

Meijo University No.60,2024
Scientific Reports of the
Faculty of Agriculture

名城大学農学部 学術報告

第60号
2024年3月



目 次

原 著

フラボン合成酵素遺伝子 (<i>FNSII</i>) の発現抑制が赤色花キンギョソウの花弁色調に及ぼす影響 大竹虎之介・太田垣駿吾・中尾義則・津呂正人	1
ジュート (<i>Corchorus capsularis</i> L.) における種々の生育段階からの湛水が茎葉の発育に及ぼす影響 道山弘康・平野達也	7
都市近郊林における鳥類群集と森林植生との関係 - 豊田市自然観察の森での9年間の学生野外実習の結果分析 - 日野輝明・橋本啓史	17
ドイツ市民の景観保全に対する意識構造の計測 - リューネブルガーハイデの事例 - 平見慎太郎・矢野佑樹	25
都市緑地におけるヒメボタル幼虫と陸生貝類群集の生息環境要因 - 名古屋市相生山緑地での5年間の学生野外実習の結果分析 - 日野輝明・川瀬基弘・古川善嗣・橋本啓史・長谷川泰洋	37

総 説

腸管抗体を介して作用する機能性食品に関する最近の知見 近澤未歩	45
------------------------------------	----

資 料

ミナミカワゲラ亜目5種のカワゲラ類の卵構造 (昆虫綱・カワゲラ目・ミナミカワゲラ亜目) 武藤将道	53
名城大学農学部 業績紹介 (2022)	i
名城大学農学部学術報告第58号 (2022) ・第59号 (2023) 査読者一覧	xi
名城大学農学部学術投稿規程	xii
名城大学農学部学術報告執筆要項	xiii
名城大学農学部学術報告投稿原稿の送り状	xv

CONTENTS

Original Articles

Effect of flavone synthase II gene (<i>FNSII</i>) suppression on petal coloration in red colored snapdragon (<i>Antirrhinum majus</i> L.) Toranosuke Otake, Shungo Otagaki, Yoshinori Nakao and Masato Tsuru	1
Effect of flooding after various growth stages on growth and development in jute (<i>Corchorus capsularis</i> L.) Hiroyasu Michiyama and Tatsuya Hirano	7
Relationship between bird communities and forest vegetation in a peri-urban forest – Analysis of the results of nine years of student field training in the Toyota City Nature Sanctuary – Teruaki Hino and Hiroshi Hashimoto	17
Measuring the Structure of German Citizens' Awareness of Landscape Conservation: The Case of Lüneburger Heide Shintaro HIRAKO , Yuki YANO	25
Habitat factors for firefly larvae <i>Luciola parvula</i> and land snail assemblages in urban green space – Analysis of the results from the student field training in Aioiyama Green Space, Nagoya City, Japan – Teruaki Hino, Motohiro Kawase, Yoshitsugu Furukawa, Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Hasegawa	37
Review Articles	
Recent findings on functional foods acting via intestinal antibodies Miho Chikazawa	45
Note	
Comparative egg morphology of five antarctoperlarian stoneflies (Insecta: Plecoptera, Antarctoperlaria) Shodo Mtow	53
List of Contributions (2022)	i
List of Editors in No.58,2022, No.59,2023	xi
Submission of the Manuscripts	xii
Preparation of the Manuscripts	xiii
Invoice Form of the Manuscripts	xv

原 著

フラボン合成酵素遺伝子 (*FNSII*) の発現抑制が
赤色花キンギョソウの花卉色調に及ぼす影響大竹 虎之介¹・太田垣 駿吾¹・中尾 義則²・津呂 正人^{1*}

要約 新たな色調のキンギョソウ創出のための基礎的知見を得ることを目的として、赤色花キンギョソウにおいて、フラボン合成酵素遺伝子 (*FNSII*) を標的とした RNAi 誘導形質転換体を作成し、花色に及ぼす影響を調査した。自殖次代 (T1) を育てたところ、非形質転換体と同様の赤色花、花筒部の着色が低下した白筒花および小花全体がピンク色を呈したピンク色花が得られた。赤色花および白筒花系統ではカルコン合成酵素遺伝子 (*CHS*) を除くすべてのアントシアニン生合成関連酵素遺伝子で発現の低下が認められたが、色調に大きな違いは認められなかった。一方、ピンク色花では、*CHS* を除く他のアントシアニン生合成関連酵素遺伝子の発現に明確な方向性が認められなかった。しかしながら、ピンク色花では極大値を示す吸収波長が他の系統より低下しており、花卉アントシアニンの主成分がシアニジン型アントシアニンからペラルゴニジン型アントシアニンに変化している可能性が示唆された。すなわち、ピンク色個体でフラボノイド 3'-水酸化酵素遺伝子 (*F3'H*) の発現が抑制されていると推察された。以上の結果より、キンギョソウにおいて、*FNSII* 遺伝子の発現抑制により新たな花色創出の可能性が期待できることが明らかとなった。

キーワード：キンギョソウ, アントシアニン, *FNSII*, RNAi

Effect of flavone synthase II gene (*FNSII*) suppression on petal coloration in red colored snapdragon
(*Antirrhinum majus* L.)

Toranosuke Otake¹, Shungo Otagaki¹, Yoshinori Nakao² and Masato Tsuru^{1*}

Abstract To decipher the molecular mechanism for developing a new color, we monitored the effect of RNAi suppression targeting the flavone synthase II gene (*FNSII*) on petal coloration in the common snapdragon (*Antirrhinum majus* L.). In the T1 generation, three types of transgenic plants differing in the color of the petals were obtained: red in whole petals like non-transgenic plants, red lips with white tubes, and pink in whole petals. Expression of all the anthocyanin synthesis-related genes, except for chalcone synthase gene (*CHS*), was suppressed in red petals and petals with red lips with white tube, although the color tone had not changed. However, except for *CHS*, no definite change in the expression of these genes was observed in pink petals. In these, the peak shift in the absorption spectrum suggests an alteration of major anthocyanins, from cyanidin type anthocyanin to pelargonidin type one, by suppressing the flavonoid 3'-hydroxylase gene (*F3'H*). We conclude that suppressing the *FNSII* gene in snapdragon can lead to the development of new colored petals.

Key words: snapdragon, anthocyanin, *FNSII*, RNAi

緒言

キンギョソウ (*Antirrhinum majus* L.) は、南ヨーロッパから北アフリカ地域の地中海沿岸を原産とするオオバコ

科キンギョソウ属の1年草であり、観賞用に切り花や鉢植えとして利用されている。花色は赤色、黄色、橙色、ピンク色および白色など多様であり、これまでに数多くの品種が育種されてきた。また、キンギョソウ花卉に含まれる色素は古くより分析が進められており、オーロン、アントシアニンおよびフラボンといったフラボノイドで構成されていることが明らかとなっている (Geissman et al., 1954)。

フラボノイドの生合成経路はフェニルアラニンを出発点とし、桂皮酸、4-クマル酸を経て4-クマロイル-CoAに至るフェニルプロパノイド経路とそれに続くアントシアニン合成経路から成る。生成された4-クマロイル-CoAと3分子のマロニル-CoAはカルコン合成酵素 (CHS) の働きによりカルコンを生成する。カルコンはフラボノイドの生合

¹ 名城大学農学部園芸学研究室

(〒468-8502 名古屋市中天白区塩釜口1-501)

¹ Faculty of Agriculture, Meijo University (Shiogamaguchi, Tanpaku, Nagoya 468-8502, Japan)

² 名城大学農学部フィールド生産科学研究室

(〒486-0804 愛知県春日井市鷹来町菱ヶ池4311-2)

² Experimental Farm of Meijo University (Hishigaike, Takagi-cho, Kasugai City, Aichi 486-0804, Japan)

E-mail: tsuro@meijo-u.ac.jp

* : 責任著者, corresponding author

2023年10月6日受付 2023年12月25日受理

成における中心的な中間代謝産物であり、オーロンはオーレウシジン合成酵素 (AS) の働きによりカルコンから直接生成される (Nakayama et al., 2000). 一方、アントシアニン、フラボノール、フラボンを含む他のすべてのフラボノイドはカルコン異性化酵素 (CHI) の働きにより3つの環 (C6-C3-C6 構造) を持つフェニルクロマン骨格を基本構造としたフラバノンを生成してから (Winkel-Shirley, 2001), フラボン合成酵素 (FNS) とフラバノン 3-ヒドロキシラーゼ (F3H) の働きによりフラボンとアントシアニンの前駆体であるジヒドロフラボノールがそれぞれ生成され、ジヒドロフラボノールはここからさらに水酸化、グルコシル化、アシル化、メチル化などの段階を経て各種のアントシアニンとなる (Harborne and Baxter, 1999).

このようにフラボノイドの生合成経路は複雑に分岐し、多くの酵素および物質が関与している。このような複雑な代謝は種ごと、さらには品種・系統ごとに厳密に制御されており、円滑にかつ誤りなく行うために各代謝段階に関与する酵素タンパク質同士が結合し、複合体 (メタボロン) を形成している可能性が示唆されている (Stafford, 1974). 近年、キンギョソウにおいてもフラボノイドの生合成に関与する FNSII が小胞体膜上で CHI, ジヒドロフラボノール 4-還元酵素 (DFR) あるいは CHS と相互作用してフラボノイドメタボロンを形成していることが *in vitro* で示唆されている (Fujino et al., 2018). すなわち、キンギョソウ各系統の花色はフラボノイドメタボロンにより安定が維持できている、この構造が変化することでアントシアニン等の最終産物の構成比が変化し、新たな色調が創出される可能性が考えられる。

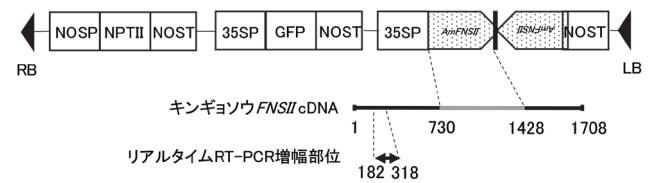
本研究では、キンギョソウのフラボノイドメタボロンにおいて、足場タンパク質として機能していると考えられている FNSII に注目し、FNSII を発現抑制することで、赤色花卉の色調に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

植物材料

供試品種として赤色花品種「メリーランドレッド」(ミヨシ) を用いた。プラスミドベクターとしてキンギョソウ由来 FNSII 遺伝子の下流約 700 bp を順・逆方向に連結し、siRNA を誘導するように調節したプラスミドベクター pBI121GFP/AmFNSII 700si (第1図) を含む *Agrobacterium tumefaciens* LBA4404 株、*A. tumefaciens* C58C1 株および野生型 *A. rhizogenes* A-13 株 (MAFF-02-10266) (Daimon et al., 1990) を形質転換に用いた。キンギョソウの形質転換は Cui et al. (2004) の方法に従って行った。胚軸を外植片とし、*Agrobacterium* に感染させた後、除菌とカナマイシンによる選抜を行いながらシュートの誘導を行った。シュートを発根させ、得られた再分化個体の葉から Edwards et al. (1991) に従い、DNA を抽出し、NOSP-FF (5'-ACAAGCCGTTTTACGTTTGG-3') と NPTII-RR (5'-ATACTTTCTCGGCAGGAGCA-3') をプラ

イマーとして PCR 反応を行い、導入遺伝子を確認した。



第1図. バイナリープラスミド pBI121GFP/AmFNSII700si の T-DNA 領域。

NOSP; ノバリン合成酵素遺伝子プロモーター, NPT II; ネオマイシンリン転位酵素遺伝子, NOST; ノバリン合成酵素遺伝子ターミネーター, 35SP; 35S プロモーター, GFP; 緑色蛍光タンパク質合成酵素遺伝子, RB; 右側境界領域, LB; 左側境界領域

PCR 分析により導入遺伝子を確認された再分化個体 (T0) のうち、プラントボックス内で十分に成長したものを馴化させ、育苗培土 (タキイ) を入れたビニールポット (ϕ 10.5 cm \times 8.5 cm) に移植し、 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 、連続明条件 (約 3,000 lux) の恒温室で栽培した。培養や抗生物質の選抜による生理的影響の排除および十分な小花数の確保のため、T0 世代では小花の採取および分析を行わず、すべて自家受粉させて採種し、次世代 (T1) の獲得を行った。各個体より得られた種子 (T1) を播種し、子葉から DNA を抽出して上述と同様の方法により PCR を行って、導入遺伝子を確認できた個体を $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 、連続明条件 (約 3,000 lux) の恒温室で栽培し、着生した小花を供試材料として用いた。また、「メリーランドレッド」は園芸品種であるため、次世代で多様な形質が分離する可能性があることから、非形質転換体についても自家受粉を行って次世代 (S1) 個体を上記と同様に栽培した。

花卉色素の抽出とアントシアニンの定量

開花し、花卉が十分に展開した小花を採取し、上唇部、下唇部および花筒部の3つの部位に切り離した。各部位の新鮮重を測定した後速やかに細かく裁断し、1 mL の 1% 塩酸メタノールに浸漬し、 4°C で 24 時間静置して色素成分を抽出した。抽出後、1% 塩酸メタノールで 10 倍希釈し、530 nm での吸光度を測定し、標品としてシアニン 3-グルコシド (富士フィルム和光純薬) で得られた検量線と比較し、アントシアニン量を算出した。アントシアニン量の測定は各個体につき、3 花ずつ行った。

RNA の抽出と定量的 RT-PCR 解析

着蕾後、開花開始直前の小花を採取して液体窒素で速やかに凍結し、RNA 抽出に用いた。RNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN) を用いて製品のプロトコルに従い、総 RNA を抽出した。DNase I (Invitrogen) を用いて余分な DNA を分解した後、High Capacity RNA-to-cDNA Kit (Applied Biosystems) を用いて RNA 100 ng を逆転写させ、cDNA を合成した。

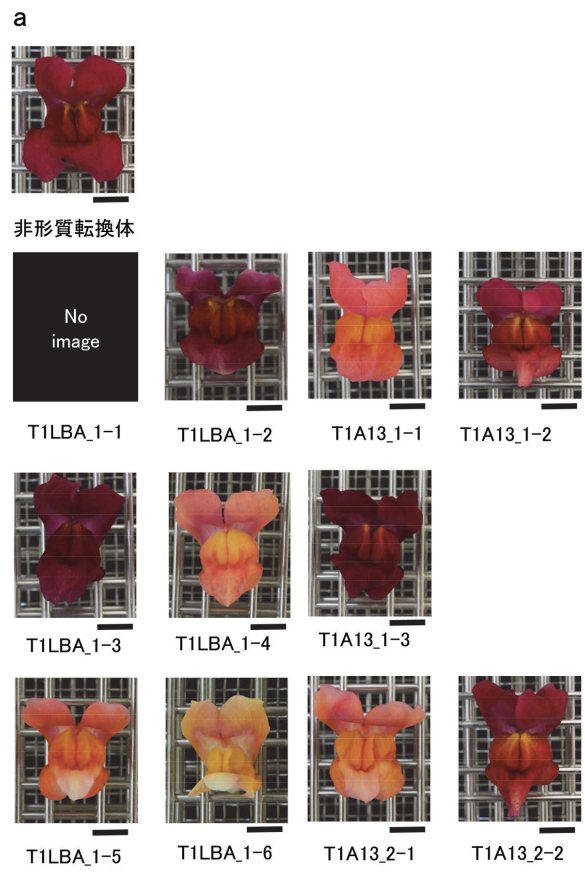
逆転写反応により得られた cDNA 溶液を鋳型とし、THUNDERBIRD Next SYBR qPCR Mix (TOYOBO) を用いてフラボノイド生合成酵素遺伝子 (*CHS*, *CHI1*, *FNSII*, *DFR* および *F3H*) およびユビキチン検出用プライマー (第 1 表) を含む RT-PCR 反応液を作成し、StepOnePlus Real-Time PCR System (Applied Biosystems) を使用して RT-PCR を行った。得られたデータは、 $\Delta\Delta$ CT 法により各個体のユビキチン発現量を標準化し、非形質転換体に対する各酵素遺伝子の相対発現量として解析した。

第 1 表 定量的 RT-PCR に用いたプライマー

プライマー名称	配列 (5'-3')	検出遺伝子
AmUbi F	CTCCGTGGTGGTTTCTGAAT	Ubiquitin
AmUbi R	CTGACTCCAGCAAACGAGAA	Ubiquitin
AmFNSII F	CGCTCATCCAGCTCTACCTC	<i>FNSII</i>
AmFNSII R	GTACGTGACGATGTCGATGG	<i>FNSII</i>
AmCHS F	ACATTGCGGCCTTCAGTTTT	<i>CHS</i>
AmCHS R	GCCGGGAATTGGATCAGAAC	<i>CHS</i>
AmCHI1 F	CCGTTAAGTGGAAGGGCAAG	<i>CHI1</i>
AmCHI1 R	TCTGAGTATTGTTGGCCCGT	<i>CHI1</i>
AmF3H F	TCCGGGTACGATTACTTTGC	<i>F3H</i>
AmF3H R	CCAAGGTTGACCACAAAAGC	<i>F3H</i>
AmDFR F	GCAACTGTTTCGTGATCTGG	<i>DFR</i>
AmDFR R	ACTGTCATGTCTGCCTTCCA	<i>DFR</i>

結果および考察

胚軸に *Agrobacterium* を感染させ、シュートおよび発根を誘導して形質転換体を作成した。T0 では 20 個体で導入遺伝子が確認できた。 *A. tumefaciens* LBA4404 感染区で 11 個体、 *A. tumefaciens* C58C1 感染区では 1 個体、 *A. rhizogenes* A13 感染区では 8 個体獲得でき、形質転換体獲得率はそれぞれ 3.0%, 0.2%, 0.7% であった。一方、これら個体のうち、開花・結実に至った個体は LBA4404 感染区に由来する 1 個体および A13 感染区に由来する 2 個体の計 3 個体であった。これら 3 個体について、T1 世代で導入遺伝子が確認できた 11 個体 (T1LBA_1-1 ~ 6, T1A13_1-1 ~ 3 および T1A13_2-1 ~ 2) において小花の色調を解析したところ、非形質転換体とは異なる色調を持つ個体が目視で確認できた (第 2 図)。色調は小花全体が非形質転換体と同じ赤色のもの (T1A13_1-2 および T1A13_1-3, 以下赤花系統)、小花の上唇および下唇部は親個体と同じ赤色であるが花筒部分の着色が薄いもしくは白色のもの (T1LBA_1-1 ~ 3 および T1A13_2-2, 以下白筒花系統) および小花全体がピンク色のもの (T1LBA_1-4 ~ 6, T1A13_1-1 および T1A13_2-1, 以下ピンク花系統) の大きく 3 群に分けられた。色調以外に目立った形質の変化は目視では確認できなかった。一方、非形質転換体では S1 世代の個体間で花卉の色調に違いが認められなかった。

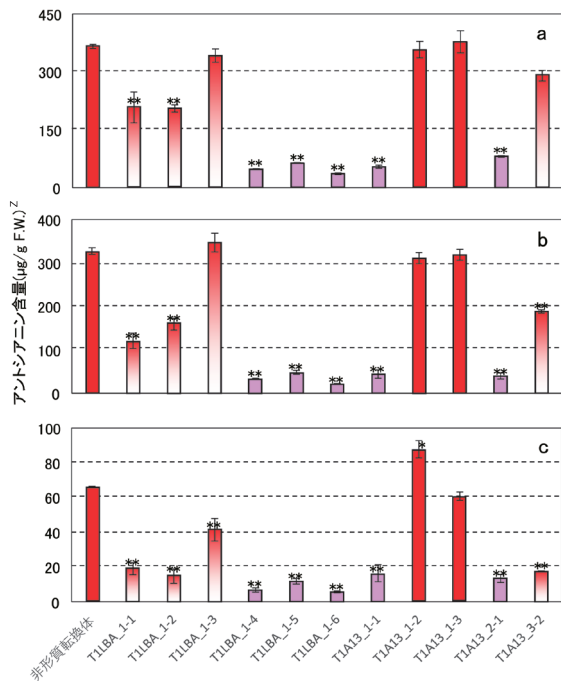


第 2 図. T1 個体における開花時の小花の色調。

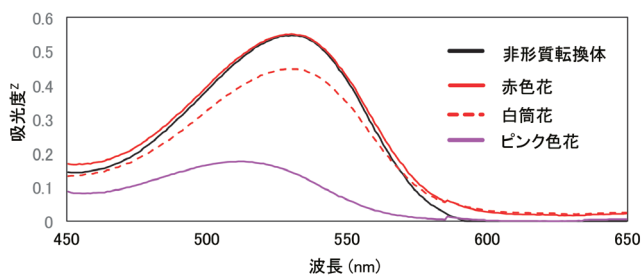
a: 正面, b: 側面

Bar = 1 cm

小花におけるアントシアニン量を比較したとき、非形質転換体と比較して概して形質転換体で低下していた。部位別に比較したとき、上唇部についてはT1A13_1-3を除くすべての個体で非形質転換体と比較して低下していた(第3a図)。下唇部についてはT1LBA_1-3を除くすべての個体で非形質転換体と比較して低下していた(第3b図)。さらに、花筒部についてはT1A13_1-2のみ増加し、それ以外のすべての個体で非形質転換体と比較して、低下していた(第3c図)。また、同じ個体でもT1A13_1-2は上唇および下唇部のアントシアニン量が非形質転換体と比較して低下しているにもかかわらず、花筒部は大きく増加しており、一方で、T1LBA_1-3では上唇および花筒部のアントシアニン量は非形質転換体と比較して低下しているにもかかわらず、下唇部は増加していた。このような結果から、花弁部位ごとにアントシアニン合成酵素遺伝子の発現が調節されており、異なる転写因子の存在が推察された。キンギョソウでは、赤色花弁でシアニジン型アントシアニンを主成分として蓄積し、他方、ピンク色花弁ではペラルゴニジン型アントシアニンを多く蓄積する(土岐と上本1977)。シアニジン型アントシアニンとペラルゴニジン型アントシアニンは吸収極大波長が異なり、ペラルゴニジン型アントシアニンの方が低い波長で極大となる(立澤と篠田2005)。ピンク花系統の花弁における吸光スペクトルの極大波長は他の系統と比較して低波長側にシフトしており(第4図)、ピンク花系統では、シアニジン型アントシアニンに代わり、ペラルゴニジン型アントシアニンを多く蓄積している可能性が推察された。

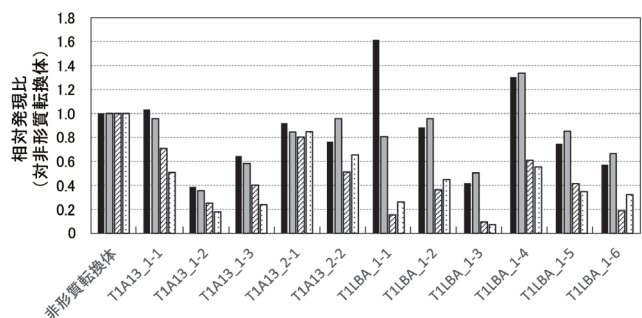


第3図. T1 個体小花におけるアントシアニン含量
 a: 上唇部, b: 下唇部, c: 花筒部
 ■: 赤色花, ■: 白筒花, ■: ピンク色花
 *, **, t 検定により, 5% および 1% 水準で非形質転換体と有意差あり
^z シアニジン 3- グルコシドとして算出



第4図. 小花抽出液の吸収波長スペクトル
^z 小花1花当たりの吸光度

また、各形質転換系統の小花におけるフラボノイド合成酵素遺伝子の発現量を比較したとき(第5図)、標的遺伝子である *FNSII* の相対発現量は赤花系統で 0.38 ~ 0.64 倍、白筒花系統では T1LBA_1-1 を除いて 0.42 ~ 0.88 倍に低下していた。他方、ピンク花系統については 0.57 倍 ~ 1.30 倍とばらつきが見られた。*FNSII* の発現抑制の結果が他のフラボノイド合成酵素遺伝子の発現量に影響しているか調べるために各酵素遺伝子について同様に発現解析を行ったところ、*CHS* で T1LBA_1-2 を除いたすべての系統で約 1.19 倍 ~ 6.31 倍に増加していた。また、*CHI1* では、赤花および白筒花系統で 0.35 ~ 0.95 倍に発現量が低下していたが、ピンク花系統は 0.66 ~ 1.33 倍と個体間でばらつきが認められた。さらに下流の *F3H* および *DFR* の発現量は約 0.07 ~ 0.85 倍, 0.09 ~ 0.80 倍とそれぞれ小花の色調に関係なくすべての系統において低下していた。このように、親個体と同様の赤色の色調を示した赤花系統および白筒花系統は、*CHS* を除いたいずれの酵素遺伝子についても強く抑制されている傾向が見られた。赤花系統や白筒花系統では *FNSII* の発現量の低下とともに他のフラボノイド合成遺伝子の発現低下が生じることで、花弁に蓄積されているフラボノイド化合物の組成比が大きく変化せず、色調に大きな変化が起こらなかったのかもしれない。一方、本研究では材料確保の都合上、RNA を発達ステージ別および花弁部位別に分けず、小花全体から抽出しているため、赤色花と白筒花との遺伝子発現の違いを明確にすることができなかった。今後は花器の発達ステージ別および部位別に遺伝子の発現量を評価する必要がある。



第5図. T1 個体におけるアントシアニン合成関連遺伝子の相対発現比
 ■: *FNSII*, ■: *CHI1*, ▨: *DFR*, ▤: *F3H*

以上の結果より、*FNSII* の発現抑制により、メタボロンを形成していると推定される他の酵素群の遺伝子発現も概ね連動して抑制される一方で、メタボロン形成の一角を構成し、フラボノイド生合成の起点となる *CHS* の発現が増加することが明らかとなった。このことは、フラボノイド生合成フローの停滞により生合成上位の生産圧力が高まったのが要因であるかもしれない。これらの個体の多くは花弁の色調に大きな変化が認められなかったが、一方で、花弁の色調がピンク色に変化した個体が3個体認められた。これら個体ではペラルゴニジン型アントシアニンの蓄積が考えられるため、フラボノイド3'-水酸化酵素遺伝子 (*F3'H*) の発現が抑制されているのかもしれない。今後、*F3'H* の発現解析と蓄積しているアントシアニンの詳細な解析が必要である。これらのことから、*FNSII* の発現抑制によりキンギョソウにおいて新たな色調の創出の可能性が期待できることが明らかとなった。

謝辞

本実験を遂行するにあたり、*A. tumefaciens* C58C1株を名城大学農学部植物分子遺伝学研究室 森上敦教授および塚越啓央准教授に分与いただいた。また、キンギョソウ *FNSII* の塩基配列情報およびcDNAクローンを東北大学大学院工学研究科 中山亨教授ならびに和氣駿之助教授に提供いただいた。ここに深謝の意を表します。

引用文献

- Cui, M. L., K. Tanaka and T. Handa (2004) High frequency of shoot regeneration from hypocotyls and stem segments of *Antirrhinum majus* (Snapdragon). *Plant Cell, Tiss. Org. Cult.* 78: 51-53.
- Daimon, H., M. Fukami and M. Mii (1990) Hairy root formation in peanut by the wild type strains of *Agrobacterium rhizogenes*. *Plant Tiss. Cult. Lett.* 7: 31-34.
- Edwards, K. E., C. Johnstone and C. Thompson (1991) A simple and rapid method for the preparation of plant genomic DNA for PCR analysis. *Nuc. Acids Res.* 19: 1349.
- Fujino, N., N. Tenma, T. Waki, K. Ito, Y. Komatsuzaki, K. Sugiyama, T. Yamazaki, S. Yoshida, M. Hatayama, S. Yamashita, Y. Tanaka, R. Motohashi, K. Denessiouk, S. Takahashi and T. Nakayama (2018) Physical interactions among flavonoid enzymes in snapdragon and torenia reveal the diversity in the flavonoid metabolon organization of different plant species. *The Plant J.* 94: 372-392.
- Geissman, T. A., E. C. Jorgensen and B. L. Johnson (1954) The chemistry of flower pigmentation in *Antirrhinum majus*. color genotypes. I. The flavonoid components of the homozygous P, M, Y color types. *Arch. Biochem. Biophys.* 49: 368-388.
- Harborne, J. B. and H. Baxter (1999) Handbook of natural flavonoids. Vol 1 and Vol 2. John Wiley & Sons.
- Nakayama, T., K. Yonekura-Sakakibara, T. Sato, S. Kikuchi, Y. Fukui, M. Fukuchi-Mizutani, T. Ueda, M. Nakao, Y. Tanaka, T. Kusumi and T. Nishino (2000) Aureusidin synthase: a polyphenol oxidase homolog responsible for flower coloration. *Science* 290: 1163-1166.
- Stafford, H. A. (1974) The metabolism of aromatic compounds. *Ann. Rev. Plant Biol.* 25: 459-486.
- 立澤文見・篠田浩一 (2005) フォトダイオードアレイ検出器を用いた高速液体クロマトグラフィーによるアントシアニンの同定と薄層クロマトグラフィーおよび分光光度計での吸収スペクトル特性を併用したアントシアニンの同定の比較. *園学研.* 4: 225-228.
- 土岐健次郎・上本俊平 (1977) キンギョソウの花色素に関する研究 (第3報). 花の発達に伴う anthocyanidin-3-glucoside および 3-rutinoside の消長. *園学雑.* 46: 343-348.
- Winkel-Shirley, B (2001) It takes a garden. How work on diverse plant species has contributed to an understanding of flavonoid metabolism. *Plant Physiol.* 127: 1399-1404.

原 著

ジュート (*Corchorus capsularis* L.) における種々の生育段階からの湛水が茎葉の発育に及ぼす影響道山 弘康^{*1)}・平野 達也²⁾

要約 ジュートは雨季に発生する洪水によって生育中期から湛水状態になる圃場で栽培されることが多い。本研究は、湛水開始期をそれぞれ播種 9, 19, 29, 39, 49, 59 日後とした処理区と湛水せずに畑状態の無処理区を設け、種々の生育段階からの湛水が茎葉の生長に及ぼす影響を明らかにした。播種 9 日後と 19 日後湛水開始区では湛水の影響が現れ、それ以降に湛水開始した区では湛水の影響がほとんど無かった。湛水の影響が現れた 2 処理区では、湛水後に茎の伸長および肥大が抑制されたが、一定の時期に抑制から促進に転換して、最終的には茎の長さおよび太さともに無処理区より大きくなった。これら 2 処理区の間では、主茎の伸長および肥大の抑制と促進の程度はどちらも播種 9 日後湛水開始区が播種 19 日後湛水開始区より大きく、最終的な主茎長および節間直径も大きくなった。生長が湛水による抑制から促進に転換する時期は、湛水開始期にかかわらず茎の伸長生長においては播種後 39 日 (7 月 10 日)、肥大生長においては播種後 36 日 (7 月 7 日) であり、湛水開始期の影響を受けなかった。茎の生長が湛水による抑制から促進に転換して無処理区に追いついた時期 (7 月 23 日) には、主茎上位葉が無処理区より長く、いずれの葉でも SPAD 値が無処理区より高かった。このように、ジュートが湛水に敏感に反応する湛水開始時期は播種後 19 日間程度までであり、それらの時期からの湛水は一時的に生長を抑制するものの最終的に生育促進をもたらすことが明らかになった。

キーワード: ジュート (*Corchorus capsularis* L.), 靱皮繊維, 生長発育, 繊維作物, 湛水。

Effect of flooding after various growth stages on growth and development in jute (*Corchorus capsularis* L.)

Hiroyasu Michiyama^{*1)} and Tatsuya Hirano²⁾

Abstract Jute is often cultivated in the flooded fields in the rainy season. This study clarified the effects of flooding started at various growth stages (9, 19, 29, 39, 49, 59 days after sowing) on the growth of stem and leaves in jute. There was almost no effect of flooding in the plots in which flooding started 29 days after sowing or later. In the plots in which flooding started 9 and 19 days after sowing, the stem elongation and increase in stem diameter were suppressed after flooding started. However, this suppression changed to promotion of stem elongation 39 days after sowing (July 10), and stem hypertrophy 36 days after sowing (July 7), regardless of the starting date of flooding. After that, they grew vigorously and finally became larger in both the length and thickness of the stem than in the control plot. Between these two plots in which the plant growth was affected by flooding, the extent of both the suppression and promotion of the stem were larger in the plot in which flooding started 9 days after sowing than in the plot in which flooding started 19 days after the sowing. After the stem growth was converted from the suppression to promotion by flooding (July 23), the upper leaves on the main stem were longer, and the SPAD value of each leaf was higher than the control plot.

Key words: fiber crop, flooding, growth and development, jute (*Corchorus capsularis* L.), waterlogging.

