



カエルの体色変化に関する研究 Part2 ～ストレス(刺激)は体色変化に影響するか～

愛知県安城市立篠目中 2年 大見智子

1. はじめに

人間は紫外線を浴びて日焼けすることで皮膚ガンの原因と言われる紫外線から身を守るように身体が作られている。一方、カメレオンは環境に適応して赤、青、緑など様々な体色を変化させ保護色になることで、捕食者から自己をカモフラージュする能力を持っている。それぞれ体色変化の仕組みは異なるが、その原因や変化する色の違いなど体色変化について疑問がいっぱいあった。それら体色変化に関する疑問を少しでもクリアにしたいと考え、身近な生き物であるカエルを使って、昨年研究を行った。

昨年の研究では、赤・緑・青の単一色のLED光を使って、その色の違いがカエルの体色変化に与える影響について、3つの仮説を立てて調べた。あとで結果について述べるが、予想通りの結果もあれば予想外の結果もあり、実験そのものに問題があるのではないかと考えた。その原因は、実験途中のカエルへのストレス(刺激)である。そもそも、カエルにとっては外敵から身を守るために体色変化していると考えられるが、最初から身に危険がある場合は別な生体反応するのではないかと考えた。したがって、昨年の仮説を改めて証明するためにも、実験に問題がないことを最初に検証する必要があると考えて、今年の研究では、ストレスの影響を観察により確認することにした。

2. 昨年(2010年)の研究の振り返り

昨年行った体色変化に関する研究の仮説と結果について以下に示す。詳細は末尾に参考資料として添付する。

仮説①LEDの色に関係なく、明るいところでは淡い色に、暗いところでは濃い色になる

結果⇒明るい環境では明るく、暗い環境では暗く周囲に順応



暗所に30分

⇒



明所に30分

仮説②光の色に合わせて体色を変化させるが、色によっては変化しない場合もある

結果⇒赤・緑・青の3原色のLED光を30分間浴びた場合、赤・緑色に対してはわずかに変化したがるが、カエルの色素として存在するはずの青色への変化が観察されなかった。

仮説③時間の経過とともに体色が徐々に変化していく

結果⇒順応する時間を増加させても体色はそれ以上変化しない

さらに、当初の仮説にはなかったが、明るい環境でLED光を当てると、下図のように背中中の斑点模様が消えるか薄

なることがわかった。ただ明るいだけの環境ではこのようなことは起きなかったので、明るい環境とLED光の相互の効果があるのかもしれないと思った。

明所で赤色LED光を30分	明所で緑色LED光を30分	明所で青色LED光を30分
 <p>背中 の斑点模様が消えた</p>	 <p>背中 の斑点模様が消えた</p>	 <p>背中 の斑点模様が薄くなった</p>

3. 研究の目的

カエルに様々なストレス(刺激)を与え、それがカエルの体色(明るさ、色合い)にどのような影響を及ぼすかを観察によって調べる。また、その結果を受けて、昨年の体色変化に関する仮説検証結果についても考察する。

4. 仮説(予想)

カエルの体色変化についてインターネットで調べたが、情報そのものが少ない上、特にストレスとの関係については科学的根拠に基づく説明はなく、全く予想できなかった。そこで、あまり具体的ではないが、以下の仮説を立てて実験を行うことにした。

仮説①・・・ストレス付加によりLED光の色に関係なく皮膚の「明るさ」が変化する

仮説②・・・ストレス付加によりLED光の色に関係なく皮膚の「色合い」が変化する

5. 実験の手順

5. 1 実験に使用する器具・生体を準備(昨年の研究で使用したものを再利用)

