

「生物」 六甲アイランド汽水池にいるヌマガエル発見

神戸市立六甲アイランド高等学校
自然科学科研究部

2年 西川仁志史 箱崎郷 川崎翔太 山口敦史
松元優貴 志比田侑希 池田鈴姫 内木場寧々
野口さくら 長谷川渚 平松みゆ 瀬藤伊紗奈
1年 鈴木雄大 関口野音

1. 動機及び目的

六甲アイランドの野鳥園(神戸市東灘区向洋町)には、排水路で海と連続している人工の汽水池がある。自然科学研究部では、2017年10月から水質と生き物の調査を行っている。池の塩分濃度は1%程度で汽水に相当する。その活動を行う中で、この池にヌマガエルとその幼生が生息していることを見つけた。今回は、その侵入経路などについて議論する。

2. 方法

水質調査は池の2地点で行い、月に1回、塩分濃度計、簡易パックテスト(COD, PO₄, NH₄, NO₂, NO₃, pH)、溶存酸素計、温度計を用いて、池の水の特性について調査した。

同時に、生き物調査、プランクトン調査を行い池にいるカエルとその幼生を採集し、同定を行った。



図1 調査地点1 図2 調査地点2
(神戸市東灘区向洋町マリンパーク野鳥園)



図3 上から見た汽水池 図4 発見したヌマガエル

3. 結果と考察

①水質

2018年10月から2019年8月までの水質調査では、水温は7℃から35℃であった。塩分濃度は1%程度で汽水に相当した。池は排水路で海と連続しているため海水の流入の度合いにより、塩分濃度が変化していると思われる。CODは、5ppmから50ppmで一年を通して変化している。海水の流入と関係しているならば、塩分濃度と比例するはずだが、関係性が低いことから水質汚染が変化の原

因と考えられる。pHはあまり変化がなく、弱アルカリ性であり富栄養化水の特徴と似ているため有機物が多いためと考えられる。

マリンパーク野鳥園の池の水質調査

調査地点① 2018年10月～2019年8月

	10/26	11/26	12/26	1/28	2/18	3/18	4/25	5/31	6/20	7/26	8/8
水温℃	22.1	14.7	11.3	7.9	11.4	15.4	23.9	25.5	32.1	34.8	34.0
塩分%	1.4	1.47	1.28	1.32	1.35	1.24	1.78	1.52	2.08	0.82	1.24
COD	20	5	10	5	5	12	13	13	5	20	20
PO ₄	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0	0.1
NH ₄	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	10	1.5	0.5	0.5	0.2
NO ₂	0	0.02	0.02	0.005	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0.2	0.02
NO ₃	0	1	1	1	1	0.2	0	0	0	0	1
S	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2	0	0.1
DO	9.3	11.8		11.6	11	10.3	8.3	8.6			7
pH	8	8.5	8.5	8.5	8	9.5	8	8.5	7	7.5	8

マリンパーク野鳥園の池の水質調査

調査地点② 2018年10月～2019年8月

	10/26	11/26	12/26	1/28	2/18	3/18	4/25	5/31	6/20	7/26	8/8
水温℃	21.8	14.7	11.3	7.8	11.5	15.4	24.1	25.8	32.1	35.0	34.0
塩分%	1.39	1.43	1.3	1.28	1.37	1.2	1.74	1.55	1.99	0.79	1.19
COD	13	5	5	5	5	15	12	13	20	50	20
PO ₄	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0	0.1
NH ₄	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.5	0.5	0.75	0.2
NO ₂	0	0.02	0.005	0.005	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0	0.02
NO ₃	0	1	1	1	1	0.2	0	0	0	0	1
S	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2	0.1	0.1
DO	9.2	10.5		11.7	10.9	10.4	8.1	8.6			6.9
pH	7.5	8	9	8.5	8.5	9.5	8	8.5	6.5	8	8

マリンパーク野鳥園の塩分濃度変化

2018年10月 ～ 2019年8月



- ①②では結果があまり変わらない。
- 最大と最小の濃度差は**1.26%**

②生物相

鳥類 60種(年間)、トンボを含む昆虫 6種、両生類 2種、爬虫類 1種、魚類 1種などが観察された。生物名は以下の通りである。

○甲殻類:スジエビ、ケフサイソガニ、○昆虫類:シオカラアトトンボ、セスジユスリカ(幼虫)、クビキリギリリス、ナナホシテントウ、ハラビロカマキリ、ショウリョウバッタ ○両生類:ヌマガエ

ル、トノサマガエル○爬虫類：アカミミガメ○鳥類：カルガモ、カイツブリ、アオサギ、コサギ、バン、ツバメ○魚類：ゴンズイ○珪藻類、マルガタケイソウ○カイアシ類、ヒゲナガケンミジンコ、ソコミジンコ、オナガミジンコ

魚類は昨年まで確認できなかったが、ゴンズイをアオサギが捕まえている様子を地元の中本好子氏が確認している。

③ヌマガエル 学名 *Fejervarya kawamurai*

成体は体長が3~5cm程度で鳴き声はグエツ・グエツ・キャウ・キャウと鳴く。³⁾⁵⁾⁶⁾兵庫県では水田でごく普通に見られる種であるが、市街地で海水の影響を受ける汽水域での生息は、興味深い事例であると思われる。2018年神戸市内では垂水区の河口付近および市街地における記録¹⁾と江の島の海岸にヌマガエルが出現している記録²⁾がある。しかし東灘区六甲アイランドでは報告はない。

今回ヌマガエルを確認した地点は、水質調査を行っている東灘区野鳥園内の調査地点①②の周辺2か所であった。ガマ、その他の水辺の植物が密生している水溜まりと植木の根元付近であった。

2018年4月26日に成体(全長約4cm, 図5)、5月29日に成体を確認した。2019年4月25日(頭胴長3cm, 図7)を採集した。6月20日、9月10日にも確認した。ヌマガエルが生息している理由は、幼体は高温にも耐えられるので、夏は表面水の温度が最高35℃になるマリナーパーク野鳥園の池でも繁殖できるためと思われる。また塩分耐性もあると考えられる。

またヌマガエルの同定は滋賀県立琵琶湖博物館の所有する標本(図6)とも比較して行った。腹面が白いことがヌマガエルの特徴である。

なぜこの汽水池にきたのか仮説をたてた。

- (1) 島内のビオトープから逃げたり、移植された。
- (2) コンテナに混入し、野鳥園に侵入した。
- (3) 大雨の後の海水の塩分濃度が下がった時に、住吉川河口付近から泳いできた。
- (4) 植木・土砂とともに運ばれてきた。

仮説を検証する方法は以下の内容である。

- (1) 島内の学校などのビオトープ調査
- (2) 住吉川河口付近のカエル調査
- (3) マリナーパーク周辺の海水の塩分濃度調査
- (4) ヌマガエルの塩分耐性についての実験



図5 ヌマガエル幼生
(野鳥園で採集)



図6 ヌマガエル幼生
(琵琶湖博物館標本)



図7 ヌマガエル成体(野鳥園で採集)



図8 トノサマガエルと思われる個体
(つぶれた個体、野鳥園西周辺道路で採集)

④トノサマガエル 学名 *Rana nigromaculata*

神戸市においては西区や北区に多く分布している。2002年神戸の身近な生きもの⁴⁾によると、トノサマガエルが住吉川下流・中流付近に分布している記録がある。2019年6月20日野鳥園西の周辺道路でつぶれたカエルの死体(頭胴長約7cm, 図8)を発見した。形態・大きさから判断してトノサマガエルではないかと思われたが、六甲アイランドでは生息は未確認、どこから来たのかは不明である。

4. まとめ

野鳥園の池の生物・水質の調査を通して、汽水池に生息するヌマガエルとその幼生を発見した。ヌマガエルは兵庫県でごく普通に見られる種であるが、市街地で海水の影響を受ける汽水池での生息は、興味深い事例であると思われる。今後も野鳥園での生物・水質の調査・カエルの分布調査を進め、その侵入経路について検証していきたい。

5. 参考文献

- 1) 土井敏男・青山茂・寺岡誠二. 2018. 神戸市垂水区の河口付近および市街地におけるヌマガエルの記録 南紀生物. 60 (1) : 96-100.
- 2) 北嶋円・伊藤寿茂・植田育男. 2018. 江の島の海岸に出現するヌマガエルの塩分耐性について 動物園水族館雑誌. 59 (3). 63-67.
- 3) 前田 憲男・松井 正文. 2018 日本産カエル大鑑. 文一総合出版. 62-63.
- 4) 森川功一ほか. 2002. 神戸の身近な生きもの. 神戸市体育協会. 72.
- 5) 松井正文・関慎太郎. 2016 日本のカエル 分類と生活史. 誠文堂新光社. 182-185.
- 6) 関慎太郎・松井正文. 2018. 野外観察のための日本産両生類図鑑. 緑書房. 93. 187.

生物

尼崎運河のチチブは武庫川から来たのか？

兵庫県立尼崎小田高等学校 科学研究部 生物班
2年長谷千波矢, 荒木岳士, 原田侑季, 田中愛
松岡菜, 森彩花, 篠原律貴, 奥山浩喜
1年新谷翼芽, 阿部凌大

1. 動機及び目的

チチブとヌマチチブは汽水域と淡水域に生息する両側回遊魚であり、形態的に酷似している。アロザイム分析により明確な違いがあるため日本列島において広く分布を重複させた明らかな「別種」である (Mukai *et al.* 1996)。私たちの先輩は核遺伝子により両種が判別できることを示し、アロザイム分析に代わる、核遺伝子の RFLP 法によるチチブとヌマチチブの種判別方法および雑種判別方法を開発した (谷 2019)。

尼崎市の西を流れる武庫川河口の汽水域にはチチブが生息する。また尼崎市の南部に位置する尼崎運河にもチチブが生息する。尼崎運河に生息するチチブは新田開発に伴い、明治から昭和初期にかけて武庫川から移入して尼崎運河に棲みつき、現在も尼崎閘門の開閉に伴い運河と大阪湾を行き来していると考えた。このことから、尼崎運河のチチブと武庫川のチチブは遺伝的に交流があり、同じ遺伝子プールに属すると考えて、次のような仮説を立てた。『DNA のハプロタイプとその割合は武庫川と尼崎運河で有意な差は見られない。』このことを検証するため、今回の実験を行った。

2. 方法

2016 年 10 月から 2018 年 11 月 (表 1) にかけて、チチブを武庫川 (図 1: ②, ③) において 8 個体、尼崎運河 (図 1: ①) において 15 個体を採集した。採集個体その場で 70% エタノール水溶液を用いて固定・保存し、学校に持ち帰り文献 (中坊 2013) および向井氏からの伝聞をもとに形態的特徴からチチブを同定した。

体側左側の筋肉を一部切除し、100% エタノール中に保存した。切除した筋肉から DNA 抽出を行った。ミトコンドリア DNA (以下、mtDNA) の cytochrome b (以下、cytb) 領域および核 DNA の G protein-coupled receptor 85 (以下、gpr85) 領域の増幅の際には、谷ら (2019) を参照した。PCR 産物は北海道システムサイエンス社に委託して上流と下流からもしくは同一方向から 2 回、サンガー法による塩基配列を解読し、同じ結果が出ることを確かめた。データは MEGAX および DNAsp を用いてハプロタイプを確定した。

形態的に同定が難しい個体 (個体番号 160032, 180111) については核 DNA gpr85 領域のシーケンス結果をもとに系統樹を作成し、チチブの識別を行った。またシーケンスがうまくいかなかった個体 (個体番号 18011

