホンヤモリを白いケースに入れて、写真を撮影した。
2. 大きい発泡スチロールの箱にスピーカーを設置し、二ホンヤモリを入れ、音楽をかけたまま 30 分間置いた。
3. 30 分後、ヤモリを取り出して白いケースに移動し、体色変化が起きないとわかっている 2 分以内に撮影した。
4. 実験 2 と同様の解析方法で、胴部の模様を ImageJ で画像解析し、実験前後で模様の割合が変化するか確かめた。

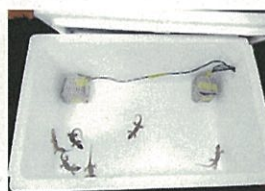
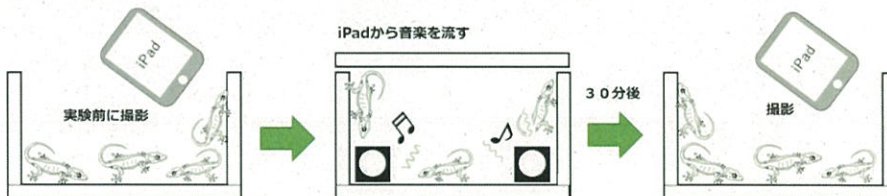


図 17 実験の様子

180dB	スペースシャトルの打ち上げ
130dB	飛行機のエンジン音
120dB	舌を噛む音の強さ
110dB	車のクラクション、工事現場
100dB	列車の通過時の周囲の雑音
90dB	騒々しい工場の中、掘削機
80dB	地下鉄の騒音、掃除機
70dB	騒々しいオフィス、電話着信音
60dB	話の音、デパート店内の騒音
50dB	静かなオフィス、換気扇 (1m)
40dB	静かな住宅街、図書館
30dB	ささやく音、深夜の郊外
20dB	木の葉の揺れる音、ささやき

図 18 騒音レベルの参考値

● **結果**

表 19 のように解析結果をまとめ、表 20, 21 に結果の割合をまとめた。30 回中 20 回は模様の変化が起り、10 回は変化が起らなかった。

● **考察**

騒音ストレスを与えた時、模様が減少、変化なしと続いて割合が多かった。これは、騒音には関係なく白い発泡スチロールの箱に入れたことにより、視覚からの情報で模様が減少したのだと考えられる。

● **課題**

ストレスによる体色変化ではなく、視覚からの体色変化の可能性があるので、実験 3 の方法でケースの色のみを黒に変えて再実験を行う。

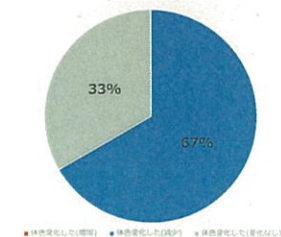
表 19 実験 4 の結果

		D		E	
		実験前	30分後	実験前	30分後
3回目		[写真]		[写真]	
騒音レベル(dB)		79~83		79~83	
画像 (ピクセル)	全体	71362	69264	72057	62155
	模様	463	0	3397	0
割合 (%)	模様/全体	0.65	0.00	4.71	0.00
	実験前後の差	-0.65		-4.71	
結果		変化なし		体色変化した(減少)	
4回目		[写真]		[写真]	
騒音レベル(dB)		78~83		78~83	
画像 (ピクセル)	全体	74163	69618	71751	72194
	模様	2634	0	4391	0
割合 (%)	模様/全体	3.54	0.00	6.12	0.00
	実験前後の差	-3.54		-6.12	
結果		体色変化した(減少)		体色変化した(減少)	

表 20 実験結果の回数

結果	回数(回)
体色変化した(増加)	0
体色変化した(減少)	20
変化なし	10

表 21 実験結果の割合グラフ



15. 実験 2~6 のまとめ

●実験 2~6 の考察

表 22 にまとめたように、5 つの環境ストレス実験から本来は、白ケースに入れて模様が増加するはずがない条件で模様が増加したのは、寒冷ストレスの 1 種類だけだと考えられる。

