

モリアオガエルの産卵地調査と室内実験

静岡県立静岡高等学校
2年 竹内希海

1 動機・目的

父が勤めている静岡大学の理学部屋外コンクリート水槽に毎年産卵しに来るモリアオガエルに興味を持ち、大学構内のモリアオガエルを調査・研究し始めて2018年で8年目となった。

本研究の目的は、静岡大学構内におけるモリアオガエルの生息場所調査を継続しながら、産卵場所・産卵日・卵塊数と温度・湿度・降水量など環境条件との関係を調べ、産卵に適した環境条件を推定することにある。また、卵塊から孵化したオタマジャクシと子ガエルを観察しつつ室内実験に用いて、成長速度や体色変化に及ぼす環境要因の影響を調べる。

2011年以来的研究内容をまとめながら、以前発見したことや確認したことでも繰り返し調査・実験することで異なる観点から考察し直し解釈をより深く進めたい。2018年の飼育実験では、2017年の子ガエルの体色変化の実験をより例数を増やして行うことで、視覚を遮断した時の成体の体色変化に関する考察を確認したい。

2 方法・プロセス

(1) 産卵地調査 (Fig.1)

静岡大学構内のモリアオガエルが産卵しているような場所を回り、卵塊を見つけたら日付・場所・状況などを記録する。2018年は、産卵の可能性がある理学部屋外コンクリート水槽・大学会館裏水溜・教育学部ビオトープ・陸上競技場水濠を主な調査・採集場所とした。

産卵地で録音済み他個体の鳴き声や水の音を聞かせ、成体がどのように反応するか観察した。このとき、音声の再生は水の音→モリアオガエルの鳴き声→アマガエルの鳴き声の順にした。

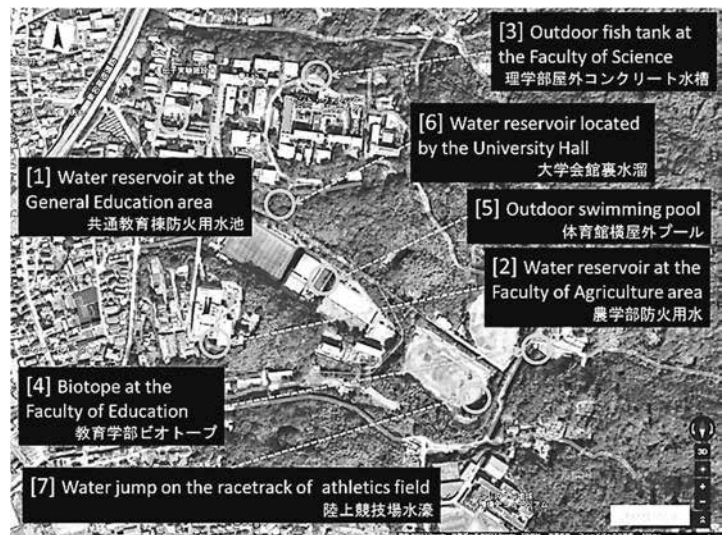


Fig.1. 静岡大学構内のモリアオガエル産卵地
(航空写真 Google地図データより)

(2) 室内実験：オタマジャクシの飼育密度と成長速度

2011年と2012年に、オタマジャクシを高密度条件（70匹/2L）と低密度条件（7匹/2L）で飼育し、定期的に体重測定して、成長速度を比較した（竹内希海 2011, 2012）。

(3) 室内実験：与えるエサの種類とオタマジャクシの成長速度

1Lの水槽でオタマジャクシ7匹を飼育し、エサ以外の飼育条件をそろえた上で、与えるエサが卵塊のみのグループ、両生類用飼料のみのグループ、コマツナのみグループの3種類を用意した。成長速度については、定期的に体重測定して比較した。実験で使ったオタマジャクシは全て同じ卵塊から生まれたものでそろえた（竹内希海 2012）。

(4) 室内実験：飼育環境とオタマジャクシの体色変化

背景色が白のコンテナと黒のコンテナに、ある程度成長したオタマジャクシと孵化して間もないオタマジャクシをそれぞれ入れて、一定時間後にコンテナを交換して背景色を逆転させ、下記の項目を調べた（竹内希海 2014）。