8) については RFLP 法による識別を行った (谷 2019)。

3. 結果

mtDNA の cytb 領域 (619bp) には 17 箇所の変異が見られた。また 8 個のハプロタイプ (H1 から H8) が見られた (図 2)。最も個体数の多かった H1 (n=7) はすべて尼崎運河産の個体で占められた。H2 (n=1) と H5 (n=1) は尼崎運河のみで占められた。H7 (n=3) と H8 (n=1) は武庫川産個体のみで占められた。武庫川産と尼崎運河産のハプロタイプの割合は一致していなかった (図 3)。

核 DNA gpr85 領域 (651bp) には 2 箇所の変異が見られた。ダブルピークがそれぞれの変異箇所で見られた (表 3)。サンガー法は単一の配列しか読むことができないが、今回調べた個体では 1 個体につき、ダブルピークが 1 箇所以下であったので、ダブルピークが見られた個体 (個体番号 165051・180122) のデュプロタイプはヘテロとして扱った。個体番号 165051 は『AB』、180122 は『AC』とした。その他の個体は『AA』もしくは『BB』であった (表 3)。gpr85 領域では 3 個のハプロタイプ (A・B・C) が見られた。

尼崎運河産個体 (n=13) の各ハプロタイプの割合 (%) は『A : B : C = 88.5 : 7.7 : 3.8』であった。武庫川産個体 (n=7) の各ハプロタイプの割合 (%) は『A : B = 92.9 : 7.1』であった (図 4, 表 3)。尼崎運河産個体の割合を期待値として武庫川産個体のハプロタイプの割合についてカイニ乗検定を行った。その結果 χ^2 値 = 4.046 となった。自由度 2, 有意水準 0.05 の限界値 = 5.99 より小さくなり、尼崎運河産個体と武庫川産個体の gpr85 領域のハプロタイプの割合は同等であるという仮説は棄却されなかった。

4. 考察

核 DNA gpr85 領域ではハプロタイプの割合がほぼ同じであった (図 4)。核 DNA はミトコンドリア DNA に比べて変異が遅いので、cytb 領域の結果とは矛盾しない。

ミトコンドリア DNA cytb 領域ではハプロタイプの割合が異なった。尼崎運河のチチブのすべてが武庫川から移入してきたとは考えにくい。チチブは両側回遊魚であるにもかかわらず、武庫川と尼崎運河は異なる遺伝子プールを形成している可能性が高い。このことは尼崎閘門は船舶の航行があるにもかかわらず、チチブの個体群を隔離している可能性が高いと思われる。今後は採集個体数を増やし、周辺河川の調査も行いたい。

謝辞

ご指導いただいた、岐阜大学地域科学部 向井貴彦先生、兵庫教育大学教科教育実践開発専攻・理数系教育コース 笠原恵先生、ならびにチチブ類を提供くださった徳島大学 山中亮一先生に感謝いたします。

参考文献

中坊徹次編, 日本産魚類検索 全種の同定 第三版, 東海大学出版会, (2013)

Mukai Takahiko, Torao Sato, Kiyoshi Naruse, Kazuo Inaba, Akihiro Shima, Masaaki Morisawa, Genetic Relationships of the Genus *Tridentiger* (Pisces, Gobiidae) Based on Allozyme Polymorphism. *Zoological Science*, 13(1), 175-183, (1996)

谷 良夫, 林 亮太郎, 高田 一翔, 大路 紘裕, 入江 祐樹, 今村 拓未, 早川 祐, 向井 貴彦, 核 DNA マーカーを用いたチチブとヌマチチブの種判別, 魚類学雑誌, 66(1), 43-52, (2019)



図 1. 尼崎運河および武庫川 ①, ②, ③は採集地を示す(表)。Pはポンプ場, Gは水門。

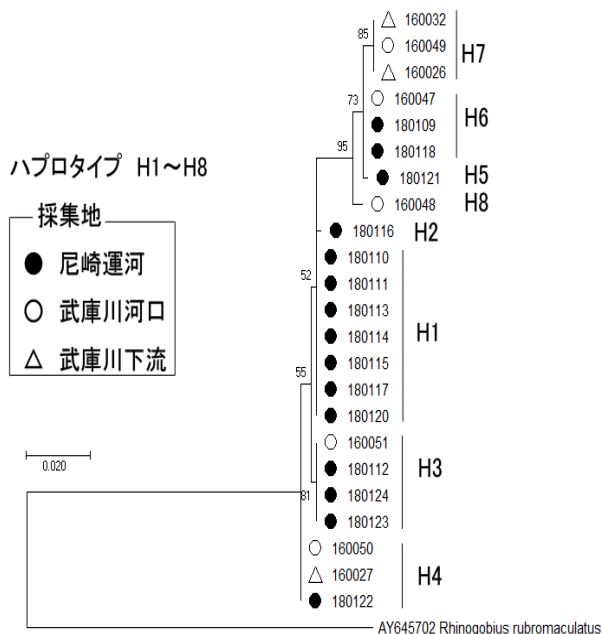


図 2. cytb 領域(619bp)の系統樹 Tamura-Nei モデル Maximum Composite Likelihood (MCL) アプローチにより, 1000 回試行して作成された。分岐点の数字はブートストラップ値。各データの 6 桁の数字は標本番号。

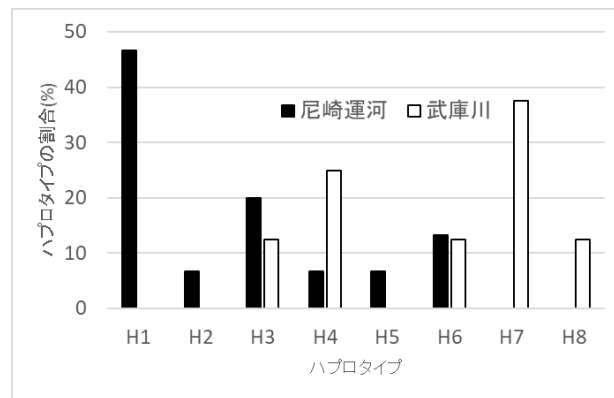


図 3. cytb 領域(619bp)のハプロタイプの割合

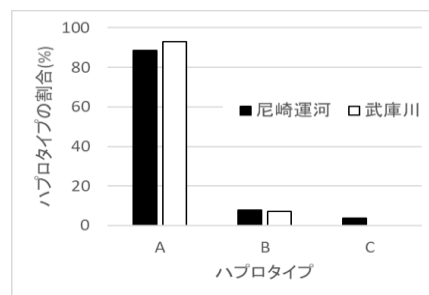


図 4. 核 DNA gpr85 領域(651bp)のハプロタイプの割合

表 1 標本採集地

採集地	採集年度	個体数
尼崎運河 ①	2018年	15
武庫川河口 ②	2016年	5
武庫川下流 ③	2016年	3

採集地の右横の番号は図 1. 地点番号と対応する。

表 2 mtDNAcytb 領域(619bp)の変異箇所

	26	107	113	140	206	221	233	308	317	323	398	398	401	428	452	542	617
H1	A	T	C	A	C	A	G	C	G	G	A	G	G	A	C	C	C
H2	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H3	.	.	A	C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H4	.	.	.	C	.	.	A	.	.	A	.	.	.	.	.	.	.
H5	.	.	.	.	T	.	.	T	A	.	G	A	A	.	T	.	A
H6	.	.	.	.	T	.	.	T	A	A	G	A	A	.	T	.	A
H7	.	C	.	.	T	.	.	T	A	A	G	A	A	G	T	.	A
H8	.	.	.	.	T	G	.	T	.	A	G	.	A	.	T	T	A

左端の記号はハプロタイプ。上端の数字は変異箇所。

表 3 核 DNAgpr85 領域(651bp)の遺伝子型

標本番号	変異箇所		デュプロタイプ	ハプロタイプ		
	7	304		A	B	C
160026	G	G	AA	2		
160027	.	.	AA	2		
160032	.	.	AA	2		
160047	.	.	AA	2		
160049	.	.	AA	2		
160050	.	.	AA	2		
160051	R	.	AB	1	1	
180109	.	.	AA	2		
180110	.	.	AA	2		
180111	A	.	BB		2	
180112	.	.	AA	2		
180113	.	.	AA	2		
180114	.	.	AA	2		
180115	.	.	AA	2		
180116	.	.	AA	2		
180117	.	.	AA	2		
180120	.	.	AA	2		
180121	.	.	AA	2		
180122	.	R	AC	1		1
180123	.	.	AA	2		

ハプロタイプの下に数字は個数

生物

エノキ・ムクノキ実生調査 - 鳥がつくる学校の森

兵庫県立西宮高等学校 自然科学部

2年西原宏騎, 日比若葉, 山根史也

1年伊藤健人, 大平永, 門脇健太, 柴田航平

1. 研究の目的

本校は、六甲山系甲山に隣接した都市部に位置している。都市化の進んだ阪神地域の中ではあるが、校内では長く保護された樹木が生育するなど比較的緑の多い景観が維持されている。

なかでも、理科棟周辺の植物の多い緑地を観察すると、多くの実生が生育しており、特にニレ科のエノキやムクノキが非常に多く確認された。これら2種について、分布及びその要因を明らかにすることを目的とし研究を行った。

2. 調査の方法

(1) 実生調査

エノキ及びムクノキ高木の残存するエリアを中心とし、エノキおよびムクノキの実生について、校内に分布するすべての個体の高さと分布位置を調べ記録した。面積はエノキ及びムクノキの高木からそれぞれ半径 50m 以内である。調査は 2019 年 5 月 8 日、23 日、24 日に行った。

(2) フロラ調査

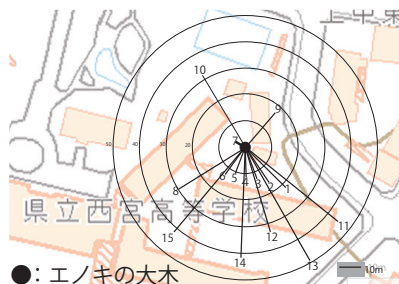
学内の生物棟周辺のフロラ調査を、実生調査と同エリアにおいて 2019 年 3 月 8 日、18 日に行った。出現する全ての種名を記録した。

(3) 鳥の食性調査

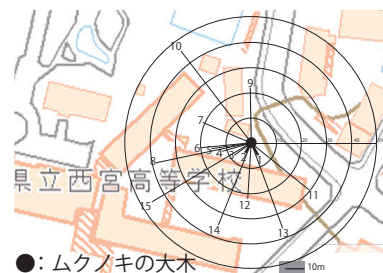
平川ら(2013)による本校の野鳥調査の結果から校内および周辺緑地の出現種と出現日数を参考に校内の植生出現種の食性を調べ、校内植生との関係を調べた。

3. 結果および考察

地図上で大木からの距離別(10m 区分)に解析を行った。15 地点に区分された。このエ



リア以内には中心としたエノキ・ムクノキの高木以外の同種の高木は生育していなかった。



(1) 実生の分布個体数と大木からの距離の関係

エノキは、大木から 30m 以内の個体数が非常に多いのに対し、距離が 40m を超えると極端に分布がなくなる。ムクノキも、大木からの距離が 10m 以内においては、極端に実生が多い。いずれも、中心とした大木からの距離が近ければ近いほど、実生数は非常に多く、一方で距離が遠くなるにつれて実生数が減少する。特に中心からの距離 10m 以内では、大木からの直接の種子散布が要因と考えられる。