実験 2 では、予備実験 4 の方法で氷を発泡スチロールの箱へ直接入れたことで、ヤモリが氷に直接触れ体温が急激に下がってしまい、視覚機能の低下が起きた可能性も考えられた。

実験 3~6 の多湿ストレス、振動ストレス、臭いストレス、騒音ストレスでの実験では、模様の減少と変化なしの割合が多く起こったが、それは透明の衣装ケースや白い発泡スチロールに入れていることにより、視覚情報による体色変化の可能性がある。これを確かめるには、視覚からの情報によって模様が増加するはずである黒いケースに入れて、それでも模様が減少するのか、各実験で実験してみる必要があると考えられる。

●課題

実験 2 では、ヤモリが直接氷に触れてしまい体温を急激に奪った可能性があるため、体に氷が触れることのない実験 2 の予備実験 2、氷を発泡スチロールの箱の上に置き、温度を下げる方法で実験 7 を行う。

実験 3~6 では、ヤモリがストレスによる体色変化ではなく、視覚からの体色変化の可能性があるので、各実験で使用した実験用具の箱を黒いケースに替えて、同様の実験 8 を行う。

表 22 実験 2~6 の結果割合

模様の変化割合(%)	実験 2(寒冷)	実験 3(多湿)	実験 4(振動)	実験 5(臭い)	実験 6(音)
増加	60	3	0	0	0
減少	3	33	30	7	67
変化なし	37	64	70	93	33

16. 【実験 7】 実験 2 の追加実験

●実験内容

実験 2 では、ヤモリが直接氷に触れてしまい体温を急激に奪った可能性があるため、体に氷が触れることのない実験 2 の予備実験 2、氷を発泡スチロールの箱の上に置き温度を下げる方法で再度、実験を 3 回行う。

●仮説

- ① 実験 2 で体温低下により視覚機能の低下が起きていた場合は、今回は体色変化が起きない。
- ② 実験 2 で寒冷ストレスによる体色変化が起きていた場合は、今回も体色変化は起きる。

●準備したもの

二ホンヤモリ 6 匹(メス 3 匹, オス 3 匹), 発泡スチロールの箱, 保冷剤(350g) 6 個, 温度計, 白いケース, iPad

●実験方法 (図 21)

実験 2-予備実験 2 の方法で行い、開始前は、透明の飼育ケースにいれた。

1. 発泡スチロールに保冷剤を入れて 1 時間置いた。その間にヤモリを白いケースに入れ、写真を撮影した。
2. 1 時間後、フタを開け素早くヤモリを入れ、保冷剤を抜きフタの上に保冷剤を置いた。
3. 1 時間後、ヤモリを取り出して白いケースに移動し、体色変化が起きないとわかっている 2 分以内に撮影した。
4. 実験 2 と同様の解析方法で、胴部の模様を ImageJ で画像解析し、実験前後の変化を確かめた。

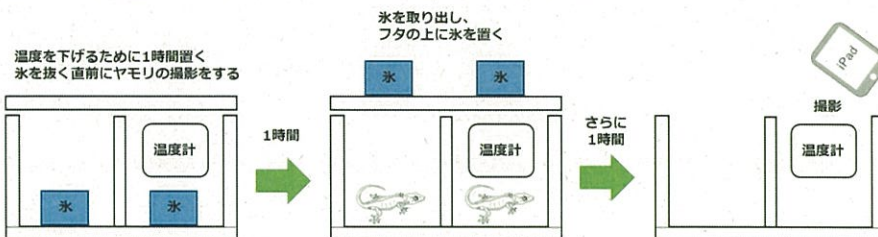


図 21 実験 7 の方法



図 20 実験の様子

●結果

表 23 に解析結果をまとめ、表 24, 25 に結果の割合をまとめた。18 回中 1 回は模様の減少が起こり、17 回は変化が起こらなかった。

●考察

実験 2 の再実験の実験 7 では、寒冷ストレスを与えた時、変化なしが 90%以上であった。これは、実験前は透明の飼育ケースに入れていたため、白い発泡スチロールの箱での実験で、模様の変化は少なかったと考えられる。このことから、寒冷ストレスは模様の発生には関係しないと考えられる。また、実験 2 の結果は、氷を箱に直接入れたことでヤモリの体温が急激に下がってしまい、ヤモリの視覚機能が低下したことによって起きた体色変化だったとも考えられる。