「オタマジャクシの体色は、どのくらいの時間で変わるのか？」

「成長の段階で、体色の変化しやすさは異なるのか？」

「何度入れ替えても、白や黒、濃淡に偏ることなく体色変化を繰り返すのか？」

「蓋付きのコンテナに入れ、光を遮断し真っ暗な状態（背景色の視覚情報が得られない状態）で、体色がどのように変化するのか？」

（5）室内実験：成体（カエル）の体色変化

2018 年は 2017 年よりも例数を増やし、背景色を黒に設定したグループと白に設定したグループを 2 つずつ用意し、背景色白グループ 1 と背景色黒グループ 1 は光が入らない状態にして成体の視覚を遮断して 2 時間後の体色変化を観察する。残りの 2 グループは比較として照明で明るい場所に 2 時間置き、2 時間交代で各個体が全ての条件に置かれるようにした。その実験を 2 回行い、のべ（1 回目と 2 回目両方で実験される個体あり）32 個体の記録を取った。

＊ 継続飼育しないオタマジャクシ・カエルは、採集地に返した。

3 結果と考察

（1）産卵地調査：卵塊の分布

2011 年から 2018 年にかけて確認した産卵地ごとの卵塊数を、Table 1 にまとめた。

毎年、成体ペアの包接・オスの鳴き声・卵塊を多く確認していた Site[3]理学部屋外コンクリート水槽の卵塊数が 2018 年は少なかった。調査期間中にオスとメスが包接して

いるのは何回も確認していたことから、産卵前のメスがハクビシン・アオサギなどに捕食された可能性や、何かしらの環境変化によって成体生息数が減少した可能性が考えられる。

Site[7]陸上競技場水濠の卵塊数・成体確認数が多いのは、樹木の生え方などの環境が成体の生息に、水濠内の栄養状態がオタマジャクシの成育（まるまる太っている個体を多く確認）に、それぞれ適しているためと考えられる。

（2）産卵地調査：産卵時期と気象条件の関係

2018 年の産卵地調査では、卵塊発見時の状態やオタマジャクシの発生の様子から、ほぼ全ての卵塊を産卵から 2～3 日以内に発見していると考えている (Fig. 2～4)。

気温がそれほど高くなく雨降り直後の湿度が高い日に産卵が多く行われているようだった (Fig. 3, 4)。この図を見るとどの卵塊も雨が降った日やその前後に産卵されていることがわかる。このような降水があった日の前後は湿度が高く、成体が行動しやすいうえに卵塊の乾燥も避けられるため産卵に適しているのだろう。採集した卵をマイクロスコープで観察したところ、産卵後すぐに細胞分裂が始まり、産卵後 4 日から 6 日で白い状態のオタマジャクシが孵化していた。この研究では、採集した卵塊をすぐに水につけていたため卵塊が溶けかかったような状態で、オタマジャクシが孵化してすぐに卵塊の中から出て来

Table 1. 静岡大学構内におけるモリアオガエル卵塊確認数 (2011～2018)

Year	Site[1]	Site[2]	Site[3]	Site[4]	Site[5]	Site[6]	Site[7]	Total
2011	2	2	4					8
2012		5	5					10
2013	3	1	10	1				15
2014			6	5	3	2		16
2015			13	3		9		25
2016			11	2		6	3	22
2017			17	5		6	3	31
2018			3	2		6	28	39

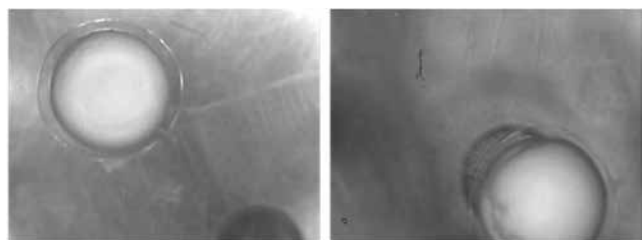


Fig. 2. 産卵 1 日目 (左) と産卵 2 日目 (右) の卵



Fig. 3. モリアオガエル産卵の様子

られたのだろう。自然環境下では、産卵時と重なる梅雨時の雨が乾燥から保護するだけでなく、孵化も助けていることがわかる。

気温が高くて、湿度が高ければ成体や卵塊が早く乾燥することはないので湿度を重視しているのだろう。温度は湿度ほど重要な条件ではないのかもしれない。

(3) 産卵地調査：カエルの繁殖行動

録音したモリアオガエルの鳴き声を産卵場所で流した時、1匹が反応して鳴きだすとその後次々に他の個体が鳴きだすということが何度もあった。また、産卵繁殖期のピークではオスの鳴き声に対する反応がかなり活発になり、鳴き声を流す際、1か所から1匹分の音声を流すよりも、2か所から2匹分の音声を流したほうが反応が良かった。周りで鳴いている個体が多いほど、それらにつられて鳴きやすくなるのかもしれない。