しかし、大木の枝張り約 15m(大木から半径 10m 以内)を超えて分布する実生については、他の要因による可能性も高いと考えられる。

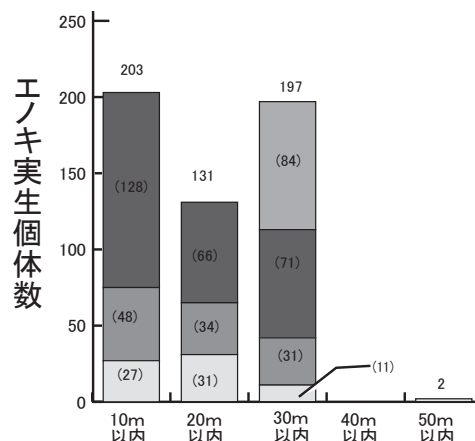


図 1. エノキの実生個体数と大木からの距離の関係

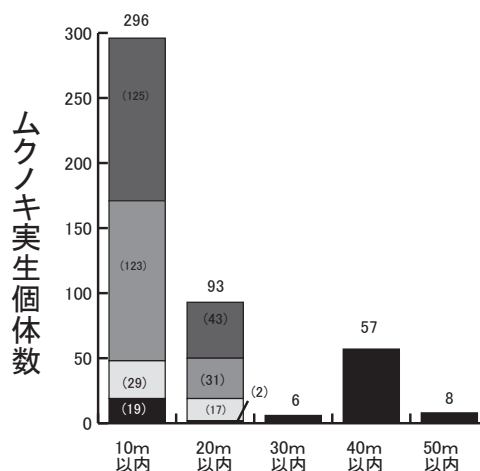


図 2. ムクノキの実生個体数と大木からの距離の関係

(2) 実生の高さと大木からの距離の比較

エノキ実生は母樹周辺の高さが比較的低く、その他の高さは、ほぼ同じであった。ムクノキは、すべての範囲で高さに大きな差は無かった。

(3) 大木からの距離が離れた地点に分布する実生

エノキ、ムクノキともに、大木からの距離が 20 m 以上離れているにも関わらず、その枝張りを超えて分布している実生個体が多くある部分があった(図1、図2)。

このエリアには、ほかのクスノキやソメイヨシノなどといった他の高さ 10m を超える高木が生育している。これらの大木には何らかの理由で鳥が飛来し、それら鳥の糞などによる散布がエノキやムクノキの実生分布の要因になっていると考えられる。

(4) 鳥散布型の植物の分布について

フロラ調査で確認できた出現種の散布型を調べるとエノキ、ムクノキをはじめ、クロガネモチ、イヌビワ、クチナシ、クスノキ、ヒイラギなどといった鳥散布型の植物が多く、全体の出現種の 42% を占めていた(図3)。特に、これらの種は鳥による里山や、都市の森への分布が多く報告されている種であった(石田他, 2008)。この結果からも、鳥散布が活発に行われていることは明らかである。調査エリア内において、この鳥による植物の分布の影響は大きいと考えられる。

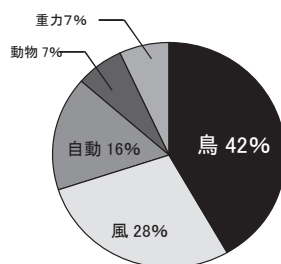


図3. 調査エリアにおける出現種の散布型別の比較

(5) 鳥類相の食性について

校内に出現した鳥類の食性を調べると、果実を好む食性や雑食であった。さらに、年間を通して学内で出現日数が多く観察されるメジロ、ヒヨドリ、シジュウカラはエノキやムクノキなどの果実を好む果実性の食性であった(図4学内における鳥類の種類と出現日数; 平川他 .2014 改編)。この結果からも、学内の実生の分布には、これらの果実を好む鳥の活動が大きく影響していると考えられる。

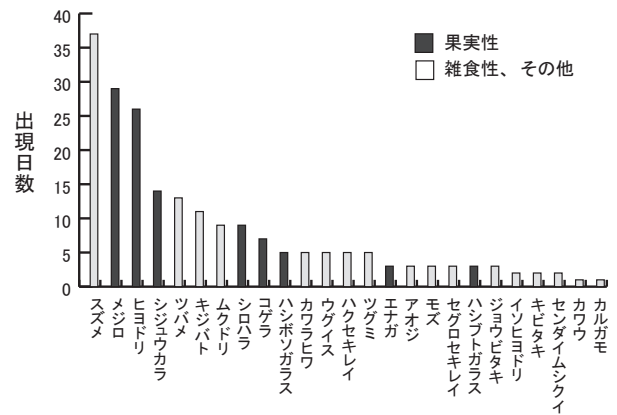


図4. 学内における鳥類の種類と出現日数



図5. 果実性と雑食性・その他鳥類の出現日数

4. まとめ

以上の結果により、エノキ、ムクノキの大木周辺には、エノキ、ムクノキの実生個体が多く生育していることが分かった。さらに、この分布には母樹と想定される大木からの散布だけでなく、これらを食性とする鳥の影響が多いことが明らかとなった。また、周辺の他の大木に飛来した鳥の活動によって、さらにエノキ、ムクノキの分布が広がっていることも明らかとなった。

今後は、さらに調査エリアを広げ、よりデータを収集できるよう調査を継続したい。

5. 謝辞

西宮市立北六甲台小学校 学力向上支援員 高比良 響氏には、今回の研究において研究・調査の計画、フィールド調査及び解析の一連に渡り、広く有益な御助言や御協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 平川直樹他, “本校と周辺緑地における野鳥の調査結果と考察”, 兵庫県高等学校総合文化祭(2014)
- 2) 石田弘明他, “都市域の孤立化した夏緑二次林における緑化・園芸樹木の逸出状況とその特徴”, 保全生態学研究, 13(1), 1-16, (2008)

生物

ミドリシジミに帰巢本能はあるのか

兵庫県立川西明峰高等学校 理科部

3 年 大西裕, 加藤大夢, 上野陽世,
神出典知, 國貞篤樹, 徳永大輔

1 年 後藤広行

1. はじめに

私たち明峰高校理科部では, 学校の傍の石切山でミドリシジミの研究をしている。ミドリシジミはハンノキという樹木の周りで飛び交っている。そのハンノキの周りで飛び交う様子を見て, ミドリシジミは自分が生まれたハンノキから移動しないのではないかという疑問を抱き, その疑問を究明するために, 2017 年から 2019 年まで調査を行った。

2. ミドリシジミについて



写真 1 ミドリシジミ

シジミチョウ科に属する開帳 30 mm~40 mm 程度のチョウ。北海道~九州に分布しており平地の川原~山に生息している。活動時期は, 6~7 月だが, 寒冷地では 9 月まで活動している。

3. ハンノキについて



写真 2 ハンノキ

カバノキ科に属し, 高さ約 20m, 葉の長さは 6cm~13cm 程度。湿地, 川原, 山地の谷沿いの斜面, 岩礫地に生息している。

4. マーキング調査について

調査のために, 生物の体の一部にマーカ―などで番号やアルファベットを記入することをマーキングという。マーキング調査とは, 次にそのチョウを捕まえたとき, いつどこで捕まえられたかの情報を知ることが出来る。



写真 3 マーキング調査の様子

5. 調査場所について



写真 4 マーキング調査場所

調査場所は宝塚医療大学の近くにあり, 写真の A 地点~C 地点で調査を行った。

6. 2017・2018 年の調査結果

2017 年は, 石切山の中でミドリシジミが特に多く生息する A 地点と B 地点で調査を行い, 270m は移動しないと考えた。移動距離を短くすれば移動するかもしれないと考え, 2018 年は両地点がさらに近く 100m の距離にある B 地点と C 地点で調査を行った。どちらの年も調査地点でマーキングされたミドリシジミが同じ場所で再捕獲されたため, ミドリシジミは誕生したハンノキから移動しないと考えた。



写真5 マーキングされた個体（2017年）
A地点（赤色）B地点（黒色）〈2017年〉



写真6 マーキングされた個体（2018年）
B地点（黒色）C地点（青色）〈2018年〉

	標識された個体	再捕獲された個体数
2017年A地点	23個体	2個体
2017年B地点	17個体	5個体
2018年B地点	40個体	16個体
2018年C地点	13個体	2個体

表1 2017・2018年の調査結果

7. 2019年の調査方法

2017年と2018年の結果、ミドリシジミは生まれたハンノキを移動しないと考え、距離のある2地点のA地点とB地点で行うことにした。A地点で採取したミドリシジミには赤色、B地点で採取したミドリシジミは黒色でマーキングする。A地点でマーキングしたミドリシジミはB地点へ、B地点でマーキングしたミドリシジミはA地点へ移動させ、本当に移動しないかを確認する。

8. 調査結果

A地点	
標識された個体	再捕獲された個体番号
36個体	無し

B地点	
標識された個体	再捕獲された個体番号
20個体	A2・4・7・8・ 9・11・13・16・18・20・27・30・ B9・18

表2 2019年の調査結果

表より、A地点でマーキングし、B地点に移動させたミドリシジミのうち、13個体はB地点で再捕獲されたが、A地点では1個体も再捕獲出来なかった。B地点でマーキングし、A地点に移動させたミドリシジミのうち、1個体もA地点で再捕獲されなかったが、2個体がB地点で再捕獲された。



写真7 B地点で再捕獲された B9

9. 考察

結果から2つのことが考えられる。

1つ目は、B地点でマーキングし、A地点へ移動させたミドリシジミのうち、2個体がB地点で再捕獲されたため、B地点のミドリシジミには帰巢本能（ミドリシジミには巣に相当する物はないが、今回の場合はミドリシジミが生まれた場所を巣と仮定する）がある可能性がある。

2つ目は、B地点のミドリシジミはA地点では再捕獲されなかったため、B地点のミドリシジミはA地点のテリトリー争いにたまたま負けて、戻った可能性がある。

10. 今後の展望

ミドリシジミは、誕生したハンノキから離れないと考えてきたが、自分の誕生したハンノキに戻る個体がいいたため、帰巢本能もしくはテリトリー争いがある可能性がある。それを研究するために来年もまた、ミドリシジミの調査をしていきたい。

11. 参考文献

「日本の昆虫 1400 ①チョウ・バタ・セミ」高井幹夫他著、文一総合出版、2013年
<https://kotobank.jp/word/%E3%83%8F%E3%83%B3%E3%83%8E%E3%82%AD-862678>

ミドリシジミのマーキング調査（2017）

ミドリシジミのマーキング調査（2018）

生物

ヒドロキシ尿素を用いた細胞周期測定を試み

兵庫県立篠山鳳鳴高等学校 自然科学部
1年 井口翔矢 岩島早苗 青野寛大

1. 動機及び目的

われわれは、一昨年から光と体細胞分裂の関係に着目して研究を行い、光照射によって細胞周期がG₁期で停止することを昨年度発表した。しかし、この研究では細胞周期全体の時間や、間期(G₁期・S期・G₂期)と分裂期(M期)の各ステージの時間を資料集⁽¹⁾の記載に頼っており、われわれが使用したタマネギの品種(タキイ交配OL黄)について測定しておらず、その点が不十分であった。そこで今回、これらの時期を実際に測定してみることとした。

この実験を行うに当たって、細胞周期をあるステージで止めて、同調分裂の状態にする必要がある。このための薬剤を検討し、ヒドロキシ尿素を用いることとした^{2) 3)}。この薬剤はDNA合成を阻害し、細胞周期をS期で止めるはたらきがある。すると細胞周期はS期に入ることができず、G₁期の最後で集積し、同調的な細胞周期が誘導される。そのため、M期を集積して核型分析を行うために用いられている。また毒物・劇物に指定されておらず、比較的安全に取り扱いができる²⁾。

2. 方法

(1) ヒドロキシ尿素(薬剤)処理

湿らした濾紙を敷いたシャーレにタマネギ種子を暗黒下24℃恒温で54時間置き発芽させた。そのシャーレにヒドロキシ尿素水溶液を加えて、濃度1mM/molで18時間浸漬処理をした。その後30分間流水で薬剤を洗浄除去し、次いで薬剤が入っていない湿らした濾紙を敷いたシャーレに発芽種子を移して再び暗黒化に置き、発芽を継続させた。