緒言

ジュート (*Corchorus capsularis* L. および *C. olitorius* L.) はシナノキ科に属する一年生草本植物で、茎の靱皮部分に発達する繊維を利用する作物である。ジュートは世界生産量が繊維作物中でワタに次いで二番目に多く、非常に重要な繊維作物である (FAO 2023)。

これまでのジュートの研究は特定の地域で肥料などの栽培条件と収量の関係を追求した研究がほとんどであった (Mahapatra et al. 2009, Majumdor et al. 2010, Mitra

¹⁾元名城大学農学部作物学研究室

¹⁾Former the Laboratory of Crop Science, Faculty of Agriculture, Meijo University

²⁾名城大学農学部作物学研究室

²⁾The Laboratory of Crop Science, Faculty of Agriculture, Meijo University

* 著者連絡先: 〒 948-0134 新潟県十日町市上新井 11-1

* Address: Kamiarai11-1, Tokamachi, Niigata, 948-0134 Japan

e-mail: michy753@me.com

2023 年 11 月 26 日受付 2024 年 1 月 11 日受理

et al. 2010). しかし、日本におけるイネの栽培技術の発展に影響を及ぼした研究を参考にしてみると(永井 1940, 片山 1951, 嵐・江口 1954, 松島 1959, 藤井 1961, 村田 1961), ジュートの効率的な生産および増収を実現するためにはまず茎葉や根の生長および収穫部位にあたる繊維組織の発達に及ぼす栽培環境の影響を生育過程にそって経時的に知る必要があると考えられた。そのため、著者の一人の道山は、ジュートの生長および繊維組織の基本的な発達経過(道山 2020), それらに及ぼす播種期の影響(道山 2022 a, b) ならびに窒素無施肥の影響(道山 2023) を明らかにしてきた。

FAOの統計でジュートの生産状況を見ると、2022年の生産量はインドが176万t、バングラディッシュが153万tであり、両国あわせると世界の総生産量350万tの約94%を占めており、世界のジュート生産はインド、バングラディッシュに極端に集中していることが明らかである(FAO 2023)。これらの国でジュートは播種後一定期間畑状態で生育し、生育中期からは雨季に発生する洪水によって湛水状態になる圃場で栽培されることが多い。幼植物期のジュートは土壌の湛水に敏感に反応するが、幼植物時代を経過してしまえば畑地が一時洪水に襲われても被害は少なく、茎の下部から発根して繊維の品質を低下するが、氾濫が甚だしくなればかえって生長が旺盛になるといわれている(西川 1960, Khandakar and van der Vossen 2003)。また、圃場が湛水する時期と幼植物期がなるべく重ならないように播種期が決定されていることも知られている(中村ら 2015)。このような環境下で栽培されているにもかかわらず、湛水によってジュートの生長の経過がいかなる変化をするのかについて具体的に調査した研究はみあたらない。

以上のことから、著者らはジュートの生長に及ぼす湛水の影響を知る第一歩として、播種後一定期間畑状態として種々の時期から生育終了まで湛水する環境を設定し、ジュートの生長経過に起こる変化を明らかにしようと考えた。本研究では、植物体全体が水没しないように水深を3~5 cm程度の浅いものとし、湛水開始から生育終了までほぼ一定の水深とした。実際の栽培地では水深が変化する場合や、さらに水が少なくなって畑状態に戻るような場合もあるが、このような水深の影響は今後の研究に期待することにした。また、西川(1960)によると「ほとんどすべての黄麻生産国では *Corchorus capsularis* が栽培されており」「*C. olitorius* は *C. capsularis* よりも繊維の品質が劣るが、乾燥に強いので *C. capsularis* の適しない水分不足地帯に栽培される」ことから、本実験では湛水の影響を知る必要のある材料として *C. capsularis* を使うことにした。

材料および方法

2016年に名城大学構内においてジュート丸実種(*Corchorus capsularis* L.)を用いて実験を行った。1/5000 a ワグナーポット70個に1ポットあたり3.3 kgの土を詰

め、高度化成肥料(N, P₂O₅ および K₂O をそれぞれ15%, 15%, 10%を含む)を元肥として1ポットあたり5 g施用した。6月1日に種子をポット内の3ヶ所に2粒ずつ播種し、全て出芽した6月8日に1ポットあたり1個体となるように間引きを行い、1ポット1本として栽培した。子葉の展開が完了した6月10日(播種9日後)を第1回目として、10日おきに6月20日(19日後), 6月30日(29日後), 7月10日(39日後), 7月20日(49日後)および7月30日(59日後)に湛水処理を開始する区を設け、これらを順に播種9日後湛水開始区, 播種19日後湛水開始区, 播種29日後湛水開始区, 播種39日後湛水開始区, 播種49日後湛水開始区および播種59日後湛水開始区とした(図表では「9日後区」などと省略した名前で表記)。他に湛水せず畑状態に保つ無処理区を設けて全7区とした。湛水処理は、ポット内の地表面からポットのふちまでの3~5 cmの深さに行い、どの区も湛水開始日から栽培終了まで続けた。播種19日後以降の湛水開始区では湛水開始期の主茎長が5 cm以上で水没しなかったが、播種9日後湛水開始区においては湛水開始期における主茎長が約1 cmしかなくて植物体が水没してしまうため、主茎長が5 cmを超えるまでは水没しない程度に水深をやや浅くした。

6月10日から生長がほぼ終了した9月12日まで3日毎に、ものさしおよびキャリパーまたはノギスを用いて、主茎長、すべての側枝の茎長および主茎第1, 6, 11, 16および21節間の直径を測定し、個体毎に開花始期を記録した。ただし、節間の太さに関しては第1節間の直径が測定可能になった6月16日から測定を開始した。生長がほぼ終了した9月12日に主茎および側枝の葉数を測定し、すべての節間の長さおよび直径を測定した。また、植物体に花芽が見え始めた7月23日に各区5個体のすべての葉の長さおよびSPAD値を測定した。なお、本実験では子葉およびその節を第0葉および第0節、地表面から子葉節までを第0節間として順次主茎の上位に向かって、葉、節および節間に番号を付けた。また、統計処理の結果を図中に示すのにあたっては、煩雑さを避けるため、播種9日後湛水開始区をa, 播種19日後湛水開始区をb, 播種29日後湛水開始区をc, 播種39日後湛水開始区をd, 播種49日後湛水開始区をe, 播種59日後湛水開始区をfとして、各測定日において無処理区との間にTukey法による5%レベルの有意差があった場合のみ、その処理区を示すアルファベットを図中に示した。

結果

1. 開花始期に及ぼす種々の時期からの湛水の影響

無処理区の開花始期は播種59.5日後の7月31日であった(表1)。播種9日後および播種19日後湛水開始区は無処理区より3~4日遅れ、それぞれ播種63.7日後および播種63.4日後の8月4日(湛水開始55日後)および8月3日(湛水開始44日後)であった。しかし、湛水開始がさ

らに遅れた播種 29 日後～ 59 日後湛水開始区の開花始期は無処理区とほぼ同じであった。

表 1. ジュートの開花および生長終了期の茎の形態に及ぼす種々の時期からの湛水の影響.

	開花始期		主茎長 (cm)	主茎葉数	最上位節側枝		第1節間 直径 (mm)
	(暦日)	(播種後 日数)			側枝長 (cm)	側枝 葉数	
無処理区	7月31日	59.5 b	104.6 b	25.0 cd	14.8 c	7.2 c	6.5 c
9日後区	8月4日	63.7 a	126.7 a	28.6 a	38.5 a	13.2 a	16.7 a
19日後区	8月3日	63.4 a	120.1 a	27.7 ab	24.8 b	9.4 b	11.3 b
29日後区	7月31日	60.4 b	107.7 b	24.2 d	11.1 c	5.2 d	6.9 c
39日後区	7月31日	59.6 b	106.4 b	25.5 cd	13.9 c	5.5 d	7.0 c
49日後区	7月30日	59.4 b	101.7 b	25.4 cd	14.4 c	6.3 cd	7.2 c
59日後区	7月30日	58.8 b	106.2 b	26.4 bc	12.9 c	6.2 cd	7.5 c

処理区名には湛水開始日の播種後日数を使った。同一アルファベットのついた数値間には Tukey 法による 5 % レベルでの有意差が無いことを示す。

2. 主茎および側枝の伸長に及ぼす種々の時期からの湛水の影響

いずれの区も、主茎はS字状曲線を描くように伸長して開花始期後の8月9日(播種後69日)頃に伸長がほぼ停止し、それに代わって主茎先端数節から側枝が発生して伸長した(図1)。なお、図1においては側枝の伸長経過に関して主茎最上位節側枝のみについて示した。播種9日後湛水開始区においては、湛水開始時に子葉が展開したばかりで主茎は胚軸部分だけしかなく、主茎長は約1cmしかなかったことから水没するのが明らかであった。そのため水深を浅くしたが、湛水開始3日後および6日後においてわずかではあるが無処理区の主茎長より有意に長かった。しかし、その後この区の主茎の伸長速度は小さく、湛水開始11日後の6月22日から無処理区の主茎長より有意に短くなり、無処理区との差は生育の進行とともに広がった。播種19日後湛水開始区の主茎長は湛水開始時にすでに5cmを超えて水没の危険性が無かった。この区では湛水直後から主茎の伸長速度が小さく、湛水開始5日後の6月25日から無処理区の主茎長より有意に短くなり、無処理区との差は生育とともに広がった。そして、両区ともある時期から主茎の伸長が抑制から促進に転換して伸長速度が無処理区より大きくなり、無処理区との差が小さくなっていった。この両区の伸長速度が大きい状態は生長終了まで続き、両区の主茎長は無処理区に追いついた後、逆に無処理区より長くなり、無処理区との差が広がっていった。両区の主茎長が無処理区に追いついて、差が最も小さくなった時期は7月25日(湛水開始44および34日後)であった。播種9日後湛水開始区と播種19日後湛水開始区を比較すると、主茎の伸長が抑制を受けてから促進に転換して

無処理区に追いつくまでの期間では、播種9日後湛水開始区のほうが播種19日後湛水開始区よりも主茎長が短く、無処理区を追い越した後の期間では、播種9日後湛水開始区のほうが播種19日後湛水開始区よりも主茎長が長かった。主茎の伸長停止期はいずれの区も同じであり、最終主茎長は無処理区が104.6cmであり、播種9日後および播種19日後湛水開始区はそれぞれ126.7cmおよび120.1cmであり、それぞれ無処理区より22.1cmおよび15.5cm長かった(表1)。他の湛水処理区は無処理区とほぼ同様に主茎長が推移し、生育の全期間にわたって無処理区との間に有意差がみられず(図1)、最終主茎長は無処理区と同程度の101.7~107.7cmであった(表1)。

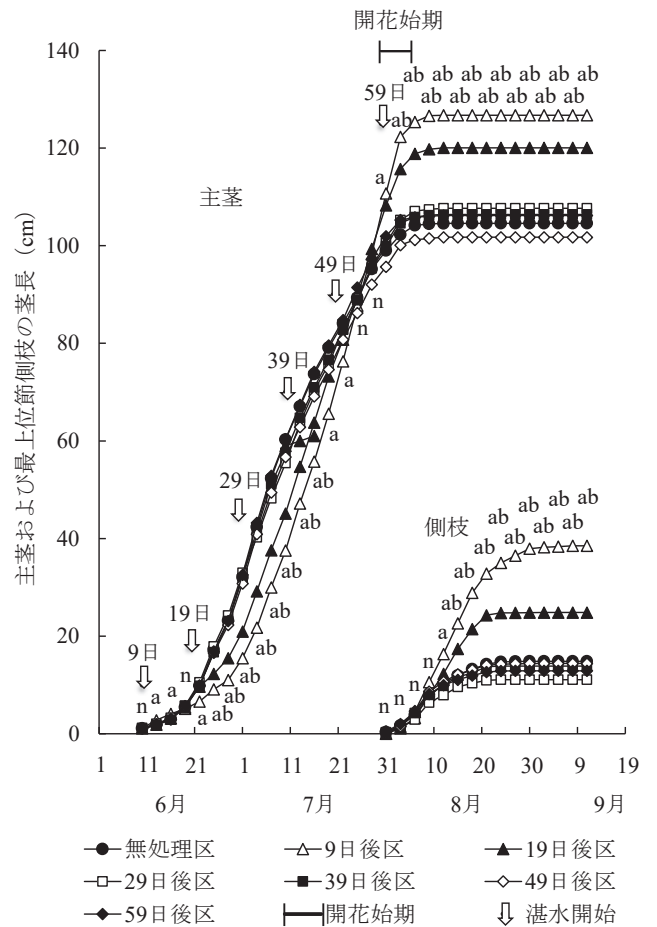


図 1. ジュートにおける主茎および側枝の伸長経過に及ぼす種々の時期からの湛水の影響.

側枝長は各区の個体の最上位側枝の長さを示した。開花始期の範囲は各区の平均値で最も早かった区から遅かった区までを示す。図中のアルファベットは、a: 9 日後湛水開始区, b: 19 日後湛水開始区, c: 29 日後湛水開始区, d: 39 日後湛水開始区, e: 49 日後湛水開始区, f: 59 日後湛水開始区とし、各測定日において無処理区との間に Tukey 法による 5% レベルの有意差がみられた区を示した。「n」はいずれの湛水区においても無処理区との間に有意差がみられなかった測定日を示す。

側枝の伸長についてみると(図1), 播種9日後および播種19日後湛水開始区は開花がやや遅れたために(表1)側枝の伸長開始がわずかに遅れて, 無処理区の開花始期頃(播種60日後の7月31日頃)には側枝長が無処理区より短い傾向であったが, 有意差は無かった. しかし, これらの区の側枝の伸長速度は無処理区より大きく, 播種9日後湛水開始区は播種19日後湛水開始区より大きく, それぞれ8月12日(播種72日後)以降および8月15日(播種75日後)以降に無処理区より有意に長くなった(図1). また, 播種9日後湛水開始区は他の区より伸長終了期が遅れる傾向があり, 最終側枝長がさらに長くなる傾向がみられた. 最終側枝長は無処理区が14.8 cmであり, 播種9日後および播種19日後湛水開始区はそれぞれ38.5 cmおよび24.8 cmであり, それぞれ無処理区より24 cmおよび10 cm長かった(表1). 最終側枝長における播種9日後湛水開始区と播種19日後湛水開始区の差は最終主茎長における差より大きくなった. 主茎と同様に側枝においてもこの2区以外(播種29日後以降の湛水開始区)は無処理区とはほぼ同様の伸長経過を示し, 伸長の全期間にわたって無処理区との間に有意差がみられなかった(図1).

最上位節側枝は主茎の最上位葉の葉腋から発生するため, 主茎長と側枝長の合計値は主軸長とすることができる. 最終主軸長を計算してみると, 無処理区が119.4 cm, 播種9日後および19日後の湛水開始区はそれぞれ165.2 cmおよび144.9 cmであり, 無処理区よりそれぞれ45.8 cmおよび25.5 cmも長かった.

湛水処理区の主茎の伸長における湛水による抑制および促進の経過, 特に生長が抑制から促進に変わる転換期を知るために, 湛水処理区と無処理区の主茎長の差を計算し, それらの推移を図2に示した. 主茎長に対して湛水による有意な影響がみられた湛水区のうち播種9日後湛水開始区では湛水開始11日後(6月22日)から, 播種19日後湛水開始区では湛水開始5日後(6月25日)から無処理区との差が負の値をとった. 両区とも同じ7月10日(播種39日後, 湛水開始後ではそれぞれ30日後および20日後)に無処理区との差が負の方向に最も大きくなり, その後は両区とも無処理区との差が縮まり, 7月10日が両区とも湛水による抑制から促進への転換期となった. この転換期において播種9日後湛水開始区は無処理区より22.7 cm短く, 播種19日後湛水開始区は15.2 cm短く, 播種9日後湛水開始区のほうが播種19日後湛水開始区より無処理区との差が大きかった. その後は両区とも負の値であった無処理区との差が縮まって, さらに無処理区との差が正の値になって, その差が広がっていった. 最終的に無処理区との差は播種9日後湛水開始区のほうが播種19日後湛水開始区より正の方向に大きくなった. 他の湛水処理区は, 図2からは無処理区との差が若干あるようにみえるが, それらの差は有意ではなかった.

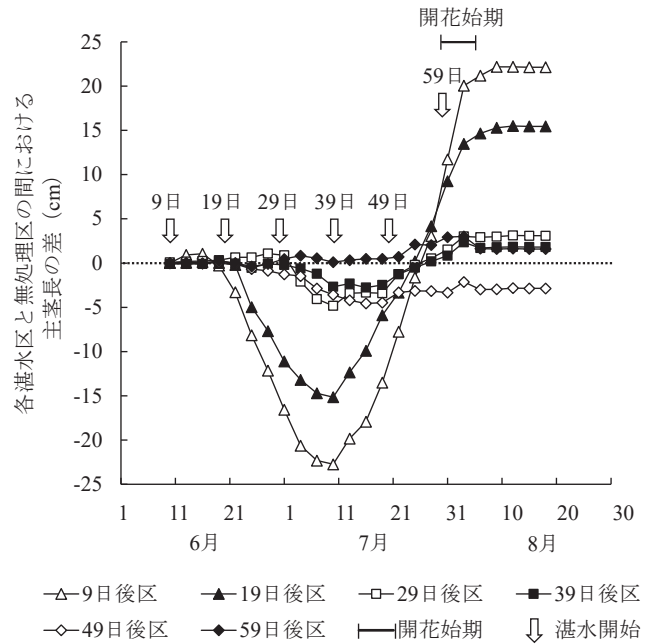


図2. ジュートの各湛水処理区と無処理区の間における主茎長の差の推移.

図中の開花始期の範囲については図1を参照.

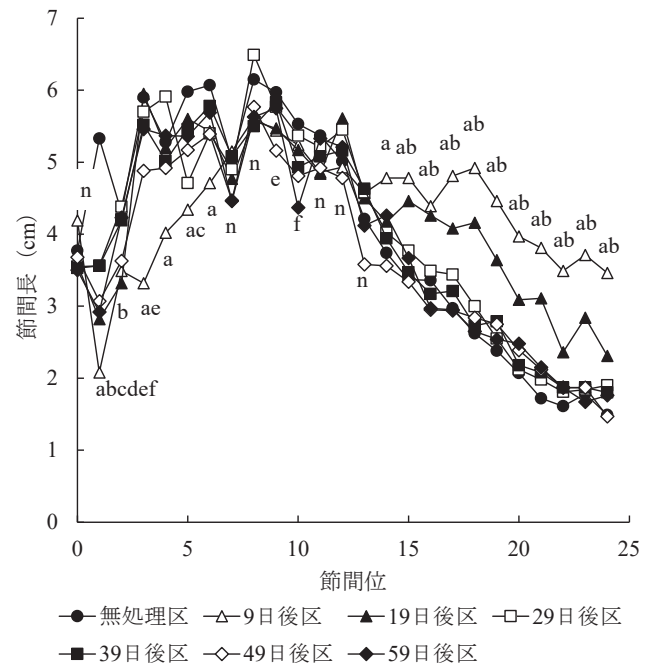


図3. ジュートの主茎最終節間長に及ぼす種々の時期からの湛水の影響(9月12日, 播種104日後測定).

図中のアルファベットについては図1を参照.

主茎各節間の最終長を図3に示した. 無処理区の胚軸の最終長は3.8 cmであり, 播種9日後湛水開始区が4.1 cmでわずかに長い傾向であったが有意差は無かった. 他の処理区は区間差が小さく, 無処理区と同程度の3.5~3.7 cmであった. 第1節間以上をみると, 無処理区は第2節間が4.3 cmで他よりやや短かったことを例外として第1~第

12節間が5.0～6.1 cmの範囲で変動し、第12節間以上では上位節間ほど短くなった。播種9日後湛水開始区は主茎下位の第1節間および第3～第6節間が無処理区より有意に短かく、逆に第14節間以上の上位節間は無処理区より有意に長かった。播種19日後湛水開始区は播種9日後湛水開始区のように下位節間が無処理区より短くはならなかったが、第15節間以上の上位節間が播種9日後湛水開始区ほどではないが無処理区より有意に長かった。他の処理区はたまた無処理区より有意に短い節間が観察されたが、多くの場合無処理区と同程度の長さであった。

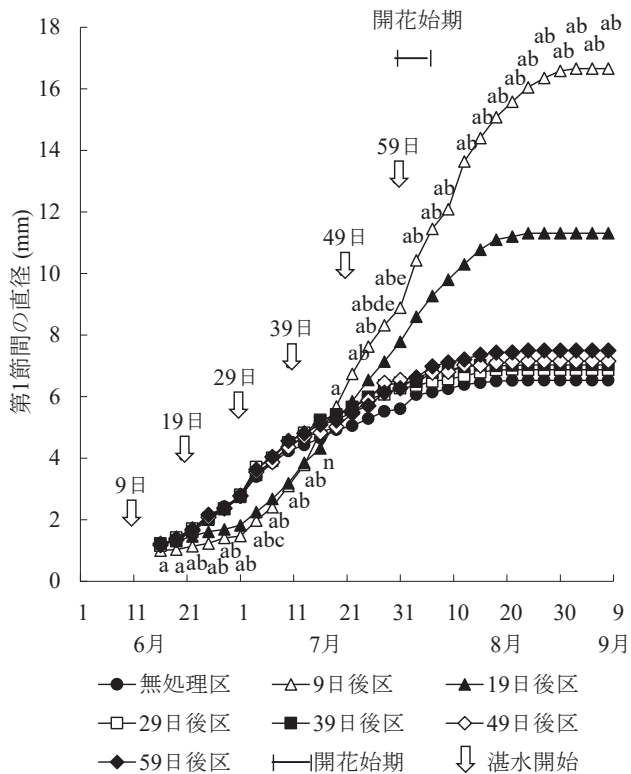


図4. ジュートにおける第1節間の太さの推移に及ぼす種々の時期からの湛水の影響。
図中の開花始期の範囲およびアルファベットについては図1を参照。

3. 茎の太さに及ぼす種々の時期からの湛水の影響

第1節間の肥大経過をみると、播種9日後湛水開始区は湛水開始6日後の6月16日から、播種19日後湛水開始区では湛水開始2日後の6月22日から肥大が抑制されて、無処理区より小さくなり、その後無処理区との差は生育の進行とともに広がった(図4)。ただし、肥大経過においては、播種9日後湛水開始区において主茎の伸長経過にみられたような、湛水開始直後の短期間の促進は無かった。そして、両区ともある時期から第1節間の肥大速度が抑制から促進に転換して肥大速度は無処理区より大きくなり、無処理区との差が小さくなっていった。この両区の肥大速度が大きい状態は生長終了まで続き、両区の第1節間直径は無処理区に追いついた後、無処理区を追い越して大きく

なり、さらに無処理区との差が広がっていった。第1節間直径が無処理区に追いついて差が最も小さくなった時期は、播種9日後湛水開始区では7月16日(湛水開始35日後)、播種19日後湛水開始区では7月19日(湛水開始38日後)であり、この時期は主茎長における場合よりわずかに早かった。肥大が抑制を受けてから促進に転換して無処理区に追いつくまでの期間は播種9日後湛水開始区のほうが播種19日後湛水開始区よりも第1節間直径が細く、無処理区を追い越した後は播種9日後湛水開始区のほうが播種19日後湛水開始区よりも第1節間直径が太かった。他の湛水処理区は無処理区と同様の肥大経過を示した。第1節間の最終直径は無処理区が6.5 mmであり、播種9日後湛水開始区は16.7 mmで2倍以上になり、播種19日後湛水開始区はそれほどではないが11.3 mmで無処理区の2倍近くまで太くなった(表1)。他の湛水区の第1節間直径は、7月10日湛水開始区が7月28日および7月31日に、7月20日湛水開始区は7月28日に節間直径が無処理区よりわずかであるが有意に太かったことを除いて、肥大終了まで無処理区との間に有意差はみられず、ほぼ同様に推移した(図4)。最終直径は無処理区と同程度の6.9～7.5 mmであった(表1)。

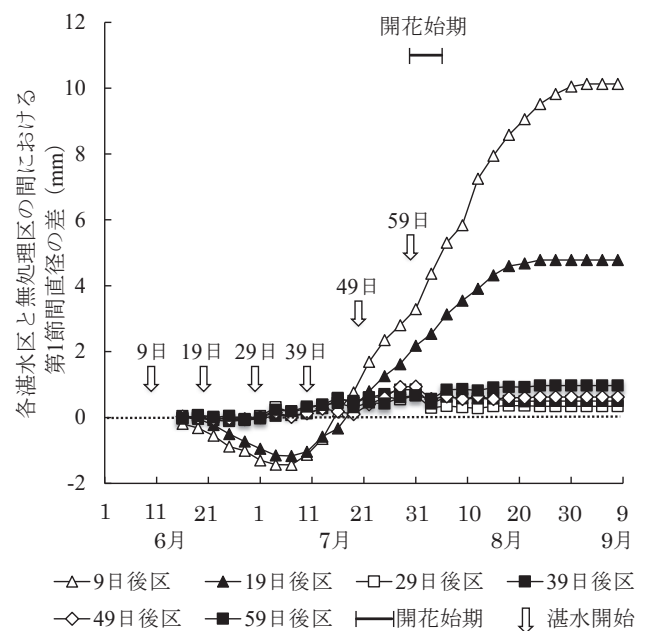


図5. ジュートの各湛水処理区と無処理区の間における第1節間直径の差の推移。

図中の開花始期の範囲については図1を参照。

湛水処理区の第1節間の肥大における湛水による抑制および促進の経過、特に肥大が抑制から促進に変わる転換期を知るために、湛水処理区と無処理区の節間直径の差を計算し、それらの推移を図5に示した。第1節間直径に及ぼす有意な影響がみられた湛水区のうち播種9日後湛水開始区では湛水開始6日後(6月16日、測定初日)から、播種19日後湛水開始区では湛水開始2日後(6月22日)か

ら無処理区との差が負の値をとった。そして、両区とも同じ7月7日(播種36日後、湛水開始後ではそれぞれ27日後および17日後)に無処理区との差が負の方向に最も大きくなった。その後は両区とも肥大速度が大きくなって無処理区との差が縮まり、7月7日が両区とも湛水による抑制から促進への転換期となった。この時期は主茎の伸長における転換期より3日早かった。播種9日後湛水開始区と播種19日後湛水開始区を比較すると、この転換期における無処理区との差(絶対値)の最大値はそれぞれ1.4 mmおよび1.2 mmであり、播種9日後湛水開始区のほうが播種19日後湛水開始区より大きかった。その後は両区とも負の値であった無処理区との差が縮まって、さらに無処理区との差が正の値になって、その差が広がっていった。第1節間直径においても、図5からは他の湛水処理区も無処理区との差が若干あるようにみえるが、それらは有意差ではなかった。

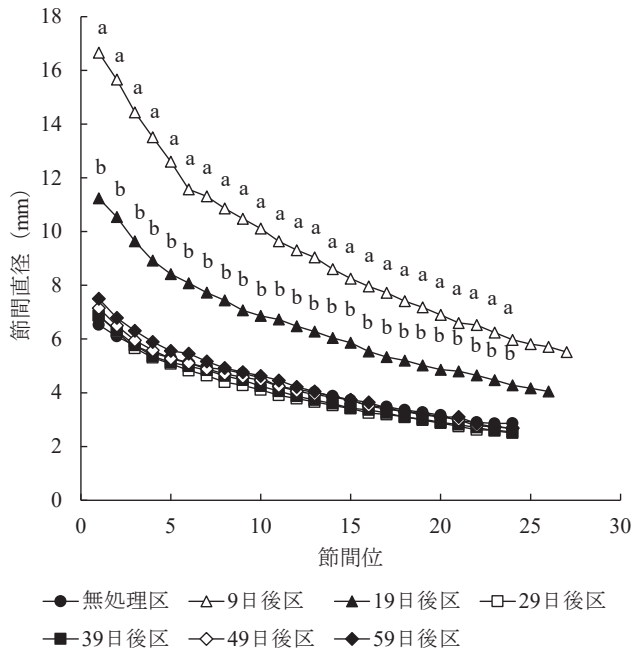


図6. ジュートの主茎各節間の最終直径に及ぼす種々の時期からの湛水の影響(9月12日、播種104日後測定)。図中のアルファベットについては図1を参照。

主茎各節間の最終直径はいずれの区においても上位節間ほど細くなり、いずれの節間においても播種9日後湛水開始区が最も太く、次いで播種19日後湛水開始区であり、無処理区との差はいずれの節間でも有意であった(図6)。また、各区の茎を下位節間に向かって直径の変化をみると、播種9日後湛水開始区では第4節間以下、播種19日後湛水開始区では第2節間以下が急に太くなる傾向がみられた。他の湛水処理区は無処理区との差がいずれの節間においても有意ではなかった。

4. 主茎および側枝の葉の発育状況に及ぼす種々の時期からの湛水の影響

主茎および最上位節側枝の最終葉数は、無処理区が25.0枚および7.2枚であった(表1)。主茎および側枝が長くなった播種9日後湛水開始区および播種19日後湛水開始区ではそれぞれ主茎葉数が28.6枚および27.7枚で、側枝葉数はそれぞれ13.2枚および9.4枚であり、無処理区より有意に多かった。また、主茎葉数に関しては播種9日後湛水開始区と播種19日後湛水開始区が同程度であったが、側枝葉数に関しては播種9日後湛水開始区が播種19日後湛水開始区より有意に多かった。他の処理区の主茎葉数はいずれも24.2枚~26.4枚であり、無処理区との間に有意差が無かった。しかし、側枝葉数に関してはわずかに有意差が現れ、播種29日後と39日後湛水開始区が5.2枚および5.5枚で無処理区より有意に少なく(約2枚)、播種49日後と59日後湛水開始区は6.2枚および6.3枚で無処理区と同程度であった。

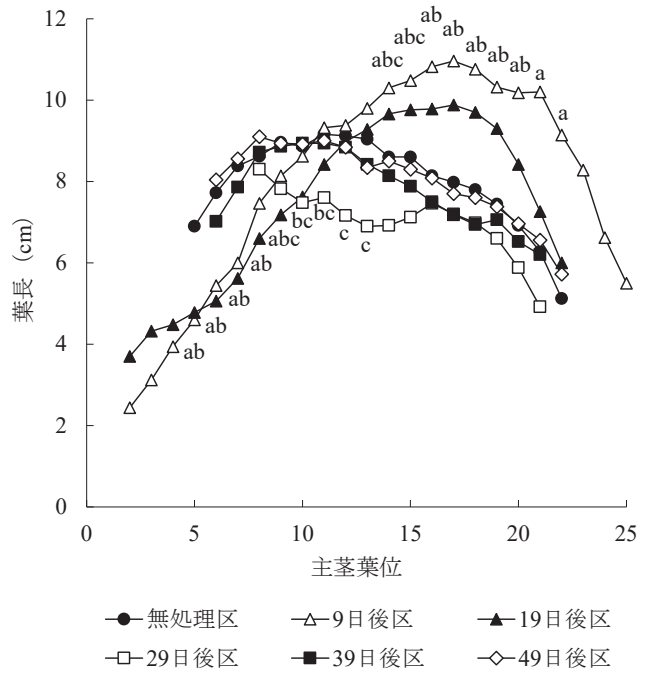


図7. 7月23日(播種52日後)におけるジュートの主茎各葉の長さおよび種々の時期からの湛水の影響。

7月23日の植物体の状況については播種9日後湛水開始区および19日後湛水開始区の生長が抑制から促進に変わり、それまでに抑制された分を相殺した時期にあたる。図中のアルファベットについては図1を参照。

植物体に花芽がみえてきた7月23日に主茎各葉の長さを測定したが、この時期は播種9日後および播種19日後湛水開始区で主茎の生長が湛水による一時的な抑制から促進に変化する転換期を過ぎて、無処理区との差が小さくなった時期であった。無処理区では第5葉以上が残っていたが、播種9日後湛水開始区および播種19日後湛水開始区では第2葉以上が残っており、多くの葉が残っていた(図7)。

播種 29 日後湛水開始区, 播種 39 日後湛水開始区および播種 49 日後湛水開始区では無処理区より落葉が多く, それぞれ第 8 葉以上, 第 6 葉および第 6 葉以上が残っていた。

無処理区の葉長をみると, 第 5 葉が 6.9 cm であり, 第 9 葉までは上位葉ほど長くなった (図 7)。第 9 葉から第 13 葉はいずれも約 9 cm で最も長くなり, 第 13 葉以上は上位葉ほど短くなった。これに対して, 播種 9 日後湛水開始区は第 2 葉が 2.4 cm, 第 5 葉が 4.6 cm であり, 無処理区より上位の第 14 葉までは上位葉ほど長くなった。第 14 葉～第 21 葉は 10.2～11.0 cm になり個体中で最も長く, 第 21 葉以上は上位葉ほど急に短くなった。この間, 第 5 葉～第 9 葉は無処理区より有意に短かく, 第 10 葉～第 13 葉は無処理区との間に有意差が無くなり, 第 14 葉～第 22 葉は無処理区より有意に長かった。播種 19 日後湛水開始区でも第 2 葉が 3.7 cm, 第 5 葉は 4.8 cm であり, 播種 9 日後湛水開始区と同様に第 14 葉まで上位葉ほど長くなり, 第 14 葉～第 18 葉は 9.7～9.9 cm になり個体中で最も長く, 第 18 葉以上は上位葉ほど急に短くなった。この間, 第 5 葉～第 11 葉は無処理区より有意に短かく, 第 12 葉～第 13 葉が無処理区との間に有意差が無くなり, 第 14 葉～第 22 葉は無処理区より有意に長かった。播種 19 日後湛水開始区と播種 9 日後湛水開始区との比較に関しては統計処理の結果を図 7 には示さなかったが, 第 2 葉および第 3 葉は播種 19 日後湛水開始区のほうが有意に長かった。播種 19 日後湛水開始区の第 4 葉～第 7 葉は上位葉に向かったの葉長増加が小さく, 播種 9 日後湛水開始区との間に有意差が無かった。そして, 第 8 葉～第 10 葉, 第 17 葉, 第 20 葉以上は播種 19 日後湛水開始区が播種 9 日後湛水開始区より短くなった。葉長の場合茎の長さおよび太さとは異なり, 播種 29 日後湛水開始区でも湛水の影響が現れ, 第 6 葉～第 8 葉は無処理区と同様の長さであったが, 第 9 葉～第 15 葉が長くならず無処理区より有意に短くなった。また, 第 16 葉以上は再び無処理区と同様の長さになった。以上の播種 9 日後から 29 日後までの湛水開始区の各葉長の比較すると, 湛水開始期が遅くなるのに伴って伸長抑制を受ける葉が上位の葉になった。播種 39 日後および播種 49 日後湛水開始区はいずれの葉位でも無処理区と同様の葉長であった。

同じく 7 月 23 日における主茎各葉の SPAD 値をみると, 無処理区において測定した最下位葉である第 6 葉の SPAD 値は 11.8 であり, 第 16 葉までは上位葉ほど SPAD 値が高くなる傾向であり, 上位の第 16 葉～第 20 葉は 31.6～32.6 であった (図 8)。播種 9 日後湛水開始区では, 上位葉ほど SPAD 値が高いのは同様であったが, 第 6 葉が 32.8, 最高値を示した第 19 葉は 50.2 であり, いずれの葉位でも無処理区より有意に高かった。また, 播種 19 日後湛水開始区の主茎葉の SPAD 値も上位葉ほど高く, 第 6 葉は 31.9, 最高値を示した第 17 葉は 43.0 であり, 無処理区より有意に高かった。しかし, 播種 9 日後湛水開始区よりは低い傾向であり, 図 8 には示さなかったが第 17 葉以上の

上位葉では有意差がみられた。播種 29 日～59 日の湛水開始区は無処理区との差がほとんど無かった。

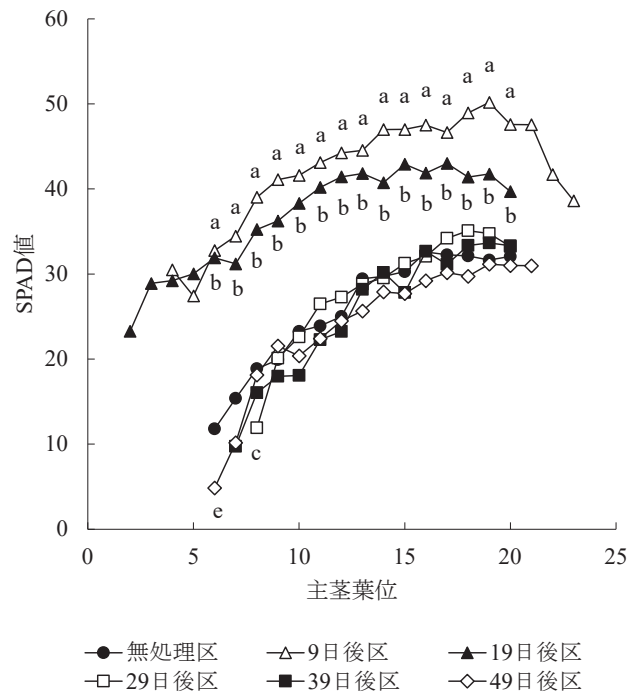


図 8. 7 月 23 日 (播種 52 日後) におけるジュートの主茎各葉の SPAD 値に及ぼす種々の時期からの湛水の影響。7 月 23 日の植物体の状態については, 図 7 を参照。図中のアルファベットについては図 1 を参照。