(4) 室内実験：オタマジャクシの飼育密度と成長速度 (Table 2, Fig. 5)

エサの量で比較すると、エサの量を多くした Cf7 の成長が1番速く、同じように背景色を設定しなかった C7 と比べても成長速度に大きな差が

ついた。しかし、同じようにエサの量が多い条件であっても密度が10倍高い Cf70 は成長速度が遅かった。飼育密度が高い条件で育てたオタマジャクシのほうが飼育密度の低い条件で育てたオタマジャクシより体色が濃くなった。昆虫のイナゴでは、大きな集団になると各個体の大きさが小さくなり、体色が黒くなる。オタマジャクシでも、密度が高い集団の状態だと各個体に影響を及ぼすのかもしれない(竹内希海 2011, 2012)。

(5) 室内実験：与えるエサの種類とオタマジャクシの成長速度 (Fig. 6)

毎年、卵塊のみをエサとして与えて育てた場合でもカエルに変態するまで育つことを確認できた。

卵塊のみで育てていたオタマジャクシは、市販エサのみで育てた場合に比べると成長速

度が遅かったが、コマツナのみで育てた場合よりは成長速度が速かった(竹内希海 2012)。卵塊には、市販エサほどではないがオタマジャクシの成長に必要な栄養が含まれているのだろう。タンパク質などの栄養価が高いほどオタマジャクシを早く大きく育つことがわかる。

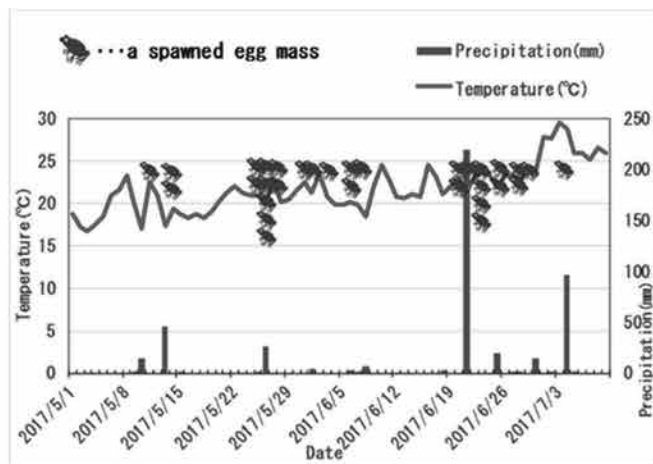


Fig. 4-1. 産卵推定日と気象条件 (2017年)

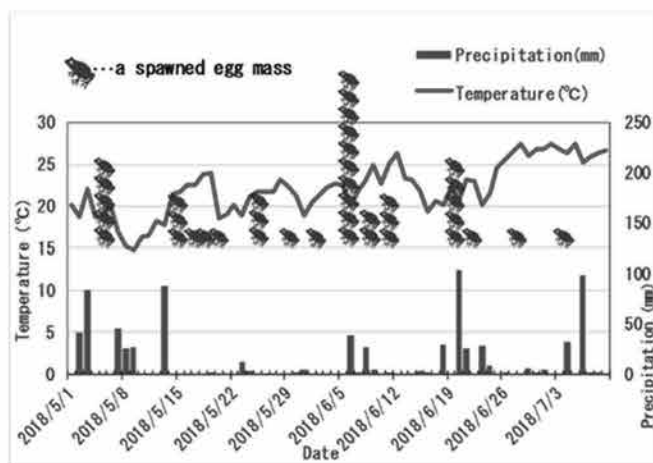


Fig. 4-2. 産卵推定日と気象条件 (2018年)

Table 2. 飼育密度とオタマジャクシの成長速度
実験条件 (2012年)