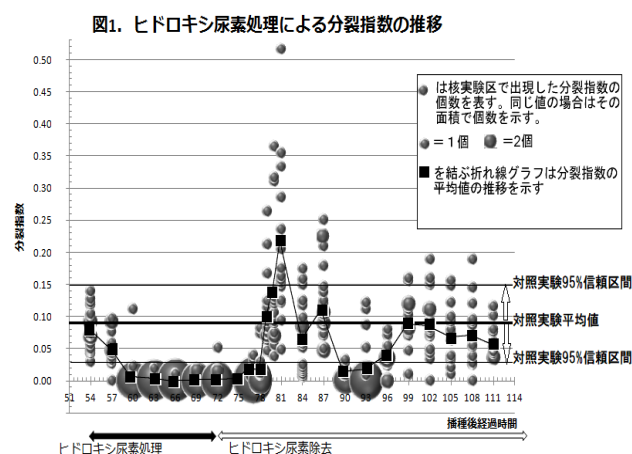
(2) 根端細胞の計測方法

上記の方法で処理した根端を一定時間ごとに採取してファーマー液で固定し、70%エタノールに浸漬して保存した。プレパレートは資料集⁽¹⁾に記載されている塩酸解離→押しつぶし→酢酸オルセイン染色の手順で作成し、検鏡した。1つの根端の検鏡像で最も細胞分裂が盛んで、重なりが少ない部分を1ヵ所選び、画角200μm×275μmで写真に記録した。その写真をもとに間期とM期(前期・中期・後期・終期)の細胞数を計数し、分裂指数(全細胞数に対するM期細胞の割合)を求めた。なお一つの処理区で記録するプレパレートは概ね15枚とした。

3. 結果

図1は各処理区で測定されたそれぞれの分裂指数を分散図で示し、それぞれの処理区の分裂指数の平均値を折れ線グラフで示したものである。グラフの横軸の値は種子播種後時間を示し54hが薬剤処理開始時、72hが薬剤洗浄除去時である。また、昨年の研究による薬剤処理をしない対照実験の分裂指数の平均値(0.089)とその95%信頼区間も同時に示した。

このグラフでは薬剤処理後6時間で分裂指数はほぼ0となる。また薬剤洗浄除去後9時間で分裂指数は極大となり、その後極端に低下するが、27時間後に再び増加する。



4. 考察

我々はこの結果から以下のような考察を行った。

まず薬剤処理をする前は図2のように、分裂周期の各時間に均等に細胞が位置して、細胞周期が進行していると考える。

薬剤処理を行うと図3のようにS期のみ進行が抑えられ、その結果図4のようにM期の細胞が減少する。実験では薬剤処理後3時間で分裂指数が0.05に減少しており、薬剤処理開始時G₂期のはじめに位置した細胞がM期に入ったとみられ、G₂期は3時間未満と推定される。また6時間後の分裂指数がほぼ0となり、薬剤処理開始時G₂期のはじめに位置した細胞がM期をすべて通過した後とみられ、M期も3時間未満と推定できる。

薬剤を洗浄除去すると、5時間後に分裂指数は0.02程度に回復した。これは図5でS期の最後で停止していた細胞が図6のようにM期に入ったと推定できる。しかしこれではG₂期は5時間程度となり、薬剤処理で推定された3時間未満とは異なる。この理由としては薬剤が完全に除去されておらず、2時間程度薬剤の効果が続いていたと考えられる。

薬剤洗浄除去後、9時間で分裂指数は極大となり、図7のようにG₁期の最後で停滞していた細

胞が、細胞周期が再開して分裂期に入ったと推定される。このことから薬剤効果が2時間、G₂期が3時間とするとS期は4時間程度と推定される。

その後分裂指数が再び減少し、図8のような状態になったと推定できる。洗浄除去後27時間経過すると再び分裂指数が0.1近くになり、図9のように多くの細胞が2回目のM期を迎えたと推定される。これで図6から図9に細胞周期が一周回ったと考えられ、実験間隔が3時間おきのため詳しくは決定できないが、細胞周期全体の時間は22時間未満と推定できる。なお当初は薬剤除去後、分裂指数が極大となる時期を2カ所測定して細胞周期を推定しようと考えたが、2回目の分裂指数極大が観察できなかった。原因として、2回目のM期に相当する時間帯の観察が3時間おきで、分裂指数の極大を見逃し可能性がある。また、薬剤処理後の分裂指数の分散が大きいように、個体ごとに薬剤の効果や細胞周期にばらつきがあり、2周期目では細胞周期の同調性が弱まったとも解釈することができる。

この実験から、細胞周期を22時間程度、G₂期3時間程度、S期4時間程度と推定した。また昨年度の研究で薬剤無処理の場合、分裂指数が0.089というデータを出したので、細胞周期22時間にこの値をかけてM期の長さは2時間程度と決めることができる。また細胞周期22時間からM期、G₂期、S期のそれぞれの時間を引くとG₁期が求められ、その値は13時間程度となる。まとめるとG₁期13時間、S期4時間、G₂期3時間、M期2時間と荒く推定される。しかし資料集¹⁾では、G₁期10時間、S期7時間、G₂期3時間、M期2時間で、われわれの値よりS期が長く、G₁期が短い。これについてヒドロキシ尿素の作用が完全ではなく、実際にはS期の中でも徐々に細胞周期が進行するのではないかと思われ、今後調査を行いたい。

図2. ヒドロキシ尿素処理前

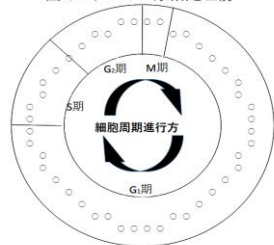


図3. ヒドロキシ尿素処理開始

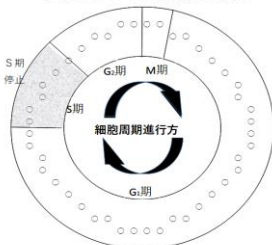


図4. ヒドロキシ尿素処理6h後



図5. ヒドロキシ尿素処理終了

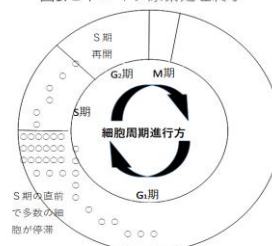


図6. ヒドロキシ尿素処理終了後5h

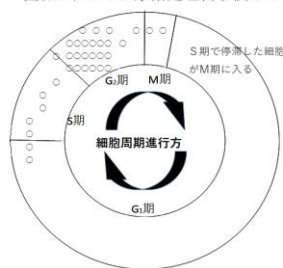


図7. ヒドロキシ尿素処理終了後9h

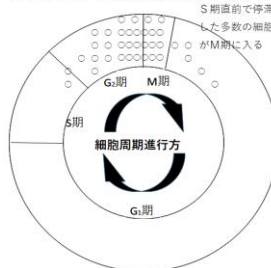


図8. ヒドロキシ尿素処理終了後18h



図9. ヒドロキシ尿素処理終了後27h

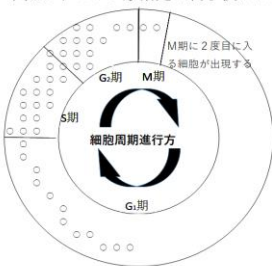
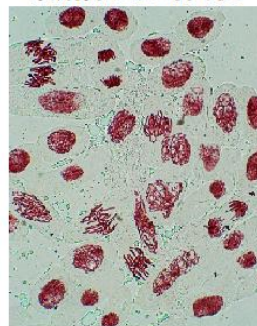
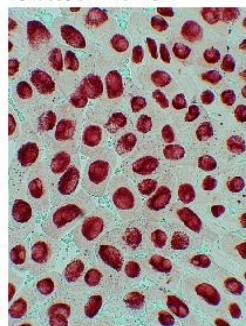


図10. 分裂指数の低い検鏡像と高い検鏡像
薬剤除去直後 薬剤除去9時間後



5. 反省と課題

一部を除いて3時間間隔で試料を採取したが、それでは正確な細胞周期を計ることができなかった。必要な部分について、今後1時間おきのデータを採取し、より正確な判定を行いたい。

なお、この手法によって同調分裂を誘導すると図10右図のような分裂指数の高い検鏡像が得られるので、授業での体細胞分裂の観察実習にも応用が可能である²⁾。

6. 参考文献

- 1) 第一学習社編 七訂版スクエア最新図説生物 neo (2019) 76~78
- 2) J. Dolezel, J. Cihalikova, J. Weiserova, S. Lucretti (1999). Cell cycle synchronization in Plant root meristems. Methods in Cell Science 21:95~107
- 3) 佐野 史. (2012) 体細胞分裂観察実験への細胞周期同調手法の導入 群馬大学教育実践研究 第29号 51~55

生物

プラナリアの外来種はどこまで広がるか2 ～在来種ナミウズムシの形態変化～

兵庫県立三田祥雲館高等学校 科学部生物班
2年 井上和奏 久保田空
1年 村岡日和

1 研究の動機及び概要

三田祥雲館科学部生物班は、プラナリアの外来種が全国的に広がりつつあることに興味をもち、その現状を知るため、2017年度より三田市武庫川水系でプラナリア類の分布の調査を始めた。今年度は、その調査を武庫川本流の河口まで広げ、武庫川本流における外来種の侵入の現状を明らかにした。また、調査を進める中で、在来種と外来種が共存する場所が見つかり、そのような場所の在来種は、在来種単独で生存している場所のものと比較し、色や大きさに異なる特徴をもつことに気付いた。そこで、今回の研究では、なぜそのような変化が生じるかを明らかにすることを試みた。

2 研究の対象とするプラナリア類

〔在来種〕

① ナミウズムシ *Dugesia japonica*

〔外来種〕

② アメリカナミウズムシ *Girardia tigrina*

③ アメリカツノウズムシ *Girardia dorotocephala*

3 プラナリアの分布を調べる野外調査

(1) 方法

2018年度から引き続き、三田市を中心とした武庫川水系の計65ヶ所（2018年4月～2019年9月）で、3種のプラナリア類の生息状況と、それぞれの採集地点のCOD、電気伝導度（ED）、水温を調べた。プラナリアは、川の長さ5mの範囲を3人で10分間採集し、種ごとに計数した。

(2) 結果

調査結果をQGIS（地理情報システム）を用いて、地図上で分析した（図1）。地図の背景に「国土交通省平成26年度土地利用種別地図」を重ね、「森林」、「農用地」、「建物・道路」を色で区別して表示した。また、採集時の水温の範囲を種ごとにまとめた。（表1）。

(3) 考察

・「建物・道路」すなわち人の生活圏内に外来種が広がっている。2種の外来種のうち、アメリカツノウズムシの方が分布を拡大している。
・外来種2種ともに、30℃を超える水温で見つかっており、特にアメリカツノウズムシは高温

への耐性が非常に高いことがわかる。

・山間部の「森林」「農用地」利用の区域に、在来種ナミウズムシが多く生息している。このような場所で、外来種は見つからなかった。
・在来種と外来種が共存している場所が数ヶ所見つかった。このような場所の在来種ナミウズムシは、山間部のものに比べて、黒っぽく肉厚であり、形態が大きく異なっている。