考察

本実験において, 播種 9 日後および 19 日後湛水開始区では湛水によって茎の伸長および肥大が影響を受け, それ以降の湛水開始区では湛水の影響がほとんど無いことが明らかになった (図 1, 4)。播種 9 日後および 19 日後湛水開始区では, 湛水後に伸長および肥大が抑制されたが, 一定の時期からそれらが抑制から促進に転換して無処理を追い越すように盛んに生長し, 最終的には茎の長さおよび太さともに畑状態の無処理区より大きくなること明らかになった。幼植物期のジュートは土壌の湛水に敏感に反応し, 幼植物時代を経過してしまえば畑地が一時洪水に襲われても被害は少ないと言われている (西川 1960, Khandakar and van der Vossen 2003)。本研究の結果, 土壌の湛水に敏感に反応する幼植物期というのは出芽から播種後 19 日間程度までの期間であることが明らかになった。しかし, 一定の時期から伸長および肥大が抑制から促進に転換し, 本実験の範囲では最終的には湛水によって伸長生長および肥大生長が被害を受けるのではなく促進されることが明らかになった。しかし, これらは本実験のような水深 3～5 cm 程度の湛水の影響であり, 実際の栽培地では水深が変化したり, 植物体が水没するくらい水深になることも考えられ, 今後は水深やその変化に焦点をあてて湛水の影響

を明らかにする必要があると考えられた。

本実験において、湛水開始時が出芽直後であった播種9日後湛水開始区では、湛水直後の6日間であるが一時的に無処理区との間に有意差が出るほど茎の伸長が促進された(図1)。これは湛水開始期が出芽直後であり、予定の水深では子葉が水没してしまうために子葉が水面上に出るように水深を調節したが、胚軸(茎)のほとんどが水没する状態であったことが原因と考えられた。しかし、湛水開始後6日を過ぎると播種19日後湛水開始区と同様に無処理区と比べて伸長が抑制を受けるようになったことから、湛水の影響としては短期間の特別な状態であったことが考えられた。

前述の通り播種9日後および19日後湛水開始区では一定の時期から生長が抑制から促進に転換したが、その転換期は伸長生長においては両区とも同じ7月10日であり、肥大生長においては7月7日であった(図2, 5)。しかし、これらを湛水開始後日数でみると、伸長生長では播種9日後湛水開始区が29日後、播種19日後湛水開始区が19日後、肥大生長ではそれぞれ26日後および16日後になり、処理区によって異なった。これらの結果から、湛水による抑制から促進への転換は湛水開始後一定の日数の後に起こるわけではなく、植物体の発育段階に影響を受けて起こる考えられた。一般に、植物の重要な生長転換期は花芽分化および開花である。そこで、まず開花期に注目してみると、両区の開花期は8月3~4日であり(表1)、抑制から促進への転換期であった7月7日~10日は開花期の25~28日前であった。同じ夏作物であるイネやヒマの花芽分化開始は開花前約30日であり(松島1959, 花田・道山1985)、ジュートの花芽分化期は調査を行っていないが、ジュートにおいて湛水による抑制から促進への転換期は花芽分化に関係する可能性が考えられた。この点については今後一層の調査が必要と思われた。

湛水による影響が抑制から促進に転換した後の7月23日に、主茎各葉の長さおよびSPAD値を測定した結果、播種9日後および19日後湛水開始区では上位葉が無処理区より長く、いずれの葉でも無処理区よりSPAD値が高いことが明らかになった(図7, 8)。したがって、生長が抑制から促進へ転換した後の期間には、上位葉の葉面積およびすべての葉の葉緑素含有量が多かったことから、光合成量が多いことが考えられた。ジュートは湛水によって畑状態で発達した根が枯死し、水に浸かった部分から畑状態の根とは形態の異なる新しい根が発生することが知られており(道山・山本1992)、本実験でSPAD値が高かったことから、この湛水下で発生する新根は畑状態で発生する根より養分吸収が活発なことが推察された。しかし、これらの新根の発生は湛水後すぐに開始するため(道山・山本1992)、湛水による生長抑制から生長促進への転換期が湛水開始期から一定の期間において起こる転換期(図2, 5)とはタイムラグがある。また、播種29日後以降の湛水開始区でもこのような新根が発生するが、葉長やSPAD値

には影響が無かった(図7, 8)。これらから、ジュートにおける湛水後の抑制から促進への転換の時期と、葉の大きさ・葉緑素含有量・光合成能力・根の養分吸収能力との関連性については、さらに詳細に研究する必要があると考えられた。

播種9日後湛水開始区と播種19日後湛水開始区を比較すると、両区とも主茎の伸長および肥大が湛水後一時的に抑制された後に促進されたが、その抑制および促進の程度はどちらも播種9日後湛水開始区が播種19日後湛水開始区より大きく、最終的な主茎長および節間直径が大きくなった(図1, 2, 4, 5, 6, 表1)。各節間の最終長をみると、下位節間の伸長抑制が播種9日後湛水開始区のみで起こったが、播種9日後湛水開始区で起こった上位節間の伸長促進が播種19日後湛水開始区の伸長促進より大きく、この区の下位節間の抑制分をとりもどす以上にさらに増加した結果によるものであった(図3)。また、茎の肥大に関しても、播種9日後湛水開始区において湛水直後の肥大抑制が19日後湛水開始区より大きかったが、それにも増して肥大促進が大きかったことが原因であった(図4, 5)。これらの処理区間差は上位葉の長さ(図7)およびSPAD値(図8)が播種9日後湛水開始区で19日後湛水開始区より大きかったことが原因と考えられたが、湛水開始時期が異なることなどがどのようにしてこれらの違いを生むのか今後一層の検討を要する問題と考えられた。

播種29日後湛水開始区は茎の伸長および肥大にはほとんど湛水の影響が無かったが(図1, 4)、葉の生長には抑制の影響がみられた(図7)。すなわち、主茎最終葉長をみると無処理区で残っていた葉が第5葉以上だったので第5葉以上でしか比較できなかったが、播種9日後湛水開始区では第5葉~第9葉が無処理区より短かったこと、播種19日後湛水開始区ではそれより少し上位葉までの第5葉~第11葉が無処理区より短かったが、下位の第2葉~第3葉は播種9日後湛水開始区より長かったこと、播種29日後湛水開始区ではこれらより上位の第9葉~第15葉が無処理区より短かったことが示され、湛水開始期が遅くなると伸長を抑制される葉の葉位が上位に移り、播種29日後湛水開始区でも葉長には影響が表れることが明らかになった。しかし、播種29日後湛水開始区では、播種9日後から16日後湛水開始区でみられたような上位葉の生長促進はみられなかったこと(図7)やSPAD値の上昇もみられなかったことなど(図8)、本実験の範囲では茎の伸長や肥大を促進する要素は観察されなかった。これらの結果から、葉の生長は茎の生長に比べて湛水に対してより敏感に反応することが示唆された。

謝辞

本研究は作物学研究室の1989年度の学生であった松井博文君を中心として全員体勢で研究を開始して、1990年度の松本かおりさんおよび1992年度の丸子知宏君の熱心

な協力で全貌が見えてきた現象について、2016年度の山崎裕貴君の熱心な協力によって本稿を完成することができた。また、その間、名古屋大学および名城大学の元教授であった故・山本良三先生および故・江幡守衛先生の懇切丁寧なご指導とご援助のもとで研究が行われた。皆様に対して、ここに深く感謝いたします。

引用文献

- 嵐嘉一・江口広 1954. 水稻葉の発育経過に関する研究. 第1報 葉身並びに葉鞘の発育経過. 日作紀 23: 21-27.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2023. DOWNLOAD DATA, Crops and livestock products, Production, Data, FAOSTAT. (Update 2023-12-27)
- 藤井義典 1961. 稲麦における根の生育の規則性に関する研究. 佐賀大学農彙報 12: 1-117.
- 花田毅一・道山弘康 1985. ヒマにおける側枝の分化及び発育に関する研究. 筑波大学農林学研究 2: 1-142.
- 片山佃 1951. 稲麦の分蘖研究. 養賢堂, 東京.
- Khandakar, A.L. and van der Vossen, H.A.M. 2003. *Corchorus* L., in Ed. Brink, M. and Escobin, R.P., Plant Resources of South-East Asia. No. 17. Fibre Plants. Backhuys Publishers, Leiden. p.106-114.
- Mahapatra, B.S., Sabyasachi Mitra, Ramasubramanian, T. and Sinha, M.K. 2009. Research on jute (*Corchorus olitorius* and *C. capsularis*) and Kenaf (*Hibiscus cannabinus* and *H. sabdariffa*): present status and future perspective. Indian Journal of Agricultural Sciences 79: 951-967.
- Majumdar, B., Saha, A.R., Sarcar, S., Maji, B. and Mahapatra, B.S. 2010. Effect of herbicides and fungicides application on fibre yield and nutrient uptake by jute (*Corchorus olitorius*), residueal nutrient status and soil quality. Indian Journal of Agricultural Sciences 80: 878-883.
- 松島省三 1959. 稲作の理論と技術. 養賢堂, 東京.
- 道山弘康・山本良三 1992. コウマ (黄麻) における湛水によって発生する新根の形態と生長. 日作紀 61 (別2): 145-146.
- 道山弘康 2020. ジュート (*Corchorus capsularis* L.) における韌皮繊維組織の発達過程. —立体解析から見えてくる繊維組織の形態形成—. 名城大学農学部学術報告 56: 1-6.
- 道山弘康 2022 a. ジュート (*Corchorus capsularis*), イチビ (*Abutilon theophrasti*) およびケナフ (*Hibiscus cannabinus*) の生長と発育に及ぼす播種期の影響. 名城大学農学部学術報告 58: 1-21.
- 道山弘康 2022 b. ジュート (*Corchorus capsularis*) における植物単位を基準とした繊維組織の発達経過の特徴および播種期の影響. 名城大学農学部学術報告 58: 31-44.
- 道山弘康 2023. ジュート (*Corchorus capsularis*) の生長, 発育および繊維組織の発達に及ぼす窒素無施肥の影響. 名城大学農学部学術報告 59: 9-26.
- Mitra, S., Roy, A., Saha, A.R., Maitra, D.N., Sinha, M.K., Mahapatra, B.S. and Saha, S. 2010. Effect of integrated nutrient management on fibre yield, nutrient uptake and soil fertility in jute (*Corchorus olitorius*). Indian Journal of Agricultural Sciences 80: 801-804.
- 村田吉男 1961. 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. 農業技術研究所報告 D: 1-170.
- 永井威三郎 1940. 作物栽培各論上巻. 各論 第1章 いね (稲). 第7節 水稻移植栽培—苗代. p.105. 養賢堂, 東京.
- 中村聡・後藤雄佐・新田洋司 2015. III ジュート, 第5章 繊維作物, 作物学の基礎 II 資源作物・飼料作物. 農山漁村文化協会, 東京. p. 97-98.
- 西川五郎 1960. 工芸作物学. 第2章 繊維料類. 各説 第1節 紡織用繊維. B 韌皮繊維類. [III] 黄麻. p.146-155. 農業図書, 東京.

原 著

都市近郊林における鳥類群集と森林植生との関係 - 豊田市自然観察の森での9年間の学生野外実習の結果分析 -

日野輝明*・橋本啓史

要約 愛知県豊田市近郊の自然観察の森における生物環境科学科1年生の野外実習として、2014年度から2023年度までの9年間、鳥類各種の個体数を調べ森林植生との関係を明らかにするための調査を行った。森林内の8地点においてスポットセンサスによる個体数センサスを行った。全地点で観察された鳥類は9年間で24種が記録され、ヒヨドリ *Hypsipetes amaurotis*, メジロ *Zosterops japonicus*, キビタキ *Ficedula narcissina*, ウグイス *Cettia diphone*, ヤマガラ *Poecile varius* の5種が優占種で、それぞれ全体の29.6%, 13.0%, 8.3%, 7.2%, 6.3%を占めた。森林植生との関係について分析した結果、地上・草本層で採食する鳥については草本層被度による正の影響、樹冠・空中で採食する鳥については低木層被度による負の影響、全体の種多様性については全層被度合計による正の影響が大きいことが示された。また、調査期間の9年間に鳥の種数、個体数、種多様性のいずれも減少しており、とくに林縁性で地上・草本層を利用する種類の減少が大きかった。これらの結果から、都市近郊林の鳥群集においては、落葉広葉樹林から常緑広葉樹への遷移にともなう低木層の増加とそれにとまう草本層の減少、および周辺における農耕地減少と住宅地増加による影響によって多様性が減少する傾向があることが示された。

キーワード：鳥類群集、林縁種、森林遷移、都市近郊林、学生野外実習

Relationship between bird communities and forest vegetation in a peri-urban forest
- Analysis of the results of nine years of student field training in the Toyota City Nature Sanctuary -

Teruaki Hino* and Hiroshi Hashimoto

Abstract As a field practice for first-year students of the Department of Biological and Environmental Sciences in a nature observation forest near Toyota City, Aichi Prefecture, we conducted a nine-year study from FY2014 to FY2023 to determine the population of each bird species and its relationship to forest vegetation. A population census was conducted by spot census at eight sites in the forest. Five species, *Hypsipetes amaurotis*, *Zosterops japonicus*, *Ficedula narcissina*, *Cettia diphone*, *Poecile varius*, were dominant, accounting for 29.6%, 13.0%, 8.3%, 7.2%, and 6.3% of the total, respectively. Analysis of the relationship with forest vegetation indicated a positive effect of herbaceous layer cover for birds foraging in the ground and herbaceous layer, a negative effect of shrub-layer cover for birds foraging in the canopy and space, and a positive effect of total vegetation cover for overall species diversity. In addition, the number of bird species, individuals, and species diversity all decreased during the nine years of the study period, with a particularly large decrease in the number of species that were forest-edged and used the ground and herbaceous layers. These results indicate that the bird community in a peri-urban forest tends to decrease in diversity due to the increase in the shrub-layer and the decrease in the herbaceous layer associated with the succession from deciduous broad-leaved forest to evergreen broad-leaved forest, and the decrease in agricultural land and increase in residential areas in the surrounding area.

Key words: Bird community, Forest-edge species, Forest succession, Peri-urban forest, Student field training

名城大学農学部 468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501
Faculty of Agriculture, Meijo University, 1-501 Shiogamaguchi,
Tempaku-ku, Nagoya 468-8502
* E-mail: hino@meijo-u.ac.jp

2023年12月4日受付 2024年1月18日受理

緒言

近年の都市化にともなう宅地開発や道路建設の拡大は、森林性鳥類の生息場所の面積縮小と分断化をもたらし、多様性や個体数が失われてきている（鶴川・加藤 2013；Dale 2018）。このような状況において都市近郊林に生息する鳥類の保全の重要性が高まってきている（山浦・由井 2001）。森林に生息する鳥の研究では、林内植生の階層構造や樹種構成が多様な森林ほど多くの種類の鳥が生息できること知られている（MacArthur and MacArthur 1961；Karr and Roth 1971；Hino 1985）。都市近郊林では、伐採や下刈りなどの里山林の管理が行われなくなったことで、落葉広葉樹林から常緑広葉樹林へと遷移が進んでおり、植生構造の変化によって鳥類相の変化が生じている可能性がある（Schieck and Song 2006）。また、都市近郊林に生息する鳥類は、周辺域の農耕地や住宅地などの土地利用変化の影響を受けやすい（Clergeau et al. 2001；Chapman and Reich 2007）。そのため、都市近郊林では鳥類群集の長期的な調査によって、森林構造や周囲の環境変化との関係を調べる必要がある。

名城大学農学部生物環境科学科では、愛知県豊田市近郊の自然観察の森において、2014年度から2023年度までの9年間、1年生による野鳥観察のための野外実習を実施してきている。豊田市自然観察の森は、身近な自然を都市近郊に確保し、市民が自然保護について考える場とする目的で、環境省の指導と補助により全国に設置された施設の一つである。施設内には、レクチャー室・展示室等の充実したネイチャーセンターや自然観察のための散策道が整備されており、また学生の野鳥観察に対するレンジャーのサポートを受けることができる。本論文では、植生構造の異なる8地点においてスポットセンサスによる個体数調査を行った実習のデータに基づいて、鳥の種数、個体数、種多様性と植生構造との関係および年変化について分析した結果について報告する。

方法

調査地

調査を行ったのは豊田市自然観察の森で、豊田市の中心市街地の東北東約4 kmに位置し、面積28.8 ha、標高70-140 mの丘陵地に設置されており、東側は美濃三河高原の森林域に繋がっている（図1b）。全体の自然環境はコナラ *Quercus serrata*・アベマキ *Q. variabilis* を中心とした落葉広葉樹林、ツブラジイ *Castanopsis cuspidata* を中心とした常緑広葉樹林、スギ *Cryptomeria japonica*・ヒノキ *Chamaecyparis obtusa* の人工林、竹林、草はら、湿地、ため池などを含む里山環境である（日本野鳥の会 2013）。

鳥の個体数と森林植生の調査

名城大学農学部生物環境科学科における1年生の野外実

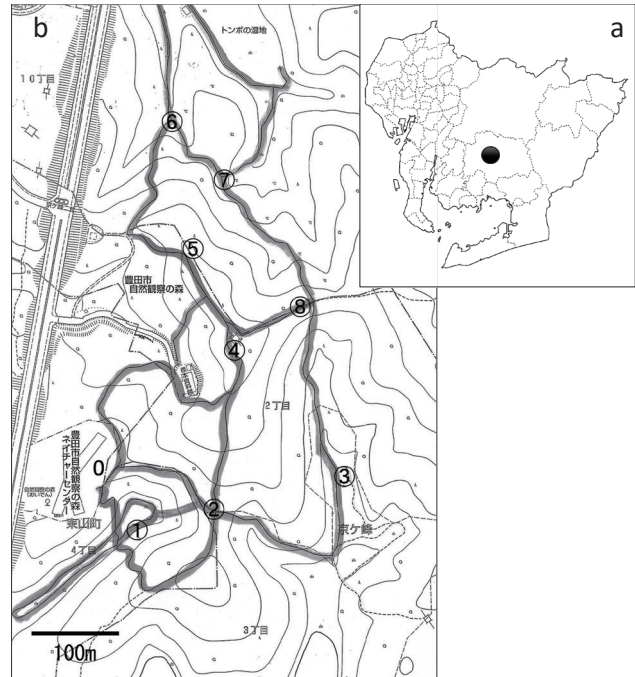


図1. (a) 調査地である豊田市自然観察の森の位置。黒線：調査地点間の観察路。(b) 鳥類のスポットセンサスを行った8カ所の調査地点の位置。

習を、2014年度から2023年度までの5月上旬から6月下旬までに毎年2日間実施した。森林内の観察路上に8ヶ所の調査地点を設置し（図1a）、各地点において5分間のポイントカウント法を用いて25 m範囲内の鳥の種類と個体数を記録した。1日の調査で各地点2回、毎年各地点4回の調査を行い、4回分のデータを合計して各年度の種数・個体数としてまとめた。調査地点での25 m範囲外および地点間移動の際に観察された種については種名のみ記録した。調査中は教員2名（日野・橋本）と自然観察の森レンジャー2名が学生に同行して記録内容の確認を行い、調査後のデータの取りまとめをレクチャー室において行なった。

森林植生についての調査は、実習とは別に2020年6月中旬に行った。8ヶ所の各調査地点を中心に観察沿いに設置した50 mライン上の10 mおき6ヶ所において、半径約5mの範囲内の8つの高さの層（0 m, 0-1.5 m, 1.5-3 m, 3-5 m, 5-7.5 m, 7.5-10 m, 10-15 m, 15 m-）ごとに植生被度を10 %単位で記録した。各調査地点の草本層（0, 0-1.5 m）、低木層（1.5-3 m, 3-5 m）、高木層（5-7.5 m, 7.5-10 m, 10-15 m, 15 m-）の被度を、高さの層ごとに記録した被度の平均値として求めた。

統計的検定

森林内の採食場所の違い（樹冠、空中、藪、地上）によって鳥を4タイプに分け、それに基づいて樹冠と空中で採食するグループと藪と地上で採食するグループに分けた。各グループの種数と個体数、全体の種数と個体数と種

多様性を目的変数とする一般化線形混合モデル (GLMM) を用いてモデル選択を行った。説明変数として、草本層、低木層、高木層の各層の被度、各層被度の合計値である全層被度 (Karr and Roth 1971) と多様性である葉層高多様度 (MacArthur and MacArthur 1961) の5変数を使用して、AICによるモデル選択を行った。説明変数については、標準化 (平均値 = 0, 標準偏差 = 1) を行い、多重共線性 (VIF) が10以下であることを確認した。この分析に加えて、各グループの種数と個体数、全体の種数と個体数と種多様性の年変化を調べるために、説明変数として調査開始からの年数 (2014年 = 0) を使用した。いずれの分析においても、誤差構造は種数と個体数についてはポアソン分布 (リンク関数: 対数)、種多様性については正規分布 (リンク関数: 対数) を指定し、調査地点の違いをランダム効果とした。鳥の種多様性と葉層高多様度はシン普森多様度指数を用いて求めた。鳥の個体数の調査期間前半と後半の比較では二項検定、鳥の個体数と調査年度との関係ではスピアマン順位相関 (同順位補正) を用いて分析した。いずれの分析においても、RStudio (バージョン 2023.06.1) と R (バージョン 4.3.1) を使用した。

結果

9年間で全調査地点の半径 25 m の範囲で観察された鳥

類の種数と合計個体数は 24 種, 1,270 個体であった (表 1)。ヒヨドリ *Hypsipetes amaurotis*, メジロ *Zosterops japonicus*, キビタキ *Ficedula narcissina*, ウグイス *Cettia diphone*, ヤマガラ *Poecile varius* の5種が優占種で、それぞれ全体の 29.6%, 13.0%, 8.3%, 7.2%, 6.3% を占めた。全体の種数と個体数のどちらにおいても地点1で最も多く、地点8で最も少なかった。樹冠・空中層で採食する鳥は全体で 14 種, 1,018 個体で、全体と同様に種数と個体数の両方において、地点1で最も多く、地点8で最も少なかった。それに対して、地上・草本層で採食する鳥は、全体で 10 種, 252 個体で、種数は地点6で最も多く地点5で最も少なく、個体数は地点3で最も多く地点5で最も少なかった。全体の種多様性は 0.868 で、地点3で最も高く、地点7で最も低かった。

高さごとの植生被度の分布は地点間で異なり、地点1と地点3は草本層、地点4は低木層、地点7は高木層の被度が他の層に比べて高く、地点5と地点8は草本層の被度が他の層に比べて低く、地点2と地点6はどの層の被度もほぼ同程度であった (図 2)。全層被度は、地点3で最も高く、地点4で最も低かった。葉層高多様度は地点2で最も高く、地点3で最も低かった (表 2)。鳥群集と森林植生との関係について分析した結果、鳥全体の種数については草本層被度による正の影響、樹冠・空中層で採食する鳥の種数については低木層被度による負の影響、地上・草本層で採食

表 1. 調査地点 8 か所における 9 年間の種ごとの観察個体数、樹冠 (TR)・空中 (AR) 層で採食する鳥と地上 (GR)・草本 (BS) 層で採食する鳥別の種数と個体数。

種名	学名	採食場所	1	2	3	4	5	6	7	8	合計
サンコウチョウ	<i>Terpsiphone atrocaudata</i>	AR	2	1	4			2	4		13
キビタキ	<i>Ficedula narcissina</i>	AR	15	11	9	15	10	18	14	13	105
オオルリ	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>	AR									
ブッポウソウ	<i>Eurystomus orientalis</i>	AR									
シジュウカラ	<i>Parus minor</i>	TR	6	8	8	4	9	16	8	5	64
ヤマガラ	<i>Poecile varius</i>	TR	17	12	7	1	8	21	8	7	81
エナガ	<i>Aegithalos caudatus</i>	TR	17	5	5	2	5		1	1	36
メジロ	<i>Zosterops japonicus</i>	TR	31	12	19	21	27	16	22	17	165
ヒヨドリ	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	TR	63	48	42	44	40	46	59	34	376
サンショウクイ	<i>Pericrocotus divaricatus</i>	TR	11	9	7	8	6	6	5	3	55
イカル	<i>Eophona personata</i>	TR	1				1			1	3
センダイムシクイ	<i>Phylloscopus coronatus</i>	TR	3	3	10	1	1	5	6		29
アオバト	<i>Treron sieboldii</i>	TR				1					1
ホトトギス	<i>Cuculus poliocephalus</i>	TR	2	3	3	4	2	2	2	3	21
コゲラ	<i>Dendrocopos kizuki</i>	TR	10	11	8		6	13	5	9	62
アオゲラ	<i>Picus awokera</i>	TR	0	0	1	1	1	3	1		7
ウグイス	<i>Cettia diphone</i>	BS	9	16	29	7	3	12	5	10	91
ヤブサメ	<i>Urosphena squameiceps</i>	BS	5	9	8	3	3	3	11	10	52
カワラヒワ	<i>Chloris sinica</i>	GR	5		1	2	2	2	2	1	15
ホオジロ	<i>Emberiza cioides</i>	GR	1					1		1	3
スズメ	<i>Passer montanus</i>	GR	5	3	8	5	1	4	1	2	29
ムクドリ	<i>Spodiopsar cineraceus</i>	GR		4	5	4					13
キジバト	<i>Streptopelia orientalis</i>	GR						1	1		2
ハシボソガラス	<i>Corvus corone</i>	GR	1	1	1		2	1	1	1	8
ハシブトガラス	<i>Corvus macrorhynchos</i>	GR	7	4	5	3	3	2	2	4	30
コジュケイ	<i>Bambusicola thoracicus</i>	GR	3	2	1	1		1	1		9
種数	AR・TR		13	12	12	11	12	11	12	10	14
	BS・GR		8	7	8	7	6	9	8	7	10
	全体		21	19	20	18	18	20	20	17	24
個体数	AR・TR		178	123	123	102	116	148	135	93	1018
	BS・GR		36	39	58	25	14	27	24	29	252
	全体		214	162	181	127	130	175	159	122	1270
種多様性	全体		0.864	0.870	0.890	0.825	0.839	0.875	0.820	0.865	0.868

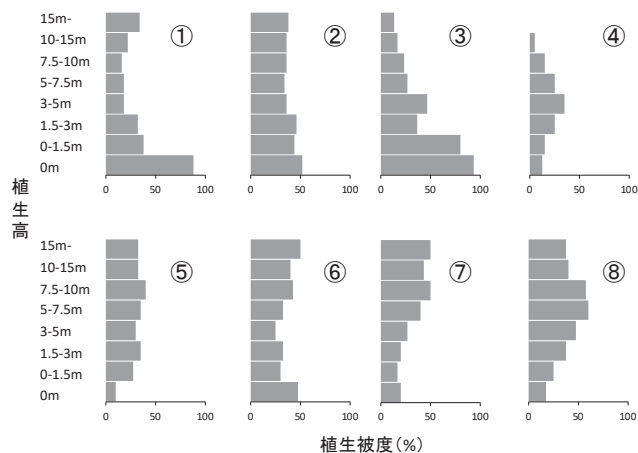


図2. 調査地点8カ所における 植生被度の高さごとの分布.

する鳥の種数については草本層被度もしくは全層被度による正の影響が大きいことが示された (表3). 個体数については, 鳥全体, 樹冠・空中層で採食する鳥, 地上・草本層で採食する鳥のいずれにおいても, 草本層被度による正の影響が示され, 低木層被度と高木層被度についてはモデルによって正と負の異なる影響が示された (表4). 種多様性については, 全層被度による正の影響が大きく, 草本層被度と葉層高多様による正の影響および低木層被度と高木層被度による負の影響のモデルが AIC 値の低い上位モデルであった (表5).

鳥全体, 樹冠・空中層で採食する鳥, 地上・草本層で採食する鳥の種数と個体数および種多様性のいずれにおいても, 9年間で有意に減少した (図3, 表6, 表7). 係数の大きさから地上・草本層で採食する鳥の種数と個体数の減

表2. 調査地点8カ所における高木層・低木層・草本層の各層被度, 全層被度 (各層の合計), 葉層高多様度 (各層の多様性)

調査地点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
高木層 >5m	22.5	36.0	20.0	11.3	35.0	41.3	45.8	48.8
被度 (%) 低木層 1-5m	25.0	41.0	41.7	30.0	32.5	28.8	23.3	42.5
草本層 <1m	63.0	48.0	86.7	13.8	18.8	38.8	18.3	21.3
全層被度 (%)	110.5	125.0	148.3	55.0	86.3	108.8	87.5	112.5
葉層高多様度	0.582	0.662	0.562	0.598	0.646	0.659	0.611	0.634

表3. 全体, 樹冠・空中層で採食する鳥, 地上・草本層で採食する鳥別の種数を目的変数, 高木層・低木層・草本層の各層被度, 全層被度, 葉層高多様度を説明変数, 調査地点をランダム効果として行った一般化線型混合モデルによる分析結果. AIC 差 <2 のモデルを示す. *** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05

モデル	切片	草本層被度	低木層被度	高木層被度	全層被度	葉層高多様度	AIC	AIC差
全体								
1	2.021 ***	0.104 *					344.2	-
2	2.020 ***	0.126 **		0.054			345.0	0.8
3	2.020 ***	0.114 **	-0.032				345.7	1.5
4	2.020 ***	0.123 *				0.035	345.7	1.5
5	2.021 ***	0.071			0.040		346.0	1.8
6	2.019 ***	0.144 **	-0.043	0.064			346.1	1.9
樹冠・空中層利用種								
1	1.738 ***		-0.113 *		0.149		306.0	-
2	1.743 ***	0.081 .					307.3	1.3
3	1.743 ***				0.080		307.6	1.6
4	1.741 ***	0.108		0.066			307.9	1.9
地上・草本層利用種								
1	0.560 **	0.166 *					239.8	-
2	0.561 **				0.165 *		240.3	0.5
3	0.559 **	0.060			0.117		241.6	1.8

表4. 全体、樹冠・空中層で採食する鳥、地上・草本層で採食する鳥別の個体数を目的変数、高木層・低木層・草本層の各層被度、全層被度、葉層高多様度を説明変数、調査地点をランダム効果として行った一般化線型混合モデルによる分析結果. AIC 差 <2 のモデルを示す. *** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05

モデル	切片	草本層被度	低木層被度	高木層被度	全層被度	葉層高多様度	AIC	AIC差
全体								
1	2.933 ***	0.107 **	-0.092 ***	-0.066 *			467.9	-
樹冠・空中層利用種								
1	2.602 ***	0.164	-0.164 ***	0.140 ***			451.9	-
2	2.603 ***		0.033 ***	0.032 ***			452.1	0.2
地上・草本層利用種								
1	0.973 ***	0.974 ***					306.1	-
2	0.971 ***	0.289 ***	0.089				306.3	0.2
3	0.973 ***	0.326 ***		0.011			308.0	1.9

表5. 鳥全体の種多様性を目的変数、高木層・低木層・草本層の各層被度、全層被度、葉層高多様度を説明変数、調査地点をランダム効果として行った一般化線型混合モデルによる分析結果. AIC 差 <2 のモデルを示す. *** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05

モデル	切片	草本層被度	低木層被度	高木層被度	全層被度	葉層高多様度	AIC	AIC差
1	-0.248 ***	0.009			0.032 .		-150.2	-
2	-0.248 ***		-0.006		0.044 **		-150.2	-
3	-0.248 ***				0.041 ***	0.005	-150.2	-
4	-0.248 ***			-0.003	0.040 ***		-150.1	0.1
5	-0.248 ***	0.043 ***		0.019			-150.0	0.2
6	-0.247 ***	0.036 ***					-149.5	0.7
7	-0.248 ***	0.032			0.016	0.017	-149.5	0.7
8	-0.248 ***			-0.012	0.044 ***	0.012	-148.8	1.4
9	-0.248 ***			-0.008	0.047 **	0.006	-148.6	1.6
10	-0.248 ***	0.041 ***	0.006	0.018			-148.3	1.9
11	-0.248 ***	0.006	-0.005		0.038		-148.3	1.9
12	-0.248 ***	0.022		0.008	0.021		-148.3	1.9
13	-0.248 ***		-0.006	-0.003	0.044 ***		-148.3	1.9

少が特に大きかった。中間の年の2018より前の年(2014 - 2017)よりも後の年(2019 - 2023)で合計個体数が少なかったのは、エナガ ($P = 0.0012$), ホトトギス ($P = 0.048$), スズメ ($P = 0.019$), ムクドリ ($P = 0.0002$), ハシボソガラス ($P = 0.0078$), ハシブトガラス ($P < 0.0014$) の6種であった。また、ウグイス ($P < 0.0004$) が初年度除いた8年間で年変化の分析では、後半ほど個体数が減少した ($r_s = -0.833, P < 0.05$)。

考察

全国25ヵ所の森林コアサイトで2009年から行われている個体数モニタリング調査が行われている(環境省自然環境局生物多様性センター 2021)。2020年度の調査における平均種数は24種(13 - 36種)であり、本調査地と同程

度であった。また、モニタリング調査と本調査における優占種上位5種では、ヒヨドリ、メジロ、キビタキ、ウグイスの4種は一致しており、シジュウカラ(本調査6位)とヤマガラ(モニタリング調査7位)のみが違っていただけであった。全国モニタリング調査が行われているコアサイトのほとんどが自然度の高い森林であることから、本調査地は都市近郊林ではあるが、そのような森林と類似した種類構成の鳥群集であると考えられる。

高木層・低木層・草本層の各層の被度はそれぞれを採食場所や営巣場所として利用する鳥にとって重要な要因である(MacArthur and MacArthur 1961; Hino 1985)。地上・草本層で採食する鳥については草本層被度による正の影響が示された。調査地においては、ササ藪などの草本層で営巣・採食を行うウグイスとヤブサメ *Urosphena squameiceps* の個体数が多いことや地上で営巣・採食を行

表6. 調査地点8カ所の種ごとの合計個体数, 樹冠 (TR)・空中 (AR) 層で採食する鳥と地上 (GR)・草本 (BS) 層で採食する鳥別の種数と合計個体数の9年間の季節変化. 表中の*は調査地点での25m範囲外および地点間移動の際に観察された種を示す.