Group	W7	W70	B7	B70	C7	C70	Cf7	Cf70
Back ground	White	White	Black	Black	Clear	Clear	Clear	Clear
The number of tadpoles	7	70	7	70	7	70	7	70
The amount of diet	1	10	1	10	1	10	10	100

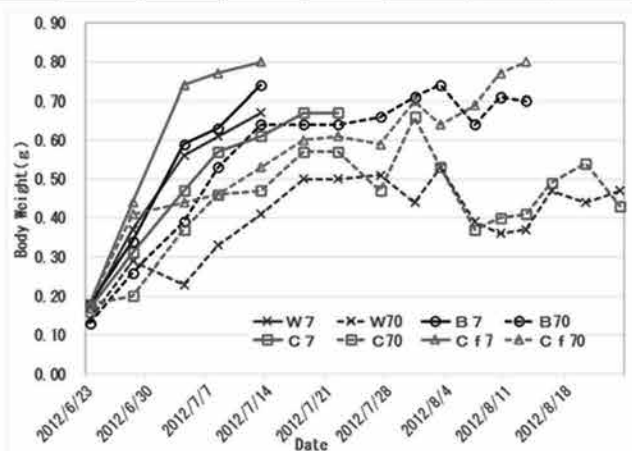


Fig. 5. 飼育密度とオタマジャクシの成長速度 (2012年)

(6) 室内実験：飼育環境とオタマジャクシの体色変化(竹内希海 2013, 2014, 2015, 2016)

黒い背景色で育てると、白い背景色で育てるよりも成長が早かった。モリアオガエルは夜行性であるため、暗い背景色によって暗くなった環境ではよくエサを食べ、成長が速くなったのかもしれない。

オタマジャクシの体色を見ると、白い背景で育てたオタマジャクシは体色が薄くなり、黒い背景色で育てたオタマジャクシは体色が濃くなった。2014年の大きさ(孵化後の日齢)の異なるオタマジャクシで、背景条件をW(白)とB(黒)に入れ替えた実験では、入れ替え後9時間半あればだいたい体色が変わり、2日~1週間継続すると確実に体色を変えられた。この体色変化は、

数回繰り返してもほぼ毎回同じように観察された。これらのことから、オタマジャクシは、体の大きさ(孵化後の日齢)に関わらず、数時間~数日間で背景に応じて体色を変化させることができ、その変化は何回でも繰り返すことができると思う。オタマジャクシは眼で得た背景情報を基に体色を変化させているのだろう。2016年の結果から、光が入らず視界が遮られる場所では、視覚によって周りの色を判断できなくなるため、体色を合わせることができずにその個体が本来持っている体色に戻るのだと考えられる。

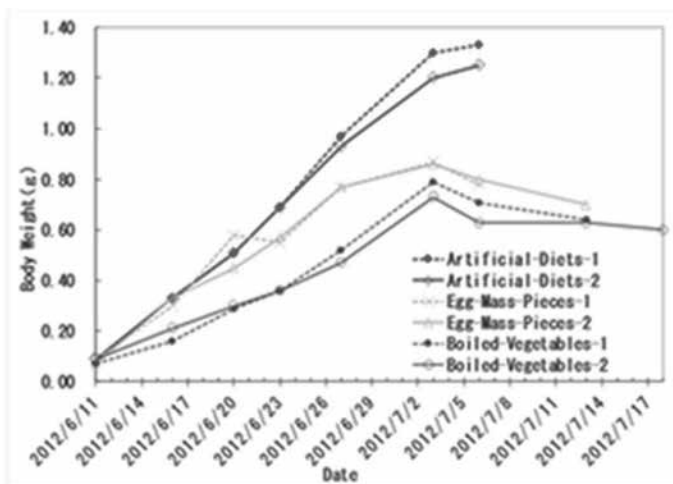


Fig. 6. 飼育飼料とオタマジャクシの成長速度 (2012年)

(7) 室内実験：子ガエルの体色変化 (Table 3, 4, Fig. 7, 8)