1) 明所、暗所となる容器を作る

明所用の容器: ペットボトルの外周を白い紙を巻き付け

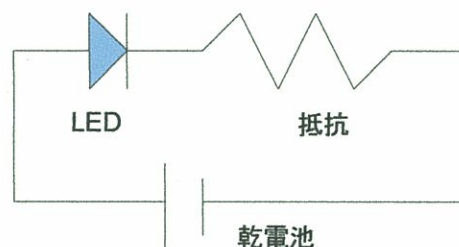
暗所用の容器: ペットボトルの外周に黒いスプレーで着色

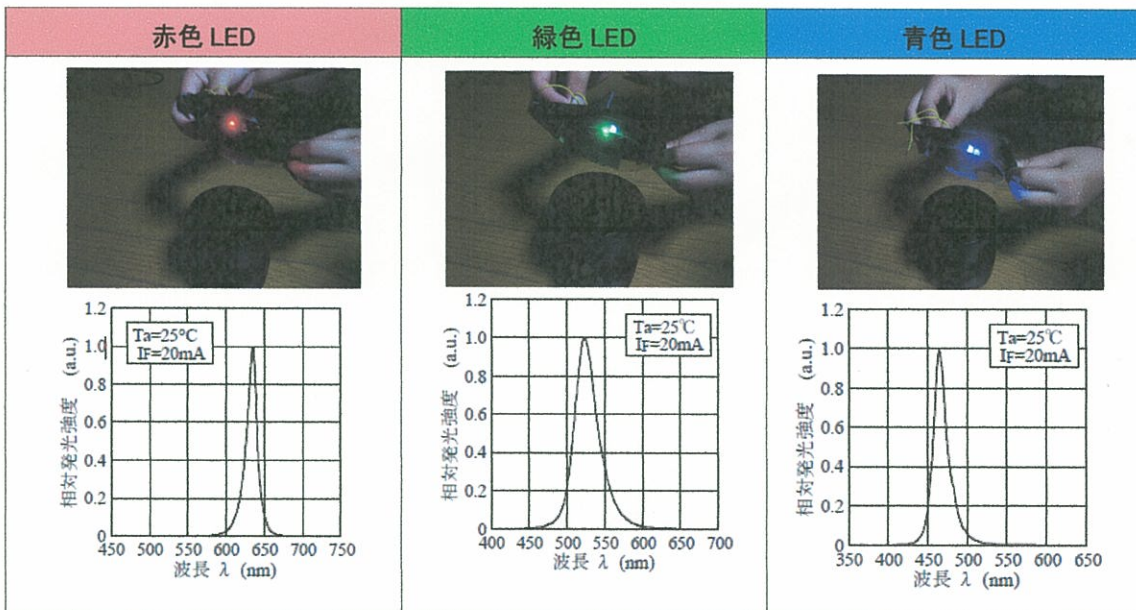


2) カエルに当てるライトを作る

光の三原色であるR(赤)、G(緑)、B(青)の光を出すライトを作る

材料: プリント基板、LED(赤、緑、青)、抵抗、乾電池(9V)、電線





【ここが重要】

目で見てわかる「色」を作るためには、「光の3原色」を利用するか、「色の3原色」を利用すれば良い。「色の3原色」を用いた場合、白色のライトを色紙にあててその反射する色を見ることになるため、様々な色の成分が混ざり合ったものになり、実際にカエルがどの色に反応したのかがわからなくなってしまう。したがって、LEDのように、混色になってない単一の純粋な色を発する光源を用いることにした。

3) アマガエルを捕まえる

近所の水田・畑で5匹捕まえて、その中から一番凸凹の小さなアマガエルを実験に使用した。

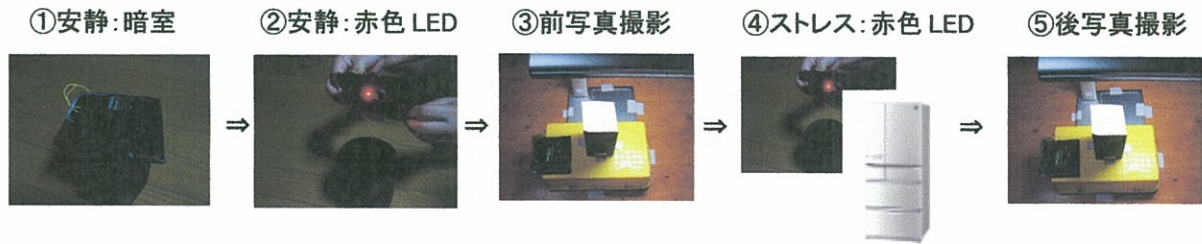
5. 2 カエルに与えるストレス(刺激)手段を準備

ストレス(刺激)として、カエルの気持ちになっていろいろ考えた結果、カエルが嫌がりそうな手段として以下を抽出してそれら道具を準備した。

ストレスの種類	実験道具	ストレス付与条件
振動	マッサージチェア 	座面をバイブレーション動作
冷熱/温熱	冷蔵庫  浴槽 	冷蔵庫: 0°C 設定 浴槽: 39°C 設定
外敵	セキセイインコ 	密閉容器内でセキセイインコと同居。ただし、インコがくちばしで突かないように分離