種名	学名	採食場所	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2023	合計
サンコウチョウ	<i>Terpsiphone atrocaudata</i>	空中		1		5	1	3	2	1		13
キビタキ	<i>Ficedula narcissina</i>	空中	11	19	19	6	18	6	16	5	5	105
オオルリ	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>	空中								*		*
ブッポウソウ	<i>Eurystomus orientalis</i>	空中						*			*	*
シジュウカラ	<i>Parus minor</i>	樹上	6	11	4	4	5	8	15	7	4	64
ヤマガラ	<i>Poecile varius</i>	樹上	2	16	14	12	4	10	12	2	8	80
エナガ	<i>Aegithalos caudatus</i>	樹上	5	11	4	8	*	1	1	6	*	36
メジロ	<i>Zosterops japonicus</i>	樹上	15	21	39	19	20	10	23	15	3	165
ヒヨドリ	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	樹上	24	47	60	49	47	33	18	55	43	376
サンショウクイ	<i>Pericrocotus divaricatus</i>	樹上	1	10	12	1	10	10	4	7	*	55
イカル	<i>Eophona personata</i>	樹上		1	1						1	3
センダイムシクイ	<i>Phylloscopus coronatus</i>	樹上	1	5		1	9	4	6	1	2	29
アオバト	<i>Treron sieboldii</i>	樹上						*			1	1
ホトトギス	<i>Cuculus poliocephalus</i>	樹上	10	3			4		4		*	21
コゲラ	<i>Dendrocopos kizuki</i>	樹上	6	9	8	4	12	5	5	11	2	62
アオゲラ	<i>Picus awokera</i>	樹上	1		1	1	*	1	*	3		7
ウグイス	<i>Cettia diphone</i>	藪	1	13	17	12	20	11	9	6	3	91
ヤブサメ	<i>Urosphena squameiceps</i>	藪	1	6	8	9	6	8	6	7	1	52
カワラヒワ	<i>Chloris sinica</i>	地上	1	5	1	4	*	4	*	1		15
ホオジロ	<i>Emberiza cioides</i>	地上		1			2					3
スズメ	<i>Passer montanus</i>	地上		15	3	2		4	*	3		27
ムクドリ	<i>Spodiopsar cineraceus</i>	地上	1	13								14
キジバト	<i>Streptopelia orientalis</i>	地上	*	1	1	*	*	*			*	2
ハシボンガラス	<i>Corvus corone</i>	地上	1	7		*	*	*			*	8
ハシブトガラス	<i>Corvus macrorhynchos</i>	地上	2	4	8	2	9	*	1	2	*	30
コジュケイ	<i>Bambusicola thoracicus</i>	地上	*	1	2	1	2		1	2	*	9
種数		AR・TR	11	12	10	11	12	13	12	12	13	16
		BS・GR	8	10	7	8	8	7	6	6	6	10
		全体	19	22	17	19	20	20	18	18	19	26
個体数		AR・TR	84	154	162	110	130	91	106	113	69	1019
		BS・GR	7	66	40	30	39	27	17	21	4	251
		全体	91	220	202	140	169	118	123	134	73	1270
種多様性		全体	0.859	0.909	0.845	0.831	0.866	0.874	0.888	0.797	0.628	0.868

表7. 全体, 樹冠・空中層で採食する鳥, 地上・草本層で採食する鳥別の種数と個体数, 全体の種数と個体数と種多様性の年変化についての一般化線型混合モデルによる分析結果. 説明変数として調査開始からの年数 (2014年 = 0), 調査地点の違いをランダム効果として, AIC 最小のモデルのみ示す. *** P<0.001

		切片	係数	AIC
種数	全体	2.322 ***	-0.065 ***	-150.2
	樹冠・空中層利用種	1.947 ***	-0.047 ***	-150.2
	地上・草本層利用種	1.179 ***	-0.119 ***	-150.2
個体数	全体	3.16 ***	-0.045 ***	-150.0
	樹冠・空中層利用種	2.80 ***	-0.041 ***	-149.5
	地上・草本層利用種	1.63 ***	-0.116 ***	-149.5
種多様性	全体	-0.136 ***	-0.024 ***	-148.8
				-148.6

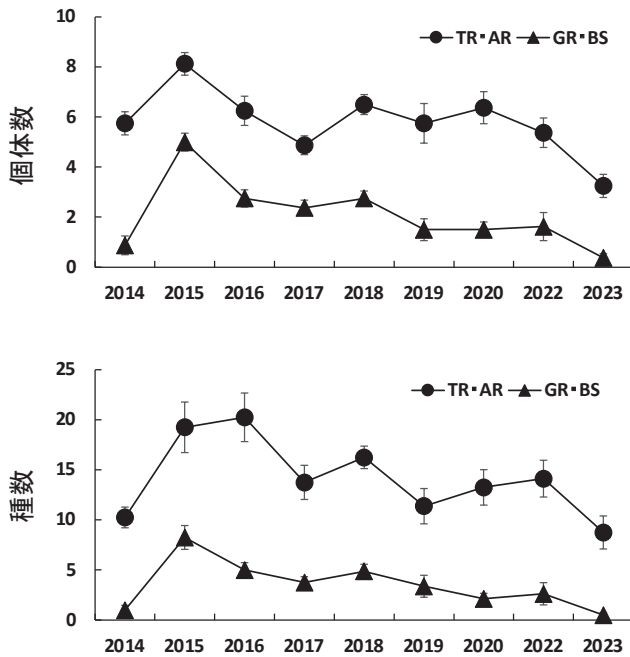


図3. 地上・草本層で採食を行う鳥の種数と個体数の平均値(±標準誤差)の年変化。

うコジュケイ *Bambusicola thoracicus* などが草本層被度の高い環境への選好性が高いと考えられる。調査地において低木層の空間を利用する鳥として、個体数の多いキビタキがいる。この鳥は林内を飛翔する昆虫に飛びついて餌を取る習性を持っており効率的な採食のためにはある程度の空間が必要であることから、低木層被度の低い環境への選好性が高いと考えられる。森林全体に生息する鳥の種多様性を高める環境要因の指標として、各層被度の多様性である葉層高多様度 (MacArthur and MacArthur 1961), 合計値である全層被度 (Karr and Roth 1971) が知られているが、本研究では全層被度の効果が大きかった。しかしながら、これらの階層構造の指標以外に、樹種の多様性が鳥の種多様性を高めるのに重要な要因であることが指摘されているが (Hino 1985), 本調査では調査地点での樹種構成は調べられていない。調査地点の高木層にはスギ・ヒノキなどの針葉樹が優占している場所があり、鳥の多様性を低めている可能性があるため、今後は樹種構成も含めて調査していく必要がある。

9年間の継続調査に基づく年変化の分析によって、多くの鳥が減少傾向にあり、とくに地上・草本層で採食を行う種類での減少が顕著であった。全国の森林コアサイト個体数モニタリング調査では、過去10年間にエナガ、ウグイス、ホトトギス (ウグイスに托卵する種) などの下層植生で営巣や採食を行う種の個体数減少が報告されており (環境省自然環境局生物多様性センター 2021), 本研究で示された減少種と一致する。近年急激に個体数の増加したニホンジカの採食による下層植生の減少に伴って、そのような場所を利用する鳥の減少が国内各地で報告されている (Hino 2000; 奥田ら 2013; 関・藤木 2017)。また、里山林として

利用されてきた落葉広葉樹林が伐採や下刈りが行われなくなり常緑広葉樹林への遷移が進むことで、常緑性低木の侵入や樹冠閉鎖に伴う日射量低下によって下層植生を減少させることが知られている (藤木 2017)。落葉広葉樹林から常緑広葉樹林に森林遷移が進むことによる鳥類群集の変化についての調査は行われてきていないが、日本野鳥の会が実施しているさまざまな異なる森林タイプでの全国規模の鳥類調査の比較では、下層を利用するウグイスなどの鳥類とそのような鳥に托卵するホトトギスなどにおいて常緑広葉樹林での出現率が低いことが報告されている (金井ら 1996)。調査地である豊田市自然観察の森においては、ニホンジカの個体数は少ないためにその影響は小さいと考えられるが、落葉広葉樹林から常緑広葉樹林に森林遷移への傾向が見られることから (橋本啓史, 未発表), 地上・草本層被度の減少の原因となっている可能性がある。

調査地周辺の農耕地や宅地を主要な生息地としている林縁性の鳥の中で、スズメ、ムクドリ、ハシブトガラス、ハシボソガラスの個体数が減少していた。豊田市を含む西三河地方では、2010年から2020年の間に農耕地面積が9%縮小する一方で、宅地面積が11%拡大している (愛知県 https://www.pref.aichi.jp/kikaku/aichivision2030report2022/2-2_nishimikawa.pdf)。スズメとムクドリは農耕地に対する依存度の高い種類であることから周辺域での農耕地の面積縮小によって、逆に、宅地に対する依存度の高いカラス2種は行動圏を近郊林から住宅地へと移したことによって、調査地での個体数を減少させた可能性がある。

本調査は学生実習として行われたため、データの信頼性は通常の学術的調査に比べると高くない。しかしながら、同じ調査地において継続的にデータを集めていくことで、都市近郊林における鳥類群集と植生との関係を明らかにすることができたばかりでなく、年変化との対応関係から鳥類群集の構成と多様性が森林遷移と周辺域の土地利用変化の影響を受けている可能性を示唆することができた。同調査地での学生実習は今後も継続される予定になっているため、さらに長期的な変化を追跡しデータを蓄積していくことで、本論文で提示した仮説の検証とさらに詳細で具体的な分析が可能になっていくと期待できる。

謝辞

この調査は名城大学農学部生物環境科学科1年生による生物環境科学実習の一環として2014年度から2023年度まで実施された。各年度の実習においては、豊田市自然観察の森ネイチャーセンターの大畑孝二氏、川島賢治氏、齊藤充氏をはじめとするレンジャーの皆様には施設利用の御許可をいただき、学生の調査同行と観察した鳥の種類と個体数についての御確認をいただいた。各年度の1年生全員が実習に真摯に取り組み、大学院生にはTAとして調査のサポートをいただいた。皆様には心より感謝いたします。本実

習は、名城大学の「学びのコミュニティ」のプロジェクトによる成果の一部である。

引用文献

Chapman KA, Reich PB (2007) Land use and habitat gradients determine bird community diversity and abundance in suburban, rural and reserve landscapes of Minnesota, USA. *Biological Conservation* 35: 527-541.

Clergeau P, Jokimaki J, Savard J-P (2001) Are urban bird communities influenced by the bird diversity of adjacent landscapes? *Journal of Applied Ecology* 38: 1122-1134

Dale S (2018) Urban bird community composition influenced by size of urban green spaces, presence of native forest, and urbanization. *Urban Ecosystem* 21: 1-14.

藤木大介 (2017) 兵庫県におけるコナラ二次林の維管束植物種数にニホンジカと常緑広葉樹林化が及ぼす負の影響の空間変異. *保全生態学研究* 22: 299-310.

Hino T. (1985) Relationships between bird community and habitat structure in shelterbelts of Hokkaido, Japan. *Oecologia* 65: 442-448.

Hino T. (2000) Bird Community and Vegetation Structure in a Forest with a High Density of Sika Deer. *Japanese Journal of Ornithology* 48: 197-204.

金井裕・黒沢令子・植田睦之・成末雅恵・釜田美穂 (1996) 森林の種類と生息する鳥類の関係. *Strix* 14: 33-39

環境省自然環境局生物多様性センター (2022) 2021年度重要生態系監視地域モニタリング推進事業 (陸生鳥類調査) 調査報告書. 環境省, 東京

Karr JR, Roth RR (1971) Vegetation Structure and Avian Diversity in Several New World Areas. *American Naturalist* 105: 423-435.

MacArthur RH, MacArthur JW (1961) On bird species diversity. *Ecology* 42: 594-598.

日本野鳥の会 (2013) 豊田市自然観察の森ガイドブック - 森の仲間に関わりに行こう. 豊田市.

奥田圭・關義和・小金澤正 (2013) 栃木県奥日光地域における繁殖期の鳥類群集の変遷 - 特にニホンジカの高密度化と関連づけて - *保全生態学研究* 18: 121-129.

Schieck J, Song SJ (2006) Changes in bird communities throughout succession following fire and harvest in boreal forests of western North America: literature review and meta-analyses. *Canadian Journal Forest Research* 36: 1299-1318.

関伸一・藤木大佑 (2017) ニホンジカの採食による森林の下層植生衰退と鳥類群集との関係を広域で評価する. *兵庫ワイルドライフモノグラフ* 9: 45 - 62.

鵜川建也・加藤和弘 (2013) 都市の鳥類群集に影響する要因に関する研究の現状と課題. *ランドスケープ研究*

71: 299 - 308.

山浦悠一・由井正敏 (2001) 都市近郊林におけるバードウォッチングポイントの定量的解析. *岩手大学農学部演習林報告* 32: 49 - 59.

原 著

Measuring the Structure of German Citizens' Awareness of Landscape Conservation: The Case of Lüneburger Heide

Shintaro HIRAKO^{1*}, Yuki YANO²

Abstract Natural landscapes formed by socioeconomic activities have both cultural and recreational functions that are important to communities. To preserve these landscapes, it is important to increase public awareness of landscape conservation, to identify those citizens who will be active in this process, and to emphasize the importance of these landscapes to policymakers. This study considers the ideal form of landscape conservation and seeks to clarify both the awareness of those who are conservation minded and the conditions needed to promote social consensus regarding the environment. The study focuses on the case of Lüneburger Heide, one of Germany's most notable nature parks. Survey data collected from local subjects is used to identify the factors affecting their evaluation of the value of landscape conservation and the degree of intention to participate in landscape conservation activities, employing the ordered probit model. The findings show how citizens' attitudes and willingness toward conservation are determined based on their experience with this place.

Key words: Lüneburger Heide; Landscape conservation; German citizens; Public awareness; Ordered probit model (OPM)

ドイツ市民の景観保全に対する意識構造の計測
- リューネブルガーハイデの事例 -

平児慎太郎^{1*}・矢野佑樹²

要約 社会経済活動により形成された自然景観は、地域にとって重要な文化的機能とレクリエーション機能を有している。景観を維持するためには、景観保全に対する社会的認知を高め、そうした過程に対して積極的に関与する市民像を特定することに加え、景観の重要性を政策担当者に示唆することが重要である。

本研究は、景観保全のあり方を考察し、環境保全に関心を持つ人々の意識、および環境に関する社会的な認知を促進するための必要条件を解明することを目的とした。本研究は、ドイツで最も有名な自然公園の1つであるリューネブルガーハイデを対象とした。現地の対象者から収集した調査データを用い、景観保全の価値評価と景観保全活動への参加の動機付けに影響を与える要因を順序プロビットモデルにより特定した。この調査結果より、保全を通じた市民の態度や意思は、その場に対する来訪や情報収集などの経験に基づいて決定されることを示していた。

キーワード：リューネブルガーハイデ 景観保全 ドイツ市民 社会的認知 順序プロビットモデル

1. Introduction

Natural landscapes formed by socioeconomic activities such as agriculture and forestry have both the cultural aspect of fostering local traditions and unique folklore, and the recreational aspect of providing people

with peace of mind. In Europe, protected areas, such as nature parks, have been set aside to fulfill the dual roles of preserving and utilizing natural landscapes.

For example, protected areas in Germany have both cultural and recreational aspects. Sixteen National Parks (214,558 ha in 2015) make up 0.6% of Germany's land, with another 103 Nature Parks (9,946,967 ha in 2016) making up 27.9% [1] of the nation's land. These areas thus comprise a large portion of national lands. At the same time, there are many interfaces between the creation and maintenance of local resources and the living spaces of citizens. Therefore, in order to maintain and manage

¹ Faculty of Agriculture, Meijo University, Japan;

¹ 名城大学農学部生物資源学科 生物資源経済学研究室

² Graduate School of Horticulture, Chiba University, Japan;

² 千葉大学大学院園芸学研究院 ランドスケープ・経済学講座

* Correspondence: hirako@meijo-u.ac.jp; Tel.: +81-52-832-1151

* 責任著者: hirako@meijo-u.ac.jp; Tel.: +81-52-832-1151

2023年11月29日受付 2024年1月20日受理

nature parks where sightseeing is possible in addition to cultural and natural landscapes, it is important to identify those citizens who will be active in landscape preservation and to emphasize the importance of these landscapes. This topic is of great interest to policymakers involved in the development of landscape conservation programs and civic groups that provide public awareness of landscape conservation.

Natural landscapes and environments are called non-market goods. They are not priced themselves but are expressed in monetary terms by applying the contingent valuation method (CVM) or travel cost method (TCM) to estimate consumers' willingness to pay (WTP) for their conservation activities and uses. Taking the rural landscape as an example, these frameworks have been applied to the conservation of agricultural water turbines [2] and the willingness to pay for admission to agricultural parks [3]. Such issues tend to be dealt with in the fields of forestry economics and ecological economics. In Japan, prior studies include Environmental Conservation Tax on Water Sources [4], Fundraising Required for Protection and Management of Daisetsuzan National Park [5], Charging a Fee to Climb Mt. Fuji [4], [6], Charging a Fee to Climb the Shirakami Mountains [7], and A Nature Restoration Plan for Kushiro Marshland [8], while overseas efforts include Forest Eco-System Services [9], An Evaluation of Nature-Friendly Tree-Planting Programs in Germany [10], and Measuring the Willingness to Pay to Avoid Conflict between Forest Recreation Objectives in Denmark [11].¹

However, nature parks in Germany generally do not charge admission or entrance fees. Because this hypothetical situation could lead to biased WTP estimates, we do not estimate WTP, but rather use citizens' evaluation of the value of landscape conservation and the degree of intention to participate in landscape conservation activities as the dependent variables, applying the ordered probit model (OPM).

This paper uses Lüneburger Heide, one of Germany's most notable nature parks, as an example. Through specific citizen consciousness towards the natural landscape, this study clarifies the structural awareness

¹ Some case studies conducted in Germany focus on issues, such as public awareness on forest conservation [12], a trade-off between the provision of ecosystem services (ES) through landscape conservation activities and socio-economic activities [10], [13], and adjustment process of plan formulation regarding forest management including conservation of forest landscape and ecosystems [14].

of citizens who are highly cognizant of landscape conservation and points out the conditions needed to promote social consensus.

2. Lüneburger Heide and Nature Reserves in Germany

2.1 An Overview of Lüneburger Heide

Close to Freie Hansestadt Bremen and Freie Hansestadt Hamburg, Lüneburger Heide is a nature park spread over the northeast part of Lower Saxony (Fig. 1). In the past, the Lüneburger Heide district was a high-quality salt production area. During the salt-making process, timber was used as firewood, and unplanned cutting led to overharvesting of forests, leaving only "Heide," or wasteland, with wild-growing shrubs and *Erica cinerea*. In 1921, the entire area was designated as a nature reserve, and deforestation ceased. In general, automobile traffic is banned in Lüneburger Heide, with only tourist carriages, bicycles, and pedestrians allowed to pass through Heide. Currently, in addition to tourism, sheep farming and beekeeping are popular. These activities help maintain and preserve the landscape of Heide while strictly regulating vegetation and ecosystem disruption [15]. Lüneburger Heide surrounds the town of Undeloh and, because it is so close to a residential area, it is accessible without paying entrance fees.



Fig. 1 Location of Lüneburger Heide. Source: Official website of Lüneburger Heide <https://www.lueneburger-heide.de/>

2.2. Framework and Definition of Nature Reserves in Germany

Protected areas in Germany are governed by two frameworks: federal law, which covers the entire country, and state law, which is formulated by each state. Besides nature conservation areas (Naturschutzgebiet), landscape protection areas (Landschaftsschutzgebiet), national parks (Nationalpark), and nature parks (Naturpark), which are Germany's own systems stipulated by the Act on Nature Conservation and Landscape Management (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege), there are also the EU's Natura 2000 and the Biosphere Reserves (Biosphärenreservat), which has been recognized by UNESCO [1].² Each of these is defined below.³

Nature conservation areas are stipulated as follows: "(1) Nature conservation areas are areas that have been designated in a legally binding manner and in which the special protection of nature and landscape as a whole, or of individual parts thereof, is required for the following reasons: 1) in order to conserve, develop or restore living sites, biotopes or communities of certain species of wild fauna and flora, 2) for reasons of science, natural history or national heritage, or 3) because of their rarity, special characteristics or outstanding beauty."⁴

Landscape protection areas are defined as follows: "(1) Landscape protection areas are areas that have been designated in a legally binding manner and in which special protection of nature and landscape is required for the following reasons: 1) in order to conserve, develop or restore the efficiency and proper functioning of the natural balance, or the capability of natural resources to regenerate themselves and to be available for sustainable use, and to protect living sites and habitats of certain wild fauna and flora species, 2) because of the diversity, special characteristics, beauty or special cultural-historical significance of their landscapes, or 3) because of their special importance for recreation."⁵

National parks are stipulated as follows: "(1) National parks are areas that have been designated in a legally

² To summarize these designations, there were 8,676 nature conservation areas (1,378,410 ha in 2014), making up some 3.9% of national land, 8,531 landscape protection areas (10,017,634 ha in 2014), making up 27.9% of national lands, 16 national parks (214,558 ha in 2015), making up 0.6% of national land, and 103 nature parks (9,946,967 ha in 2016) making up 27.9% of national lands. There were also 17 biosphere reserves (1,311,636 ha in 2016), making up some 3.7% of national land.

³ The descriptions in this section are based on the Federal Nature Conservation Act - BNatSchG "Act on Nature Conservation and Landscape Management" [16].

⁴ § 23 of Federal Nature Conservation Act.

⁵ § 26 of Federal Nature Conservation Act.

binding manner, that are to be protected in a consistent way and that 1) are large, largely unfragmented and have special characteristics, 2) fulfil the requirements for a nature conservation area in the greater part of their territory, and 3) in the greater part of their territory, have not been affected by human intervention at all, or to a limited extent only, or are suitable for developing, or being developed, into a state which ensures the undisturbed progression, as far as possible, of natural processes in their natural dynamics. (2) The purpose of national parks is to serve as areas, in the greater part of their territory, in which it is assured that natural processes, in their natural dynamics, can take place in the most undisturbed manner possible. Provided this is compatible with the purpose of protection, national parks may also serve the purposes of scientific environmental monitoring, nature education, and enabling the general public to experience nature."⁶

Nature parks are stipulated as follows: "(1) Nature parks are areas that are to be developed and managed in a consistent way and that 1) are large in size, 2) consist mainly of landscape protection areas or nature conservation areas, 3) are particularly suitable for recreational purposes by virtue of their landscape assets and are areas in which efforts are being made to encourage sustainable tourism, 4) are intended for recreational purposes in accordance with the requirements of regional planning, 5) serve the conservation, development or restoration of landscapes characterized by diverse uses, and of such landscapes' species and biotope diversity, and, to this end, are sites for endeavors toward sustained environmentally compatible land use, and 6) are particularly well-suited to the promotion of sustainable regional development. (2) Nature parks are to be planned, structured, developed and improved in accordance with their purposes as outlined in (1), with due regard for the principles and objectives of nature conservation and landscape management."⁷

While there are certainly some differences in definitions, the decisive difference between national parks and nature parks is that the former aims to protect the ecosystem by eliminating human elements and influences as much as possible, while the latter combines nature conservation with recreational use and also allows for regional development [17], [18]. Additionally, nature parks are often designated as nature conservation areas or landscape protection areas to enhance their protection [17]. In other words, nature parks allow for the coexistence

⁶ § 24 of Federal Nature Conservation Act.

⁷ § 27 of Federal Nature Conservation Act.

of the seemingly conflicting conservation of natural landscapes with an economic factor of recreation and are deeply intertwined with German society. Therefore, the question of what citizens think of nature parks and whether they are interested in landscape conservation is of paramount interest in balancing these coexisting landscapes. Thus, we chose a nature park rather than a national park as our research subject and focused on Lüneburger Heide, one of the most famous nature parks.

3. Materials and Methods

3.1 Modeling

The value of landscape conservation and an intention to participate in landscape conservation activities are determined by the citizens' visit experience and purpose for visiting, awareness of landscape conservation and the natural environment, and lifestyle. This paper collected data by utilizing questions that focused on these factors as variables.

The dependent variable is important when talking about model building. For example, when an actual economic behavior is involved, such as purchase behavior for a certain good or service, or fundraising behavior for the conservation of a non-market good, it is appropriate to adopt a monetary term variable such as WTP as the dependent variable. However, Lüneburger Heide, the subject of this paper, can be accessed without paying entrance fees. In this hypothetical situation, WTP estimates could be biased and therefore, ordered choice models—which, as ordinal scale data, inquire directly about the citizens' landscape conservation values and intention to participate in landscape conservation activities—are used instead [19].

The answer option $Y = \{1,2,3,4,5\}$ is ordered such that a larger value indicates a stronger preference, and a smaller value indicates a weaker preference. If no meaning is assigned to order, a multi-choice model may be used. However, if the order of selection is meaningful, it is necessary to interpret the numerical values given in an ordinal fashion.

In the case of ordinal dependent variable Y_i , if we consider a regression model corresponding to the continuous latent variable Y_i^* , we get

$$Y_i^* = \beta X_i + u_i Y_i^* = \beta X_i + u_i, \quad (1)$$

where Y_i^* : latent variable, X_i : explanatory variables, and u_i : error term.

The latent variable Y_i^* is not observable, and the dependent variable Y_i , is observable. Thus, the two

variables appear as $\text{Id } \zeta_{j-1} < Y_i^* < \zeta_j, Y_i = j (j = 1, 2, 3, 4, 5)$. $\text{Id } \zeta_{j-1} < Y_i^* < \zeta_j, Y_i = j (j = 1, 2, 3, 4, 5)$. In other words, this model indicates that option number j is selected when a latent variable enters a section delimited by threshold ($\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4, \zeta_5$). In this case, the threshold is

$$\begin{aligned} Y_i = 1 &\leftrightarrow \zeta_0 < Y_i^* < \zeta_1 \leftrightarrow \zeta_0 - \beta X_i < u_i < \zeta_1 - \beta X_i \\ Y_i = 2 &\leftrightarrow \zeta_1 < Y_i^* < \zeta_2 \leftrightarrow \zeta_1 - \beta X_i < u_i < \zeta_2 - \beta X_i \\ Y_i = 3 &\leftrightarrow \zeta_2 < Y_i^* < \zeta_3 \leftrightarrow \zeta_2 - \beta X_i < u_i < \zeta_3 - \beta X_i \\ Y_i = 4 &\leftrightarrow \zeta_3 < Y_i^* < \zeta_4 \leftrightarrow \zeta_3 - \beta X_i < u_i < \zeta_4 - \beta X_i \\ Y_i = 5 &\leftrightarrow \zeta_4 < Y_i^* < \zeta_5 \leftrightarrow \zeta_4 - \beta X_i < u_i < \zeta_5 - \beta X_i \end{aligned}$$

However, since $\zeta_0 = -\infty$ and $\zeta_5 = \infty$, the threshold ($\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$) is determined by the estimation model.

If F is the cumulative probability of a normal distribution, the model is called as an ordered probit model (OPM)⁸ and the probability that $Y_i = j$ is

$$P_{ij} = \Pr(Y_i = j) = F(\zeta_j - \beta X_i) - F(\zeta_{j-1} - \beta X_i) \quad (2)$$

However, since the ordered choice model is multi-choice, the probability distribution becomes the multinomial distribution $(P_{i1}^{y_{i1}}) \cdot (P_{i2}^{y_{i2}}) \cdot (P_{i3}^{y_{i3}}) \cdot (P_{i4}^{y_{i4}}) \cdot (P_{i5}^{y_{i5}})$ $(P_{i1}^{y_{i1}}) \cdot (P_{i2}^{y_{i2}}) \cdot (P_{i3}^{y_{i3}}) \cdot (P_{i4}^{y_{i4}}) \cdot (P_{i5}^{y_{i5}})$.

OPM measurements involve using equation (2) above to define the likelihood function, applying maximum likelihood to obtain an unbiased (asymptotically effective) estimator. However, like binary or multi-choice models, the parameters cannot be directly compared.⁹

Moreover, the marginal effect (ME) is measured using the difference between the density functions. In other words, with OPM,

$$\frac{\partial \Pr(Y_i = j)}{\partial X_i} = [f(\hat{\zeta}_{j-1} - \hat{\beta} X_i) - f(\hat{\zeta}_j - \hat{\beta} X_i)] \hat{\beta} \quad (3)$$

where f is the probability density function of the normal distribution, and

$$\begin{aligned} j = 1 & \text{ ME}_1 = [-f(\zeta_1 - \beta X_i)] \beta \\ j = 2 & \text{ ME}_2 = [f(\zeta_1 - \beta X_i) - f(\zeta_2 - \beta X_i)] \beta \\ j = 3 & \text{ ME}_3 = [f(\zeta_2 - \beta X_i) - f(\zeta_3 - \beta X_i)] \beta \\ j = 4 & \text{ ME}_4 = [f(\zeta_3 - \beta X_i) - f(\zeta_4 - \beta X_i)] \beta \\ j = 5 & \text{ ME}_5 = [f(\zeta_4 - \beta X_i)] \beta \end{aligned} \quad (4)$$

As it can be seen from the above equation, ME

⁸ The difference between the ordered probit model (OPM) and the ordered logit model (OLM) is that the cumulative probability of the former is based on a normal distribution, while that of the latter is based on a logistic distribution. The numerical formula may be changed in consideration of this difference.

⁹ OLM also follows a nonlinear probability distribution, with different curvatures. It is therefore not possible to compare parameters evaluated with the average value of the explanatory variables.

signifies the probability variation of the dependent variable $Y_i = j | X_i = j$ when the explanatory variable changes by one unit.

With regards to the selection of the probit and logit models, Amemiya [20] (p. 1489) mentioned that “the probit model was the first popular model that emerged in the biometric applications of qualitative response models (QR models), partly because of the above-mentioned central limit theorem argument, and partly because of the widespread popularity of the normal distribution in statistics in general. [...] However, [...] choosing between the two models is unimportant because of their similarity [...]” The probit model is advantageous in reproducing events, while the logit model has an advantage in terms of computational operability.

3.2. Data

Data was collected via an online questionnaire targeting 1,000 German residents from January 24th to January 25th, 2018.¹⁰ Table 1 shows the composition of the questionnaire. The question items consist of basic attributes (gender, place of residence, age (in five-year groupings), the reason for visiting Lüneburger Heide and visit experience, awareness of landscape conservation and the natural environment, and lifestyle.

¹⁰ Syno Japan Inc. distributed to, and collected online questionnaires from, target gathered from amongst panelists living in Germany. All those who filled out the survey consented to participating in the survey. This effort was managed according to the online panel platform provided by Cint AB (Carried out January 2018).

Table 1. List of variables

Attribute information:	
Gender (dummy)	Gender → male=0, female=1
Age	19 or younger=1, 20-24=2, ... (5 year old step width) , 70 or older=12
Residence (Niedersachsen Dummy)	Where do you live? (select “Bundesland (federal state)”) → NLD: (Lower Saxony, Hamburg and Bremen=1, others=0) or ND: (Lower Saxony=1)
Visiting experience, visiting purpose etc.:	
Visit experience (Experience Dummy [ED])	Do you know the Lüneburger Heide? If so, have you been there before? How often? I have heard of the place, but have never been there. = (1), I have never heard of the place and have never been there. = (2), Once. = (3), Twice. = (4), Three times or more. = (5) →ED_01: With or without visiting, and times ((1), (2) = 1, (3) = 2, (4) = 3, (5) = 4) or ED_02: With or without intention, and times ((1) = 2, (2) = 1, (3) = 3, (4) = 4, (5) = 5)
Main visiting purpose (Purpose Dummy [PD])	What was your main reason for visiting the Lüneburger Heide? To enjoy the beautiful landscape = (1), To experience their rich ecosystem and biodiversity = (2), To feel refreshed or to relax = (3), To benefit from the healing effects of being together with friends and family = (4), To hike and do something good for your health = (5) →PD: Matters derived from nature and landscape ((1), (2) = 1, others = 0)
Knowledge (Knowledge Dummy [KD])	Are you familiar with the history of the Lüneburger Heide? I have heard of it before and am familiar with it. = (1), I have already heard about it, but I'm not too familiar with it. = (2), I have never heard of it, but would like to know more about it. = (3), I have never heard of it and I'm not really into it. = (4) →KD_01: Whether you've heard of it or not ((1), (2) = 1, (3), (4) = 0) or KD_02: Whether you want to know ((1), (3) = 1, (2), (4) = 0)
Answer each question by order scale. The questions were shuffled and presented. (Strongly disagree = 1, Disagree = 2, Neither = 3, Agree = 4, Strongly agree = 5)	
Os_01	I would like to (again) visit the Lüneburger Heide.
Os_02	I would be glad about an improvement of the excursions on site as well as the tour guide.
Os_03	I would be glad if the tourist information improves their dissemination of information.
<u>Os_04</u> ¹	Because of their immaterial value, I would be glad about the protection of the environment and landscape of the Lüneburger Heide.
Os_05	If I would visit the Lüneburger Heide, I would rather spend a few days there instead of just taking a day trip.
Os_06	I enjoy landscapes like the Lüneburger Heide.
<u>Os_07</u>	I would like to participate more strongly in the protection of the Lüneburger Heide.
Os_08	I would like to recommend my surroundings a visit to the Lüneburger Heide.
Os_09	Personally, I understand the charms of the rural environment rather than the city.
Os_10	Within my way of life, I am aware of the environment, ecology and nature.

¹ The underlined questions (Os_04 and Os_07) were adopted as the dependent variables.

About the history of Lüneburger Heide, 108 participants responded that they have heard about it, and were familiar with it, 401 responded that they have heard of it but were not too familiar with it, 327 answered that they had never heard of it and wanted to know more, and 164 answered that they had never heard of it and were not particularly interested in learning more. The survey also asked about the recognition of Lüneburger Heide and visitor frequency (experiences). To this question, 511 respondents answered that they knew of Lüneburger Heide, but had never visited, 61 said that they never heard of it and had never visited, 240 said that they had visited once, 81 said that they had visited twice, and 107 indicated that they had visited three or more times.

This data was cross-tabulated to determine the relationship between Lüneburger Heide's "visit frequency (experience)" and "knowledge" of the history of its establishment (Table 2).

Looking at those who said they knew of Lüneburger Heide, but had never visited, only about 9% admitted prior knowledge; the most common responses were "I have already heard about it, but am not too familiar with it" and "I have never heard of it, but want to learn more." This suggests that there is an opportunity to attract visitors and encourage further visits through public relations activities such as disseminating information

regarding the history of, and background to, the establishment of Lüneburger Heide.

As the frequency of visits increase, the percentage of respondents answering "I have heard of it, but am not familiar with it" and "I have never heard about it, but want to learn more" decreases, while the percentage answering that they have heard of and are familiar with it increases. In other words, it is expected that repeated visits would lead to the acquisition of knowledge about Lüneburger Heide, producing the intent to visit the area further and to help with landscape conservation efforts.

When estimating the model, variables were selected. Although dummy variables related to the residence and age were created, variables that were not significant were ultimately dropped from the model¹¹. As such, the study ultimately did not use all the original question items in Table 1 as explanatory variables.

¹¹ In addition, for example, for the question "Are you familiar with the history of Lüneburger Heide?", there were four answer choices: have heard of, know = 1, have heard of, but do not know = 2, have never heard of, want to know about = 3, never heard of, not interested = 4. The first two indicate that the respondent has heard of the place, while the latter two indicate that he or she hasn't. These were initially established as "cognitive dummies" ($\{1, 2\} = 1, \{3, 4\} = 0$). On the other hand, it is also possible to establish "interest / motivation dummies" ($\{1, 3\} = 1, \{2, 4\} = 0$). In taking actual measurements, we tried to use both as explanatory variables.

Table 2. Relationship between knowledge and visit frequency (experience) to Lüneburger Heide¹

Knowledge of the history of the Lüneburger Heide	Visit frequency				Total
	Never	Once	Twice	Three or more times	
I have heard of it before and am familiar with it.	53 9.3%	17 7.1%	13 16.0%	25 23.4%	108
I have already heard about it, but I am not too familiar with it.	171 29.9%	128 53.3%	48 59.3%	54 50.5%	401
I have never heard of it, but would like to know more about it.	215 37.6%	75 31.3%	19 23.5%	18 16.8%	327
I have never heard of it and I am not really into it.	133 23.3%	20 8.3%	1 1.2%	10 9.3%	164
Total	572 100.0%	240 100.0%	81 100.0%	107 100.0%	1,000

¹ The number of participants = 1,000 people.

4. Results

The study carried out estimations in accordance with the above analysis procedures. For the purpose of this paper, the dependent variables were Os_04 "Because of their immaterial value, I would be glad about the protection of the environment and landscape of the Lüneburger Heide," meaning "It is important to protect the environment and landscape of Lüneburger Heide, and this has value" and Os_07 "I would like to participate more strongly in the protection of the Lüneburger Heide," indicating a desire "to participate in activities to landscape conservation." Possible responses were provided on an ordinal scale (Strongly disagree = 1, Disagree = 2, Neither = 3, Agree = 4, Strongly agree = 5). OPM was applied to the former as Model I and the latter as Model II.