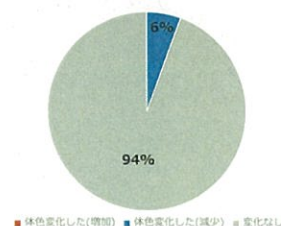
表 23 実験 4 の結果

	C				F			
	実験前	1時間後	実験前	1時間後	実験前	1時間後	実験前	1時間後
1回目	23.6	17.6	23.6	17.6				
写真								
面積 (ピクセル)	全体 38,107	47,796	47484	50862				
	模様 102	89	544	504				
割合 (%)	模様/全体 0.27	0.19	1.15	0.99				
	実験前後の差	-0.08		-0.16				
結果	変化なし				変化なし			
2回目	24.7	18.8	24.7	18.8				
写真								
面積 (ピクセル)	全体 46,551	45,550	55435	47890				
	模様 67	73	218	651				
割合 (%)	模様/全体 0.14	0.16	0.39	1.36				
	実験前後の差	0.02		0.97				
結果	変化なし				変化なし			

表 24 実験結果の回数

	回数(回)
体色変化した(増加)	0
体色変化した(減少)	1
変化なし	17

表 25 実験結果の割合グラフ



17. 【実験8】 実験3～6の追加実験

● 実験内容

実験3～6で使用した白いケースに、色画用紙を全面に貼り、黒い環境を作成した。予備実験で、図24のように日除けネットを利用し浴室で湿度が上がること確認できた。そこで、実験3～6では、ヤモリがストレスによる体色変化ではなく、視覚からの体色変化の可能性があったため、各実験で使用した実験用具の箱を黒いケースに替えて、同様の実験8を行う。



図22 黒ケース



図23 画用紙を貼った箱

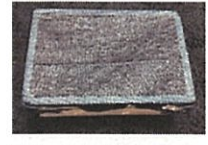


図24 ネットで覆った箱

● 仮説

実験3～6では、白や透明の壁に対し視覚による体色変化が起きたと考えられるため、壁を黒に変えて行った場合、模様は多くなる。

● 準備したもの

二ホンヤモリ6匹(メス3匹、オス3匹)、各実験で使用したもの、箱は図22または図23を使用した。

● 実験方法 (図25)

図25のように実験3～6で使用した白、透明のケースや発泡スチロールの箱を、用意した黒い入れ物に置き換えて実験を行う。回数は各実験3回とした。また、画像の解析方法は、これまでと同様の解析方法で、胴部の模様をImageJで画像解析し、実験前後で模様の割合が変化するか確かめた。



図25 実験8の実験方法 白いケースを黒に変更

● 結果

表26～29のように各結果をまとめ、表30～37に結果の回数と割合をまとめた。4つの実験すべてで、実験3～6では見られなかった模様の増加が多く起きていた。変化なしと、模様の増加の割合を合わせると全体の80%以上になった。

表26 実験8の結果 (湿度)

		B		C	
		実験前	1時間後	実験前	1時間後
1回目					
室温 (°C)		25.2	33.8	25.2	33.8
湿度 (%)		69	88	69	88
写真					
面積 (ピクセル)	全体	38,066	48,055	47,093	51,528
	模様	0	914	1,423	2,319
割合 (%)	模様/全体	0.00	1.90	3.02	4.50
	実験前後の差	1.90		1.48	
結果		体色変化した(増加)		体色変化した(増加)	
2回目					
室温 (°C)		24.3	35.1	24.3	35.1
湿度 (%)		74	H1	74	H1
写真					
面積 (ピクセル)	全体	49,873	50,080	50,384	51,357
	模様	0	718	188	674
割合 (%)	模様/全体	0.00	1.43	0.37	1.31
	実験前後の差	1.43		0.94	
結果		体色変化した(増加)		変化なし	

