

第 34 回自然科学部系部活動

研究発表・交流会

論文集

生物分野



ぎふ総文 マスコットキャラクター ミナモ

令和7年度岐阜県高等学校総合文化祭

第34回 自然科学系部活動研究発表・交流会

期日 令和7年11月15日（土）
会場 岐阜大学
主催 岐阜県高等学校文化連盟
岐阜県高等学校文化連盟自然科学部会
共催 岐阜大学

受付 9:30～10:00

1. 開会式 10:00～10:10 会場：講堂
- (1) 開会の言葉
 - (2) 岐阜大学学長挨拶
 - (3) 自然科学部会長挨拶
 - (4) 講師紹介
 - (5) 諸連絡

2. 研究発表 10:20～12:25 会場：講堂
応用生物科学部 101 教室

※会場が2会場に分かれます。事前に確認をしてください。

※時間は5分間です。1 ベル 4 分、2 ベル 4 分 30 秒、3 ベル 5 分。

5分のベルが鳴った時点で発表を終了してもらいます。

※次の発表者は、ステージ横の椅子に座って待機して下さい。

3. ポスターセッション・交流会 会場：体育館
13:20～15:00

※14時20分に顧問票と生徒票を回収します。（アナウンスあり）

※パネル等の片付けにご協力ください。その後、講堂に移動してください。

4. 閉会式 15:30～ 会場：講堂
- (1) 表彰
 - (2) 講師指導講評
 - (3) 諸連絡
 - (4) 閉会の言葉

発表プログラム 生物会場（講堂）

1	10:20 ～ 10:25	生物1	岐阜高校 自然科学部 生物班 長良川支流のコイはどこから来ているのか？	ポスターパネル D-1
2	10:26 ～ 10:31	生物2	岐山高校 自然科学部 生物講座 球根植物におけるブドウ糖施用効果	ポスターパネル D-2
3	10:32 ～ 10:37	生物3	岐阜高校 自然科学部 生物班 アオスジアゲハは市街地で人と共存する	ポスターパネル D-3
4	10:38 ～ 10:43	生物4	八百津高校 自然科学部 追究！学校周辺の野生動物 ～イノシシとカモシカを中心に・・・～	ポスターパネル D-4
5	10:44 ～ 10:49	生物5	大垣養老高校 農業研究部・動物 牛班 カプセルセンスを活用した暑熱対策飼料を給与効果試験	ポスターパネル E-1
	10:50 ～ 10:55	休憩		
6	10:56 ～ 11:01	生物6	多治見高校 総合文化部科学 周波数による蚊の行動変化	ポスターパネル E-2
7	11:02 ～ 11:07	生物7	加茂農林高校 自然科学部 魚類骨格標本の作製と観察からわかる魚類の生態について	ポスターパネル E-3
8	11:08 ～ 11:13	生物8	不破高校 自然科学部 学校周辺に現れるニホンジカの4年半記録から ～繁殖と行動を分析する～	ポスターパネル E-4
9	11:14 ～ 11:19	生物9	岐阜高校 自然科学部 生物班 小型サンショウウオにおける繁殖期変動と交雑の可能性	ポスターパネル F-1
10	11:20 ～ 11:25	生物10	大垣北高校 自然科学部 画像解析を用いたハコネサンショウウオ・ホムラハコネサンショウウオの幼生の種判別	ポスターパネル F-2
	11:26 ～ 11:31	休憩		
11	11:32 ～ 11:37	生物11	大垣北高校 自然科学部 岐阜のオオサンショウウオを守る！ ～交雑個体捕獲活動の成果・国産個体のサンクチュアリ創出・国産個体と交雑個体の食性の違い～	ポスターパネル F-3
12	11:38 ～ 11:43	生物12	郡上北高校 科学部 郡上市のオオサンショウウオの生息分布～大和町小間見川の生息数が激減～	ポスターパネル F-4
13	11:44 ～ 11:49	生物13	加茂農林高校 自然科学部 加茂農林高校で繁殖したツバメ類について	ポスターパネル G-1
14	11:50 ～ 11:55	生物14	羽島高校 科学部 マロニエの蛍光物質について	ポスターパネル G-2
15	11:56 ～ 12:01	生物15	大垣北高校 自然科学部 ハクセキレイの巣作りにおける親鳥の行動	ポスターパネル G-3
	12:02 ～ 12:07	休憩		
16	12:08 ～ 12:13	生物16	岐山高校 自然科学部 生物講座 バランスドアクアリウムの物質循環の定量化	ポスターパネル G-4
17	12:14 ～ 12:19	生物17	郡上高校 自然環境科学部 郡上市に生息するモリアオガエルの生態調査Ⅱ	ポスターパネル H-1
18	12:20 ～ 12:25	生物18	岐山高校 自然科学部 生物講座 外来種駆除のためのアレロパシー物質の混合	ポスターパネル H-2

長良川支流のコイはどこから来ているのか？

岐阜高等学校自然科学部生物班魚班

七枝利享 高須樂 司馬綾乃 三浦純一郎 日比野蒼汰

1. 導入

長良川の支流には様々な水生生物がいる。その中でもコイ(*Cyprinus carpio*)やカメはサイズが大きいため人の目につきやすく、通りがかる人々の目の保養となっている。しかし、これらのコイやカメは、人の手で持ち込まれた外来種であることがほとんどである。こうした外来種によって、長良川に生息していた在来種が急速に数を減らしていることに多くの人は目を向けていない。人為的にもちだされた一部の種や地域系統は、移入先で同種あるいは他種の生物と安定した関係を保たないことがあり、対抗手段をもたない在来の種や地域系統を絶滅に追い込んだり、生態系や生息地を改変したりする外来種問題が懸念される^{*1}。

コイは観賞用や放流など人為的移入の機会が多く、ニシキゴイなど明らかに外見で外来系統だと分かるものもあるが、外見では在来系統と外来系統を区別しにくいものも存在することから、外来種問題を考える上で代表的な存在である。そこで、本研究ではコイについて調査することにした。まず、コイの外来種問題に対する認識を把握するため、岐阜市内の池において意識調査を行った。また、先行研究^{*2}として長良川本流のコイを、ミトコンドリア DNA を用いて在来系統と外来系統の判別を行ったものもあるが、サンプル数が7個体での調査であったため、本研究では、長良川本流での調査の前段階として長良川支流でコイのミトコンドリア DNA を用いて、在来系統と外来系統の判別を試みた。

2. 意識調査

岐阜市北部の「ながら川ふれあいの森 四季の森センター」内にある百々ヶ峰を登って行った中腹にある池（右図）に大量のコイが泳いでいる。コイがいる状況はこの施設の「市民が森林浴、自然散策等の体験を通して森林の有する多面的な機能と森林に関する知識・理解を深める^{*3}」という理念に反している。また、昔は、コイがおらず、アズマヒキガエルなど在来種が生息していたそうだが、コイの放流によって繁殖が困難な環境になったためか、アズマヒキガエルの保護を呼びかける看板が立てられている。池の近くを通りがかった人の中にはコイに餌を与える人も見られるなど施設の理念についてよく理解していない人が多いと感じた。そこで、この池とコイに対する認識を調査するアンケートを行った。



〈調査方法〉

池の近くを通りがかった人に、以下 13 項目の質問を行った。

- Q1 岐阜市在住ですか。
- Q2 年齢を教えてください。
- Q3 性別を教えてください。
- Q4 ながら川ふれあいの森 四季の森センターにはどれくらいの頻度で来ていますか。
- Q5 ながら川ふれあいの森 四季の森センターの理念を知っていますか。
- Q6 この池についてどう思いますか。
- Q7 そう思った理由を教えてください。
- Q8 この池のコイについてどう思いますか。

Q9 そう思った理由を教えてください。

Q10 大半のコイが外来種だということを知っていますか。

Q11 コイが生態系に影響を与える可能性があることを知っていますか。

Q12 この池が今後どうあるべきだと思いますか。

Q13 ご意見などがございましたらお書きください

〈結果〉

16 人から回答を得ることができた。

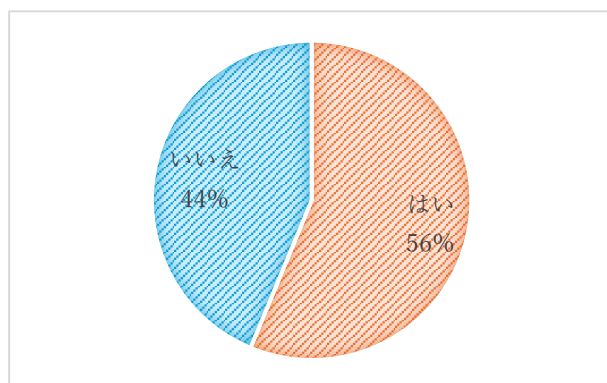


図 1. Q1 に対する回答

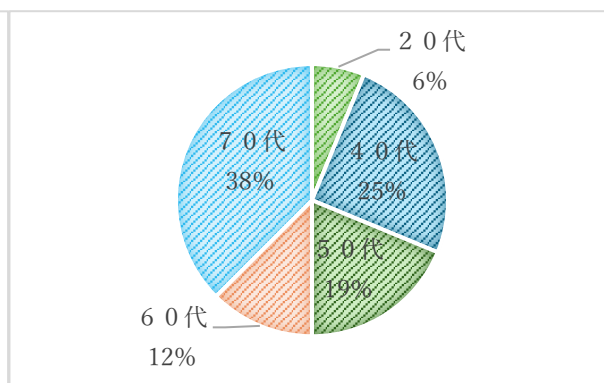


図 2. Q2 に対する回答

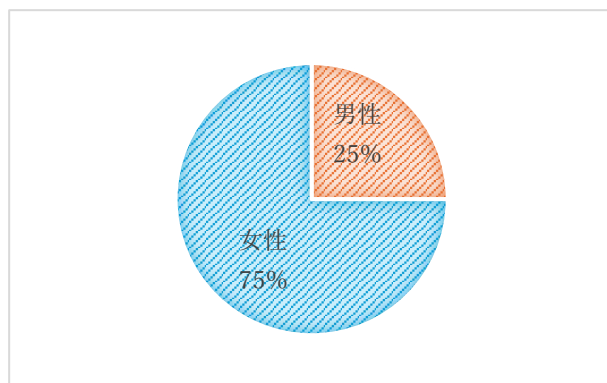


図 3. Q3 に対する回答

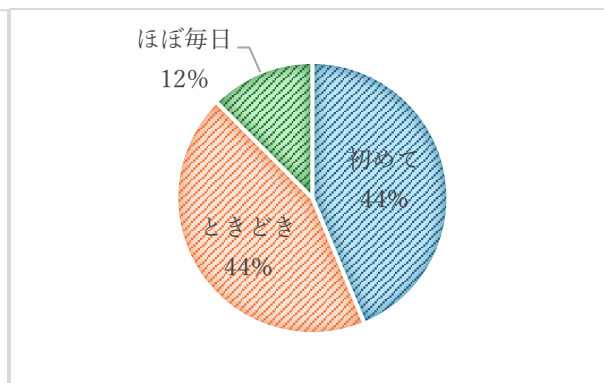


図 4. Q4 に対する回答

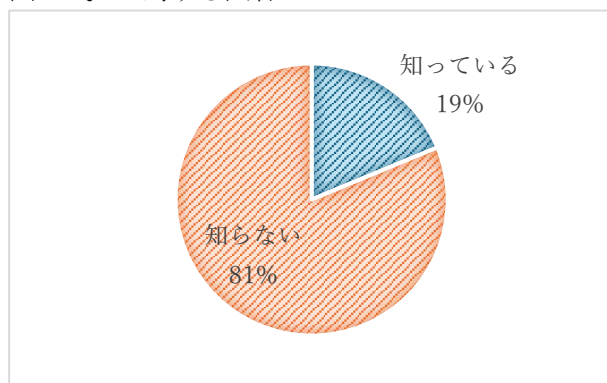


図 5. Q5 に対する回答

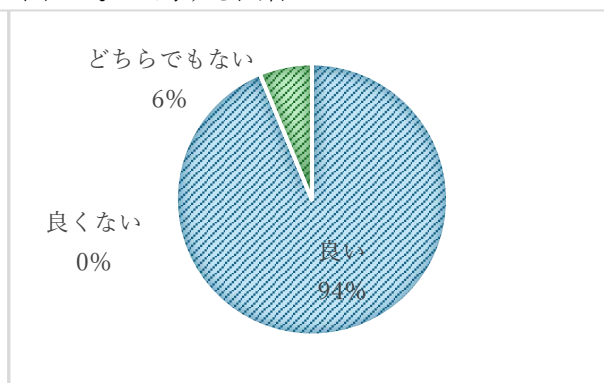


図 6. Q6 に対する回答

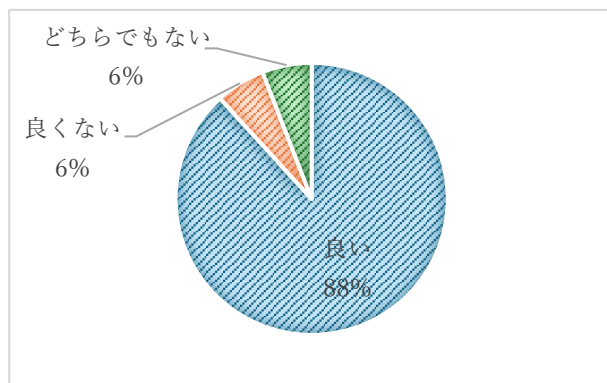


図 7. Q8 に対する回答

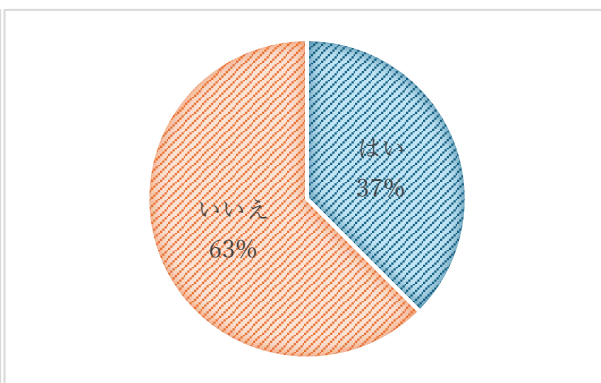


図 8. Q10 に対する回答

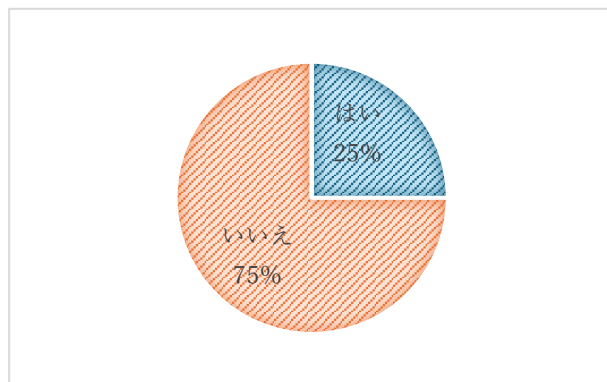


図 9. Q11 に対する回答

Q7「Q6. この池についてどう思いますか。」の回答の理由は以下の通りである。

回答	件数
雰囲気が良いからという趣旨の回答	4 件
昔からあるからという趣旨の回答	1 件
癒しになるからという趣旨の回答	1 件
自然だからという趣旨の回答	1 件

Q9「Q8. この池のコイについてどう思いますか。」の回答の理由は以下の通りである。

回答	件数
観光として良いからという趣旨の回答	2 件
雰囲気が良いからという趣旨の回答	1 件
癒しになるからという趣旨の回答	1 件
自然だからという趣旨の回答	1 件

Q12「この池が今後どうあるべきだと思いますか。」の回答は以下の通りである。

回答	件数
このままで良いという趣旨の回答	6 件
アズマヒキガエルを保護するべきという趣旨の回答	2 件

〈考察〉

コイが外来種であることを知らない人が 63%，コイが生態系に影響を与えることを知らない人が 75%いたことから，多くの人がコイの外来種問題を認識していないと考えられる。また，コイがいることに好意的な意見が多く，アズマヒキガエルを保護するべきという意見は少なかった。

3. コイの捕獲

A (論田川, 西荘) B (論田川, 鏡島)
C (水路, 茜部菱野) D (水路, 金園町)
E (新荒田川, 五坪) の5地点で漁協の承諾を得てコイの捕獲を行った。また、個体ごとに捕獲した地点と日時、全長、体長、体高、体重、体色、傷の有無、特徴を記録し切片の採取を行った。捕獲できたコイは以下のとおりである。なお、雌雄の判別を試みたが困難であった。さらに、食性を調べるため吐瀉物を取ろうと試みたが、吐かせることは困難であった。



個体	全長 (cm)	体長 (cm)	体高 (cm)	体重 (kg)	体色
A_001	35	30	11	0.9	黒
A_002	75	68	20	9.2	褐色, 鰭白
C_001	75	65	18	6.8	黒
C_002	71	64	15	4.6	黒
C_003	68	57	17	4.5	黒
C_004	71	58	21	7.0	黒
C_005	71	63	18	6.1	黒
C_006	75	60	18	5.2	黒
D_001	53	43	14	2.7	黒
D_002	61	49	14	3.2	黒
D_003	62	51	14	3.6	黒
E_001	57	49	6.5	3.0	黒



捕獲されたコイ

4. 【実験1】プライマーの設計と制限酵素の選定を行い、コイのDNAから在来系統と外来系統を判定する

〈方法〉

(1) DNAの抽出

キアゲン社, DNeasy Blood&Tissue Kit でDNA抽出を行った。

(2) プライマーの設計

DDBJより在来種である琵琶湖系統のコイ (AP009047) のmtDNAのCytb領域と外来種である台湾系統のコイ (X61010) のmtDNAのCytb領域の塩基配列データを検索した。

次に、コイ科に使われるユニバーサルプライマーがコイに使用することができるかを検討した。まず、琵琶湖系統と台湾系統のコイの全塩基配列^{*5}と既存のプライマーの塩基をMAFFTを用いてアライメントを行った。その結果、一部塩基のずれが認められ、うまくPCRで増えないことが懸念された。そこで改めて適当な部分の塩基配列を比較し、プライマーを設計した。なお、KはGまたはTである。

コイ科ユニバーサルプライマー

L14690-Glu	GGTCATAATTCTTGCTCGGA
H15913-Thr	CCGATCTTCGGATTACAAGACCG

設計したプライマー

L14690-Glu2	GGTCATAATTCTTGCTCAGA
H15913-Thr2	CCGAKCTTCGGATTACAAGACCG

(3) PCR

組織 DNA からの通常 PCR (Conventional PCR) を行った。

95℃	1 分	× 30
55℃	1 分	
72℃	2 分	

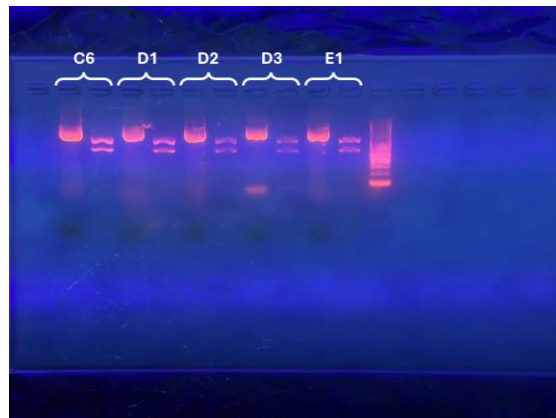
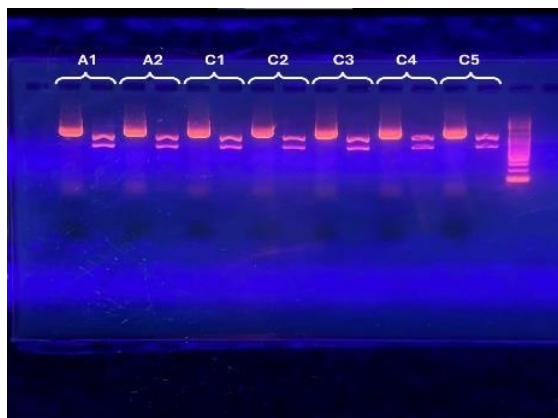
(4) 制限酵素の決定

電気泳動を行う際、制限酵素を入れることで、在来系統と外来系統の DNA の切れ目に違いが生じ、バンドの数に違いが出る。この方法は、シーケンスを行うよりも速く簡単に判別ができるため、制限酵素を決定することにした。まず、琵琶湖系統と台湾系統のコイの mtDNA Cytb 領域の塩基配列を TAKARA Cut-Site Navigator を用いて制限酵素ごとに切断箇所を調べた。PCR で増幅した 1270bp の DNA 断片は琵琶湖系統のコイと台湾系統のコイで切れる回数が異なり、それぞれのバンドの長さが異なる制限酵素を探した。その結果、琵琶湖系統のコイが 131bp と 376bp、763bp の 3 断片、台湾系統のコイが 507bp と 763bp の 2 断片で切断できる Hha I という制限酵素を選定した。

Hha I	<pre> G C G C C G C G </pre>
-------	--

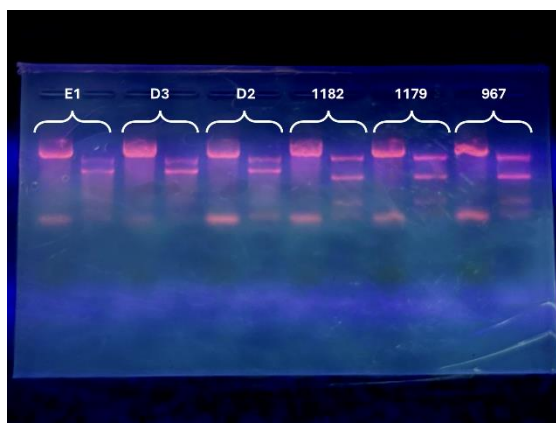
(5) 電気泳動

2%アガロースゲルで電気泳動した結果は以下のとおりである。



【実験 2】設計したプライマーと制限酵素は在来系統と外来系統の判定ができるのか

琵琶湖系統のコイのサンプルを提供していただき、再度実験した。結果は以下のとおりである。



〈考察〉

実験2により、設計したプライマーと制限酵素で予定通り在来系統のコイと外来系統のコイの判別を行うことができた。

今回用いたコイはすべて長良川支流で捕獲したものであり、実験1より、すべて外来系統であった。これらのコイは放流された個体だと考えられる。

4. 展望

今回のミトコンドリア DNA を用いた方法の懸念点として、交雑種である可能性を否定できないということが考えられる。また、今回の研究を通して、コイが生態系にどれほど影響を与えているのかという疑問点が残っている。

これらを踏まえて以下のことを行いたい。

- ・長良川支流におけるコイの捕獲数を増やす。
- ・長良川支流におけるコイの捕獲地点を増やす。
- ・長良川本流においてコイを捕獲する。
- ・コイの吐瀉物を採取する方法を確立する。
- ・DNA によるコイの雌雄判別ができるかを検討する。
- ・シーケンスによって塩基配列を詳しく調べる。

また、本流には黒色の個体だけではなく白色の個体もいると聞く。今回支流で捕獲したコイの体色はすべて黒色で外来系統であったが、白色の個体が在来系統か確かめることで、色による識別が可能であるかを確かめたい。

5. 謝辞

岐阜大学地域科学部 向井貴彦教授には多くの助言をいただきました。また、国立環境研究所琵琶湖分室の馬淵浩司様には琵琶湖コイのサンプルをご提供いただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 鷺谷いずみ, 宮下直, 西廣淳, 角谷拓 保全生態学の技法 調査・研究・実践マニュアル P84, 85 東京大学出版会 2010
- 2) Kohji Mabuchi , Masaki Miya , Hiroshi Senou, Toshiyuki Suzuki , Mutsumi Nishida Complete mitochondrial DNA sequence of the Lake Biwa wild strain of common carp (Cyprinus carpio L.): further evidence for an ancient origin Aquaculture volume 257, Issues 1-4, 30 June 2006
- 3) ながら川ふれあいの森 四季の森センターHP <https://fureainomori.jp/center.html>
- 4) Google map
- 5) K Mabuchi, H Senou, M Nisida, Mitochondrial DNA analysis reveals cryptic large-scale invasion of non-native genotypes of common carp (Cyprinus carpio) in Japan Molecular Ecology 2008 17, 769-809

球根植物におけるブドウ糖施用効果

岐阜県立岐山高校自然科学部 生物講座 球根班

櫻木 遥斗 鈴村 旭央

1. はじめに

球根植物は、球根内に貯蔵された糖やデンプンを利用して地上部を形成するため、球根内部の栄養状態は生育に直結する。園芸の現場では、ブドウ糖を与えると球根植物の生育や開花が改善されるということが知られている。しかし、一般的に植物は光合成により自身で糖を合成できるため、ブドウ糖を与える必要があるかどうかは明確ではない。また、ブドウ糖溶液の濃度や液体肥料の併用が球根植物の生育に与える効果は明らかになっていない。

そこで本研究では、低濃度から高濃度のブドウ糖、液体肥料の有無が球根の乾燥重量、糖度、腐敗率、開花後生育期間に及ぼす影響を、個体群ごとの測定と統計解析により評価し、その作用のしくみを考察することを目的とした。栄養を球根内に蓄える性質をもつ球根植物では、外部から与えたブドウ糖を効率的に利用できる可能性に着目し、本研究を行った。

2. 仮説

仮説1 ブドウ糖溶液の供給は、球根の乾燥重量と糖度を増加させるが、腐敗率を上昇させる。

仮説2 ブドウ糖溶液と肥料との併用は、ブドウ糖溶液の効果を高める。

3. 材料と方法

3-1 処理区

初期重量および、球根の周長の平均をそろえたチューリップ球根(*Tulipa gesneriana* sp.)60個体を各群10個体の球根で構成した処理群に分け、同一環境下で管理した。全群において芽の出現を確認した後、ブドウ糖および液体肥料を以下の処理で水やりを開始した。水やりは生育期間中(3月12日～6月13日)に計20回行った。生育期間終了後、約1ヶ月経過した時点で球根を掘り上げた。なお、掘り上げまでの間は地中を常に湿らした状態に保った。

A群：水のみ

B群：液体肥料のみ

C群：ブドウ糖 0.005%溶液

D群：ブドウ糖 0.05%溶液

E群：ブドウ糖 0.005%溶液＋液体肥料

F群：ブドウ糖 0.05%溶液＋液体肥料



図1 実験開始時の様子

- ・液体肥料：ハイポネックス(N6:P10:K5)を球根栽培の推奨使用量に基づき1000倍希釈した。
- ・ブドウ糖：サンエイ糖化社製「含水結晶ぶどう糖ハイメッシュ」の小分け品を用いた。白色結晶粉末で水に可溶、純度99%以上、pH4.0～6.0、水分7.5～9.5%である。液体肥料中の主要栄養素濃度

(約 30～300ppm) を参考に、同定度の濃度またはやや高めとなる 0.005% (50ppm) および 0.05% (500ppm) の濃度で水やりに使用した。

3-2 測定項目

- ・開花後生育期間：開花日を1日目として、地上部の葉や茎全体の水分が抜け、明確に枯れた状態となった日を枯死日として個体ごとに記録した。
- ・腐敗率(%)：掘り上げ時に成長点から根元まで完全に腐っていた球根(図2)を腐敗と判定し、各群の総数に対する腐敗率として算出した。
- ・乾燥重量(g)：各処理群から代表的な個体を3球選び、1個体あたり20.0gの球根(図3)を完全に重量変化がなくなるまで乾燥させて測定した(85℃で7日間)。
- ・糖度(Brix)：各個体の球根から、乾燥重量測定に用いた部分とは別に5.0gを採取し、乳鉢ですりつぶして純水で4倍に希釈した抽出液を糖度計で測定した(図4)。



図2 腐敗した球根の例



図3 乾燥前のチューリップ球根



図4 4倍希釈した球根資料

4. 結果・考察

4-1 開花後生育期間

図5に示すように、ブドウ糖を与えたC、D、E、F群は、A群(水のみ)より開花後生育期間が延長される傾向を示した。特に、E群(低濃度ブドウ糖+液肥)は枯死日が最も遅延(59日間)し、地上部の老化が抑制された。これは、ブドウ糖が切り花の延命処理に利用されるように老化抑制効果がみられたと考えられる。また、E群(低濃度ブドウ糖+液肥)、F群(高濃度ブドウ糖+液肥)は、C群(低濃度ブドウ糖のみ)、D群(高濃度ブドウ糖のみ)に比べ、生育期間がやや延長される傾向が見られた。これは、液肥により球根の健康状態が保たれた可能性が示唆される。さらに、C群(低濃度ブドウ糖)、E群(低濃度ブドウ糖+液肥)は、それぞれD群(高濃度ブドウ糖)、F群(高濃度ブドウ糖+液肥)に比べ開花後生育期間が延長された。これより、低濃度ブドウ糖は老化抑制に寄与するが、高濃度ブドウ糖では過剰糖分による浸透圧負担や微生物活動の影響で効果が減弱する可能性が示唆された。ただし、本研究で用いた濃度は極めて低いため、強い浸透圧ストレスが直接的要因となる可能性は低い。しかし、球根内部や球根付近では糖濃度が局所的に高まり、軽度の浸透圧変化による吸水効率の変動が生じた可能性がある。

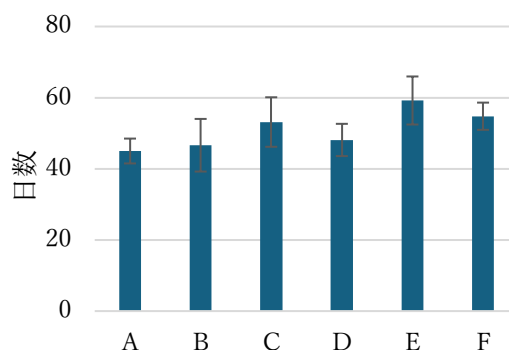


図5 開花後育成期間における生育推移

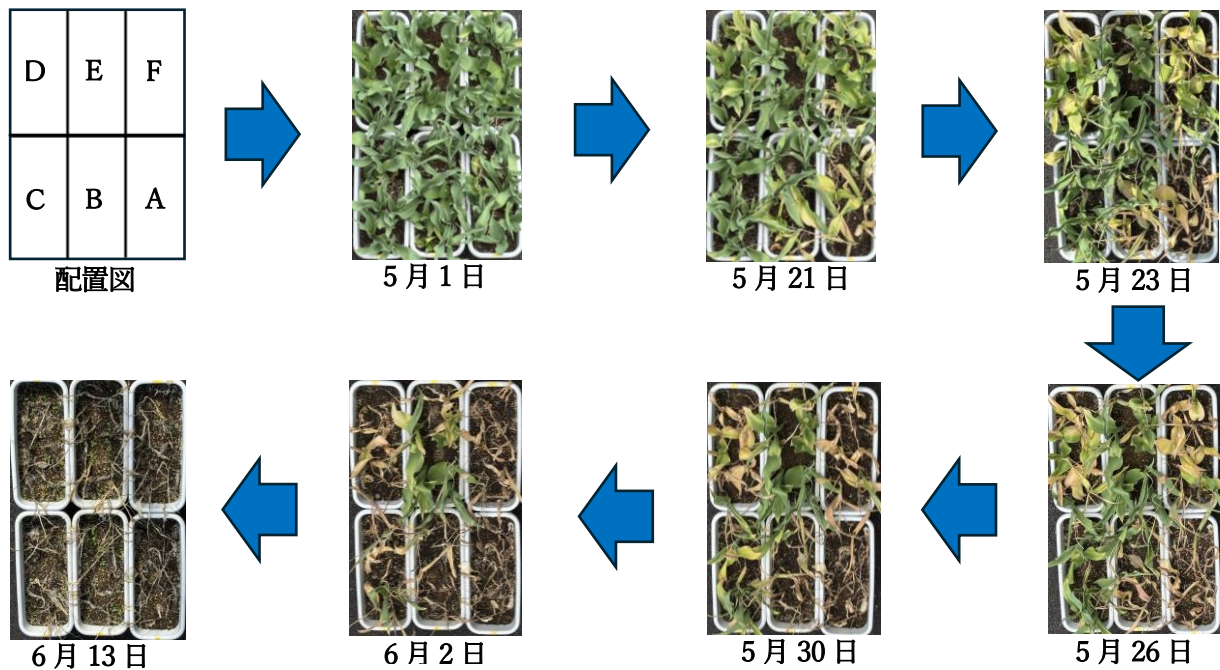


図6 5月1日～6月13日までの育成過程

4-2 腐敗率

図7が示すように、各群の腐敗率には差が見られた。C群（低濃度ブドウ糖）およびF群（高濃度ブドウ糖+肥料）は生育期間が比較的長かったものの腐敗率はやや高かった。糖や栄養の供給バランスが偏ったことにより腐敗が促進された可能性がある。D群（高濃度ブドウ糖）は腐敗率は低かったが地上部の葉は早く老化しており腐敗率と生育期間は必ずしも一致しなかった。E群（低濃度ブドウ糖+液肥）は糖と肥料の供給バランスが適切で腐敗率が低下したと考えられる。低濃度の糖が球根内で有効に利用され肥料による栄養補給も加わることで健康的な植物体が維持された可能性がある。これにより、球根の腐敗抑制には糖や肥料の適切なバランスが重要であることが示唆された。

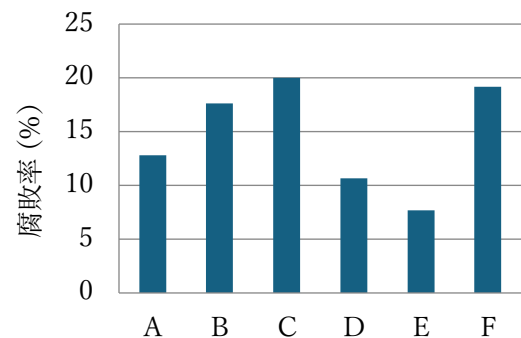


図7 各群の腐敗率

4-3 球根乾燥重量

図8が示すように、C群（低濃度ブドウ糖）はA群（水のみ）より有意に乾燥重量が増加した（C群 $P=0.02$ ）。また、E群（低濃度ブドウ糖+液肥）も乾燥重量が増加する傾向がみられた。これは低濃度ブドウ糖が球根内での有機物合成に寄与し、液肥との併用により窒素・リン酸・カリウムの吸収効率が向上したためと考えられる。さらに、C群（低濃度ブドウ糖）、E群（低濃度ブドウ糖+液肥）

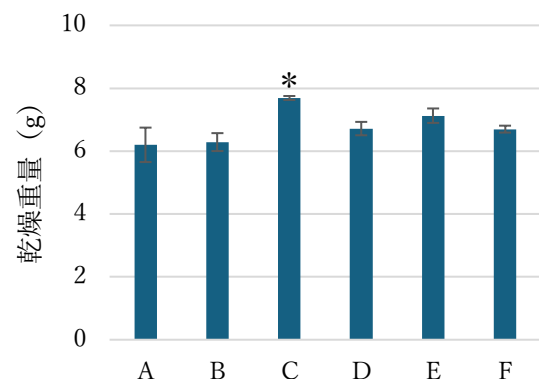


図8 各群の平均球根乾燥重量

に比べ、D 群（高濃度ブドウ糖）、F 群（高濃度ブドウ糖＋液肥）の乾燥重量がやや減少する傾向がみられた。これは、開花後生育期間と乾燥重量の関与を示唆しており、老化抑制効果による光合成期間の延長と光合成で得られる糖に加えてブドウ糖が外部から供給された結果、球根内への養分蓄積量を増加に寄与した可能性が示唆された。

4－4 球根糖度(Brix)

図 9 が示すように、糖度は平均 6.8～7.5 程度であり、処理間に有意差は認められなかった。今回の測定は Brix（可用性固形分）で行ったため、水溶液に溶け出た糖度しか測定できておらず、球根内に蓄積した状態と考えられる。乾燥重量の増加と合わせると、ブドウ糖は主に球根内の有機物蓄積に利用され、糖度変化としては顕著に現れなかった可能性がある。

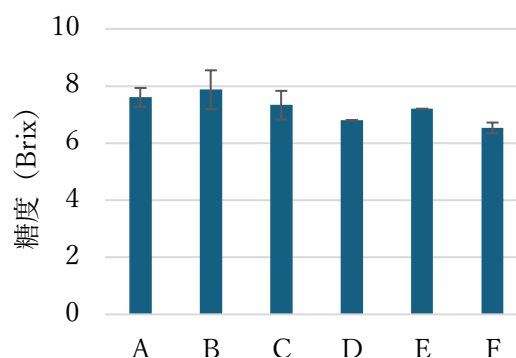


図 9 各群の平均球根糖度 (Brix)

4－5 総合考察・まとめ

本研究では、低濃度ブドウ糖液の散布が開花後生育期間の延長に寄与し、地上部の老化抑制効果が確認された。特に E 群（低濃度ブドウ糖＋液肥）は最も遅延が顕著であり、低濃度ブドウ糖の老化防止効果が植物の生育に有効であることが示唆された。ブドウ糖の老化防止効果は、切り花の延命処理に利用されることが報告されているが、今回のように植物栽培に利用された報告はなく、本研究で新規の発見と考えられる。

ブドウ糖液の散布は土壤微生物を活性化し、腐敗率を高める可能性があるが、E 群のように液肥と併用することで腐敗率を低下させることができた。これは、球根に必要な栄養を液肥で補い、低濃度ブドウ糖を与えることで栄養バランスが整い、健康的な成長が維持されたためと考えられる。

低濃度ブドウ糖液の散布により、球根の乾燥重量が増加したのは、開花後生育期間の延長により、光合成量が増加することで、球根内に有機物が蓄積されたと考えられる。また、ブドウ糖散布により、直接糖が球根に吸収された可能性も残るが、本研究では明らかにできず、今後検討する必要がある。

球根の糖度 (Brix) を分析した結果、各処理群間に有意な差は認められなかった。これは、球根がブドウ糖を直接吸収するのではなく、多糖類として蓄積している可能性や、分析までの保管期間中に吸収されたブドウ糖が変化したことが影響していると考えられる。したがって、ブドウ糖が直接球根内に吸収されるかどうかについては、今後さらに検討する必要がある。また、糖度に大きな差は見られなかったものの、乾燥重量の増加と併せて考えると、ブドウ糖は主に球根内での有機物蓄積に利用され、その影響は糖度としては顕著に表れなかったと解釈できる。

以上を総合すると、球根植物の健全な生育や腐敗抑制には、糖と肥料の適切なバランスが重要であることが示唆される。特に低濃度ブドウ糖と液肥の併用は、地上部の老化抑制効果により生育期間を延長し、球根内の有機物蓄積を促すことから、球根植物特有の短期間で効率的に栄養を貯蔵するライフスタイルに最も適していることが示された。このことから、ブドウ糖の施用は球根植物の生理的特

性と調和しており、成長促進と球根の状態維持の両面で効果的であると考えられる。そして、今後は塊根を形成する植物、根菜類など、同様に栄養を貯蔵する構造をもつ植物への応用も期待できるが、その効果が球根植物と同様に表れるかは、植物ごとのライフサイクルの違いを踏まえて検討する必要がある。

5. 今後の展望

今後は、土壤微生物群集や糖代謝の解析を通じて、腐敗抑制や成長促進のメカニズムを明らかにする必要がある。また、他の球根植物や栽培環境での検証を行い、ブドウ糖濃度や施肥タイミングの最適化を進めることで、より実用的な球根管理法の確立につなげたい。

6. 参考文献

- 1) 「チューリップ切り花の香り保持期間を延長する技術」農研機構（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）
- 2) 「植物に砂糖水を与えてもよいのですか？」「ぶどう糖は肥料になるのか」「デンプン貯蔵について」日本植物生理学会「みんなのひろば」Q&A

アオスジアゲハは市街地で人と共存する

高校名 岐阜県立岐阜高等学校自然科学部生物班

生徒名 児玉凌汰 野波蒼空 長屋光俐 辻内樹 柴山蒼生 渡邊皓太

1. 研究対象・意義・概要

アオスジアゲハ(*Graphium sarpedon*) (図 1)はアゲハチョウ科アオスジアゲハ属の蝶で、日本では本州以南に広く分布している。幼虫はクスノキ科(*Lauraceae*)の葉を食草としており、本校の敷地内ではクスノキ(*Cinnamomum camphora*)を利用している。アオスジアゲハの成虫の翅には青緑色の帯があり、青緑色の部分が濃いほど繁殖に有利であることが分かっている¹⁾。また、クスノキは樟脳を含むため防虫効果があり、人は身近な場所に



図 1: アオスジアゲハ



図 2: 葉の上で休む若齢幼虫

クスノキを植えてきた。そのため、アオスジアゲハは外敵が少なくクスノキが多い市街地に多く分布している²⁾。しかし、幼虫がクスノキを食害しても駆除対象にされることもなければ、目撃頻度も成虫より極めて少ない。これは幼虫の色と静止している時間が関係すると考えた。観察をしているとアオスジアゲハの幼虫は葉の上に長い間静止している様子が観察された(図 2)。幼虫が静止している葉には食害された箇所はなく、幼虫は上部にある新芽に移動して食事を終えると休むための成熟葉に戻っているようだった。この行動の意味は何なのか、また何故幼虫は飛翔するアシナガバチや鳥などの捕食者に見つかりやすい葉の表で静止しているのかという点について明らかにすることを試みた。

2. 実験方法

実験① 幼虫の成長段階と行動の変化

アオスジアゲハの若齢幼虫は、食べるためのクスノキの葉(図 3 新芽)を歩き回りながら選んで食べた後、食べる葉とは別の葉(図 3 成熟葉)で長い時間休む様子が観察された(図 2)。この静止状態を「眠状態」と呼ぶことにする。一般に、ナミアゲハなどでも脱皮をする前と食事の間に眠状態になることが知られているが、葉の裏や枝が多いとされている。しかし、アオスジアゲハの幼虫における眠状態は図 2 のように、他の葉があっても日光が当たる側の最適な葉を選んで眠状態となった。また、飼育観察していく中で、成長段階ごとに眠状態で過ごす場所に変化が見られると分かった。このような幼虫行動の変化は何らかの意味があるのではないかと考えて実験を行った。



図 3: クスノキの成熟葉(左)、新芽(右)

無色透明の飼育ケースで、日光を当てて幼虫を飼育し、移動せず眠状態となる幼虫の位置が葉の表なのか裏なのか、という観点で記録し、それぞれの個体数をカウントした。また、成長段階によって行動にも違いが見られるのではないかと考えたため、若齢である黒色の幼虫と 3 齢以降の緑色の幼虫を目視で判別し、その 2 種類を分けて記録して実験を行った。

実験② 動画撮影による幼虫の行動時間の決定

実験①から、3 齢以降の緑色の幼虫は昼間、葉の表で休眠状態となることが多いと分かった。葉の表にいと飛翔する外敵に見つかりやすく危険であるが、幼虫は葉の表にいる。しかし実際、眠状態のアオスジアゲハの幼虫を見つけることは意外と難しい。また幼虫は、昼間は眠状態であるため、ほとんど動かず、主に夜間に採食していると考えられた。一般によく飼育が行われているナミアゲハで

は、昼夜に関係なく採食し、特に昼に活発に採食することが多い。また、私たちが校内で飼育しているジャコウアゲハやホソオチョウも昼に活発に採食しておりアオスジアゲハのように眠状態に長時間なることはなかった。このように、アオスジアゲハは、他のアゲハチョウ属とは異なる行動形態を持つことが考えられた。そこで、アオスジアゲハの幼虫を日光に当てた条件で終日動画撮影し、その動画を分析することで、アオスジアゲハの行動形態を明らかにすることにした。幼虫は脱皮する日としない日では眠状態の時間に差がでる可能性も考えられたため、脱皮が起こったかどうかとも記録した。また、幼虫が正確に同じ葉に戻ることから何か目印があるのではないかと考え、動画撮影で幼虫が歩いた場所を特定し、その部分を双眼実体顕微鏡で観察した。

実験③ 光の有無による幼虫の体色変化

実験①②からアオスジアゲハの幼虫は、昼間は葉の上で眠状態となる時間が多いと確認された。外敵から隠れるなら葉の裏が適しているはずだが、葉の表に留まるのは光を浴びる必要があるからではないかと考えた。実験③ではその理由の解明を目的とした。先行研究では、幼虫期に光を与えず飼育した成虫の翅の色に焦点を当てて研究されていた³⁾が、幼虫期の色の変化については詳しく触れられていなかったため、私たちは幼虫の体色変化に注目して研究を行うことにした。そこで、私たちは光に当たることで生存に有利になる体色変化をすると仮説を立てて実験を始めた。実験は、光を当てて育てた幼虫と、光を当てずに育てた幼虫を ImageJ によって比較した。また、他のアゲハチョウ属とは異なり、アオスジアゲハの幼虫の皮膚は透明であった(図4)。そのため、幼虫の色は体液の色の変化によるものと考え、脱皮がなくても体色は変化しているかを確認した。



図4:透明の脱皮殻と幼虫

実験④ 体色変化と葉への擬態

実験③で幼虫は光の有無で体色に違いが見られた(図5)。そこで、光に当たることで葉の色に擬態して天敵からの捕食を逃れているのではないかと考え、3齢以降の幼虫の体色と成熟葉の表の色を比較した。実験①より3齢以降の幼虫は成熟葉の表で眠状態となっていたため、比較する葉には成熟葉20枚の表のデータを用い、RGB値をImageJで算出した。そして、R値(赤色)、G値(緑色)、B値(青色)にわけて成熟葉の表と幼虫の体色を比較した。また、色の階調は0から255までであり、数字が大きいほど光が強く、数字が小さいほど光が弱いことを示す。



図5: 光を当てた幼虫(左), 4齢から光を当てなかった幼虫(右)

実験⑤ 青緑色の部分の鱗粉の有無と発色の原因

実験④によりアオスジアゲハは幼虫期に光を受けることで、色素の構造変化を起こし、成熟葉の表の色に近づき、眠状態となる時に目立たないようにしていると考えられた。これは先行研究にある体液中のビリルビン系色素が太陽光により構造変化する現象⁴⁾と同様であると考えられたが、成体にも同じ色素が含まれるはずであるため、同様に光による変化が起こるのかを調べた。成体の翅の青緑色の部分は体液の色と関連があるのか調べることにした。また、アオスジアゲハの青緑色の部分には鱗粉が存在していないという記事があったため、翅の青緑色は鱗粉の色ではなく、羽化後に翅を伸長させるときに体液を循環させたときの色が見えていると仮定した。しかし、この記事は論文ではないため、まずは鱗粉が本当に存在しないのかを双眼実体顕微鏡で確認した。