5.3 実験要領

カエルを実験容器に入れて以下の手順で繰り返し実験を行う。なお、実験中の室温は27℃とする。



①暗室で安静状態で15分間放置

前の実験で受けたストレスを和らげること、およびLED光の色の影響をリセットする目的で、最初に暗室で安静にする

②LED光(赤または緑または青)を照射して安静状態で15分間放置

ストレス前後の体色変化を確認するためのバックグラウンドとして、ストレスのない状態でLED光のみ照射

③前写真撮影

太陽光が入らない室内に置いた牛乳パックの中にカエルを移して素早く撮影。照明は蛍光灯とする

④LED光(赤または緑または青)を照射してストレス状態で15分間放置

ストレス状態でLED光を照射。ストレスの種類×LED光の色、の組み合わせで実施

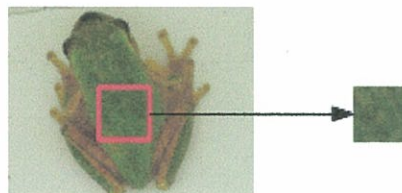
⑤後写真撮影

③の撮影時と撮影条件が変わらないようにマニュアル撮影とする

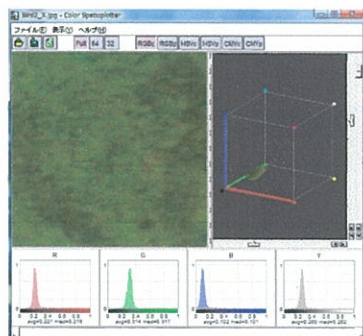
5.4 カエルの体色を調べる

カエルの体色変化を調べるために撮影した画像を用いて次の手順で定量化する。

①撮影した画像(2592×1944画素)からカエルの背中部分(400×400画素)を切り出す



②パソコンソフト(kwls_csp.exe)を使って、カエルの背中部分の画像について色バランス、明るさを読み取る





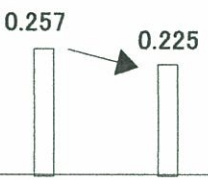
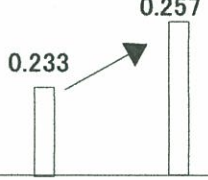
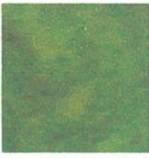

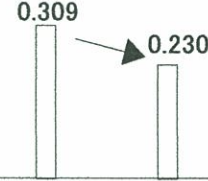
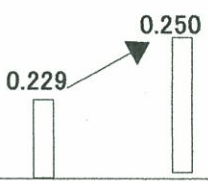



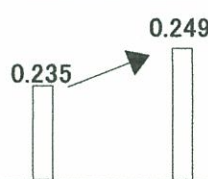
③ストレス前後での色バランス、明るさの結果を比較して、仮説を検証する

6. 実験結果

以下にストレス(刺激)ごとの結果を示す。グラフの数値は単位はなく相対的な値とする。

6.1 振動ストレス

振動刺激前後での体色変化の結果をLED光の色別に表に示す。



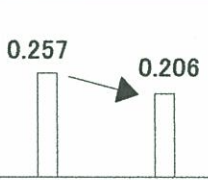
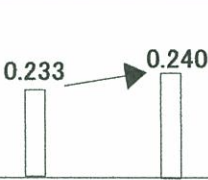


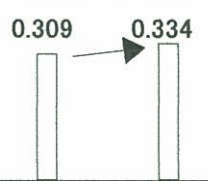
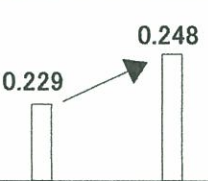
LED光の色	振動ストレス前後の体色	明るさY変化	色合いH変化
赤	 ⇒ 		
緑	 ⇒ 		
青	 ⇒ 		

LED光の色によらず、刺激後の皮膚は明るさが減少し、色合いが上昇した。

6.2 熱ストレス



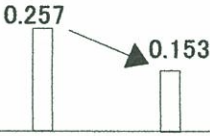



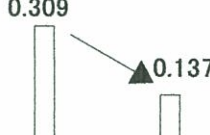



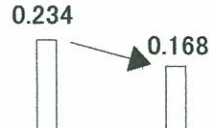

冷熱・温熱刺激前後での体色変化の結果をLED光の色別に表に示す。

(1) 冷熱(0°C)

LED光の色	冷熱ストレス(0°C)前後の体色	明るさY変化	色合いH変化
赤	 ⇒ 		
緑	 ⇒ 		
青	※低温によりカエルが弱ったため、青色は実施せず		

LED光の色が緑のときに若干明るさが上昇したが赤では減少し、色合いは両色ともに上昇した。

(2) 温熱(39°C)

LED光の色	温熱(39°C)ストレス前後の体色	明るさY変化	色合いH変化
赤	 ⇒ 		
緑	 ⇒ 		
青	 ⇒ 		

LED光の色によらず、刺激後の皮膚は明るさが減少し、色合いが上昇した。

6.3 外敵刺激(セキセイインコとの同居)