明るい場所では、白い背景色に置いた成体はどれも体色が薄く明るい緑色になり、黒い背景色に置いた成体はどれも体色が濃く暗い緑色になった。一方、視覚を遮断した条件では、背景色が白であっても黒であっても背景色の影響を受けず、実験を始める前の体色やそれに近い体色になっていた。真っ暗な場所に置いて視覚を遮断すると、暗闇に紛れる保護色(黒に近い濃い色)にならずに、明るく薄い緑色に体色変化し緑色には個体差が若干見られ、何も調節しない本来の体色に戻ったのではないかと考えた。1回目の実験では2回目と比べて、各個体の体色がばらついていて、1回目は、実験の作業になれていなかったため少し手間取り誤差や次の体色変化が出やすかった

Table 3. 視覚遮断が子ガエルの体色変化に及ぼす影響の実験条件

Conditions	LW	LB	DW	DB
Back ground	White	Black	White	Black
Light	○	○	×	×

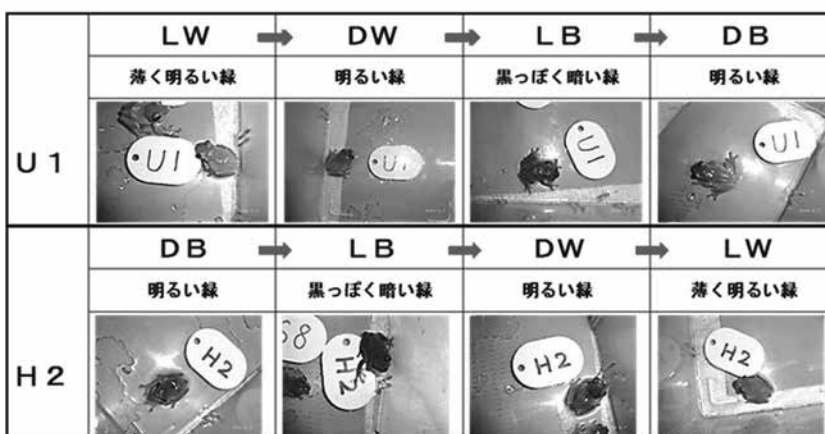


Fig. 7. 視覚遮断実験での子ガエルの体色変化

のに対し、2回目の実験では実験の作業に慣れたので誤差が出にくかったのだろう。成体は黒色素胞以外の色素胞も発達しているため、明るさ以外の体色変化も現れているのではないかと考えた。成体もオタマジャクシも背景色や周囲の明るさの視覚情報によって体色を変化させており、視覚を遮断すると視覚情報が得られずその個体がもともと持っていた体色に戻るのかもしれない(Table 3, 4, Fig. 7, 8)。

この実験の結果を統計ソフト「Instat」で検定したところ、4条件下での体色に有意差が検出された ($p < 0.05$,

Friedman test, Dunn's Multiple Comparisons test)。このことから、成体の体色変化が視覚情報に依存しているということが言えるだろう。

4 今後の展望

産卵地調査では産卵地ごとに産卵時期や産卵数の違いがあるようだった。今後は各産卵地の環境の差による成体の産卵行動の違いも調べていきたい。

なかなか実現しない卵塊の栄養分の分析を目指したい。飼育実験の結果からオタマジャクシも成体も視覚情報に基づいて体色を変化させていると考えられるので、オタマジャクシからカエルになるまでの体色変化メカニズムの変遷や、目で視覚情報を得てから体色を変化させるまでの生理学的な仕組みを明らかにしたい。

5 感想・謝辞

これまで多くの卵塊を確認できた理学部屋外コンクリート水槽が、2018年は極端に少なかったのが残念だった。一過性の現象なのか、捕食者や環境変化などの要因なのか、来年の調査で確認したい。

本研究は、一般社団法人静岡倶楽部およびJST次世代科学者育成プログラム、JSTグローバルサイエンスキャンパスの助成を受けている。関係者の皆さまに感謝の意を表する。