4.1. Model I

Table 3 shows the estimation results for Model I. The study assumes all values to be positive. For example, based on the case where "(1) Strongly disagree" is selected for Os_01, dependent variable Os_04 is expected to approach "Strongly agree (Y = 5)."

From the results, all choices for Os_01 and Os_08

and some choices for Os_06 and Os_10 were statistically significant at the 5% level of significance and had positive values. In addition, for the cases in which all choices are significant, the stronger the degree of agreement (to each question), the higher the values of coefficients. It was also confirmed that when only some choices were significant, choices where the degree of agreement was strong were significant while choices where the degree was weak were insignificant.

For a more detailed examination, the topic now turns to marginal effects. For example, if the respondents select "(2) Disagree" for Os_01, the probability of answering "Strongly disagree (Y = 1)" to Os_04 drops to 1.69%, the probability of answering "Disagree (Y = 2)" drops to 1.96%, the probability of answering "Neither (Y = 3)" drops to 9.59%, and the probability of answering "Agree (Y = 4)" drops to 1.49%, while the probability of answering "Strongly agree (Y = 5)" increases to 14.74%, as compared with the case of selecting "(1) Strongly disagree" for Os_01. At first glance, the odds of responding with a favorable "Agree" would also seem to decrease, but this response is actually absorbed by the big increase in "Strongly agree," which is very favorable. The same tendency is evident for the other options for Os_04.

Table 3. Estimation result of model 1 (the dependent variable: Os_04)

Independent Variables	Coefficient	Std. Error		Ordered Probit				
				Marginal Effect				
				Y = 1	Y = 2	Y = 3	Y = 4	Y = 5
Os_01 (2)	0.67731	0.3432	*	-0.0169	-0.0196	-0.0959	-0.0149	0.1474
Os_01 (3)	0.67093	0.2900	*	-0.0168	-0.0195	-0.0950	-0.0148	0.1460
Os_01 (4)	0.93695	0.2953	**	-0.0234	-0.0272	-0.1327	-0.0207	0.2039
Os_01 (5)	1.36438	0.3097	***	-0.0341	-0.0396	-0.1932	-0.0301	0.2970
Os_06 (2)	0.06214	0.5150		-0.0016	-0.0018	-0.0088	-0.0014	0.0135
Os_06 (3)	0.27699	0.4797		-0.0069	-0.0080	-0.0392	-0.0061	0.0603
Os_06 (4)	0.98945	0.4825	*	-0.0247	-0.0287	-0.1401	-0.0218	0.2154
Os_06 (5)	1.50441	0.4927	**	-0.0376	-0.0436	-0.2130	-0.0332	0.3274
Os_08 (2)	0.69381	0.2993	*	-0.0173	-0.0201	-0.0982	-0.0153	0.1510
Os_08 (3)	0.94414	0.2641	***	-0.0236	-0.0274	-0.1337	-0.0208	0.2055
Os_08 (4)	1.18282	0.2719	***	-0.0296	-0.0343	-0.1675	-0.0261	0.2574
Os_08 (5)	1.70685	0.2931	***	-0.0426	-0.0495	-0.2417	-0.0377	0.3715
Os_10 (2)	0.67287	0.3670		-0.0168	-0.0195	-0.0953	-0.0149	0.1465
Os_10 (3)	1.18033	0.3338	***	-0.0295	-0.0342	-0.1671	-0.0261	0.2569
Os_10 (4)	1.60646	0.3340	***	-0.0401	-0.0466	-0.2275	-0.0355	0.3497
Os_10 (5)	2.29275	0.3427	***	-0.0573	-0.0665	-0.3247	-0.0506	0.4990
Threshold Parameter								
1 2 ζ_1	1.2385	0.4417						
2 3 ζ_2	1.9136	0.4546						
3 4 ζ_3	3.6544	0.4643						
4 5 ζ_4	5.4483	0.4703						
Number of obs								
LL	-820.2137							
LR	827.1935							
LR p value	0.000							
AIC	1680.427							
Pseudo R ²	0.3352							

Note: Os_01 (2) means the case where (2 = Disagree) is selected in Os_01. Same applies hereafter.

*** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05.

In addition, as the degree of agreement to Os_01 becomes stronger, moving from “(3) Neither” to “(4) Agree,” and then “(5) Strongly agree,” the favorable “Strongly agree (Y = 5)” for Os_04 increases to 14.6%, 20.39%, and 29.7%, respectively. In other words, as the degree of agreement to Os_01 increases, there is an accompanying increase in individuals likely to answer, “Strongly agree (Y = 5)” to Os_04.

The same pattern applies to Os_08. If the respondents choose “(2) Disagree” for Os_08, the probability of responding “Strongly disagree (Y = 1)” to Os_04 drops to 1.73%, “Disagree (Y = 2)” to 2.01%, “Neither (Y = 3)” to 9.82%, and “Agree (Y = 4)” to 1.53%, while the probability of responding “Strongly agree (Y = 5)” increases to 15.1%, as compared with the case of selecting “(1) Strongly disagree” for Os_08. A similar tendency is shown for the other choices for Os_08.

Moreover, as the degree of agreement to Os_08

becomes stronger, moving from “(3) Neither” to “(4) Agree,” and “(5) Strongly agree,” the favorable “Strongly agree (Y = 5)” for Os_04 increases to 20.55%, 25.74%, and 37.15%, respectively. In other words, as the degree of agreement to Os_08 increases, there is an accompanying drastic increase in the probability of individuals answering “Strongly agree (Y = 5)” to Os_04.

If, for example, the respondents select “(4) Agree” or “(5) Strongly agree” to Os_06, the percentage answering “Strongly agree (Y = 5)” for Os_04 increases to 21.54% and 32.74%, respectively, as compared with the case of selecting “(1) Strongly disagree.” However, the increase in lesser options is minor and insignificant.

4.2. Model II

Table 4 shows the estimation results for Model II. As stated previously, the dependent variable is Os_07.

Table 4. Estimation result of model 2, the dependent variable: Os_07

Independent Variables	Ordered Probit		Marginal Effect				
	Coefficient	Std. Error	Y=1	Y=2	Y=3	Y=4	Y=5
Os_01 (2)	0.6638	0.3836	-0.0354	-0.0623	-0.0791	0.0898	0.0871
Os_01 (3)	0.8726	0.3354	** -0.0466	-0.0819	-0.1040	0.1181	0.1144
Os_01 (4)	0.8198	0.3397	* -0.0438	-0.0769	-0.0977	0.1109	0.1075
Os_01 (5)	1.1876	0.3522	*** -0.0634	-0.1115	-0.1416	0.1607	0.1558
Os_03 (2)	0.2438	0.3432	-0.0130	-0.0229	-0.0291	0.0330	0.0320
Os_03 (3)	0.579	0.3168	-0.0309	-0.0544	-0.0690	0.0784	0.0759
Os_03 (4)	0.7558	0.3212	* -0.0404	-0.0709	-0.0901	0.1023	0.0991
Os_03 (5)	1.4115	0.3324	*** -0.0754	-0.1325	-0.1683	0.1910	0.1851
Os_05 (2)	0.3756	0.3470	-0.0201	-0.0353	-0.0448	0.0508	0.0493
Os_05 (3)	0.6281	0.3155	* -0.0335	-0.0590	-0.0749	0.0850	0.0824
Os_05 (4)	0.7344	0.3135	* -0.0392	-0.0689	-0.0876	0.0994	0.0963
Os_05 (5)	0.537	0.3186	-0.0287	-0.0504	-0.0640	0.0727	0.0704
Os_06 (2)	3.0507	0.8796	*** -0.1629	-0.2864	-0.3637	0.4129	0.4001
Os_06 (3)	2.5233	0.8506	** -0.1347	-0.2369	-0.3009	0.3415	0.3309
Os_06 (4)	2.3735	0.8512	** -0.1267	-0.2228	-0.2830	0.3212	0.3113
Os_06 (5)	2.3996	0.8565	** -0.1281	-0.2252	-0.2861	0.3247	0.3147
Os_08 (2)	0.7038	0.3261	* -0.0376	-0.0661	-0.0839	0.0953	0.0923
Os_08 (3)	0.7951	0.2957	** -0.0425	-0.0746	-0.0948	0.1076	0.1043
Os_08 (4)	1.4044	0.3044	*** -0.0750	-0.1318	-0.1674	0.1901	0.1842
Os_08 (5)	1.998	0.3225	*** -0.1067	-0.1875	-0.2382	0.2704	0.2621
Os_09 (2)	1.2873	0.5053	* -0.0687	-0.1208	-0.1535	0.1742	0.1688
Os_09 (3)	0.9982	0.4785	* -0.0533	-0.0937	-0.1190	0.1351	0.1309
Os_09 (4)	1.031	0.4780	* -0.0550	-0.0968	-0.1229	0.1395	0.1352
Os_09 (5)	1.0687	0.4761	* -0.0571	-0.1003	-0.1274	0.1446	0.1402
Os_10 (2)	0.0853	0.4502	-0.0046	-0.0080	-0.0102	0.0115	0.0112
Os_10 (3)	0.9142	0.4168	* -0.0488	-0.0858	-0.1090	0.1237	0.1199
Os_10 (4)	1.1905	0.4183	** -0.0636	-0.1117	-0.1419	0.1611	0.1561
Os_10 (5)	1.5042	0.4251	*** -0.0803	-0.1412	-0.1793	0.2036	0.1973
ED_02 (2)	-0.3252	0.1616	* 0.0174	0.0305	0.0388	-0.0440	-0.0426
ED_02 (3)	-0.2903	0.1721	0.0155	0.0272	0.0346	-0.0393	-0.0381
ED_02 (4)	-0.5119	0.2021	* 0.0273	0.0481	0.0610	-0.0693	-0.0671
ED_02 (5)	-0.4947	0.1934	* 0.0264	0.0464	0.0590	-0.0669	-0.0649
KD_01 (1)	0.3211	0.0917	*** -0.0171	-0.0301	-0.0383	0.0435	0.0421
KD_02 (1)	0.3797	0.0897	*** -0.0203	-0.0356	-0.0453	0.0514	0.0498
Threshold Parameter							
1 2 ζ ₁	5.5710	1.0930					
2 3 ζ ₂	6.5136	1.1021					
3 4 ζ ₃	8.4253	1.1100					
4 5 ζ ₄	9.8127	1.1143					
Number of obs							
LL	1,000						
LR	-977.6190						
LR p value	706.3918						
AIC	0.000						
Pseudo R ²	2031.238						
	0.2653982						

Note: Os_01 (2) means the case where (2 = Disagree) is selected in Os_01. Same applies hereafter.

*** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05.

The study assumed all values to be positive. The rationale follows that of Model I described above. The same applies to the dummy variable; whether the respondent has heard how Lüneburger Heide was established. For KD_01, if the respondent has heard of it, there might be an increase in the dependent variable Os_07. Furthermore, for KD_02, if a desire to learn more about the establishment of Lüneburger Heide is expressed, there might be an increase in Os_07.

From the estimation results, all choices for Os_06, Os_08, and Os_09 and some choices for ED_02, KD_01, KD_02, Os_01, Os_03, Os_05, and Os_10 were statistically significant at the 5% level of significance. Moreover, looking at the results, except for ED_02, all coefficient values were positive, which matched the theoretical conditions. However, the values for ED_02 were all negative, albeit with low significance.

Looking at the marginal effects, if, for example, the respondents select "(2) Disagree" to Os_06, the probability of answering "Strongly disagree (Y = 1)" to Os_07 drops to 16.29%, the probability of answering "Disagree (Y = 2)" drops to 28.64%, and the probability of answering "Neither (Y = 3)" drops to 36.37, whereas the probability of answering "Agree (Y = 4)" and "Strongly agree (Y = 5)" increase to 41.29% and 40.01%, respectively, as compared with the case of selecting "(1) Strongly disagree" for Os_06. Unlike Model I, the increase begins with "Agree (Y = 4)." A similar tendency is evident with the other answer choices for Os_04.

Moreover, as the degree of agreement to Os_06 increases to "(4) Agree," and "(5) Strongly agree," the favorable response "Agree (Y = 4)" for Os_07 increases to 41.29%, 34.15%, 32.12%, and 32.47%, respectively, while "Strongly agree (Y = 5)" increases to 40.01%, 33.09%, 31.13%, and 31.47%, respectively. This peaks where the "(2) Disagree" line for Os_06 intersects "Agree (Y = 4)" for Os_07. Thus, the point slightly before this where the peak is formed is the same as for the attitude towards Os_09 and for the preference for Os_07. Hereinafter, these two variables will be referred to as "Factor 1." For the other variables (Os_01, Os_03, Os_05, Os_08, and Os_10, the peak forms somewhat after that of "Factor 1" (among the meaningful options, the point where the line representing the highest degree of preference and preference Os_07 intersect). Hereinafter, these variables are referred to as "Factor 2."

Looking at the results of other variables, KD_01 and KD_02 were also statistically significant, as hearing of it and wanting to know about it had a positive impact on the individual's willingness to preserve landscapes.

With regard to ED_02, as visits to Lüneburger Heide increased, an accompanying increase in Os_07 was expected. However, as seen from the estimation results, the significance was low, and no such effect was found.

5. Discussion and Conclusions

This paper looked at Lüneburger Heide, one of Germany's most notable nature parks, highlighting the structure of consciousness of citizens by considering the specific citizen thoughts toward the natural landscape. The study administered an internet questionnaire targeting 1,000 German residents and applied OPM to identify the determinants affecting their evaluation of the value of landscape conservation and their intention to participate in landscape conservation activities.

The study produced the following results. Model I inquired about respondents' consciousness with regards to landscape conservation, while Model II asked about respondents' willingness to participate in more advanced landscape conservation activities. Due to this difference, in Model I, there was a high probability that individuals would indicate the very favorable attitudes toward landscape conservation. On the other hand, Model II raised the psychological threshold for the subjects, and a preference for participation in conservation activities converged around "Agree (Y = 4)."

Looking at the marginal effects of Model I, as each variable becomes stronger there is a large increase in the probability that a participant would respond very favorably with "Strongly agree (Y = 5)" for Os_04. Meanwhile, the marginal effects of each variable of Model II can be categorized as "Factor 1," in which a peak forms where the variable is relatively weak, and "Factor 2," in which the peak forms where the variable is relatively strong.

First, both Os_06 and Os_09 amount to the personal preferences of test subjects. With these variables, if "(1) Strongly disagree" is not selected, the willingness to participate in landscape conservation activities was positive even if there was not such a high degree of interest. Meanwhile, variables corresponding to "Factor 2" are specific to individuals' lifestyle and interactions with Lüneburger Heide. Given these variables, it may be concluded that citizens are strongly motivated to visit Lüneburger Heide and encourage third parties to visit. It may also be understood that they learn more about it through tourism information, as well as by spending the night.

Among those variables included in "Factor 2,"

which included significant alternatives for variables other than Os_08, most responses were “(4) Agree” or “(5) Strongly agree.” In other words, these are cases where a positive attitude greater than “(3) Neither” is shown for each variable. Given this, it is clear that when a respondent displayed a remarkably positive attitude towards Lüneburger Heide, they could be targeted by Os_07. In other words, this result supports the idea that “people who have a strong loyalty to Lüneburger Heide” are also strongly motivated to participate in landscape conservation activities. By promoting future landscape conservation activities at Lüneburger Heide, these citizens demonstrate a positive attitude towards landscape conservation activities.

To promote the preservation of natural landscapes, it is essential to promote social consensus building and to raise awareness of the need for landscape conservation activities amongst citizens. To increase the effectiveness of such efforts, it is necessary to rise to the challenge of participating in landscape conservation activities rather than inquire about a superficial awareness of landscape conservation. As such, rather than the conventional approach, i.e., asking generally about landscape conservation and lifestyle, respondents should be expected to indicate their intentions about a given area in a more specific way.

This paper used alternative questions to inquire about the participants’ state of mind and opinions. To further augment and expand upon the findings obtained in this paper, text-mining and similar techniques are needed to gain a better sense of respondents’ specific consciousness, thoughts, and language.

Author Contributions: Conceptualization, S.H. and Y.Y.; methodology, S.H. and Y.Y.; software, S.H.; validation, S.H.; formal analysis, S.H.; investigation, S.H. and Y.Y.; resources, S.H.; data curation, S.H.; writing—original draft preparation, S.H.; writing—review and editing, Y.Y.; visualization, S.H.; supervision, S.H.; project administration, S.H.; funding acquisition, S.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This search received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] BfN (Bundesamt für Naturschutz), Ausgewählte Schutzgebietskategorien in Deutschland, <https://www.bfn.de/infotehek/daten-fakten/schutz-der-natur/nationaler-gebietsschutz/ii-23-1-ausgewaehlteschutzgebietskategorien-in-dl.html> (Accessed: 10 December 2023)
- [2] Kusudo, T. and Yabe, M. (2014), Analysis on the difference between expressed willingness to pay and actual payment - A case study on donation to conservation of agricultural water wheel. *J. Rural Plann. Assoc.* 33, 323–328. <https://doi.org/10.2750/arp.33.323>
- [3] Nitta, K.; Suzuki, H. and Yabe, M. (2000) Economic estimation of recreation value using CVM. *Q. J. Agric. Econ.* 54(1), 93–110.
- [4] Kuriyama, K. (2016) A citizen perspective on natural resource management. *J. For. Econ.* 62(1), 28–39. https://doi.org/10.20818/jfe.62.1_28 (In Japanese)
- [5] Kubo, T.; Shoji, Y.; Tsuge, T. and Kuriyama, K. (2018) Voluntary contributions to hiking trail maintenance: Evidence from a field experiment in a national park, Japan. *Ecol. Econ.* 144, 124–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.032>
- [6] Yasui, J.; Munesue, Y. and Masui, T. (2015) Analysis on capacity of climber’s number to Mt. Fuji and its feasibility by introducing climbing fee. *J. Jpn. Soc. Civ. Eng., Ser. G (Environ. Res.)*, 71(6), II_339-II_348. https://doi.org/10.2208/jscejer.71.II_339 (In Japanese)
- [7] Mori, R.; Ohno, E.; Morisugi, M. and Sao, H. (2013) Environmental economic valuation by CVM consistent with TCM: Measurement of use and non-use values of Shirakami mountain range. *Infrastruct. Plann. Manag.*, 69(5), I_137-I_144. https://doi.org/10.2208/jscejipm.69.I_137 (In Japanese)
- [8] Ito, N.; Takeuchi, K.; Kuriyama, K.; Shoji, Y.; Tsuge, T. and Mitani, Y. (2009) The influence of decision-making rules on individual preferences for ecological restoration: Evidence from an experimental survey. *Ecol. Econ.* 68, 2426–2431. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.022>
- [9] Ninan, K. N. and Inoue, M. (2013) Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don’t. *Ecol. Econ.* 93, 137–149. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.05.005>
- [10] Meyerhoff, J.; Liebe, U. and Hartje, V. (2009) Benefits of biodiversity enhancement of nature-oriented silviculture: Evidence from two choice experiments in Germany. *J. For. Econ.* 15(1–2), 37–58. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2008.03.003>

- [11] Bakhtiari, F.; Jacobsen, J. B. and Jensen, F. S. (2014) Willingness to travel to avoid recreation conflicts in Danish forests. *Urban For Urban Green* 13(4), 662–671. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.004>
- [12] Hiyane, A. and Ikeda, N. (2002) Difference between Germany and Japan in attitudes of visitors to forests. *J. Jpn. For. Soc.* 84(2), 120–124. https://doi.org/10.11519/jjfs1953.84.2_120
- [13] Albert, C.; Schröter-Schlaack, C.; Hansjürgens, B.; Dehnhardt, A.; Döring, R.; Job, H.; Köppel, J.; Krätzig, S.; Matzdorf, B.; Reutter, M.; Schaltegger, S.; Scholz, M.; Siegmund-Schultze, M.; Wiggering, H.; Woltering, M. and von Haaren, C. (2017) An economic perspective on land use decisions in agricultural landscapes: Insights from the TEEB Germany Study. *Ecosyst. Serv.* 25, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.020>
- [14] Weber, N. (2018) Participation or involvement? Development of forest strategies on national and sub-national level in Germany. *For. Policy Econ.* 89, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.04.002>
- [15] Hirako, S. (2018) Survey on intention of landscape conservation in Germany - case of Lüneburger Heide. *Bull. Res. Inst. Meijo Univ.* 23, 113–116.
- [16] Act on Nature Conservation and Landscape Management (Federal Nature Conservation Act – BNatSchG) of 29 July 2009. <https://www.bmu.de/en/law/federal-nature-conservation-act-bnatschg> (Accessed: 10 December 2023)
- [17] Yamaki, K. (2005) A study on the management organizations of German nature parks. *J. Jpn. Inst. Landsc. Archit.* 68(5), 607–612. <https://doi.org/10.5632/jila.68.607>
- [18] Yamaki, K. (2010) Stakeholders involvement in natural park management in European countries: Case examples in England, Germany and Italy. *J. For. Econ.* 56(3), 1–10. <https://doi.org/10.5632/jila.68.607>
- [19] Vicente-Molina, M.; Fernández-Sáinz, A. and Izagirre-Olaizola, J. (2013) Environmental knowledge and other variables affecting pro-environmental behaviour: Comparison of university students from emerging and advanced countries. *J. Clean. Prod.* 61, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.015>
- [20] Amemiya, T. (1981) Qualitative response models: A survey. *J. Econ. Lit.* 19(4), 1483–1536. <https://www.jstor.org/stable/2724565>

原 著

都市緑地におけるヒメボタル幼虫と陸生貝類群集の生息環境要因
- 名古屋市相生山緑地での5年間の学生野外実習の結果分析 -日野輝明^{1*}・川瀬基弘²・古川善嗣³・橋本啓史¹・長谷川泰洋⁴

要約 愛知県名古屋市相生山緑地における生物環境科学科2年生の野外実習として、2014年度から2018年度までの5年間、陸生貝類群集とヒメボタル *Luciola parvula* (Kiesenwetter, 1874) 幼虫の分布と個体数を調べ、森林植生と土壌水分との関係を明らかにするための調査を行った。緑地は大きく分けて、散策路等が整備されている北部、近年利用されずに放置されている中央部、住宅地として開発され谷部に樹林地等が残る南部の3区画に分けられた。陸生貝類は5年間で24種が捕獲され、ウスイロシタラ *Parasitala pallida* (Pilsbry, 1902)、イセノナミマイマイ *Euhadra eoa communisiformis* (Kanamaru, 1940)、オカチヨウジ *Allopeas kyotoense* (Pilsbry & Hirase, 1904) の3種が優占種で、それぞれ全体の37%、25%、17%を占めた。全区画で生息地の環境要因との関係について分析の結果、陸生貝類の種数と捕獲個体数、ヒメボタルの捕獲個体数のいずれにおいても土壌水分による正の影響が示された。2016年からの3年間は、北部と中央部の16地点を固定調査地として継続調査を行った。全区画での生息地の環境要因との関係についての分析の結果、陸生貝類の個体数に影響を与える環境要因は示されなかったが、陸生貝類の種数とヒメボタルの個体数については、草本、低木、亜高木の被度による正の影響が示された。正準相関分析の結果、陸生貝類の選好する環境要因は種ごとに異なることが示された。したがって、住宅地の混在する南部を含む緑地全域での分析においては、土壌水分が陸生貝類とヒメボタルの生息環境として重要な要因であったが、北部と中央部の樹林地に限定した分析においては、森林植生の違いが重要な要因であることが明らかになった。

キーワード：都市緑地、ヒメボタル、陸生貝類、土壌水分、学生野外実習

Habitat factors for firefly larvae *Luciola parvula* and land snail assemblages in urban green space
- Analysis of the results from the student field training in Aioiyama Green Space, Nagoya City, Japan -

Teruaki Hino^{1*}, Motohiro Kawase², Yoshitsugu Furukawa³, Hiroshi Hashimoto¹, Yasuhiro Hasegawa⁴

Abstract As field training for second-year students of Department of Environmental Bioscience in the Aioiyama Green Space in Nagoya City, we investigated the distribution and abundance of land snails and the larvae of the firefly *Luciola parvula* for five years from 2014 to 2018, to clarify the relationship between forest vegetation and soil moisture. The green space was divided into three major forest areas: the northern part, where walking paths are maintained, the central area left unused in recent years, and the southern area developed as a residential area, with wooded areas remaining in the valleys. The dominant land snail species were *Parasitala pallida*, *Euhadra eoa communisiformis*, *Allopeas kyotoense*, which accounted for 37%, 25%, and 17%, respectively, of the total abundance. Multiple regression analysis in all areas showed a positive effect of soil moisture on all of species richness and abundance of land snails, and abundance of firefly larva. For three years from 2016, survey was continued in the northern and central parts. In the forested area, any environmental factors affecting the total abundance of land snails were not found but the factors differ from species to species. Both species richness of land snails and abundance of firefly larvae was positively related to the cover of herbs, shrubs, and sub-trees. In the analysis of the entire area, including the southern part with a mix of residential areas, soil moisture was an important habitat factor for land snails and fireflies. However, differences in forest vegetation were found to be an important factor in the analysis limited to the wooded area of the northern and southern parts.

Key words: urban forest, *Luciola parvula*, land snail assemblage, soil moisture, student field training

¹ 名城大学農学部 468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501
Faculty of Agriculture, Meijo University, 1-501 Shiogamaguchi,
Tempaku-ku, Nagoya 468-8502

² 愛知県みずほ大学人間科学部 468-0867 愛知県名古屋市瑞穂区春敲
町 2-13
Department of Human Sciences, Aichi Mizuho College, 2-13
Shunko-cho, Mizuho-ku, Nagoya 468-0867, Japan

³ ラブリーアース Japan 457-0863 愛知県名古屋市南区豊 4-22-10

Lovely Earth Japan, 4-22-10 Yutaka, Minami-ku, Nagoya
457-0863, Japan

⁴ 名古屋産業大学現代ビジネス学部 488-8711 愛知県尾張旭市新
居町山の田 3255-5

Faculty of Modern Business, Nagoya Sangyo University, 3255-5
Yamada, Arai-cho, Owari-Asahi 488-8711, Japan

* E-mail: hino@meijo-u.ac.jp

2023年11月7日受付 2024年1月27日受理

緒言

森林はその植生の種類や構造の多様性によって多様な種類の動物が数多く生息する環境である (MacArthur and MacArthur 1961; Hino 1985; Ito et al. 2012). しかしながら、近年の都市化にともなう宅地開発や道路建設の拡大は、都市内および都市近郊の森林の面積縮小と分断化をもたらし、その結果として、多くの動物の多様性や個体数が失われてきている (Fujita et al. 2008; Faeth et al. 2011; Ishikawa et al. 2023). 名古屋市においても緑被地 (樹林地・草地・農耕地・水面) の占める面積は戦後急激に減少しており、2020 年の調査では 21.5% にまで減少したことが報告されている (名古屋市 2021). 名古屋市のように自然の生息地がほとんど残されていない都市化された場所においては、残された都市林などの緑被地の生物多様性を保全し促進することが重要である (Alvey 2006; Lepczyk 2017). そのためには、そのような環境に生息する動物の個体数分布を調べ生息環境要因との関係を明らかにしていく必要がある。

土壤中に生息する生物は、食物連鎖やリター分解を通して森林内の物質循環に重要な役割を果たしている (Decaens et al. 2006; Ruita et al. 2012). 陸生貝類は移動性が低いために生息環境変化の影響を受けやすい土壤動物の 1 グループである。土壤動物の多様性と個体数に影響を及ぼす環境要因として、土壌水分、カルシウム濃度、pH、リター量、植生被度等との関係が国内外で調べられている (Hylander et al. 2004; Martin and Sommer 2004; Chiba 2007; 市川ら 2016; Hettenbergerová et al. 2023). 日本固有の陸生のホタルであるヒメボタル *Luciola parvula* (Kiesenwetter, 1874) は都市開発の影響で国内各地で個体数が減少してきており、名古屋市レッドリストでは準絶滅危惧種に選定されている (名古屋市 2020). これまでの研究では、谷地形を含む森林で成虫の発光個体数が多くなること (栗田・斎藤 2019) や森林内の土壌水分量の多い場所で幼虫の捕獲個体数が多くなること (梯ら 2014). しかしながら、陸生ホタルの生息環境についての研究は、国内・国外にかかわらず非常に限られており、その必要性が指摘されている (Riley et al. 2021). また、陸生ホタルの幼虫は陸生貝類を主要な餌としていることが知られているが、いずれも室内で行われてきており (西嶋ら 2010; Fu and Meyer-Rochow 2013), 生息地での陸生貝類との関係は報告されていない。

名城大学農学部生物環境科学科では、2 年生の野外実習として 2012 年度から陸生貝類群集の分布調査を行ってきており、2014 年度からの 5 年間は名古屋市天白区にある相生山緑地を調査地とした。相生山緑地はヒメボタルの生息地として知られ (長谷川ら 2018), また本種幼虫の主要な餌となるオカチョウジ *Allopeas kyotoense* (Pilsbry & Hirase, 1904) などの陸生貝類が豊富である (川瀬 2013). そこで、相生山緑地での実習では、陸生貝類群集の調査に

加えてヒメボタル幼虫個体数の調査を行い、両生物の生息環境要因として土壌水分と森林植生との関係について分析を行った。本論文では、相生山緑地で行った 5 年間の調査結果について報告する。

方法

調査地

調査を行ったのは、名古屋市天白区における相生山緑地である。尾張丘陵先端の天白川と扇川に挟まれた場所に位置し、東西に走る標高 3 つの 10 - 60 m の台地と 2 つの谷筋から成り立つ樹林地である (名古屋市 <https://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/cmsfiles/contents/0000071/71338/71-02.pdf>). 緑地全体の面積は約 124 ha であり、大きく分けて、樹林地内に散策路等が整備されている北部、かつては農耕地などとして利用されてきたが近年そのほとんどが放置されて雑木林になっている中央部、住宅地として開発され、谷部には樹林地や農地が残る南部の 3 区域に分けられる (図 1). 樹林地の高木層はシイ・カシ林に移行しつつあるコナラ *Quercus serrata* (Murray, 1784) 林で、低木層にはヒサカキ *Eurya japonica* (H.Hara, 1954), ソヨゴ *Ilex pedunculosa* (H.Hara, 1954) などが生育している (長谷川・橋本 2018).

名城大学農学部生物環境科学科における 2 年生の野外実習を、2014 年度から 2018 年度までの 11 月下旬に行った。2014 年度は北部 16 地点で 1 日間、中央部 5 地点と南部 11 地点で 1 日間 (図 1b), 2015 年度は北部 16 地点で 2 日間 (図 1c) 調査を行い、年度間で調査地点を固定しなかった。2016 年度から 2018 年度は北部 10 地点と中央部 6 地点を

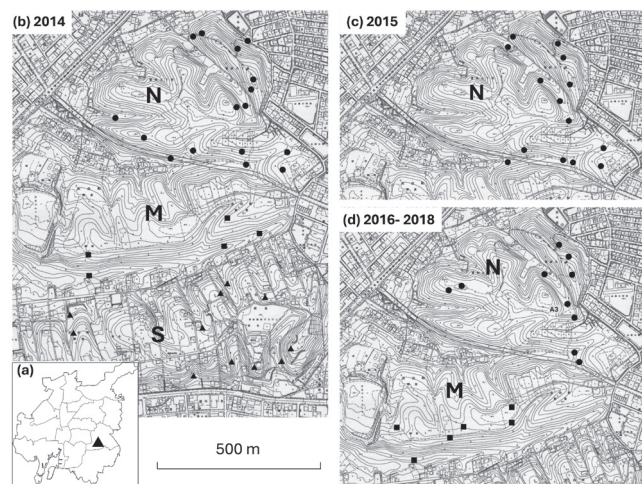


図 1. (a) 調査地である相生山緑地の名古屋市における位置. (b-d) 年度ごとの調査地点の位置. 丸: 北部 (N), 四角: 中央部 (M), 三角: 南部 (S).