表27 実験8の結果 (振動)

		A		F	
		実験前	30分後	実験前	30分後
1回目					
改定メルカリ湿度計値		5		5	
写真					
面積 (ピクセル)	全体	50,363	53,783	53,179	55,060
	模様	1,774	1,467	445	389
割合 (%)	模様/全体	3.52	2.73	0.84	0.71
	実験前後の差	-0.79		-0.13	
結果		変化なし		変化なし	
2回目					
改定メルカリ湿度計値		5		5	
写真					
面積 (ピクセル)	全体	49,291	54,684	46,176	50,926
	模様	198	1,450	0	417
割合 (%)	模様/全体	0.40	2.65	0.00	0.82
	実験前後の差	2.25		0.82	
結果		体色変化した(増加)		変化なし	

表28 実験8の結果 (臭い)

		D		E	
		実験前	1時間後	実験前	1時間後
2回目					
写真					
面積 (ピクセル)	全体	51026	44073	52525	45314
	模様	1164	1286	444	1012
割合 (%)	模様/全体	2.28	2.92	0.85	2.23
	実験前後の差	0.64		1.38	
結果		変化なし		体色変化した(増加)	
3回目					
写真					
面積 (ピクセル)	全体	46889	46072	51680	54458
	模様	73	2286	927	1270
割合 (%)	模様/全体	0.16	4.96	1.79	2.33
	実験前後の差	4.80		0.54	
結果		体色変化した(増加)		変化なし	

表29 実験8の結果 (音)

		A		D	
		実験前	30分後	実験前	30分後
2回目					
騒音レベル(音)		78~83		78~83	
写真					
面積 (ピクセル)	全体	53,632	48,973	52,429	47,051
	模様	255	4,191	219	819
割合 (%)	模様/全体	0.48	8.56	0.42	1.74
	実験前後の差	8.08		1.32	
結果		体色変化した(増加)		体色変化した(増加)	
3回目					
騒音レベル(音)		78~83		78~83	
写真					
面積 (ピクセル)	全体	55,172	45,178	48,452	37,784
	模様	954	3,476	438	1,177
割合 (%)	模様/全体	1.73	7.69	0.90	3.12
	実験前後の差	5.96		2.22	
結果		体色変化した(増加)		体色変化した(増加)	

表 30 実験結果の回数（温度）

	回数(回)
体色変化した(増加)	9
体色変化した(減少)	1
変化なし	8

表 31 実験結果の回数（振動）

	回数(回)
体色変化した(増加)	5
体色変化した(減少)	2
変化なし	11

表 32 実験結果の回数（臭い）

	回数(回)
体色変化した(増加)	8
体色変化した(減少)	1
変化なし	9

表 33 実験結果の回数（音）

	回数(回)
体色変化した(増加)	10
体色変化した(減少)	0
変化なし	8

表 34 実験結果の回数（温度）

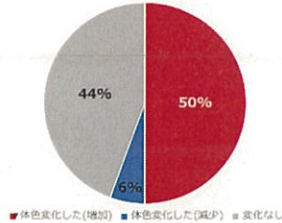


表 35 実験結果の回数（振動）

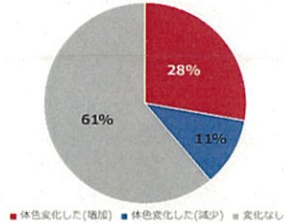


表 36 実験結果の回数（臭い）

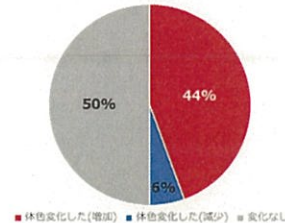
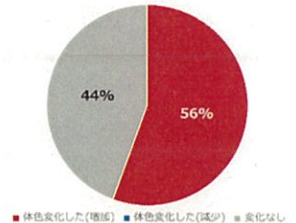