観察部分を前翅腹側、前翅背側、後翅腹側、後翅背側(翅を開いたときの下部が腹側、上部が背側)に分けて、黒色の鱗粉が混入しないように双眼実体顕微鏡で確認しながらそれぞれの青緑色の部分から鱗粉と思われるものを柄付き針で採取した。そこで得られたものをそれぞれ光学顕微鏡で観察した。

実験⑥ 青緑色の部分の色の特定

アオスジアゲハの青緑色は翅の下地の色であると実験⑤で明らかになった。また、先行研究によるとアオスジアゲハは羽化から 24 の間に光を照射することで青緑色が濃くなる⁴⁾とあり、実際に光を当てずに幼虫期から育てたアオスジアゲハを死亡後に光に 1 日照射したところ、全く色が変わらなかった(図 6 右)。アオスジアゲハの青緑色はなぜ 1 日後には色が変わりなくなるのだろうか。アオスジアゲハの青緑色の部分は翅を伸ばす際に体液が流れるが、その後乾燥すると色素沈着し、変化しなくなると考えられる。この状態でアオスジアゲハの青緑色部分のみを切り取り、70%MeOH に入れて抽出を行った。その後、遠心分離を行い、鱗粉を含まない色素の抽出液を作成した。この抽出液を分光光度計により吸収波長を出した。さらに、紫外線に当てることで変化が起こるかも調べた。



図 6: 光を当てて育てた個体(左), 羽化後一日たってから光を当てた個体(中), 光を当てずに育てた個体(右)

3. 結果

実験① 幼虫の成長段階と行動の変化

実験の結果、緑色の幼虫は図 7 のように葉の表で眠状態となる傾向が見られ、結果は表 1 のようになった。緑色と黒色で動いていた個体の割合にほとんど違いは見られなかったが、葉のどちらで眠状態になっているかという観点では、緑色の幼虫が葉の表にいる傾向が強く、黒色の幼虫は葉の表裏で傾向に大きな差は見られなかった。

表 1: 幼虫の成長による休息場所の変化

場所	黒色の幼虫(若齢幼虫)	緑色の幼虫(3 齢以降)
表にいた個体	46. 15%	71. 91%
裏にいた個体	38. 46%	16. 85%
動いていた個体	15. 38%	11. 24%



図 7: 光の当たる成熟葉で眠状態になっている幼虫

実験② 幼虫の動画撮影による行動時間の決定

日の出ている時間帯を明るい時間帯、出ていない時間を暗い時間帯として、幼虫の行動を眠状態と採食時に分けて記録し 25 日間観察した。表 2 には 1 個体の幼虫の脱皮をしなかった場合の 1 日を例として示した。実験を行った日の明るい時間帯は 6 時頃～19 時頃までの約 13 時間、暗い時間帯は 19 時頃～翌日の 6 時頃までの約 11 時間であった。採食は明るい時間帯には 2 回に分けて合計 34 分、暗い時間帯には 4 回に分けて合計 103 分行われ、一回の採食に要した時間の平均は暗い時間帯の方が長くなった。一日の採食時間のうち、明るい時間帯に行われた割合は約 25%、暗い時間帯に行われた割合は約 75%であった。また明るい時間帯のうち採食に充てられた時間は全体の約 4%、暗い時間帯のうち採食に充てられた時間は約 16%であった。採食の時を除くすべての時間で眠状態にあった。この結果より、アオスジアゲハの採食は主に日の出ていない時間に行われ、昼間は短時間で採食を済ませること、採食以外の時間は基本的に眠状態であることが分かった。

表 2: 幼虫の行動形態



アオスジアゲハは動画撮影中も基本的には同じ葉に戻り、眠状態となった。採食する葉に向かう時

には、体を揺らしながら少しずつ前進する興味深い行動が見られた。動画を見てもこの行動の意味は明らかにはならなかったが、幼虫は最短距離で眠状態になる葉に戻るのではなく、採食前に通った道筋をなぞったため、何か目印があると考え、双眼実体顕微鏡で観察したところ、糸が1本張られていた。そして、枝が分岐する部分には何重にも糸が張られていた(図8)。このことから、幼虫は必ず元の葉に戻るために、目印を付けていると明らかになった。この糸を個体ごとに識別しているかは分からなかった。



図8：通った道筋の分岐に
付着した糸

実験③ 光の有無による幼虫の体色変化

飼育実験を行い、孵化直後から光を与えずに飼育した個体と光を与えて飼育した個体を得た(図9)。ImageJにより、日光を与えず飼育した幼虫(グラフ赤色, 以下「光なし幼虫」)と日光を与えて飼育した幼虫(グラフ青色, 以下「光あり幼虫」)を測定し、R値、G値、B値の各光の強さごとに占める面積の割合を図9にまとめて比較した。なおB値の図は、光なし幼虫の光の強さ0の部分のみ面積の割合が非常に大きな数値を示したため、縦軸の最大値を0.06まで省略したものを用いて比較している。



図9 光なし幼虫(左)
光あり幼虫(右)

光なし幼虫のR値の光の強さは80~140辺りに集中しているが、光あり幼虫は40~100辺りに集中しており、光なし幼虫の方が明確に赤色の強い体色をしていることが分かった。G値のグラフはどちらの幼虫も似た数値を示しており、明確な違いは見られず緑色の強さは差がないと分かった。B値に関しては、光なし幼虫は光の強さ0が面積の70%近くを占めていたのに対し、光あり幼虫は光の強さ0の割合は4%ほどで比較的少なく、光の強さは0~30辺りの範囲に集中しており光あり幼虫の方が青色の強い体色をしていることが分かった。これらのことより幼虫は日光の当たる環境で成長すると体色の赤色が弱く、青色が強くなるように変化すると考えられる。



図10：幼虫のR値(左), G値(中), B値(右)比較

実験④ 体色変化と葉への擬態

光なし幼虫(赤色のグラフ)、光あり幼虫(青色のグラフ)の体色と成熟葉の表の色(黄色のグラフ)を比較した(図11)。R値において、光の強さの最頻値は成熟葉が31, 光なし幼虫は128, 光あり幼虫



図11：幼虫と成熟葉の表のR値(左), G値(中), B値(右)比較

は 56 であり，光あり幼虫の方が葉に近い数値を示した。G 値においては，成熟葉は 47，光なし幼虫は 128，光あり幼虫は 128 が最頻値であり，その周辺の数値を比較しても，どちらの幼虫も成熟葉の光の強さとは大きく異なる結果となった。B 値においては，最頻値がいずれにおいても 0 であったため，光の強さ 1 からの値を比較したところ，光あり幼虫，成熟葉，光なし幼虫の順に青が強い結果となった。これらの結果から，アオスジアゲハの幼虫の体色は，光を浴びることで体液中の色素における緑色は変化しないが，赤色の強さが大きく減少し，成熟葉の色と近くなることが分かった。以上のことから，実験③で分かった光によるアオスジアゲハの幼虫の体色の変化は葉に擬態するためのものではないかと考えられる。また B 値は，光なし幼虫では光の強さが葉よりも小さな値を示したのに対し，光あり幼虫は葉を超過した数値となった。この理由として，光に当たっても緑色に変化せず，実際の葉より大きくなってしまふことを補う効果などが考えられるが，明確な理由は分かっていない。

実験⑤ 青緑色の部分の鱗粉の有無と発色の原因

光学顕微鏡で翅の青い部分を観察した結果，前翅腹側と後翅腹側では無色透明の鱗粉が見られ，後翅背側では少し色のついた透明の鱗粉が見られた。一方，前翅背側では体毛しか見られなかった(図 12)。このことから，前翅背側には鱗粉が存在しないが，その他の面

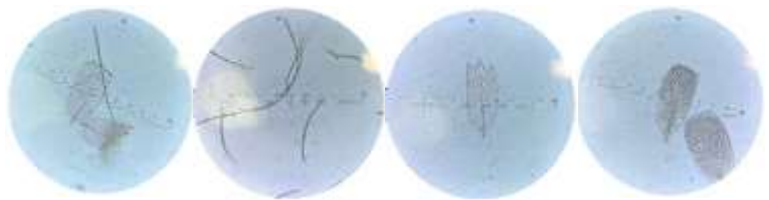


図 12: 左から前翅腹側，前翅背側，後翅腹側，後翅背側の青緑色の部分から得られたもの

には透明の鱗粉が存在しているということが明らかとなった。そのため，翅の青緑色は鱗粉の色ではないことが確かめられた。青緑色の部分に鱗粉は存在するが，前翅腹側と後翅腹側の鱗粉は無色透明であり，後翅背側の少し色のついた透明の鱗粉は色が薄いため，翅の下地の色が透けて見えていると考えられる。また，翅の下地の色が見えているのは青緑色の部分だけで，黒色と赤色の部分にはそれぞれの色の鱗粉が存在していることを確認した。

実験⑥ 青緑色の部分の色の特定

アオスジアゲハの成体は羽化後 1 日の間が最も光により色が青色に変化することが先行研究により分かっている。羽化後，蝶は体液を翅に行きわたらせることで翅を伸ばす。その後，蝶によっては体液を翅に保持するが，アオスジアゲハは翅を完全に乾かす。そのため，青緑色に見えるのは色素沈着したものだと考えられる。翅が乾いてしまうと色が変化しなかったことから，色素は液体に溶けた状態でしか構造変化しないということを仮定して，色素抽出を行い，再度，液体に溶かすことで色が変化するのを実験した。MeOH で翅の青緑色の部分の色素抽出したところ図 13 左のような青緑色の抽出液が得られた。先行研究によりアオスジアゲハの青



図 13: 左 抽出液(無処理)
右 抽出液 (光照射)

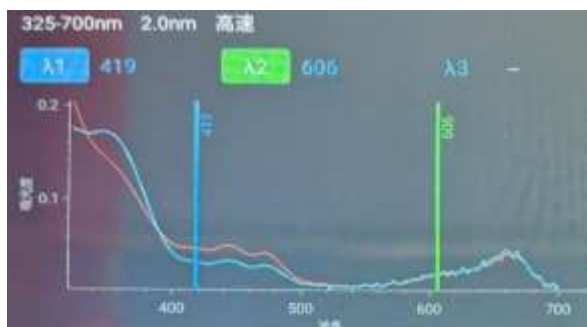


図 14: ②に光を当てなかったときの吸光度

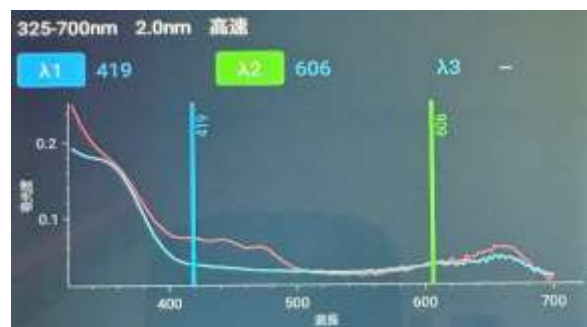


図 15: ②に光を当てたときの吸光度

色のビリン系色素は光による構造変化が知られているため、この抽出液に 24 時間日光を当てたところ、抽出液の色が薄くなったのが目視で確認できた(図 13 右)。目視だけでは本当に色が変わったのかを判断できないため、分光光度計を用いて分析を行った。その結果が図 14 と図 15 である。抽出は 2 個体の成体の青色の部分から抽出している。赤色のグラフは 1 個体目の抽出液で、グラフの基準とするために日光に当てなかった。水色のグラフは 2 個体目の抽出液のものである。図 14 では 2 個体間にやや違いはあるが、青緑色の波長域である 490nm から 550nm を含む、520nm～580nm の波長の吸光度が非常に低く、青緑色から黄色までの波長が吸収されず見えているということになる。図 14 と図 15 の水色のグラフを比較すると、光を当てた図 15 のグラフが全体的に吸光度が下がり、グラフが平坦になっている。吸光度が小さい位置でグラフが平坦になった場合、無色透明であることを示している。実験結果から、乾いて構造変化しなくなった色素は液体に溶けた状態では日光に当てることで青緑色から無色に構造変化したと考えられる。

4. 考察

アオスジアゲハの幼虫は、孵化後すぐの黒色の若齢幼虫期には、葉の表裏を問わず様々な場所で眠状態となる。また、3 齢幼虫期以降は緑色の濃い成熟葉の上で、昼間は眠状態で過ごすことが多いことが分かった。アオスジアゲハが、他のアゲハチョウ属とは異なり、昼間に眠状態で葉の上にいることは非常に危険な行動であると考えられるが、そうすべき理由がアオスジアゲハの幼虫にはあると考えられる。光を浴びることで、アオスジアゲハの体液に含まれるビリン系の色素は構造変化をおこして、クスノキの成熟葉の表の色に合わせて擬態することが出来る。そのため、幼虫は光を十分に浴びる必要があり、少しでも見つからないように眠状態で動かずに昼間は日光を浴びて過ごし、夜に採食を行っていると考えられた。また、成虫の青緑色は、蛹から羽化後 1 日の翅が伸びて乾くまでの間に光が照射されることで、構造変化が起こっていたと考えられる。翅が完全に乾いた個体に光を照射しても全く色は変化しなかったが、青緑色の部分の色素を MeOH で抽出した色素は、最初は青緑色であったが、光を 24 時間照射すると無色透明になった。この色素には先行研究によりビリン系の物質にタンパク質が結合したものであると分かっている⁵⁾ため、光照射により色素が無色透明になったのは、タンパク質の立体構造が変化した可能性がある。また、この実験の抽出には MeOH を用いており、MeOH が色素に何らかの影響を与えた可能性もある。少なくとも、今回の実験から、色素は液体に溶けている状態で光照射の影響を受けやすいのではないかと考えられた。

アオスジアゲハの幼虫は透明な皮膚をしており、体液に光が透過しやすく、葉に上手く擬態していることや、葉の上で昼間は静止していることから、人の目につくことがなく、クスノキの伸長速度の速さや、伸びた部分を好んで採食する特徴があるため、クスノキの害虫として扱われることも少ない。このように、アオスジアゲハは人から見ると、気が付かないうちに蝶になり、青くて美しい蝶が飛翔しているという程度の認識にとどまっていると考えられる。自然が豊かな地域では捕食者も多いため、クスノキが植えられた市街地はアオスジアゲハにとってより安全に生息できる最適な環境といえる。

5. 参考文献

- 1) 加藤義臣 吉岡泰子 アオスジアゲハ(鱗翅目, アゲハチョウ科)雄の配偶行動に影響する視覚刺激
- 2) 吉田宗弘 チョウ類群衆による都市環境評価のこころみ (2004)
- 3) 井原愛佳 三谷京子 アオスジアゲハの色調べ パート 5 ～光で変身, 不思議な仕組み～ 変身に必要な光の量と光の色は? (2015)
- 4) Yoshiomi Kato Junko Eba Hiromi Yamada Stimulation of blue bilin production by light in the wing of papilionid butterfly *Graphium sarpedon* (2010)
- 5) 齊藤準 野蚕の色彩に関わるビリンとその結合タンパク質 ―青色の色彩に隠された生存戦略― (2011)

追究！学校周辺の野生動物

～イノシシとカモシカを中心に・・・～

岐阜県立八百津高等学校 自然科学部
動物班 田口徹平 横田慶

1 はじめに（動機）

本校は木曽川が長野県から岐阜県に入った 30 km ほど下流の峡谷の高位段丘に位置し、グラウンドの南側はスギやヒノキの人工林やアカマツの二次林が広がっている。このような自然環境から、野生動物の目撃情報が多く授業中グラウンドにカモシカがやってくるのが頻繁にある。

そこで、学校周辺にはどんな野生動物が生息しているのだろうかと興味湧き研究を始める。まずは、学校の北西に広がる低位段丘には住宅地や田畑が広がっているため、住民と野生動物との関わりの聞き取り調査を行った。すると、イノシシやカモシカからの農作物への被害が多いとのことであった。

協力していただいた農家の竹やぶに入ってみるとイノシシがタケノコを掘った跡やフンが多く確認できた。また、その近くにはカモシカのフンも見られ、カモシカが直接タケノコを掘って食べるとは考えられないが、イノシシが掘ったタケノコを食べていると思われる。

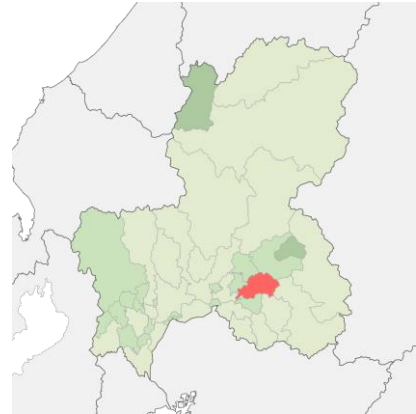


図1 岐阜県加茂郡八百津



図2 イノシシのフン



図3 カモシカのフン

2 目的

先行研究において、イノシシの行動圏やカモシカの縄張りもしくはカモシカとニホンジカの食物をめぐる競争についての研究はなされている。しかし、イノシシとカモシカの関係性についての研究は確認できなかった。そこで、イノシシとカモシカの共存について考えていくことを本研究の目的とする。

イノシシは群れ生活を営むが、オスとメスは繁殖期以外は別々に行動し、オスは単独生活を行う。また、娘は母親とともに母系的な群れを作り、メスの群れのサイズは 20 頭を越えることはない。そして、1 日の移動距離は数 km であり、縄張りを作ることはない。

カモシカはオスもメスも単独生活することが多く、個体縄張りを形成し、土地への定着性が高い。縄張りを重ねあうオスとメスが配偶行動を行い、一夫一妻制の傾向が強い。子供は約 1 年間母親とともに行動する。縄張りの面積は 10～20ha で長距離の季節的移動は行わない。

八百津町の協力を受け、学校のグラウンドから直線距離で 100m ほど南側の町有林で定点観測を行うことにする。イノシシやカモシカの目撃情報が学校北西の住宅地でも多数あることから、学校全体がイノシシとカモシカの行動圏（縄張り）にすっぽり入っているのではないだろうか。また、日中の目撃情報はカモシカが多いことから、カモシカは昼間に行動してイノシシは夜行動するといった時間的なすみわけがなされているのではないだろうか。そして、食性についても、雑食性で地表から地中を掘り返して採食するイノシシと草食性でササ類などを採食するカモシカは共存することができると仮説を立てた。さらに、学校周辺の他の野生動物が、イノシシとカモシカの行動によってどのような影響を受けているのかを考えていく。

3 方法

町有林に許可を受けてトレイルカメラを設置し、大型哺乳類を中心に出没時間や行動・痕跡を追う。なおカメラの設置については、ギャップやけもの道をたどりながら行うが、設置場所によっては「餌付け」にならない程度に米ぬかなどを用いる。

図5に示すように6台のトレイルカメラを設置した。A地点は教室半分ほどの大きさのギャップであり、A地点から「のの字」にB地点～F地点とする。カメラを設置した総面積は約0.5ha(グラウンド半分の広さ)になった。図5の左下にある山道は軽トラックが通ることができるほどの広さであり、その上には高压電線が通っている。また、C地点とD地点の間にある太い線は、標高200mの等高線である。

トレイルカメラの設置は幼木や枝を利用し、木漏れ日による刺激が少ないところを選ぶ。また、焦点距離を考慮しながら、45度くらい下向きにレンズを向ける。設置日数は部活動の活動日や定期テスト、および天候によって決めていった。記録は動画と静止画の2種類が行えるように設定した。

4 結果と考察

A地点においては、単独で縄張りをもつカモシカが多く撮影された。撮影された時間経過から、A地点からB地点もしくはC地点への移動が確認された。また、同時に2頭のカモシカが撮影されていることがあり、A地点で縄張りを共有してことがわかった。さらに体の大きさや眼下腺の様子から別にもう1頭いることが確認されたため、少なくとも3頭のカモシカがA地点の周辺で縄張りをもつと考えられる。ただし、7月の終わりから8月には木曽川周辺の低位段丘で確認されていたニホンジカが撮影されており、カモシカの縄張りに侵入していることが示唆された。ニホンジカはカモシカと食性を同じくしているがカモシカのように単独で縄張りをもつことなく、数頭の群れで縄張りをもつため、強い縄張り意識のあるカモシカにとっては脅威である。また、A地点からD地点の間にはニホンジカが樹脂を剥がした痕跡が見られた。イノシシについてはオスばかりが撮影されており、母子のイノシシは撮影できなかった。イノシシは縄張りをもつことなく餌を求めて八百津町内の田畑に侵入している。子育てはメスイノシシが行うため繁殖期以外の母子がオスイノシシを避けているためと思われる。

B地点はA地点から移動してきたカモシカやイノシシの通り道であり、けもの道である。ここを利用しているタヌキやノウサギといった小動物の利用も撮影できた。ここでもニホンジカが撮影されており、けもの道を利用して移動していると思われる。またイノシシについてもオスしか撮影できなかった。B地点の先は八百津高校のグラウンドがあり、山道に繋がる。山道の脇には掘り返されたイノシシの食痕が多く見られ、ミミズ類など土中の小動物を食べていると思われる。



図4 八百津高校全景

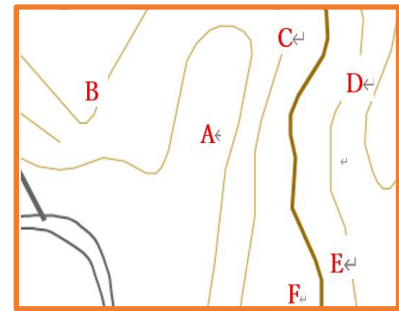


図5 Xの拡大図(カメラ設置場所)



図6 A地点のカモシカ



図7 樹脂を剥がした痕跡



図8 B地点のイノシシ

C地点はイノシシもしくはカモシカがつくったと思われるけもの道であり、太陽光が当たるほど踏み分けられて道のようにになっていた。ここでは母子のイノシシが撮影され、母と娘が協力して子育てしている様子も確認できた。子イノシシが「穴掘り行動」している様子も撮影でき、その近くで母と娘が見守っていた。そして、7月下旬からは子イノシシが単独で撮影されるようになり、母子の距離が離れていく様子がわかった。また母子のカモシカや単独のカモシカも撮影され、通り道として利用されている場所である。小動物については、アナグマ、ハクビシン、タヌキが撮影された。

D地点はけもの道ではなく、教室の半分ほどの平地である。ここではカモシカは撮影されず、母子のイノシシが多く撮影された。母イノシシが子イノシシに「穴掘り行動」を指導している場所であり、穴掘り行動は経験により変化していく学習行動であることが観察された。時間的な経過により、親離れが進行していく様子についても確認された。また、母イノシシが子イノシシを払いのけたり、子イノシシが鳴き声を上げながら後ずさりするなど、様々なコミュニケーションが図られていた。はっきりとした様子は観察できなかったが、D地点はイノシシが巣として利用していたのではないかとと思われる。しかし、8月に入りC地点に見られたオスイノシシが見られるようになるとメスイノシシが見られなくなり、単独で子イノシシが撮影されるようになった。

E地点はけもの道であり、オスイノシシや単独の子イノシシカモシカが撮影されたが、母子でのイノシシは撮影されていない。A地点と同様に、オスイノシシの影響でメスイノシシが近寄らないためと思われる。ここでは母子カモシカが撮影され、F地点への移動の様子が確認された。その他の小動物としてはタヌキやノウサギなどが撮影できた。

F地点は、D地点と同様な平地でイノシシやカモシカが多く撮影された。6月7日にニホンジカが最初に撮影された場所でもある。この時、ニホンジカは1頭ではなく数頭が撮影されており、集団で侵入していることがわかった。5月から6月にかけては母子イノシシが多く撮影されたが、7月に入りオスイノシシが撮影されるようになった。ここではA地点と同じようにカモシカが草を食べた食痕が確認でき、縄張りとしていることがわかった。カモシカとニホンジカの縄張りをめぐる競争については、まだはっきりしたことはわかっていないため、これからも注意深く観察していきたい。ここでは地面降りてきたクリハラリスも撮影された。

6地点のトレイルカメラによる撮影結果から、哺乳類だけでも9種類の野生動物を確認することができた。4か月間で撮影された静止画は140枚、動画は124本であった。また、地域のヒトからの聞き取り調査では確認できなかったニホンジカなどが撮影できた。



図9 B地点のタヌキ



図10 C地点の母子のイノシシ



図11 D地点での学習行動



図12 E地点のイノシシ



図13 F地点のニホンジカ

最も多く撮影されたF地点でのカモシカとイノシシそしてニホンジカ（シカ）と全地点で撮影された野生動物の撮影日と撮影時間の相関関係について考える。F地点での野生動物の活動は、日没から早朝にかけて多く撮影された。昼間は100mしか離れていない学校でのヒトの活動が影響していると思われる。イノシシが多く撮影されているのは個体数が多いことに加え、餌を探す時間が長いことが考えられる。しかし、強い縄張り行動をもつカモシカはイノシシと活動時間をずらして活動していることから、共存できていることがわかる。

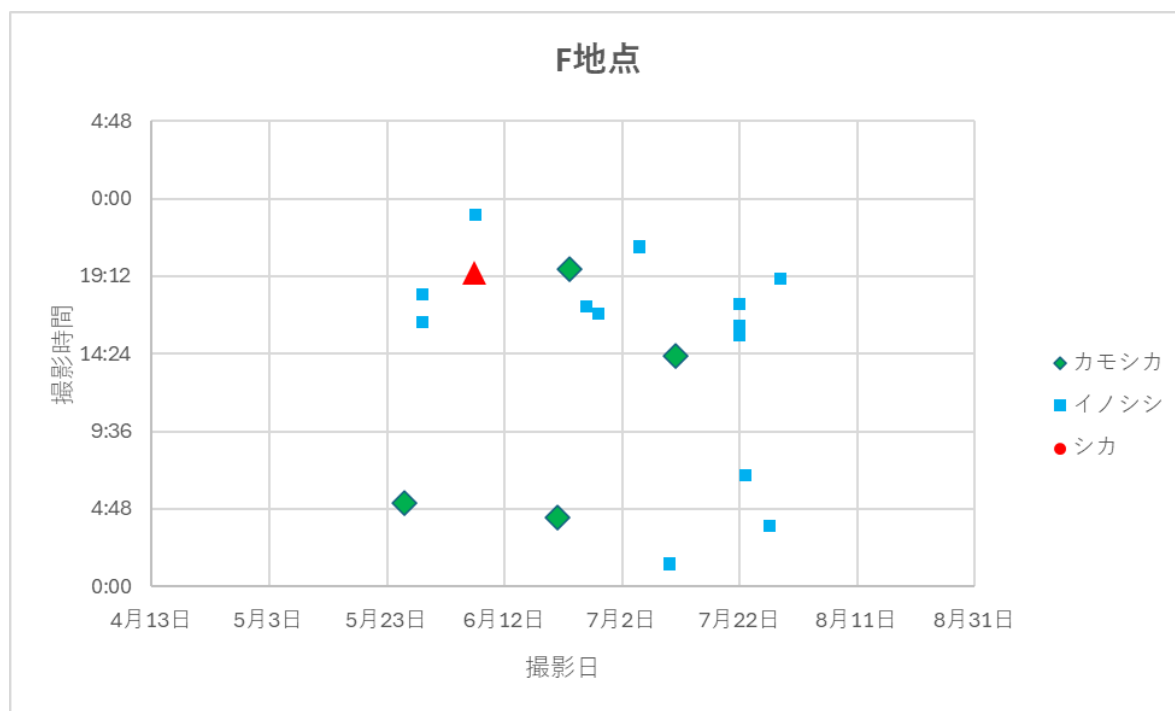


図 14 F 地点におけるカモシカとイノシシおよびシカの撮影時刻

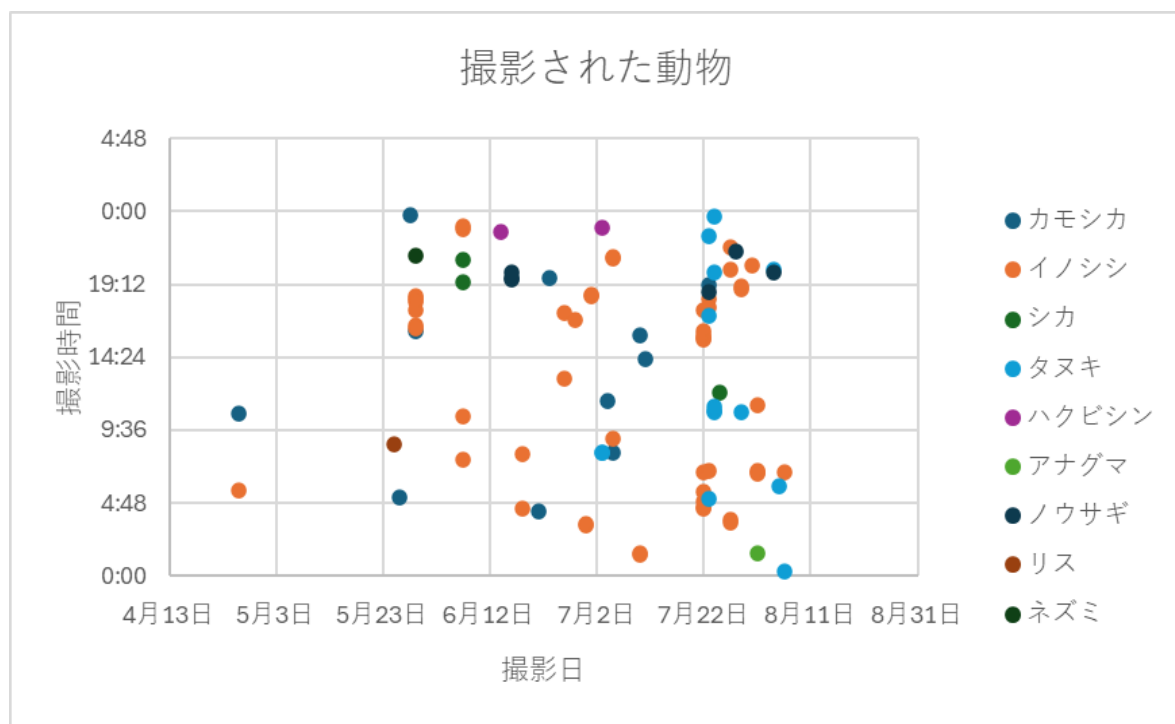


図 15 撮影された動物の撮影時間

F地点でニホンジカが撮影された後にもカモシカが撮影されていることから、カモシカは縄張りを現存できていると思われる。ただ、他の地点でニホンジカが撮影されており、今後も観察を続けていきたい。

図 15 の結果から、すべての野生動物が日没から早朝にかけて活動的になることがわかった。しかし、イノシシとカモシカは昼間にも撮影できており、行動していることがある。確かにトレイルカメラの設置・回収時にもカモシカとの遭遇は何回もあった。母子カモシカが、子を守るために自分がおとりとなり、気を引きつけていたことがあった。幸いにイノシシとの遭遇は今までないが、気をつけなければならないことがわかった。野生動物が生息しているところにヒトが侵入していく訳だから、複数人で行くとか「クマ鈴」を鳴らしながら行くなど注意を怠らないようにしたい。

5 結論

トレイルカメラではイノシシの親子が最も多く撮影された。子育てはメスが行っていることから母と娘が協力して行われていることがわかった。また、特に「縄張り」を形成することがないため巣として利用している場所が観察地点で確認された。そして、山道にはたくさんのイノシシが掘ったと思われる痕跡が見られたことから個体数が多いと推察される。ただし、カメラ等の設置するときは「クマ鈴」を鳴らしながら行ったこともあり、イノシシと遭遇することは一度もなかった。ヒトに対しての警戒心は相当高いと思われる。

親イノシシが穴を掘って餌を探している横で子イノシシが同じように穴を掘っていたことからイノシシの「穴掘り行動」は、親の後を追う行動である刷り込みが成立してからの学習行動にあたると思われる。子イノシシの穴掘り行動に親イノシシがちょっかいを出す映像からも親イノシシによる子育ての様子が観察できた。また、イノシシの鼻の位置が地面すれすれにあるのは、常に土の中にいる昆虫や植物の根のにおいを嗅ぎ分けるためであることがわかった。

イノシシとの遭遇は一度もなかったのに、カモシカには何度も遭遇した。カモシカのメスにとっては子育ての季節であったこともあり、子育て中のカモシカにも遭遇できた。また、カモシカの母親が「おとり」になって子を守る行動にも出くわした。これらの情報からカモシカはヒトに対しての警戒心は低いことが考えられる。カメラにはイノシシとカモシカが同時に撮影できたこともあり、両種は共存できることもわかった。イノシシが地中もしくは地上にあるものを餌にしているのに対して、カモシカは鼻の位置もわかるように地面から 50cm くらいの高さの低木や草本を餌にしているためと思われる。

少なくとも 3 頭のカモシカの縄張りの中に八百津高校があると考えられる。カモシカは雌雄ともに単独で縄張りを持ち、縄張りを共有した雌雄で交配すると言われている。カメラには 3 頭のカモシカが頻繁に映っており、その特徴から異なる個体であることがわかった。また、カモシカの縄張りの大きさは季節によって変化するがおよそ 20ha であり、観察地点を中心に考えると図 16 のようになる。さらに、学校の南には山道が 1 本あるだけで、ここでも他のカモシカに遭遇することが多い。八百津町内には相当数のカモシカが生息していると推察することができる。

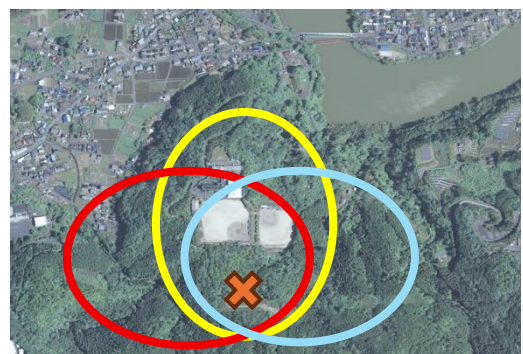


図 16 3 頭のカモシカのなわばり

ニホンジカについての目撃情報は今まで一度もなかったのに、カメラで捉えることができた。木曽川の低位段丘では見られることがあったが、まだ個体数が多いことなのか八百津町内での情報はなかった。ニホンジカは群れで行動することから単独行動のカモシカとのなわばり競争が続いた場合、カモシカに勝ち目はないと思われる。富士山麓での情報からも餌を求めてニホンジカが山に登ってきたと考えられる。

6 展望・まとめ

イノシシとカモシカの縄張りが重なっていることや子育てにおいて興味深い行動が見られた。今後は、年間を通して多くのデータを集めたい。また、八百津町北部の山間ではツキノワグマの目撃情報が多く、図 17 にあるように、調査地点でもキイチゴ類などの木の実の種子がぎっしりと詰まったツキノワグマと思われるフンを発見した。

撮影できた野生動物は 9 種類であったが、まだ撮影できていない野生動物もいると思われる。カメラの設置場所や設置するレンズの角度についても考えて観察を続けたい。また、学校校



図 17 ツキノワグマのフン？

内にも野生動物の痕跡が見られるため、校内の野生動物についても調べていきたい。観察を通して、野生動物との距離感がわかってきた。私たちの生活圏内に野生動物が侵入してくる場合もあれば、私たちが野生動物の生活圏内に侵入する場合もある。身近なところに多くの野生動物が生息していることを多くのヒトに知ってもらい、野生動物との共存のあり方についても考えていきたい。カモシカを見たことがない八百津高校の生徒や先生がいないのは、学校が 3 頭のカモシカの縄張り内にあるからである。逆に、ニホンジカを見たことがある八百津高校の生徒や先生はいなかった。なお、市街地でのカモシカの目撃情報がニュースとして取り上げられたことがあった。これは、ニホンジカの侵入と関係があると思われる。カモシカはウシの仲間でありニホンジカはシカの仲間であるから、種としては離れているが両種とも上顎に前歯がないことから食痕が似ており、フンの形状も似ている。これは収束進化の結果である。

カモシカとイノシシが共生できる理由は、観察結果から縄張りに対する行動の違いが大きいことがわかった。カモシカは食料は確保のための縄張り意識が強く、イノシシは見回りや争いといった縄張りをもつことで生じるリスクを回避していることが観察された。また、食性の違いも大きいと考えることができるが、行動時間を同じくしていることがあり「鉢合わせ」したときはどのような行動がとられるか新たな疑問が出てきた。観察地点に定着している大型哺乳類はこの 2 種であり、多くのけもの道などの環境をこの 2 種が作りあげていた。よって、ニホンジカの侵入が及ぼす影響についても観察を続けたい。

7 謝辞

研究を進める上で多くの方々からご支援ご指導をいただきました。この場を借りて深く感謝申し上げます。トレイルカメラの設置では、八百津町建設課基盤整備係の方々に便宜を図っていただき、町有林への調査許可をいただきました。また、学校周辺の住民の方々からは暖かい励ましの言葉を多くいただきました。

8 参考文献

- 1) 阿部永『日本の哺乳類』東海大学出版会
- 2) 熊谷さとし『哺乳類のフィールドサイン観察ガイド』文一総合出版
- 3) 山本俊昭『はじめて学ぶ哺乳類』文一総合出版
- 4) 池田敬『イノシシの行動圏や生息地利用を解明』東海国立大学機構 岐阜大学 Press Release
- 5) 高田隼人『富士山高山帯におけるカモシカとシカの食べもの比べ』MFRI News Letter Vol. 25
- 6) 高田隼人『最高峰での生活は楽じゃない？日本一高い山に暮らすカモシカの独特な空間行動』国立大学法人 東京農工大学
- 7) 高田隼人『シカとカモシカの生息地利用と活動パターンの重複～直接的干渉よりも資源のとりあいによる競争？～』山梨県富士山科学研究所
- 8) 『野生動物（鹿・熊）による列車運行への影響について』JR 北海道

カプセルセンスを活用した暑熱対策飼料を給与効果試験

岐阜県立大垣養老高等学校 農業研究部・動物(牛班)

◎牧本 陸斗、松浦 くるみ、三石 姫雪

研究の動機

暑熱ストレスは、「牛が高温と湿度の影響を受ける状態で、特に気温が24℃、湿度が70%以上になると発生する」(注1)。本校の牛舎内の温度、湿度を測定すると35℃以上や湿度80%を超える日もあり、本校の牛には暑熱ストレスが高い状態であると推測した。肉牛は暑熱ストレスを感じると、代謝が変化し、食欲が低下、肉生産量が減少する。対策としては、牛舎の換気や送風、十分な飲水の確保が重要である。私たちは、暑熱対策混合飼料「なつこ」を給与することで夏季(7月～9月)の去勢肥育牛の暑熱対策が可能となるのか、令和6年度(教育機関では全国初)より導入したカプセルセンスを活用して、試験をすることにした。

1 使用器具及び試験飼料

(1) カプセルセンス

太平洋工業株式会社が自社技術に応用し、畜産業の領域で新規事業を立ち上げた。IoTを活用し、牛の健康状態のデータを取得してクラウドに転送する。AIによるデータ分析で、体調変化の兆候をリアルタイムで通知することが可能になる。温度・加速度センサを牛の胃の中に滞留させることで、胃の中の温度、活動量、飲水量が把握できる(注2)。



図1 カプセルセンスの活用模式図



図2 暑熱対策混合飼料

(2) 暑熱対策混合飼料「なつこ」

株式会社科学飼料研究所と全農ET研究所は共同で、暑熱対策用混合飼料「なつこ」を開発した。血管拡張作用が期待されるナイアシン(バイパス製剤)を配合することで、体外への熱放散を促進し、胚死滅の大きな原因となる体温の上昇を軽減できる。また、ビタミン類も配合しているため、暑熱ストレスへの抵抗性も期待できる。2012年7月 佐賀県唐津市にて試験実施データを参照すると給与後3日、7日、14日で飼料給与群の直腸体温が0.5℃以上の低下があった(注3)。

暑熱対策飼料の効果試験をするために、カプセルセンスを活用して検証した前例はない。

2 試験牛の健康状態（試験牛として適するのかを検証した）

名号		友都雲				玲桜			
血統		6代祖 岐阜				1代祖 岐阜			
検査日		①	②	③	④	①	②	③	④
検査時月齢		13.8	17.9	22.0	24.6	13.6	17.7	21.8	24.4
項目 血液検査	AST (GOT) (U/L)	58	59	52	46	58	59	55	48
	総コレステロール (mg/dL)	151	189	187	180	91	128	165	147
	ビタミンA (IU/dL)	64.7	46.2	43.9	36.3	61.1	65.7	50.5	37.3
項目 エコー検査項目	ロース芯面積 (cm ²)		47	62	67		47	63	67
	僧帽筋厚 (cm)		2.6	3.5	3.9		3.6	5.1	5.2
	皮下脂肪厚 (cm)		1.6- 1.5	2.1- 1.7	2.1- 1.9		2.2- 1.8	2.8- 2.4	3.4- 2.7
	バラ厚 (cm)		6.8	7.8	8.6		6.7	7.9	8.7
	筋間脂肪厚 (cm)		4.7	6.7	6.7		3.4	5.7	6.5
	BMSNo.		7	9	9		9	10	10+

※検査日①2024/8/9 ②2024/12/13 ③2025/4/22 ④2025/7/4 検査者 知多大動物病院

「友都雲」号の健康状態の考察	「玲桜」号の健康状態の考察
ASTの値に異常はなく、総コレステロール値が高い状態で維持されていることから、常に満腹状態であると考えられる。ビタミンAのコントロールも順調である。	月齢が若い時に「友都雲」号に配合飼料を食べられてしまい、総コレステロール値が低い。8分～満腹で推移していると考えられる。肉質成績は「玲桜」の方が良い。

【補足説明1】

項目	主な項目の見方	暑熱ストレスによる影響
AST (GOT)	筋肉や肝臓の機能を示す数値。300IUが異常値	肝機能が低下し、数値は高くなる。
γ-GTP (U/L)	胆汁分泌の異常を示す指標。30IU未満が正常	
総コレステロール	持続して120 mg/dL以下になる場合は肉質成績に期待が持てない。肉質成績が良い牛（15ヶ月以降）は150 mg/dL以上になる。	肝機能の低下や食欲停滞や増体が悪くなった肥育牛は、数値は低下する。
ビタミンA	ビタミンAは脂肪分化抑制物質とされ、13～20ヶ月齢でビタミンAをコントロールする。	数値は低下し、30IU未満だと欠乏症を起こす。
ロース芯面積	令和3年度去勢肥育牛 全国平均 67.2 cm ²	飼料摂取量が減り、増体が悪い肥育牛は筋肉の発達やBMS（脂肪交雑）の向上が悪くなる。
僧房筋厚	令和3年度去勢肥育牛 全国平均 資料なし	
バラ厚	令和3年度去勢肥育牛 全国平均 8.3 cm	
BMS	3,4が3等級、5～7が4等級、8～12が5等級	

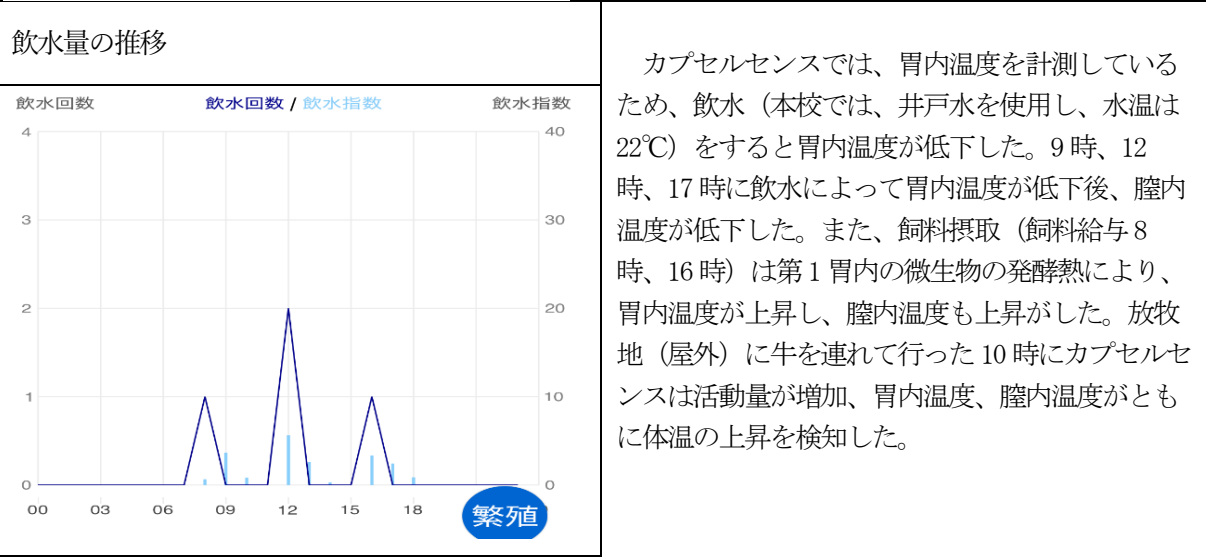
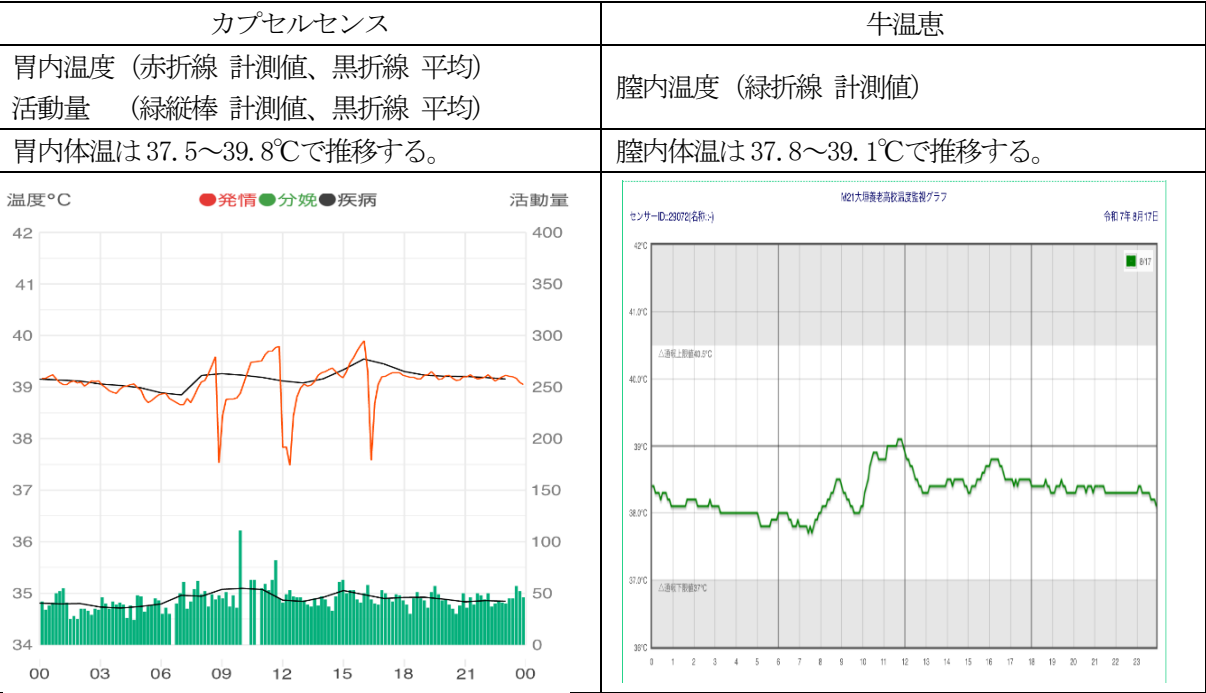
【補足説明2】