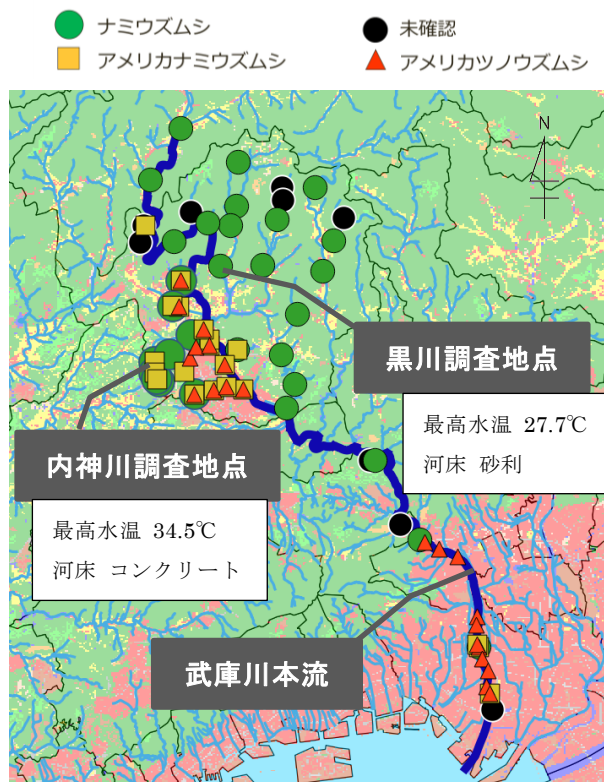


図1 武庫川水系における3種のプラナリア類の分布

表1 採集時の水温 最低と最高(℃)

	採集時の水温(℃)	
	最低	最高
ナミウズムシ	14.2	25.3
アメリカナミウズムシ	11.3	31.5
アメリカツノウズムシ	7.4	34.9

4 在来種ナミウズムシの形態変化

(1) ナミウズムシの形態変化

3(3)に記した形態の異なるナミウズムシについて、解析を行った。色の違いを明らかにするため、照度などの条件をそろえて撮影した画像から、画像スポイトツールを用いてRGB値を求め、3つの値を合計した数値を次の3グループのナミウズムシで比較した。

- A 外来種と共存する場所のナミウズムシ
(三田祥雲館高校裏の内神川で採集)
- B 在来種だけで分布するナミウズムシ
(三田市北東の山間部にある黒川で採集)
- C 実験室で飼育を続けているナミウズムシ

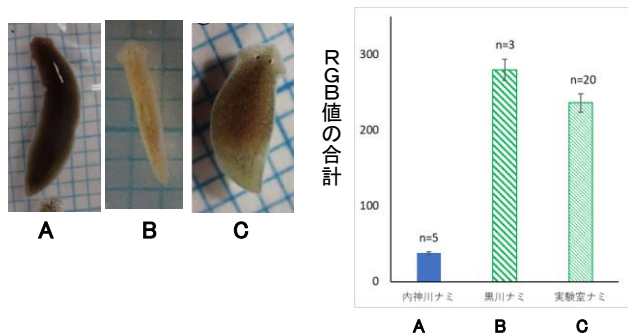


図2 3つのグループのナミウズムシの色の比較

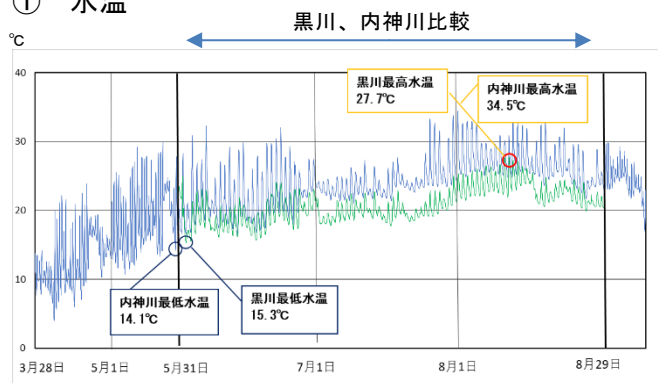
図2より、Aは明らかに他のナミウズムシより黒っぽいことがわかる。そこで、これらの個体は本当にナミウズムシなのか、それならば、なぜこのような変化が生じるのかを明らかにするため、2019年4月より、図1に示す内神川と黒川で継続して調査を行った。

(2) 調査方法

それぞれの川の水中に、Thermo Recorder「おんどとり」を固定し水温を記録した。水質に関して、電気伝導度は堀場コンパクト電気伝導率計、COD、その他イオン等は共立理化学研究所パックテストを用いて測定した。また、3-(1)と同じ方法でプラナリアの計数を行った。採集した個体は持ち帰り、実験室で写真を撮影し、RGB値を求めた。

(2) 調査結果

① 水温

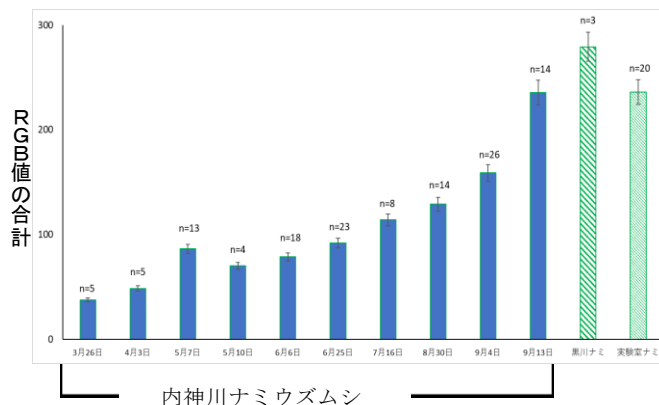


② 水質とプラナリア類の個体数

内神川	COD (mg/L)	ED (mg/L)	硬度 (mg/L)	pH	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	ナミウズムシ (mg/L)	アメリカ ナミウズムシ	アメリカ ツノウズムシ
4月3日	11	89						48	100以上	
4月27日	7	149						96	100以上	
5月14日	7	194						51	100以上	
6月18日	8以上	163	30	7.8	0.3	0.2	0	55	100以上	
6月28日	8以上	166	20	7.7	0.3	0.2	0	100以上	100以上	
7月18日	8以上	152	30	7.3	0.2	0.2	0	22	100以上	
7月24日	8以上	143	30	7.3	0.2	0.2	0	51	100以上	
8月10日	8以上	156	50	8	0.2	0.2	0	26	100以上	
8月31日	8以上	152	7.6	0.02	0.2	0	4	100以上		
9月3日	20	113	30	7.3	0	0.2	0	20	100以上	2
9月20日	10	150	8		0.2	0	2	100以上	11	

黒川	COD (mg/L)	ED (mg/L)	硬度 (mg/L)	pH	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	ナミウズムシ (mg/L)	アメリカ ナミウズムシ	アメリカ ツノウズムシ
6月1日	0	66	10	6.3	0.2	0.2	0	21	0	0
8月31日	4	60	10	7.1	0	0	1	4	0	0

③ 内神川のナミウズムシの色の変化



(4) 考察

- ①水温 内神川は、河床がコンクリートからなっており、水深も浅いため1日の水温の幅が黒川に比べて大きく、最高水温も高かった(34.5℃)。
- ②水質 内神川は黒川に比べてCOD, ED, 硬度は高い傾向にある。一方で、PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₃⁻については、内神川と黒川で傾向に差は見られなかった。
- ③プラナリア類の変化 内神川のナミウズムシの個体数は8月末から減少の傾向にある。また、3/26から現在にかけてRGB値が高くなっており、黒川の個体に値が近づいている。水質は5月～9月にかけてほぼ変化していないため、これらの変化は水温が関係していると考えられる。アメリカナミウズムシについては、個体数や色に変化は見られない。内神川において、2種のプラナリアは同じ石に生息していることから、アメリカナミウズムシがナミウズムシの生態に影響を与えている可能性も考えられる。

5 まとめ

今回の野外調査の結果から、外来種のアメリカツノウズムシが勢力を広げていることがわかった。外来種の生息状況の拡大は、川の生態系に影響を与える可能性がある。また、外来種と共存する場所のナミウズムシは季節により形態が大きく変化することがわかったが、その変化の要因は不明な点が多い。今後もこの研究を継続し、日本のプラナリア類の生態を明らかにしたい。

6 参考文献

- 1) 川勝正治ら，“プラナリア類の外来種”，陸水学雑誌，68, 461-469，(2007)
- 2) 川勝正治ら，“日本の平地水域のプラナリア類—在来種と外来種の手引き”，<http://www.riverwin.jp/pl/flatland/Flatland%20FPs%2008%20Shibuki-%20tsubo%20in%20Jap.pdf> (2019年9月30日)

(生物)

牽引系にかかるクモの脚の役割

兵庫県立西脇高等学校 生物部

2年 笥迅, 杉浦太智, 橋広将, 西木杏佳

1年 園田隼斗, 高見美輝

1. 動機および目的

クモを観察している中で、クモが落下し空中に静止している時(図1)に、一方の第4脚を牽引系にかけていることに気がついた。そこで筆者らは、牽引系にかけている一方の脚の役割は何なのか疑問に感じた。クモは落下する際、体を逆さまにし、牽引系を出しながら落ち、牽引系が一定の長さになると静止する。



図1 空中静止時のジョロウグモ

クモが落下する以前から出している、命綱の代わりとなる牽引系に関する研究(大崎茂芳, 2006)はおこなわれているが、空中静止時のクモにおける、牽引系にかけている一方の脚の役割に関する研究はおこなわれていない。そのため、空中静止時のクモにおける、牽引系にかけている一方の脚の役割について明らかにすることにした。

2. 方法

本研究には、本校に生息する造網性のジョロウグモ(*Nephila clavata*) (図2)とアシナガグモ(*Tetragnatha praedonia*) (図3)を各20個体ずつ用いた。

空中静止時にクモ(ジョロウグモ, アシナガグモ)が一方の脚を牽引系にかけることの役割は、①空中静止終了後に起き上がる、②流し系を出す、③より高い場所に流し系をつける、と仮説を立て検証した。



図2 ジョロウグモ



図3 アシナガグモ

3. 結果と考察

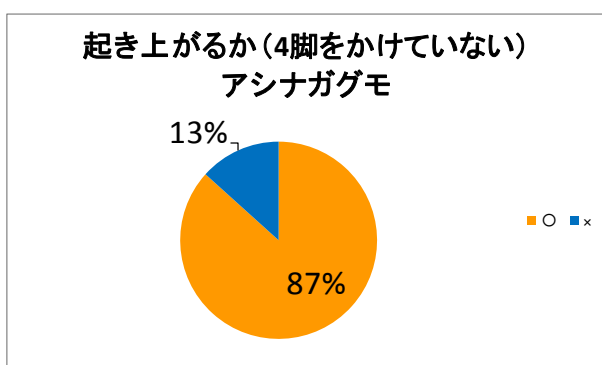
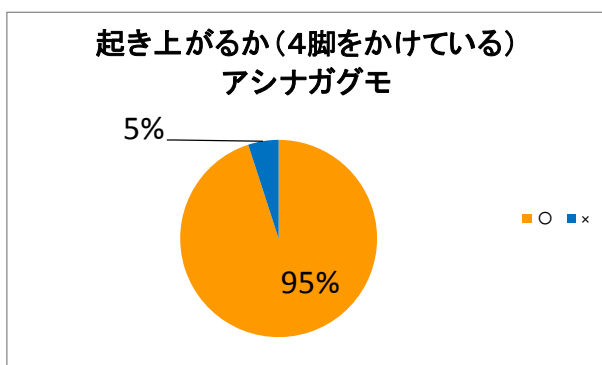
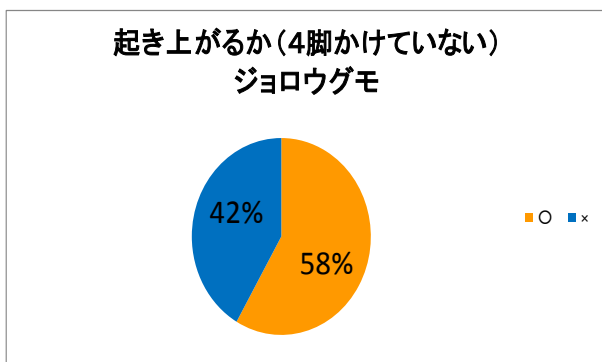
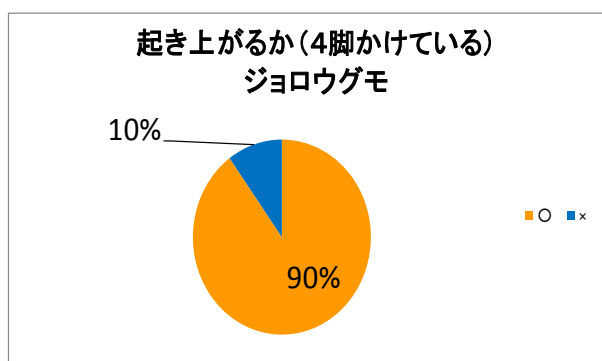
結果