表 37 実験結果の回数（音）



● 考察

実験 3～6 では、模様が増加は起きなかったが、箱を黒に変更したことで模様が増加が見られた。このことから、ストレスの影響で模様が増加したのではなく、視覚からの情報により体色変化を起こしていると考えられる。また、模様の減少が数回見られた。これは、実験開始前の環境が小屋の巣の中であったことで、体色がより濃い状態がスタートだったためだと考えられる。

18. 実験 2～8 のまとめ

● 実験 2～8 の考察

実験 2～8 で行った 5 種の環境ストレスでは、暴れたり興奮状態になったりしなかった。しかし、前回の実験で体色変化が起きた時は、ケースを走り回るなど興奮状態になっている個体に模様が出ていた。このことから、興奮状態に陥った場合、黒色素胞が活発に働き体色変化を起こすのではないかと考えられる。また、体色変化には個体差があり、良く体色変化する個体、模様があまり現れない個体がいる。前回の実験時に、ストレスによる模様の発生と考えられた個体は、模様が良く出る個体であり、別のストレスによって興奮状態になっていた可能性がある。本実験では、興奮状態を起こすストレスではなかったと考えられる。

19. 結論

実験 1 より、ニホンヤモリは、皮膚から色の情報を認識することはできず、視覚情報によって体色変化を起こしていると確認できた。

実験 2～6 および実験 7, 8 より寒冷・温度・振動・臭い・騒音のストレスは、模様の発生に影響なく、視覚情報により体色変化が起きていたことが分かった。

また、実験 2 より急激に体温が下がると視覚機能が低下し、壁色に関係なく、模様が増加することも分かった。

20. 反省と今後の課題

実験 5, 8 のマリーゴールドの臭いレベルの数値化ができなかった。私の嗅覚で“すごく臭い”としか表現できないのが、残念である。今後は、すべてを数値化したデータにできるように方法を見つけていきたい。

また、ヤモリを飼育する明るさや気温など、実験前の環境を統一しておくことが必要だと感じた。次回からは、その点も考えて実験計画を立てたいと思う。

今後の課題として、目に見えないものの中でも、皮膚が認識する紫外線などについて調べてみたい。ヤモリもヒトと同じように皮膚の中にあるメラニン色素を作る色素細胞が刺激されて皮膚が黒くなるといった現象が起きるのだろうか？非常に興味を持っている。

21. あとがき

今年は、新型コロナウイルスによって計画していたミナミヤモリをとの比較ができなかったことが残念だが、昨年の研究から導き出した視覚と体色変化の考察を、本研究で確かめたことができたことは、大きな成果である。

本研究では、視覚以外のストレスとの関係を探るテーマにしたが、「ストレスにより体色変化が起こることもあるようだ」との情報はあがるが、確信的な情報は無く、ヤモリにとって“ストレス”とは何かを定義づけすることに1番苦労した。ヤモリはもちろん、爬虫類のストレスについて情報が少ないため、ほ乳類などにも範囲を広げて調べた。痛みを与えることがストレスなのは間違いないが、そのような行為はこの実験では行いたくなかった。そこで、私たちヒトと同じように「ちょっと寒いな」「ジメジメする」「ビックリした」「臭いな」「うるさいな」と、命にかかわらないストレスを感じるような環境の変化を探し、その環境を作るための予備実験を複数回行った。これには多くの時間がかかったが、この予備実験により主実験では、適した方法を見つけることができた。また、実験データの画像解析精度を上げるために、何度も解析作業を繰り返し、誤差を少なくするために画像解析に多くの時間を費やし、前回の研究時よりも解析精度を向上することが出来た。

二ホンヤモリの研究を始めて3年目になり、体色変化のメカニズムや発生条件など分かってきた部分も多い。しかし、未知な部分が多く、まだまだ魅力があふれている生き物だと感じている。その1つとして、今年はヤモリの出現が少なく、遅かった。これは、茨城県内に限らず、石川県、千葉県でも同様のようだった。気温・湿度・日照時間・長かった梅雨などが関係しているのだろうか。今後も様々な疑問の研究を続けていきたい。また、今年からは飼育小屋での越冬を目指すため、秋～冬にかけて環境を整え観察にも力を入れていきたい。