血統は岐阜県の種雄牛で世代を重ねているかを示した。岐阜県の種雄牛で交配をする場合、肉質（脂肪交雑や脂肪の質）が良くなるが、肉量（枝肉重量やロース芯面積）が小さくなる傾向がある。また、3代祖以上を岐阜県の種雄牛で造成すると飼料摂取量が少なくなる傾向もある。

調査対象牛として健康状態に問題はないことを確認できた。

3 カプセルセンス（胃内温度）の体温検知試験(事前実験)

繁殖雌牛である「ともみなも」号のカプセルセンス（胃内温度）と牛温恵（膣内温度 ※膣内にセンサを入れるため、雌牛のみ。繁殖牛のストレスを考え、使用期間は2週間程度とされている）を比較した。記載データの日時は2025 年 8 月 17 日である。



< 飼料給与試験の事前準備結果 >

同一牛房で飼育する試験肥育牛2頭の採血検査、エコー検査結果から健康状態に問題はなく、飼料給与試験に適する試験牛だとわかった。また、胃内温度のほうが膣内温度よりも温度が高く測定され、飲水によって膣内温度も低下する。カプセルセンスによる胃内温度測定と牛温恵による膣内温度の変化は連動することもわかった。このデータはカプセルセンスと牛温恵の両方を併用した他の繁殖牛3頭でも同様の結果が得られた。

4 検証試験仮説及び暑熱対策飼料による効果の定義

(1) 血管拡張作用のあるナイアシン（バイパス製剤）により、熱放散を促進するとともに飲水量が増加し、体温が下がる。

(2) 暑熱ストレスがあれば、牛が横臥している時間が減り、体温が上昇する（疾病による横臥がある場合、活動量が減り、飼料摂取量が激減する）。

(3) 暑熱対策飼料を与えていない期間では、飲水量が減少し体温は低下しない。

5 調査日の暑熱対策飼料の給与量、及び給与方法



図4 飼料給与と飼料摂取の様子

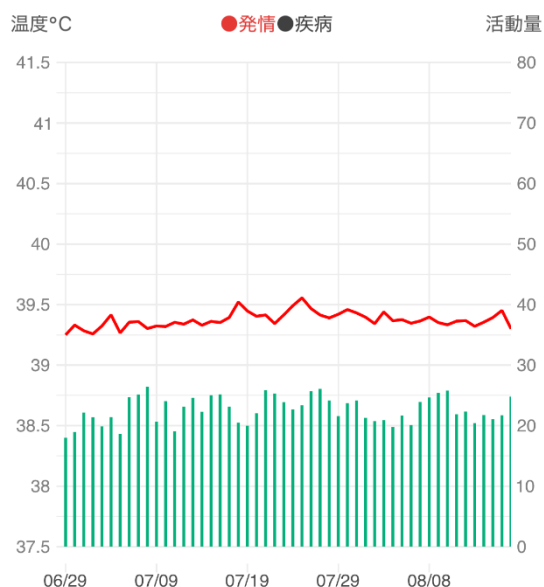
7/9～11で暑熱対策飼料の嗜好性試験として1頭に朝・夕で50gずつ給与し、7/14より1頭に朝・夕で75gずつ給与（給与飼料に対して1.5%）した。平日は、配合飼料の上にかき、飼料摂取の様子を確認した。休日は配合飼料に混合した。また、暑熱対策飼料を給与しない日を設け、7/28, 8/1, 8/12)、胃内温度、飲水量の変化を調査した。

6 結果

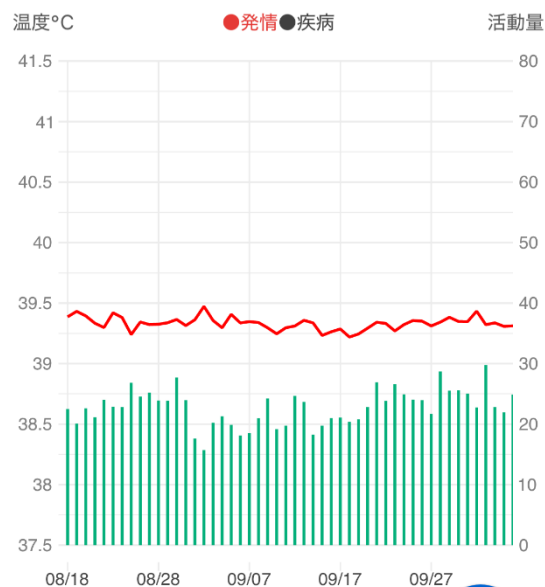
①6/29～8/17、②8/18～10/6の推移である。

(1) 「玲桜」号

①6/29からの50日間の胃内温度の推移



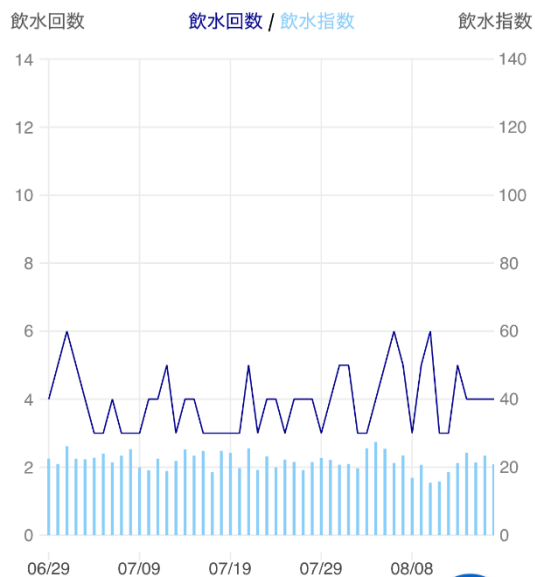
②8/18からの50日間の胃内温度の推移



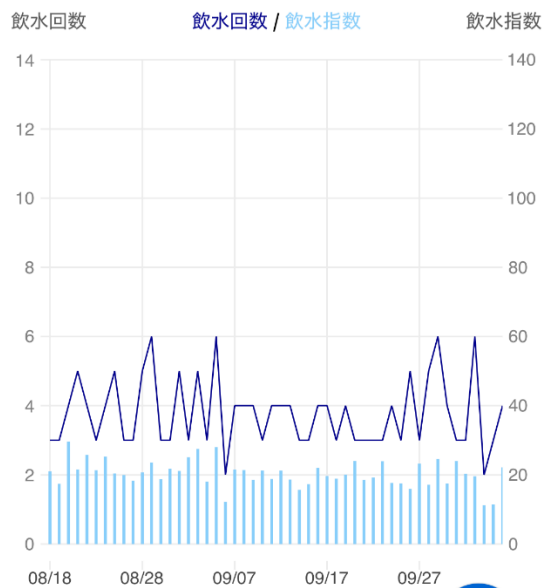
「玲桜」号は、給与飼料、牛舎内温度、湿度と胃内温度、活動量、飲水量がほぼ一定であった。

「友都雲」号は、暑熱対策飼料を給与しない日（7/28, 8/1, 8/12）に胃内温度が高く、飲水量が減っていた。残飼料も多かったため、消化不良の改善を行うため、5%ウルソとビタミンA剤を給与した。その後、残飼料は減り、体温が一定となり、飲水量が増加した。

③6/29 からの 50 日間の飲水量の推移

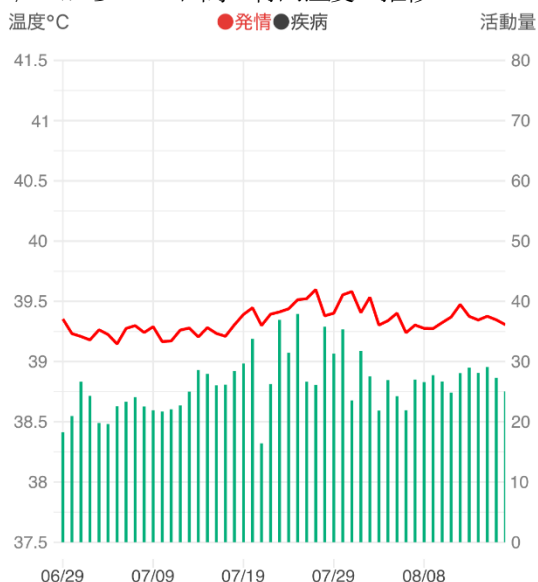


④8/18 からの 50 日間の飲水量の推移

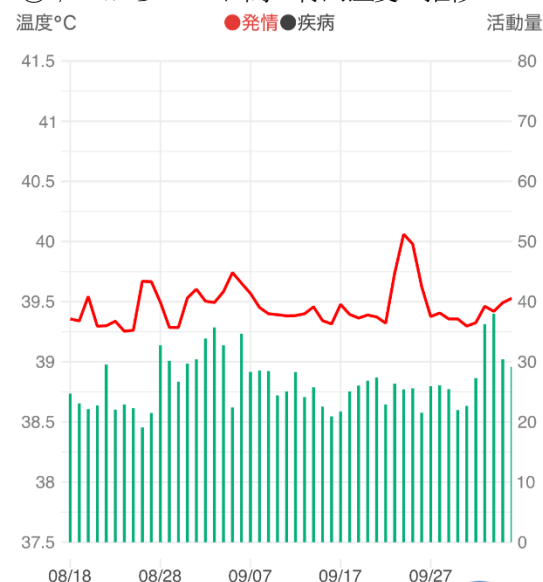


(2)「友都雲」号

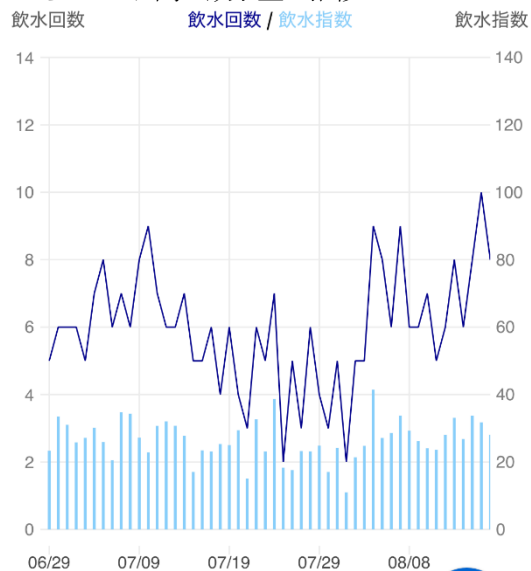
①6/29 からの 50 日間の胃内温度の推移



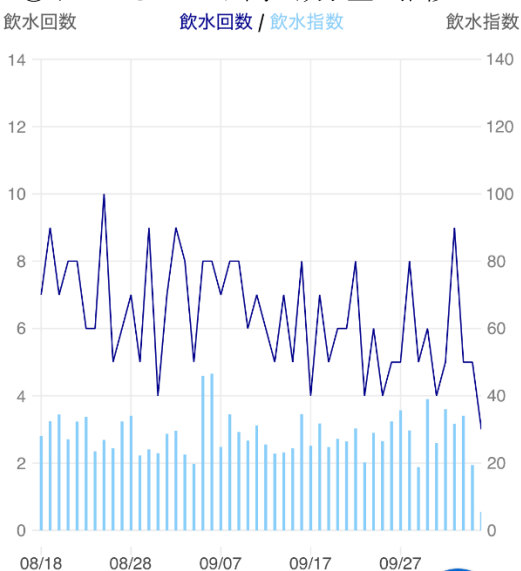
②8/18 からの 50 日間の胃内温度の推移



③6/29 からの 50 日間の飲水量の推移



④8/18 からの 50 日間の飲水量の推移



(3) 給与区、給与なし区の血液検査結果（暑熱ストレスの影響を調査）の比較表

		給与区		給与なし区
名号		友都雲	玲桜	明紗陽
血統		6代祖 岐阜	1代祖 岐阜	3代祖 岐阜
検査時月齢		26.8	26.7	20.6
1日の最大配合飼料摂取量 (kg/日)		10.6	10.6	8.8
血液検査 項目	γ-GTP (U/L)	18	54	28
	総コレステロール (mg/dL)	173	177	158
	ビタミンA (IU/dL)	62.6	82.9	42.6

検査日 2025/9/11 検査者 JA 全農くみあい飼料株式会社

7 考察

(1) 暑熱対策飼料給与と暑熱ストレスの効果（肉質成績への期待）

暑熱対策飼料給与区では、残飼料が少なく、総コレステロール値が高い状態で維持された。個体差も考えられるが、飼料摂取量を落とさずに肥育牛の飼養管理ができ、肉質成績には期待が持てる。「明紗陽」号はγ-GTP（肝機能）、総コレステロール値が高くないが、飼料摂取量が減っている。暑熱ストレスで食欲が低下をしたと考えている。

(2) 暑熱対策飼料給与と体温の低下の検証

「玲桜」号には大きな変化がなかったが、「友都雲」号は暑熱対策飼料給与していないときに、胃内温度が上昇し、飲水量が低下した。個体差も考えられるため、暑熱対策飼料によって肥育牛の体温を下げる効果はさらなる検証が必要だと思う。

8 今後の展望

(1) より詳細なデータ分析

太平洋工業株式会社とデータの秘密保持契約書を交わし、牛舎内温度、湿度、胃内温度、飲水量などのデジタルデータと飼料摂取量、採血データ、エコー検査との関係についてより詳細な分析を行いたい（※本論文及び発表分の資料は許諾確認済み）。

(2) 試験牛の増頭と肉質成績との関係の調査

試験牛の頭数を増やす方法も考える。令和8年1月の和牛甲子園に出品、枝肉となるので、暑熱ストレス低減効果と肉質成績の関係も検証したい。

9 研究協力・注釈

研究協力(JA 全農グループ、太平洋工業株式会社、知多大動物病院(50音順))

注1 共立製薬株式会社 ヒートストレスとは？ - 畜産ナビ

注2 太平洋工業株式会社

注3 ちくさんクラブ145号 JA 全農

周波数による蚊の行動変化

岐阜県立多治見高等学校総合文化部科学

1 年 宮地ゆめ

1.はじめに

世界保健機関(WHO)の統計を基にして、2014年に発表された最も人の命を奪っている生き物は蚊である。デング熱やマラリア、チクングニア熱などの蚊媒介感染症は熱帯や亜熱帯に生息するネッタイシマカやヒトスジシマカなどの蚊の吸血が原因である。今年是中国広東省でチクングニア熱が確認された。香港新聞『明報』は感染者が6900人(8/3現在)に上ると伝えた。日本でも2014年にデング熱が確認されている。今も夏に人々は蚊媒介感染の危険にさらされ、著しいかゆみにも襲われている。この対策として、蚊取り線香や虫よけスプレーなどの製品が開発された。香りによる製品が多いが、私は音を発することによって広範囲で蚊を寄せ付けなくできればもっと効率的だと考えた。そこで、音と蚊の行動について研究を行い、新しい蚊の対策を見出したいと考える。

2.目的

蚊を誘引する音と遠ざける音を求めるため、様々な周波数で音を流した時の蚊の行動について研究を行う。

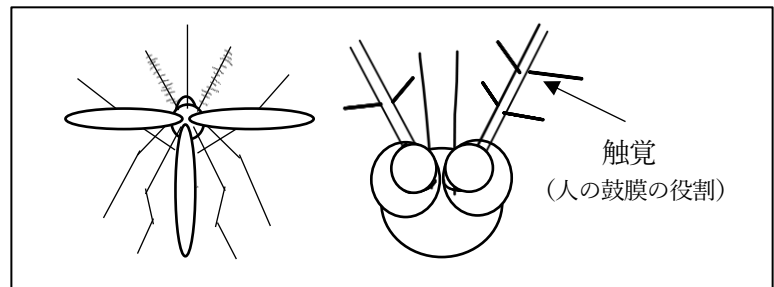


図1 蚊の構造

3.実験方法

(1) 材料

- ・アクリルパイプ (長さ 53 cm、 ϕ 8 cm) ・大電力低周波発振器 (島津理科製、URP-20)
- ・スピーカー ・タブレット

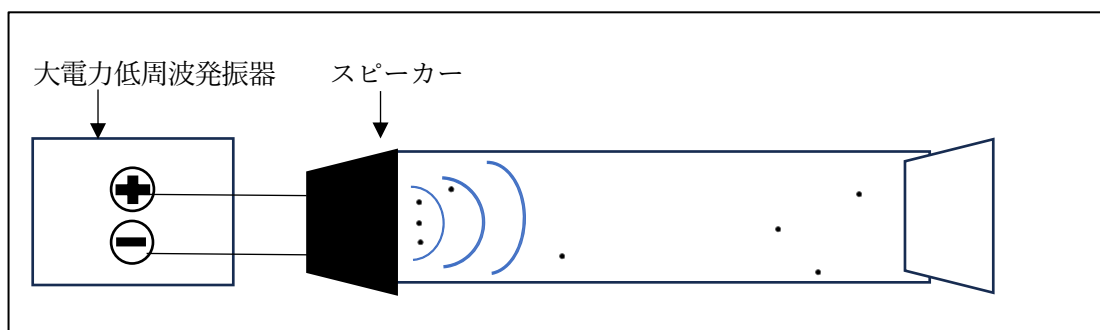


図2 実験装置

(2) 行動の撮影

50 Hz、400 Hz、500 Hz、600 Hz、1000 Hzの音を5分間流し、蚊の行動を動画で記録する。対照区として無音での行動も記録する。実験環境は冷房器具を用いて、 $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ に維持した。

(3) 行動データの解析

アクリルパイプに蚊を8匹を閉じ込め、一端に音源のスピーカーを設置する。様々な音を発生させたときの蚊の動き方、移動方向、移動距離及び移動時間を記録した。

4. 結果

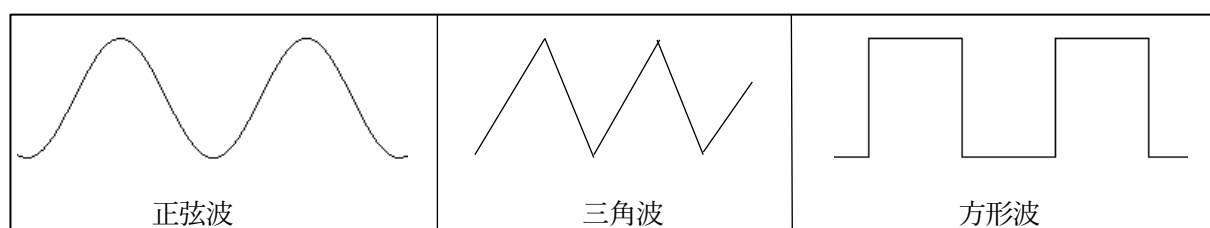


図3 波形の形

4-1 周波数・波形と蚊の行動

表1 周波数・波形と動いた蚊の数と割合

周波数(Hz)	無音		50		400		500		600		1000	
波 形 (総数)	動いた数	割合 (%)	動いた数	割合 (%)	動いた数	割合 (%)	動いた数	割合 (%)	動いた数	割合 (%)	動いた数	割合 (%)
正弦波 (35 匹)	0	0	4	11.4	6	17.1	6	17.1	6	17.1	0	0
三角波 (27 匹)	0	0	3	11.1	4	14.8	1	3.7	1	3.7	2	7.4
方形波 (27 匹)	0	0	8	29.6	5	18.5	3	11.1	3	11.1	5	18.5

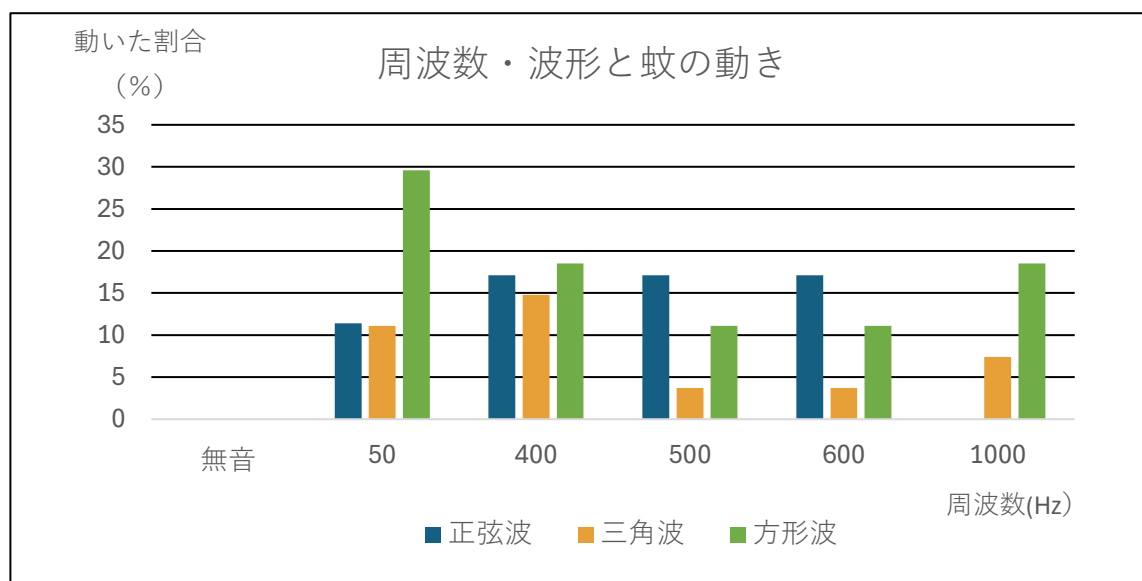


図4 周波数・波形と蚊の動き

- ・ 無音ではどの周波数、波形でも蚊は動かなかった。
- ・ 50 Hz、400 Hzは波形に関わらず動く。
- ・ 500 Hz、600 Hzは波形によって動く割合に偏りがある。
- ・ 1000 Hzは方形波のみよく動く。
- ・ 正弦波では、50 Hz、400 Hz、500 Hz、600 Hzで蚊が動く。無音、1000 Hzでは、蚊は動かなかった。
- ・ 三角波では、他の波形よりも動きにくく、50 Hz、400 Hz、1000 Hzは動きがあった。
- ・ 方形波では、50 Hzが高い割合で蚊が動いた。

4-2 蚊の初動方向

※スピーカー側を+とする

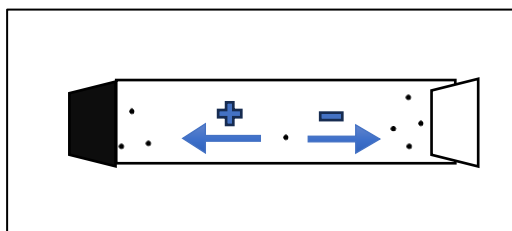


図5 蚊の動く方向

表2 周波数・波形と初動方向

周波数(Hz)		無音		50		400		500		600		1000	
波形	方向	動いた数	割合(%)	動いた数	割合(%)	動いた数	割合(%)	動いた数	割合(%)	動いた数	割合(%)	動いた数	割合(%)
正弦波	+	0	0	0	0	2	33.3	2	33.3	3	50	0	0
	-	0	0	4	100	4	66.6	4	66.6	3	50	0	0
三角波	+	0	0	1	33.3	4	100	0	0	1	25	2	100
	-	0	0	2	66.6	0	0	4	100	3	75	0	0
方形波	+	0	0	3	37.5	3	60	2	66.6	2	66.6	2	40
	-	0	0	5	62.9	2	40	1	33.3	1	33.3	3	60

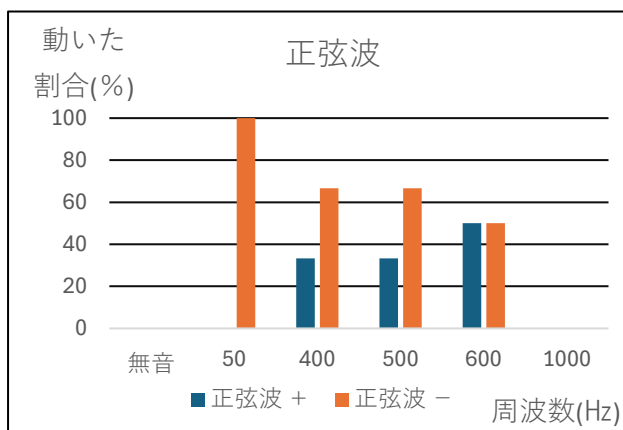


図6 正弦波と蚊の初動方向

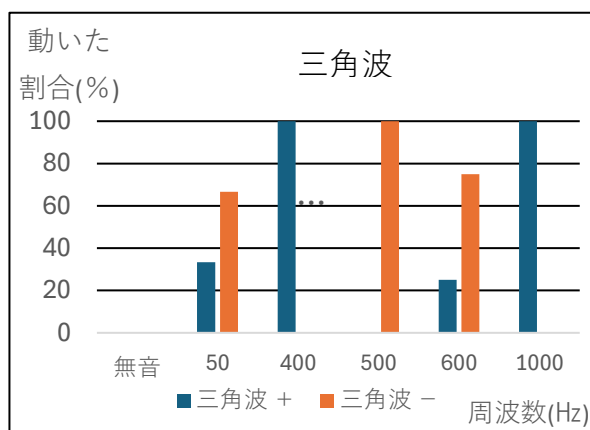


図7 三角波と蚊の初動方向

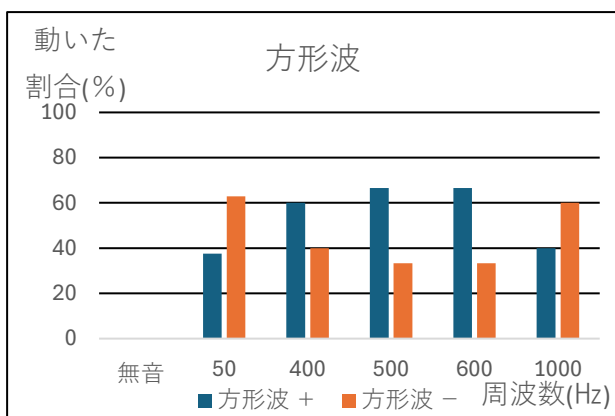


図8 方形波と蚊の初動方向

- ・正弦波では全体的に音源から離れる割合が高い。(図6)
- ・三角波では周波数によって、音源に近づいたり、離れたりする。(図7)
- ・方形波では50 Hzと1000 Hzは遠ざかり、400 Hz、500 Hz、600 Hzは近づいた。(図8)

4-3 蚊の動き

・どの波形、周波数でも、音源側と音源から離れて
いる側を繰り返し往復する動きが多く見られた。

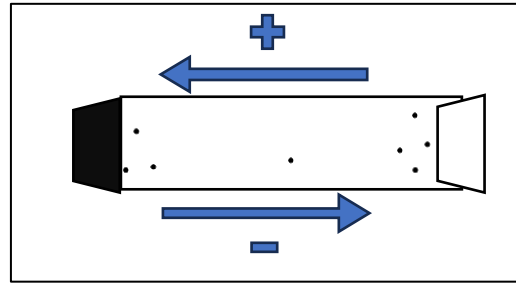


図9 蚊の動き方

5. 考察

波形によらず 50 Hzと 400 Hzでは蚊の動きが活発であった。50 Hzでは音源より遠ざかる傾向が見られ、これは天敵であるトンボの羽音に近いめだと考えられる。

メスの蚊の羽音の周波数である 400 Hzとオスの蚊の羽音の周波数である 600 Hzでは、方形波において近づく傾向があった。これは、オスの蚊とメスの蚊がお互いのコミュニケーションツールとして羽音を使っていると考えられる。また、今回の実験に使用した蚊の羽音は方形波のような波形であったとも考えられる。

1000 Hzの正弦波では、無音と同様に動きが全くなかったため、この音は、蚊の行動に関係しないと考えられる。

6. 結論

様々な周波数を流したときの蚊の動きについて実験で調べた。蚊を誘引する音は蚊の羽音の周波数である 400 Hzと 600 Hzで、蚊を遠ざける音は 50 Hzだとわかった。

また、無音では蚊の動かなかったことから、音を出すことは何らかの効果があると思う。

7. 今後の展望

今回の実験の課題は、実験の個体数が少なかったことと、蚊の種類やオス、メスの区別がなかったことだ。次回の実験では、これらを改善するとともに、周波数をより幅広く設定して、音による蚊の行動変化を詳しく、確実に調べていきたい。

8. 参考文献

1) 東京都感染症情報センター 2014 年

<https://idsc.tmiph.metro.tokyo.lg.jp/diseases/dengue/dengue2014/iasr1/#refer>

2) 中国新聞デジタル 2025 年

<https://www.chugoku-np.co.jp/articles/-/690071>

3) ビル・ゲイツ 2014 年 『World's Deadliest Animals』

魚類骨格標本の作製と観察からわかる魚類の生態について

岐阜県立加茂農林高等学校 自然科学部

楯怜佳 太田陽菜 小川えみ 高橋優羽菜 増田莉羅

渡邊さくら 山田優 塚本拓聖 野口晃輔

1. はじめに

私たちは2024年から2025年にかけて、魚類骨格標本を海水魚29種56個体、淡水魚13種55個体の合計で109個体以上作製した。多くの魚種を解剖し、胃の内容物やその骨格の特徴を比較する中で、魚類の生態と骨格や身体の構造に関連性があると感じ、研究したいと考えた。

2. 目的

魚類を解剖して骨格標本を測定し、胃の内容物を調べることで、魚類の生態や食性と骨格や身体構造の関係性について明らかにする。

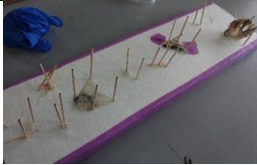
3. 方法

3-1) 魚類骨格標本の作製方法

(材料) 新聞紙、まな板、解剖ばさみ、クラフトナイフ、トレイ、パイプマン、発泡スチロールの板、つまようじ、マスキングテープ、歯ブラシ、UVレジン、紫外線ライト、瞬間接着剤、標本箱、虫ピン、漂白剤

魚は部顧問の武知先生が釣獲した魚類を中心に、魚市場で購入した魚類も用いた。

(表1) 作製方法

①除肉		②溶解		③洗浄	
魚のうろこを落とす。胴体は脊椎骨上に沿って除肉し、肋骨や内臓周りの肉は骨に沿って除肉する。頭部は目玉を神経から取り除き、肉を丁寧に除肉する。		トレイに除肉した魚を乗せ、希釈したパイプマン（又はブリーチ）で浸す。約5分待ち、冷水で流す。溶解しすぎると骨がバラバラになってしまうため、気を付ける。		溶解した後の魚を冷水で流しながら歯ブラシを使って、骨周りの残った肉を取り除く。筋が残っている魚や脂分が多い魚は②と③の作業を繰り返す。	
④乾燥		⑤漂白		⑥組立て	
洗浄した魚を発泡スチロールの板の上に置き、つまようじ等で固定する。		乾燥した魚を漂白剤に浸し、余分な脂を取り除き、色を白くする。脂分が多い魚種の場合は、アルコールやオキシドールでの漂白も併用する。		骨をUVレジンと紫外線ライト又は瞬間接着剤で接着する。接着が難しい場合は脊髓にワイヤーを通し、ドリルで穴を開けつまようじで固定した。	

上記（表 1）の方法を用いて、骨格標本の作製を行った。魚の種類や大きさ、含まれる油脂量に応じて試行錯誤し、できる限り生体に近い骨格の標本を作れるよう努力した。完成した標本は、標本箱に防虫剤と共にに入れて保管した。

3-(2) 骨格標本の計測

3-(1)の方法で作製した骨格標本は、以下のようにデータをまとめた。データシートには、魚種の標準和名と学名、標本を採集した場所、採集日を記録した。他に、魚が生活する場所や採餌の行動によって口の向きが異なると予想し、口の向きについて傾向を以下の4つの系統に分類した。（上向き、下向き、正面、くちばし）歯の形状についても傾向を分類した。（円錐歯のみ、円錐歯と臼歯、臼歯のみ、他）魚の全長については、除肉前と骨格全長を記した。口の大きさは、下顎の長さをノギスで計測し、同様に頭骨の最も縦に長い部分と、横幅が最も大きい箇所もノギスで計測し、その値を記録した。歯の本数は、下顎と上顎に残った歯を目視で確認してその数を数えた。淡水魚のマス科に関しては舌上歯をもつので、その本数も記入した。歯の鋭さは、目視で確認して最も大きく発達した歯1本の底辺の長さ、その高さをノギスで計測した。

4. 結果

2025年8月末現在で、作製した骨格標本数は100体を超えた。海水魚、淡水魚ともに、歯の本数は、生前時や捕獲時に欠けている標本が多かった。全体的に、下顎の歯の本数よりも上顎の歯の本数が多い魚類が多数であった。下顎の歯の本数が多かった魚類は、海水魚ではアカハタ、カサゴ、マハゼ、オキエソ、淡水魚ではギギ、ナマズであった。歯が数えられないほど細かく微細であったり歯がない魚類はスズキ、マゴチ、ウグイ、コイ、ニゴイ、ギンブナであった。凹凸の少ない臼歯をもち細かすぎて数えられなかったものはシロザメである。多くの魚類の歯の形は円錐歯だが、歯のないクチバシをもつ魚類は、ウマヅラハギ、アオブダイ、サバフグだった。口の向きに関しては、以下の（表2）と（表3）のようになった。

（表2）海水魚口の向き

上向き	アカハタ、カサゴ、スズキ、ドンコ、メバル、チカメキントキ、マアジ、カンパチ、イサキ、ネズミゴチ
正面	カサゴ、カツオ、カマス、ギンポ、サワラ、スズキ、タケノコメバル、マゴチ、キハダマグロ、マハゼ、ヒラソウダ、アカハタ、オキエソ、イサキ、ササノハベラ
下向き	オジサン、アマダイ、キダイ、キチヌ、シロザメ、スズキ、マハゼ、マゴチ
くちばし	ウマヅラハギ、アオブダイ、サバフグ

（表3）淡水魚口の向き

上向き	イワナ、ギンブナ、コイ稚魚、サクラマス、サツキマス
正面	アマゴ、イワナ、ウグイ、ウナギ、ギギ、サクラマス、サツキマス、ナマズ、ニジマス、ブラウントラウト
下向き	ウグイ、ニゴイ、
くちばし	

(表3) 骨格標本 データまとめ (歯の本数、全長は省略)

海水魚骨格標本 データまとめ							淡水魚骨格標本 データまとめ								
No	サンプル名	歯底辺 (mm)	歯高さ (mm)	頭骨縦 (mm)	頭骨横 (mm)	採集日	場所	No	サンプル名	歯底辺 (mm)	歯高さ (mm)	頭骨縦 (mm)	頭骨横 (mm)	採集日	場所
海1	アカハタ①	2	3.1	47.1	39.4	7月19日	三重 和良沖	淡1	アマゴ	0.8	1	19.1	10.8	4月26日	郡上市長良川
海	アカハタ②	1.7	2.78	49.2	34.5	7月5日	三重 和良沖		アマゴ②頭	0.5	1.25	39.6	24.5	8月13日	郡上市長良川
海	アカハタ③	1.2	2.4	43.2	37	7月5日	三重 和良沖	淡2	イワナ①	0.6	2.7	54.6	34.2	4月27日	高根第一ダム
海	アカハタ④	2.1	3.7	66.1	51.5	7月5日	三重 和良沖	淡3	イワナ②	1.3	4.15	33.75	19.9	4月28日	高根第一ダム
海2	アマダイ	0.85	1.65	66.9	24.9			淡4	イワナ③	0.4	1.6	33.45	22.35	5月4日	高根第一ダム
海3	ウマヅラハギ			9.2	8.6	2月7日	高山 氷見	淡5	イワナ④	1.05	2.45	32.5	18.14	4月27日	郡上市長良川
海4	オジサン	0.7	0.75	69.95	32.6	7月29日	三重 伊勢志摩	淡6	イワナ⑤	0.45	1.25	34	22.8	6月1日	秋神ダム
海5	カサゴ①	0.25	0.45	19.3	18.05	1月6日	三重 香良洲沖	淡7	イワナ⑥	0.85	2.35	41.8	22.5	6月1日	高根第一ダム
海7	カサゴ③	0.45	0.9	50.9	37.6	11月30日	三重 日本鋼管突堤	淡8	イワナ⑦	1.45	3.98	51.65	31.5	6月1日	高根第一ダム
海8	カサゴ④	0.25	0.2	42.7	33.2	1月6日	三重 香良洲沖		イワナ⑧	0.89	2.45	40.1	23.09	6月19日	秋神ダム
海9	カサゴ⑤	0.22	0.45	44.9	37.4	1月6日	三重 香良洲沖		イワナ⑨	0.83	2.13	39.34	20.59	6月18日	御母衣ダム
海10	カツオ	0.4	0.95	51.34	48	5月8日	三重 伊勢志摩		イワナ⑩	0.7	1.75	44.25	28.1	8月13日	高根第一ダム
海11	カマス①	0.89	2.56	21.05	14.4	2月7日	高山 氷見	淡9	ウグイ①	0	0	3.3	6.9	4月28日	御母衣ダム
海12	カマス②	0.89	2.45	16.35	11.8	2月7日	高山 氷見	淡10	ウグイ②	0	0	27.89	15.29	5月4日	御母衣ダム
海13	キダイ①	1.5	4.9	76.11	34.03		福井 敦賀	淡11	ウグイ③	0	0	30.5	13	5月5日	御母衣ダム
海14	キダイ②	1.7	5.12	77.06	33.61		福井 敦賀	淡12	ウグイ④	0	0	25.1	12.15	5月5日	御母衣ダム
海	キダイ③	0.88	2.95	60.6	32.2			淡13	ウグイ⑤	0	0	22.9	21.85	4月27日	御母衣ダム
海15	キビレ	0.6	2	47.85	22.05	11月30日	三重 長島	淡14	ウナギ①	0.14	1.15	24.55	48.55	6月6日	長良川
海16	ギンボ	0.85	1.55	16.2	9.45	11月30日	三重 日本鋼管突堤	淡15	ウナギ②	0.24	1.25	15.48	18.52	6月4日	長良川
海17	サワラ	1.7	3.95	59.55	48.9	5月18日	三重 香良洲沖	淡16	ウナギ③	0.16	0.45	19.3	21.9	6月4日	長良川
海18	シロザメ①			13	15.9		愛知 三河一色	淡17	ギギ①	0.55	1.95	20.25	31.65	6月4日	長良川
海19	シロザメ②			21.15	10.5		愛知 三河一色	淡18	ギギ②	0.4	1.25	14.61	18	6月4日	長良川
海20	シロザメ③			16.55	11.8		愛知 三河一色	淡19	ギギ③	0.25	0.85	13.25	20.25		
海21	シロザメ④			8	17.1		愛知 三河一色	淡20	ギンブナ	0	0	51.55	37.9		
海22	シロザメ⑤						愛知 三河一色	淡21	コイ稚魚①	0	0	24	13.1		宮浦池
海24	スズキ	0.05	0.5	31.05	19.7	1月6日	三重 香良洲沖	淡22	コイ稚魚②	0	0	21.85	13.85		宮浦池
海25	スズキ?			26.3	14.1	11月23日	三重 日本鋼管突堤	淡23	サクラマス①	0.9	1.95	39.6	19.4	5月4日	御母衣ダム
海26	スズキ①	0.1	0.45	28.7	21.6	10月4日	三重 揖斐川河口	淡24	サクラマス②	0.9	2.7	32.7	19.3	5月4日	御母衣ダム
海27	スズキ②			31.7	21.5	10月14日	三重 揖斐川河口	淡25	サクラマス③	0.7	2.7	28.8	12.9	3月22日	御母衣ダム
海28	スズキ③			15.65	14.65	11月30日	三重 日本鋼管突堤	淡26	サクラマス④	0.4	0.9	28	13.15	5月5日	御母衣ダム
海29	スズキ小④	0.1	0.15	19.3	19.6	11月23日	三重 長良川河口	淡27	サクラマス⑤	0.7	1	22.3	11.85	5月5日	鳩谷ダム
海30	スズキ小⑤	0.25	0.25	16.95	13.5	11月23日	三重 長良川河口	淡29	サクラマス⑦	0.65	1.4	20.8	11.15	4月27日	鳩谷ダム
海31	スズキ大⑥	0.05	0.7	41.45	36.15	11月23日	三重 長良川河口		サクラマス⑧頭	0.1	0.23	63.6	41.5	8月26日	奈川渡ダム
海32	タケノコメバル	0.2	0.5	30.2	23.3	1月6日	三重 香良洲沖		サクラマス⑨	0.9	2.85	42.1	22.7	6月8日	荏川
海33	ドンコ①	0.05	0.1	12.95	16.9	11月23日	三重 長良川河口	淡30	サツキマス①	1.9	2.8	55.2	34.5	4月6日	高根第一ダム
海34	ドンコ②	0.15	0.56	13.4	10.5	11月22日	三重 長良川河口	淡31	サツキマス②	1.25	3.99	51.95	28.94	5月10日	秋神ダム
海37	マアジ			47.1	36.44	5月4日	福井 敦賀	淡32	サツキマス③	1.49	2.78	37.44	25.64	5月12日	高根第一ダム
海38	マゴチ①	1.8	2.4	195	162	4月12日	三重 大王崎	淡33	サツキマス④	0.6	1.1	22.95	10.1	4月5日	高根第一ダム
海39	マゴチ②	0.5	1	72.5	53	2月22日	愛知 三河一色	淡34	サツキマス⑤	0.7	1.8	43.15	29.15	5月31日	秋神ダム
海40	マゴチ①	0.65	1.2	86	145.65	6月22日	三重 松阪港	淡35	サツキマス⑥	0.1	0.154	32	19.65	5月4日	秋神ダム
海	マゴチ②	0.5	0.5	32	66	6月22日	三重 松坂港		サツキマス⑦頭	2.4	2.7	39.4	27.9	8月3日	高根第一ダム
海36	マゴチ③	0.165	1.4	29.4	48.6	12月14日	三重 揖斐川河口		サツキマス⑧	1	3.77	44.84	23.85	6月2日	高根第一ダム
海41	マハゼ①	0.5	1.5	21	13	10月14日	三重 揖斐川河口		サツキマス⑨	0.7	2.85	40	21.2	8月4日	高根第一ダム
海42	マハゼ②	0.15	0.75	9.8	7.8	11月23日	三重 長良川河口	淡36	ナマズ①	0.7	4.6	46.05	62.9		宮浦池
海43	メバル	0.3	1.25	28.65	18.9	11月30日	三重 日本鋼管突堤	淡37	ナマズ②	0.7	2.45	31.8	65.85	9月9日	宮浦池
海	ヒラソウダ	0.05	0.05	101.5	52.6	7月5日	三重 志摩市	淡38	ナマズ③	0.9	2.23	39.9	56.95		宮浦池
海	チカメキントキ	0.4	0.73	36	23	7月27日	三重 和良沖	淡39	ニゴイ	0	0	38.55	28.1	5月26日	御母衣ダム
海	アオブダイ			68.45	41.45	7月14日	沖縄	淡40	ニジマス①	0.4	1.1	23.6	11.9	6月19日	御母衣ダム
海	カンパチ	0.35	0.9	33	13.1	7月27日	三重 和良沖	淡41	ニジマス②	0.5	1	40	23	3月29日	鳩谷ダム
海	イサキ	0.25	1	31.3	11.6	7月5日	三重 和良沖		ニジマス③	1	2.5	58.8	28	2月14日	神越溪谷
海	オキエソ	0.5	4.45	32.6	28.9	7月5日	三重 和良沖	淡42	ブラウントラウト①	0.7	1.7	36	27.55	4月4日	鳩谷ダム
海	ネズミゴチ	0.195	0.56	20	103.56	2月22日	愛知 三河一色	淡43	ブラウントラウト②	0.45	1.5	43	41.3	5月5日	鳩谷ダム
海	イサキ	0.2	0.9	55.2	31.9	7月5日	三重 和良沖		ブラウントラウト③	0.45	0.97	16.38	11.89	6月18日	橋原ダム
海	ササノハベラ	1.1	3.5	43.5	26.3	7月5日	三重県 和良沖		ブラウントラウト④	1	3.3	41	26.1	6月5日	鳩谷ダム
海	サバフグ			45.6	40.9	2月22日	三重県 三河一色		ブラウントラウト⑤	0.5	1.89	21.14	11.48	8月26日	奈川渡ダム
海	サバフグ			66.05	46.5	2月22日	三重県 三河一色								

5. 考察

海水魚は29種類、淡水魚は13種類の骨格標本を作製できた。多くの魚種の標本を作製して歯の本数を数えたところ、海水魚、淡水魚の種類に関わらず、全体的に上顎の歯の本数が多い魚が大多数だった。これは、肉食性の魚種が多いため逃げる魚を上から押さえ込み逃げにくくしているのではないかと考えた。逆に、少数だが下顎の歯の本数が多い魚は、カサゴやマゴチ、ギギ、ナマズ等、底生生活する魚が多く頭骨の横幅が広い魚が多い。これは顎の構造が大きな獲物を丸のみしやすく待ち伏せ型の採餌行動をとることと関連があると考えた。歯がないクチバシを

もつ魚や、歯が細かすぎて数えられない（実際に手で触っても痛くないほど尖っていない）魚種の場合は、餌を丸のみして咽頭歯で砕いて採餌することがわかった。アオブダイとウグイは咽頭歯も取り出して標本にしている。（表 5、9）

口の向きの分類に関して、表 2、3 の上向きの口をもつ魚類は、自らの上方を泳ぐ生物を捕食したり、落下昆虫の捕食に長けると考えた。口が正面にあり、大きい魚類は、回遊して採餌する魚種が多い。また、口が下向きの魚類は底生生活をして、砂地などで吸引して採餌するものが多いと考えられる。（表 5）

（表 5）口の向きと採餌

上向き	正面	下向き	くちばし
			
スズキ	サワラ	オジサン	アオブダイ
上方の餌を見つけやすい	肉食性でイワシ等の魚類やイカ、エビ等を食べる	ひげをもち底砂をさぐって採餌する	咽頭歯で砕いて採餌する 