Fig. 1. (a) Location of Aioiyama Green Space in Nagoya City. (b-d) Location of the survey sites in different years. Circle: northern part (N), square: central part (M), triangle: southern part (S)

固定調査地として、毎年度2日間3年間で6日間の調査を行った(図1d)。

採集調査と種同定・計数

各年度において2クラス各8班(1班あたり6-8名)がそれぞれ2地点を担当し、陸生貝類とヒメボタル幼虫の採集担当に分かれて1地点あたり約40-50分の調査を行った。いずれの年度の実習も、著者の一人である古川が相生山緑地の自然観察と保全活動を主催する団体「水・森・いのちを守るラブリーアースJapan」と「相生山の四季を歩く会」のメンバー(1地点あたり3-4名)による協力のもとに行われた。いずれの年度の実習も前日と当日に降雨はなく、同じ気象条件で採集が行われたと考えられた。また実習時間中は、担当教員(日野)が各班の調査地を巡回し地点間で採集努力が偏らないように注意した。

陸生貝類の採集は、前半の20-25分程度は倒木、石の下、樹木の幹や枝を見て回り、大きめの貝を探し出して容器に採集した。後半の20-25分程度はリター(落葉落枝)の溜まった所などを土と一緒にかき集めて5mmメッシュの洗濯ネットにいれて、お盆(24cm x 36cm)の上で少しずつふるいながら、ルーペや肉眼で小さめの貝を探し出し見つけたら綿棒等で容器に入れ、残った土はビニール袋(400mm x 280mm)の3分の2程度の量を大学に持ち帰った。1週間後実験室において、現地で採集した個体および持ち帰った土から探し出した個体について、実体顕微鏡下で種同定と計数を行った。種同定については、著者の一人である川瀬による指導の下で行い、学生による同定結果の最終的な確認についても合わせて行った。ナメクジ類については、正確な種同定のためには解剖学的検討が必要なため、分析からは除外した。

ヒメボタル幼虫の捕獲は、20mのライン上に20個のベイトトラップを1m間隔に設置した。2014年度には各地点1ラインずつ、2015年度からは各地点に2ラインずつ(ライン間隔2m)設置した(いずれの年度においても合計320個)。トラップは先行研究の方法(松田ほか2010; 陸生ボタル研究会2011; 梯ほか2013)に従って、35mmフィルムケース(内径29.5mm x 高さ50mm)を用いて、蓋に5mm径の穴を3箇所あけて作成し、キッチンペーパー1枚を底に入れた上に約1cm角の生イカを入れた。蓋の部分が地面に平行になる程度に、スコップで穴を掘って地中に埋めた。1週間後に回収し、実験室において計数を行った。

採集から同定・計数までの期間は、陸生貝類については新聞紙等で包みヒメボタルは冷蔵庫で保存するなどして可能な限り死亡させないようにして、同定数日後に現地に返した。

環境調査

2014-2018年の土壌水分の調査と2014-2016年の草本被度の調査は、日野が後半クラスの実習の翌日(降雨なし)に全地点で行った。2016-2018年の固定調査地にお

ける低木層・亜高木層・高木層の被度は、橋本・長谷川が2016年の8-11月(落葉なし)に行った。土壌水分と草本被度(0-1.3m)については、ヒメボタル採集トラップを設置した200mライン上10ヶ所において調べた。土壌水分は、土壌水分計(FieldScout TDR300, ソイルマックス, 東京; ロッド長3.8cm)を用いて土壌体積含水率を計測し、草本被度は2m四方の範囲内の被度を10%単位で目測してそれぞれ平均値を求めた。低木層(0-1.3m)、亜高木層(5-10m)、高木層(10m以上)の被度については、2m四方の範囲内の林冠被度を10%単位で目測してそれぞれ平均値を求めた。

統計的検定

いずれの分析も、RStudio(バージョン2023.06.1)とR(バージョン4.3.1)を使用した。北部、中央部、南部の各地点で計測された環境要因については、2014年度からの5年間における3区域間と2016年度からの3年間における2区域間でそれぞれ t 検定による比較(3区域間の比較についてBon-ferroni法による有意水準の補正)を行った。各地点で捕獲採集された陸生貝類の種数と全個体数、ヒメボタル個体数を説明する生息環境要因について、パッケージlme4のglmer関数を用いてポアソン分布を仮定した一般化線形モデル(GLMM)を行った。2014年度からの5年間は土壌水分と草本被度を説明変数、調査年度と区域(北部・中央部・南部)の違いをランダム効果、2016年度からの3年間は、土壌水分、草本被度、低木・亜高木層・高木の各層の林冠被度を説明変数、調査年度と16ヶ所の調査地点の違いをランダム効果とし、ヒメボタル個体数については、主要な餌資源である陸生貝類の全個体数を説明変数に加えた。説明変数については標準化(平均値=0, 標準偏差=1)を行い、多重共線性(VIF)は10以下であることを確認した。説明変数の有意性は、フルモデルのWald検定の結果を用いて評価した。

また、2016年度からの3年間において7地点以上で捕獲された陸生貝類の種ごとの生息環境選好性の違いを調べるために、cancor関数を用いて正準相関分析を行った。陸生貝類の合計個体数については対数変換、土壌水分、草本被度、低木層・亜高木層・高木層の林冠被度については逆正弦変換を行った後に標準化した値を用いて分析を行った。

結果

2014年度から2018年度までの5年間で24種1,980個体(1調査あたり12.7個体)の陸生貝類が採集された(表1)。北部、中央部、南部の区域間で比較すると、種数は18-20種で区域間の差はなかったが、1調査あたりの個体数は南部で19.4個体と最も多く他の2区域に比べて1.5-1.7倍多かった。種別ではウスイロシタラ *Parasitella pallida* (Pilsbry, 1902)、イセノナミマイマイ *Euhadra eoa communisiformis* (Kanamaru, 1940)、オカチョウジ

Allopeas clavulinum kyotoense の3種が優占種で、それぞれ全体の37%, 25%, 17%を占めた。1地点あたりの個体数については、イセノナミマイマイとオカチョウジガイは南部で最も多かったが、ウスイロシタラは北部で最も多かった。それに対して、ヒメボタル幼虫は5年間で264個体が捕獲され、捕獲率は16.5% (総トラップ数1,600)であった。

1調査あたりの捕獲個体数は中央部で2.8個体と最も多く、南部で0.9個体と最も少なく両区域間で3.1倍の差があった。3区域間で環境要因を比較すると、土壌水分体積含水率は

表1. 2014年度から2018年までの各年度における北部(N), 中央部(M), 南部(S)で採集されたヒメボタルと陸生貝類各種の個体数と全期間における1調査あたりの個体数. 略号は図2中の陸生貝類の種について示されている.

Number of individuals of firefly larvae and land snails collected in the northern (N), central (M), and southern (S) parts from 2014 to 2018 and the number of individuals per survey during the entire period. Marks are of the land snail species indicated in Fig.2

調査年 Survey year	2014			2015			2016			2017			2018			2014-2018			ALL
調査区域 Parts of survey sites in Green Space	N	M	S	N	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	S				
調査地点数 Number of survey points	16	5	11	14	10	6	10	6	10	6	10	6	60	23	11			94	
調査回数 Total number of surveys	16	5	11	28	20	12	20	12	20	12	20	12	104	41	11			156	
種名 Name of species	略号 Mark	合計採集個体数 Total number of individuals collected												1調査あたり採集個体数 No. of individuals per survey					
ヒメボタル <i>Luciola parvula</i>		16	2	10	23	11	21	13	19	76	73	1.337	2.805	0.909	1.69				
陸生貝類 Land snails																			
ミジンマイマイ <i>Vallonia pulchellula</i>		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.091	0.01				
ナミコギセル <i>Euphaedusa tau</i>	nmg	70	0	1	8	1	8	1	0	5	1	0.817	0.220	0.091	0.61				
トクサオカチョウジ <i>Paropeas achatinaceum</i>		5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0.048	0.000	0.182	0.04				
オカチョウジ <i>Allopeas kyotoense</i>	okc	54	22	44	66	28	23	34	16	41	5	2.144	1.610	4.000	2.13				
ホソオカチョウジ <i>Allopeas pyrgula</i>		0	0	9	1	2	2	0	0	0	0	0.029	0.049	0.818	0.09				
ナタネガイ <i>Punctum ambygonum</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.024	0.000	0.01				
ミジンナタネ <i>Punctum atomus</i>		0	0	0	0	1	2	1	4	1	0	0.029	0.146	0.000	0.06				
カサキビ <i>Trochochlamys crenulata</i>		0	3	1	0	1	0	0	0	1	0	0.019	0.073	0.091	0.04				
ヒメカサキビ <i>Trochochlamys subcrenulata</i>	hmk	6	0	1	9	5	2	5	3	0	1	0.240	0.146	0.091	0.21				
オオウエキビ <i>Trochochlamys fraterna</i>		2	3	9	5	3	1	1	0	2	0	0.125	0.098	0.818	0.17				
ハリマキビ <i>Parakaliella harimensis</i>		1	2	3	1	0	0	0	0	2	0	0.038	0.049	0.273	0.06				
キビガイ <i>Gastrodонтella stenogyra</i>	kgb	8	13	6	4	9	6	2	1	4	3	0.260	0.561	0.545	0.36				
ヤクシマヒメベッコウ <i>Discoconulus yakuensis</i>		4	0	10	2	5	2	0	2	0	0	0.106	0.098	0.909	0.16				
ヒメベッコウ <i>Discoconulus sinapidium</i>		11	4	7	10	0	0	0	0	4	3	0.240	0.171	0.636	0.25				
シロヒメベッコウ類似種 <i>Discoconulus sp.</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.000	0.024	0.000	0.01				
コンタカンタラ <i>Coneplectra circumcincta</i>	kts	2	0	5	0	1	2	1	3	1	1	0.048	0.146	0.455	0.10				
ウスイロシタラ <i>Parasitella pallida</i>	uss	15	12	33	33	354	102	28	11	60	39	4.712	4.000	3.000	4.40				
マルシタラガ <i>Parasitella reinhardti</i>	mrs	0	0	0	0	16	2	1	0	9	17	0.250	0.463	0.000	0.29				
オオクラヒメベッコウ <i>Yamatochlamys lampra</i>		1	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0.010	0.000	0.727	0.06				
ウラジロベッコウ <i>Urazirochlamys doenitzii</i>	ujb	10	5	8	8	18	4	10	2	4	4	0.481	0.366	0.727	0.47				
ヒメコハク <i>Hawaii minuscula</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	0.01				
マメマイマイ <i>Aegista commoda</i>		0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.049	0.273	0.03				
ウスカワマイマイ <i>Acusta despecta sieboldiana</i>		2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.019	0.049	0.000	0.03				
イセノナミマイマイ <i>Euhadra eoa communisiformis</i>	inm	58	11	62	65	71	36	40	30	74	39	2.962	2.829	5.636	3.12				
全個体数 Total number of individuals		249	80	213	212	515	192	124	72	209	114	12.6	11.2	19.4	12.7				
全種数 Total number of species		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			

表2. 北部, 中央部, 南部における生息環境要因の平均値±標準誤差(SE). 区域間の異なるアルファベットは各要因において有意差(P < 0.05)があることを示す. 括弧内の調査地点数は土壌体積含水率について示している.

Mean ± standard deviation (SD) of habitat factors in the northern, central, and southern parts. Different alphabets between parts indicate significant differences (P < 0.05) for each factor. Number of survey points in parentheses show for moisture.

		北部 (N)	中央部 (M)	南部 (S)
2014-2018				
土壌体積含水率 (%)	Moisture(%)	10.6 ± 0.7 a	12.3 ± 1.3 ab	15.2 ± 1.9 b
草本被度 (%)	Herbaceous cover (%)	12.9 ± 2.5 a	36.5 ± 10.6 b	15.2 ± 6.9 ab
調査地点数	No. of survey points	40 (60)	11 (23)	11
2016-2018				
土壌体積含水率 (%)	Moisture(%)	11.2 ± 1.2 a	10.8 ± 1.6 a	
草本被度 (%)	Herbaceous cover (%)	22.3 ± 7.0 a	56.8 ± 23.2 b	
低木被度 (%)	Shrub-canopy cover (%)	46.6 ± 14.7 a	49.0 ± 20.0 a	
亜高木被度 (%)	Subtree-canopy cover (%)	41.2 ± 13.0 a	46.7 ± 19.1 a	
高木被度 (%)	Tree-canopy cover (%)	58.4 ± 18.5 a	28.5 ± 11.6 b	
調査地点数	No. of survey points	10 (30)	6 (18)	

南部で最も高く、草本被度は中央部で最も高かった。2016年度からの北部と中央部での固定調査地においては、草本被度は中央部で、高木被度は北部で高く、土壌体積含水率、低木被度、亜高木被度については有意な差はなかった(表2)。

2014年度からの南部を含む全域での5年間の結果を用

いた分析では、陸生貝類の種数と個体数、ヒメボタルの個体数のいずれにおいても土壌水分による正の影響が示された(表3)。さらに、陸生貝類とヒメボタルの個体数においては、草本被度による正の影響が示されたのに加えて、ヒメボタルにおいては陸生貝類の個体数による正の影響が示された。2016年から北部と中央部の固定調査地で行っ

表3. 住宅地の混在する南部を含む緑地全域において2014年度から2018年までに採集された陸生貝類の種数と個体数、ヒメボタルの個体数に影響を及ぼす生息環境要因についての一般化線型混合モデルの結果。

Results of a generalized linear mixed model of habitat factors affecting the number of species and individuals of land snails, and abundance of firefly larvae collected in the entire area, including the southern part with a mix of residential areas, from 2014 to 2018.

目的変数 Objective variables	説明変数 Explanatory variables	係数 Coefficient	標準誤差 SE	z	P
陸生貝類 Land snails					
種数 No. of species	切片	Intercept	1.573	0.062	25.415 ***
	土壌体積含水率	Moisture	0.113	0.043	2.606 **
	草本被度	Herbaceous cover	0.085	0.048	1.745
個体数 No. of individuals	切片	Intercept	1.730	0.475	3.646 ***
	土壌体積含水率	Moisture	0.272	0.033	8.299 ***
	草本被度	Herbaceous cover	0.209	0.044	4.750 ***
ヒメボタル <i>Luciola parvula</i>					
個体数 No. of individuals	切片	Intercept	0.571	0.391	1.461
	土壌体積含水率	Moisture	0.396	0.061	6.497 ***
	草本被度	Herbaceous cover	0.242	0.068	3.562 ***
	陸生貝類個体数	Number of land snails	0.298	0.066	4.505 ***

表4. 北部と中央部の樹林地において2016年度から2018年までに採集された陸生貝類の種数と個体数、ヒメボタルの個体数に影響を及ぼす生息環境要因についての一般化線型混合モデルの結果。 ** P < 0.001, * P < 0.01, * P < 0.05

Results of a generalized linear mixed model of habitat factors affecting the number of species and individuals of land snails, and abundance of firefly larvae collected in the wooded area of the northern and southern parts from 2016 to 2018. *** P < 0.001, ** P < 0.01, * P < 0.05

目的変数 Objective variables	説明変数 Explanatory variables	係数 Coefficient	標準誤差 SE	z	P
陸生貝類 Land snails					
種数 No. of species	切片	Intercept	1.538	0.080	19.191 ***
	土壌体積含水率	Moisture	-0.085	0.083	-1.020
	草本被度	Herbaceous cover	0.202	0.093	2.175 *
	低木被度	Shrub-canopy cover	0.247	0.083	2.969 **
	亜高木被度	Subtree-canopy cover	0.182	0.075	2.427 *
	高木被度	Tree-canopy cover	0.070	0.099	0.711
個体数 No. of individuals	切片	Intercept	2.929	0.345	8.490 ***
	土壌体積含水率	Moisture	0.154	0.187	0.824
	草本被度	Herbaceous cover	0.258	0.203	1.274
	低木被度	Shrub-canopy cover	0.219	0.184	1.189
	亜高木被度	Subtree-canopy cover	0.116	0.172	0.672
	高木被度	Tree-canopy cover	0.047	0.209	0.226
ヒメボタル <i>Luciola parvula</i>					
個体数 No. of individuals	切片	Intercept	0.205	0.495	0.415
	土壌体積含水率	Moisture	0.227	0.272	0.836
	草本被度	Herbaceous cover	1.349	0.336	4.010 ***
	低木被度	Shrub-canopy cover	1.257	0.343	3.666 ***
	亜高木被度	Subtree-canopy cover	0.674	0.255	2.646 **
	高木被度	Tree-canopy cover	0.392	0.347	1.130
	陸生貝類個体数	Number of land snails	-0.276	0.124	-2.232 *

た3年間の結果を用いた分析では、陸生貝類の個体数に影響する環境要因は示されなかったが、陸生貝類の種数とヒメボタルの個体数においては草本被度、低木、亜高木の被度による正の効果が示された(表4)。また、ヒメボタルの個体数においては陸生貝類個体数による負の効果が示された。

正準相関分析の結果、陸生貝類各種(採集地点7ヶ所以上)の採集個体数に影響する環境要因は種ごとに異なることが示された(図2)。ウスイロシタラとイセノナミマイは土壌水分の多い環境を嗜好することが示された。土壌水分の少ない環境を嗜好する種のうちオカチヨウジは高木被度の高い環境、マルシタラ *Parasitara reinhardti* (Pilsbry, 1900) は低木被度の高い環境、コシタカシタラ *Coneuplecta circumcincta* (Reinhardt, 1883) は草本被度の高い環境をそれぞれ嗜好することが示された。

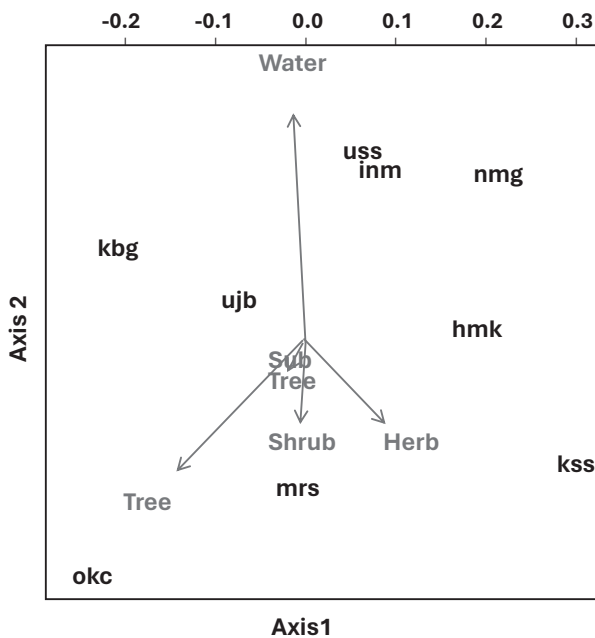


図2. 2016年度から2018年度における固定調査地点16地点のうち7地点以上で捕獲された陸生貝類の種ごとの個体数と生息環境要因との関係についての正準相関分析によって求められた第一軸($r = 0.995$)と第二軸($r = 0.904$)における散布図。陸生貝類: ナミコギセル(nmg), オカチヨウジ(okt), ヒメカサキビ(hmk), キビガイ(kbg), コシタカシタラ(ksg), ウスイロシタラ(usg), マルシタラ(msg), ウラジロベッコウ(ujb), イセノナミマイマイ(inm)。環境要因: 土壌水分(Water), 草本被度(Herb), 低木(Shrub)・亜高木層(SubTree)・高木(Tree)の各層の林冠被度。

Fig. 2. Scatter plots on the first ($r = 0.995$) and second ($r = 0.904$) axes obtained by canonical correlation analysis of the relationship between abundance and habitat factors (soil moisture, herbaceous cover, and canopy covers of shrub, sub-tree, and tall tree layers) for each species of land snails (symbols shown in Table 1) captured at least 7 of 16 fixed survey sites from 2016 to 2018.

考察

名古屋市では市内33ヶ所の緑地公園において2012年10月に3日間の陸生貝類の一斉調査が行われている(川瀬2013)。その結果によると、相生山緑地では最も多い19種が確認されていることから、名古屋市において最も多様な陸生貝類が生息可能な環境が整っている緑地であると考えられる。さらに、本実習によって新たに確認された種はナタネガイ *Punctum amblygonum* (Reinhardt, 1877), カサキビ *Trochochlamys crenulate* (Gude, 1900), ハリマキビ *Parakaliella harimensis* (Pilsbry, 1901), ヒメベッコウガイ *Discoconulus sinapidium* (Reinhardt, 1877), ヤクシマヒメベッコウガイ *D. yakuensis* (Pilsbry, 1902), シロヒメベッコウ類似種 *Discoconulus* sp., マルシタラガイ, オオクラヒメベッコウ *Yamatochlamys lampra* (Pilsbry & Hirase, 1904), マメマイマイ *Aegista commode* (A. Adams, 1868) の9種であり、相生山緑地での確認種は28種となった。本実習で採集された陸生貝類のうちヒメカサキビは環境省レッドリストにおいて準絶滅危惧種であり、ミジンマイマイ *Vallonia pulchellula* (Heude, 1822) は国内外来種、トクサオカチヨウジ *Paropeas achatinaceum* (Pfeiffer, 1846) とヒメコハク *Hawaiiia minuscula* (Binney, 1840) は国外外来種である。名古屋市全体の一斉調査ではトクサオカチヨウジが最優占種であったが、本実習での最優占種であったウスイロシタラの個体数は少なかった。ヒメボタル幼虫の捕獲調査は限られており比較できるデータは少ないが、本実習での捕獲率16.5%(総トラップ数1,600)は、名古屋城外堀の捕獲率7.4%(総トラップ数282; 陸生ボタル生態研究会2011)よりは多く、名古屋大学キャンパスの捕獲率21.2%(総トラップ数330; 松田ら2010)よりは少なかった。これらの先行研究では土壌水分や森林植生の調査が行われていないので単純な比較はできないが、相生山緑地は他の都市緑地と同程度の個体数のヒメボタルが生息する場所であると考えられる。

2014年度からの5年間の全域での調査結果においては、1調査あたりの陸生貝類の個体数は住宅地の含まれる南部で最も多く、また生息環境要因との関係の分析では土壌水分が多いほど増加することが示された。この理由として、南部の住宅地の多くは尾根部に位置するために調査地点を土壌水分の多い谷部に設定したことが関係している可能性がある。零田・斎藤(2019)においても、土壌水分量の多い谷地形で陸生貝類の個体数が増えることが示されている。

1調査あたりのヒメボタルの捕獲個体数は、中央部の人手の入っていない樹林地で最も多かった。生息環境要因との関係の分析では、全域での分析では土壌水分・下層植生被度・陸性貝類個体数による正の影響が示され、北部と中央部のみの分析では草本・低木・亜高木の被度による正の影響が示された一方で、陸生貝類の個体数による負の影響が示された。これらの環境要因との分析結果から、ヒメボ

タル個体数については土壤水分・陸生貝類個体数よりも草本・低木・亜高木が発達した森林植生の影響が大きいと考えられる。中央部では、土壤水分は中程度であったが草本と亜高木の被度が最も高く、ヒメボタルの捕獲個体数が最も多かった。ヒメボタルのオスは飛翔しながら発光するが、メスは低層植生の枝葉に止まった状態で発光することから(大場ら 1987)、草本と低木の存在が生息にとって重要な環境要因であると考えられる。それに対して、上記したように南部では陸生貝類が最も多かったが、ヒメボタルの個体数は最小で中央部の3分の1程度であった。イタリアのトリノ市で行われた陸生のイタリアホタル *Luciola italica* (Linnaeus, 1758) 成体の発光個体数調査では、照度の影響が大きいことが明らかにされている (Picchi et al. 2013)。住宅や街路灯も多く、他の区域に比べて照度が高いことがヒメボタル個体数の少なかった理由と考えられる。梯ら (2013) での調査では、35 m × 50 m の限られた範囲でヒメボタル幼虫個体数と土壤水分との正の関係が示されているが、本研究全体の調査範囲 (約 500 m × 1000 m; 図 1b) とはスケールが異なっている。本研究においても、南部 (約 500 m × 200 m) を含めるかどうかによって、陸生貝類とヒメボタルに及ぼす環境要因が違ったことから、調査範囲のスケールによって結果が変わる可能性があることに注意する必要がある。

本研究では、陸生貝類の環境選好性については、土壤水分の大小と森林植生被度の大小によって個体数の多くなる環境が種ごとに異なることが示された。また、種数は草本、低木、亜高木の被度による正の影響が示されたのに対して、全体の個体数に影響を与える環境要因はなかった。Chiba (2007) が小笠原諸島の父島で行った研究では、陸生貝類各種は土壤水分と落葉落枝量で表される生産力によって正の影響と負の影響をうける2つのグループに分けられ、全体種数は中程度の生産力で最大になることが示されている。本研究では、落葉落枝量は調べていないが、森林植生被度が発達している場所では落葉落枝量が多いことが推測されるため、同様の結果が示された可能性がある。陸生貝類の選好する環境が種によってさまざまに異なることは、国外の研究によっても明らかにされている (Martin and Sommer 2004; Hylander et al. 2004; Hettenbergerová et al. 2013)。国内で比較検討できる先行研究はないが、シタラガイ科のウスイロシタラ、コシタカシタラ、マルシタラの個体数の多くなる環境要因が、それぞれ土壤水分、草本被度、低木被度と違っていたことは興味深い結果である。

本調査は学生実習として行われたため、データの信頼性は通常の学術的調査に比べると高くなく厳密な分析には限界があった。例えば、南部では1年間しか調査を行っていないため、得られた結果が年変化である可能性があり、3年以上の調査が行われた北部と中央部の結果と単純に比較することはできない。しかしながら、同じ調査地の広い範囲において継続的にデータを集めていくことで、都市林におけるさまざまな環境でのデータを得ることができる。そ

の結果として、ヒメボタルと陸生貝類群集の生息場所分布と森林環境要因との関係を明らかにすることができた。これらの成果は国内での先行研究がほとんどない本分野において貴重なデータを提示することができただけでなく、都市緑地における自然生態系の重要性と保全的価値についても明らかにできたと考えられる。

謝辞

この調査は名城大学農学部生物環境科学科2年生による生物環境科学実験の一環として2014年度から2018年度まで実施された。各年度の実習において現地での調査を行った2年生全員、調査へのサポートとご協力をいただいた「水・森・いのちを守るラブリーアース Japan」と「相生山の四季を歩く会」のメンバーの皆さん、調査に必要な道具を御貸出いただいたなごや生物多様性センター、調査許可をいただいた天白土木事務所に心より感謝いたします。本実習は、名城大学の「学びのコミュニティ」のプロジェクトによる成果の一部である。

引用文献

- Alvey AA (2006) Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening* 5: 195-201.
- Chiba S (2007) Species richness patterns along environmental gradients in island land Molluscan fauna. *Ecology* 88: 1738-1746.
- Decaëns T, Jiménez JJ, Gioia C, Measey GJ, Lavelle P (2006) The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology* 42: S23-S38.
- Faeth SH, Bang C, Saari S (2011) Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences*: 1223: 69-81.
- Fu X, Meyer-Rochow VB (2013) Larvae of the firefly *Pyrocoelia pectoralis* (Coleoptera: Lampyridae) as possible biological agents to control the land snail *Bradybaena ravida*. *Biological Control* 65: 176-183.
- Fujita A, Maeto K, Kagawa Y, Ito N (2008) Effects of forest fragmentation on species richness and composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae and Brachinidae) in urban landscapes. *Entomological Science* 11: 39-48
- 長谷川 泰洋・橋本 啓史 (2018) 名古屋市内都市緑地におけるネザサの開花。なごやの生物多様性 5: 87-92.
- 長谷川 明子・森部 絢嗣・大場 裕一・林 良嗣・加藤 博和 (2018) ヒメボタル発光頭数と「月の満ち欠けの影響」との関係 - 名古屋市天白区相生山緑地の事例。なごやの生物多様性 5: 1-10.
- Hettenbergerová E, Horsák M, Chandran R, Hájek

- M, Zelený D, Dvořáková J. Patterns of lands Snail assemblages along a fine scale moisture gradient source. *Malacologia* 56: 31-42.
- Hino T. (1985) Relationships between bird community and habitat structure in shelterbelts of Hokkaido, Japan. *Oecologia* 65: 442-448.
- Hylander K, Nilsson C, Gothner T (2004) Effects of buffer-strip retention and clearcutting on land snails in boreal riparian forests. *Conservation Biology* 18: 1052-1062.
- Ishikawa S, Kohno H, Mizuno Y, Masuyama R, Kitayama K, Hino T (2023) Influences of weather conditions, natural food abundance, and the spacing of feeders on the feeding-table use by Japanese squirrels *Sciurus lis* in a suburban forest. *Mammal Study* 48: 181-190.
- Ito H, Hino T, Sakuma D (2012) Species abundance in floor vegetation of managed coppice and abandoned forest. *Forest Ecology and Management* 269: 99-105.
- 市川 志野・中島 貴幸・片野田 裕亮・富山 清升・山本 温彦・鈴木 英治 (2016) トカラ列島口之島の陸産貝類相の構成と環境との関係. *日本生物地理学会会報* 71: 53-68.
- 梯 公平・倉西 良一・鎌田 直人 (2014) ヒメボタル幼虫の空間分布と活動性に影響を与える環境要因: 高い土壤水分量による活性化. *保全生態学研究* 18: 45-54.
- 川瀬 基弘 (2013) なごやの生きものの一斉調査2012・陸貝編: なごやで探そう! カタツムリ. なごや生物多様性保全活動協議会, 名古屋.
- Laurance WF, Lovejoy TE, Vasconcelos HL, Bruna EM, Didham RK, Stouffer PC, Gascon C, Bierregaard RO, Laurance SG, Sampaio E (2002) Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation. *Conservation Biology* 16: 605-618.
- Lepczyk CA, Aronson MFJ, Evans KL, Goddard MK, Lerman SB, Macivor JS (2017) Biodiversity in the city: fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation. *BioScience* 7: 799-807.
- MacArthur RH, MacArthur JW (1961) On bird species diversity. *Ecology* 42: 594-598.
- Martin K, Sommer M (2004) Relationships between land snail assemblage patterns and soil properties in temperate-humid forest ecosystems. *Journal of Biogeography* 31: 531-545.
- Murcia C (1995) Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.
- 松田 学・大場 由美子・小西 哲郎・大場 裕一 (2010) 名古屋大学構内におけるヒメボタル幼虫の分布調査. *名古屋大学博物館報告* 26: 153-163
- 名古屋市 (2020) 名古屋市版レッドリスト 2020. 環境局環境企画部環境企画課. 名古屋.
- 名古屋市 (2021) なごやの緑-令和2年度緑の現況調査より. 名古屋市緑政土木局緑地部緑地事業課, 名古屋.
- 西嶋 翔・安岡 拓郎・前藤 薫 (2010) 陸貝類, ミミズ類あるいはワラジムシを給餌したヒメボタル幼虫の生存と成長. *昆虫* 13: 41 - 47.
- 大場 信義・後藤 好正・相内 幹浩・渡辺 政人 (1987) ヒメボタルの探雌行動. *横須賀市博物館研究報告* 35: 15-22.
- Picchi MS, Avolio L, Azzani L, Brombin O, Camerini G (2013) Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin. *Insect Conservation* 17:797-805.
- 陸生ホタル研究会 (2011) 名古屋城外堀のヒメボタル幼虫生息調査. *陸生ホタル研究会誌* 31: 1-6.
- Riley WB, Rosa SP, da Silveira LFL (2021) A comprehensive review and call for studies on firefly larvae. *PeerJ* 9:e12121.
- Riutta T, Slade EM, Bebbler DP, Taylor ME, Malhi Y, Riordan P, Macdonald DW, Morecroft MD (2012) Experimental evidence for the interacting effects of forest edge, moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* 49: 124-131.
- 栗田 享佐・斎藤 昌幸 (2019) 山形県庄内地方におけるヒメボタル (*Luciola parvula*) の生息環境評価. *景観生態学* 24: 61-69.

資 料

ミナミカワゲラ亜目 5 種のカワゲラ類の卵構造
(昆虫綱・カワゲラ目・ミナミカワゲラ亜目)

武藤将道

要約 本資料は、原著論文 Mtow, Shodo, Brian J. Smith, Ryuichiro Machida (2021) Egg structure of five antarctoperlarian stoneflies (Insecta: Plecoptera, Antarctoperlaria). *Arthropod Structure & Development*, 60: 101011 の内容を日本語で解説したものである。ミナミカワゲラ亜目の 5 種 (Eustheniidae の *Stenoperla prasina*, Austroperlidae の *Austroperla cyrene*, Gripopterygidae の *Zelandobius truncus*, *Megaleptoperla grandis*, *Acroperla trivacuata*) のカワゲラ類の卵構造を詳細に記載し、ミナミカワゲラ亜目およびカワゲラ目における卵構造のグラウンドプランを議論した。扁平な卵形態および赤道面に環状に沿った卵門の配列は、Eustheniidae だけでなく Eusthenioidea の潜在的な固有派生形質とみなせる。Austroperlidae の卵は、薄く硬化していない卵殻、表層のゼラチン質の膜、赤道面に沿って粗くランダムに配列された卵門をもつ。Gripopterygidae の接着盤とキタカワゲラ亜目同舌類の錨板における微細構造学的な差異は、これらの構造が独立に派生したことを示唆する。薄く硬化していない卵殻、および卵門が環状に配列し、その環状配列が卵の赤道面に沿うことはカワゲラ目におけるグラウンドプランを示す。一方で、これまでの理解と異なり、硬化した卵殻はミナミカワゲラ亜目の Eustheniidae と Gripopterygidae、キタカワゲラ亜目の同舌類において、それぞれ独立に獲得された派生的な特徴とみなされる。

キーワード：カワゲラ目、ミナミカワゲラ亜目、Eustheniidae, Austroperlidae, Gripopterygidae, 卵構造

Comparative egg morphology of five antarctoperlarian stoneflies (Insecta: Plecoptera, Antarctoperlaria)

Shodo Mtow

Abstract Aiming to reconstruct the groundplan of the egg structure of Antarctoperlaria and Plecoptera, the egg structures of five antarctoperlarian species – *Stenoperla prasina* of Eustheniidae; *Austroperla cyrene* of Austroperlidae; and *Zelandobius truncus*, *Megaleptoperla grandis*, and *Acroperla trivacuata* of Gripopterygidae, were examined in detail, using light and electron microscopy. The flattened egg shape and the micropyles circularly arranged along the equator are regarded as potential autapomorphies for not only Eustheniidae but also for Eusthenioidea. The eggs of Austroperlidae consist of thin and less-sclerotized chorion, a gelatinous layer on the surface, and micropyles roughly and randomly arranged along the equator. The attachment disc in Gripopterygidae is largely different in the ultrastructure from the anchor plate of arctoperlarian Systellognatha, suggesting that these structures were independently derived. The thin less-sclerotized chorion is a potential groundplan of Plecoptera, along with micropyles arranged in a circle, including those circularly arranged along the equator of the egg. On the other hand, in contrast to previous understanding, the sclerotized and hard chorion is likely a derived feature, which has been independently acquired by Eustheniidae and Gripopterygidae of Antarctoperlaria and Systellognatha of Arctoperlaria.

Key words: Plecoptera, Antarctoperlaria, Eustheniidae, Austroperlidae, Gripopterygidae, Egg structure

名城大学農学部生物資源学科 昆虫学研究室
〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501

Laboratory of Entomology,

Department of Agrobiological Resources, Faculty of Agriculture,
Meijo University

Shiogamaguchi 1-501, Tenpaku, Nagoya, Aichi 468-8502, Japan

メールアドレス

mtow@meijo-u.ac.jp

2023 年 11 月 29 日受付 2024 年 1 月 14 日受理

緒言

カワゲラ目 Plecoptera は、南極大陸を除くすべての大陸から約 3500 種が記載され、ほぼすべての卵および幼虫が水生の多新翅類 Polyneoptera に所属する昆虫である (Fochetti and Tierno de Figueroa, 2008). カワゲラ目の系統学的位置に関しては、長年議論されてきた (例えば, Kristensen, 1975; Zwick, 2009; Beutel et al., 2014) が、近年の形態学および分子系統学的証拠 (Misof et al., 2014) による、タンパク質コーディング遺伝子のトランスクリプトームに基づく大規模なファイロゲノミクス研究を含む) は、カワゲラ目が多新翅類の一群であることを強く示唆する (Ishiwata et al., 2011; Yoshizawa, 2011; Wipfler et al., 2015, 2019; Song et al., 2016).

カワゲラ目の分類体系に関しては、本目をミナミカワゲラ亜目 Antarctoperlaria とキタカワゲラ亜目 Arctoperlaria の 2 亜目に分ける体系が広く支持されている (例えば, Zwick, 2000; McCulloch et al., 2016): 前者は南半球のみに生息し 4 科を含む一方で、後者は主に北半球に生息し、完舌類 Euholognatha と同舌類 Systellognatha の 2 つの下目から構成され、それぞれ 6 科からなる。キタカワゲラ亜目のそれぞれの下目における科間の類縁関係は議論が定まっていない (例えば, Zwick, 2000; Terry, 2004; McCulloch et al., 2016; Ding et al., 2019). これに対して、ミナミカワゲラ亜目の亜目内での系統関係は、形態 (Zwick, 2000) および分子系統学 (例えば, McCulloch et al., 2016; Ding et al., 2019) の研究から支持が得られており、ミナミカワゲラ亜目は Eustheniidae と Diamphipnoidea を含む Eusthenioidea と、Austroperlidae と Gripopterygidae を含む Gripopterygoidea の 2 つの上科に分けられる。

比較発生学は、対象群のグラウンドプランの再構築およびその系統学的議論において有効な手法である (例えば, Machida, 2006; Mashimo et al., 2014; Tomizuka and Machida, 2015; Fujita and Machida, 2017). しかし、Miller (1939, 1940) による同舌類の Pteronarcyidae の *Pteronarcys proteus*, および Kishimoto and Ando (1985, 1986) および Kishimoto (1987) による同舌類のカワゲラ科 Perlidae のカミムラカワゲラ *Kamimuria tibialis* における詳細な研究、および同舌類と完舌類のいくつかの種群に関する短い記載 (Khuo, 1968a, 1968b; Kishimoto, 1997) をのぞいて、カワゲラ目の発生学的な情報はいまだに断片的である。最近、Mtow and Machida (2018a, 2018b, 2019, 2020) はカワゲラ目および多新翅類のグラウンドプランの再構築をめざし、日本に生息する 9 科のキタカワゲラ亜目を用いたカワゲラ目比較発生学的研究に取り組んできた。

筆者らの最近の研究は、カワゲラ目において、発生の最初期に形成され、閉鎖された羊漿膜褶をもつ胚が卵表層で伸長することを明らかにしたが、この特徴は Mashimo ら (2014) によって示唆された多新翅類の発生学的な固有

派生形質の一つを示すことから、カワゲラ目が多新翅類の一群であることを強く示唆する (Mtow and Machida, 2018a). また、筆者らはトワダカワゲラ科 Scopuridae のミネトワダカワゲラ *Scopura montana* における胚下に形成される肥厚漿膜および漿膜クチュラの詳細な記載 (Mtow and Machida, 2018b, 2019), および 8 科のキタカワゲラ亜目のこれらの構造に関する報告 (Mtow and Machida, 2021) を行い、これらがカワゲラ目の発生学的なグラウンドプランの一つとみなしうることを示唆した。さらに、筆者らのキタカワゲラ亜目の卵構造の研究 (Mtow and Machida, 2018a) は、完舌類の薄く透明な卵殻、および同舌類の卵後極における襟状部と錨板の存在がそれぞれのグループの派生的なグラウンドプランを示し、同舌類とミナミカワゲラ亜目で知られる、厚く硬化した卵殻がカワゲラ目の派生的なグラウンドプランを示すという Zwick (1973, 2000) の見解と一致した。しかし、カワゲラ目の胚発生に関する情報はいまだに不完全である。特に、ミナミカワゲラ亜目の発生学的知見は皆無であり、卵に関する光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡観察に基づく断片的ないくつかの報告があるに過ぎない (例えば, Zwick, 1973; Hynes, 1974; Stark et al., 2009).