図 26 今夏産まれた二ホンヤモリ

22. 謝辞

本研究にあたり、肉食爬虫類研究所代表の富田京一先生には爬虫類の生態や、現在起きている爬虫類の感染症問題、飼育方法、など様々なアドバイスいただき、ありがとうございました。また、株式会社日立ハイテク様に電子顕微鏡を無償でお借し頂き、感謝申し上げます。研究指導をしていただいた並木中等教育学校科学研究部の粉川先生を始め、研究に協力して下さった方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

23. 参考文献・ウェブサイト・アプリ

- 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 2020/8/5)
- 岡部正隆, 伊藤啓, 橋本知子, 「ユニバーサルデザインにおける色覚バリアフリーへの提言」(2003)
- 色覚異常の方の見え方: カラーバリアフリーサービ UD color, <http://www.udcolor.com/siki.html>(最終アクセス 2020/8/5)
- 黒木 俊郎, 宇根 有美, 遠藤 卓郎, 「爬虫類のクリプトスポリジウム感染」(2003)
- 厚生労働省検疫所 FORTH ホームページ クリプトスポリジウム症について <https://www.forth.go.jp/useful/infectious/name/name17.html>(最終アクセス 2020/8/5)
- 環境省レッドリスト 2019 <http://www.env.go.jp/press/106383.html>(最終アクセス 2020/8/5)
- 茨城県版レッドリスト・レッドデータブック https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/shizen/tayousei/redbook/ibaraki_redbook.html(最終アクセス 2020/8/5)
- Jérémie Teyssier, Suzanne V. Saenko, Dirk van der Marel & Michel C. Milinkovitch, “Photonic crystals cause active color change in chameleons” (2015)
- CARRIE ARNOLD, カメレオンの原理で色を変える新素材を開発, NATIONAL GEOGRAPHIC <https://natgeo.nikkeibp.co.jp/> (2019) (最終アクセス 2020/8/5)
- Nadia Drake, カメレオンの七変化, 秘密は皮膚の小さな結晶, NATIONAL GEOGRAPHIC <https://natgeo.nikkeibp.co.jp/>(2015) (最終アクセス 2020/8/5)
- Elaina Zachos, 蛍光に光るカメレオンを発見, 原因も解明, NATIONAL GEOGRAPHIC <https://natgeo.nikkeibp.co.jp/> (2018) (最終アクセス 2020/8/5)
- 学研キッズネット, カメレオンはどうして色が変わるの <https://kids.gakken.co.jp/> (2020)(最終アクセス 2020/8/5)
- K.A.Munday, G.F.Blane, Cold stress of the mammal, bird and reptile(2020)
- 大見智子, 「カエルの体色変化に関する研究 Part 2 ～ストレスは体色変化に影響するか～」 (2011)
- Clifford Warwick, Phillip Arena, Samantha Lindley, Mike Jessop, Catrina Steedman, 行動基準を用いた爬虫類の福祉評価法 (2013)
- 田中正敏, 動物実験におけるストレス負荷法 (1993)
- 佐藤 恵, 若林 修一, 酒井 秀嗣, 「「ふれあい動物園」のモルモットにおけるストレスの評価: 糞中コルチコステロンとコルチゾルの比較」日本大学歯学部紀要 38, 31-38, (2010)
- 野村真, 「生命科学実験動物としてのソメワケササクレヤモリの飼育・繁殖方法」(2017)
- 鈴木欣司, 鈴木悦子, 「二ホンヤモリ夜な夜な観察記」(2014, 緑書房)
- 工藤基, 「様々な動物の聴覚」(2004)
- アプリ: Smart Tools co., 地震計, 振動計 <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.vibration&hl=ja> (最終アクセス 2020/8/5)
- アプリ: Smart Tools co., 騒音測定器 Sound Meter <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.sound&hl=ja> (最終アクセス 2020/8/5)