次に、標本数が 3 以上の魚種について各計測部位の平均値を示した表とグラフを作成した。歯のアスペクト比は歯の高さを底辺の長さで割った値で、数値が大きいほど細長く鋭い形をしている指標になると考えた。歯のアスペクト比の大きい魚種は、マゴチとキダイである。（表 6）マゴチの歯は、大きい口に細かい櫛のような歯が生えている。マゴチ②の標本からは、胃の内容物としてエビ 2 匹と底生魚であるホウボウが出てきたことから底生生活をする肉食の魚類であるとわかる。キダイの歯は、犬歯のように発達した牙が目立つ。（表 7）キダイは群れを作り水深 50～200m を群れを作り遊泳するといわれている。鋭く大きな犬歯は肉食に適していると考えられる。

頭骨の縦と横の長さを計測して、その値から頭骨のアスペクト比を算出した。歯の場合と同様に、この値が大きいと縦長の頭骨で、値が小さい場合は扁平な形であることを示している。海の中層を遊泳するキダイは頭骨のアスペクト比が大きく 2.14 であるのに対して、底生を好むカサゴやアカハタはその値が 1 に近く縦と横幅が近い形で、海底で安定した姿勢をとれる形であることが分かる。マゴチはアスペクト比が 0.56 と扁平で、さらに底生生活に適した形であることがわかった。（表 6）（グラフ 1）（グラフ 2）

（表 6）海水魚データ平均値

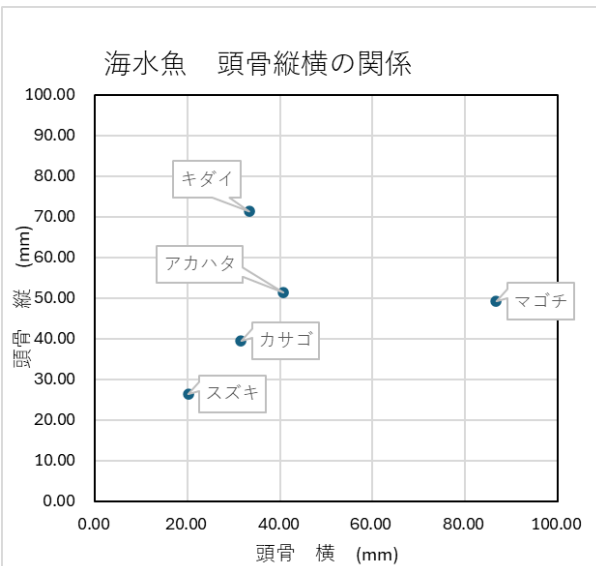
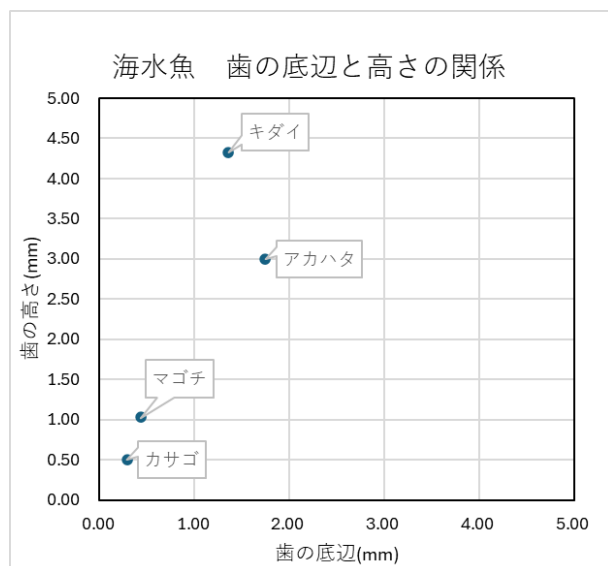
サンプル数3以上の海水魚データ平均値								
	歯の底辺 (mm)	歯の高さ (mm)	歯アスペクト比	骨格全長 (cm)	口の大きさ下顎 (mm)	頭骨横 (mm)	頭骨縦 (mm)	頭アスペクト比
アカハタ	1.75	3.00	1.74	30.58	40.55	40.60	51.40	1.27
カサゴ	0.29	0.50	1.66	17.08	28.94	31.56	39.45	1.23
キダイ	1.36	4.32	3.21	25.49	24.95	33.28	71.26	2.14
マゴチ	0.44	1.03	3.78	45.50	44.32	86.75	49.13	0.56
スズキ	※歯が細かいため計測不能が多い			22.74	23.59	20.10	26.39	1.34

(表 7) 海水魚 歯



(グラフ 1) 海水魚 歯の底辺と高さの関係

(グラフ 2) 海水魚 頭骨縦横の関係



次に、淡水魚について標本数 3 体以上の魚種の平均値データをまとめた。(表 8) 歯のアスペクト比が大きく鋭く尖った形の歯をもつのは、ウナギとナマズである。両魚種とも歯の本数が上顎、下顎ともに 100 本を超えており、細かい櫛状の歯がすきまなく並ぶ形をしている。(表 9) サケ科魚類の中で歯のアスペクト比が大きい値になったものは、イワナとブラウントラウトでこれらの魚種を釣獲した部顧問の武知先生が「その 2 種は歯が鋭利で間違えて口内を触ると怪我をしやすい」とおっしゃっていた体感と一致した結果が得られた。(グラフ 3) (グラフ 4)

頭骨の縦横比を比べると、底生生活を行うウナギ、ギギ、ナマズは頭骨のアスペクト比が 1 を下回り、扁平な形であると分かった。これらの魚種は肉食で、特にナマズは大型のカエルやザリガニなども捕食する悪食である。対して、コイ科のウグイやサケ科魚類はアスペクト比が大きく、河川の中層から表層を遊泳して生活するのに適した体形であると分かる。サケ科魚類の中では、イワナとブラウントラウトの頭骨アスペクト比がイワナ 1.68、ブラウントラウト 1.43 と小さく横幅があることが分かった。この 2 種はサケ科魚類の中でも食欲に様々な種類の餌を捕食するといわれている。解剖した個体からも未消化の胃内容物として、ワカサギが出てきている。

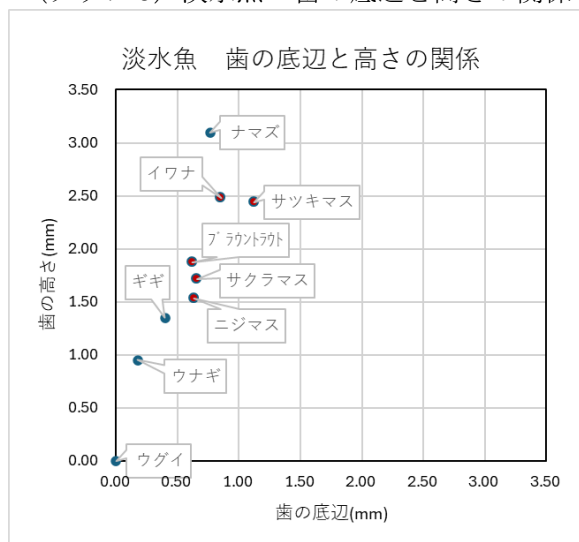
(表 8) 淡水魚データ平均値

サンプル数3以上の淡水魚データ平均値								
	歯の底辺 (mm)	歯の高さ (mm)	歯アスペクト比	骨格全長 (cm)	口の大きさ下顎 (mm)	頭骨横 (mm)	頭骨縦 (mm)	頭アスペクト比
イワナ平均値	0.85	2.48	3.01	32.01	35.10	24.32	40.54	1.68
サクラマス平均値	0.66	1.72	2.54	27.50	28.86	18.99	34.74	1.90
サツキマス平均値	1.13	2.44	2.38	32.39	33.58	24.55	40.77	1.71
ブラウントラウト平均値	0.62	1.87	3.00	28.20	30.73	23.66	31.50	1.43
ニジマス平均値	0.63	1.53	2.42	29.83	28.73	20.97	40.80	1.94
ウグイ平均値	0.00	0.00		23.04	11.26	13.84	21.94	1.55
ウナギ平均値	0.18	0.95	5.41	49.10	22.14	29.66	19.78	0.74
ギギ平均値	0.40	1.35	3.36	18.75	16.93	23.30	16.04	0.70
ナマズ平均値	0.77	3.09	4.18	48.27	43.00	61.90	39.25	0.64

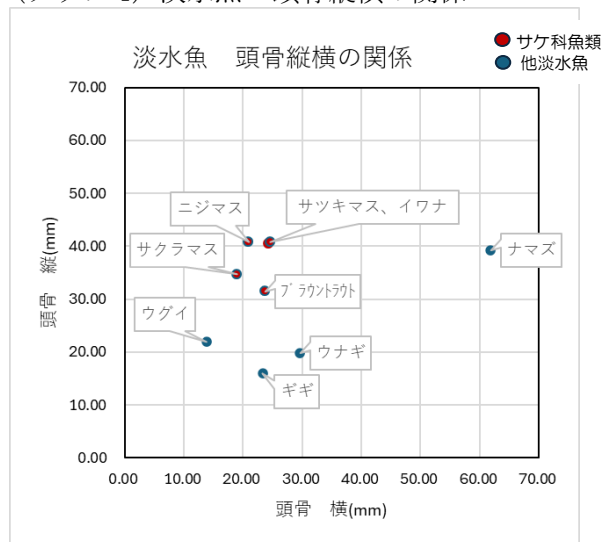
(表 9) 淡水魚 歯

イワナ	サクラマス	サツキマス	ブラウントラウト	ニジマス
				
ウナギ	ギギ	ナマズ	ウグイ	ウグイ咽頭歯
				

(グラフ 3) 淡水魚 歯の底辺と高さの関係



(グラフ 4) 淡水魚 頭骨縦横の関係



6. まとめ

魚類骨格と魚類の生態には関連があり、頭骨や歯の大きさから、魚類の生息環境や採餌、食性を考察することができる。頭骨の縦横アスペクト比が大きい魚類は中層を遊泳し、その比が小さい扁平な頭骨の魚類は底生生活をする傾向が示唆された。さらにサケ科魚類間でも頭骨や歯の大きさのアスペクト比の平均値が異なり、食欲なイワナやブラウントラウトは歯がするどく、頭骨が扁平である傾向が示唆された。

7. 今後の展望

今回の研究を通して作製した大量の魚類骨格標本その他、哺乳類の骨格標本は学校の文化祭や地域の環境フェアで展示を行う予定である。学校の先生や友人、また地域の人たちに私たちの取り組みを通して生き物や環境に興味をもってもらえるよう活動を続けていきたい。

8. 参考文献

- ・新魚類解剖図鑑/木村清志 ・骨格標本作成法 / 八谷昇・大泰司紀之
- ・サケマス・イワナのわかる本 / 井田齊 + 奥村文弥
- ・新規環境への進出に際して生じる生き方の多様化 ～「湖」へ回遊したサケ科魚類における回遊パターンの多様化と大型化～ / 中西勇太 太田民久 (2024. 12)

学校周辺に現れるニホンジカの4年半の記録から ～繁殖と行動を分析する～

岐阜県立不破高等学校 自然科学部

I はじめに

本校はニホンジカ（*Cervus nippon* 以下シカとする）が多く生息する岐阜県西濃地域の南宮山（岐阜県不破郡、養老郡、大垣市）北麓にある（図1）。学校敷地内や周辺で多く目撃され、花壇の花を食べる被害や森林の食害もある。害獣駆除の対象で調査周辺に「くくりワナ」が仕掛けられている。以前はトレイルカメラを南宮山内に1km方形の中心に設置し、静止画像から個体数推定と、捕獲個体の胃袋の分析から食性調査を進めてきた。しかし頻繁に学校周辺や住宅地で観察され、森と住宅地を行き来する特殊な環境にいるシカの生態をより詳しく調べようと考え、2021年4月から山中に設置していたカメラを学校周辺に移動し、動画記録している。2023年の分析作業から、さらに1年半分のデータが追加されたため、合計4年半の記録を用いて繁殖期、行動に関して詳しく分析することにした。



図1 不破高校の位置

II 調査地

調査地は、岐阜県不破郡垂井町の県立不破高等学校敷地及びその周辺である。学校の南は孤立した山塊（南宮山）で、スギの植林が大部分を占め、点々と広葉樹が混じっている。下草はシカの食害のためかほとんどない。林縁部には、ササが見られるが、多くはシカに食べられている。麓には住宅地に出て行かないように、シカ防止柵が設置されている。防止柵と住宅地の間には所々林が存在しており、これらを住処とするシカが住宅地に出ているようである。シカ以外の動物も多く見られ、キツネ・タヌキ・アナグマ・ハクビシン・イノシシ・イタチ・ニホンザル（群れ）などが見られる。



図2 調査地とカメラの位置(赤い点)(2024年～)



図3 裏山の植生の様子

III 研究方法

調査地に10台以上のトレイルカメラを設置した（設置場所は図2）。カメラの位置や数は故障や更新、シカの記録の状況などにより変化している。2023年からはより詳しくシカの行動の記録をとるため、長い時間留まって採餌・休息することが多い場所（図2左端の弓道場および右端の砂利駐車場）に設置カメラを増やした。記録は、約30秒の動画（消音）とした。センサー感度は「高」にした。毎朝または夕方にカメラのSDカードを回収し、記録動画をもとに観察された時間と性別（オス、メス、不明）・成長段階（子どもかどうか・オスの場合は年齢）・移動方向・行動を記録した。記録で頭部が写っていない場合や遠い場合は、性別は不明とした。生まれて日が経たない個体ははっきりと幼体と認識できるが、少し成長するとカメラレンズが広角のため距離によって大きさが大きく変化し、単独では大きさが不明確であるため、複数で他の個体と比べて明らかに小さい場合を幼

体とした（雌雄は不明）。春にオスの角が落ち、雌雄がはっきりとしなくなる。その後 5 月頃から再び角が生え、雌雄が区別できるようになる。角の枝分かれの数によりオスは年齢が推定できる。1 歳は、角は枝分かれせず、2 歳で 1 回分岐（1 又 2 尖）し、3 歳で 2 回分岐（2 又 3 尖）、4 歳以上で 3 回分岐（3 又 4 尖）する。行動記録については、2023 年 1 月からの動画記録を見直し、行動種類ごとにまとめた。また近隣住宅地でのシカの移動や被害を調べるために、近くの小学校の全生徒に Web アンケートのお願いのチラシを配って情報を集めた（2022 年～24 年）。

IV 結果と考察

i) 繁殖期の推定

調査地内では出産や交尾の記録はなかったため、初めて幼体が記録される時期や授乳の記録から出産日、交尾日を推定した。生まれたばかりの幼体（ほとんど産児数は 1 頭）は母親について歩くことはなく、森の藪の中に身を隠し、母ジカが時々授乳に訪れるため記録されることはない。母ジカについて歩き出すのは、生後 2 週間後程度と報告されていることから、最初に幼体が記録された日から 2 週間前を出産開始日と推定した。さらに妊娠期間は 220～240 日程度のため、推定出産開始日から 8 ヶ月前を交尾開始日とした。また、出産後 3 ヶ月程度（見た目では幼体かどうかわかりづらい）は授乳を行うと報告があるため、授乳記録も推定のための材料とした（実際には、3 ヶ月以上授乳している可能性がある（iv を参照））。出産期や交尾期の終わりは、幼体が成長し区別するのが難しいため、推定できなかった。繁殖期のピークは、幼体が多く見られた期間などを参考に推定した。推定結果を以下に示す。

	幼体が記録された日	逆算した出産日	逆算した交尾日	幼体が多く見られた期間
		(幼体記録の2週間前)	(出産日の8ヶ月前)	
2022年のデータ	7月1日～	6月16日～	2021年10月上旬～	6月下旬
2023年のデータ	6月9日～	5月25日～	22年9月下旬～	6月下旬
2024年のデータ	6月21日～	6月8日～	23年10月上旬～	6月下旬
2025年のデータ	6月15日～	6月2日～	24年10月上旬～	6月下旬



出産のピーク
6月中旬
交尾期のピーク
10月中旬

表 1 幼体が記録された日から逆算した推定出産開始日および交尾開始日・ピークの時期

これまでの 4 年間の記録から、出産開始は 5 月下旬～6 月中旬、これから逆算した交尾開始は 9 月下旬～10 月上旬であった。また幼体が多く見られた期間はいずれの年も 6 月下旬で、このことから、出産のピークは 6 月中旬、交尾期のピークは、10 月中旬と推定される。一般的に、本州では交尾期は 10 月～11 月、出産は 5～6 月と報告されており、本調査地もほぼ同様の繁殖期であることが分かった。年によって幼体が初めて記録される日に違いがあり、出産開始日が年によって異なるが、これはカメラの記録がたまたまなかったからだと考えられる（時々 1 週間以上カメラに 1 頭のシカも記録されないこともある）。よって、繁殖期や出産に関しては、年ごとに大きな違いは見られないと言える。しかし、ここ数年の夏の気温は高く、調査地内でも 38℃近い猛暑日が何日も続いたり、冬に大雪になって 50～60cm 以上の積雪が見られるなど、将来的に地球温暖化による極端な気候変化が繁殖期に影響を与える可能性があることから、さらに引き続き記録を蓄積していきたい。

ii) シカ集団の大きさの変化について

集団の大きさの季節変化について分析をした（2021 年 4 月～2025 年 9 月）。図 3 のグラフは、半月ごとに集団の大きさ（平均値）の変化を示したものである。2024 年 4 月～2025 年 3 月のグラフにおい

て、値のない部分（12月）は、1ヶ月ほどカメラの記録がなかった部分である。このように、長い間シカがカメラを設置している場所に現れないことがあった。これは、調査地周辺のシカ防止柵の修理工事や工事のための資材が突然置かれたり、砂利駐車場の入口の工事で通れなくなったりしたことが原因と考えられる。環境の変化があるとしばらくシカは寄りつかないが、やがて慣れて通常に戻ることが多い。

初春は集団が大きいのが、出産期の5月下旬・6月から夏～秋にかけては、集団が小さくなった。交尾期のピークを過ぎた11月下旬以降に集団が徐々に大きくなった。大きな集団は12月以降から初春にかけて継続した。成体オス（3～4歳以上）は、9088件の記録のうち、149件の記録があり、記録の多いのは10月～11月中旬の交尾期で、多くが成体オス単独の記録であった。

このような集団の大きさの変化の要因について考えてみる。冬から春先にかけてメスの大きな集団であったが、出産期（5月下旬～6月）に近づくと、メスは単独または数頭（メスと昨年生まれの個体（やや小さい、以後 α とする）で血縁関係がある可能性が高い）の小集団になる。出産が藪の中で行われることから、出産が近くなると出産の準備で集団から離れるため集団が小さくなると考えられる。さらに出産後は藪の中に隠れている幼体に授乳するため時々藪を訪れる必要があり、単独行動が多くなると考えられる。生後2週間程度経過すると、幼体は藪から出てきて、母親と一緒に行動を始めるため2頭（母子ペア）～数頭（母子ペア+ α ）の集団になる。一緒に行動しながら、時々授乳している記録がある。幼体が成長するにつれて、少しずつ小集団（親子+ α ）が集まるが、まだ大きな集団にはならない。交尾期には、この小集団を点々と成体オスが追いかけているようである。これは、「メスは交尾期が近づくと集合する傾向があるため群れが大きくなる」という報告とは少し異なっているが、住宅地に出る前に、開けた場所に少しずつ集まって大きな集団になってから出て行く姿は見られた。交尾期を過ぎると幼体も成長して、メスを中心とした小集団が段々と集合し、大きくなっていく。昨年生まれと考えられる1歳オス（メスより小さく、角はコブのように出ている）がたまに複数混じることがある。2才以上のオスが混じる記録はほぼないことから、2才以上のオスは集団から離れていくと考えられる（若いオスのみで集団を作ることとも報告されているが、調査地では記録はされていない）。晩秋から春にかけてのメスの大きな集団ができるのはなぜか。東北地方などの積雪地帯では越冬地に多数のメスが集合して一時的に大きな群れができると報告されている。調査地での

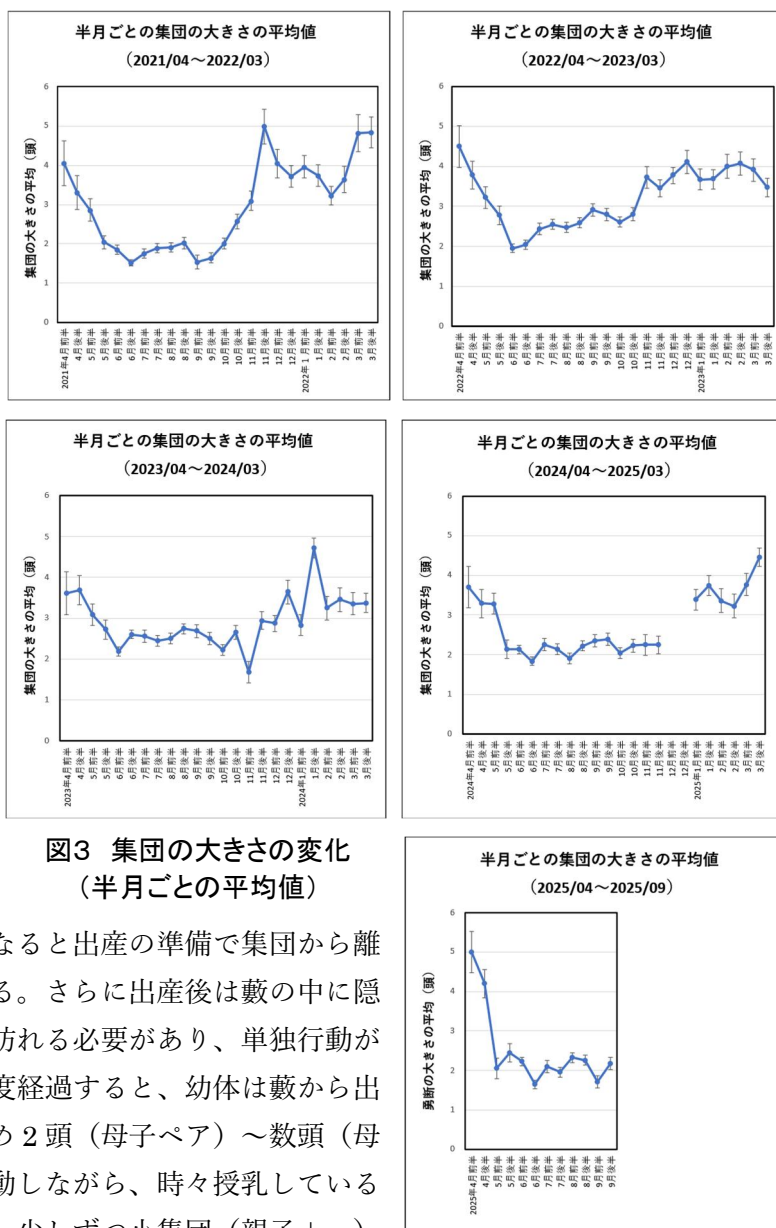
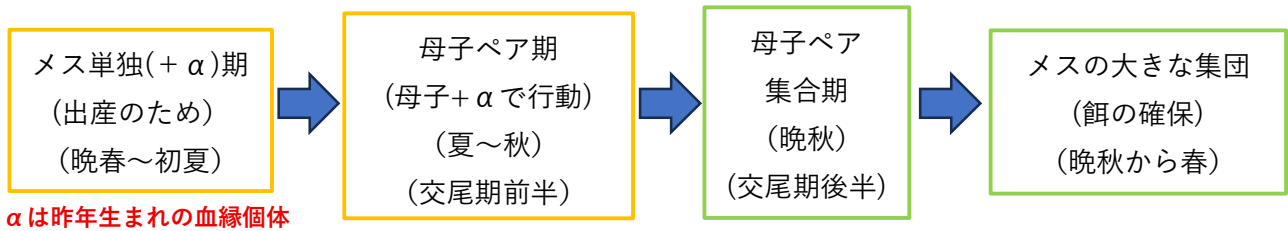


図3 集団の大きさの変化
(半月ごとの平均値)

が集まるが、まだ大きな集団にはならない。交尾期には、この小集団を点々と成体オスが追いかけているようである。これは、「メスは交尾期が近づくと集合する傾向があるため群れが大きくなる」という報告とは少し異なっているが、住宅地に出る前に、開けた場所に少しずつ集まって大きな集団になってから出て行く姿は見られた。交尾期を過ぎると幼体も成長して、メスを中心とした小集団が段々と集合し、大きくなっていく。昨年生まれと考えられる1歳オス（メスより小さく、角はコブのように出ている）がたまに複数混じることがある。2才以上のオスが混じる記録はほぼないことから、2才以上のオスは集団から離れていくと考えられる（若いオスのみで集団を作ることとも報告されているが、調査地では記録はされていない）。晩秋から春にかけてのメスの大きな集団ができるのはなぜか。東北地方などの積雪地帯では越冬地に多数のメスが集合して一時的に大きな群れができると報告されている。調査地での

積雪量は極端に多いわけではないが、冬場の餌の確保のために餌が比較的手に入りやすい林縁部に集合したり、住宅地に集団で出て行く可能性がある。これらをまとめると次のようになる。



このように大まかな個体群の変化についての知見は得られたが、α個体が本当にメスと血縁関係があるのかは不明である。α個体がメスよりも小さく前年生まれの個体であることは確からしいため親子関係にあることが類推されるが、これを確認することは親ジカや幼体を捕獲してDNA鑑定したり、標識をつけたりしないと困難である。

iii) 住宅地でのシカの行動について

Web アンケート（2022 年～24 年まで毎年 5 月にちらしを配布）での結果は表 2 のようになった。目撃の場面としては、車で移動中や散歩中・畑などでの監視カメラ記録などである。回収できた 40 件のシカが何をやっていたかの内訳をみると、半分以上は「移動中」であった。約 1/4 は、「草を食べている」情報で、「不明」については、アンケートに書かれていなかったものである。さらに、自由記述の「何か被害はありましたか」については、「庭で育てている植物を食べられた」「花など植えても食べられて荒らされる」「家の花を食べられる。一番いい時、綺麗な時!」「製品の原料を食べられた」などの情報があつた。このことから、シカが住宅地に移動するのは、主に餌の確保が目的だと考えられる。

移動中	草を食べる	不明
22	9	9

表 2 Web アンケートの結果

iv) シカの集団内で見られる特徴的な行動について

記録において、大きく分けて 4 つの特徴的な行動（全体で 240 件）が観察された。

- ① 攻撃行動（ある個体がある個体を追払ったり追回したりする。2 個体が 2 本足で立ち上がり、前足でたたき合う）（図 5）
- ② マウンティング（交尾のような行動）（図 6）：交尾期でない時期
- ③ 授乳（子ジカがメスの体の下に潜り込み、強く突くところから始まる）（図 7）
- ④ 交尾（はっきりと確定できず）



図 5 立ち上がってケンカ



図 6 マウンティング



図 7 授乳

調査地で観察されたものはほとんどメスや前年生まれの 1 歳オスで、成体オスの記録は、多くが単独で、個体間での関係を示す行動はほとんど見られなかった。そのため、記録された行動に関しては、多くが集団内でのメス同士やメスと当年生まれの子ども（雌雄は不明）、メスと昨年生まれの 1 歳オスの間の記録である。2023 年 1 月～2025 年 9 月までの間に記録された行動は、9000 件を超える記録のう

ち、全部で 240 件あった。そのうち、交尾らしき行動が見られたのは、1 件であった（4 歳以上のオスとメス）。成体オスがメスを追いかける行動は、10 月の交尾期に 7 件見られた。これ以外の繁殖に関わるような行動は見られなかった。

図 8 は、調査地で見られた行動（n=240）について、行動ごとの割合を示したものである。一番多い行動は攻撃行動で、他の個体を追い払ったり、追い回したりする行動（107 件）と、2 頭のメスが後ろ足 2 本で立ち上がって、前足を使って攻撃しあう行動（22 件）が含まれている。オスがメスを追い払うような行動は見られず、メスがオスを攻撃する行動は 1 件だけ見られた（拒否行動かもしれない）。その他は、匂いを嗅いだり、舐めたりする行動である。マウンティング行動は、いわゆる交尾の体勢をとる行動であるが、メス同士や雌雄は分からない

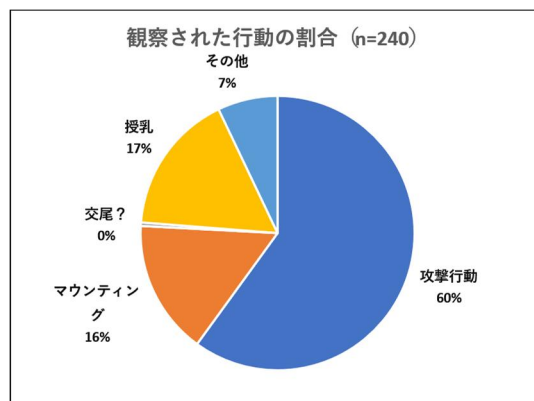


図 8 観察された行動の割合

が成長した子どもとメスの間に見られた。さらに交尾期ではない 3 月・4 月に 1 歳オスがメスにマウンティングする行動が複数記録されている。子どもがメスのお腹付近に顔を突っ込み、下から突き上げてから授乳が行われるが、顔を突っ込もうとした段階で母ジカが拒否したり、下から突き上げる段階で拒否するなどの行動も見られた。これらの行動も含めて、40 件が観察された。一番早い授乳成功の記録は、6 月 26 日（2024 年）で、一番遅い記録は、2 月 23 日（2025 年）であった。もし出産後 3 ヶ月間授乳となると、一番遅い場合、11 月下旬に出産の可能性もあることとなるが、交尾期と重なり、少し遅すぎる。

よって、授乳期間は報告されている 3 ヶ月よりも長い可能性が高い。

これらの行動のうち、攻撃行動である「追い払い・追い回し行動」と「後足で立ち上がってケンカ」の 2 つについて、月ごとの観察頻度をまと

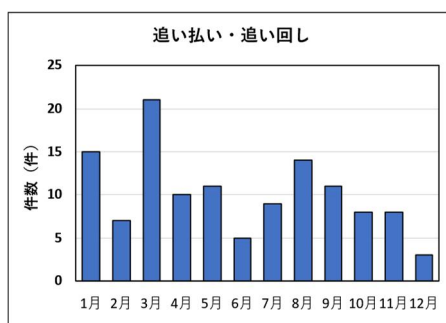


図 9 追い払い行動の月別頻度

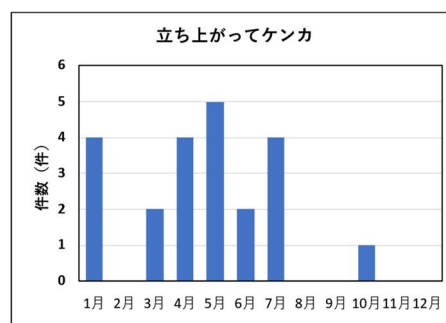


図 10 立ち上がってケンカの月別頻度

めた（図 9・10）。動画記録回数に比べて、特徴的な行動が見られる回数は少なく、カメラで記録されていないところで、それぞれの行動が起きている可能性あるが、ここでは全体的な傾向について考察をする。追い払い・追回し行動はほぼ 1 年中観察されたが、3 月に多く、出産期の 6 月と集団が大きくなった 12 月は頻度が低くなっている。3 月は大きな集団で林縁部や住宅街で採餌することが多く、自然と個体間距離が近く接触することも多くなり、追い払う行動が多くなっている可能性がある。6 月が少ないのは、メスの単独（+α）行動が多いためである。12 月に少ないのは、2024 年の記録で 12 月にほとんど調査地にシカが現れず、記録数が減ったためと考えられる。また立ち上がってケンカする行動は、観察された回数が全体で 22 回と少ないため、あまりはっきりしたことは言えないが、秋から初冬に少なく、出産期前の 4・5 月と母子ペアと一緒に行動し始める 7 月に多く見られた。さらに 1 月にも多く見られた。4 月・5 月は、出産期直前で、大きな集団も見られたが、単独または α とともに行動する腹部の膨れたメスもよく見られた。それらの集団が遭遇し接触したときに攻撃行動が起き、さらに出産が近いことも影響している可能性がある。7 月は母子ペア + α の小集団で行動しているが、この小集団が

遭遇したとき、子どもを保護するために他のメス個体に対して攻撃行動を引き起こした可能性がある。1 月は大集団で行動しており、血縁関係のない個体が接触する可能性が高く、その間で攻撃行動が起きている可能性がある。集団の中で、匂いを嗅ぎ合ったり舐めたりする行動も見られたため、攻撃行動は血縁関係が遠い個体同士で起こり、近い個体では起きづらい可能性もあるが、これらは血縁関係が分からないため確信はできない。

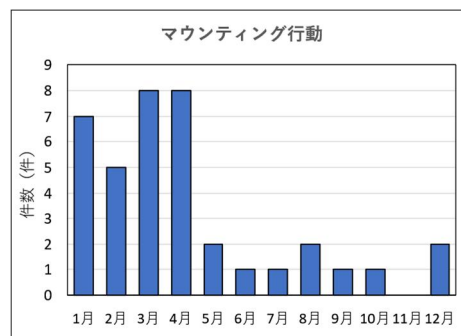


図 11 マウンティング行動の月別頻度

マウンティング行動は、全部で 38 回記録された。図 11 に月別の頻度を示した。マウンティング行動は、主に 1 月～4 月の集合期に多く見られた。マウンティング行動がどのような意味を持つかはよく分からないが、いずれも交尾期ではない時に見られることから、メス同士の場合は個体間の関係を確認するような親愛的な行動（血縁関係が近い）か、1 歳オスやオスの子どもの場合は、交尾の練習かもしれない。マウンティング行動が見られる状況は、餌場で餌を食べているときではなく、大きな集団が移動を始めて前の個体と接近しすぎたときに見られることが多かった。マウンティング行動の意味はまだ不明である。さらにマウンティング行動のきっかけになることを見つけるためにさらに多くの例を集めていきたい。

このように、シカの行動は記録されているデータ（240 件）ではまだまだ少なく、繁殖や季節変化での行動変化なのか、たまたま記録されていないだけなのか確かなことはまだ言えないため、継続的な記録をさらに増やしていく必要がある。また血縁関係が不明な状態ではなかなかその行動の意味を考えることは難しいが、どのような場面でこれらの行動が引き起こされるのかなどをより詳細に記録し分析することで少しは意味が分かってくると考えている。

V) 謝辞

Web アンケートで近隣住民および垂井町立宮代小学校の児童の皆さんと保護者の方々に大変お世話になりました。

VI) 参考文献

- ・「予防的鳥獣被害対策マニュアル」（独）農業食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター 農林水産省東北農政局農村振興部農村環境課
- ・トレイルカメラの動画撮影による森と市街地を行き来するニホンジカの研究 不破高校自然科学部 2023
- ・不破高校に現れるニホンジカの 1 年間の記録～繁殖に伴う変化について～ 不破高校自然科学部
- ・トレイルカメラによる不破高校敷地内に現れるニホンジカの生態(4月～10月)不破高等学校自然科学部
- ・南宮山に生息する野生動物に関する生態学的調査 I・II 不破高等学校自然科学部
- ・行動・生態一般財団法人奈良の鹿愛護会 <https://naradeer.com/learning/ecology.html>
- ・奥日光におけるニホンジカの出産時期の推定 岩本千鶴 松田奈帆子 丸山哲也 小金澤正昭 平成 21 年度 ISSN 1348-4230 野生鳥獣研究紀要 栃木県県民の森管理事務所 2009
- ・兵庫県における高密度下でのニホンジカの繁殖特性 松金（辻）知香横山真弓 哺乳類科学 58(1)：13-21, 2018
- ・奈良公園におけるニホンジカオスの体サイズクラスの違いが繁殖行動の発現頻度と季節に及ぼす影響 奈良教育大学自然環境教育センター紀要(21)：9-19 2020

小型サンショウウオにおける繁殖期変動と交雑の可能性

～今後の保全活動に向けて～

岐阜県立岐阜高等学校自然科学部生物班

1.はじめに

本校が所在する岐阜市には有尾目サンショウウオ科サンショウウオ属に分類されるヤマトサンショウウオ (*Hynobius vandenburghi*) が生息している。県内の生息地は4ヶ所と非常に少なく、岐阜市は本種生息域の北東端にあたるため、岐阜県版及び岐阜市版レッドリストにおいて絶滅危惧Ⅰ類に指定されている。この絶滅リスクが高い貴重な個体群の保全活動を岐阜市において19年間継続して行ってきた。

保全活動の中心は全卵囊の保護と孵化した幼生の飼育、および放流である。図1は保護した卵囊数、及び放流した幼生数を示している。2007年から2022年にかけて、年変動はあるもののどちらも増加傾向にあり、保全活動に一定の効果があったといえる。しかし、2023年以降、両者ともに減少傾向が続いており、また、未発生卵が増加するなど、心配な側面がみられるようになっている(図1)。

2011～2025年において、1・2月の岐阜市平均気温と岐阜市生息地におけるヤマトサンショウウオの産卵開始日に相関関係があることが示されたが[1]、将来的には温暖化に伴いさらに産卵開始日が早まることが予想される。温暖化が野生生物に与える影響については様々報告されているが、その一つに交雑問題があげられる。ヤマトサンショウウオの産卵開始日が早まり、近縁種の産卵期と重なる期間が長期的になり、また、生息適地が減少し、地理的隔離が困難になるなどすると、交雑リスクが高まると考えられる。そこで、2022年3月、近畿地方を中心に生息するセトウチサンショウウオ (*H. setouchi*) と人工授精したところ、孵化・上陸する個体が現れた(図2、[2])。

交雑は種の保全と生物多様性を脅かすため、今回誕生した交雑個体の特徴を調査し、その知見を保全活動に役立てようと考えた。本研究では交雑個体の成長を追跡するとともに、形態の特徴や指の数の変異を調査し、体色を数値化した。得られた結果を踏まえて、今後の保全活動についての展望を検討した。

2.方法

① 交雑個体の成長

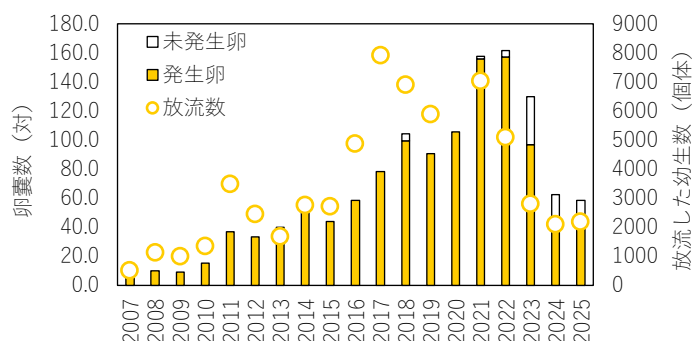


図1 岐阜市生息地において保護した卵囊数と放流した幼生数の推移
未発生卵を多く含む卵囊は区別して表示した(□)。2020年はコロナ禍による部活動自粛期間のため放流数をカウントできなかった。



図2 交雑個体 ヤマトサンショウウオの卵囊にセトウチサンショウウオの精液を塗布することで、交雑個体が誕生した。ヤマトサンショウウオの尾に黄色い条線がみえる。

交雑個体を孵化後 15 ヶ月から 42 ヶ月にあたる 2023 年 7 月から 2025 年 9 月まで毎月 1 回、頭胴長、頭長、頭幅、尾長、尾高、全長、体重を測定し、成長を記録した。体重は電子天秤を用い、その他の測定にはデジタルノギスを用いた[3]。また、頭胴長に対する各部位の比率を算出し、ヤマトサンショウウオおよびセトウチサンショウウオと比較した。測定した個体数は、実験開始時は 7 個体であったが、その後 3 個体が死亡したため、2025 年 6 月以降は 4 個体となった。

本研究で用いた交雑個体は、ヤマトサンショウウオ卵嚢と和歌山県産セトウチサンショウウオ精液の人工授精により、2022 年 3 月に生まれた個体である。上陸以降は、砂利をひいた湿潤な状態の飼育ケースに入れ、冬は室温、夏は 15℃に設定した冷蔵庫で飼育した。ケースサイズにより、3 個体を同所的に（レプティケース L・410×260×150 mm・株式会社スドー）または 1 個体ずつ（蓋つきプラスチック容器・容量 650mL・ナカヤ化学産業株式会社、または容量 3L・岩崎工業株式会社）飼育した。餌はサンショウウオ 1 個体あたりヨーロッパイエコオロギ 2 匹を週 2 回与えた。

比較対象として用いたヤマトサンショウウオ成体やセトウチサンショウウオ成体も同様に飼育した。これら成体は野外で捕獲したため、齢は不明である。

② 指の本数

両生類の指の本数は前肢 4 本、後肢 5 本が基本であるが、交雑個体に指の奇形がみられたため（図 3）、目視により肢ごとの指の本数を数えた。比較対象としてヤマトサンショウウオ成体（岐阜市生息地および揖斐川町生息地）の指の本数も数えた。結果はカイ二乗検定により検証した。



図3 ヤマトサンショウウオの指（左）第 5 趾まである正常な個体（右）第 4 趾までしかない個体（標本）

③ 尾の色

各サンショウウオは白いプラスチック容器の上に置き、被写体とカメラ（OM SYSTEM/オリンパス Tough TG-6）のレンズ間を 5cm とし、尾に光が当たらないよう留意して撮影した。写真データをパソコンに取り込み、画像解析ソフト ImageJ を用いて、尾の上部（背中側）の RGB 値を求めた。

3.結果

① 交雑個体の成長

図 4 は交雑個体の全長と体重の推移を 15 月齢から 42 月齢まで示した成長曲線である（全長と体重以外は不掲載）。全長は緩やかに伸長し、体重は 25 月齢までは急激に増え、その後減少することもあったが、長期的には緩やかに増加した（図 4 左）。2025 年 9 月現在、各平均値は全長 77.84mm、体重 2.88g であった。

肉眼で見る限り、交雑個体の形態はヤマトサンショウウオ成体と似ている（図 2）。そこで、頭胴長に対する各部位の割合を求め、ヤマトサンショウウオ（2025 年に岐阜市生息地で捕獲した個体）およびセトウチサンショウウオ（本校で飼育している 1 個体）と比較した。交雑個体とヤマトサンショウウオの結果を t 検定により評価したところ、頭幅の割合のみ有意差が検出された（ $p=0.020$ 、図 4 右）が、その他については有意な差は認められなかった。

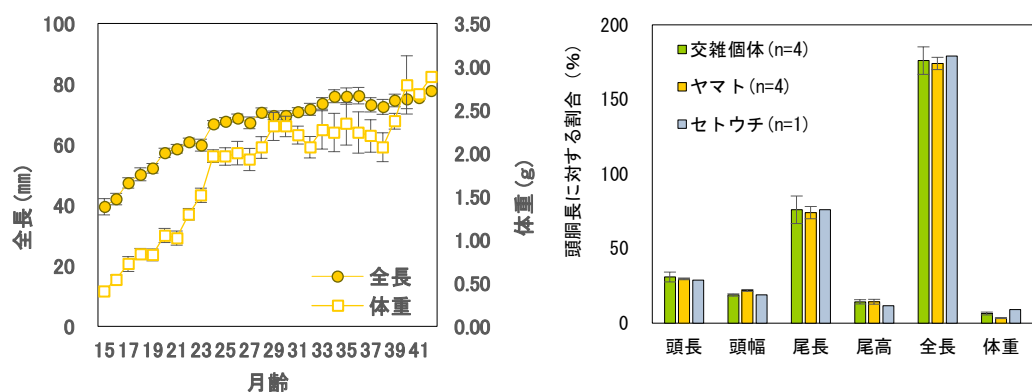


図4 交雑個体の成長と頭胴長に対する割合 (左) 交雑個体の全長と体重の平均値の推移(n=5~8) (右) 各部位の頭胴長に対する割合 交雑個体とヤマトサンショウウオの頭幅のみ有意差がみられた ($p<0.020$)。

② 指の本数

両生類の指の本数は前肢に4本、後肢に5本が基本である。交雑個体 (n=5) を調べたところ、前肢4本が左80%、右60%、後肢5本が左20%、右40%であり、基準値より少ない指を持つ個体が多かった (図5上)。比較のために、岐阜市生息地で2025年に捕獲した個体 (n=43) の指の本数も数えたところ、前肢4本が左右ともに82%、後肢5本が左56%、右42%であり、交雑個体同様、後肢における指の本数の変異が多かった (図5中)。長年の保全活動の弊害によるものかもしれないと考えたため、揖斐川町生息地のヤマトサンショウウオ (n=26) でも数えたところ、96%の個体が基準値の指を持っていた (図5下)。岐阜市生息地の個体と揖斐川町の個体間において前肢および後肢の指の本数をカイ二乗検定したところ、両者ともに有意差があることがわかった (表1)。

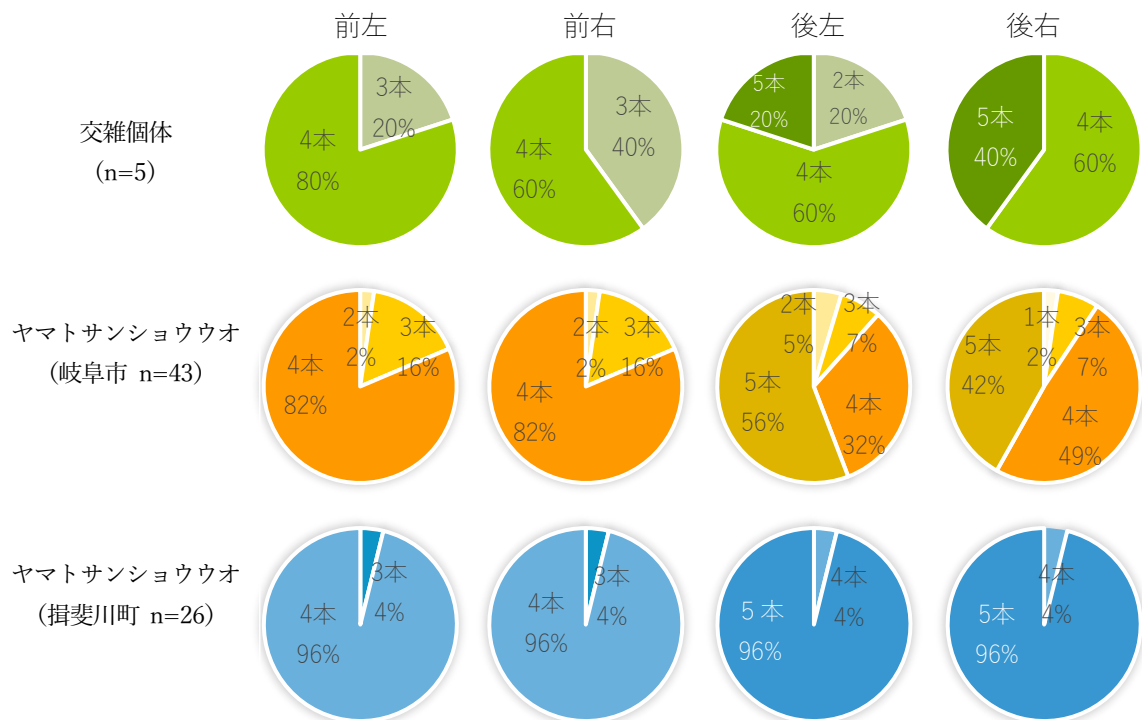


図5 交雑個体、およびヤマトサンショウウオ成体の前肢および後肢における指の本数の割合

表1 ヤマトサンショウウオ成体の指の本数 各個体の前肢および後肢の指の本数を基準値（前肢4本、後肢5本）、および基準値未満として分類し、比較した。左右の指は分類しなかった。そのため合計値は138(=43+26)となる。左：前肢 右：後肢