仮説1は、一方の第4脚をかけている場合とかけていない場合で、かけていない場合のほうが起き上がった割合が低く、またその差が両種のクモで有意であった。ジョロウグモの場合、一方の第4脚をかけている時は90%, かけていない時は58%が1分以内に起き上がった。アシナガグモの場合、一方の第4脚をかけている時は95%, かけていない時は87%が1分以内に起き上がった。

仮説2は、一方の第4脚をかけている場合とかけていない場合で、有意な差は確認できなかった。

仮説3は、ジョロウグモにおいては一方の第4脚をかけている場合とかけていない場合で流し系の付着点に有意な差は確認できなかった。しかしアシナガグモにおいては、一方の第4脚をかけていない場合で基準点から約22cm高い位置に、かけている場合で基準点から約30cm高い位置に付着した。

かけている場合と比べて、アシナガグモであれば、流し系の付着点の高さが約10cm低くなっていた。



考察

- ・ 仮説 1 は両種のクモで、一方の第 4 脚をかけている場合とかけていない場合で起き上がった割合に差があり、その差が有意であったため、仮説 1 は正しいといえる。

- ・ 仮説 2 は、一方の第 4 脚をかけている場合とかけていない場合で、有意な差は確認できなかったため、仮説 2 は誤りであるといえる。
- ・ 仮説 3 は、アシナガグモにおいては、流し糸をより高い位置につけるために第 4 脚をかけていると考えられる。

4. 反省と課題

ほかの種類のクモでも同様の仮説が適応されるのか、明らかにしていきたいと考えている。また、今回は、仮説 3 で自作の実験道具で実験をおこなったが、その実験道具に問題があったと考えられるため、誤った結果が出てしまった可能性がある。そのため実験道具を改良する必要がある。仮説 3 の実験に関して、ジョロウグモとアシナガグモで流し糸の付着する高さに差が生じた理由を解明できていないため、その理由を解明したいと考えている。

参考文献

- 1) 兵庫県立西脇高等学校生物部, クモの糸の構造と引っ張りの力に対する強度の関係 (化学と生物, Vol. 56, No. 9, 640-643) (2018)
- 2) 大崎茂芳, クモの糸の秘密 (繊維と工業, Vol. 62, No. 2, 42-47) (2006)
- 3) 大崎茂芳, クモの糸の不思議 (日本家政学会誌, Vol. 66, No. 10, 521-528) (2015)
- 4) 徳武哲, クモの糸 (化学と生物, Vol. 11, No. 7, 451-456) (1973)
- 5) 馬越淳・馬越芳子・秦珠子, 生物紡糸—低エネルギー・スーパー紡糸(クモ)—, (繊維と工業, Vol. 53, No. 7, 202-211) (1997)

生物

クモは発す糸を変えて機能的な巣を形成する

兵庫県立姫路東高等学校 科学部

2年 赤瀬彩香, 池田伊織, 大隅皓平

高瀬健斗, 中崎恭佑

1年 岩本澪治, 奥見啓史, 安原倭

- 縦糸：円網の中央部から放射状に張る糸として発した糸（完成された円網の糸ではない）
- 横糸：円網の同心円状に張る糸として発した糸（完成された円網の糸ではない）

1. 動機と目的

クモの糸に関する先行研究は多くあるが、それらは微視的レベルで糸の構造や組成に注目した研究で、人間生活を豊かにする目的で活用しようとするものである。一方で、クモの糸を光学顕微鏡レベルで観察して構造を明らかにしようとした基礎研究は少ない。筆者らは、基礎研究を飛び越えて応用研究が活発に行われている現状に疑問を感じていた。その美しさにひかれて、筆者らは毎日クモの糸の観察を続けていたが、先行する基礎研究の内容を調べてみたところ、それらは筆者らの観察結果と異なっていた。そこで、チュウガタシロカネグモ(図1)の発す糸の構造を明らかにする目的で、3か月間毎日30個体の糸を顕微鏡で観察した。

図1 チュウガタシロカネグモ



2. チュウガタシロカネグモの観察

(1) 糸の構造

チュウガタシロカネグモは多くの場合糸を発しながら歩行しているが、場面によって発す糸の構造が異なっている。枝の上を歩行する際に発す糸は粘球が付着していない1本の糸である(図2)。また、巣を張る際に巣の縦糸になる糸も、粘球が付着していない1本の糸として発する(図3)。一方、横糸になる糸は、粘球が一定の間隔で付着している1本の糸として発する(図4)

チュウガタシロカネグモ22個体について、発した直後の縦糸と横糸の半径、粘球の体積、腹部の長さ、を測定した。同一の個体では、縦糸と横糸の太さはそれぞれ一定であった。概ね縦糸になる

図2 通常の歩行時に発す糸

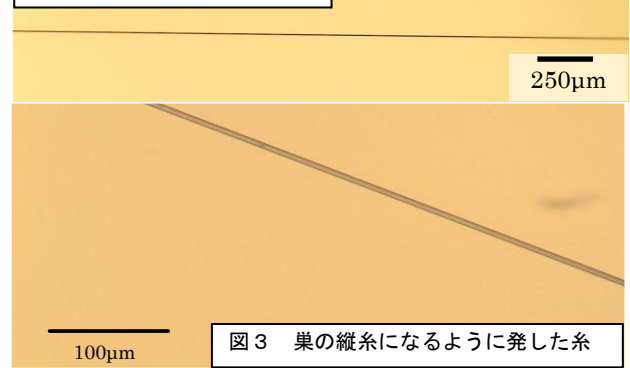


図3 巣の縦糸になるように発した糸

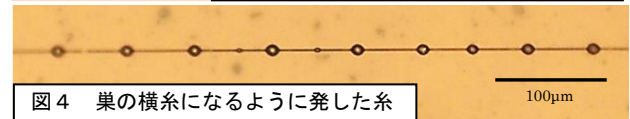
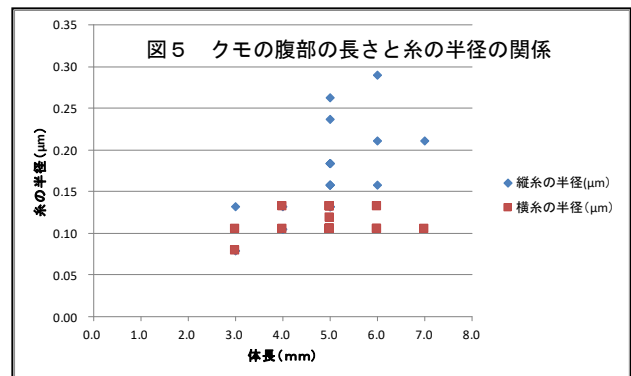


図4 巣の横糸になるように発した糸

糸は太く(平均半径 $0.17\mu\text{m}$)、横糸になる糸は細い(平均半径 $0.11\mu\text{m}$)。なお、歩行時に発す巣系ではない糸の半径は平均 $0.11\mu\text{m}$ である。縦糸は腹部の長さが大きい程太くなる傾向にあるが、横糸は腹部の長さに関わらずほぼ一定である(図5)。なお、腹部の長さと言着物質の体積に一定の相関関係はみられない。

図5 クモの腹部の長さと言糸の半径の関係

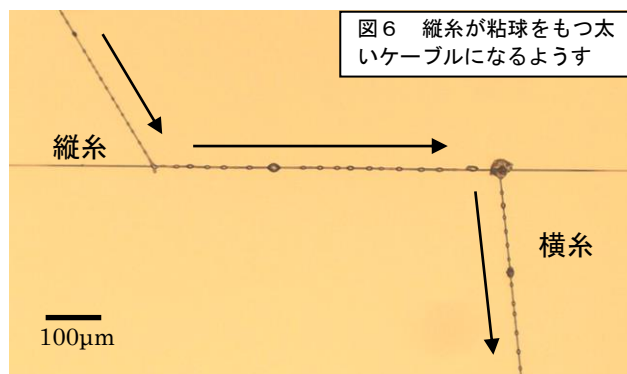


(2) 縦糸と横糸の張り方

完成した円網の縦糸と横糸の構造が異なる原因を明らかにするために、巣を張る過程を観察した。

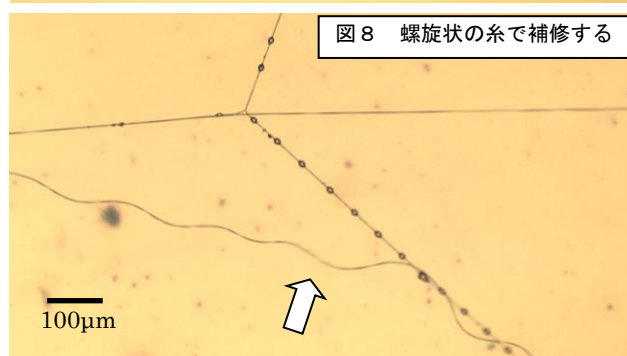
- ① 粘球を付着させない1本の縦糸を張る。縦糸の半径は $0.17\mu\text{m}$ 程度で太い(図3)。
- ② Uターンして、粘球を付着させた糸を発しながら先ほどの縦糸の上を歩き、複数本数からなるケーブルにする。こうして、完成後の巣の縦糸は粘球が付着した複数本の糸からなる(図6)。
- ③ 巣を完成させるまでの一時的な措置として、縦糸が交差する中心部から外側に向かって、粘球を付着させない横糸を張る。
- ④ 粘球を付着させた本来の横糸を外側から張っていく。横糸は半径 $0.11\mu\text{m}$ 程度で細い。
- ⑤ クモは、縦糸、横糸を問わず自由に歩き回るが、強度に優れた縦糸の上を歩くことが多く、脚の

毛で粘球をからめ取ってしまいやすい。



(3) 円網の縦糸に巻きつくらせん状の糸

円網の縦糸のケーブルには、しばしば螺旋状の糸が巻きついている。チュウガタシロカネグモは、外敵から逃れたり、新たな場所に移動したりする際に、枝に糸の端を付着させて枝から垂れ下がり、地上に降りたり枝を伝わったりして移動する。この際に発す糸は、粘球が付着していない1本の糸である。このとき、発した糸を第1脚と第2脚で巻き取り、再び枝まで上がっていくことがある。この巻き取られた糸は螺旋状である(図7)。チュウガタシロカネグモは、巣の補修が必要になったとき、しばしばこの巻き取った糸を用いる。こうして、縦糸のケーブルに螺旋状の糸が巻き付く構造が作られる(図8)。



3. 考察と今後の課題

クモの糸の性質に関する研究は、クモ類の生態の理解のためにも重要な基礎研究である。チュウガタシロカネグモは、巣を構成する糸の役割に応じて、糸の太さを変えたり、粘球の付着の有無を変えたりして機能的な円網を形成する。本研究で得られた結果の比較を表1にまとめた。