6 参考文献

朝日新聞デジタル, 「ののちゃんのDo科学: カエルの色なぜ変わる?」, 2014年10月。

増田辰樹, 『モリアオガエル』, あかね書房, 2010。

松橋利光, 『カエルの知られざる生態 - 変態・行動・脱皮のしくみ』, 誠文堂新光社, 2010。ほか多数

Table 4-1. 視覚遮断が子ガエルの体色変化に及ぼす影響

2018/09/30実施			①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧	
開始時刻	終了時刻		H 1	F 1	H 2	F 2	H 3	F 3	H 4	F 4	H 5	F 5	H 6	F 6	S 1	F 7	S 2	F 8
			薄く明るい緑	緑	緑	緑	緑	緑	緑	緑	緑	緑	緑	緑	明るい緑	緑	明るい緑	緑
			LW	LW	LW	LW	LB	LB	LB	LB	DW	DW	DW	DW	DB	DB	DB	DB
15:00	17:00	1	薄く明るい緑	少し薄く明るい緑、ほぼ白ではな	薄く明るい緑	薄く明るい緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	少し薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	少し黒っぽい緑	少し黒っぽい緑	少し黒っぽい緑	少し黒っぽい緑
			DW	DW	DW	DW	DB	DB	DB	DB	LW	LW	LW	LW	LB	LB	LB	LB
17:20	19:20	2	黒く暗い緑	緑	少し黒い緑	緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	少し薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	黒っぽく暗い緑	少し黒っぽい緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑
			LB	LB	LB	LB	LW	LW	LW	LW	DB	DB	DB	DB	DW	DW	DW	DW
19:40	21:40	3	黒く暗い緑	黒く暗い緑	黒く暗い緑	黒く暗い緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	緑	少し黒い緑	緑	緑	少し明るい緑	緑	少し明るい緑	緑
			DB	DB	DB	DB	DW	DW	DW	DW	LB	LB	LB	LB	LW	LW	LW	LW
21:55	23:55	4	緑	緑	緑	少し明るい緑	緑	緑	緑	緑	黒く暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑
			LW	LW	LW	LW	LB	LB	LB	LB	DW	DW	DW	DW	DB	DB	DB	DB
0:15	2:15	5	少し薄く明るい緑	少し薄く明るい緑	少し薄く明るい緑	少し薄く明るい緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	緑	緑	明るい緑	緑	緑	緑	緑	緑

Table 4-2. 視覚遮断が子ガエルの体色変化に及ぼす影響

2019/01/02実施			⑨		⑩		⑪		⑫		⑬		⑭		⑮		⑯	
開始時刻	終了時刻		U 1	S 1	U 2	S 2	U 3	S 3	U 4	S 4	U 5	S 5	U 6	S 6	H 1	S 7	H 2	S 8
7:00	9:00	1	LW	LW	LW	LW	LB	LB	LB	LB	DW	DW	DW	DW	DB	DB	DB	DB
			薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	黒っぽく暗い緑	少し黒っぽい緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑
9:15	11:15	2	DW	DW	DW	DW	DB	DB	DB	DB	LW	LW	LW	LW	LB	LB	LB	LB
			明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	少し明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	少し黒っぽい緑
11:29	13:29	3	LB	LB	LB	LB	LW	LW	LW	LW	DB	DB	DB	DB	DW	DW	DW	DW
			黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑
13:40	15:40	4	DB	DB	DB	DB	DW	DW	DW	DW	LB	LB	LB	LB	LW	LW	LW	LW
			明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	明るい緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	黒っぽく暗い緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑	薄く明るい緑

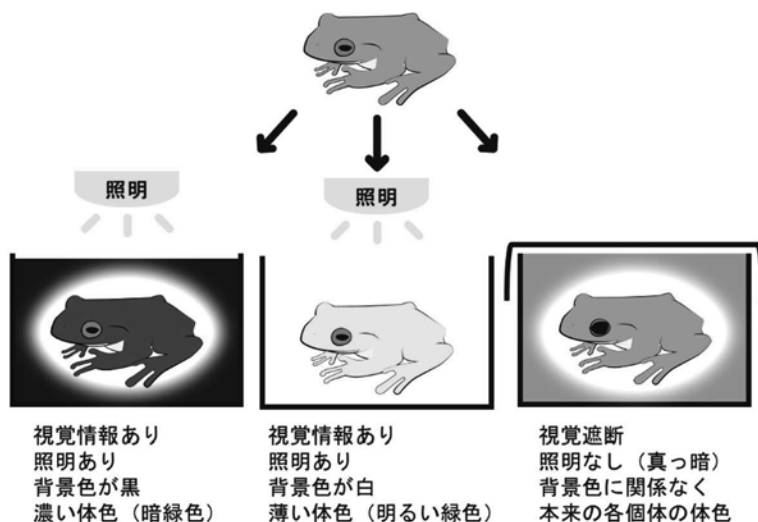


Fig. 8. 視覚遮断実験の結果模式図