	岐阜市	揖斐川町	計
4本	70	50	120
4本未満	16	2	18
計	86	52	138

$$\chi^2(1) = 6.22, p = 0.013$$

	岐阜市	揖斐川町	計
5本	42	50	92
5本未満	25	3	46
計	67	52	138

$$\chi^2(1) = 16.57, p < 0.01$$

③ 尾の色

ヤマトサンショウウオの尾には黄色い条線があるが(図2)、セトウチサンショウウオの尾には見られない。交雑個体がどちらの影響を強く受けているかを調べるため、尾の上面の画像解析から各個体のRGB値を求め、箱ひげ図として示した(図6)。RGB値はいずれも、セトウチサンショウウオ、交雑個体、ヤマトサンショウウオの順に大きくなることがわかった。

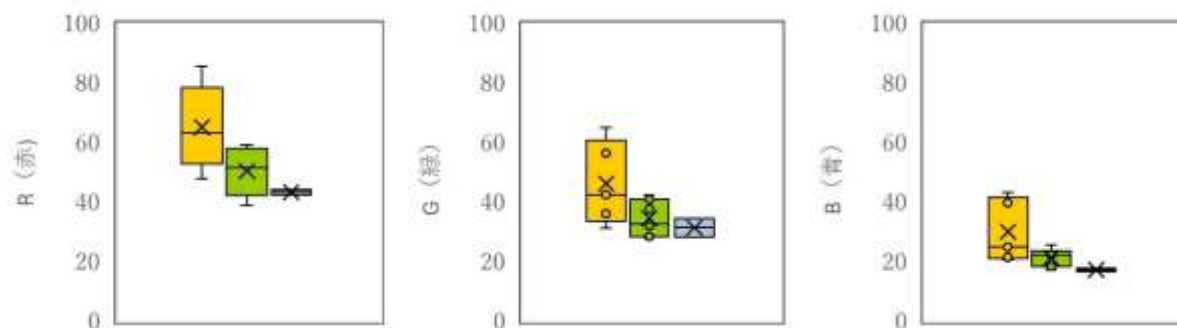


図6 尾の色の比較 ヤマトサンショウウオ成体(黄■, n=5)、交雑個体(緑■, n=7)、セトウチサンショウウオ成体(青■, n=2)の尾のR(赤)値、G(緑)値、B(青)値を示した。

4.考察

① 交雑個体の成長

人工授精により誕生した交雑個体は実験室内で成長し、今年9月に42月齢を迎えた。9月現在、交雑個体は全長70.22~88.67mm(平均77.84mm)、体重1.59~3.81g(平均2.88g)であるが、2025年の繁殖期に岐阜市生息地で捕獲したヤマトサンショウウオ成体の全長は83~113mm(平均102mm)、体重は3.3~9.7g(平均5.5g)であったことから、交雑個体の成長は抑制されている可能性がある。

今春、交雑個体に性成熟した雄にみられる総排泄口周辺のふくらみを確認した(図7)。性成熟した雌の交雑個体が現れなかったため、繁殖をさせることはできなかったが、次の繁殖期に備えたい。また、精子の運動状態を顕微鏡で調べるなどし、妊性の可能性について評価していきたい。

交雑個体の形態はヤマトサンショウウオ成体と似ている(図2)が、頭幅の割合のみ有意差が検出された(図3)。上述した通り、交雑個体は小さいため、小さい個体の特徴を反映している結果かもしれない。今後、成長して差が縮まれば、成長段階の早い時期にみられる現象といえる。



図7 交雑個体 総排泄口(オレンジで囲った部分)が膨らんでいる(35月齢, 2025年3月撮影)

② 指の本数

指の本数が基準値よりも少ない交雑個体が多いことがわかった。このことが生存に不利かどうかは、無いように考えられるが、少数個体で飼育しているためかもしれない。北海道に生息するキタサンショウウオ(*Salamandrella keyserlingii*)の後肢第5趾は退化し、4本であることが知られている[4]。また、ヤマトサンショウウオと同じ *Hynobius* 属のハクバサンショウウオ (*H. hidamontanus*) の後肢は4本であり[5]、トウホクサンショウウオ (*H. lichenatus*)の後肢は地域によって4本、または5本である[6]など、後肢第5趾は無くなる方向へ進化するようである。

交雑個体の指の本数の変異を調べる目的で行った調査だが、比較対象とした岐阜市生息地由来においても指の本数が少ない個体が多いことがわかり、保全活動の影響が懸念される結果となった。保全開始時に生息していた4個体が現在生息する全ての個体の祖先だとすると、近親交配が進み、遺伝的多様性の低下は進んでいると考えられる。あるいは、幼生の飼育環境に問題があり、指の形成が阻害されたとも考えられる。卵囊一対分から孵化した幼生を同じ一つの水槽で飼育したため、一部の共食いは避けられないからである。生きている個体での検証は難しいが、アルコール標本を解剖するなどして、指の本数の変異の原因を解剖学的に検証したい。なお、前肢の指の本数の変異も見られたが、前肢の指の数の減少についての報告は見つけられなかったため、本校の飼育環境による変異の可能性も考えられる。

岐阜市生息地における保全活動において2023年ごろから未発生卵が多くなっている(図1)。指の本数の減少が握力の低下となり、雄が卵囊に抱きつくことができずに受精に失敗すると、未受精卵が増え、生息地個体群は縮小するかもしれない。保全活動開始時の個体の指の本数についての情報が無いため断定はできないが、リスクの一つとして考慮したい。

改めて2022年の人工授精で用いたヤマトサンショウウオの由来を調べたところ、岐阜市産ではなく、揖斐川町産であることがわかった。交雑個体の指の欠損は親からの遺伝形質ではなく、飼育環境によるものであると考えた方がよさそうだ。

③ 尾の色

各サンショウウオの尾の上面のRGB値解析において、ヤマトサンショウウオではB値に比べてRG値が高く、黄色の条線部分を数値化することができた(図6)。交雑個体はヤマトサンショウウオとセトウチサンショウウオの中間的な色相であった(図6)。ただし、今回はセトウチサンショウウオのサンプル数が少なかったため、サンプル数を増やして再検証すべきと考える。

ヤマトサンショウウオとセトウチサンショウウオは卵囊に付着している互いの性フェロモンを受容して繁殖行動を起こすため、生殖隔離が厳密ではないことが知られている[2]。また、暗条件下でのみ繁殖行動が起きるため[2]、繁殖時期の異性の識別に視覚情報は関わっていない。一般に、両生類の皮膚の色は保護色、威嚇色、婚姻色、および紫外線などからの生体防御にかかわるとされているが[8]、ヤマトサンショウウオの尾の黄色の役割についてはわかっていない。

5. おわりに

42月齢の交雑個体についてわかった特徴は、以下の4点である。

- ・全長および体重の変化で見る限り、成長が遅い、または、抑制されていると考えられた。

- ・頭胴長に対する各部の割合をヤマトサンショウウオ成体と比べると、頭幅の割合のみ大きかった。
- ・指の本数が少ない個体の割合が多かった。なお、この調査をきっかけに、岐阜市生息地のヤマトサンショウウオの指の本数が少ない個体が多いこともわかり、保全活動中の飼育環境に問題がある可能性が浮上した。
- ・尾の色は、ヤマトサンショウウオとセトウチサンショウウオの間であった。

仮に、セトウチサンショウウオがヤマトサンショウウオの生息地に侵入し交雑したとしても、生まれた交雑個体の成長速度が遅いなら、ヤマトサンショウウオ個体群は生き残れると考えられる。それよりも、保全活動中の飼育条件によるかもしれない指の本数の減少の方が、今後どのような影響をもたらすか心配である。水槽内の幼生数を少なくするなど改善を検討したい。

6.謝辞

本研究および保全活動を行うにあたり、多くの方々からご協力をいただきました。この場をお借りして感謝申し上げます。

高木雅紀氏（現大垣北高校教諭，本校自然科学部元顧問），関慎太郎氏（自然写真家），向井貴彦氏（岐阜大学地域科学部教授），楠田哲士氏（岐阜大学応用生物科学部教授），中村光希（岐阜大学地域科学部学生，本校部活動支援員），村瀬文義（元本校部活動支援員），岐阜県世界淡水魚園アクア・トトぎふの皆様，香美市立片地小学校の皆様，森と水辺の技術研究会，および国際ソロプチミスト岐阜ー長良，岐阜市環境保全課

7.参考文献

- [1] 岐阜県立岐阜高等学校 自然科学部生物班（2025）科学の芽（準備中）
守れ！ふるさとのヤマトサンショウウオ ～生息地の現状把握と気候変動リスク～
- [2] 岐阜県立岐阜高等学校 自然科学部生物班（2022）自然科学部会のあゆみ Vol.30,85-90
ヤマトサンショウウオとセトウチサンショウウオの将来的な交雑リスク
- [3] 岐阜県立岐阜高等学校 自然科学部生物班（2023）自然科学部会のあゆみ Vol.31,126-131
守れ！ふるさとのヤマトサンショウウオ ～生息地の現状把握と気候変動リスク～
- [4] WEB 両生類図鑑 https://herpetology.raindrop.jp/salamandrella_keyserlingii (20250712 閲覧)
- [5] Hisao NAMBU (1995) Folia Anat. Jpn., 72(1): 7-12 Variations in the Numbers of Phalangeal Bones in the Four-toed Salamander, *Hynobius tenuis* (Amphibia: Hynobiidae), from Two Localities in Toyama Prefecture, Central Japan
- [6] 丸山敏之(1977)爬虫両棲類学雑誌, 7(1), 10-14 トウホクサンショウウオの後肢趾にみられる変異
- [7] Masato HASUMI and Hisaaki IWASAWA (1993) ZOOLOGICAL SCIENCE 10: 1017-1027
Geographic Variation in the Pes of the Salamander *Hynobius lichenatus*: A Comparison with Tetradactyl *Hynobius hidamontanus* and Pentadactyl *Hynobius nigrescens*
- [8] 市川洋子,大谷浩己,三浦郁夫(2003) 電子顕微鏡 Vol.38,No.3 207-212 両生類の色素細胞

画像解析を用いたハコネサンショウウオ・ホムラハコネサンショウウオの幼生の種判別

岐阜県立大垣北高等学校 自然科学部サンショウウオ班

小林祐介・篠原菜々華・岩津奏祐・森田壮祐・棚橋洸介・川瀬幸貴・白木瑛翔・竹内啓太

1. 背景・概要

ハコネサンショウウオ (*Onychodactylus japonicus*) とホムラハコネサンショウウオ (*Onychodactylus pyrrhonotus*) (図 1) は、長らく同種 (ハコネサンショウウオ) とされていたが、遺伝的に異なり、生殖的隔離が成立していることがわかり、2022年にホムラハコネサンショウウオが新種として記載された¹。岐阜県には両種が生息することが記載論文にも記されており、見分けが困難な両種の幼生の種判別方法の確立を画像解析によって試みた。

2. 目的

ハコネサンショウウオとホムラハコネサンショウウオは、成体はホムラハコネサンショウウオの方が斑紋が赤く、見分けることができる。しかし、幼生は専門家でも目視で見分けることが非常に困難である。

これまでは両種の幼生の種判別を行う場合、DNA 解析が用いられてきた。しかし、DNA 解析は手順が多く、多大な費用と時間がかかる。そのため、誰もが正確にでき、より簡素化した両種の判別方法を考案したいと考えた。小型サンショウウオでは画像解析を用いた種の判別方法が開発されていない。そのため、高い精度の判別能力を持つ画像解析 AI によって両種の幼生を判別する方法を確立することを目標とした。また、これにより種の同定が容易になり、『絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律』²において「特定第二種国内希少野生動植物種」に指定されているホムラハコネサンショウウオの保護活動に貢献できると考えた。



図 1: 上がハコネサンショウウオ、
下がホムラハコネサンショウウオ (いずれも成体)

3. PCR-RFLP 法による種判別

画像解析 AI に学習させる画像を得る個体の種判別、および、画像解析での種判別の正誤を確かめるための種判別は、PCR-RFLP 法を用いて行った。PCR-RFLP 法は、DNA の配列の違いを、制限酵素で切断した際の断片の長さの違いとして検出する方法である。制限酵素は特定の塩基配列を認識して DNA を切断するため、配列の違いによって切断される場所が変わることで、断片の長さが増減し、この変化を電気泳動で確認することができる。この方法を用いて、ハコネサンショウウオとホムラハコネサンショウウオの DNA の配列のわずかな違いを検出し、種判別をすることができる。

3-1. 方法

- ① 現地調査で捕獲した個体の尾部から、生体への影響がほぼないと考えられる約 2 mm^2 の組織サンプルを採取し、99.5%エタノール中で、 -20°C で保管をした。
- ② キアゲン社の DNeasy Blood & Tissue Kit を用いて、DNA を抽出した。
- ③ プライマーは Oj_Cytb499F (5-GGWWGATTTCAGTTGATAAAGC-3) と Oj_Cytb1071R (5-GGTTGATGCAATTTGACCAA-3) (いずれも向井 (未発表)) を使用し、Cytochrome b 領域の一部の 573bp の塩基配列を増幅した。
- ④ PCR はプロメガ社の GoTaq® Green Master Mix を使用して 95°C で 2 分間の初期変性の後に 95°C で 60 秒、 55°C で 60 秒、 72°C で 120 秒のサイクルを 30 回行った。
- ⑤ PCR 産物に制限酵素 Alu I (認識配列 AGCT) を加えて、サーマルサイクラーを使用し、 37°C で 30 分間処理した。ハコネサンショウウオは Alu I で 3 箇所切断され、195bp, 191bp, 165bp, 22bp の 4 本のバンドが現れるはずである。ホムラハコネサンショウウオは Alu I で 3 箇所切断され、360bp, 127bp, 64bp, 22bp の 4 本のバンドが現れるはずである。
- ⑥ 2%アガロースゲルを用いて、100V で 25 分間電気泳動を行った。

3-2. 結果

Alu I で処理をした DNA を電気泳動した結果 (図 2), きれいに電気泳動ができていないが、ハコネサンショウウオとホムラハコネサンショウウオでは明らかに違う像が得られた。

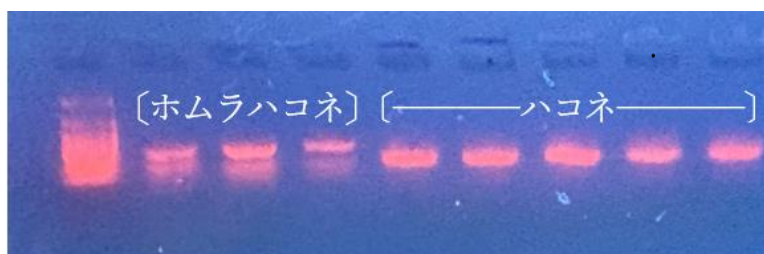


図 2: 電気泳動の結果

3-3. 考察

電気泳動の結果よりハコネサンショウウオとホムラハコネサンショウウオでバンドの数や大きさに違いが見られたため、両種の種判別は可能であるといえる (図 2)。

表 1: 画像解析結果

Epoch	Training Loss	Validation Loss	Accuracy
1	No log	0.520137	0.870968
2	0.650000	0.278305	0.935484
3	0.342600	0.186353	0.935484
4	0.179500	0.167774	0.935484
5	0.091700	0.146768	0.935484
6	0.091700	0.152377	0.935484
7	0.049200	0.107300	0.967742
8	0.028900	0.122098	0.935484
9	0.019900	0.105347	0.935484
10	0.014500	0.147654	0.935484
11	0.014500	0.079225	0.935484
12	0.010100	0.131556	0.935484
13	0.009100	0.162913	0.935484
14	0.006600	0.168041	0.935484
15	0.005900	0.078020	0.935484
16	0.005900	0.174516	0.935484
17	0.004700	0.223336	0.935484
18	0.004200	0.083945	0.935484
19	0.003900	0.140728	0.935484
20	0.003600	0.210414	0.935484

4. 検証データによる画像解析

4-1. 目的

PCR-RFLP 法では精度の高い種判別ができるが、費用と時間がかかり手順も多い。そのため、誰もが簡便かつ正確に実施できる両種の判別方法として画像解析 AI による判別を確立することを目的とした。

4-2. 方法

Google Colaboratory³ で EfficientNet-B0 モデルを用いて、画像解析を行った。EfficientNet-B0 モデルは少ないパラメータ数で高い精度を出せる⁴ という特徴があるため、学校の限られたインターネット環境において最適だと考え使用した。画像は両種の幼生を白いトレイに載せ、真上からカメラで撮影した。トレイには水を張り、画像に電灯の光が入らないようにした。撮影した写真をサンショウウオの全身が含まれるように余白を切り取り、

訓練データ, 検証データ, テストデータとして用いた。訓練データは画像解析 AI が学習に使う画像データである。検証データは学習中に画像解析 AI の汎化性能を評価するために用いる画像データである。そして, テストデータは画像解析 AI の最終的な性能を確かめるための画像データである。ハコネサンショウウオの幼生の画像を 286 枚, ホムラハコネサンショウウオの幼生の画像を 24 枚使用した。画像解析 AI が学習する画像をグループ分けした際の 1 グループあたりの画像数であるバッチサイズは 32 で, 画像解析 AI の学習のし過ぎを防ぐため, Early Stopping を使用した。画像解析 AI がどれだけの正確性を持っているか評価するものとして検証データによる Accuracy (正解率) の値を使用した。また, 表 1 の Epoch は画像解析 AI が学習データをすべて学習し終えるまでのサイクルの回数, Training Loss が訓練データにおける画像解析 AI の予測と正解とのずれ, Validation Loss が検証データにおける画像解析 AI の予測と正解とのずれをそれぞれ意味している。最後に, 前述の PCR-RFLP 法で正誤を確認した。

4-3. 結果

PCR-RFLP 法の結果と照らし合わせたところ, 画像解析の結果, 検証データによる Accuracy (正解率) は 93.5%だった (表 1)。

4-4. 考察

今回, これまで行われてこなかったサンショウウオの画像解析でハコネサンショウウオとホムラハコネサンショウウオの 2 クラス分類で, ランダムに分類した時の正解率 50%よりも高い正解率 93.5%となった。この結果の意義として, 両種の種判別において, 画像解析 AI を用いた方法が DNA 解析に比べて少ない手順で実施可能であることが示された。

5. テストデータによる画像解析

前述の画像解析では高い正解率が検証データで得られているものの, 未知のデータ (テストデータ) に対応できるモデルであるとは示されていない。そこで, 本項では, プログラムの修正により, このモデルが未知のデータにどれだけ対応できるのかを調べた。また, 新たに採集・撮影した個体 (PCR-RFLP 法により判定済) の画像を追加し, 同じモデルで画像解析を行った。

5-1. 方法

ハコネサンショウウオの幼生の画像を 200 枚, ホムラハコネサンショウウオの幼生の画像を 39 枚使用し, 訓練データ, 検証データ, テストデータとして用いた。画像数はハコネサンショウウオが多いものの, 両種の画像数比は約 5 倍であり必ずしも致命的な不均衡とはいえない⁵⁾。画像解析 AI がどれだけの正確性を持っているか評価するものとして precision (適合率), recall (再現率), f1-score (F 値) の値を使用した。クラス 0 において適合率はクラス 0 と予測したうち実際にクラス 0 だった割合であり, 再現率は実際にクラス 0 だったもののうち, 正しくクラス 0 と予測できたものを表している。F 値は適合率, 再現率の調和平均の値であり, 値が 1.0 に近いほどモデルの性能が良好であることを示す。

5-2. 結果

クラス 0 (ハコネサンショウウオ) の適合率は 0.88, 再現率は 0.68 で, F 値は 0.77 であった。一方で, クラス 1 (ホムラハコネサンショウウオ) の適合率は 0.27, 再現率は 0.57, F 値は 0.36 であった (表 2)。

表 2: テストデータによる画像解析の結果

	precision	recall	f1-score	support
0	0.88	0.68	0.77	34
1	0.27	0.57	0.36	7
accuracy			0.66	41
macro avg	0.58	0.62	0.57	41
weighted avg	0.78	0.66	0.70	41

5-3. 考察

クラス 0（ハコネサンショウウオ）の行について見てみると適合率が 0.88 と高いため、誤分類が少ない。再現率も 0.68 で、約 7 割が正しく分類できている。F 値は 0.77 で、ハコネサンショウウオに関する分類性能は高い水準にあると考えられる。

クラス 1（ホムラハコネサンショウウオ）の行について見てみると適合率が 0.27 で誤分類が多い。再現率は 0.57 で見逃しはあるが半分以上正しく分類できている。F 値は 0.36 で、ホムラハコネサンショウウオに関する分類性能は低い水準にあると考えられる。

6. 画像データの回転によるデータ拡張

画像は図 1, 図 3 のように左向きの個体のみであった。私たちは撮影の際に麻酔などの用意をした上で左向きで撮影したが、現地調査で撮影されたさまざまな向きの画像に対してモデルが対応できるよう、すべての画像を 90° ずつ回転させ 4 倍に画像数を増やした。その結果、画像数はハコネサンショウウオが 1216 枚、ホムラハコネサンショウウオが 156 枚になった。

7. トメックリンク

現在の画像解析では両種の画像数に大きな差がある。このような場合には、画像解析 AI が多数クラスに引っ張られて少数クラスをうまく扱えなくなるという欠点がある。この欠点をなくす方法として、トメックリンク⁶ という手法が知られている。トメックリンクとは画像解析においてそれぞれのクラスのデータ数が不均衡であるときに、クラスの境界にある画像（異なるクラスであるが特に似ている画像）を取り除き、クラスの境界をより明確にすることで画像解析 AI の性能の改善を試みるものである。

7-1. 方法

両種の幼生は背中模様が、斑点模様、帯状模様、当歳幼生（ほぼ無斑）の 3 つに分けられる（図 3）。当歳幼生はほとんど模様がでないため両種間での外見差が少ない。そのため、当歳幼生は、斑点模様と帯状模様に比べて見分けが困難である。班員がそれぞれ目視でハコネサンショウウオの幼生の画像 304 枚、ホムラハコ

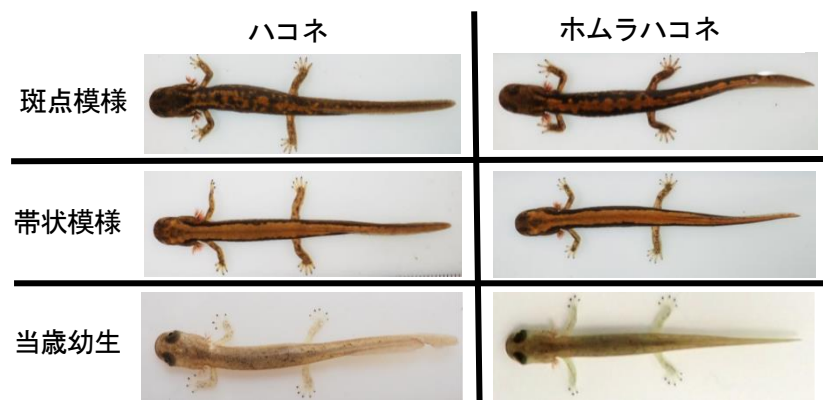


図 3: 左がハコネサンショウウオ、右がホムラハコネサンショウウオ
（上から斑点模様、帯状模様、当歳幼生）

ネサンショウウオの幼生の画像 39 枚を多数決で斑点模様, 帯状模様, 当歳幼生の 3 つに分けた(表 3)。

私たちの研究においてクラスの境界にある画像は, ハコネ・ホムラハコネ間で特に見た目が似ている当歳幼生であるため, 両種の当歳幼生を取り除いた。データ拡張をしたため, ホムラハコネサンショウウオの画像は 80 枚使用し, ハコネサンショウウオは 1036 枚から上下左右 20 枚ずつ, 同じ個体の画像が 1 枚だけになるように 80 枚抽出して使用した。訓練データ, 検証データ, テストデータの 3 つとして用いた。ハコネサンショウウオの画像数はこれまでの画像解析よりも少なくなるが, 両種の画像数の偏りがなくなる点で, 効果があると思われる。

表 3: 両種の模様別画像数

	斑点模様	帯状模様	当歳幼生	合計
ハコネ (枚)	198	61	45	304
ホムラハコネ (枚)	20	4	15	39

7-2. 結果

クラス 0 (ハコネサンショウウオ) の適合率は 0.40, 再現率は 0.33 で, F 値は 0.36 であった。一方で, クラス 1 (ホムラハコネサンショウウオ) の適合率は 0.79, 再現率は 0.83, F 値は 0.81 であった(表 4)。

表 4: トメックリンクの結果

	precision	recall	f1-score	support
0	0.40	0.33	0.36	6
1	0.79	0.83	0.81	18
accuracy			0.71	24
macro avg	0.59	0.58	0.59	24
weighted avg	0.69	0.71	0.70	24

7-3. 考察

トメックリンク実施後はハコネサンショウウオのすべての指標が 0.50 以下となり, ハコネサンショウウオを正しく分類できた割合が低下していることが分かる。それに対して, ホムラハコネサンショウウオは F 値が 0.81 となっており, トメックリンクを行う前と比べて高い数値が出ている。このことから画像数をそろえることでハコネサンショウウオに関する分類性能は低い水準となったが, ホムラハコネサンショウウオに関する分類性能は高い水準になることが分かった。

8. まとめ

今回の研究では画像を使って, Google Colaboratory 上で EfficientNet-B0 モデルによるハコネサンショウウオとホムラハコネサンショウウオの両種の幼生の画像解析を行った。検証データによる正解率は 93.5% と高くなった。テストデータを用いた画像解析ではハコネサンショウウオに関する分類性能は高いが, ホムラハコネサンショウウオに関する分類性能は低い傾向にある。トメックリンクによって画像数をそろえた場合ではホムラハコネサンショウウオに関する分類性能は高いが, ハコネサンショウウオに関する分類性能は低くなってしまった。

9. 今後の展望

画像解析の精度を高め、安定させることができれば、どちらの種が生息しているのかわからない場所でハコネサンショウウオとホムラハコネサンショウウオのどちらが生息しているのか、また両種とも生息しているのかをより正しく予想することができる。

参考文献から画像の枚数を増やすとモデルの精度は対数的に上昇するということがわかっている⁷。そのため、これからも両種の調査を続けて画像の枚数を増やしていきたい。さらに、画像データの拡大・縮小、ノイズの追加といったさらなるデータ拡張も行っていきたい。

今回の画像解析では、画像解析 AI がどこに注目して判断しているのかが可視化されていない。そこで、今の画像解析に画像解析 AI の判断根拠がわかるプログラムを入れたいと考えている。その例として Grad-CAM という手法がある。この手法を活用することで、これまで明確にされていなかった両種の見た目の違いが明らかになる可能性がある。また、画像解析 AI の精度向上にもつながると考えている。

これらを踏まえて最終的に実用化可能な画像解析の確立を目標としている。

10. 謝辞・参考文献

株式会社日立製作所 研究開発グループの北村拓斗さんには、Google Colaboratory の操作をはじめ、細部にわたりご指導を賜った。岐阜大学地域科学部 向井貴彦教授にはハコネサンショウウオ、ホムラハコネサンショウウオの遺伝子解析や画像の提供についてお世話になった。その他、多くの方々にご協力いただいた。厚く御礼申し上げる。

以下に本稿における登場順に参考文献を掲載した。

1. Natsuhiko YOSHIKAWA, Masafumi MATSUI. 2022. A New Salamander of the Genus *Onychodactylus* from Central Honshu, Japan (Amphibia, Caudata, Hynobiidae). *Current Herpetology* 41 (1) :82-100.
2. <https://laws.e-gov.go.jp/law/404AC0000000075>
3. Google. Colab (Colaboratory). Retrieved from <https://colab.research.google.com/>
4. Tan, M., & Le, Q. V. (2019). EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning* (Vol. 97, pp. 6105-6114). PMLR.
5. Google Developers. Datasets: Class-imbalanced datasets. *Machine Learning Crash Course*. Retrieved from <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/overfitting/imbalanced-datasets?hl=ja>
6. Tomek, I. (1976). Two modifications of CNN. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 6, 769-772.
7. Sun, C.; Shrivastava, A.; Singh, S.; Gupta, A. 2017. Revisiting Unreasonable Effectiveness of Data in Deep Learning Era. In *Proceedings of ICCV 2017*, pp. 843-852. PDF: https://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2017/papers/Sun_Revisiting_Unreasonable_Effectiveness_ICCV_2017_paper.pdf

岐阜のオオサンショウウオを守る！
～交雑個体捕獲活動の成果・国産個体のサンクチュアリ創出～
国産個体と交雑個体の食性の違い～

岐阜県立大垣北高校自然科学部オオサンショウウオ班
安藤芽唯・高橋志帆・小林那奈美・佐藤剛暁・吉田みのり・伊藤那緒・
河合七香・藤井飛燕・田中隆太郎・栗井佑果・安藤有未・志田和樹

1. はじめに

岐阜県には世界最大級の両生類であり、国の特別天然記念物に指定されているオオサンショウウオ(*Andrias japonicus*)が生息している(図1)。私たちは2023年8月に下呂市菅田川で調査を行ったところ、岐阜県初となるチュウゴクオオサンショウウオ(*Andrias davidianus*)との交雑個体を発見した。そこで、昨年私たちは、捕獲調査とDNA解析による交雑の進行状況の把握、将来の世代の交雑割合のシミュレーション、国産個体と交雑個体の身体的特徴の比較を行った。DNA解析の結果、2024年までの集計で成体の42.4%、幼生の77.1%が交雑個体であることが分かった。



図1：上は国産個体、下は交雑個体

また、私たちが取り組んだ次代の幼生の交雑割合のシミュレーションの結果より、交雑オスが繁殖巣穴を独占して国産オスが繁殖に参加できない状態にあることが分かっている。頭胴長や体重、肥満度において、交雑個体は国産個体よりも大型で栄養状態がよいことも明らかにした。さらに、交雑個体の嘔吐物からヘビ類が同時に2種見つかった観察記録から、交雑個体と国産個体では食性が異なっていることが予測された。そこで今回私たちは、交雑個体が国産個体よりも大型で栄養状態がよくなる要因を解明するために、胃の内容物の調査と国産個体と交雑個体の安定同位体比を比較することにより、両者の食性の違いを明らかにしたいと考えた。交雑個体捕獲活動の成果と国産個体を保全するための「サンクチュアリ」の創出の活動についても合わせて報告する。

2. 交雑個体捕獲活動の成果

2-1 目的・方法

私たちは、岐阜県で交雑個体を初めて発見した2023年8月から菅田川で、国産個体を守るために交雑個体の捕獲を継続して行い、合計で54匹の交雑個体の成体を捕獲した。菅田川から交雑個体を継続的に取り除いてきたことにより、交雑個体と国産個体の割合がどのように変化しているのかを把握したいと考えた。2023年の繁殖シーズンに生まれた幼生が大部分を占めると考えられる2023年12月から2024年11月までに捕獲された幼生と、2024年の繁殖シーズンに生まれた幼生が大部分を占めると考えられる2024年12月から2025年10月現在までに捕獲された幼生の交雑割合を調べた。また同期間に捕獲された成体についても交雑割合を調べ、菅田川でオオサンショウウオの捕獲活動の結果、成体と幼生の交雑個体と国産個体の割合が経年的にどのように変化しているのかについて調べた。

2-2 結果

菅田川で捕獲した成体130個体、幼生173個体のデータを使用し交雑割合を比較した。2023年12月から2024年11月までと2024年12月から2025年10月までの交雑割合は成体で35.5%から27.0%に、幼生で79.5%から52.6%に変化した(図2)。特に幼生の交雑割合で大きな減少が見られた。

2-3 考察

幼生の交雑割合が大きく減少したのは、私たちが多くの交雑個体の成体を捕獲してきたためであると考えられる。繁殖巣穴を独占していた大型の交雑オスの捕獲が進み、国産オスが繁殖に参加できる環境が戻ってきている成果である。また、交雑メスも捕獲しているため、幼生の交雑割合はそれらの両面から減少した。しかし、私たちが捕獲活動を開始する前に生まれた小型の交雑個体は見つかりにくい。そのため、交雑個体をすべて捕獲することは困難であると考えられる。しかし、国産個体を守るためには、捕獲活動を継続しなければならないと考えている。

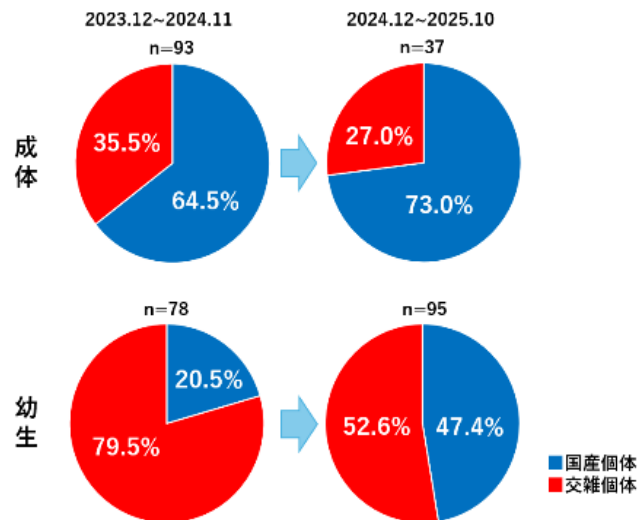


図2：交雑割合の変化

3. サンクチュアリの創出

3-1 目的・方法

菅田川ですべての交雑個体を取り除くのはかなり困難であることは、「2. 交雑個体捕獲活動の成果」から明らかである。そのため、国産個体だけが生息するサンクチュアリの創出を目指している。昨年度はオオサンショウウオが登ることができない高さの堰堤(図3)を見つけて、その上流部をサンクチュアリの候補地としたが、今回はそれらの候補地がサンクチュアリとして適しているかについて調査を行った。また、交雑個体が侵入できず、国産個体だけが生息している場所の捜索についても実施した。サンクチュアリの創出方法として、「交雑個体が侵入できない、国産個体だけが生息する場所を発見する」プランAと「交雑個体が侵入できない場所に国産個体だけを移動させる」プランBの2つについて検討した。サンクチュアリにはオオサンショウウオが登れない既存の堰堤を利用する。プランAでは室洞川堰堤の上流部を、プランBでは菅田川本流堰堤3と前山川堰堤7の上流部を候補地とした(図4)。これらの3地点では、地域の方への聞き取り調査により、過去にオオサンショウウオの生息が確認されている。プランBではそれぞれの候補地の堰堤の上流部と下流部で、交雑個体の生息の有無と餌の量を調査した。交雑個体の生息については、現地調査と環境DNA^{2,3}調査、餌の量については現地調査を行った。環境DNA調査は、調査地で環境水を採水し、ガラスフィルターでろ過し、ガラスフィルターから環境DNAを抽出する手順で実施した。その抽出液からリアルタイムPCRで環境DNAを検出する⁴。餌の量については、候補地の河川の20mの範囲を10分間、3名の調査者で、



図3：オオサンショウウオが登れない高さの堰堤(前山川堰堤7)

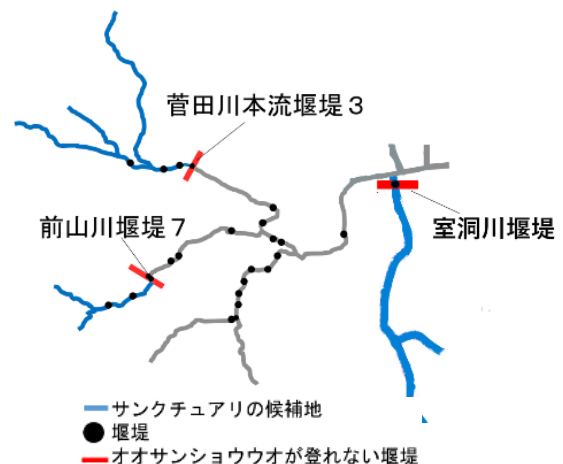


図4：サンクチュアリの候補地

タモ網を使って生息している餌動物の種と量を調査した。

3-2 交雑個体の生息の有無の調査の結果

プラン A の候補地である室洞川堰堤の上流部で 5 回の夜間の現地調査を行った結果、現時点では国産個体のみが生息していることが確認できた。プラン B の候補地である前山川堰堤 7 と菅田川本流堰堤 3 の上流部で 10 回の現地調査を実施した結果、堰堤の下流部ではオオサンショウウオが発見されたが、上流部では発見されなかった。環境 DNA 調査を行った結果、堰堤の下流部からはオオサンショウウオの環境 DNA が検出されたが、上流部からは検出されなかった(表 1)。

表 1：サンクチュアリ候補地でのオオサンショウウオの生息についての調査結果

		視認(約 10 回)	環境 DNA 調査
前山川	上流部	×	×
	下流部	○	○
菅田川	上流部	×	×
	下流部	○	○

○：オオサンショウウオの生息が確認された
×：オオサンショウウオの生息が確認されなかった

3-3 餌の量の調査の結果

堰堤の上流部は川が細くなるため、餌となる生物の量は下流部よりも少なかったが、河川の面積当たりの餌の量には大きな差がなかった(表 2)。

表 2：サンクチュアリ候補地での餌の量についての調査結果

		両生類(匹)	魚類(匹)	甲殻類(匹)	昆虫類(匹)	総重量(g)	面積当たりの餌の重量(g/m ²)
前山川	上流部	1	4	1	2	32.0	0.80
	下流部	2	5	1	0	78.0	0.68
菅田川	上流部	0	3	1	2	59.0	0.74
	下流部	5	2	1	1	86.8	1.09

3-4 考察

プラン A では、室洞川堰堤の上流部に交雑個体が現時点では見つかっていないが、本当に交雑個体が生息していないかどうかを更に現地調査にて確認していくとともに、餌動物の量や国産個体の繁殖の状況などを確認していく必要がある。プラン B では、交雑個体が生息していないことを確かにするため、今後も現地調査と環境 DNA 調査を実施していく。また、上流部でオオサンショウウオが生息することが可能であるかについて、エサの量以外にも隠れ家の有無など、オオサンショウウオの生息に適した環境であるかどうかの調査も必要であると考えている。プラン B については、専門家や下呂市や岐阜県、文化庁の担当者と協議をしながら慎重に検討していきたい。

4. 食性の調査①(胃の内容物の調査)

4-1 目的・方法

私たちの昨年の研究より、交雑個体は国産個体よりも大型で栄養状態がよいことが分かっている。国産個体と交雑個体との身体的特徴の差が食性の違いによるものであると仮説を立て、食性を明らかにするため胃の内容物の調査を行った。国産個体は強制嘔吐、交雑個体は強制嘔吐、または解剖により調査を行った。強制嘔吐は捕獲したオオサンショウウオの口にチューブを差し込み、胃まで達したらポンプで水を強制的に流し込む。胃が水でいっぱいになったら、腹部を押し、嘔吐させる。胃の内容物はエタノールで保存する。なお、この調査は文化庁の許可を取って実施している。

4-2 結果

ヒガシニホントカゲ⁵やヒバカリ、ヤマカガシ⁶といった爬虫類が確認できたのは交雑個体からだけであった(図5・表3)。さらに、13匹のアユと5匹のアジメドジョウを捕食していた交雑個体があった(図6・表3)。

- アユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)
- ヒバカリ(*Hebius vibakari*)
- ヤマカガシ(*Rhabdophis tigrinus*)
- ニホントカゲ(*Plestiodon japonicus*)



図5：交雑個体の胃の内容物



図6：交雑個体の胃の内容物

捕獲時に嘔吐したものも含めると
アユ13匹、アジメドジョウ5匹(写真の下部)、
サワガニが捕食されていた。

表3：胃の内容物の調査の結果

	両生類 (匹)	魚類 (匹)	甲殻類 (匹)	昆虫類 (匹)	爬虫類 (匹)	多足類 (匹)
国産個体 (6匹)	21	3	21	4	0	1
交雑個体 (6匹)	2	22	12	1	3	0

4-3 考察

今回の調査では、交雑個体のみが爬虫類を捕食しており、昼行性と考えられるヒガシニホントカゲやヤマカガシも交雑個体のみが捕食していた。また、魚類については、アユは交雑個体のみが捕食していた。現在データを収集中であるが、交雑個体の方が水の流れが急なところで待ち伏せをして、アユなどの大型の遊泳魚を多く捕食している可能性がある。国産個体が捕食していない爬虫類を捕食していたこと、1匹の交雑個体が水産資源として価値の高いアユ13匹とアジメドジョウを5匹捕食していたことから、交雑個体は、地域の生態系や水産業に大きな打撃を与えていることが明らかになった。

5. 食性の調査②(安定同位体比の比較)

5-1 目的・方法

私たちの昨年の研究より、交雑個体は国産個体よりも大型で栄養状態がよいことが分かっているが、その

原因を私たちは両者の食性の違いにあると考えている。実際、今回の研究の「4. 食性の調査①(胃の内容物の調査)」からも食性の違いは明らかであるが、さらに、長期的な食性の違いを解明したいと考えた。そこで、国産個体と交雑個体の組織中の安定同位体比の比較を行いたいと考えた。生物の安定同位体比は、その生物の餌の安定同位体比を反映する。一般に栄養段階が1つ上がるごとに窒素の安定同位体比は約3.4‰上昇することが知られている。一方、炭素の安定同位体比は、栄養段階が上昇してもほとんど変わらないが、一次生産者の炭素固定過程に応じて違いが生じる。河川では、付着藻類で炭素の安定同位体比が高くなる傾向にある^{7, 8, 9}。菅田川で国産個体と交雑個体を捕獲し、尾部切片を採取する。それをボトルに入れて-20℃で冷凍保管する。その後、60℃で48時間以上乾燥させ、微粉末に粉碎し、スズカップに入れて秤量する。窒素と炭素の安定同位体分析は、Delta V Advantage 質量分析計(Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany)にConflo IV インターフェース(Thermo Fisher Scientific)を介して、Flash EA 1112 元素分析装置(Thermo Fisher Scientific)と接続して行う。10 試料ごとに安定同位体比既知のアラニン粉末を分析し、安定同位体比の補正と分析精度の算出を行う(分析誤差: <0.2‰)。なお、分析には多額の機器が多数必要であるため、龍谷大学の丸山敦教授の研究室を訪れて、分析の方法や機器について説明をしていただき、実際の分析は丸山敦教授に行っていただいた。このようにして求めた国産個体と交雑個体の窒素の安定同位体比と炭素の安定同位体比を比較した。口が大きい捕食者は口が小さい捕食者よりも多様な餌動物を捕食することができるため、同種間においても安定同位体比に違いが生じることが知られている。今回の安定同位体比分析の結果が口の大きさの違いによるものである可能性を考慮し、安定同位体比と口の大きさを比較したいと考えた。しかし、オオサンショウウオの口の大きさや頭幅は計測していないので、頭胴長が大きい個体は口も大きくなると考えられるため、安定同位体比と頭胴長を比較した。

5-2 結果

交雑個体と国産個体で炭素の安定同位体比には t 検定による有意差は見られなかった($p=0.138$)が、窒素の安定同位体比に有意差は見られた($p=0.027$) (図 7)。窒素の安定同位体比は国産個体よりも交雑個体の方が高く、交雑個体の平均値と国産個体の平均値とを比較すると、一般的に栄養段階が1段階上がるときの差である3.4‰の1/3ほどの差がみられた(図 7)。窒素の安定同位体比と頭胴長の関係については、頭胴長に関係なく交雑個体の窒素の安定同位体比が有意に大きかった(図 8)。

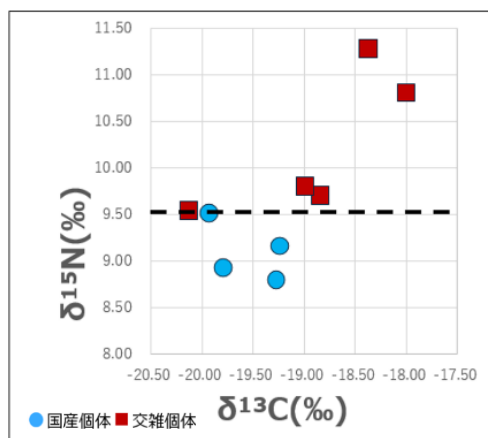


図 7：窒素の安定同位体比と炭素の安定同位体比の比較

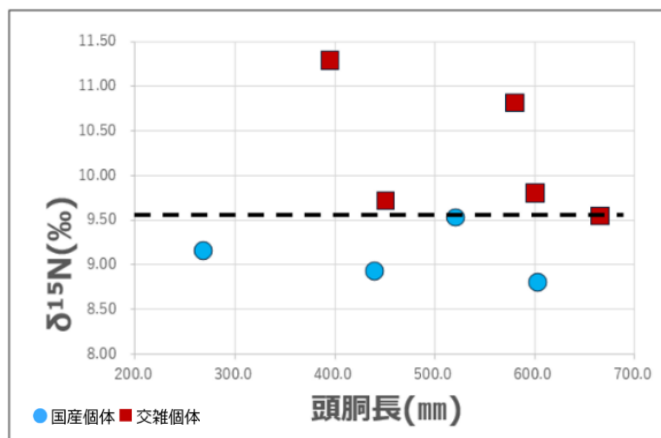


図 8：窒素の安定同位体比と頭胴長の比較

5-3 考察

交雑個体が国産個体よりも窒素の安定同位体比の値が大きい傾向を示す要因として、交雑個体が国産個体とは異なる生物を捕食している可能性が考えられる。胃の内容物を調査した際にも、交雑個体からのみ爬虫類が見つかった。また、窒素の安定同位体比と頭胴長の比較から、国産個体と交雑個体の食性の違いは口の大きさの違いから生じたものではないことが明らかになった。交雑個体は長期的に国産個体と異なるものを捕食し、地域の生態系や水産業に大きな影響を与えていることが判明した。生物の安定同位体比は