このような背景から、筆者らはミナミカワゲラ亜目の発生学的研究を開始し、今回、ニュージーランドに生息する 5 種のミナミカワゲラ亜目、すなわち Eustheniidae の *Stenoperla prasina*, Austroperlidae の *Austroperla cyrene*, および Gripopterygidae の *Zelandobius truncus*, *Megaleptoperla grandis*, *Acroperla trivacuata* の卵を入手した。本研究では、ミナミカワゲラ亜目の発生学的研究の第一歩として、これらの 5 種の卵構造を走査型および透過型電子顕微鏡を用いて詳細に観察し、ミナミカワゲラ亜目およびカワゲラ目の系統学的議論を行い、これらの卵のグラウンドプランを再構築する。

材料および方法

1. 材料

2020 年 2 月に、ニュージーランド北島のベイ・オブ・プレッティ地方、タウランガ市の水質が良好で砂層の底質をもつ 3 河川 (Tautau, Waiohori, Kirikiri streams) で Eustheniidae の *S. prasina*, Austroperlidae の *Au. cyrene*, および Gripopterygidae の *Z. truncus*, *M. grandis*, *Ac. trivacuata* の成虫を採集した。これらのうち、*Au. cyrene*, *Z. truncus*, *M. grandis* はそれぞれメス 1 個体、*Ac. trivacuata* のメス 4 個体から産下された卵を得た。*S. prasina* のメスは産卵せずに死亡したため、成熟卵を死亡個体の体内から摘出した。

2. 固定

得られた卵は界面活性剤 (0.1% Triton X-100) を含む生理食塩水 (Ephrussi-Beadle 液) で洗浄し、微針で穿孔し、カルノフスキー液で 24 時間固定し、0.1 M カコジル

酸緩衝液 (pH 7.2) 中で4°Cで保存した。 *S. prasina* および *Ac. trivacuata* の一部の卵はカル液で24時間固定し、70% エタノール中で室温で保存した。

3. 光学顕微鏡観察

卵の概形は実体顕微鏡 (ライカ S8 APO) で観察し、デジタルカメラ (オリンパス OM-D) で撮影した。 *Au. cyrene* の卵門を観察するため、卵膜をハイソックス液で封入してニコンアポクロマートレンズを装着した生物顕微鏡 (ニコン Optiphot-2) で観察し、カメラ (ニコン Ds-Fi2) で撮影した。

S. prasina および *Z. truncus* の卵はカルノフスキー液で固定した後、1% 四酸化オスミウムで1時間後固定を行い、エタノールシリーズで脱水し、エポキシ系樹脂 (Agar Scientific "Agar Low Viscosity Resin Kit") で包埋した。 Blumer et al. (2002) に従い、連続準超薄切片 (厚さ 0.75 μm) をダイヤモンドナイフ (DiATOME Histo Jumbo) を装着したウルトラミクロトーム (RMC MT-XL) を用いて取得した。切片は0.1% トルイジンブルーOで染色し、生物顕微鏡で観察し、カメラで撮影した。

4. 電子顕微鏡観察

走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察のため、固定卵を超音波洗浄機 (井内 VS-25) で洗浄し、1% 四酸化オスミウムで1時間後固定を行い、エタノールシリーズで脱水し、臨界面乾燥装置 (tousimis Samdri-PVT-3D) を用いて乾燥させ、イオンスパッタ装置 (日本電子 JFC-1100) を用いて金蒸着処理を行い、SEM (トプコン SM-300) で加速電圧 15 kV で観察した。

M. grandis の卵は従来の SEM 試料作製法による処理では収縮するため、Takaku et al. (2013), Fujita et al. (2016), 野村 (2018) に従い、ナノスーツ法による処理を行った。卵を1% ポリオキシエチレンソルビタンモノラウレート (Tween 20) 水溶液に1時間浸漬させ、余剰の溶液を取り除くため乾いたろ紙上でふき取り、試料台に直接マウントし、SEMで加速電圧 5 kV で観察した。

S. prasina, *Au. cyrene*, *Z. truncus* の透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察のため、上述のエポキシ系樹脂に包埋した卵をダイヤモンドナイフ (Drukker Histoknife) を装着したウルトラミクロトームで薄切し、厚さ 75 nm の超薄切片を取得した。切片は白金 (Inaga et al., 2007) およびクエン酸鉛 (Venable and Coggeshall, 1965) で染色し、TEM (日立 HT7700) で加速電圧 80 kV で観察した。

結果

昆虫卵のオリエンテーションは卵内の胚のオリエンテーションに基づいて決定される。筆者らは Wheeler (1893) の伝統的な基準を以下のように修飾して、カワゲラ目の卵のオリエンテーションを定義した (Mtow and Machida, 2018a) : (1) 胚が形成される部位を卵の後極、その反対を

卵の前極とする ; (2) カタトレプシス直前の胚が存在する部位を卵の背面、その反対を卵の腹面とする。この基準に従うと、胚が卵の長軸の一方の極に形成される *Au. cyrene* (Austroperlidae) の卵の前後極を決定できる : 胚が形成される極は後極であり、その反対が前極である。しかし、本研究において他の種の胚の位置とオリエンテーションに関する情報は得られていないため、それらの種の卵のオリエンテーションを以下のように定める。 *S. prasina* (Eustheniidae) および *Ac. trivacuata* (Gripopterygidae) においては、他の Eustheniidae (Zwick, 1979 を参照)、他の Gripopterygidae (Hynes, 1974 を参照)、キタカワゲラ亜目ヒロムネカワゲラ科 Peltoperlidae (Mtow and Machida, 2018a を参照) を含む、同様の卵形態をもつカワゲラ目での定義を踏まえると、卵は前後に扁平であると理解される。 *Au. cyrene* においては、キタカワゲラ亜目が長楕円体の卵をもつ (Mtow and Machida, 2018a を参照) ことから、卵の長軸は前後軸と理解できる。 *Z. truncus* および *M. grandis* (Gripopterygidae) においては、それぞれの卵に接着構造 (本研究で観察したミナミカワゲラ亜目の種にみられるこの構造を接着盤 attachment disc と呼ぶ) があるが、卵に接着構造 (錨板, Mtow and Mahida, 2018a を参照) がある同舌類のカワゲラと同様に、接着盤がある方向が後極、その反対が前極を表すと理解できる。

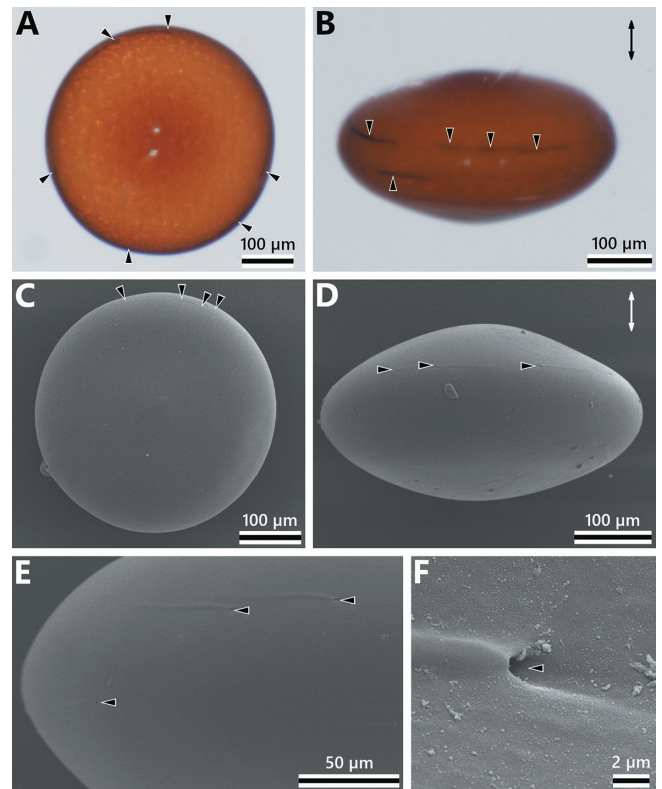


図1 *Stenoperla prasina* の卵. (A, B) 卵, 極方 (A) および側方 (B). (C, D) 卵の SEM, 極方 (C) および側方 (D). (E, F) 卵門の SEM (E) およびその拡大 (F). 二方向の矢印と矢尻はそれぞれ卵の前後軸と卵門を示す。

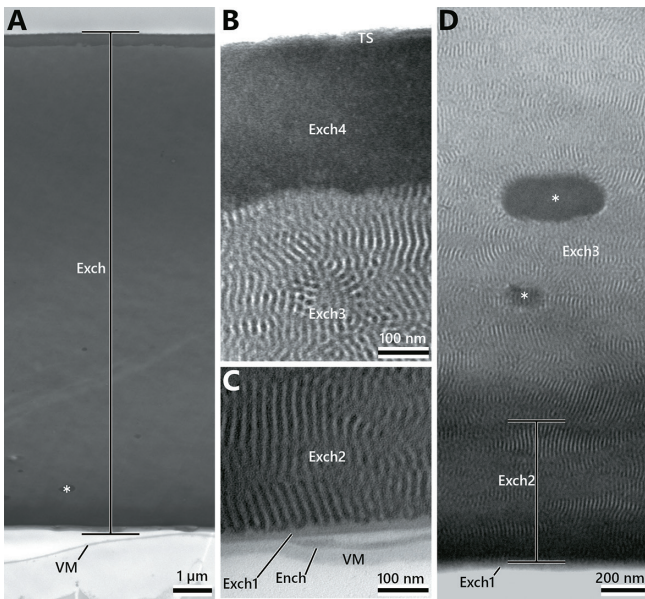


図2 *Stenoperla prasina* の卵膜. (A-D) 卵膜のTEM, 卵膜の全体 (A), 外卵殻3および4の拡大 (B), 外卵殻1および2の拡大, 内卵殻, および卵黄膜 (C), 外卵殻1-3の拡大 (D). アスタリスクは外卵殻2および3に存在する均質な高電子密度構造を示す. Ench, 内卵殻; Exch, 外卵殻; Exch1, 外卵殻1; Exch2, 外卵殻2; Exch3, 外卵殻3; Exch4, 外卵殻4; TS, 外卵殻表層のタイル状構造; VM, 卵黄膜.

1. *Stenoperla prasina* (Eustheniidae)

卵は扁平な回転楕円体, つまり, 前後方向に扁平であり, 直径は長軸約 450 μm , 短軸約 230 μm であり, 褐色である (図 1A-D). 直径約 2 μm の開口部をもつ 15 から 20 の卵門が, 赤道面の上下 2 列に配列する (図 1A-E). 卵門管は卵膜を横切り赤道面に対して並行に走行し, 光学顕微鏡下では暗領域として, 走査型電子顕微鏡下ではわずかな隆起として認識される (図 1B, D, E). 卵殻は卵門開口部では浅くくりぬかれたような構造 (図 1F) であり, 卵門管の内側開口部でフラップを形成する (原著論文の Fig. 1G を参照のこと).

卵膜は 2 層の卵殻, すなわち外卵殻と内卵殻, そして卵黄膜で構成される (図 2A-D). 卵殻は非常に厚く密な構造である. 外卵殻は厚さ 15 μm である (図 2A) が, 赤道面の周囲は厚さ 5 μm と薄い. 外卵殻は 4 重層 (最も内側は外卵殻 1, 最外層は外卵殻 4) で構成される (図 2B-D). 外卵殻 1 は厚さ 25 nm (赤道面以外の領域で計測) で電子密度が低い層である (図 2C, D). 外卵殻 2 は厚さ 0.5-1 μm の中程度の電子密度の層である (図 2C, D). 外卵殻 3 は大半の外卵殻の厚さを占める最も厚い重層であり, 外卵殻 2 よりわずかに電子密度が低い (図 2B, D). 外卵殻 2 および 3 は高および低電子密度の無数の波状の縞模様が交互に並ぶ構造 (図 2B-D) であり, 高電子密度の均質な構造を含む (図 2A, D のアスタリスク). 外卵殻 4 は厚さ 350 nm の電子密度が高い層であり, その表層が直径 150

nm, 高さ 20 nm の無数のタイル状構造で被覆される (図 2B). 内卵殻は厚さ約 20 nm の非常に薄く電子密度の低い層である (図 2C). 卵黄膜は厚さ約 50 nm の電子密度が低い層である (図 2C).

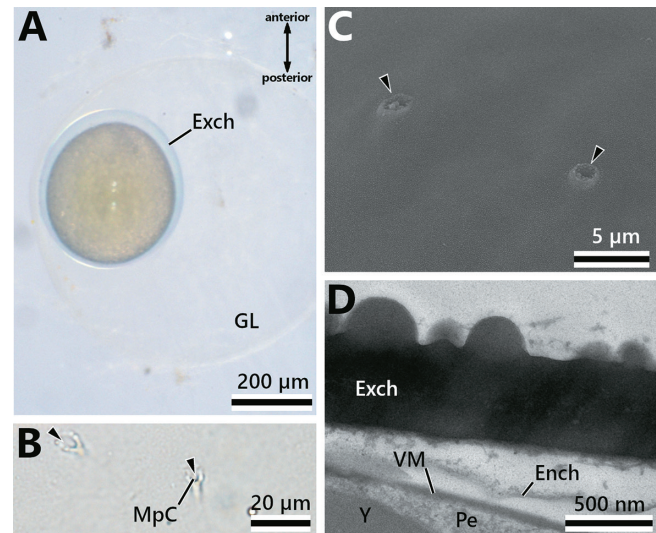


図3 *Austroperla cyrene* の卵. (A) 卵, 側方. (B) 卵門. (C) 卵門のSEM. (D) 卵膜のTEM. 矢尻は卵門を示す. Ench, 内卵殻; Exch, 外卵殻; GL, ゼラチン質の膜; MpC, 卵門管; Pe, 周縁細胞質; VM, 卵黄膜; Y, 卵黄.

2. *Austroperla cyrene* (Austroperlidae)

卵は長径約 350 μm , 短径約 320 μm のわずかに長形な回転楕円体であり (図 3A), 透明な卵膜を通して黄色い卵黄がみえるため, 卵はクリーム色がかった黄色を呈する. 図 3A で示すように長軸は前後軸である. 産下された卵は, 産下直後は薄く, 水中で次第に膨張するゼラチン質の膜で覆われる (図 3A). 直径約 2 μm の 6 から 10 の卵門が卵の赤道面に沿って粗くランダムに配列する (図 3B, C; 原著論文の Fig. 3B も参照のこと). それぞれの卵門は前方に開口し, 卵門管が後方に向けて走行する (図 3B, C).

卵膜は 2 層の卵殻, すなわち外卵殻と内卵殻, そして卵黄膜で構成される (図 3D). 卵殻はとても薄く硬質化は乏しい. 外卵殻は厚さ約 750 nm で電子密度が高い層であり, その表層は顆粒状で無数の微小な半球状の構造で被覆される (図 3C, D). 内卵殻は電子密度が低く, 厚さ約 20 nm のごく薄い層である (図 3D). 卵黄膜は内卵殻よりも電子密度が高く厚さ約 50 nm の層である (図 3D).

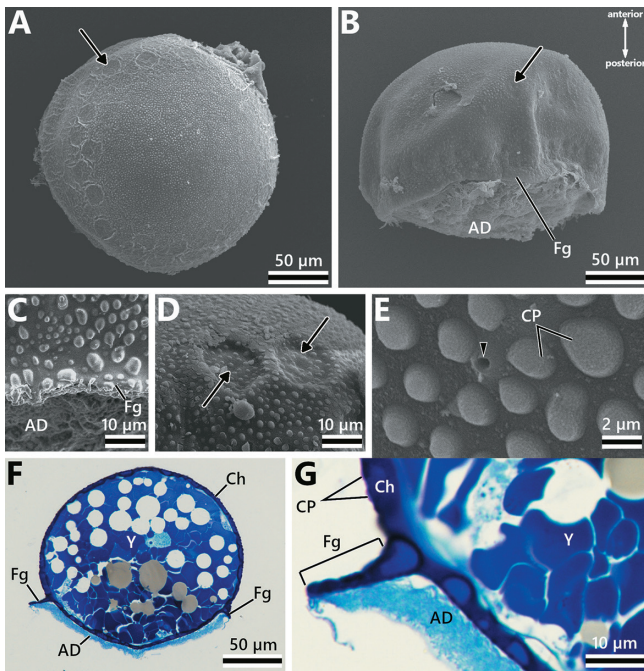


図4 *Zelandobius truncus* の卵. (A-E) 卵のSEM, 前方(A), 側方(B), フランジの拡大(C), クレーター状の窪み(D), 卵門(E). (F, G) 卵の垂直方向の切片(F) およびフランジ周辺の拡大(G). 矢印と矢尻はそれぞれクレーター状の窪みと卵門を示す. AD, 接着盤; Ch, 卵殻; CP, 円錐状の突起; Fg, フランジ; Y, 卵黄.

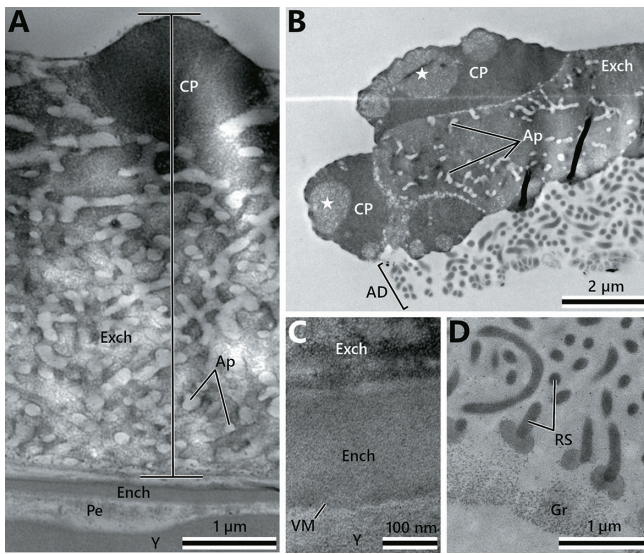


図5 *Zelandobius truncus* の卵膜. (A-D) 卵膜のTEM, 卵膜の全体(A), 卵殻の拡大およびフランジ周辺の接着盤(B), 内卵殻の拡大および卵黄膜(C), 接着盤の拡大(D). 星はフランジの突起中の低電子密度構造を示す. AD, 接着盤; Ap, 気孔; CP, 円錐状の突起; Ench, 内卵殻; Exch, 外卵殻; Gr, 接着盤内の中程度の電子密度の顆粒; Pe, 周縁細胞質; RS, 接着盤内の桿状構造; VM, 卵黄膜; Y, 卵黄.

3. *Zelandobius truncus* (Gripopterygidae)

卵は半球状の形態をなし、直径は約 220 μm で高さは約 160 μm であり (図 4A, B), 透明な卵膜から黄色い卵黄がみえるため卵はクリームがかった白色を呈する. 卵の前極側, ドーム状の側では, 卵表層は数 μm の無数の円錐状突起で被覆され (図 4A-E), 直径約 10 μm のクレーター状の凹みが約 30 個, 粗く環状に配列する (図 4A, B, D). クレーター状の凹みの環状配列の前方に, 直径約 0.5 μm の卵門が約 10 個, 粗く円状に分布し, 卵門管が卵殻を斜めに貫く. 卵後極側に粘着性の接着盤がある. 卵殻は接着盤の周縁部に沿って拡がりフランジを形成する (図 4B, C, F, G).

卵膜は2層の卵殻, すなわち外卵殻と内卵殻, そして卵黄膜で構成される (図 5A-C). 卵殻は厚い. 外卵殻は厚さ約 5 μm で中程度の電子密度の層であり, その内側は発達した気孔のネットワーク (外側の開口部は観察されなかった) が存在するため多孔質をなす (図 5A, B). 前述の突起は外卵殻の周縁部に半分ほど埋まっており (図 5A), フランジに存在する突起は電子密度が低い構造を含む (図 5B). 内卵殻は中程度の電子密度で厚さ約 150 μm の層である (図 5A, C). 卵黄膜は約 20 μm で内卵殻よりわずかに電子密度が高い層である (図 5C).

接着盤は厚さ 100 nm の無数の桿状構造を含む電子透過性の物質で構成され, その外側周縁部には中程度の電子密度の顆粒が豊富に存在する (図 5D).

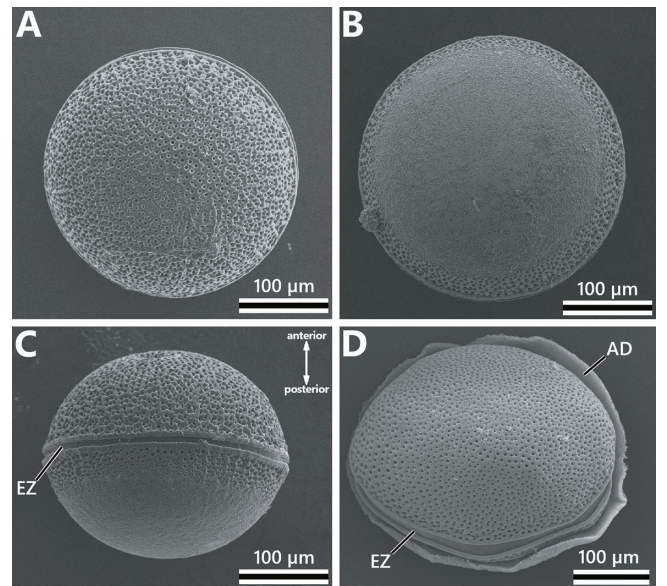


図6 *Megaleptoperla grandis* の卵. (A-C) 卵のSEM, ナノスーツ法で処理し接着盤を除去, 前方(A), 後方(B), 側方(C). (D) 通常法で処理した卵のSEM, 前方. AD, 接着盤; EZ, 赤道面. 図6Dで示す卵はSEMの通常の試料作製法を用いたものであり, 扁平な形態に収縮している.

4. *Megaleptoperla grandis* (Gripopterygidae)

卵はやや扁平で、長軸と短軸はそれぞれ約 300 μm , 250 μm であり (図 6A-C), 透明な卵膜から黄色い卵黄がみえるため卵はクリームがかった白色を呈する。粘着性の接着盤が卵後極にある (図 6D)。

卵は赤道帯により前半球と後半球に分けられる (図 6A-D)。卵殻はやや硬質である。前半球および後半球の前方 3 分の 1 の卵殻は網目状を呈し、直径 1-2 μm の孔がそれぞれの網目状構造のメッシュにある (図 6A-D) 一方で、後半球の後方 3 分の 2 の卵殻および赤道帯は平滑である (図 6B, C)。繊維状の接着盤が卵殻の後半球の 3 分の 2 にある (図 6D; 原著論文の Fig. 6D も参照のこと) (図 6A-C では接着盤は除去されている)。卵門は観察されなかった。

5. *Acroperla trivacuata* (Gripopterygidae)

卵は前後方向にやや扁平であり、長軸と短軸はそれぞれ 220 μm , 180 μm であり、透明な卵膜から黄色い卵黄が透けてみえるため卵はクリームがかった白色を呈する。卵殻はやや硬質である。卵殻の表層は顆粒状であり、約 2 μm の乳首状突起で被覆される。卵門は観察されなかった。なお、卵構造の詳細は原著論文の Fig. 7A-C を参照いただきたい。

考察

1. ミナミカワゲラ亜目の卵構造

筆者らはミナミカワゲラ亜目の 3 科に属する 5 種、すなわち Eustheniidae の *S. prasina*, Austroperlidae の *Au. cyrene*, Gripopterygidae の *Z. truncus*, *M. grandis*, *Ac. trivacuata* の卵構造を詳細に検討、記載した。以下では、ミナミカワゲラ亜目の卵構造に関する先行研究の情報も含めて議論する。

1-1. Eustheniidae

Eustheniidae の卵は、これまでに以下の 2 亜科 (Eustheniinae と Stenoperlinae) 10 種で記載されている: Eustheniinae: *Thaumtoperla robusta* (Zwick, 1973; Hynes, 1974), *Eusthenia venosa*, *Eusthenia* sp., *T. alpina*, *T. flaveola* (Hynes, 1974), *E. costalis*, *E. spectabilis* (Zwick, 1979); Stenoperlinae: *S. prasina* (Helson, 1936; McLellan, 1996; Smith and Storey, 2018), *Neuroperla schidingi* (Illies, 1960; Stark et al., 2009), *Cosmioperla australis* (Hynes, 1974, *S. australis* として記載; McLellan, 1996)。

本研究において、筆者らは Stenoperlinae の *S. prasina* の卵構造を詳細に検討した。先行研究を踏まえつつ (Helson, 1936; McLellan, 1996; Smith and Storey, 2018), 本種の卵構造の特徴は以下のように記載できる。なお、下記の特徴のうち、(2) から (5) は本研究による新発見である: (1) 卵は前後方向に扁平で褐色を呈する; (2) 卵膜は厚く、4 層からなる外卵殻、薄い内卵殻、薄い卵黄

膜からなる; (3) 15 から 20 の卵門が赤道面で上下 2 列に配列する; (4) 卵門管は卵膜を貫通し赤道面と平行に走行する; (5) 卵殻は卵門管の内側の開口部でフラップを形成する。

卵形態の特徴 (1) に関して、*Stenoperla* 以外の Stenoperlinae の種群、例えば、オーストラリアの *C. australis* (McLellan, 1996) や南アメリカの *N. schidingi* (Illies, 1960; Stark et al., 2009) も前後に扁平な卵構造を持つことが知られており、Zwick (1979) はこのような扁平な卵形態が Stenoperlinae の派生的なグラウンドプランであると示唆した。Eustheniidae の卵膜の特徴 (2) に関して、今回検討された唯一の代表群である *S. prasina* の卵膜は、厚く緻密な卵殻によって特徴づけられる可能性がある。特徴 (3) から (5) に関して、本研究は Eustheniidae の卵の卵門の詳細をはじめ記載し、卵門が卵の赤道面に配列し、卵門管が赤道面と平行に走行することを示した。同様の卵門の分布や卵門管の走行がオーストラリアのいくつかの Eustheniidae の種で報告されており (Zwick, 1973, 1979; Hynes, 1974), これらはカワゲラ目において Eustheniidae にのみ知られる特徴であることから (Diamphipnoidae に関しては以下を参照), これらの卵門に関する特徴は潜在的な Eustheniidae の固有派生形質とみなしうる。特徴 (5) に関して、*S. prasina* において、卵門管の内側開口部にフラップが形成されることを見出したが、同様の構造はこれまでにジュズヒゲムシ目 Zoraptera (Mashimo et al., 2011), シロアリモドキ目 Embioptera (Jintsu et al., 2007), カマキリ目 Mantodea (Fukui et al., 2018) などのいくつかの多新翅類において報告されている。

Eusthenioidea のもう一つの科である南アメリカに固有の Diamphipnoidae に関して、これまでに以下の 8 種の卵構造が光学顕微鏡ないし走査型電子顕微鏡を用いて簡単に記載されている: *Diamphipnopsis virescentipennis* (Šámal, 1931, *Diamphipnoa virescentipennis* として記載; Stark et al., 2009, *Da. samali* として記載; Vera Sánchez, 2017, 2018), *Da. annulata* (Illies, 1960; Stark et al., 2009; Vera Sánchez, 2017, 2018), *Da. caicaivilu*, *Da. colberti*, *Da. fresiae*, *Ds. helgae*, *Ds. oncolensis* (Vera Sánchez, 2017, 2018), *Diamphipnoa* sp. (Vera Sánchez, 2018)。これらの研究によれば、Diamphipnoidae の卵はもっぱら扁平で、いくつかの種群において卵門が赤道面に沿って分布すると報告されている (Stark et al., 2009; Vera Sánchez, 2018)。これらの特徴は Eustheniidae の特徴と類似することから、Eusthenioidea のグラウンドプランを示す可能性がある。

1-2. Austroperlidae

Austroperlidae の卵はこれまでに以下の 4 種で記載されている: *Au. cyrene* (Thomson, 1934), *Acropoperla atra*, *Austroheptura neboissi*, *Austropentura victoria* (Hynes, 1974)。これらの先行研究と筆者らの *Au.*

cyrene の卵の観察における大きな差異はみられない。Austroperlidae の卵構造の特徴は以下のとおりである。なお、下記の特徴のうち、(3) から (5) は本研究による新知見である：(1) 卵は長軸を回転軸とした回転楕円体でありクリームがかかった白色を呈する；(2) 産下された卵はゼラチン質の膜で被覆される；(3) 卵膜は極めて薄く硬質化しておらず、表面が無数の顆粒で覆われる外卵殻、薄い内卵殻、薄い卵黄膜で構成される；(4) 6 から 10 の卵門が赤道面に粗くランダムに分布する；(5) 卵門管は後方に向けて走行する。暫定的に、筆者らはこれらの特徴が Austroperlidae のグラウンドプランを示すと考える。特徴 (1) と (3) は、オナシカワゲラ科 Nemouridae の *Protonemura intricata* (Rościszewska, 1996)、ホソカワゲラ科 Leuctridae の *Leuctra autumnalis* (Poprawa et al., 2002)、シタカワゲラ科 Taeniopterygidae の *Brachyptera risi* (Michalik et al., 2015)、トワダカワゲラ科のミネトワダカワゲラ (Mtow and Machida, 2018a, 2018b) のように単純な卵をもつキタカワゲラ亜目完舌類と共通している (下記の 2. カワゲラ目の祖先における卵殻はどのようであったか? を参照)。

1-3. Gripopterygidae

Gripopterygidae は Antarctoperlinae, Dinotoperlinae, Gripopteryginae, Leptoperlinae, Zelandoperlinae の 5 亜科で構成される、ミナミカワゲラ亜目の中で最も種多様性の高いグループである (McLellan, 1977; Zwick, 2000; Fochetti and Tierno de Figueroa, 2008)。Gripopterygidae の卵構造は以下の種群で記載されている：Antarctoperlinae : *Araucanioperla brincki* (Zwick, 1973), *Ceratoperla fazi*, *Chilenoperla semitincta* (Zwick, 1980), *Zelandobius pilosus* (Death, 1990), *Z. furcillatus* (Smith and Storey, 2018) ; Dinotoperlinae : *Eunotoperla kershawi*, *Illiesoperla australis*, *Neboissoperla aplina*, *Trinotoperla irrorata*, *T. nivata*, *T. yeoi* (Hynes, 1974), *Dinotoperla brevipennis*, *Dn. serricauda* (Hynes, 1974; Yule and Jardel, 1985), *Dn. bassae*, *Dn. eucumbene*, *Dn. fontana*, *Dn. hirsuta*, *Dn. thwaitesi* (Yule and Jardel, 1985) ; Gripopteryginae : *Paragripopteryx agna* (Froehlich, 1969), *P. munoai* (Benedetto, 1970, *Jewettoperla munoai* として記載), *Gripopteryx juteah* (Froehlich, 1990), *Claudioperla tigrina* (Stark et al., 2009) ; Leptoperlinae : *Cardioperla lobata*, *Leptoperla bifida*, *L. cacuminis*, *L. kimminsi*, *Newmanoperla thoreyi*, *Riekoperla alpina*, *R. darlingtoni*, *R. reticulata*, *R. rugosa*, *R. williamsi* (Hynes, 1974) ; Zelandoperlinae : *Holcoperla angularis* (Wisely, 1953, *Apteryoperla angularis* として記載), *M. diminuta* (Michaelis, 1984), *Nesoperla fulvescens*, *Zelandoperla decorata* (Smith and Storey, 2018)。しかし、情報は不十分で断片的である。

本研究において、筆者らは Antarctoperlinae の *Z. truncus*, Zelandoperlinae の *M. grandis* と *Ac. trivacuata*

の卵構造を詳細に記載し、*Z. truncus* においては透過型電子顕微鏡を用いて卵膜の微細構造の検討も行った。*Z. truncus* の卵膜は厚く発達した気孔ネットワークをもつ外卵殻、薄い内卵殻、薄い卵黄膜で構成される。同様に発達した気孔ネットワークをもつ卵膜はオーストラリアの 7 種の *Dinotoperla* (Dinotoperlinae) の卵構造の走査型電子顕微鏡観察 (Yule and Jardel, 1985) でも報告されている。したがって、発達した気孔ネットワークをもつ卵膜は Gripopterygidae のグラウンドプランのひとつと考えられる。

本研究で検討した 3 種の Gripopterygidae のうち、卵門は *Z. truncus* の卵でのみ見出された。卵門は卵の前極で環状に配列する。*Dinotoperla* 属 4 種の卵門は、1 から複数の範囲で集合して存在する (Yule and Jardel, 1985) が、これは環状配列の変形とみなすことができる。したがって、卵門の環状配列は、暫定的な Gripopterygidae のグラウンドプランの一部とみなされる。