先行研究でも専門書でも、巣の縦糸には粘球が

表1 先行研究や専門誌	筆者らの研究
完成された巣の縦糸には粘球がない(先行研究1)~6))	発した直後の縦糸には粘球は付着していない。その後粘球を付着させた糸を発して往復する結果、粘球が付着したケーブルになる。このようにして縦糸の強度を高めている
粘球を付着させながら複数の糸からなるケーブルを発す(先行研究7))	
螺旋状の糸を巻き付けた縦糸ケーブルを発する(先行研究7))	巣糸が破損した際、一度巻き取った糸を用いて補修するため、螺旋状の糸が巻き付くのであって、補強のために糸を螺旋状にして巻き付けるのではない
(先行研究なし)	腹部の大きさと粘着物質の分泌量の間に一定の相関関係は認められない

ないとされている1)2)3)4)5)6)が、これはクモが発した直後の糸を観察したためだと考えられる。他方で、縦糸は最初から複数本数の糸のケーブルからなり、粘球が付着しているとする先行研究もある7)。これは、円網が完成した後の巣糸を観察したためと考えられる。発した直後の縦糸には粘球は付着していないが、この糸の上を、粘球を付着させた糸を発しながら往復することで、粘球の付着したケーブル状の巣の縦糸が完成する。チュウガタシロカネグモは、強度に優れた縦糸の上を歩くことが多い。よく歩く縦糸の粘球を脚の毛がからめ取ってしまい、縦糸には粘球がみられないと誤解されている可能性もある。

円網の縦糸のケーブルにしばしば巻き付いている螺旋状の糸について、先行研究では、縦糸のケーブルに意図的に巻き付けながら縦糸を張ったとされているが7)、これは、いったん発した糸を巻き取って回収した糸を巣の補修に再利用したものと考えられる。腹部の大きさと粘着物質の分泌量の間に相関関係は認められない。

今後は、ジョロウグモなど他の種類のクモでも観察を続け、本考察を検証する予定である。また、研究が進んでいない粘球についても、その役割についての詳細を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 福島康正 他, スパイダーシルク, 繊維と工業, 52, 11, 441-445 (1996)
- 2) 中垣雅雄, スパイダーシルク, 高分子, 52, 838 (2003)
- 3) 大崎茂芳, クモの糸の秘密, 繊維と工業, 62, 2, 42-47 (2006)
- 4) 新海明, クモの糸と生態, 日本蜘蛛学会誌, 47, 2, 191-195 (1998)
- 5) 新海栄一著, 日本のクモ, 文一総合出版 (2006)
- 6) 馬越淳 他, 生物紡糸(クモ), 繊維と工業, 53, 7, 202-211 (1997)
- 7) 県立西脇高校生物部, クモの糸の構造と引っ張りの力に対する強度の関係, 化学と生物, 56, 9, 640-643 (2018)

生物

河川の溶存酸素は、夜デトリタスに奪われる

兵庫県立香寺高等学校 自然科学部
2年 徳永 嵩都

1. 動機及び目的

本校自然科学部が3年前に恒屋川で河床礫のデトリタスに覆われた部分が黒く変色していることを見出している。この発見に興味を持ち、黒い付着物の正体を突き止めて、デトリタスが河川の生物に及ぼす影響を解明することを目的として研究を行った。

2. 水中の溶存酸素に及ぼすデトリタスの影響

(1) 礫に付着した黒い物質は、デトリタスの有機物が嫌気的条件下で微生物に分解されて生成した産物であると考えて、溶存酸素の日周変化を調べた。

A: 調査方法 2019年8月6日午前9時から7日午前8時まで、1時間おきにデトリタスのあるトロ(水深30cm)と堆積しない平瀬(水深5cm)で底層・中層・表層の溶存酸素と水面の照度を測定した。

B: 調査地点 姫路市北部を流れる市川支流の恒屋川において調査を行った(図1)。



図1 調査地点とトロに堆積したデトリタス

C: 調査結果 測定の結果を図2、図3に示す。

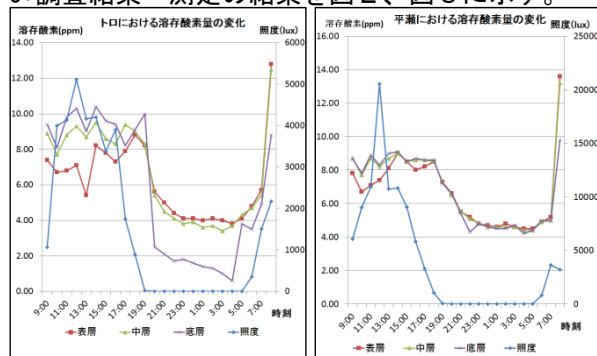


図2 トロでの測定結果

図3 平瀬での測定結果

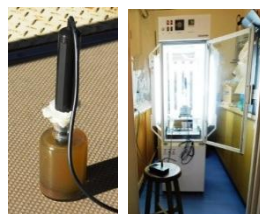
日中は底層と中層の溶存酸素濃度が表層を上回っている。夜は、平瀬では各層で大きな違いはないがトロでは20時に照度計が0 luxを示したとき、底層の溶存酸素濃度は2.5ppmに激減した。その後底層で徐々に減少し翌朝4時に0.6ppmを記録した。

D: 考察 日中底層の溶存酸素濃度が高くなる要因は、底層の微生物が行う光合成によると考える。夜間、トロ底層の溶存酸素濃度が激減した要因は、デトリタスに生息する微生物の呼吸によると考える。平瀬で夜間、各層の溶存酸素濃度に大きな差なかった要因は、速い流れが水を攪拌したからだろう。

(2) デトリタスに生息する微生物の光合成および呼

吸の働きを定量的に調べる目的で以下の実験を行った。

A: 実験方法 デトリタス 50ml (乾燥重量3g : 実験後測定) を250mlの容器に入れて川の水を満たし、酸素計のセンサーを口に差し込んで容器を密閉 図4 図5



した(図4)。気象装置を暗室に設置し、図4を入れて一定時間光を照射した後、同じ時間暗黒状態にした(図5)。実験中、容器内をマグネチックスターラーで攪拌し1分おきに溶存酸素濃度を計測した。また、河川水のみ容器に入れて同様の実験を行った。実験開始時の水温は27.2℃、気温は30.2℃、気象装置内の温度は29.5℃に設定した。実験日は9月8日。B: 結果 実験結果を示す(図6～図9)。実験は図の番号順に行った。37.4 luxの光照射で溶存酸素濃度は8.6から3.2 ppmまで下がり15分後から暗黒にすると4.0 ppmに上昇した(図6)。図7、図8の実験では溶存酸素濃度は1.3 ppm、0.4 ppmの低下に留まった。河川水のみの実験では逆に0.5 ppm上昇した(図9)。

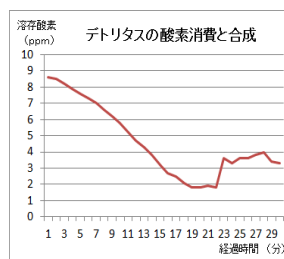


図6 照度 37.4 lux

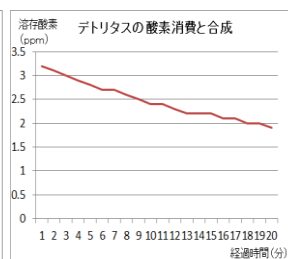


図7 照度 1901 lux

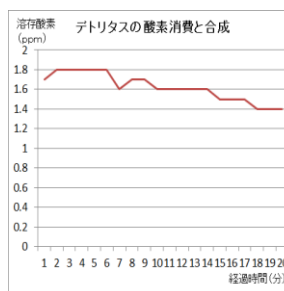


図8 照度 3259 lux

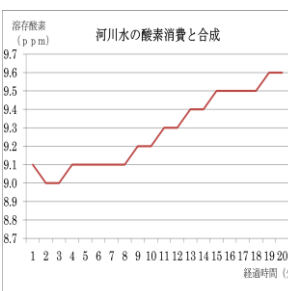


図9 照度 7080 lux

C: 考察 密閉された状態であるため環境抵抗が生じて光合成は抑えられ、低酸素濃度で光がなくても酸素を合成する微生物が活動したのだろうか。図8の実験後、照度を7292 luxに上げて実験した結果、溶存酸素濃度は1.3 ppmのまま変化しなかった。微生物は絶滅した印象で、デトリタスが生き物であるかのように感じた。河川水のみの実験から水に光合成を行う微生物が少し含まれると考える(図9)。

3. デトリタスの正体を探る

9月8日、恒屋川の河床礫からデトリタスを5×5cm採取し、水を加えて10mlの容器に收容した(図10)。攪拌した液をマイクロピペットを用いて0.1ml採取し、スライドガラス上に広げて検鏡し、

そこに含まれる微生物を全て確認して計数した。



採取番号	種名	学名	体長(μm)	個体数
1	コハシケイソウ属の一種	<i>Surirella</i> sp.	98	3
2	エスガタケイソウ属の一種	<i>Gyrogonia</i> sp.	84	4
3	フナガタケイソウ属の一種	<i>Nevicula</i> sp.1	24~38	252
4	フナガタケイソウ属の一種	<i>Nevicula</i> sp.2	48~72	9
5	フナガタケイソウ属の一種	<i>Nevicula</i> sp.3	132	2
6	ハリケイソウ属の一種	<i>Synedra</i> sp.1	180	43
7	ハリケイソウ属の一種	<i>Synedra</i> sp.2	48	6
8	ハリケイソウ属の一種	<i>Synedra</i> sp.3	144	21
9	イタケイソウ属の一種	<i>Diatome</i> sp.	120~140	3
10	ヒシガタケイソウ属の一種	<i>Frustulia</i> sp.	38	2
		計		345

図 10 河床礫 表 1 出現した珪藻と個体数
 検鏡の結果、10 種 345 個体の珪藻を確認した(表 1)。検鏡したデトリタスの乾燥重量は 0.001167g で、河床礫面の 5×5cm から採取したデトリタスの乾燥重量は 0.1041g であった。換算すると 5cm 四方の礫面に堆積したデトリタスに 30774 個体の珪藻が生息していることになる。他にも、検出できなかった微小な細菌類などが数多くいると考える。

4. 黒い河床礫の正体を探る

デトリタスに覆われた河床礫の黒い付着物について、大学の先生に質問をして、① 硫化物、② マンガンである、とする見解をいただいた。これらの検出を目的として次の実験をおこなった。

(1) 硫化物に含まれる硫黄の検出

準備物：黒い付着物の粉末 1.5 g、水 30 ml、30% 過酸化水素水 30 ml、飽和水酸化バリウム水溶液 30 ml、ガスこん炉、調理用お玉、集気びん。

A：調理用お玉をガスこん炉で熱し、黒い付着物の粉末 1.5 g を入れて燃焼する。

B：発生した煙を上方向置換法で集気びんに集める。

C：集気びんの中にすばやく水 30 ml を入れる。

D：集気びんの中に過酸化水素水 30 ml を入れる。

E：集気びんの中に水酸化バリウム水溶液 30 ml を入れる。

結果：白い沈殿ができた(図 11)。

考察：下記反応式が示す硫酸バリウムが沈殿したと考える。

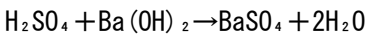
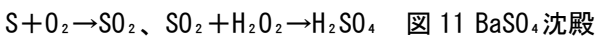