生息環境によって変化する。今後はオオサンショウウオの餌となる菅田川の生物の安定同位体比も調査し、その結果と国産個体と交雑個体の安定同位体比の違いから、両者の食性の違いをさらに詳細に解明していきたい。

6. まとめ

現地調査の結果から、菅田川の幼生の交雑個体の割合が著しく低下したことが確認できたため、国産個体の保全のために捕獲を続けていきたい。国産個体のサンクチュアリについては、プランAで示したように、交雑個体が侵入できない国産個体の生息地をもっと多く発見したい。プランBでは、交雑個体が侵入できていないことの確認だけではなく、候補地が餌の量や生息環境において、国産個体の生息地として適しているかを確かめた上で、サンクチュアリの創出の実現に漕ぎつけないと考えている。国産個体と交雑個体の食性の調査から、国産個体と交雑個体の食性には差があり、それは口の大きさの違いによるものではないことが分かった。交雑個体は国産個体と異なる餌動物を捕食することで地域の生態系に大きな打撃を与えていることが分かった。加えて、交雑個体が大量のアユやアジメドジョウなどを捕食していることが確認できたことから、交雑個体は菅田川の水産業に甚大な被害を及ぼしていることも明らかになった。こうした事実をオオサンショウウオの保全活動に従事している人々だけでなく、地域の方々、漁業関係者をはじめ多くの方々に知っていただき、協力しながら国産個体の保全活動を強く推し進めていきたい。

7. 謝辞・参考文献

本研究を行うにあたり、広島大学オオサンショウウオ保全対策プロジェクト研究センターの清水則雄所長様、広島大学両生類研究センターの三浦郁夫教授、岐阜大学地域科学部向井貴彦教授をはじめとする皆様には、DNA解析について、多大なご協力を頂いた。龍谷大学先端理工学部丸山敦教授には、安定同位体比の解析について多大なご協力を頂いた。オオサンショウウオの現地調査については、菅田川流域の住民の皆様、岐阜県と下呂市の担当部署、飛騨川漁業協同組合の皆様など、多くの方々に快く情報提供を頂いた。厚く御礼申し上げます。以下に、本稿における参考文献を掲載する。

1. 田口勇輝, 夏原由博, 2009, オオサンショウウオが遡上可能な堰の条件, 保全生態学研究, 14(2009)2:165-172
2. Sou, Fukumoto&Atushi, Ushimaru&Toshifumi, Minamoto, 2015, Journal of Applied Ecology .52, 358-365. British Ecological Society.
3. 一般社団法人環境DNA学会, 2020, 環境DNA調査・実験マニュアルVer2. 2, 12-76.
4. 株式会社ゴーフォトン, <https://pcr.gofoton.co.jp/index.html>
5. 土金慧子, 大澤啓志, 2008, 小規模な都市緑地におけるトカゲ類の生息に関する研究, 環境情報科学論文集 Vol. 22 (第22回環境情報科学学術研究論文発表会).
6. 鮫島正道, 中村正二, 中村麻理子, 2014, 鹿児島島の陸生ヘビ類の分布と生態, Nature of Kagoshima Vol. 40, 247-256.
7. 松崎慎一郎, 2010, 第9章 食物網構造・栄養段階の評価法 2010. 保全生態学の技法:調査・研究・実践マニュアル, 鷲谷いづみ, 宮下直, 西廣淳, 角谷拓編, 東京, 東京大出版, p203-216.
8. 土居秀幸, 兵藤不二夫, 石川尚人, 2016, 安定同位体比を用いた餌資源・植毛網調査法, 共立出版
9. 丸山敦, 2003, 同位体で生態学, 龍谷大学理工ジャーナル 15 32-38

郡上市のオオサンショウウオの生息分布 ～大和町小間見川の生息数が激減～

◇研究の概要

1. 目的

本校科学部の活動の大きな目標は、「**郡上に生息するオオサンショウウオの保護**」である。
この保護活動の要点は以下のように考えている。

<保護活動の要点>

- 郡上市内のどの河川のどこに、どれくらい生息しているかの調査
- どのような行動しているかの移動の調査
- どこで産卵しているかの繁殖時の調査
- 産卵前後に、どのような行動をするかの解明。
- 産卵から幼生を経て成体になるまでの一連の過程の解明
- 郡上の固有種を守るための遺伝子解析

今年度は、これまでに収集したデータや「郡上高校生物部誌”ハザコ” 2005年」を参考に郡上市内のオオサンショウウオの生息分布の状況についてまとめてみた。その中で浮かび上がってきたのが生息指定河川である「小間見川の生息個体数の激減」である。

大和町小間見川は、1951年（昭和26年）にオオサンショウウオの生息地として天然記念物の指定を受けている。本格的な生息調査は1995年から2010年頃まで郡上高校生物部が行ってきた。郡上北高校がこの河川の調査を再開したのが2018年で、その間、8年ほどの空白期間がある。

この間に何が起こったのか？この生息数の激減の原因や今後の保護活動の取り組みのあり方について考察を試みた。

2 調査期間

2018年6月～2025年8月31日

3 調査区域

郡上市内一級河川 長良川・小間見川・鬼谷川・和良川ほか

4 調査内容

(1) 現況調査 個体識別を中心にした調査を実施する。

ア 調査時期 6月下旬～8月下旬、2～3日連続した期間に調査を実施する。

イ 調査項目

○個体データの収集

○生息環境について

○幼生等の生息状況調査

(2) 繁殖行動の調査

ア 調査時期 8月下旬～9月中旬に調査を実施する。

イ 同時に、個体の生息分布の状況を知るための観察調査も実施する。

(3) 施設の利用調査

ア 堰堤・魚道等の既存の施設の効果を調査する。3～5年の長期的調査が必要である。

イ (1)の現況調査結果（オオサンショウウオの個体識別）を分析して行う。

(4) 人工巢穴の利用状況

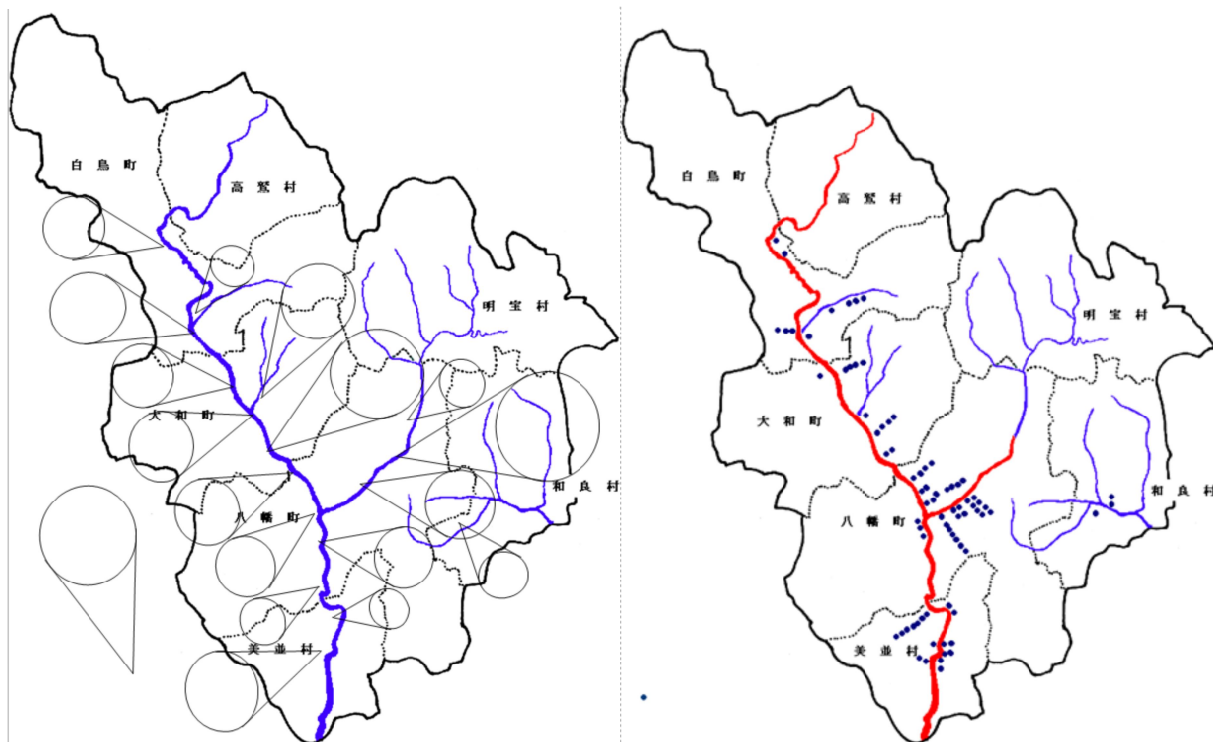
ア 郡上市白鳥町大島ハザコ川（3基）、郡上市白鳥町向小駄良長良川（1基）に設置した人工巢穴の調査

(5) 遺伝子解析 岐阜大学と連携して実施

◇オオサンショウウオの郡上市内の生息分布

1. 郡上市内のオオサンショウウオの生息分布

1992年（平成4年）、1993年（平成5年）に行われたアンケート調査に基づく生息分布を示す。（参考文献「郡上高校生物部誌”ハザコ”2005年」）



2. 郡上市大和町小間見川のオオサンショウウオの生息分布①

1995（平成7年）～2006年（平成18年）に行われた個体調査に基づく生息分布示す（次ページ）。

河川図上の表記は以下のようである。

C 7 I O 1

↓ 小間見川の大間見川との合流点から、発見順に付した番号
↓ 調査番号 I：第1回 II：第2回 …
↓ 調査年度、元号表記
↓ 調査河川が小間見川であること記号

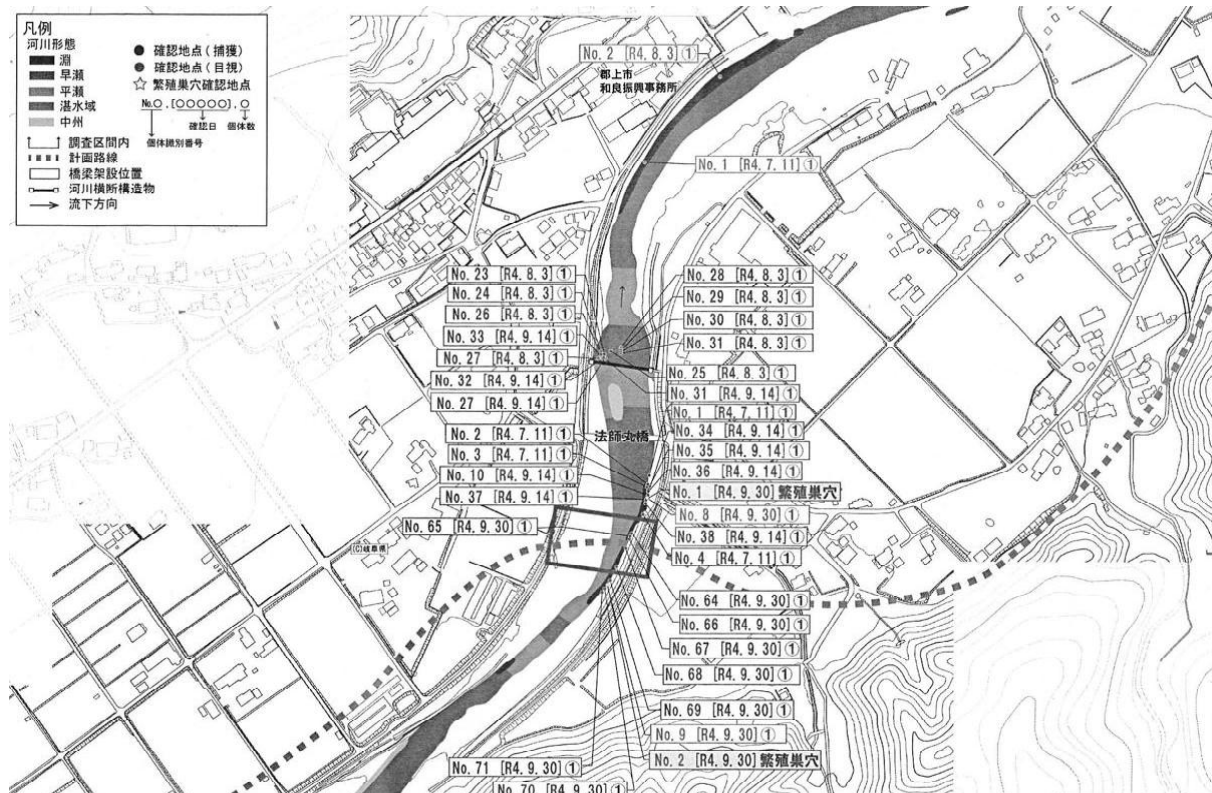
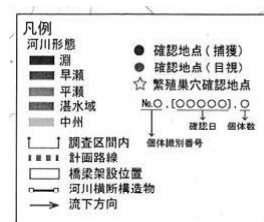
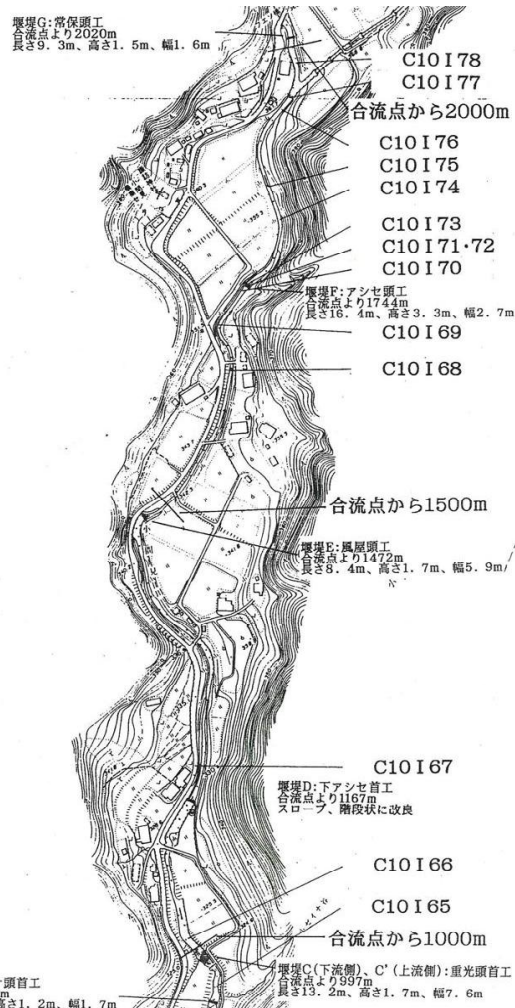
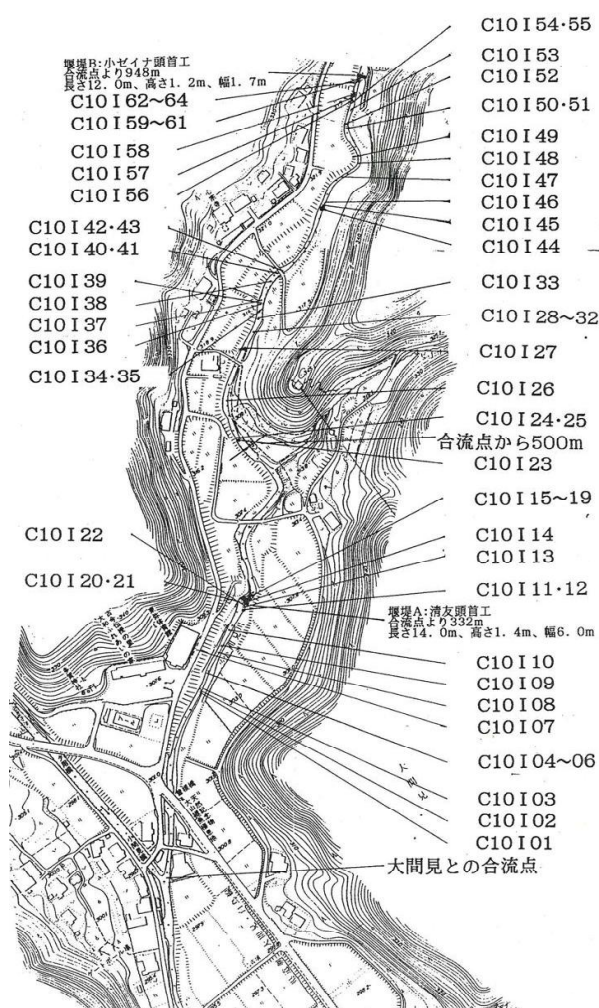
3. 郡上市和良町和良川・鬼谷川のオオサンショウウオの生息分布

2020年に行われた個体調査に基づく生息分布を示す（次ページ）。

河川図上の表記は以下のようである。

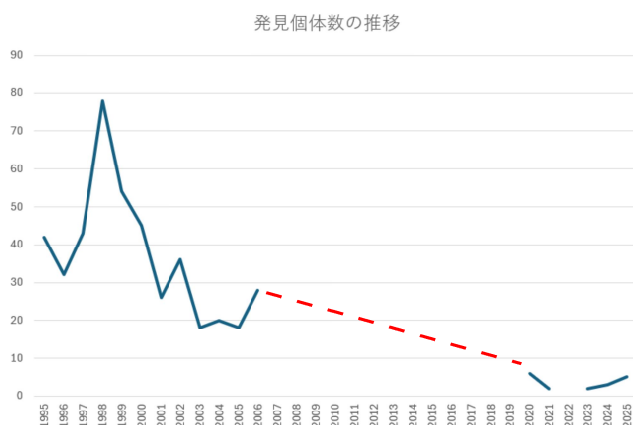
No. 1 [R9. 29]

↓ 調査日時、元号表記
↓ 個体番号



◇結果と考察

1. 大和町小間見川の生息確認個体数の推移



各年の発見個体数は、複数回の調査が行われた場合は最大数を用いた。

発見個体数のグラフを見れば、小間見川の生息数が激減していることは一目瞭然である。

2006年以前の調査時においては、箱めがね等で石の下や草陰を覗けば、個体が容易に発見できていた。多い場合には、一つの石の下に複数匹の個体が発見されることも珍しくはなかった。

ところが、最近5年ほどの調査では、丁寧に探索はするのだが、個体の発見機会には恵まれていない。石の下などで生息が確認できたとしても、捕獲できる個体数が複数匹であることはまれとなっている。

2. 小間見川の生息数激減の原因

この激減の原因として考えるられることを以下に列挙してみた。

- ① 護岸工事など河川改修の影響
- ② 豪雨災害による生息巣穴・繁殖巣穴の喪失、個体の流失
- ③ 餌となる小魚が減少している。
- ④ 餌となる小魚が小型である。
- ⑤ 水質が悪化している。
- ⑥ 平時の水量が減少している。
- ⑦ 水温の上昇

これらについて次のように考察してみた。

●①について

1996年以降、数年にわたり比較的規模大きい河川改修工事が行われた。このとき、同時に堰堤に魚道の設置、スロープ状への改良が行われ、オオサンショウウオの移動が容易になるなど好ましい工事が行われている。さらに、2000年以降は、豪雨災害後の災害復旧など小規模な河川工事が行われている。こうした、河川工事の影響がじわじわと1998年以降に現れているような傾向がグラフからは読み取れる。

●②について

郡上市では、過去に複数回の豪雨災害が発生しており、特に以下の事例が大きな被害をもたらした。

- ・2004年10月豪雨
- ・2018年7月豪雨（西日本豪雨）

この災害は郡上市にとって近年最大級の豪雨災害だった。

長良川鉄道の運休、国道156号や東海北陸道の通行止め。

和良川の護岸が流出

八幡町・美並町で浸水被害が顕著。

高鷲町・白鳥町北部で土砂災害が多発。

和良町の介護施設付近の護岸流出。

こうした豪雨の影響で、生息や繁殖のための巣穴が損壊した可能性が高い。小間見川の明確な繁殖巣穴は確認されておらず、気づかないところで進んでいるのかもしれない。

また、繁殖巣穴から出た幼生の一時的な隠れ場所となるのは、一般的に川底に堆積している落ち葉である。こうした落ち葉の堆積がほとんど見られない河川状況となっている。2021年に2匹の幼生が確認された。全長から推定すると3～4歳程度の個体であった。この幼生発見以降、さらに生息数が減少しているとグラフから読み取れる。

●③④について

これらについては、具体的な調査にはしていないのでデータがなく、明確なことは言えない。ただし、調査時に体感したことであり、大きなずれはないものと考えているが、餌となる小魚が少なければ、流下して行くことは自然の流れである。

●⑤⑥⑦について

この点についても、調査時に肌で感じたことであり具体的なデータはない。しかしながら、昨今の温暖化、猛暑により川の水温が上昇してきていることはうかがい知れる。

オオサンショウウオは水の循環する場所を好み、時には滝に打たれるような行動をする。さらに、真夏でも水温が25℃を超えない場所を好むとされる。

そのため、段差のあるところで水が流れ落ちる石の下で発見されることが多かった。こうした場所は今でも小間見川にあるが、そのような場所を探索しても見つからないことが多くなった。このことと水温が関係しているのではないかと考えられる。

原因は一つとは限らず、これら複数の要因が重なっているものと思われる。

3. 今後の課題～生息数回復に向けてどう取り組むか～

生息数の激減のという事実は、郡上市に生息するととても大切な野生生物の問題としてとらえ、郡上市教育委員会社会教育課とも連携、慎重な協議を重ねた上で、早急に対策を講じるべきと考える。

次にかなり大胆な方策であり、超えなければならないハードルが多いと思われるが、以下のよう①→②→③の手順で、回復の試みに着手してはどうだろうか。

① 喪失した生息巣穴や繁殖巣穴の回復～人工巣穴等の設置～

② 餌となる小魚の放流

③ 大間見川に生息している個体の移設

①②はオオサンショウウオの生息環境の整備である。①は費用がかかることであり、容易には実現できないが、生息巣穴、繁殖巣穴の提供となることは広島など河川で成功例があり、有効な生息環境の整備であると考え。②は漁業権等の問題があり、漁業組合との協議が必要であろう。そもそも、そうした小魚をどこから調達するかという問題もある。

③は、相当に慎重に進めなければならない。小間見川は大間見川の支流であるので当然のことながら往来は頻繁に行われているはずである。固有種として遺伝学的には問題がないといえる。

◇第4回遺伝子解析

2024年12月22、23日の2日間、個体調査により得られたサンプル8個体について遺伝子解析を実施した。今回も、岐阜大学の協力を得て、科学部員14名が解析を行った。

1 分析結果

(1) 増幅産物の確認

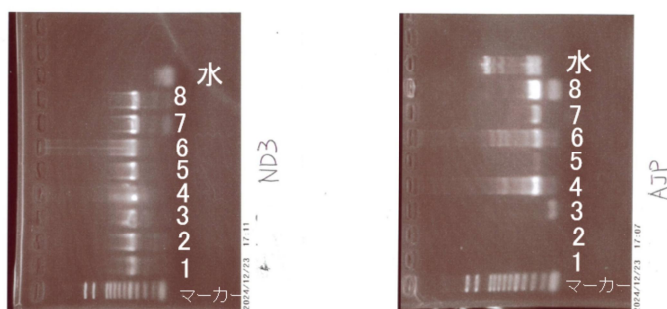
・結果

ND3については、サンプル番号1～8についてPCRで十分な増幅が得られた。AJP08については、サンプル番号1～3はPCRで十分な増幅は得られなかった（次ページ電気泳動の結果）。

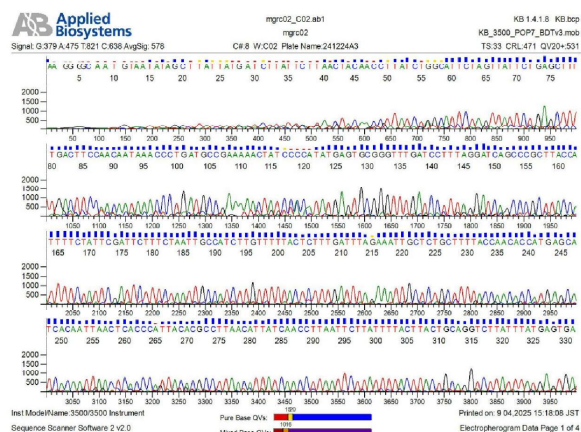
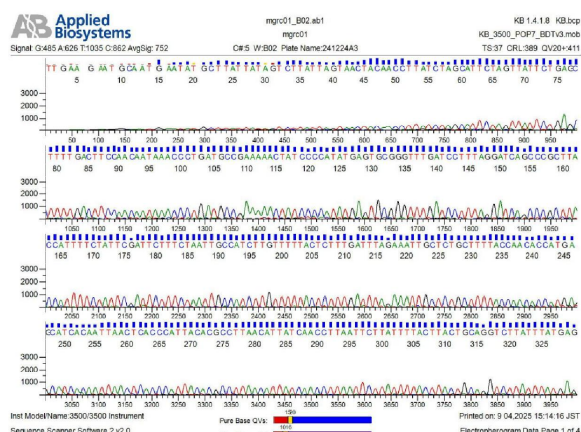
・解析したDNA

DNA 解析番号	通番 号	採取日	個体番号	内容物種 類	場所
1	48		51739214500058444	体液	大島はざこ川
2	49		723小さい個体のため打てず	体液	大島やな
3	50		731392145000561316	体液	和良川
4	50		731392145000561316	血液	和良川
5	53		82039245000540943	体液	小間見川
6	53		82039245000540943	血液	小間見川
7	52		820392145000521034	体液	小間見川
8	51		820000647cfc3	体液	小間見川

・電気泳動の結果



(2) ND3 遺伝子のシーケンス結果 (抜粋)



3 結果と考察

十分な増幅が得られた個体番号48、49、50の AJP08 遺伝子、すべての個体番号の ND3 遺伝子について、シーケンサーにて塩基配列の決定を行った。

今回の遺伝子解析においても、前3回と同様にハイブリッド種はいなかった。

4 まとめと今後の課題

過去3回のDNA解析で、和良川、長良川に生息している個体には、幸いにもハイブリット種ではなく、日本固有のDNAを持つ種であることが確認できた。しかし、まだ解析体数は少なく、全ての個体が日本固有種であると断定するには至っていない。今後もサンプル数を増やして、データを蓄積していきたい。

長良川には多くの支流があること、郡上市内には水系が異なる(木曽川水系)が和良地域が含まれており、これらの河川についても、同様にDNA解析を実施できるように、サンプルを採取していく必要性を感じる。

なお、ND3 遺伝子はミトコンドリア DNA 上の遺伝子なので、少なくとも調査個体の母親(及びその先祖の母親系列)は日本固有種といえる。父親がハイブリッド種またはチュウゴクオオサンショウウオであると、この解析には引っかからない。その意味においても、もっと多くの Sample を解析していくことが必要である。

加茂農林高校で繁殖したツバメ類について

岐阜県立加茂農林高等学校自然科学部 野鳥班
小村匠人 山田将基 澤田章貴 和中宏樹 村瀬栞椰
上村伊涼 桝井逸来 小縣一摩 佐藤颯音

1 はじめに

加茂農林の自然科学部では、14年前から宮浦池を中心とした学校内で野鳥調査を行っており、これまで延べ55種の野鳥を確認することができた。その中でも識別・観察が容易で、巣が見つけやすいツバメ類に継続的な観察調査を行うことで、校内で繁殖するツバメ類の繁殖状況を把握し、繁殖の成功と失敗の原因を解明することを目的とした研究を行った。

[加茂農林高校で繁殖するツバメ類の解説]

ツバメ 体長17cm 巣の形はおわん型 夏鳥



(図1) ツバメ

街中や公園、農地など人のいる所に生息し、空中を飛ぶ昆虫類をエサにしている。加茂農林高校では、4月中旬ごろから飛来し、毎年体育館周辺で巣をかけて繁殖している。(図1)

コシアカツバメ 体長18cm 巣の形は徳利型 夏鳥



(図2) コシアカツバメ

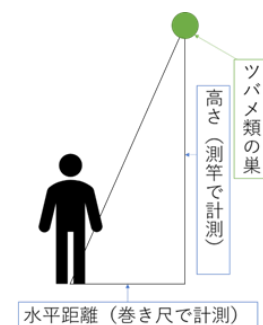
市街地や農耕地に生息。主に昆虫類を食べる。加茂農林高校では、平成25年に1つがいが飛来・繁殖して以降は毎年1つがいが飛来して繁殖している。ツバメより1ヶ月ほど遅い5月下旬から見られる。(図2)

2 調査方法

今回の研究では、校内に飛来するツバメ類の巣の位置を特定し、毎日巣の状況を観察して日誌に記録した。調査においては5分以上継続して観察しないことに留意して、ツバメ類の繁殖行動を阻害しないように配慮した。

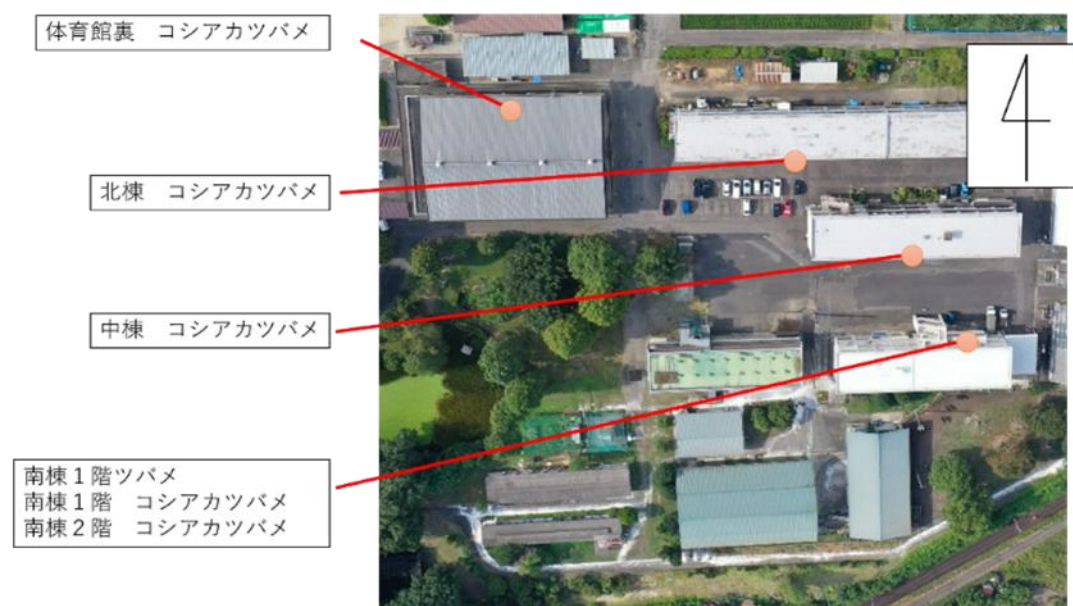
また、巣から人の通り道までの距離、人通りの多さを測り、その巣にはどれだけ通行人の影響が出ているかを推定し、営巣成功の理由を考察した。

巣から人の通り道までの距離については観察位置から巣までの距離として、巻き尺と測竿を用いて水平距離、高さを測定し、計算で求めた。(図3)



(図3) 巣からの距離

人通りの多さについてはMicrosoft Formsを用いた全校生徒および教職員を対象としたアンケート調査により、平日の10月3日（金）と週末の10月4日（土）にその地点を通った回数を尋ねた。そして、0回を0点、1回を1点、2回を2点、3回以上を3点として割合をかけて計算して点数化し、最も通行量の多い地点を考察した。校内地図と営巣が見られた場所は図4のとおりである。



（図4）校内地図と営巣場所

3 結果

【ツバメ類の繁殖行動について】

校内で造巣が確認できたのは、ツバメとコシアカツバメの2種類であった。

ツバメは1つがい1つの巣を作り、コシアカツバメは2つがい（コシアカAとコシアカBとする）、8つの巣を作った。コシアカAとコシアカBのつがいは飛来した時期と、雌雄の大きさの差、巣の場所の違い、警戒心の違いから十分に識別することができた。今回繁殖行動を確認したツバメは大別して体育館裏で繁殖したものと南棟で繁殖したもの、北棟で繁殖したもの、中棟で繁殖したものに分けられる。（図4）中棟と南棟2階で繁殖したものについては、巣の跡が残っていなかったことから巣が何らかの理由で破損したと考えられるが、原因は不明である。

それぞれの繁殖場所についてまとめると、体育館では、コシアカツバメ（コシアカB）が1つの巣を作り、2羽の雛が巣立った。このコシアカBのつがいは、観察のために近くを通っても逃げることがなかったのが印象的であった。なおコシアカツバメが校内で巣立ちに成功したのは、令和3年度以来4年ぶりの事例であった。（図5）

南棟では、ツバメが1つ、コシアカツバメ（コシアカA）が3つの巣を作ったが、全ての巣において巣立ちに失敗した。南棟2階の巣以外では失敗した巣にスズメが侵入して巣を乗っ取られたことを確認した。（図6）北棟では、コシアカツバメが2つの巣を作り、全ての巣においてスズメが侵入して巣を乗っ取られて繁殖に失敗したことを確認した。

(表1) 令和7年度ツバメの繁殖状況記録

名称	ツバメ 南棟1階	コシアカA 南棟1階	コシアカA 南棟2階	コシアカB 北棟3階	コシアカB 中棟1階	コシアカB 体育館裏
造巢期間	5/12~6/14	1回目: 5/3~5/12 2回目: 5/13~5/30 3回目: 7/18~7/29	6/17~6/25	1回目: 5/13~5/16 2回目: 6/17~6/18	6/9~6/16	7/16~7/18
抱卵期間						7/22~8/14
育雛期間						8/14~9/5
雛の数						3羽
巣立ち数						2羽
結果	スズメ侵入で失敗	3回ともスズメ侵入で失敗	巣が破損して失敗 原因は不明	2回ともスズメ侵入で失敗	巣が破損して失敗 原因は不明	8/14雛1羽落下死 9/5雛2羽巣立ち成功

(図5) 体育館下の巣で雛に給餌する親鳥
2025年7月23日撮影



(図6) 南棟1階の巣スズメを追い払う親鳥
2025年7月23日撮影



(図7) 中棟1階で造巢中の親鳥
2025年6月9日撮影



(図8) 北棟3階にて造巢中の親鳥
2025年6月17日撮影



【巣から人の通り道までの距離】

体育館裏の巣の観察位置はいつも一定だったため、水平距離については体育館裏のものを基準とした。

（表 2）巣の距離

	水平距離	高さ	巣から人の通り道までの距離
体育館裏	2.20m	3.23m	3.91m
南棟	2.20m	4.17m	4.71m
北棟	2.20m	7.05m	7.39m

体育館裏： 3.91 m 南棟：4.71 m 北棟：7.39 mであった。体育館裏の巣から人の通り道までの距離が最も短いという結果になった。（表 2）

【人通りの多さについての調査】

（表 3）平日：10月3日（金）の調査結果 n=114

		0 回	1 回	2 回	3 回以上	点数
南棟	体育館裏	46%	26%	25%	13%	115
	フラワーアレンジメント室前	64%	25%	14%	7%	74
	北棟生徒玄関前	60%	19%	11%	21%	93

（表 4）週末：10月4日（土）の調査結果 n=114

		0 回	1 回	2 回	3 回以上	点数
南棟	体育館裏	76%	6%	6%	7%	39
	フラワーアレンジメント室前	91%	2%	3%	0%	8
	北棟生徒玄関前	89%	1%	1%	5%	18

アンケート調査の結果、平日・休日の2日間ともに体育館裏が最も点数が高く、休日においては、他の場所よりも2倍以上人通りが多いことが分かった。このことから体育館裏が最も人通りが多いと考えられる。（表 3、表 4）

4 考察

南棟2階と中棟のコシアカツバメの2つの巣を除き、繁殖が失敗した巣では、コシアカツバメの親鳥がスズメを追い払う行動や、スズメが複数以上で巣の近くで待ち伏せていた様子が確認できたこと、スズメが侵入した際に詰めた草と、スズメの出入りを確認したことから、今年のスズメ類の繁殖失敗の最大の原因はスズメの妨害であると考えられる。

また、私達が観察していた時に、スズメがコシアカツバメの巣に近づかなかったこと。繁殖に成功した体育館裏は人の通り道までの距離が3.91 mと一番近く、人通り量も最も多かったため、スズメが人を警戒して近づきにくかったことが、体育館裏での繁殖成功の大きな要因であると考えられる。

また、行動観察から繁殖に成功したコシアカBのつがいは、繁殖に失敗したコシアカAのつがいに比べると、スズメを追い払う際に隙を作らないように雌雄が良く連携していたこと、人が接近しても逃げずに巣を守っていたという点も異なっていたため、これらの2つの要因も繁殖成功に関係したと考えられる。

5 課題と今後の展望

今年是人通りの調査を繁殖行動終了後に行ったが、今後は繁殖期間中にカメラを用いた人通りの調査を行うことでより正確なデータを集め、かつツバメ類やスズメの様子も細かく確認するとともに、個体による警戒心の差についても、繁殖期間中にデータを取る方法を模索していきたい。

また、全国的にツバメとスズメが減少傾向にあるのは、巣材の泥や枯れ草を付着させるのに適した木造や古いコンクリートの建物が減少していることが原因の1つで、これによって両種の営巣場所をめぐる争いが激化していると言われているので、専門家の指導を受けながらツバメ用の巣箱を製作して設置することで、繁殖状況の変化を調査するなど、野鳥保護活動へも貢献していきたい。

6 参考文献

- 1 小海途銀次郎 決定版日本の野鳥 巣と卵図鑑
- 2 加茂農林高等学校自然科学部 令和元年度研究論文 加茂農林高校と新池で繁殖した鳥類について

マロニエの蛍光物質について



岐阜県立羽島高等学校科学部

田内 倅汰 他 17 名

1. はじめに

マロニエ（セイヨウトチノキ）^{*1}は紫外線照射下で青白い蛍光を発する。この蛍光物質がどの程度光るのか、それはなぜ必要なのかに興味があった。マロニエは、岐阜県立可児工業高校敷地内の校舎南側にあることが分かっていたため、学校へ依頼し、研究の試料として用いることとした。



図 1-1 マロニエ

^{*1} マロニエ（セイヨウトチノキ）（図 1-1）は、ヨーロッパ原産のムクロジ科トチノキ属の落葉高木で、耐寒性があり、成長すると 30 メートルを超える高さまで達する。樹冠はドーム状で、枝は灰褐色で、葉は掌状複葉で、5～7 枚の小葉からなり、初夏に白い花を咲かせ、大きな円錐花序を形成する。秋には栗のような見た目の果実をつける。マロニエエキ스는、肌の炎症を抑え、血行を促進する効果があるため、化粧品に配合されることもある。在来の特チノキとは近縁種である。

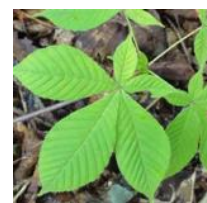


図 1-2 トチノキ

2. 研究目的

紫外線を当てると青白く光る^{*2}ことが特徴である。このマロニエの特徴に興味をもち、研究に取り組むことにした。マロニエにはエスクリンといわれる蛍光物質が含まれている。

本実験ではこの蛍光物質に含まれる成分が樹木のどの部分に多く含まれているのか、蛍光物質の蛍光継続時間がどれくらいあるのか、また、この蛍光物質の性質を知り自然界で何のために含まれているかを探ることを目的とした。

^{*2} 紫外線下における蛍光発光のしくみは、蛍光物質が紫外線の高エネルギーの光を吸収し、分子内の電子が基底状態（安定な状態）から励起状態（高エネルギー状態）へと移行することにより、可視光として発光する。

3. 準備

マロニエ（枝、葉、芽、果実）、蒸留水、シャーレ、ビーカー（20ml）
菅びん（30ml）、ピンセット、ハサミ、カッター、紫外線装置
0.1%塩酸、0.1%水酸化ナトリウム、万能 pH 試験紙



図 2 紫外線装置

4. 研究内容

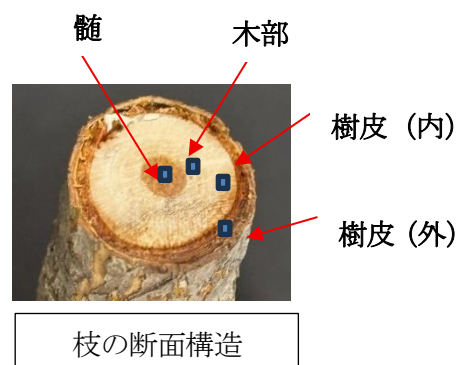
- (1) 蛍光物質がどの部分に多く含まれるのかを確認する。
- (2) 蛍光物質は枝から葉脈のどの部分まで含まれ、どの程度発光をし続けるのかを確認する。
- (3) 熱による影響を確認する。
- (4) pHによる影響を確認する。
- (5) 今年度採取した枝と5年前採取して保管した枝を比較する。
- (6) 長期間放置された樹皮は紫外線下で発光するかを確認する。
- (7) マロニエ（セイヨウトチノキ）が身近な場所にはないかを調査する。

5. 実験方法

- (1)-1 蛍光物質が枝のどの部分に多く含まれるのかを検証する。

成長した枝の樹皮（外）、樹皮（内）、木部、髄、(図3)をそれぞれ同じ大きさに切り取り、5mlの蒸留水を入れた菅びんへ入れ、どの程度の蛍光物質が出るのか、紫外線装置で確認する。
また、枝の断面を切り取り、水をかけて確認する。

注意事項： 切り取る際はカッターやはさみに
蛍光物質が付着している可能性があるため、
よく水で洗いふき取って使用する。



- (1)-2 芽（図4）を切断し、20mlの蒸留水を入れたビーカーに入れ、芽の周辺と枝を対照に比較し、蛍光物質が出るか、紫外線装置で確認する。



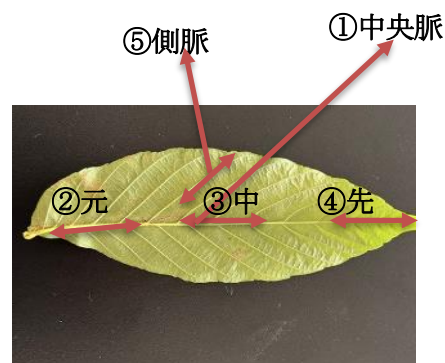
図4 芽



図5 種子と果皮

- (1)-3 果皮と内部の種子（図5）
を分け、さらに種子を半分
に切断し、それぞれを蒸留水に入れ、蛍光物質が出るのか、紫外線装置で確認する。

- (2) 枝から葉脈のどの部分まで含まれているかを確認。
葉柄、①中央脈（②元、③中、④先）、⑤側脈（図6）
をそれぞれ1cm、2本ずつ切り取り、5mlの蒸留水
を入れたビーカーへ入れ、紫外線装置にて観察する。
また、この蛍光物質が何日後まで紫外線装置のもと発
色するか確認する。



- (3) 蛍光物質が熱により発色しなくなるかを確認するため、
枝の断片を使用する。煮沸したものと、未処理のものを
比較し、経過観察する。

- (4) 蛍光物質が pH による影響を受けるかを確認するため、0.1%塩酸、0.1%水酸化ナトリウム、水を 2ml ずつビーカーへ入れ、万能 pH 試験紙で pH も確認し、発光の様子を比較する。
- (5) 5 年前より乾燥した状態で保管していたマロニエの枝と今年度切ったばかりの枝を同様に削り取り、蛍光物質が出るのか、紫外線装置で比較確認をする。
- (6) 剥がれ落ちた樹皮として外に放置されたものも蛍光物質が出るのか、紫外線装置で確認する。
- (7) 岐阜県内の他の場所にも、マロニエが植樹されているかを岐阜県土木事務所、岐阜国道事務局、岐阜県庁都市公園課などに問い合わせ確認する。

6. 研究結果

- (1)-1 成長した枝には蛍光物質が含まれており、枝の断面においては樹皮の内側に多く含まれていることが分かった (図 7、表 1)。

成長した枝 樹皮 (外)	成長した枝 樹皮 (内)	成長した枝 木部	成長した枝 髄
+	++	+	+

表 1 - : ほとんど含まず + : 少し含む ++ : 多く含む

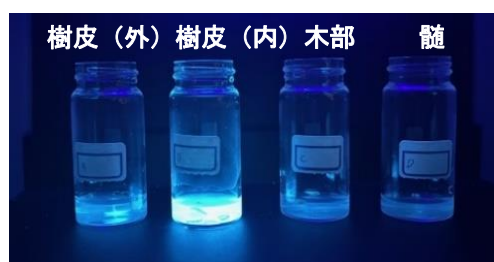


図 7 枝の部位における違い

- (1)-2 芽の確認 (1)-1 で使用した枝芽の周辺と比較したところ、芽からも芽周辺や枝と同様に蛍光物質が多く流出していた (図 8)。

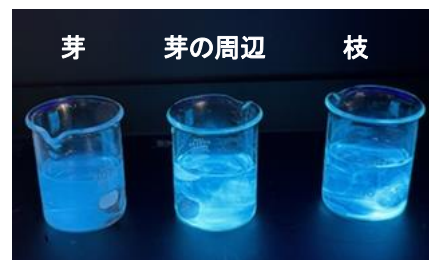


図 8 芽からの流出する発光物質

- (1)-3 果実の確認

果皮の内側は多く蛍光物質がみられたが、内部の種子は発光しなかった。

種子の内部は水分が浸透しないため発光しないかと考え、半分に切り、水につけて数日間置いたが発光しなかった (図 9)。



図 9 果実における発光物質の確認

- (2) 葉柄、及び中央脈（中）まで多く蛍光物質が含まれていたが、中央脈（先）では少量しか含まれておらず、側脈ではほとんど確認できなかった。（表 2）

また、1 日後には、中央脈（先）は紫外線装置のもとで蛍光物質の発色はかなり薄くなっていった。他の部分も日を追うごとに薄くなっていった（図 10）。

※ 下記の写真は左から順に葉柄、中央脈（元）、中央脈（中）、中央脈（先）、側脈）



図 10-1 葉柄から側脈（初日）



図 10-2 葉柄から側脈（1 日後）

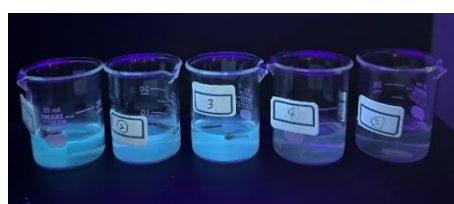


図 10-3 葉柄から側脈（2 日後）



図 10-4 葉柄から側脈（5 日後）

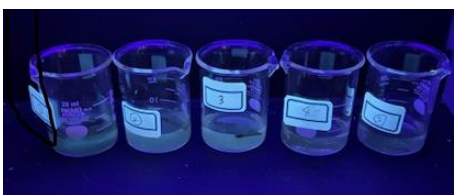


図 10-5 葉柄から側脈（6 日後）

	葉柄	中央脈（元）	中央脈（中）	中央脈（先）	側脈
初日	++	++	++	+	—
1 日後	++	++	++	—	—
2 日後	++	++	++	—	—
5 日後	++	++	++	—	—
6 日後	+	+	+	—	—