外敵との同居による刺激前後での体色変化の結果を表に示す。実験の都合上、LEDの照射なしで明るい部屋で実施した。

LED光の色	外敵ストレス前後の体色	明るさY変化	色合いH変化
明るい環境	 ⇒ 		

外敵の影響で明るさが減少し、色合いが上昇した。

7. 結論

以上の結果より、仮説に対する結論は以下の通りであった。

(1) 仮説①・・・ストレス付加によりLED光の色に関係なく皮膚の「明るさ」が変化する

一部の例外を除いて、ストレスを付加した際に、一様に明るさが減少、つまり色が濃くなる方向に変化した。唯一の例外は冷たい環境で緑色のLED光を照射したときであるが、皮膚表面が水滴で光っていたのが原因であると考えられる。

(2) 仮説②・・・ストレス付加によりLED光の色に関係なく皮膚の「色合い」が変化する

すべての場合において、ストレスを付加することにより、色合いが増加、つまり青色寄りの方向に変化した。

8. まとめ

振動・冷熱・セキセイインコによる威嚇をカエルにとってのストレスと考え、それにLEDの赤・緑・青色をそれぞれ組み合わせて体色変化を観察した。その結果、すべてのストレスに関して色合いと明るさが変化した。仮説を考えたときには、予想できなかったが、ストレスによりカエルの体表面は、色の平均値が青色寄りになり、また薄い色から濃い色に変化することがわかった。それら結果にはLED光の色は関係なくすべての場合に成立した。目から入る色の刺激以上の影響がストレス(刺激)から受けていると考えられ、今後の体色変化の実験においてはストレス管理を合わせて実施する必要があることがわかった。

以上の結果を踏まえ昨年の結果を振り返ってみると、体色の緑色成分が全般に強く出ていたこと、色素胞に含まれるはずの青色に反応しなかったことはストレスの影響を強く受けていた可能性があると考えられる。

今回の結果から、ストレス下におかれたカエルは色素胞に含まれる青色と黒色が活発に反応したのではないかと考えられる。

【参考資料】

<http://www.biol.okayama-u.ac.jp/cccr/cellsignaling/color.html>

<http://www.higashi-h.tym.ed.jp/course/kadai15/matome/kaeru.htm>

【付録】

参考のために昨年のレポートを抜粋して以下に添付する。

付録1 体色変化の種類と生物学的意義 (<http://wiki.jscpb.org/%E4%BD%93%E8%89%B2%E5%A4%89%E5%8C%96>)

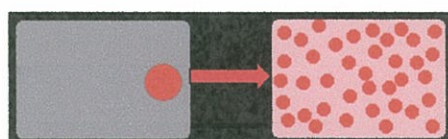
体色変化は、そのメカニズムから大きく2種類に分類される。一つは「形態学的」体色変化とよばれ、色素細胞の増殖・分化・アポトーシスなどを介して、組織内の色素細胞密度や色素沈着量の変化により、比較的長期にわたり進行する反応である。ヒトの日焼けはその一例であり、黒色素細胞(メラノサイト)の増殖や、メラノサイトから表皮へ分泌される色素顆粒の増加により、引き起こされる。

もう一つが「生理学的」体色変化であり、色素細胞(色素胞)中での色素運動により、秒・分スケールの比較的速いスピードでおこる。ヒラメやカメレオンなどに見られるカモフラージュがこれに相当する。

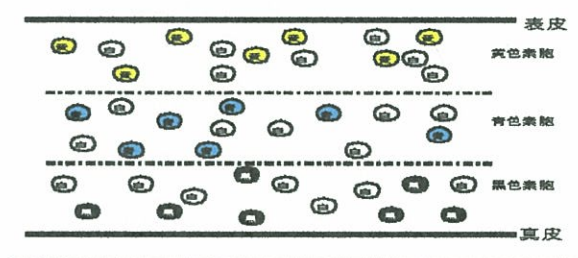
カメレオンは体色を背景そっくりに変化させること(背地適応)により、捕食者や被食者から自己をカモフラージュ(隠蔽)する。体色変化は、婚姻色に代表される同種異個体間でのコミュニケーション、有害な紫外線の遮蔽、赤外線吸収による体温維持などにも重要な役割を果たすと考えられている。

カメレオンは単に周囲の色に合わせて色を変えるだけではなく、驚き、光、温度によっても色を変える。カメレオンが色を変えるときはホルモンがはたらき、色素を細胞全体に分散させて皮膚に色をつける。