図 11 BaSO₄ 沈殿

(2) マンガンの検出

準備物：黒い付着物の粉末 1.5 g、黒い河床礫、30% 過酸化水素水 30 ml、試験管、ピペット、ライター、線香

A：黒い付着物の粉末 1.5 g を試験管に入れ、30% 過酸化水素水を数滴入れる。

B：試験管の中に火のついた線香を入れる。

C：河床礫の黒い付着物の上に 30% 過酸化水素水数滴を落とす。

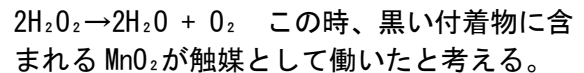
D：同じ河床礫の黒い付着物がない部分に 30% 過酸化水素水数滴を落とす。

結果：実験 A で激しく気体が発生し、実験 B の結果、線香は激しく燃えた(図 12)。実験 C でも気

体が発生し、線香の火が明るくなった(図 13)。実験 D はほとんど気体が発生しなかった(図 14)。



図 12 線香が燃焼 図 13 気体発生 図 14 気体出ず
 考察：発生した気体は、下記の反応によって発生した酸素であると考えられる。



5. 水生昆虫の溶存酸素耐性を調べる

水生生物の呼吸能力判定を目的に実験を行った。

A：調査地点 実験は、5 月 2 日から 4 日にかけて市川町沢の市川本流で行った。

B：調査方法 煮沸して溶存酸素を減らした河川水をアルミ容器に満たして瞬時に密閉した。冷却後、窒素気体または空気を吹き込み、溶存酸素濃度 2.6~9.8ppm で 15 通りの水を作成した。その水を実験用のガラス容器に入れ、



そこに採集直後の水生昆虫を 1 匹ずつ入れて密閉し 5 分間静置した後、生死を確認した(図 15)。

C：結果 結果を図 16~図 19 に示す。×は死亡、○は生存。グラフの先が実験水の溶存酸素濃度を示す。

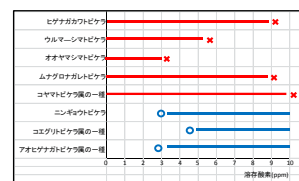


図 16 トビケラ目

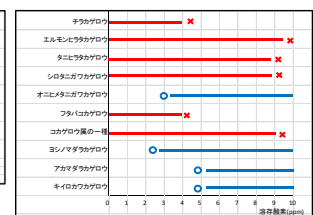


図 17 カゲロウ目

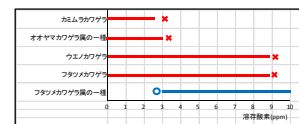


図 18 カワゲラ目

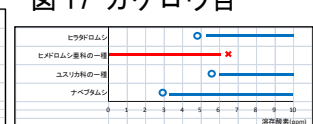


図 19 その他

D：考察 青線で示した種は、低い溶存酸素濃度でも生存可能な呼吸能力を持つことが判明した。フタツメカワゲラ属の一種は少し汚濁した水中でも生息するカワゲラで、きれいな川の指標とされるカワゲラから除外する必要がある。赤線で示した死亡した種は、デトリタスが堆積した緩流部では夜の低酸素濃度に耐えられず、生存不可能だろう。ただし、遊泳能力が高いチラカゲロウとコカゲロウは溶存酸素濃度が高い場所へ逃避できるだろう。

6: まとめ

デトリタスの存在と礫に残る黒い付着物は、その場所が多く水生生物にとって生存不可能なデッドゾーンであることを示す指標となると考える。

生物

「食虫植物モウセンゴケは肉食家だった!？」

兵庫県立龍野高等学校 自然科学部
1年 瀧谷 咲月 2年 小堀 ひなた

1. 動機及び目的

私たち自然科学部では、毎年「科学の屋台村」などで食虫植物を展示して、子どもたちに「ハエトリソウの捕虫運動」の実験を実施している。この時、トラバサミ式食虫植物ハエトリソウは葉の中に入った物質が動物なのか、それ以外の物質なのか判断するために、感覚毛に2回触れたときに捕虫運動がおくと説明している。

しかし、粘着式食虫植物モウセンゴケについては、動物とそれ以外の物質の区別をどのようにしているのか、資料はみつからず、子どもたちに説明できずにいる。

そこで、今回食虫植物モウセンゴケがどのようにして動物とそれ以外の物質を区別し捕虫運動をおこすのか調べることにした。

2. 研究対象

兵庫県内には、モウセンゴケ、トウカイモウセンゴケなどの自生種があるが、今回はモウセンゴケとナガエノモウセンゴケの交雑種を研究に用いた。それには、次のような利点がある。

- ①成長が早く、葉の枚数が多い。
- ②種子では繁殖せず、すべて栄養生殖によるクローンである。
- ③雑種強勢で夏の暑さにも強く、衰弱しにくい。
- ④株分けにより、増殖が容易である

3. 予備実験

ダーウィン(1875)も記述しているように、モウセンゴケは雨に対しては反応しないといわれてきた。そこで予備実験として、ハエトリソウとともに降水に対する反応を調べる実験を行い、ハエトリソウと比較した。3～10秒間じょうろで散水して降水を再現した。結果、ハエトリソウは散水でほとんど反応し

な かつ た
(96.1%)が、モウセンゴケの触毛はよく反応した(100%)。このことから、モウ

表1 ハエトリソウの散水による反応

実験番号	葉の数(試料数)	散水で反応した数	接触刺激で反応した数
DM-1	8	0	8
DM-2	6	0	6
DM-3	8	0	8
DM-4	11	1	10
DM-5	8	0	8
DM-6	10	1	9
合計	51	2	49
割合	100%	3.9%	96.1%

センゴケの捕虫運動は昆虫を区別することなく起こる可能性があると考えられた。

表2 モウセンゴケの散水による反応

実験番号	気温(℃)	散水時間(秒)	反応までにかかった時間(秒)					
			葉1	葉2	葉3	葉4	葉5	平均
R-1	23	12	35	35	46	41	52	42
R-2	24.1	11	29	32	40	37	43	36
R-3	24.5	14	36	33	36	42	28	35
R-4	21.5	6	43	59	59	48	2	54
R-5	21.9	9	28	31	25	31	31	29
R-17	25.8	6	15	20	35	24	47	28
R-18	26.7	10	40	42	45	40	40	41
R-19	19.1	6	6	39	39	44	53	36
R-20	18.8	3	32	18	38	52	43	37

なお、モウセンゴケの捕虫運動は次のように定義した。

- ① 触毛が葉の中心または試料方向に動くとき
- ② 葉身が試料を包むように屈曲運動したとき

4. 仮説

モウセンゴケの試料への反応について、次のような仮説を立てた。

- ① 振動を与える時と振動を与えない時では、振動を与える時の方が反応は大きくなる。
- ② 動物性の試料に対しては反応をおこすが、植物性の試料に対しては反応をおこさない。
- ③ 非生物であるプラスチックや金属などに対しては反応をおこさない。

5. 方法

モウセンゴケの葉に次の処置を行った。

- 実験1 試料とともに振動刺激をあたえる
実験2 動物性の試料をのせる
実験3 植物性の試料をのせる
実験4 非生物の試料をのせる

(1) 評価方法

触毛と葉身の運動を次の1～5の5段階で評価した。

- 1: 触毛または試料がわずかに動く
- 2: 触毛がはっきりと動く
- 3: 葉身がわずかに屈曲する
- 4: 葉身が10°～45°程度屈曲する
- 5: 葉身が、45°以上屈曲する

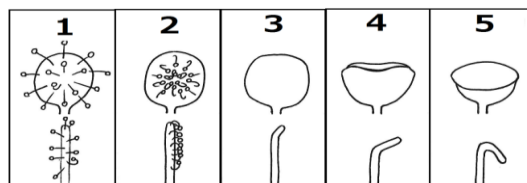


図1 評価基準の模式図

データ処理について、同じ試料を用いて実験しても、葉によってあまり反応しないことがあり、他の葉との結果に大きな差がみられることがあった。そこで考察には、全データの平均値ではなく、実験ごとに最頻値をもとめて、その後、各実験の最頻値の平均値を計算した。

(2) 実験に使用する葉

実験には、触毛の先からよく粘液が分泌されている葉を選んで使用した。

(3) 観察方法

カメラのインターバル撮影機能を用いて、10分(触毛運動は2秒)間隔で200枚、反応の様子を撮影し、タイムラプス動画を作成して触毛や葉身の変化を観察した。

(4) 実験1の振動の与え方

粘液に付着したものが昆虫として認識する方法として、振動の有無が考えられた。そこで、振動による反応を調べるためにモウセンゴケに振動をあたえる装置を自作した。エアーポンプの振動を増幅し、木綿糸で試料(幅3mm程度のポリプロピレン製ストロー)に伝わるようにした。

6. 結果

実験1 振動の有無による反応の違いを調べるために、振動を与えた実験を3タイプ実施し15のデータを得た。振動を与えない実験も3タイプ実施し、20のデータを得た。各実験の最頻値を求めて平均値をとったところ、振動がある場合評価は3.7、振動が無い場合の評価は1.3となり、あきらかに振動がある場合の方が葉の反応は大きかった。

捕まった虫の動きが捕虫運動を促進すると考えられた。

実験2 ハエやマグロ、エビ、ボウフラ、豚肉など動物性の試料31種類をつかい191データを得た各実験について最頻値を求め、最頻値の平均値を求めたところ4.3となった。

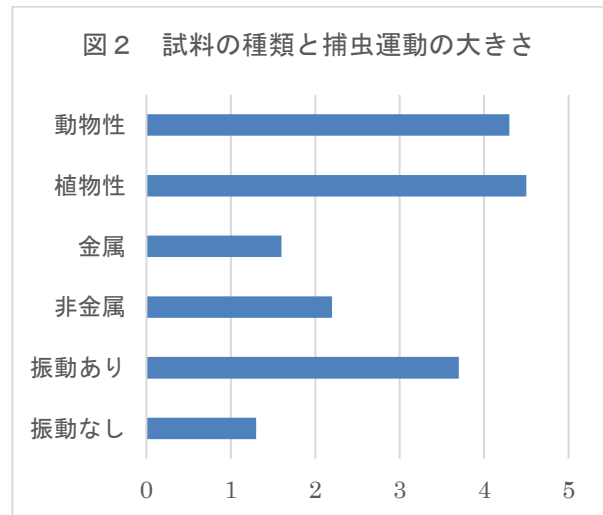
実験3 植物性の試料として、果皮(ブドウ・オレンジ・スイカ)、根(ダイコン・蒸サイマイモ)、葉(モウセンゴケ・キャベツ)、種子(メロン)、花粉(ユウスゲ)など19種類の試料で実験し110のデータを得た。各実験の最頻値を求め、最頻値の平均値を求めたところ、4.5となった。

実験4 非生物的な試料として金属(アルミ・鉄・銅など)および非金属(消しゴム・PET・鉛筆のしん・ラップなど)で実験した。

金属では試料9種類をつかい62のデータを得た。各実験について最頻値を求め、最頻値の平均値を

求めたところ1.6となった。

非金属では試料7種類をつかい37のデータを得た。各実験について最頻値を求め、最頻値の平均値を求めたところ2.2となった。



7. 考察

これまでモウセンゴケは降雨には反応しないと言われてきたが、降雨でも触毛の運動は起こる。さらにハエトリソウのように昆虫を区別することなく捕虫運動が起こることが確認された。

植物性の試料に対しても動物性の試料と変わらずよく反応した。この事実は、祖先の植物が粘液を分泌するようになり、やがて風に飛ばされてきた花粉や種子などを栄養源に活用してきた進化の過程を暗示していると考えた。やがて触毛や葉身による屈曲運動を獲得し、振動がある場合、より大きな捕虫運動をすることで効率よく捕虫可能となり食虫性が強くなったと考えられる。

今後は植物性のエサに対して、消化酵素を分泌しているのか、成長が促進されるのか調べる必要がある。

8. 参考文献

- 1) Charles Darwin, INSECTIVOROUS PLANTS (1875)
- 2) 笠原一浩, 食虫植物の驚異, 現代教養文庫, (1964)
- 3) 小宮定氏・清水清, 食虫植物 栽培と実験観察, ニュー・サイエンス社, (1978)
- 4) 小宮定志, 食虫植物その不思議を探る, 食研事業出版, (1994)