表 2 —：ほとんど含まず +：少し含む ++：多く含む

- (3) 煮沸処理したものも、未処理のものも紫外線装置のもとで蛍光物質の発色にほとんど差は見られなかった（図 11）。

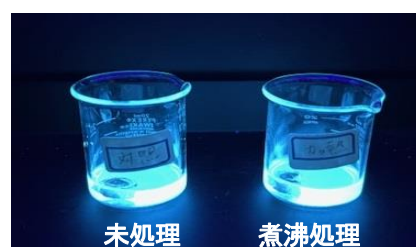


図 11 熱による影響

- (4) 紫外線下での蛍光物質は水酸化ナトリウム、塩酸と比べ、蒸留水の方が明るく見えた（図 12）。

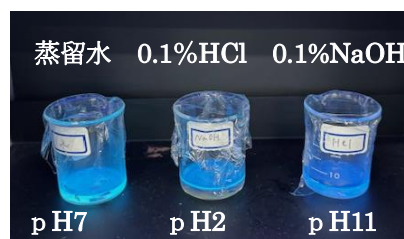


図 12 酸、塩基による影響

- (5) 5年前のマロニエの枝 R2.8 採取
今年度のマロニエの枝 R7.8 採取
乾燥したまま保管していたマロニエの樹皮と木部は切ったばかりの樹皮とほとんど差はなく発光した（図 13）。両方とも、発光の継続時間は3週間以上あった。



図 13 今年度（左）と5年前（右）の比較

- (6) 長時間外に放置された樹皮は発光するかシャーレに入れ比較した。



図 14-1 枯れた切り株

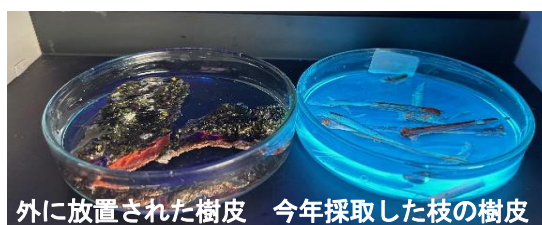


図 14-2 外に放置された樹皮と今年採取した枝の樹皮比

長時間放置された朽ちた木からは蛍光物質は見られなかった（図 14）。

- (7) マロニエは輸入されてきたため、一般の山には見られず、植樹された場所や街路樹としては存在するが、岐阜県内では、杉原千畝記念館公園内とぎふワールド・ローズガーデン内に各1本を確認できた。また、可児市の花木センター内で販売していたのは近縁種のベニバナトチノキであった（図 15）。



図 15-1
ぎふワールド・ローズ
ガーデンのマロニエ



図 15-2
杉原千畝記念館
のマロニエ



図 15-3 可児花木センターベニバナトチノキ

杉原千畝記念館のマロニエは採取することができなかった。ぎふワールド・ローズガーデンのマロニエは蛍光物質が多くみられた。また、可児市の花木センター内で販売されていた近縁種のベニバナトチノキでも蛍光物質の量は多くないが、わずかに発光が見られた。

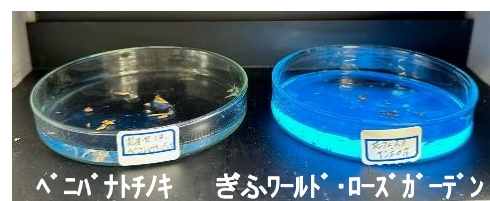


図 15-4 各植物の紫外線下での比較

7. 考察

- (1) 樹皮（内）は代謝活動が活発な領域であり、この樹皮（内）には師管や柔組織が存在し、栄養分の輸送や貯蔵が行われている。蛍光物質であるエスクリンは、こうした代謝活性の高い部位に蓄積されやすいと考えられる。また、樹皮（外）は主に保護機能を担っており、代謝活動が低いため、蛍光物質の含有量も少ないと考えられる。また、芽も代謝活動が盛んなため、蛍光物質が含まれていたと考えられる。果実について、果皮と種子において差がみられたが、代謝が盛んである種子で蛍光物質がみられなかったことには疑問が残り、継続確認したい。
- (2) 葉柄や中央脈（中）までは、輸送や支持の役割を担う主要な組織であり、枝の次に代謝活動が比較的活発である。エスクリンなどの蛍光物質は、こうした部位にも蓄積したと考えられる。一方、中央脈（先）や側脈は、細胞密度が低く、代謝活性も低いため、蛍光物質の蓄積が少ないと考えられる。

また、紫外線照射後、時間の経過とともに蛍光物質が分解または変性することで、蛍光の強度が低下していくと考えられる。
- (3) 熱処理によっても分解や構造変化が起こらず、蛍光性を保持していると考えられる。
- (4) 0/1%NaOH（強塩基）や0.1%HCl（強酸）では、蛍光物質の構造が変化し、蛍光性がやや低下した可能性がある。
- (5) 蛍光物質は乾燥し、数年たった枝でも植物体内において保持されていることが分かった。
- (6) 放置された樹皮は長時間、風雨にさらされ、蛍光物質が流出し発光しなくなったと考えられる。
- (7) 今回の調査では県内で2か所のみの確認であったが、今後も情報収集をしていきたい。

8. おわりに

本年度の研究内容については結果的には先行研究という形となったが、実験をしていく中で、マロニエの特性を確認していくことができた。また、多くの課題を見つけることができた。

次年度に向け、一つ目の課題として、蛍光物質の発光について、本年度は目視でしか確認することができなかったため、分光蛍光光度計などを用いて定量的な結果が得られるようにしたい。

二つ目の課題はこの蛍光物質の性質は、自然界で何のために含まれているかについての確認である。

また、本年度、蛍光物質とミツバチの誘因との関連性についても実験を試みた。実験を行うため、日本ミツバチの養蜂を行っている方へ実験の協力を依頼し、巣箱の前で砂糖水を用いてミツバチの誘因性について確認を行ったが、対照区にも全く寄りつかなかったため、次年度は実験の実施時期とエサの種類を変えて再度挑戦していきたい。

参考文献

山科植物図鑑 https://yamashina-botanical.com/botanical/__trashed/
四季の山野草 https://www.ootk.net/cgi/shikihtml/shiki_2016.htm
厚生労働省eJIM <https://www.ejim.mhlw.go.jp/pro/overseas/c04/31.html>

謝辞

岐阜県土木事務所、岐阜県国道事務局、岐阜県庁都市公園課、岐阜県立可児工業高校、ぎふワールド・ローズガーデン、可児花木センター、杉原千畝記念館の各職員様、並びにミツバチの誘因性の実験にご協力いただいた市川様には、さまざまな情報をご提供いただきました。この場をかりて厚くお礼申し上げます。



ハクセキレイの巣作りにおける親鳥の行動

岐阜県大垣北高等学校 自然科学部 ハクセキレイ班
中村日南 松本奈々 阿部百花 馬場美優 谷口颯太

1 はじめに

私たちはハクセキレイ (*Motacilla alba lugens*) (図1)の親鳥が巣作りを行う中でとる行動を詳細に明らかにすることを目標とし、観察を行った。本研究を行う前の2020年から2023年に本校渡り廊下のH鋼内にハクセキレイが営巣した。2021年から監視カメラを設置し、ハクセキレイの子育てにおける行動を観察したが、巣作りの様子を撮影することはできなかった。2024年にも同様にハクセキレイが営巣し、巣作りの段階から撮影できたため、巣作りにおける親鳥の行動について観察することにした。しかし、その後の親鳥の育児放棄により、ヒナが巣立つまでの親鳥の子育ての行動について観察できなかった。そのため、本研究では親鳥が産卵するまでの期間を巣作りとし、親鳥の行動の解析を行った。また、ハクセキレイの巣がどのような素材でできているかについても調べることにした。残念ながら、今回の親鳥が作った巣は、回収されてしまい入手できなかったが、毎年のようにハクセキレイが営巣しているため、私たちの手元には、2021年から2023年に使われたものが各年1つずつある。その巣がどのような素材でできているかを調べた。また、今回の研究から得られた巣作りに関する情報をもとに、自分たちでもハクセキレイの巣を作成した。



【図1 ハクセキレイ】

ハクセキレイは、全長21cmのスズメ目セキレイ科の鳥である。留鳥または漂鳥として北海道から九州の、平地から産地の海岸、河口、河川、農耕地、都市部の公園、人家周辺、山間部の集落などに生息している。大きさはスズメより大きい。オスの夏羽は額から頬が白色で、頭頂から体上面は黒色。メスの夏羽は背が灰色がかり、額の白色部は雄より狭く、嘴と足は黒い。

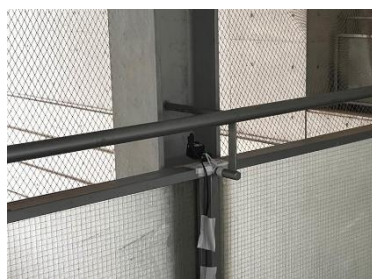
2 ハクセキレイの巣作りの解析

2-1 研究方法

2023年と同様に24時間撮影できる赤外線監視カメラ（以下監視カメラとよぶ）を設置した。撮影したデータを用い、親鳥が運んできた巣材の種類や巣の形成の様子などを注意深く観察した。そして、親鳥の詳細な行動の解析を試みた。ハクセキレイは雌雄で形態に大きな差がない。本研究で観察したつがいの模様は非常に似ており、雌雄を判別するのが不可能であった。そのため、つがいの雌雄判別を解析対象から外して研究を行った。



【図2 営巣した渡り廊下】



【図3 設置した監視カメラの位置】



【図4 設置した監視カメラ】

親鳥が巣を訪れた時刻と去った時刻を記録した。その記録から滞在時間、不在時刻を表計算ソフトで算出した。親鳥が巣を訪問した時に持ち込んだ巣材を2つに分けて記録し、集計した。2つの巣材はそれぞれ、「木の枝、枯草、落ち葉」、「動物の毛」である。また、巣材を持ち込んだ後に翼を広げる行動をとった。翼をすべて広げるしぐさを「翼A」(図5)、翼を半分畳んだしぐさを「翼B」(図6)とした。訪問回

数、滞在時間、行動の記録のデータから2羽の親鳥の行動を解析した。解析期間は監視カメラを設置した6月5日17時14分51秒から、6月9日の午前4時42分43秒までとした。今回は合計で4個の卵を産んだが、最初の卵を産んだタイミングを巣の完成とみなし、最初の産卵ののち親鳥が巣を離れた時刻までを解析の対象とした。

巣材に関しては、2021年から2023年までの本校に作られたハクセキレイの巣を分解したのちに解析した。巣の形状はおわん型で外側と内側に分けることができたため(図7)、内側、外側でそれぞれ別に計測した。巣材を木の枝、5cm以上の草、5cm未満の草、毛、微小(ふるいの網目の大きさである2mm以下とする)に分類し、木の枝、5cm以上の草、5cm未満の草は本数と質量を計数し、毛、微小は、小さく計数が不可能であったため質量のみを計測した。結果に使うデータは巣材の質量のみとした。



【図5 翼Aの様子】



【図6 翼Bの様子】



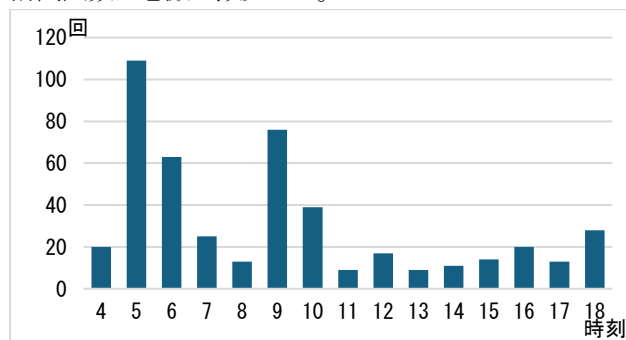
【図7 外側と内側で分けた巣】

2-2 結果

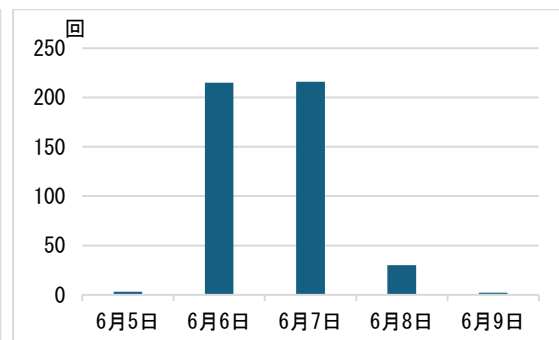
2-2-1 訪問回数

親鳥は合計で466回巣に訪問していた。時刻ごとの訪問回数のグラフ(図8)を見ると、親鳥は比較的午前中に多く訪問したことが分かる。午前中の訪問回数の合計は371回で、これは全訪問回数の83%にあたる。特に5時から6時の間に頻繁に訪問していた。また、3時以前と19時以降の親鳥の訪問は見られなかった。解析した時期は日の出が4時37分~4時38分、日の入りが19時5分~19時7分であったため、暗い時間には巣には近寄っていなかったことが分かる。

日ごとの訪問回数のグラフ(図9)を見ると、6月6日と6月7日に多く訪問していた。6月8日になると訪問回数は急激に減少した。

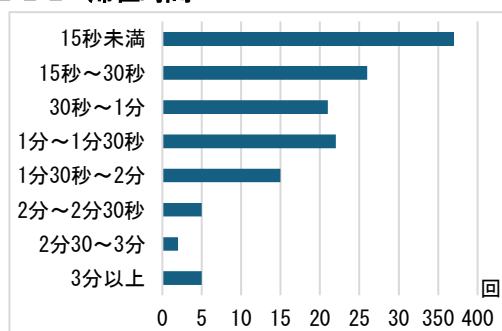


【図8 時刻ごとの訪問回数】

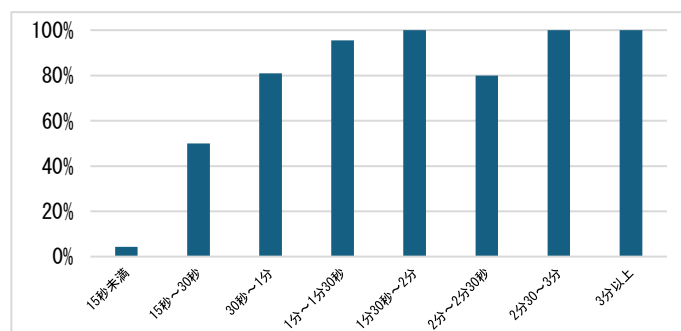


【図9 日ごとの訪問回数】

2-2-2 滞在時間



【図10 全期間の滞在時間】



【図11 羽を広げる行動の回数の割合】

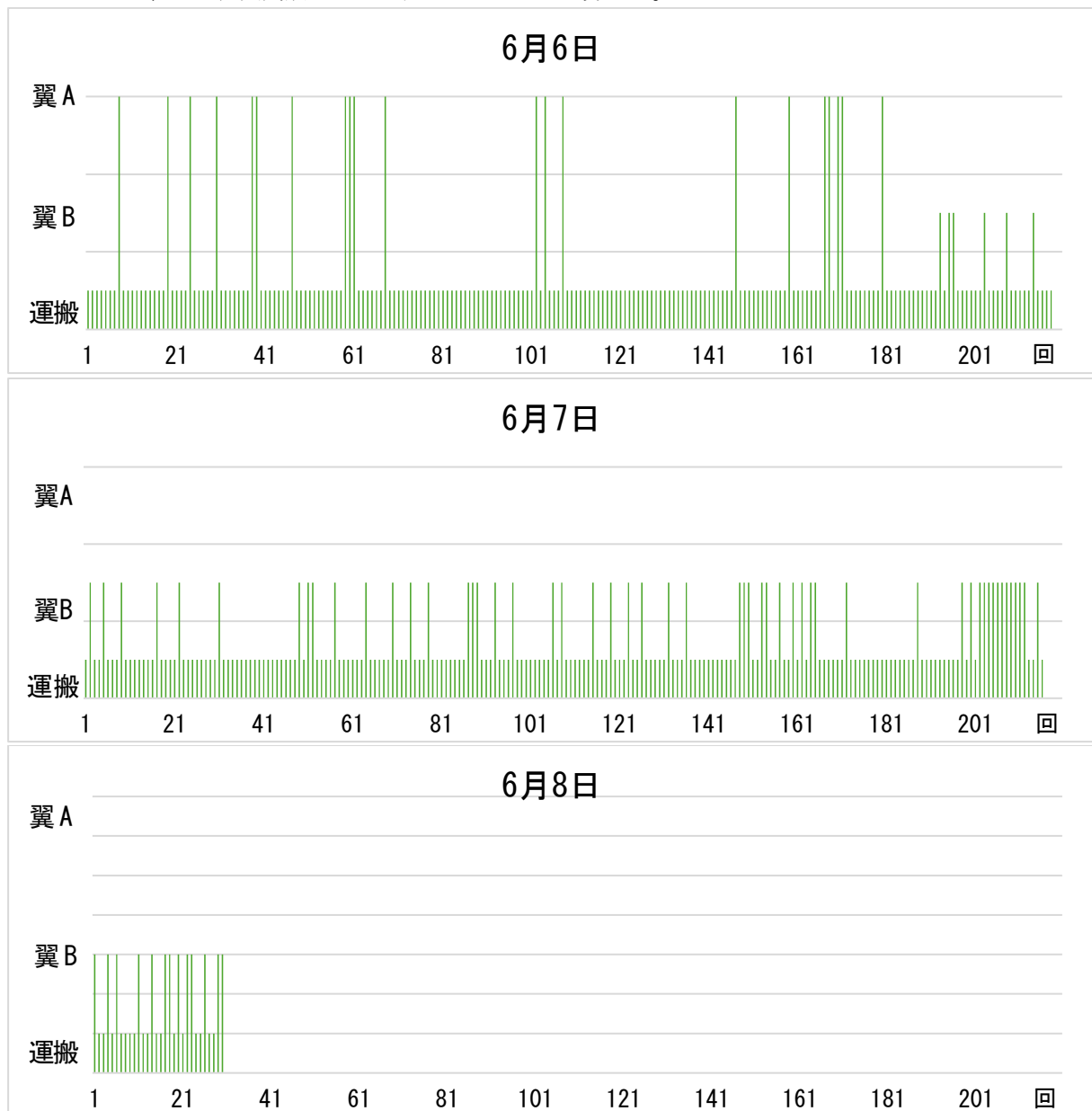
親鳥の滞在時間のうち、ほとんどが 15 秒未満だった。466 回の訪問のうち 370 回が 15 秒未満の滞在だった。親鳥は短い時間で巣材を運び込み、すぐに巣材を探しに巣を出たことが分かった。2 分以上の滞在はまれで合計で 12 回だった。15 秒以上の滞在の際に親鳥が巣の中で翼を広げる行動がよく見られた。

2-2-3 親鳥の行動

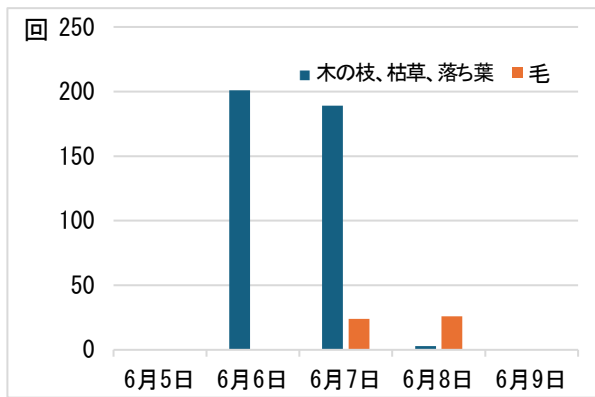
親鳥は合計で木の枝と落ち葉を 393 回、動物の毛を 22 回持ち込んだ。6 月 6 日と 6 月 7 日に最も多く巣材を持ち込んでおり、その中で特に多く持ち込んでいた巣材は木の枝と枯草、落ち葉であった。6 月 7 日から動物の毛を持ち込み始め、6 月 8 日に持ち込んだ巣材はほぼ動物の毛であった。(図 13)

親鳥が巣に訪れた際、翼を広げる行動が見られた。翼の広げ方は 2 種類あった。翼をすべて広げる「翼 A」は 6 月 6 日にのみ見られ、合計で 21 回行っていた。その後見られた翼の広げ方はすべて、翼を半分畳んだ「翼 B」であった。「翼 B」は合計で 72 回行っていた。翼を広げる行動は 6 月 7 日に最も多く見られた。(図 14)

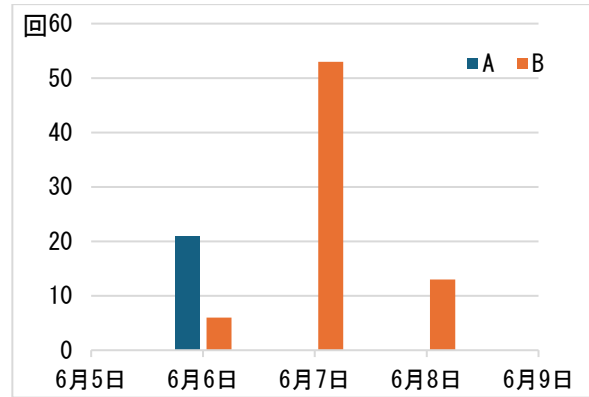
図 12 は翼 A、翼 B、巣材の運搬の頻度を表したものである。ここから、翼を広げる行動を連続で行うことは少なく、ある程度間隔をあけて行っていることが分かる。



【図 12 とった行動の頻度】



【図 13 日ごとの親鳥が持ち込んだ巣材】

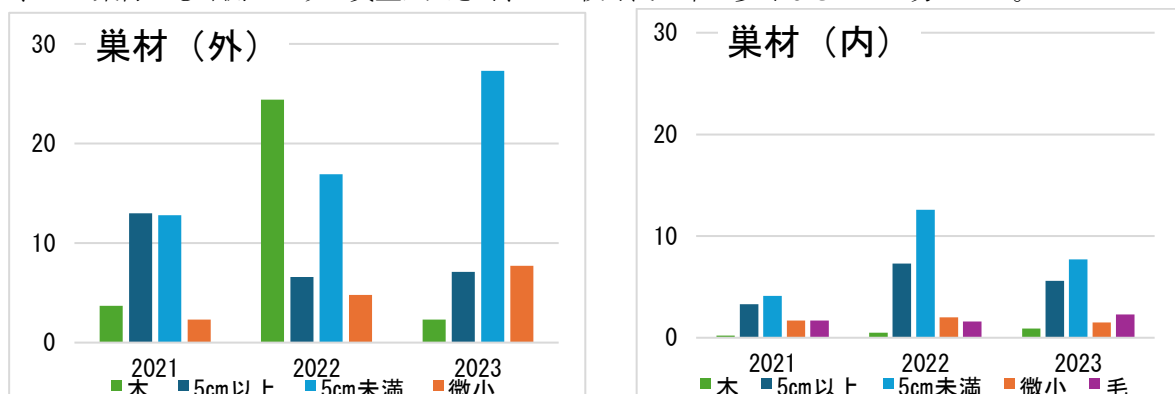


【図 14 日ごとの親鳥の翼の広げ方】

2-2-4 巣材

巣の形状はおわん型で外側と内側に分けることができた。外側は、細い木の枝や枯草が組み合わさってできていた。実際に産座に使われる内側は、細く柔らかい草が多く使われていて、その上には動物の毛などが使われていた。

2021 年の外側の巣材について、5 cm 以上の草と 5 cm 未満の草の質量が同程度であった。2022 年の外側の巣材については、木の質量が 3 年間で最も突出して多く 24.4g であった。内側の巣材では、5 cm 以上の草と 5 cm 未満の草が、ともに 3 年間で最も多くなった。外側と内側を比較すると、5 cm 以上の草の質量の差が特に小さかった。2023 年の外側の巣材については、5cm 未満の草が 3 年間で最も多く 27.3g となった。巣材の本数や質量は年によってばらばらであり、共通する傾向は見られなかった。外側と内側で比較すると、どの巣材でも外側のほうが質量は大きく、また枝や長い草が多くなることが分かった。



【図 15 巣材の構成】

2-3 考察

親鳥は 5 時から 6 時にかけて頻繁に巣を訪問していた。これは、まだ人間の活動が活発でない時間であり、巣がある渡り廊下の周りに人間がいないため警戒せずに巣作りができるからだと考えられる。その後、7 時から 8 時には訪問回数は急激に減少した。これは、登校時間になり生徒が多く校内を移動する時間帯であるため、人間を警戒してあまり巣作りができなかったのではないかと考えられる。9 時に訪問回数が増加したのは、授業中で人間の移動が少なくなる時間帯であるため、同様に人間を警戒せずに巣作りができるからだと考えられる。

親鳥の 5 日間の訪問のうち、大部分が 6 月 6 日と 6 月 7 日の訪問であった。このことから、ハクセキレイの巣は約 2 日で完成することがわかる。

親鳥の滞在時間のうち、ほとんどが 15 秒未満で 2 分以上の滞在はまれだった。このことから、親鳥は巣材を運び込んでから長時間の滞在をせずにすぐに次の巣材を探しに行っていることが分かる。また、親鳥が 15 秒以上の滞在をする際に翼を広げる行動がよくみられた。これは、巣材を翼で押し固めて、巣を形成する行動なのではないかと考えた。この行動は連続して行われることは少なく、間隔をあけて行わ

れた。これらのことから、親鳥は短い時間で巣材を巣に運び込み、巣材がある程度集まった度に翼を広げて巣を形成しているのではないかと考えられる。

親鳥が巣材を運び込んだ6月6日から6月8日のうち、6月7日までは木の枝や枯草を持ってくるが多かった。6月7日から動物の毛も運び込むようになり、6月8日に運び込んだ巣材のうちほとんどが動物の毛であった。このことから、巣作りの前半では木の枝や枯草で巣の土台を作り、後半では卵やヒナを保温したり、クッションとしてヒナを保護したりするために動物の毛を巣の内側に使っているのではないかと考えた。

6月6日から6月8日のうち6月6日のみ翼Aがみられ、翼Bは数回しかみられなかった。6月7日以降は翼Bのみがみられた。また、多くの鳥はボウル状の巣を作る。このことから、親鳥は巣作りの前半では翼全体を広げて巣の底を作り、後半では巣がボウル状になるように巣の中心だけくぼませるような翼の広げ方をして、側面の部分を作っているのではないかと考えた。

2024年と同程度の訪問頻度で各年の巣が作られたと仮定すると、親鳥の訪問回数に対して運搬された草木の数が多いため、親鳥は一回の運搬でいくつかの巣材を同時に持ってきていることが分かる。巣作り中の親鳥の行動と巣の構成から、親鳥は巣作りの手順としてまず細い枝や草を用いて土台を形成し、翼で固めた後にヒナが快適に過ごせるような柔らかい素材を選んで運び、巣を成形していることが分かった。

3 巣づくりの再現

今回の観察を通して、ハクセキレイの親鳥は、将来のヒナのために献身的に巣作りを行っていることがわかった。そこで、その巣作りがいかに大変な作業であるかを体験するために、ハクセキレイの巣作りの行動を参考にし、自分たちでも巣を作ることにした。

3-1 方法

本研究で観察したハクセキレイの巣づくりを参考に2チームに分かれて巣を作成した。その際巣材の運搬回数、巣材の種類、行動およびその頻度、移動距離について、本研究で得られたハクセキレイが行った行動にあわせた。巣材の運搬回数は、木の枝と落ち葉を393回、動物の毛を22回とした。なお、ここでの回数は運搬の回数であるため、運ぶ量や本数は関係ないものとする。巣材の回収は、嘴を模したピンセット(図16)で行い、H鋼のくぼみの大きさと同程度の大きさ(172mm×135mm×116mm)のプラスチック容器(図17)に入れた。巣材は木の枝、枯草、落ち葉、動物の毛とした。行動について本研究で観察したハクセキレイが行った「翼A」は片手を広げて巣の形を整える行動(図18)、「翼B」は片手で拳をつくり、くぼみを作る行動(図19)とした。また「翼A」「翼B」行う頻度はハクセキレイが行った頻度と照らし合わせて同じ頻度で行った。巣材を回収する範囲は、不在時間の平均と、ハクセキレイの飛行速度(500m/分)から移動距離を算出し、巣がつくられたH鋼から半径1km以内とした。ただし動物の毛については、周辺を散策しても見つけることが困難であったため、本校生徒が飼育しているペットのイヌやネコの毛を回収し利用した。



【図16 ピンセットでの採取】



【図17 容器とH鋼】



【図18 翼A】



【図19 翼B】

3-2 結果

結果として、巣作り完成まで約1時間30分かかった。ただし、今回は巣を作るケースを持ち歩いて行っていた。巣まで何回も往復している親鳥は多大な疲労や負担になったと考えられる。また、今回は動物の毛はペットのものを使用したが、学校周辺から動物の毛を探し、回収する作業は大変だということが分かった。出来上がった巣の外見上はハクセキレイの巣と類似したものができた。



【図 20 再現した2つの巣】

4 まとめ

本研究では、ハクセキレイの親鳥の巣作りにおける行動について明らかにすることを目的とした。

親鳥は午前中に頻繁に巣を訪問しており、日の出前と日の入り後に訪問することはなかった。生徒の登校時間や放課後などの人通りの多い時間帯には訪問が極端に減ったのは、人間を警戒したためであると考えられる。

滞在時間では、15秒未満の滞在が多く、巣材を運んだあとすぐに巣を離れていることが分かった。滞在時間が15秒以上のときは翼を広げる行動をとることが多かった。

親鳥は巣作りの前半に木の枝や枯れ葉を運び込み、後半に動物の毛を多く持ち運んでいた。木の枝や枯れ葉は巣の土台の役割を、動物の毛は卵やヒナの保温やクッションの役割をしていると考えられる。

親鳥は巣材を持ち込んだあと翼を広げる行動をとり、翼を広げる行動は間隔をあけて行われた。ここから、巣材がある程度集まった度に翼を広げて巣を形成しているのではないかと考えられる。巣作りの前半には翼をすべて広げて巣全体を抑えるような広げ方の翼Aをすることが多く、後半には翼を半分畳んで巣に丸くくぼみを作るような広げ方の翼Bをすることが多かった。親鳥は巣の前半で巣の底面をつくり、後半で側面を作ることで、巣をボウル状に形成しているのではないかと考えた。

親鳥の訪問回数に対して運搬された草木の数が多いため、親鳥は一回の運搬でいくつかの巣材を同時に持ってきていることが分かる。巣作り中の親鳥の行動と巣の構成から、親鳥は巣作りの手順としてまず大きな枝や草を用いて土台を形成し、羽で固めた後にヒナが快適に過ごせるような柔らかい素材を選んで運び、巣を成形していることが分かった。巣作りの再現では、巣作りがいかに大変な作業であるかを実感できた。

今回の研究では、親鳥の雌雄の判別をすることができなかった。また、親鳥の育児放棄により子育ての観察ができなかった。今後、再び本校に営巣したときは雌雄によって巣作りでの行動にどのような違いがあるのか観察したい。また、今回の研究で再現した巣を本校渡り廊下のH鋼内に設置しハクセキレイがどのような反応を示すかを観察したい。

5 参考文献

国立天文台 日の出入り@岐阜(岐阜県) 令和6年(2024)06月

<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/2024/s2206.html>

バランスドアクアリウムの物質循環の定量化

岐阜県立岐山高校自然科学部 生物講座 バランスドアクアリウム班

山内 光 高橋 遥空 神村 歩花 森 春貴

1. はじめに

コロナ禍以降、家で楽しむ手段の一つとしてアクアリウムの人気が高まっている。しかし、知識がなく、生体を死なせてしまうことが多いのが見受けられる。死んでしまう原因として、水質の悪化や手入れの頻度が適切でないことが挙げられる。水質の悪化は、水槽内の物質のバランスが取れていないことで起きる。

そこで、バランスドアクアリウムに着目した。バランスドアクアリウムとは、ろ過フィルターなどの人工器具を使わずに、水槽内の生態系を自然のバランスで維持する飼育方法である。バランスドアクアリウム内の基本的な物質循環の流れは、図1の通りである。消費者が排泄した糞や尿に含

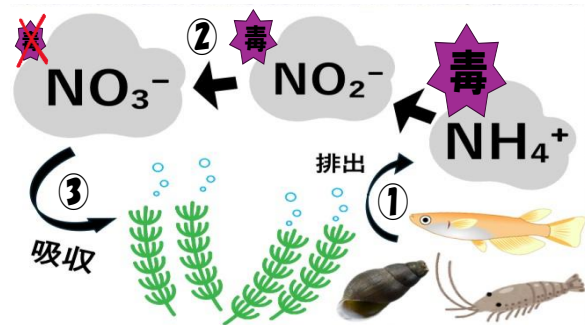


図1 物質循環の流れ

まれるアンモニウムイオンを亜硝酸菌が分解し、亜硝酸イオンにする。それを、別の硝酸菌が分解し、硝酸イオンにする。最後に、水草が硝酸イオンを吸収する。

本研究では、図1に示された①水槽生物が排出するアンモニウムイオンの定量、②硝化細菌の硝化作用の定量、③水草の硝酸イオン吸収量の定量を行い、バランスドアクアリウムの飼育環境を科学的に構築することを目的とする。

2. 理論

2.1 生体の選定

バランスドアクアリウムに使用する生体を以下の通りに選定した。

- ・観賞魚（ヒメダカ：約2.5cm）→鑑賞のメイン。
- ・エビ（ミナミヌマエビ：約2.0cm）→餌の残骸の除去。
- ・貝（カワニナ：約1.8cm）→水槽に付着した藻類の清掃。
- ・バクテリア（ニトロソモナスニトロバクター）→アンモニウムイオンの分解。
- ・水草（オオカナダモ：5cm）→硝酸イオンの吸収、酸素の供給。

2.2 給餌の考え方

アクアリウムは、生物の飼育、給餌、観察を楽しむものである。また、バランスドアクアリウムの条件として給餌の有無は明記されていないため、給餌はしてよいものとする。

3. 仮説

仮説1 運動量が多い生体ほどアンモニウムイオン排出量が多くなる。

また、オオカナダモとバクテリアはアンモニウムイオンを排出しない。

仮説2 バクテリアの硝化作用によって溶液中の硝酸イオン量が増加する

仮説3 オオカナダモが硝酸イオンを吸収することで溶液中の硝酸イオン量が減少する。

4. 予備実験

4.1 アンモニウムイオンの計量線の作成

4.1.1 目的

溶液中のアンモニウムイオン濃度を数値化するために、検量線の作成を行う。

4.1.2 方法

- 1、アンモニウムイオンの標準溶液を 1mg/L、5mg/L、10mg/L に希釈する。
- 2、それぞれの溶液をパックテストを用いて呈色する。
- 3、分光光度計を用いて、希釈した 3 種類の溶液と蒸留水の計 4 種類の溶液を 670nm の波長で吸光度を計測する。
- 4、得られた吸光度をもとに、アンモニウムイオン濃度の検量線を作成する。

4.1.3 結果

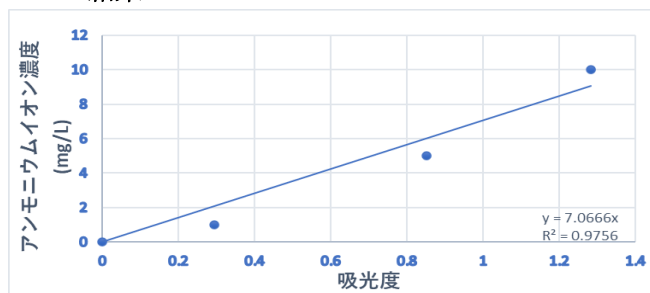


図2 アンモニウムイオンの検量線(670nm)

4.2 硝酸イオンの検量線の作成

4.2.1 目的

溶液中の硝酸イオン濃度を数値化するために、検量線の作成を行う。

4.2.2 方法

- 1、硝酸イオンの標準溶液を 1mg/L、2mg/L、5mg/L、10mg/L、20mg/L、45mg/L に希釈する。
- 2、それぞれの溶液をパックテストを用いて呈色する。
- 3、分光光度計を用いて、希釈した 6 種類の溶液と蒸留水の計 7 種類の溶液を 470nm の波長で吸光度を計測する。
- 4、得られた吸光度をもとに、硝酸イオン濃度の検量線を作成する。

4.2.3 結果

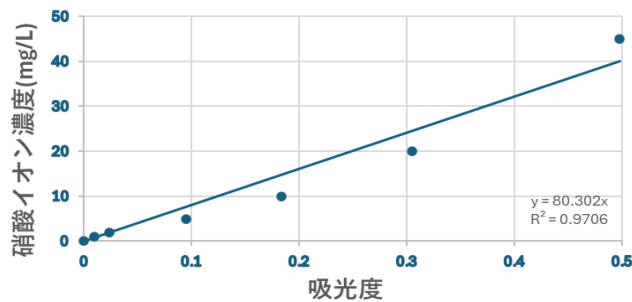


図3 硝酸イオンの検量線(545nm)

5. 実験

5.1 実験1 水槽生物が排出するアンモニウムイオンの定量

5.1.1 目的

蒸留水、メダカ（オス）、メダカ（メス）、ヌマエビ、カワニナ、オオカナダモ、バクテリア剤の5日あたりのアンモニウムイオン排出量の平均値を定量する。

5.1.2 方法

- 1、7つの容器にカルキ抜き水 150mL を加える。本実験では、ペットボトルの下部を容器として使用した（図4）。
- 2、それぞれの容器に、a:メダカ（オス）1匹、b:メダカ（メス）1匹、c:カワニナ1匹、d:ヌマエビ1匹、e:オオカナダモ 5cm、f:バクテリア剤 5mLを加える。1つは、ブランクテストとしてg:カルキ抜き水のみとする。メダカには、食べきれない少量の給餌を行う。
- 3、5日間放置し、それぞれの容器に入った溶液をパックテストを用いて呈色する。
- 4、分光光度計を用いて、呈色した溶液を 670nm の波長で吸光度を計測する。
- 5、1～4の作業を3回行う。

5.1.3 結果



図4 実験の様子

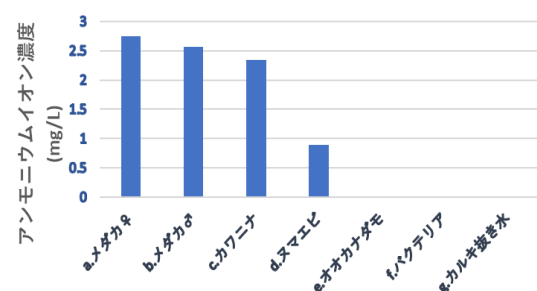


図5 各生体のアンモニウムイオン排出量の平均値

表1 水槽生物のアンモニウムイオン排出量(mg/L)

	メダカ ♀	メダカ ♂	カワニ ナ	ヌマエ ビ	バクテリ ア	カルキ抜き 水	計
アンモニウムイオン濃度 (mg/L)	2.74	2.56	2.35	0.895	0.00	0.00	8.55

5.1.4 考察

運動量の順序は、メダカ、ヌマエビ、カワニナであると推定される。しかし、図5より本実験のアンモニウムイオン排出量は、メダカ、カワニナ、エビの順となった。これはエビよりカワニナの排泄量が多い(図4)こと、カワニナがヌマエビよりも大きい個体を選定したことが理由として考えられる。

5.2 実験2 硝化細菌の硝化作用の定量化

5.2.1 目的

硝化作用の定量を行い、水槽生物の排出したアンモニウムイオンに対して必要なバクテリア剤の量を推定する。

5.2.2 方法

- 1、a(低濃度時):アンモニウムイオン標準溶液を5mg/Lに希釈した溶液300mL、b(高濃度時):アンモニウムイオン標準溶液を10mg/Lに希釈した溶液300mL、をそれぞれ2つの容器に加える。
- 2、2つの容器に溶液300mLに対してバクテリア剤5mLを加える。
- 3、0日目、1日目、3日目、5日目、7日目にそれぞれの溶液のアンモニウムイオン濃度と硝酸イオン濃度をパックテストを用いて呈色する。
- 4、分光光度計を用いて、アンモニウムイオン濃度は630nmの波長で吸光度を計測し、硝酸イオン濃度は545nmの波長で吸光度を計測する。
- 5、検量線をもとにアンモニウムイオン濃度と硝酸イオン濃度を求める。

5.2.3 結果

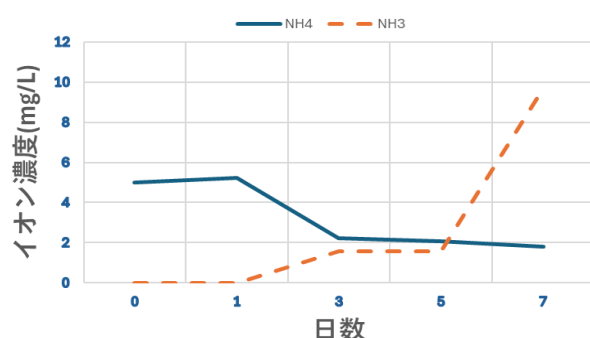


図6 a(低濃度時)のイオン濃度

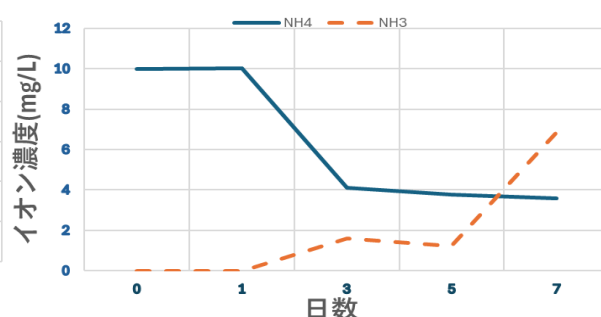


図7 b(高濃度時)のイオン濃度

表2 アンモニウムイオン吸収量(mg/L)

	0日目	7日目	差
5mg/L	5	1.81	3.19
10mg/L	10	3.59	6.41

表3 硝酸イオン排出量(mg/L)

	0日目	7日目	差
5mg/L	0	9.72	9.72
10mg/L	0	6.83	6.83

5.2.4 考察

図6と図7より、硝酸菌はアンモニウムイオンを同量の硝酸イオンに変化させると考えられる。また、3日目と5日目においてアンモニウムイオン濃度と硝酸イオン濃度の和が等しくない。これは、パックテストが亜硝酸イオンを検出していないからだと考えられる。aにおいて、硝酸イオンが5mg/Lを超えてしまったのは、目的と異なる硝酸イオンが検出されたからだと考える。

5.3 実験3 水草の硝酸イオン吸収量の定量化

5.3.1 目的

オオカナダモの硝酸イオンの吸収量の定量を行い、一定量の硝酸イオンを除去するときに必要な水草の質量を予想する。

5.3.2 方法

- 1、2つの1.5L ペットボトルに硝酸イオン標準溶液を10mg/Lに希釈した溶液をそれぞれ500mL加える。
- 2、2つのペットボトルに水草（オオカナダモ）を質量15.0g加える。溶液の蒸発を防ぐためにペットボトルの開口部にラップをする。
- 3、a:インキュベーターを用いて、室温25℃、照度800lux、b:常温で、室内の日光が当たる場所、の2つの条件で放置する。
- 4、1日目、4日目、7日目、11日目、15日目、18日目の硝酸イオン濃度をパックテストを用いて呈色する。
- 5、分光光度計を用いて、硝酸イオン濃度を545nmの波長で吸光度を計測する。
- 6、検量線をもとに硝酸イオン濃度を求める。

5.3.3 結果

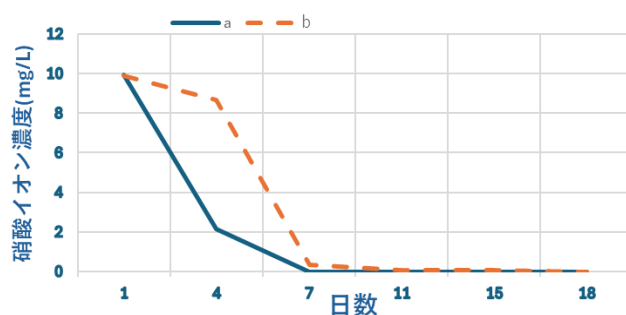


表4 硝酸イオン吸収量(mg/L)

	0日目	7日目	差
a (インキュベーター)	10	0	10
b (室内)	10	0.321	9.679

図8 硝酸イオン濃度

5.3.4 考察

図 7 より、オオカナダモは硝酸イオン 10mg/L を 7 日間で完全に吸収することができると考えられる。一定の温度と照度で放置すると 4 日間でほとんどの硝酸イオン 10mg/L を吸収することができると考えられる。照度によって、オオカナダモの硝酸イオン吸収速度が変化する可能性が示唆された。

6. 全体考察

3 つの実験より、水槽生物が一定日数あたりにある程度決まったアンモニウムイオンを排出し、硝酸菌はアンモニウムイオンを吸収、酸イオンを排出し、水草は硝酸イオンを吸収した。このことから、それぞれの数値を調整することで、物質の循環を正確に動かすことができると考えられる。

一般的なバランسدアクアリウムに使われる 4L 水槽で物質のバランスをとるためには、今回の結果より、メダカ 2 匹、カワナ 1 匹、ミナミヌマエビ 1 匹、オオカナダモ 15g、バクテリア 10mL、カルキ抜き水 4L の条件で可能であると考えられる。

また、生体が排出するアンモニウムイオン量は、運動量だけではなく、排泄する糞や尿の量と個体の大きさも考慮する必要がある。水草の硝酸イオンの吸収量には、温度と照度が関係すると考えられる。このことより、光量も考慮する必要がある。

7. 今後の展望

本研究の数値を参考に必要な個体数を求め、本格的なバランسدアクアリウムの作成を行いたい。硝化細菌の硝化作用の定量化を行った際に、硝酸イオンがなぜ 5mg/L を超えてしまったのかを解明したい。