哺乳類の色素細胞は黒い色素をつくるメラノサイト(黒色素細胞)だが、魚類や両生類にはメラノフォア(黒色胞)だけでなく、黄色素胞、白色素胞など、いろいろある。メラノフォアは黒色素メラニンを合成し、黄色素胞はカロチンやキサントフィルなどの黄色や赤い色素を、白色素胞はグアニンや尿酸を利用することで各々が独自の色彩単位となっている。



色素を細胞全体に分散させる



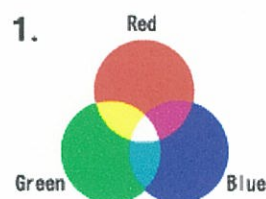
カエルの色素胞

付録2 光の3原色 (<http://www.mnc.toho-u.ac.jp/v-lab/fish/color/color0.html>)

私たちの目は光の量によって明暗を、光の波長によって色を認識している。

色には、「光の3原色」と「色の3原色」がある。この3原色は、人間が波長を感じる視細胞(錐体)が3種類あるために3原色となっている。錐体が2種類しかない動物(夜行性哺乳類)の目には、2原色の世界が展開していることになる。全ての生き物にまったく同じ色に見えるわけではない。両生類や鳥は、この錐体を4種類持っており、魚も4種類、もしくはそれ以上持っている。哺乳動物に比べて羽毛や皮膚色の色彩バリエーションが豊富なのは、それを見分ける能力があるからだと考えられている。

光の3原色は赤・緑・青で、この3色から他の全ての色が生まれる。円の重なっている部分は、重なる色の混色である。赤と緑で黄色を作り出している。光の3原色を全て混ぜ合わせると白(無色)になる。この光の3原色をすべて100%反射すると白(無色透明)になり、50%ずつなら灰色に見える。赤を100%、青0%、緑を100%なら黄色になる。



付録3 昨年の仮説と結果、結論

1) 仮説①の検証・・・色に関係なく、明るいところでは淡い色に、暗いところでは濃い色になる

結果・・・暗所に30分放置したカエルに比べ、明所に30分放置したカエルでは肌の明るさが12%向上しており、この仮説は正しいことがわかった。



暗所に30分間放置

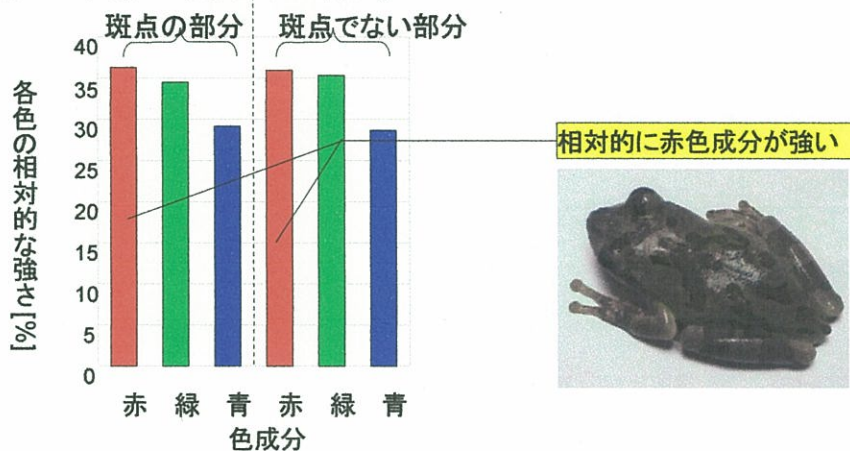


明所に30分間放置

2) 仮説②の検証・・・目から入る光の色に合わせて体色を変化させるが、変化しない色もある

結果・・・赤、緑 LED の光を当てた後では、当てた光に対応して、微妙な変化であるが、体色が変わった。青色 LED については変化はなかった。アマガエルは黄・黒・青の三種類の色素胞を持っているため、青色に反応すると考えたが、仮説は正しかったものの、予想外の結果であった。

【赤色 LED 照射30分後の肌の色比】



3) 仮説②の検証・・・時間の経過にしたがい体色が徐々に変化していく

結果・・・各色を5分、10分、30分当てたときの体色は時間とともに濃くなっていく傾向は現れなかった。

4) 新たな発見

明るい環境で、赤・緑・青の LED 光を当てると、皮膚の色が全体に淡くなるだけでなく、背中中の斑点模様が消えてなくなることがわかった(ただし、青色 LED の場合は完全には消えなくて薄くなった)。単に明るい環境に置いただけでは斑点模様が消えなかったため、明るい環境で LED を当てたことが影響したと考えられる。



明所で赤 LED30分(斑点模様消滅)



明所で緑 LED30分(斑点模様消滅)



明所で青 LED30分(斑点模様薄)