8. 参考文献

- 1) 北中凌・國光優貴・寺内理音・南保歩・西村憲悟. “バランسدアクアリウムにおける物質循環”. 石県教員総合センター. <https://cms1.ishikawa-c.ed.jp/izumih/wysiwyg/file/download/30/1506>, (参照 2024-5-15)
- 2) アクアガーデン. “バランسدアクアリウムとは！掃除なしで飼育は可能？必要なものなどを紹介”. 東京アクアガーデン. 2024. https://t-aquagarden.com/column/balanced_aquarium, (参照 2024-5-19)
- 3) 石本泰基・羽根聡一郎・平澤慶太・吉田翼. 分光光度計を用いたパックテストの定量化の検討と検証－富栄養化に着目して－. STEM 教育研究. 2022, vol. 4, p31-35
- 4) 増田貴則・大竹智子. ヌマエビを用いることによる流れ藻の削減効果. 土木学会論文集 G (環境). 2015, vol. 71, no. 7, p137-143

郡上市に生息するモリアオガエルの生態調査Ⅱ

郡上高等学校 自然環境科学部

三島敬斗 野々村琉斗 浅野雅歩 石田明日香

小森あみ 酒井志歩 佐野竜絃

1. 緒言

岐阜県郡上市八幡町に位置する愛宕公園には、県の天然記念物に指定されているモリアオガエル (*Zhangixalus arboreus*) が生息している。モリアオガエルは森林と止水域の両方を必要とする特異な生態を持ち、その生息環境の保全は地域の自然環境保護において重要な課題である。

郡上高校自然環境科学部では、学校周辺の自然環境の理解と保全活動の一環として、前年度に愛宕公園内の勝軍池および瓢箪池を対象にモリアオガエルの生態調査を実施した。卵塊（泡巣）数、水温、気温などのデータ収集を通して、産卵や孵化に影響を与える要因について検討を行った。

その結果、瓢箪池では勝軍池よりも多くの卵塊とオタマジャクシが確認され、水温の高さや藻の有無が卵塊数に影響している可能性が示唆された。また、産卵時期は梅雨と重なっており、産卵には雨天が適しているという仮説が支持された。これらの知見は、モリアオガエルの生息環境の保全に向けた具体的な方策を検討する上で貴重な手がかりとなった。

しかしながら、単年の調査であることからデータの量が乏しく、継続調査によるより確実な環境要因の分析が求められる。本研究は、前年度の成果と課題を踏まえ、降水の有無などの新たな指標を加えた調査を通じて、モリアオガエルの生息条件をより深く解明し、持続可能な保全活動につなげていくことを目的とする。

2. 仮説

モリアオガエルの産卵に適した環境について、前年度の調査を踏まえて下記三つの仮説を立てた。

- ①気温 20℃～30℃、水温 20℃～25℃の環境において産卵が活発になるのではないかな。
- ②産卵には雨天が適しているのではないかな。
- ③池の中に藻が生えている方がオタマジャクシの生育に適しているのではないかな。

3. 調査方法

愛宕公園内の二つの池（勝軍池、瓢箪池）において、次の通り観察・調査を行う。

仮説①の検証

池の水温（実測値）と最高気温（気象庁ウェブサイトより引用）の推移と卵塊数の変化を比較する。なお、前年度のデータについても、同様の基準で再検証を行う。

仮説②の検証

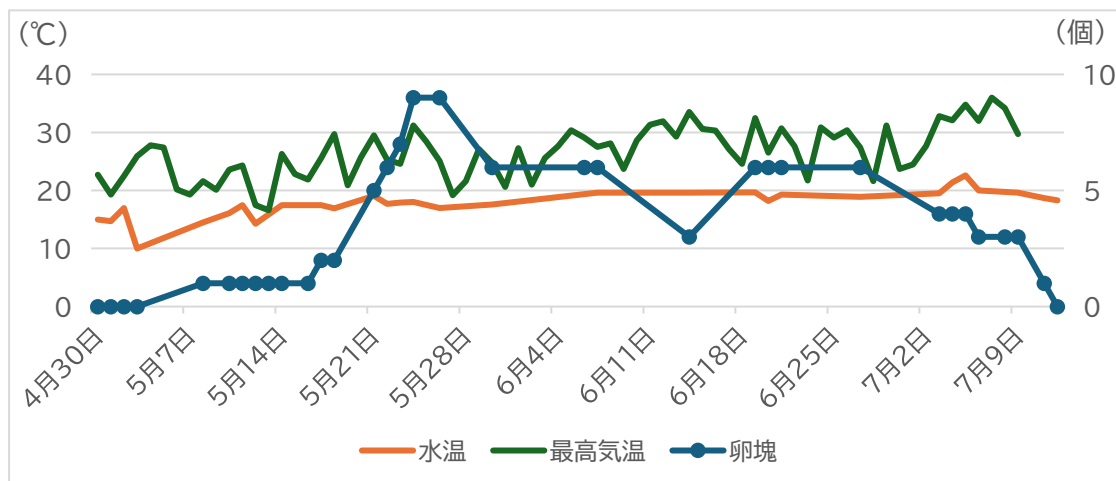
降水量(気象庁ウェブサイトより引用)のデータをもとに、降水の有無と卵塊数の変化を比較する。なお、前年度のデータについても、同様の基準で再検証を行う。

仮説③の検証

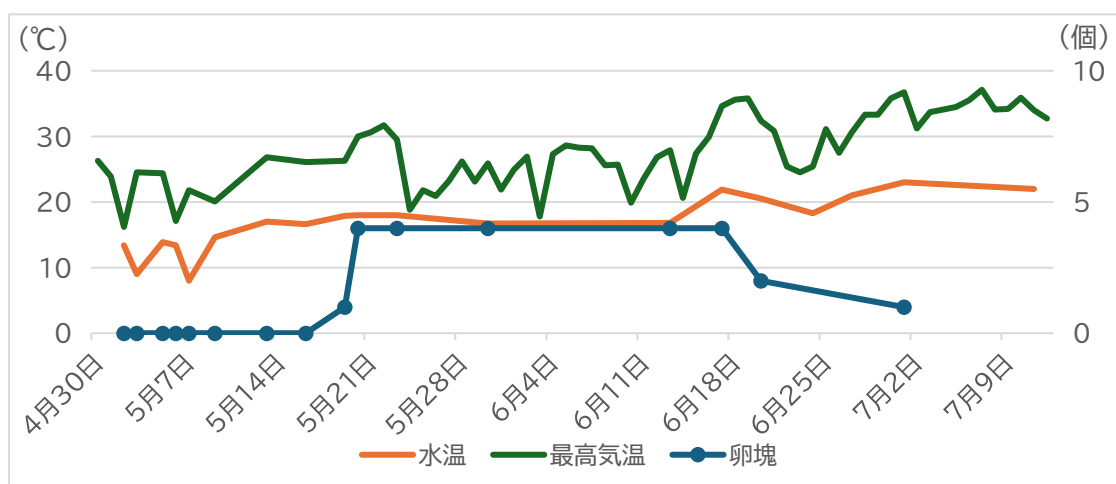
モリアオガエルのオタマジャクシを採捕し、藻がある環境で育てる。オタマジャクシが生育する上で、藻がある環境をどのように利用しているのかという視点から観察をする。

4. 結果

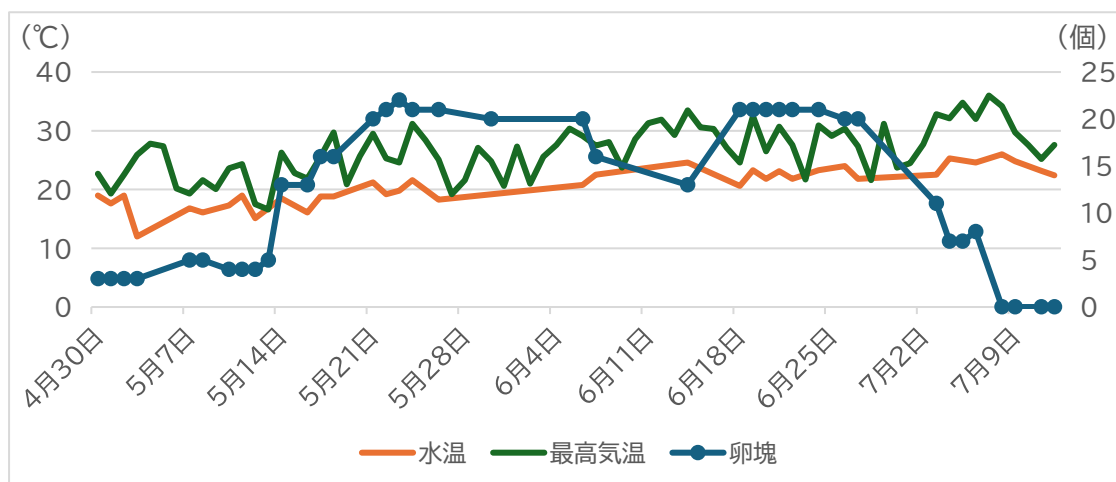
仮説①・②に関連して、卵塊数の推移と諸指標との関係をグラフ1～8にそれぞれ表した。なお、グラフ5～8で示した降水量については、今回の調査で検証したい要素が降水の有無そのものであることから、1日あたりの降水量が50mmを超えたものについては表示を省略している。



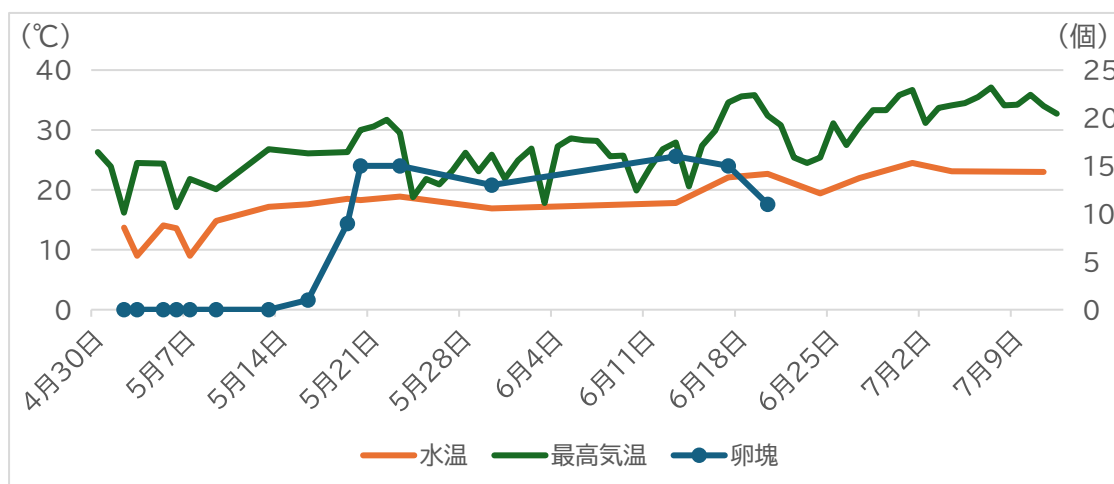
グラフ 1 水温・最高気温の推移と卵塊数（勝軍池、2024 年）



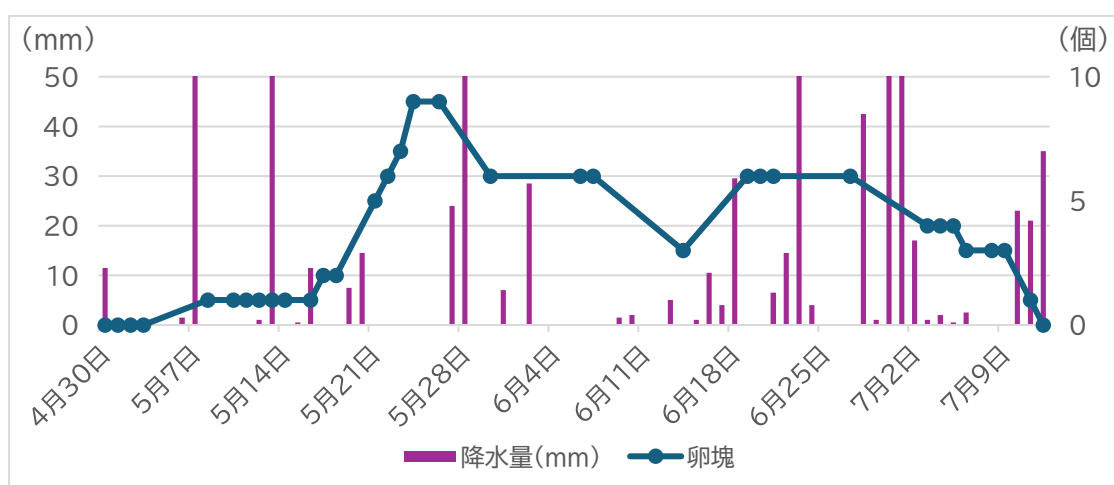
グラフ 2 水温・最高気温の推移と卵塊数（勝軍池、2025 年）



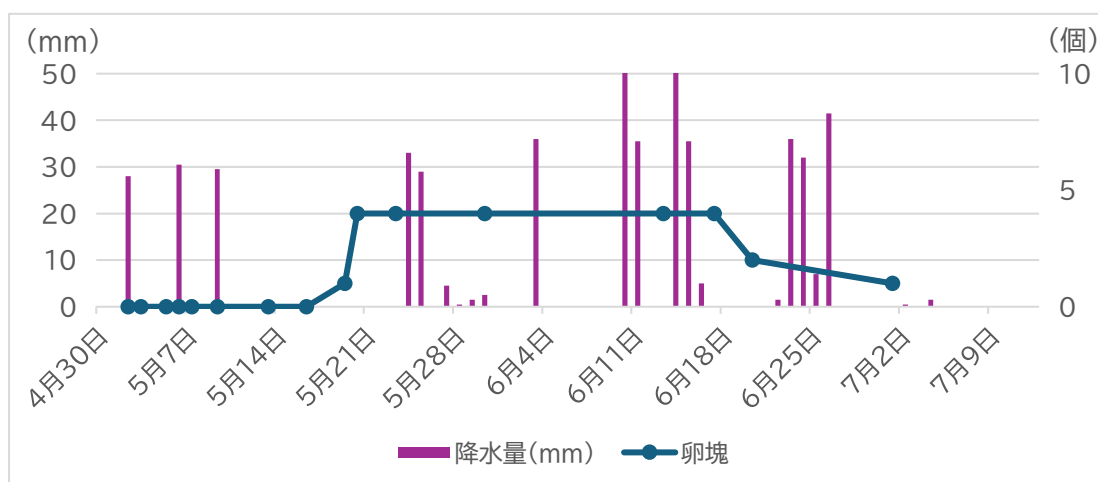
グラフ 3 水温・最高気温の推移と卵塊数（瓢箪池、2024 年）



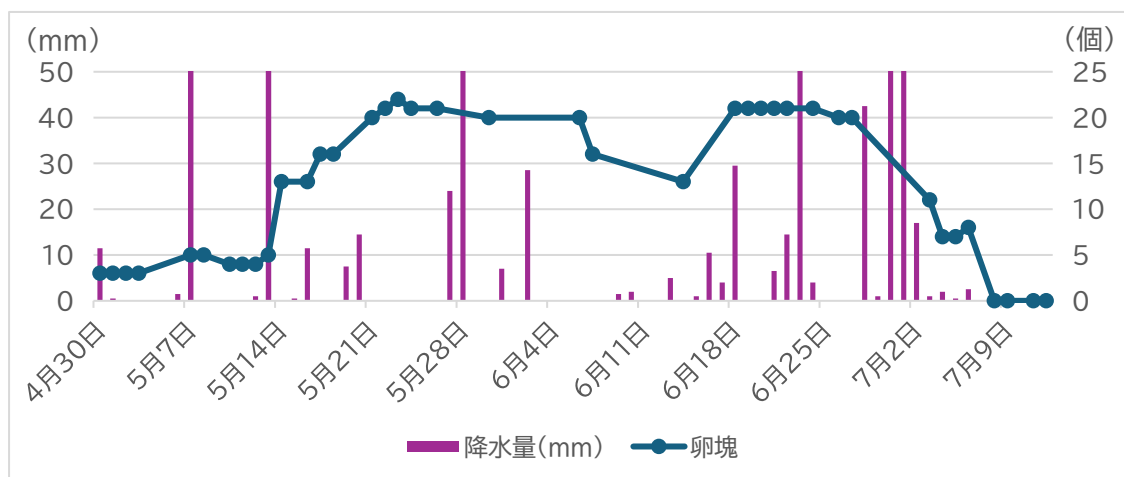
グラフ 4 水温・最高気温の推移と卵塊数（瓢箪池、2025 年）



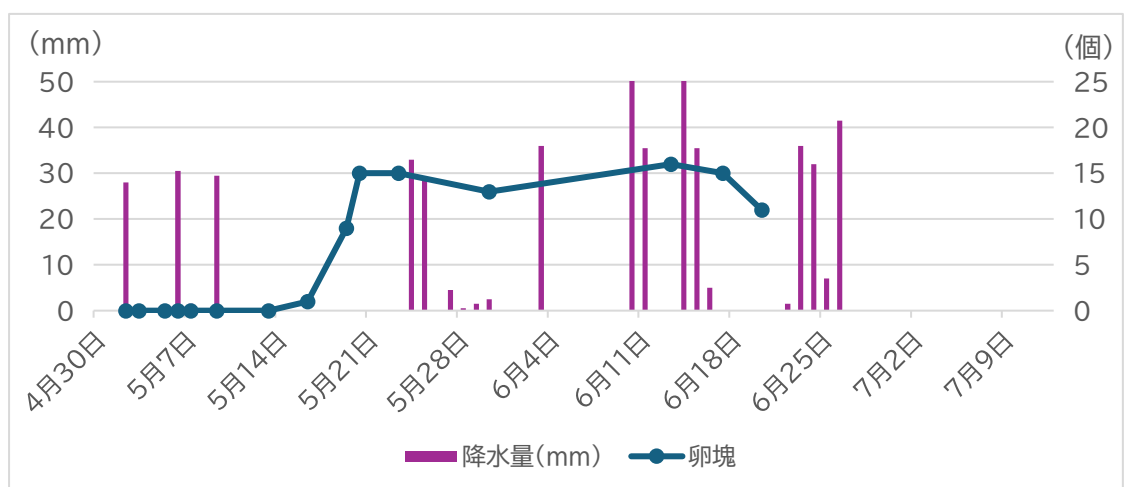
グラフ 5 降水量の推移と卵塊数（勝軍池、2024 年）



グラフ 6 降水量の推移と卵塊数（勝軍池、2025 年）



グラフ 7 降水量の推移と卵塊数（瓢箪池、2024 年）



グラフ 8 降水量の推移と卵塊数（瓢箪池、2025 年）

5. 考察

仮説①について

まずは、気温と卵塊数との関係に着目する。グラフ 2・4 によると、今年度の調査において卵塊数が急激に増加している時期には、最高気温が 25℃前後に達している。グラフ 1・3 によると、昨年度も同様の傾向を示していることが分かる。このことから、産卵活動を活発化させる一つの要因として、最高気温 25℃程度の温暖な気象条件が考えられる。

次に、池の水温と卵塊数との関係について考える。どちらの池においても、卵塊数が特に増加している時期の水温は 20℃に達しておらず、仮説の通りの結果とはならなかった。モリアオガエルの産卵と池の水温との相関については、さらなる検証が必要となろう。

仮説②について

グラフ 5・7 を見ると、前年度の調査においては卵塊数が増加する時期に雨が降っていたことが分かる。一方、グラフ 6・8 を見ると、今年度初めて卵塊が現れた日は最後の降水から一週間ほど経過している上に、卵塊数が急増するまで雨が降る日はなかった。今年度の結果を踏まえると、降水の有無が産卵に直接関係しているとは言えないだろう。

仮説③について

採捕したオタマジャクシを藻がある環境において観察したところ、オタマジャクシが藻を餌にしている様子が確認できた。卵塊を離れ池の中で生活するオタマジャクシにとって、藻は貴重な栄養源となるようである。

また、藻の中に身を潜める様子も確認することができた。愛宕公園の池には、オタマジャクシの天敵となりうるアカハライモリも多く生息しており、藻の存在は天敵から身を守るための防衛手段となっていると考えられる。

以上の点から、藻がたくさん生えている池の方がオタマジャクシの生育環境として、ひいてはモリアオガエルの産卵に選ばれる池として適していると推定される。

二つの池の比較

愛宕公園における二つの池における卵塊の数を比較すると、昨年度と同様、勝軍池よりも瓢箪池の方が多かった。7月上旬には、瓢箪池において数十匹のオタマジャクシの群れを確認することができた。一方、同時期の勝軍池においてオタマジャクシの群れを確認することはできなかった。以上のことから、愛宕公園におけるモリアオガエルの活動は、勝軍池よりも瓢箪池の方が活発であるということが言えよう。ここでは、二つの池の環境の違いに着目し、モリアオガエルの産卵との関係について考察したい。

第一に、藻の有無との関係について考える。図1のように勝軍池にはほとんど藻が見られない一方で、図2のように瓢箪池にはたくさんの藻が見られた。やはり、藻がたくさん生えている瓢箪池の方がオタマジャクシの生育環境としてはより適しているであろう。

次に、水温について比較する。今年度の調査では、勝軍池の平均水温が17.0℃、瓢箪池の平均水温が18.2℃と、瓢箪池の方が高い結果となった。昨年度の調査では勝軍池の平均水温が18.0℃、瓢箪池の平均水温が21.6℃であり、今年度と同様の傾向を示している。仮説①の考察としては水温と産卵との相関を明らかにすることができなかったが、水温の高い瓢箪池の方が結果として産卵活動が活発になっているという事実は、今後の検証の一つの切り口になるだろう。

その他の要因としては、外部から持ち込まれた生物の有無が挙げられる。瓢箪池では放流されたと思われる生物の存在は確認できない一方、勝軍池においては金魚やアメリカザリガニなどが頻繁に確認された。このような外来種が生態系を変えてしまっている可能性は否めない。

モリアオガエル群生地として天然記念物に指定されているのは勝軍池の方であるにもかかわらず瓢箪池の方がモリアオガエルの活動が活発となっている背景には、以上のような要因が挙げられるのではなかろうか。



図1 藻が生えていない勝軍池



図2 藻が生えている瓢箪池

6. 課題と展望

今年度の調査においても、池の周辺の樹上などにいる成体の姿や鳴き声を確認することができた。一方、産卵中の姿を直接確認するには至らなかった。産卵をより確実に目撃するためには、何が産卵行動のトリガーとなっているのかをより正確に検証していく必要がある。これまでの調査から、気温や池の中の藻の有無については、産卵との関係性をある程度明らかにすることができたと言えよう。一方、池の水温や降水の有無と産卵活動との関係性を明らかにすることはできなかった。調査項目が水温・気温など限られた項目にとどまっていることから、今後はより多面的な環境要因の分析が求められるであろう。これまでの調査における成果と課題を踏まえ、湿度や水質などの新たな指標を加えながら、モリアオガエルの生態についてより深く解明していきたい。

7. 生息環境の保全に向けて

前述の通り、郡上高校自然環境科学部は愛宕公園でのモリアオガエルの生息環境の保全に向けた活動を行っている。毎年の産卵シーズンの前には池の周りに柵を設置し、人が容易に入れないようにしている。

しかしながら、モリアオガエルを含めた池の生態系を変容させかねないできごとが複数確認されている。一つは外来種の問題である。前述したように、何者かによるアメリカザリガニをはじめとした生き物の放流が後を絶たない。もう一つの問題は、池に生息する生物の過度な採捕である。池の観察に訪れた際に、アカハライモリなどを大量に採捕している現場に遭遇したこともある。生態系のバランスを大きく崩しかねないこのような事案は、モリアオガエルの生息環境を維持する上では大きな障害となる。

このような状況を踏まえ、モリアオガエルをはじめとする池の生態系を守るため、より一層の環境保全活動に取り組んでいく必要がある。外来種の放流や過度な採捕といった人為的な影響を減らすためには、池を訪れる人々に対して生態系の大切さや保全の必要性を伝える啓発活動が欠かせない。

郡上高校自然環境科学部では、今後も定期的な観察や記録を通じて池の環境変化を把握し、必要に応じて保全策を講じていきたい。また、地域の行政や専門家などと連携しながら、持続可能な保全活動の仕組みづくりにも力を入れていきたいとも考えている。モリアオガエルが安心して産卵できる環境を守ることは、池全体の生態系の健全性を保つことにもつながる。今後も自然との共生を目指し、地道な活動を続けていきたい。

出典

気象庁“過去の気象データ検索” https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php?prec_no=52&block_no=0485&year=&month=&day=&view=（参照 2025-10-01）

外来種駆除のためのアレロパシー物質の混合

岐阜県立岐山高校自然科学部 生物講座 植物班

渡邊淳乃介 永田琉月 濱田莉朱 馬場渉太

1. はじめに

植物の中にはアレロパシー活性を持つものがある。アレロパシー活性とは、他の植物に対して成長の促進や抑制などの影響を与えるはたらきである。先行研究¹⁾では、250 種の植物のアレロパシー活性を定量化し、その活性の大きさの違いとともに、アレロパシー活性はその植物の根から拡散された低分子物質によることを実証している。この結果から、私たちは、これらの植物を混合させた場合、単独での作用と比べて幼根の伸長抑制効果は変化するのだろうかという疑問を抱いた。

一方、岐山高校近辺の植物相を調査した結果、在来種が 33%、外来種は 64%で、外来種の割合が在来種の約 2 倍も大きいことが分かった。このことから、私たちは、アレロパシー活性を利用し外来種駆除をすることはできないかと考えた。本実験では、アレロパシー活性を示す 3 種の植物の葉を選定し、単独時と 2 種類の混合時におけるアレロパシー活性の比較をし、混合による効果を明らかにすることを目的とした。

2. 検体植物の選定

検体植物は、最初アレロパシー活性を示す植物をリストアップした後、比較的個体数が多い植物として、以下の 3 種類を選定した。

- ・バラ科サクラ属のソメイシノ(以降サクラ)・・・クマリンを含む²⁾
- ・キク科アキノキリンソウ属のセイタカアワダチソウ(以降セイタカ)・・・cis-DME を含む³⁾
- ・キク科アルテミシア属のヨモギ・・・先行研究⁴⁾からシネオールを主成分とする複数の物質が植物に含まれていることが知られている。

なお、今回の実験ではサクラの根・茎の採取は困難なことから、上記の植物の葉を用いた。

3. 仮説

アレロパシー作用を示す 2 種類の植物を混合した場合、それぞれ単独での効果を合計した結果になる。(例)植物 A による伸長抑制効果が 2.5 cm、植物Bの伸長抑制効果が 2.5 cmのときAとBの混合物による伸長抑制効果は 5.0 cmとなる。

4. 実験① ～検体植物の葉によるアレロパシー活性の評価実験～

4-1. 目的

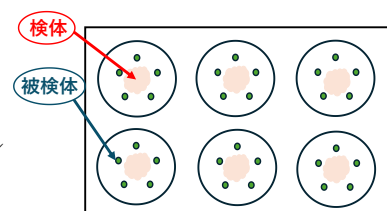
6 穴マルチディッシュを用いたサンドイッチ法¹⁾(図 1)で、検体のアレロパシー活性の確認を行う。サンドイッチ法とは、検体を寒天と寒天の間に挟み込み、その寒天上に播種した被検体の伸長からアレロパシー活性を評価する手法である。

4-2. 準備

6 穴マルチディッシュ、検体植物(セイタカ・サクラ・ヨモギ)の葉、被検体植物(リーフレタスグリーン)の種子、粉寒天、純水、ピペットマン

4-3. 方法

- (1) 検体植物の葉をハサミで細かく刻み、乾燥したのち 0.05g ずつ測る。
- (2) 濃度 1%の寒天水溶液をオートクレーブで 121℃、20 分間加熱滅菌した後、60℃の温水中で冷ます。
- (3) (2)の寒天水溶液をピペットマンで 6 穴マルチディッシュの各穴に 5mL ずつ流し固める。その後、(1)で固めた寒天の上に検体をそれぞれ置き、さらにその上に寒天水溶液を 5mL ずつ流し固め、寒天で検体と被検体をサンドイッチする。これを検体なし・セイタカ・サクラ・ヨモギの 4 つ作る。
- (4) 被検体植物の種子を 1 つの穴に 5 粒ずつまき、25.0℃に設定したインキュベーターに入れる。



(図1) サンドイッチ法の図

- (5) 3日後、各穴から5粒を取り出し、幼根の長さの近い3粒、計18粒を検体ごとに取り出す。
- (6) (5)で取り出した種子を紙に貼り付けて、写真を撮り、画像処理・解析ソフト(ImageJ)で幼根の長さを測定する。
- (7) 測定後、各条件での幼根の長さの平均を求める。

4-4. 結果

ImageJを用い、18粒の幼根の長さを測り、平均値を出す。

(表1) 各検体の幼根の長さの平均

	検体なし	セイタカ	サクラ	ヨモギ
幼根の長さの平均(mm)	26.475	9.510	1.877	0.000

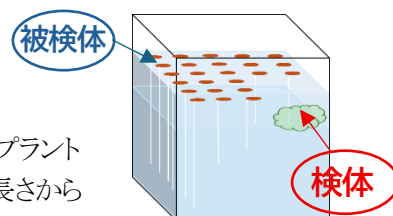
4-5. 考察

検体を含んだマルチディッシュの平均値はすべて、検体なしの平均値よりも大幅に小さかったため、セイタカ・サクラ・ヨモギの葉はアレロパシー活性を持つと言える。この実験により、3種の植物ともに、葉にもアレロパシー活性を持つことが確かめられたため、検体として植物の葉を引き続き用いることとする。

5. 実験② ～検体植物の葉、それぞれの単独の伸長抑制効果の評価実験～

5-1. 目的

プラントボックス法⁴⁾を応用して各検体植物下での幼根の長さ、検体なしでの幼根の長さから、伸長抑制効果の定量化を行う。プラントボックス法とは、アレロパシー活性を示す可能性のある生きた植物を、プラントボックスの角に配置し、プラントボックス内に播種した被検体の幼根の長さから植物のアレロパシー活性の強さを検定する手法である(図2)。



(図2) プラントボックス法の図

5-2. 準備

プラントボックス、検体植物の葉、選定した被検体植物、粉寒天、純水、透析膜、ラップ、ミキサー、ヘアアイロン

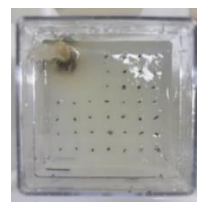
*被検体植物の種子を水面にまき、沈んだものを利用する。

5-3. 方法

- (1) 検体植物の葉をミキサーで細かく刻み、乾燥したのち0.5gずつ測り透析膜で包む。この時、検体植物を包んだ透析膜を寒天に固定できるよう透析膜の端をヘアアイロンで加熱し固めた。セイタカ・サクラ・ヨモギをそれぞれ4個ずつ作る。
- (2) 縦75mm 横75mm 高さ100mmのプラントボックスと濃度1%の寒天水溶液をオートクレーブで121℃、20分間加熱滅菌する。
- (3) (2)の寒天水溶液をプラントボックスに200mL流し固める。その後(1)で作った検体をプラントボックスの角に刺し込み、寒天水溶液75mLを流して固める。(図3)
- (4) 選定した被検体植物の種子を検体の真上を除く等間隔に分けた40箇所にそれぞれ播種する。(図4)
- (5) セイタカ×4、サクラ×4、ヨモギ×4、検体なし×4 計16個のプラントボックスをそれぞれ作る。
- (6) 酸素不足を解消するために、蓋を外した状態でプラントボックスにラップをかけ、25.0℃に設定した人工気象機に入れる。
- (7) 5日後、プラントボックスから、発根した種子を取り出す。
- (8) (7)で取り出した種子を紙に貼り付け、写真を撮りImageJで幼根の長さを測定。ただし、幼根の長さ0mmの被検体植物については、発芽抑制か伸長抑制かの判別ができないため、測定の対象外とする。



(図3) ボックス内の寒天と検体



(図4) 等間隔に播種した種子

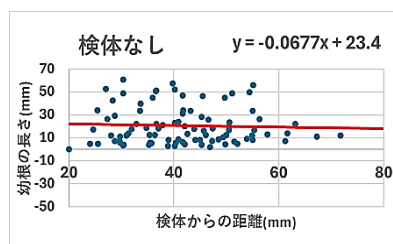
5-4. 結果

伸長抑制効果の定量化

検体なし(図 5)の幼根の長さの平均は 20.5 mmであった。
したがって伸長抑制効果は次の式で求めることとする。

*抑制値=(各被検体の伸長)−20.5 mm

- (1) プラントボックスから発根した種子のみを取り出す。
- (2) 紙に貼り付け、写真を撮る。
- (3) 検体から種子を植えた場所までのそれぞれの距離を測り、番号を振る(図6)(図7)。
- (4) ImageJ を利用して写真から幼根の長さを測る。
- (5) 種子ごとの*抑制値の合計を種子の数で割った値を、その植物の伸長抑制効果とする。
- (6) 検体からの距離ごとの成長量を示すために、Excel で幼根の長さを縦軸に、検体からの距離(図 7)を横軸として回帰直線を求める(図 8)。

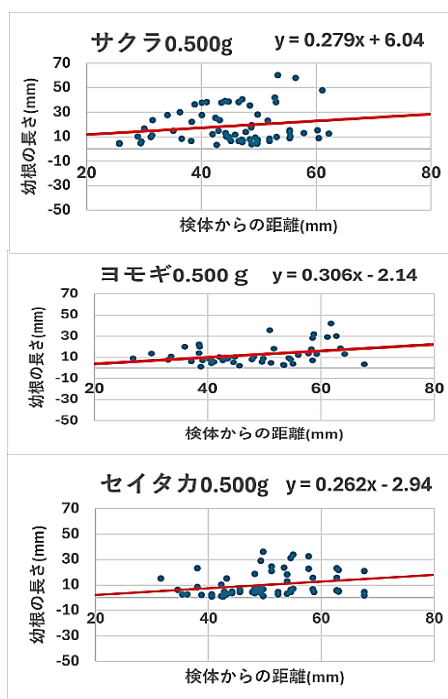


(図 5)検体なしの伸長抑制効果



(図 6) 各種子の位置と番号

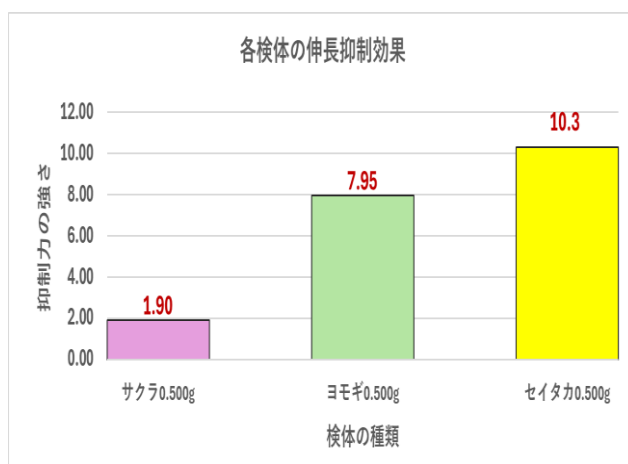
各検体の伸長抑制効果は下の(図 9)、(表 2)の通りである。



(図 8)検体からの距離と幼根の長さ

1 25.688	11 45.598	21 37.196	31 53.980
2 33.996	12 52.358	22 40.602	32 57.820
3 40.608	13 29.313	23 42.587	33 62.713
4 47.919	14 31.617	24 48.443	34 47.844
5 29.157	15 34.533	25 53.470	35 49.254
6 36.214	16 38.009	26 58.460	36 51.174
7 42.321	17 43.202	27 42.838	37 54.640
8 49.203	18 48.225	28 43.284	38 58.763
9 32.767	19 55.023	29 44.204	39 63.118
10 38.748	20 35.365	30 49.722	40 67.577

(図 7) 検体からの距離(mm)



(図 9)各検体の伸長抑制効果

	サクラ 0.500g	ヨモギ 0.500g	セイタカ 0.500g
検体による伸長抑制効果	1.90	7.95	10.3
発芽した種子(個/全 160 種子)	67	47	64

(表 2)各検体の伸長抑制効果

5-5. 考察

従来のプラントボックス法は、アレロパシー活性を示す可能性のある生きた植物をプラントボックスの角に配置する手法であるが、本研究では、プラントボックスの角に植物の葉を埋没させ、寒天で挟み込むというサンドイッチ法を組み合わせた実験手法を試みた。結果(図 8)より、この手法においても、検体植物ごとのアレロパシー活性の強さを求めることが可能であると認められた。

結果(図 9)から、伸長抑制効果が最も高いのはセイタカ、最も低いのはサクラであると分かる。一方、(表 2)の発芽した種子の個数を見ると、サクラとセイタカの発芽数が約 65 個に対して、ヨモギの発芽数は約 45 個にとどまっており、ヨモギは他の 2 つの検体植物と比べて、発芽抑制効果が強いと考えられる。

6. 実験③ ～2 種類の検体植物の混合による伸長抑制効果の評価実験～

6-1. 目的

2 つのアレロパシー活性を示す 2 種類の検体植物を混合することで、単独時の伸長抑制効果とどのような違いがあるのかを調べる。また、混合時の伸長抑制効果は 2 種類それぞれの単独時の伸長抑制効果の合計値になるかを調べる。

6-2. 準備

プラントボックス、検体植物の葉、選定した被検体植物、粉寒天、純水、透析膜、ラップ、ミキサー、ヘアアイロン、乳鉢

6-3. 方法

- (1) 検体植物の葉をミキサーで細かく刻み、乾燥させたのち、それぞれ 0.25g ずつ測り、単独のものと、2 種類の検体を混合したもの(セイタカ+サクラ、セイタカ+ヨモギ、サクラ+ヨモギ)を 30 秒間乳鉢ですり潰して(図 10)混合したものを透析膜で包む。この時、実験②と同様に透析膜の端をヘアアイロンで加熱し固める。検体はそれぞれ下の(表 3)の内容を 4 つずつ、計 24 個作る。



(図 10) 乳鉢で検体を混合

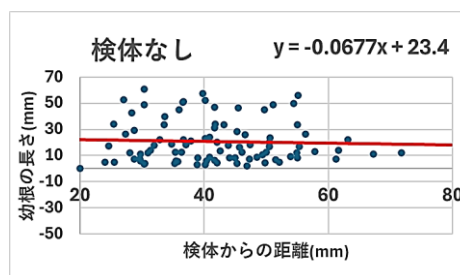
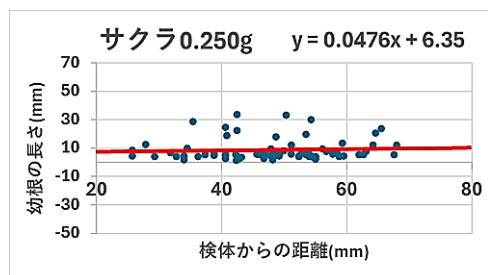
サクラ 0.250g	混合①(セイタカ 0.250g+サクラ 0.250g)
ヨモギ 0.250g	混合②(セイタカ 0.250g+ヨモギ 0.250g)
セイタカ 0.250g	混合③(サクラ 0.250g+ヨモギ 0.250g)

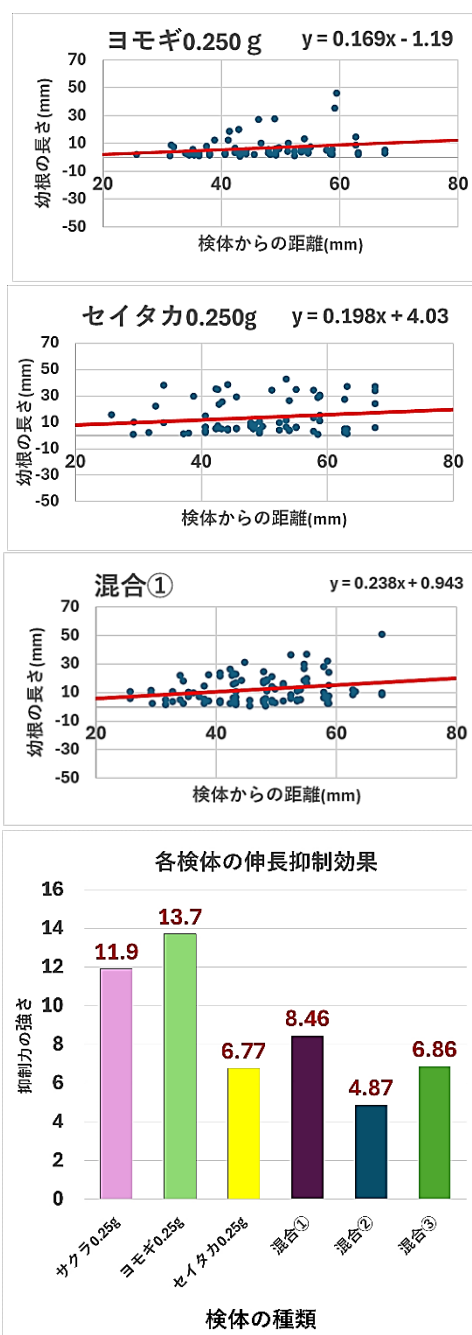
(表 3) 検体の内容

- (2) 以降は 5-3 の実験方法と同様に行う。

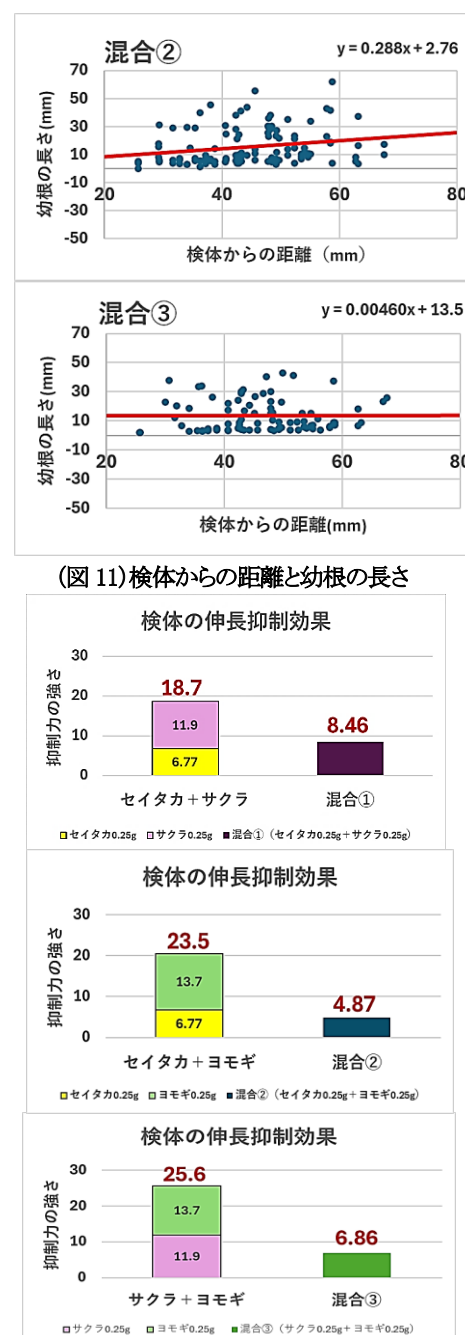
6-4. 結果

実験②と同様に、伸長抑制効果の定量を行う。検体の伸長抑制効果は(表 4)、(図 12)の通りである。(図 11)は検体からの距離 mm(横軸)と幼根の長さ mm(縦軸)の関係をグラフにしたものであり、(図 13)は混合時の伸長抑制効果と、2 種類それぞれの単独時の伸長抑制効果の合計を比較したものである。





(図 12)各検体の伸長抑制効果



(図 13) 単独時の 2 種の和と混合時の
検体伸長抑制効果の比較

	サクラ 0.250g	ヨモギ 0.250g	セイタカ 0.250g
検体による伸長抑制効果(mm)	11.9	13.7	6.77
発芽した種子(個/全 160 種子)	75	70	75

	混合①0.500g (セイタカ+サクラ)	混合②0.500g (セイタカ+ヨモギ)	混合③0.500g (サクラ+ヨモギ)
検体による伸長抑制効果(mm)	8.46	4.87	6.86
発芽した種子(個/全 160 種子)	96	113	83

(表 4) 各検体の伸長抑制効果

6-5. 考察

混合時の伸長抑制効果は、どの組合せにおいても、用いた2種類の検体植物単独時の伸長抑制効果の合計値より小さかった。このことから、2種類の異なるアレロパシー活性を示す植物を混合すると、物質どうしがアレロパシー活性を打ち消し合い、伸長抑制効果を減少させる可能性があると考ええる。特に、ヨモギと組み合わせた場合、著しく伸長抑制効果が減少した。この理由として、サクラとセイタカはアレロパシー物質が各々1つに同定されているが、一方でヨモギに含まれる物質はシネオールや α -ピネンなど複数に及ぶため、複数の物質がサクラとセイタカのアレロパシー物質のアレロパシー活性を低下させる働きをした可能性が考えられる。このことから、アレロパシー活性を示す植物を組み合わせる場合、伸長抑制効果の増減の程度は、植物が単独のアレロパシー物質を持つか、複数持つかによって変化する可能性があると考えられる。

7. まとめ

アレロパシー活性を示す検体植物を混合した結果、単独時と比べて被検体植物の幼根の伸長抑制効果が低下することが明らかとなった。よって仮説は否定され、検体植物を混合するよりも単独で使用した方が外来種駆除において、有用であるということが明らかになった。また、今回の研究では本来生きた植物の根が示すアレロパシー活性の強さを測定するプラントボックス法を、乾燥葉から浸出する物質のアレロパシー活性を判定するサンドイッチ法⁹⁾の手法と組み合わせる実験手法を開発し、その手法の有用性が認められた。

8. 展望

今後はアレロパシー活性のひとつである、他種の植物の幼根の伸長抑制効果を正確に示すため、検体の量を変えて実験を行うことや、寒天ではなく土壌や砂など環境を変化させても今回と同じような実験結果となるのかということを調べていく。また、複数のアレロパシー物質を示すものについては、薬品を利用するなどして各々の物質の効果を確かめていきたい。

9. 参考文献

- 1) 康 高娃 薬用植物のアレロパシー活性の検定と高活性植物トウシキミの作用物質の同定 東京農工大学 学術機関リポジトリ(2019)
- 2) 久布白 隆嗣 サクラの葉による発芽抑制 2〜クマリンの秘密に迫る〜 第45回全国高等学校総合文化祭自然科学部論文集(2021)
- 3) 中村 直紀 根本 正之 セイタカアワダチソウの cis-dehydromatricaria ester 含有量および放出量 日本雑草学会 雑草研究(1996)
- 4) 藤井 義晴 アレロパシー検定法の確立とムクナに含まれる作用物質 L-DOPA の機能 農業環境技術研究報告書(1994)
- 5) 猪谷 富雄 サンドイッチ法による雑草および薬用植物のアレロパシー活性の検索 日本雑草学会 雑草研究 雑草研究(1998)