Death (1990) は、*Z. pilosus* (Antarctoperlinae) の粘着質の接着構造、すなわち接着盤を記載した。しかし、接着盤は他の Gripopterygidae では見出されておらず、Smith and Storey (2018) によれば、当該の構造が少なくとも同属の *Z. furcillatus* の卵巣から解剖摘出した卵には確認されなかった。しかし、本研究では *Z. truncus* (Antarctoperlinae) および *M. grandis* (Zelandoperlinae) の 2 種の卵に接着盤が存在すること、*Ac. trivacuata* (Zelandoperlinae) の卵にはそれが存在しないことを明らかにした。Gripopterygidae の卵はカワゲラ目において最も構造的に多様であり (例えば、Zwick, 1973; Hynes, 1974)、科内のすべての系統群にわたっての卵構造のさらなる情報が必要である。しかし、ミナミカワゲラ亜目および Gripopterygidae の接着盤の理解を深めるために、以下の点は興味深い：(1) ミナミカワゲラ亜目において (一部の) Gripopterygidae のみ (現時点では *Zelandobius* と *Megaleptoperla*) 接着盤を有する；(2) *Zelandobius* は周囲を囲むフランジをともなう発達した接着盤を持ち、形態 (Zwick, 2000) および分子系統解析 (Terry, 2004; McCulloch et al., 2016) から、*Zelandobius* を含む Antarctoperlinae が Gripopterygidae の最基部分岐群であることが示唆されている；(3) *Megaleptoperla* と *Acroperla* の 2 属を含む Zelandoperlinae において、McLellan (1977) による分岐学的解析などの系統学的研究は、接着盤をもつ *Megaleptoperla* が接着盤をもたない *Acroperla* より派生的でないことを示唆している。これらすべてを踏まえると、次のように推測できかもしれない：(1) 接着盤は派生的グラウンドプランとして Gripopterygidae の基幹で獲得された；(2) この構造は *Zelandobius* や *Megaleptoperla* などのいくつかの子孫に継承された；(3) しかしそれは散発的に退化し、*Z. furcillatus* や *Ac. trivacuata* などの他の子孫では最終的に消失した。

キタカワゲラ亜目同舌類の卵は錨板という接着構造をもつ (Isobe, 1997; Zwick, 2000; Mtow and Machida,

2018aを参照)。キタカワゲラ亜目の錨板とミナミカワゲラ亜目の接着盤は、水中の構造に卵を固定し接着させるという機能的側面だけでなく、双方ともに卵後極に配置されているため、構造的側面でも互いに類似する。しかし、これらの類似性があるものの、本研究は、ミナミカワゲラ亜目の接着盤は、微細構造の観点においてキタカワゲラ亜目の錨板と大きく異なることを明らかにした。ミナミカワゲラ亜目の接着盤は無数の桿状構造をもつが、このような構造はカワゲラ科の *Dinocras cephalotes*, *Perla marginata* (Rościszewska, 1991), *Perla* sp. (Rościszewska, 1987), アミメカワゲラ科 Perlodidae の *Isoperla* 属 5 種 (Michalik et al., 2017) などのキタカワゲラ亜目の錨板には存在しない。一方、キタカワゲラ亜目の錨板はその表面に無数のキノコ状構造が存在する (Rościszewska, 1987, 1991; Michalik et al., 2017) が、このような構造はミナミカワゲラ亜目の接着盤には存在しない。したがって、接着盤と錨板はそれぞれミナミカワゲラ亜目の Gripopterygidae (の一部) とキタカワゲラ亜目の同舌類 (の一部) でのみ知られることを踏まえると、ミナミカワゲラ亜目の接着盤とキタカワゲラ亜目の錨板の間の相同性に関しては慎重な再検討が必要である。

2. カワゲラ目の祖先において卵殻はどのようなであったか？

Zwick (1973, 2000) は (1) ミナミカワゲラ亜目とキタカワゲラ亜目の同舌類に広くみられる硬質化した卵殻がカワゲラ目のグラウンドプランであり、(2) 薄い卵殻がキタカワゲラ亜目完舌類の派生的特徴であると考えた。Mtow and Machida (2018a) はキタカワゲラ亜目 9 科 9 種の卵構造を詳細に研究し、Zwick のキタカワゲラ亜目の卵構造に関する見解を検証し、その見解を支持した。しかし、Zwick および筆者らがカワゲラ目の卵構造を議論した当時には、ミナミカワゲラ亜目の卵構造に関する知見は不十分で、その微細構造に関する知見は皆無であった。

本研究は、ミナミカワゲラ亜目 3 科 5 種の卵構造を詳細に検討することで、ミナミカワゲラ亜目の卵構造の理解を深化させた。本研究のもっとも特筆すべき点は、Austroperlidae の *Au. cyrene* がきわめて薄くもろい卵殻をもつことから、ミナミカワゲラ亜目の卵殻が常に硬質化し厚いわけではないことを明らかにした点である。もう一つの注目点は、Eustheniidae の *S. prasina* と Gripopterygidae の *Z. truncus* の硬質化した厚い卵殻に関して、前者の卵殻が緻密な構造で、対照的に、後者の卵殻は発達した気孔のネットワークが存在し多孔質であるという、微細構造学的な顕著な差異を示すという点である。卵殻構造におけるこのような差異は、Eustheniidae と Gripopterygidae の厚い卵殻がそれぞれの科の中で独立に獲得された可能性が高いことを示す。同時に、このことは「硬質化した厚い卵殻」がミナミカワゲラ亜目のグラウンドプランとしてみなせない可能性も示す。ここで重要なのは、Austroperlidae が薄く硬質化していない卵殻をもつ

こと、およびキタカワゲラ亜目完舌類が同様に薄く硬質化していない卵殻をもつことである (Rościszewska, 1996; Poprawa et al., 2002; Michalik et al., 2015; Mtow and Machida, 2018b)。

カワゲラ目、特にミナミカワゲラ亜目のより広範な系統群を網羅した、さらなる詳細な卵殻の研究が必要であるが、以下の進化的シナリオは妥当であろう：(1) 硬質化した厚い卵殻ではなく、薄く硬質化していない卵殻がカワゲラ目のグラウンドプランである；(2) このグラウンドプランはミナミカワゲラ亜目の Austroperlidae とキタカワゲラ亜目完舌類に継承された；(3) 一方で、厚く硬質化した卵殻は、ミナミカワゲラ亜目の Eustheniidae と Gripopterygidae、キタカワゲラ亜目の同舌類で独立に獲得された。Gripopterygidae (ミナミカワゲラ亜目) と同舌類 (キタカワゲラ亜目) の卵は同様の粘着質の接着構造を持つ。1-3. Gripopterygidae で議論したように、これらの構造は Gripopterygidae と同舌類でそれぞれ平行に獲得されたと考えられるのと同様に、硬質化した厚い卵殻も獲得されたと考えられる。

本研究により、1-1. Eustheniidae, 1-2. Austroperlidae, 1-3. Gripopterygidae で述べたように、ミナミカワゲラ亜目の代表的な系統群において、卵門が赤道面に沿っているという配置を含めて、環状に分布すると一般化できることが明らかとなった。キタカワゲラ亜目 (Mtow and Machida, 2018a) においても卵門が環状に配列すると一般化されていることを考慮すると、卵門の環状配列はカワゲラ目の潜在的なグラウンドプランとみなされる。卵門の環状配列は他の多新翅類 (例えば、Uchifune and Machida, 2005), 旧翅類 Palaeoptera (例えば、Ando, 1962), 無尾角類 Acercaria (例えば、Cobben, 1968) において一般的であり、カワゲラ目における環状配列の共有は共通祖先形質である。カワゲラ目の卵構造のグラウンドプランと変形を再構築するため、今後、ミナミカワゲラ亜目を含むすべての主要な系統群を網羅した、さらなる詳細な比較研究が必要であると考えられる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、終始ご指導いただいた町田龍一郎博士 (筑波大学山岳科学センター菅平実験所)、ミナミカワゲラ亜目の採集や調査許可に関してご協力いただいた Brian Smith 氏 (ニュージーランド国立大気水圏研究所) に心より感謝申し上げます。

References

- Ando, H. (1962) The Comparative Embryology of Odonata with Special Reference to a Relic Dragonfly *Epiophlebia superstes* Selys. The Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo.
- Benedetto, L. A. (1970) Notes about the biology

- of *Jewettoperla munoai* Benedetto (Plecoptera Gripopterygidae). *Limnologica* **2**: 383-389.
- Beutel, R. G., F. Friedrich, S.-Q. Ge and X.-K. Yang (2014) *Insect Morphology and Phylogeny*. Walter de Gruyter, Berlin.
- Blumer, M. J. F., P. Gahleitner, T. Narzt, C. Handl and B. Ruthensteiner (2002) Ribbons of semithin sections: an advanced method with a new type of diamond knife. *J. Neurosci. Meth.* **120**: 11-16.
- Cobben, R. H. (1968) *Evolutionary Trends in Heteroptera Part I Eggs, Architecture of the Shell, Gross Embryology and Eclosion*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- Death, R. G. (1990) A new species of *Zelandobius* (Plecoptera: Gripopterygidae: Antartoperlinae) from New Zealand. *N.Z. Nat. Sci.* **17**: 23-28.
- Ding, S., W. Li, Y. Wang, S. L. Cameron, D. Murányi, and D. Yang (2019) The phylogeny and evolutionary timescale of stoneflies (Insecta: Plecoptera) inferred from mitochondrial genomes. *Mol. Phylogenet. Evol.* **135**: 123-135.
- Fochetti, R. and J. M. Tierno de Figueroa (2008) Global diversity of stoneflies (Plecoptera; Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* **595**: 365-377.
- Froehlich, C. G. (1969) *Studies on Brazilian Plecoptera 1. Some Gripopterygidae from the biological station at Paranapiacaba, State of Sao Paulo*. *Beitr. Neotrop. Fauna* **6**: 17-39.
- Froehlich, C. G. (1990) *Brazilian Plecoptera 6. Gripopteryx from Campos do Jordão, State of São Paulo (Gripopterygidae)*. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* **25**: 235-247.
- Fujita, M. and R. Machida (2017) Embryonic development of *Eucorydia yasumatsui* Asahina, with special reference to external morphology (Insecta: Blattodea, Corydiidae). *J. Morphol.* **278**: 1469-1489.
- Fujita, M., A. Blanke, S. Nomura and R. Machida (2016) Simple, artifact-free SEM observations of insect embryos: application of the nano-suit method to insect embryology. *Proc. Arthropod. Embryol. Soc. Jpn.* **50**: 7-10.
- Fukui, M., M. Fujita, S. Tomizuka, Y. Mashimo, S. Shimizu, C.-Y. Lee, Y. Murakami and R. Machida (2018) Egg structure and outline of embryonic development of the basal mantodean, *Metallyticus splendidus* Westwood, 1835 (Insecta, Mantodea, Metallyticidae). *Arthropod Struct. Dev.* **47**: 64-73.
- Helson, G. A. H. (1936) The hatching and early instars of *Stenoperla prasina* Newman. *Trans. Proc. Roy. Soc. N.Z.* **65**: 11-16.
- Hynes, H. B. N. (1974) Observations on the adults and eggs of Australian Plecoptera. *Aust. J. Zool., Suppl. Ser.* **29**: 37-52.
- Illies, J. (1960) Archiperlaria, eine neue Unterordnung der Plecopteren (Revision der Familien Eustheniidae und Diamphipnoidae) (Plecoptera). *Beitr. Entomol.* **10**: 661-697.
- Inaga, S., T. Katsumoto, K. Tanaka, T. Kameie, H. Nakane and T. Naguro (2007) Platinum blue as an alternative to uranyl acetate for staining in transmission electron microscopy. *Arch. Histol. Cytol.* **70**: 43-49.
- Ishiwata, K., G. Sasaki, J. Ogawa, T. Miyata and Z.-H. Su (2011) Phylogenetic relationships among insect orders based on three nuclear protein-coding gene sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.* **58**: 169-180.
- Isobe, Y. (1997) Anchors of stonefly eggs. In Landolt, P. and M. Sartori (Eds), *Ephemeroptera and Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics*. Mauron + Tinguely and Lachat SA., Fribourg, pp. 349-361.
- Jintsu, Y., T. Uchifune and R. Machida (2007) Egg membranes of a web-spinner, *Aposthonia japonica* (Okajima) (Insecta: Embioptera). *Proc. Arthropod. Embryol. Soc. Jpn.* **42**: 1-5.
- Khoo, S. G. (1968a) Experimental studies on diapause in stoneflies. II. Eggs of *Diura bicaudata* (L.). *Proc. R. Entomol. Soc. Lond. (A)* **43**: 49-56.
- Khoo, S. G. (1968b) Experimental studies on diapause in stoneflies III. Eggs of *Brachyptera risi* (Morton). *Proc. R. Entomol. Soc. Lond. (A)* **43**: 141-146.
- Kishimoto, T. (1987) Embryonic development of the ventral nervous system of the stonefly, *Kamimuria tibialis* (Pictet) (Plecoptera, Perlidae). In: Ando, H. and CZ. Jura (Eds), *Recent Advances in Insect Embryology in Japan and Poland*. Isebu, Tsukuba, pp. 215-223.
- Kishimoto, T. (1997) Comparison of embryonic development among some arctoperlarian species (Plecoptera). In: Landolt, P. and M. Sartori (Eds), *Ephemeroptera and Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics*. Mauron + Tinguely and Lachat SA., Fribourg, pp. 21-25.
- Kishimoto, T. and H. Ando (1985) External features of the developing embryo of the stonefly, *Kamimuria tibialis* (Pictet) (Plecoptera, Perlidae). *J. Morphol.* **183**: 311-326.
- Kishimoto, T. and H. Ando (1986) Alimentary canal formation in the stonefly, *Kamimuria tibialis* (Pictet) (Plecoptera: Perlidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* **15**: 97-105.
- Kristensen, N. P. (1975) The phylogeny of hexapod "orders". A critical review of recent accounts. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* **13**: 1-44.
- Machida, R. (2006) Evidence from embryology for reconstructing the relationships of hexapod basal clades.

- Arthropod Syst. Phylog. **64**: 95-104.
- Mashimo, Y., R. Machida, R. Dallai, M. Gottardo, D. Mercati and R. G. Beutel (2011) Egg structure of *Zorotypus caudelli* Karny (Insecta, Zoraptera, Zorotypidae). *Tissue Cell* **43**: 230-237.
- Mashimo, Y., R.G. Beutel, R. Dallai, C.-Y. Lee and R. Machida (2014) Embryonic development of Zoraptera with special reference to external morphology, and its phylogenetic implications (Insecta). *J. Morphol.* **275**: 295-312.
- McCulloch, G. A., G. P. Wallis and J. M. Waters (2016) A time-calibrated phylogeny of southern hemisphere stoneflies: testing for Gondwanan origins. *Mol. Phylogenet. Evol.* **96**: 150-160.
- McLellan, I. D. (1977) New alpine and southern Plecoptera from New Zealand, and a new classification of the Gripopterygidae. *N.Z. J. Zool.* **4**: 119-147.
- McLellan, I. D. (1996) A revision of *Stenoperla* (Plecoptera: Eustheniidae) and removal of Australian species to *Cosmioperla* new genus. *N.Z. J. Zool.* **23**: 165-182.
- Michaelis, F. B. (1984) The life history of *Megaleptoperla diminuta* (Plecoptera: Gripopterygidae) in Waikoropupu Springs, New Zealand. *Ann. Limnol.* **20**: 69-74.
- Michalik, A., E. Rościszewska and M. Miliša (2015) The structure and ultrastructure of the egg capsule of *Brachyptera risi* (Plecoptera, Nemouroidea, Taeniopterygidae) with some remarks concerning choriogenesis. *Microsc. Res. Tech.* **78**: 180-186.
- Michalik, A., M. Miliša, K. Michalik, and E. Rościszewska (2017) The structure and ultrastructure of the egg capsules of stoneflies of the genus *Isoperla* (Insecta, Plecoptera, Perlodidae). *Microsc. Res. Tech.* **80**: 1234-1246.
- Miller, A. (1939) The egg and early development of the stonefly, *Pteronarcys proteus* Newman (Plecoptera). *J. Morphol.* **64**: 555-609.
- Miller, A. (1940) Embryonic membranes, yolk cells, and morphogenesis of the stonefly *Pteronarcys proteus* Newman (Plecoptera: Pteronarcidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **303**: 437-477.
- Misof, B., S. Liu, K. Meusemann, R. S. Peters, A. Donath, C. Mayer, P. B. Frandsen, J. Ware, T. Flouri, R. G. Beutel, O. Niehuis, M. Petersen, F. Izquierdo-Carrasco, T. Wappler, J. Rust, A. J. Aberer, U. Aspöck, H. Aspöck, D. Bartel, A. Blanke, S. Berger, A. Böhm, T.R. Buckley, B. Calcott, J. Chen, F. Friedrich, M. Fukui, M. Fujita, C. Greve, P. Grobe, S. Gu, Y. Huang, L. S. Jermiin, A. Y. Kawahara, L. Krogmann, M. Kubiak, R. Lanfear, H. Letsch, Y. Li, Z. Li, J. Li, H. Lu, R. Machida, Y. Mashimo, P. Kapli, D. D. McKenna, G. Meng, Y. Nakagaki, J. L. Navarrete-Heredia, M. Ott, Y. Ou, G. Pass, L. Podsiadlowski, H. Pohl, B. M. von Reumont, K. Schütte, K. Sekiya, S. Shimizu, A. Slipinski, A. Stamatakis, W. Song, X. Su, N. U. Szucsich, M. Tan, X. Tan, M. Tang, J. Tang, G. Timelthaler, S. Tomizuka, M. Trautwein, X. Tong, T. Uchifune, M. G. Walz, B. M. Wiegmann, J. Wilbrandt, B. Wipfler, T. K. F. Wong, Q. Wu, G. Wu, Y. Xie, S. Yang, Q. Yang, D. K. Yeates, K. Yoshizawa, Q. Zhang, R. Zhang, W. Zhang, Y. Zhang, J. Zhao, C. Zhou, L. Zhou, T. Ziesmann, S. Zou, Y. Li, X. Xu, Y. Zhang, H. Yang, J. Wang, J. Wang, K. M. Kjer and X. Zhou (2014) Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science* **346**: 763-767.
- Mtow, S. and R. Machida (2018a) Egg structure and embryonic development of arctoperlarian stoneflies: a comparative embryological study (Plecoptera). *Arthropod Syst. Phylog.* **76**: 65-86.
- Mtow, S. and R. Machida (2018b) Development and ultrastructure of the thickened serosa and serosal cuticle formed beneath the embryo in the stonefly *Scopura montana* Maruyama, 1987 (Insecta, Plecoptera, Scopuridae). *Arthropod Struct. Dev.* **47**: 643-654.
- Mtow, S. and R. Machida (2019) Note on the thickened serosa and serosal cuticle formed beneath the embryo in *Scopura montana* Maruyama, 1987 (Insecta, Plecoptera, Scopuridae). *Proc. Arthropod. Embryol. Soc. Jpn.* **52**: 11-14.
- Mtow, S. and R. Machida (2021) Thickened serosa and serosal cuticle formed beneath the embryo in eight arctoperlarian stoneflies (Insecta, Plecoptera). *Proc. Arthropod. Embryol. Soc. Jpn.* **53**: 9-13.
- 野村周平 (2018) 昆虫学の最近の進歩と今後の展開 体系学・形態学. *昆蟲 (ニューシリーズ)*, **21**: 14-26.
- Poprawa, I., A. Baran and E. Rościszewska (2002) Structure of ovaries and formation of egg envelopes in the stonefly, *Leuctra autumnalis* Aubert, 1948 (Plecoptera: Leuctridae). *Ultrastructural studies. Folia Biol. (Kraków)* **50**: 29-38.
- Rościszewska, E. (1987) Ultrastructure of the attachment disc in *Perla* sp. (Plecoptera) egg. In: Ando, H. and Cz. Jura (Eds), *Recent Advances in Insect Embryology in Japan and Poland*. Isebu, Tsukuba, pp. 281-286.
- Rościszewska, E. (1991) Ultrastructural and histochemical studies of the egg capsules of *Perla marginata* (Panzer, 1799) and *Dinocras cephalotes* (Curtis, 1827) (Plecoptera : Perlidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* **20**: 189-203.
- Rościszewska, E. (1996) Egg capsule structure of the stonefly *Protonemura intricata* (Ris 1902) (Plecoptera: Nemouridae). *Acta Biol. Cracov. Ser. Zool.* **38**: 41-48.
- Šámal, J. (1931) Ein Versuch der Revision der südamerikanischen Gattung *Diamphipnoa* Gerstaecker. (Perl.). *Stett. Entomol. Z.* **92**: 266-274.

- Smith, B.J. and R. G. Storey (2018) Egg characteristics and oviposition behaviour of the aquatic insect orders Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in New Zealand: a review. *N.Z. J. Zool.* **45**: 287-325.
- Song, N., H. Li, F. Song and W. Cai (2016) Molecular phylogeny of Polyneoptera (Insecta) inferred from expanded mitogenomic data. *Sci. Rep.* **6**: 36175.
- Stark, B.P., C. Froelich and M. del C. Zúñiga (2009) South American Stoneflies (Plecoptera). In: Adis, J., J. R. Arias, S. Golovatch, K. M. Wantzen, and G. Rueda-Delgado (Eds), *Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA)*, vol. 5. Pensoft, Sofia-Moscow, pp. 1-154.
- Takaku, Y., H. Suzuki, I. Ohta, D. Ishii, Y. Muranaka, M. Shimomura and T. Hariyama (2013) A thin polymer membrane, nano-suit, enhancing survival across the continuum between air and high vacuum. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **110**: 7631-7635.
- Terry, M. D. (2004) *Phylogeny of the Polyneopterous Insects With Emphasis on Plecoptera: Molecular and Morphological Evidence* (Doctoral thesis). Department of Integrative Biology, Brigham Young University, Provo.
- Thomson, M. S. (1934) *An Account of the Systematics Anatomy and Bionomics of Austroperla cyrene* Newman (Master thesis). College of Science, University of Canterbury, Christchurch.
- Tomizuka, S. and R. Machida (2015) Embryonic development of a collembolan, *Tomocerus cuspidatus* Börner, 1909: with special reference to the development and developmental potential of serosa (Hexapoda: Collembola, Tomoceridae). *Arthropod Struct. Dev.* **44**: 157-172.
- Uchifune, T. and R. Machida (2005) Embryonic development of *Galloisiana yuasai* Asahina, with special reference to external morphology (Insecta: Grylloblattodea). *J. Morphol.* **266**: 182-207.
- Venable, J.H. and R. Coggeshall (1965) A simplified lead citrate stain for use in electron microscopy. *J. Cell Biol.* **25**: 407-408.
- Vera Sánchez, A. (2017) Morphology study of the female genitalia and eggs of Diamphipnoidae (Plecoptera), with female description of *Diamphipnoa colberti* and *Diamphipnoa caicaivilu* sp. nov. *Rev. Chil. Entomol.* **43**: 25-40.
- Vera Sánchez, A. (2018) Two new species of Diamphipnoidae (Insecta: Plecoptera) from Chile, with description of adults and eggs. *Zootaxa* **4527**: 49-60.
- Wheeler, W. M. (1893) A contribution to insect embryology. *J. Morphol.* **8**: 1-160.
- Wipfler, B., R. Klug, S.-Q. Ge, M. Bai, J. Göbbels, X.-K. Yang and T. Hörnschemeyer (2015) The thorax of Mantophasmatodea, the morphology of flightlessness, and the evolution of the neopteran insects. *Cladistics* **31**: 50-70.
- Wipfler, B., H. Letsch, P. B. Frandsen, P. Kapli, C. Mayer, D. Bartel, T. R. Buckley, A. Donath, J. S. Edgerly-Rooks, M. Fujita, S. Liu, R. Machida, Y. Mashimo, B. Misof, O. Niehuis, R. S. Peters, M. Petersen, L. Podsiadlowski, K. Schütte, S. Shimizu, T. Uchifune, J. Wilbrandt, E. Yan, X. Zhou and S. Simon (2019) Evolutionary history of Polyneoptera and its implications for our understanding of early winged insects. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **116**: 3024-3029.
- Wisely, B. (1953) Two wingless alpine stoneflies (Order Plecoptera) from southern New Zealand. *Rec. Canterbury Mus.* **6**: 219-231.
- Yoshizawa, K. (2011) Monophyletic Polyneoptera recovered by wing base structure. *Syst. Entomol.* **36**: 377-394.
- Yule, C. and J.-P. Jardel (1985) Observations on the eggs of species of *Dinotoperla* (Plecoptera: Gripopterygidae). *Aquat. Insects* **7**: 77-85.
- Zwick, P. (1973) *Insecta: Plecoptera. Phylogenetisches System und Katalog. Das Tierreich* **94**: i-xxxii, 1-465. De Gruyter, Berlin, New York.
- Zwick, P. (1979) Revision of the stonefly family Eustheniidae (Plecoptera), with emphasis on the fauna of the Australian region. *Aquat. Insects* **1**: 17-50.
- Zwick, P. (1980) *Plecoptera (Sternfliegen). Handbuch der Zoologie.* De Gruyter, Berlin, New York.
- Zwick, P. (2000) Phylogenetic system and zoogeography of the Plecoptera. *Ann. Rev. Entomol.* **45**: 709-746.
- Zwick, P. (2009) The Plecoptera – who are they? The problematic placement of stoneflies in the phylogenetic system of insects. *Aquat. Insects* **31**: 181-194.

業績紹介 (2022)

生物資源学科

【原著論文】

- Chen, S., Hirano, T., Hayashi, Y. and Tamura, H. (2023) Biological soil disinfection compatible with renewable energy production for sustainable agriculture. *J Pestic. Sci.* 48: 1-7.
- Nagai, K., Kurokawa, Y., Mori, Y., Minami, A., Reuscher, S., Wu, J., Matsumoto, T. and Ashikari, M. (2022) *SNORKEL* Genes Relating to Flood Tolerance Were Pseudogenized in Normal Cultivated Rice. *Plants* 11(3):376.
- Watanabe, M., S. Otagaki, S. Matsumoto and K. Shiratake (2022) Genome-wide analysis of multidrug and toxic compound extrusion transporters in grape. *Front. Plant Sci.* 13: 892638.
- Zheng Q., R. Takei-Hoshi, H. Okumura, M. Ito, K. Kawaguchi, S. Otagaki, S. Matsumoto and K. Shiratake (2022) Genome editing of *SIMYB3R3*, a cell cycle transcription factor gene of tomato, induces elongated fruit shape. *J. Exp. Bot.* 73: 7312-7325.
- Kawaguchi K., M. Nakaune, JF. Ma, M. Kojima, Y. Takebayashi, H. Sakakibara, S. Otagaki, S. Matsumoto and K. Shiratake (2022) Plant hormone and inorganic ion concentrations in the xylem exudate of grafted plants depend on the scion-rootstock combination. *Plants*. 11. 2594.
- Komatsuzaki A., A. Hoshino, S. Otagaki, S. Matsumoto and K. Shiratake (2022) Genome-wide analysis of R2R3-MYB transcription factors in Japanese morning glory. *PLOS ONE*. 17: e0271012.
- Kawamura K., Y. Ueda, S. Matsumoto, T. Horibe, S. Otagaki, L. Wang, G. Wang, LHS. Oyant, F. Foucher, M. Linde and T. Debener (2022) The identification of the *Rosa* S-locus provides new insights into the breeding and wild origins of continuous-flowering roses. *Hortic. Res.* 9: uhac155.
- Nomura, R., S., Tsuzuki, T., Kojima, M., Nagasawa, M., Y., Sato, M., Uefune, Y., Baba, T., Hayashi, H., Nakano, M., Kato, and M., Shimizu. (2022) Administration of *Aspergillus oryzae* suppresses DSS-induced colitis. *Food Chem: Mol. Sci.* 4, 100063.
- Kawai, T., R., Akahoshi, I., J., Shelley, T., Kojima, M., Sato, H., Tsuji, and Y., Inukai. (2022) Auxin Distribution in Lateral Root Primordium Development Affects the Size and Lateral Root Diameter of Rice. *Front. Plant Sci.* 13, 834378.
- Damjanović, J., N., Odake, J., Fan, M., Camagna, B., Jia, T., Kojima, N., Nemoto, K., Hitomi, and H., Nakano. (2022) Comprehensive analysis of transglutaminase substrate preference by cDNA display coupled with next-generation sequencing and bioinformatics. *Sci. Rep.* 12, 13578.
- Tabata, R., Kamiya, T., Imoto, S., Ikuta, K., Tabata, M., Hirayama, T., Tsukagoshi, H., Tanoi, K., Suzuki, T., Hachiya, T. and Sakakibara, H. (2022). Systemic Regulation of Iron Acquisition by Arabidopsis in Environments with Heterogeneous Iron Distributions. *Plant Cell Physiol.*, **63**, 842-854.
- Suzuki, H., Morishima, T., Handa, A., Tsukagoshi, H., Kato, M. and Shimizu, M. (2022). Biochemical Characterization of a Pectate Lyase AnPL9 from *Aspergillus nidulans*. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **194**, 5627-5643.
- 藤原 和樹 (2022) サツマイモ基腐病菌を高精度かつ高感度に検出・同定できるリアルタイム PCR 法. いも類振興情報, 151:2-6
- 井上莉央南・荒川征夫・汪 光熙・日野輝明 (2023) ニホンリスの体毛を用いたマイクロサテライト DNA 分析手法の改良と野生個体群への適用. 名城大総研紀要, 27.
- Fukuda K, Uefune M, Fukaki H, Yamauchi Y, Hara-Nishimura I, Ozawa R, Matsui K, Sugimoto K, Okada K, Imai R, Takahashi K, Enami S, Wurst R and Takabayashi J (2022) Aerial (+)-borneol modulates root morphology, auxin signalling and meristematic activity in Arabidopsis roots. *Biology letters*, 18: 20210629.
- Koeduka T, Takaishi M, Suzuki M, Nishihama R, Kohchi T, Uefune M and Matsui K (2022) CRISPR/Cas9-mediated disruption of *ALLENE OXIDE SYNTHASE* results in defective 12-oxo-phytodienoic acid accumulation and reduced defense against spider mite (*Tetranychus urticae*) in liverwort (*Marchantia polymorpha*). *Plant Biotechnology*, 39: 191-194.

【学会発表】

- 安藤稜・平野達也・黒川裕介 (2022) ケナフとジュートにおける地上部/地下部生長に及ぼす異なる増水環境の影響. 日本作物学会 東海支部第 152 回講演会、令和 4 年 10 月 11 日.
- 黒川裕介・渡邊菜月・渡辺聡史・平野達也 (2022) 普通ソバと野生ダツタンソバの湛水耐性評価から見てきたもの. 日本作物学会 東海支部第 152 回講演会、令和 4 年 10 月 11 日.
- 伊藤蓮・黒川裕介・平野達也 (2023) イネ葉鞘における出穂後のデンプン分解を制御する遺伝子の単離に向けた表現型解析と遺伝子連鎖解析. 日本作物学会第 255 回講演会、令和 5 年 3 月 29 日.
- 櫛田聖也・平野達也・黒川裕介 (2023) *dripping wet leaf (drp)* 変異体における冠水によるイネ葉表面の形態変化が撥水性とガスフィルムの維持に及ぼす影響. 日本作物学会第 255 回講演会、令和 5 年 3 月 30 日.
- 安藤稜・平野達也・黒川裕介 (2023) 繊維作物のケナフとジュートに湛水耐性を付与する耐湿性形質の探索. 日本作物学会第 255 回講演会、令和 5 年 3 月 30 日.

- 大竹虎之介・中尾義則・太田垣駿吾・津呂正人. フラボン合成酵素 (*FNSII*) 遺伝子の発現抑制がキンギョソウの花弁の色調に及ぼす影響. 園芸学会平成5年度春季大会 (2023年3月16日, 龍谷大学 (オンライン))
- Munaweera T.I.K, DAMNJANOVIC Jasmina, Moeri NEZU, Maurizio CAMAGNA, Takaaki KOJIMA, Kiyotaka HITOMI, Hideo NAKANO, Naoto NEMOTO (2022) Extensive analysis of Transglutaminase 1 substrate preferences using cDNA display, 日本農芸化学会 中部支部 第193回例会 10月1日 名古屋
- Jia BEIXI・児島孝明・加藤晃代・中野秀雄 (2022) リボソームディスプレイとNGSによる細胞系で合成したFabのエピトープマッピング. 日本農芸化学会 中部支部 第193回例会 10月1日 名古屋
- 奥田理央・伊藤玲奈・児島孝明・加藤晃代・中野秀雄 (2022) 大腸菌再構成無細胞タンパク質合成系を用いたリボソームディスプレイによる抗体親和性成熟技術に関する研究. 日本農芸化学会 中部支部 第193回例会 10月1日 名古屋
- 西河佑馬・古川裕貴・児島孝明・加藤晃代・中野秀雄 (2022) ペプチドタグによるタンパク質生産増大機構に関する研究. 日本農芸化学会 中部支部 第193回例会 10月1日 名古屋
- Munaweera T.I.K, DAMNJANOVIC Jasmina, Moeri NEZU, Maurizio CAMAGNA, Takaaki KOJIMA, Kiyotaka HITOMI, Hideo NAKANO, Naoto NEMOTO. (2022) Extensive analysis of Transglutaminase 1 substrate preferences using cDNA display. 第74回日本生物工学会大会, 10月18日 オンライン開催
- Jia Beixi・児島孝明・加藤晃代・中野秀雄 (2022) PURE リボソームディスプレイを用いたエピトープマッピング技術の開発. 第74回日本生物工学会大会, 10月20日, オンライン開催
- 中野秀雄・木原もなみ・加藤晃代・児島孝明・上田宏・長谷哲成・石井誠 (2022) 無細胞タンパク質合成系を用いたCOVID-19感染患者由来単一B細胞からの抗SARS-CoV-2 Spike ヒトモノクローナル抗体取得と性質決定. 化学工学会秋季大会 バイオ部会シンポジウム「ポストコロナに向けた生物化学工学」、9月16日, 長野
- 廣瀬匠悟・森上敦・津呂正人・塚越啓央 (2022) ハーブ接ぎ木によるかおり改変への挑戦. 日本植物学会第86回大会 9月17日 口頭発表、京都
- 間瀬皓介・海士部誉士・鈴木伸崇・神谷蔭・竹内大河・鈴木孝征・中道範人・森上敦・塚越啓央 (2022) 植物の根の伸長を支える新規転写ネットワーク. 日本植物学会第86回大会 9月19日 口頭発表、京都
- 植村優太・木村早央里・太田智通・堀田一弘・鈴木孝征・森上敦・塚越啓央 (2022) VLCFA 応答性転写因子による根の成長制御メカニズム. 日本植物学会第86回大会 9月19日 口頭発表、京都
- 太田智通 (2022) 鉄によって制御される新たな植物の根の発達制御機構の解析. 日本植物学会第86回大会 9月19日 口頭発表、京都
- 中村花穂・丹羽智子・梶田真由・横田鴻二郎・高田忍・塚越啓央・中川強・石黒澄衛 (2023) JA 生合成遺伝子 SIOPR3 のトマトの胚形成における機能. 第64回日本植物生理学会年会 3月13日、ポスター、オンライン
- 中川強・Mostafa Aboulela・山田裕也・石黒澄衛・峰谷卓士・塚越啓央 (2023) GAL/UAS コンストラクトを容易に構築できるベクターシステム (Boost Gateway ベクターシステム) の開発と各種プロモーターでの発現増強. 第64回日本植物生理学会年会 3月13日、ポスター、オンライン
- 藤原 和樹 (2023) タマネギべと病菌等の病原体の検出・診断技術の開発 (学術奨励賞受賞講演). 日本植物病理学会 3月27日, 厚木 (オンライン)
- 山岸健三・戸田尚希・神谷京香・太田康梓郎 (2022) 昆虫の多様性は20年前と比較して激減したか? 日本昆虫学会第82回大会 (松本市) (9月3日)
- 松原芳乃・小澤理香・松井健二・高林純示・山岸健三・上船雅義 (2023) 植食者によるゼニゴケの分布拡大: チョウ目 幼虫の餌適合性と餌選好性. 第67回日本応用動物昆虫学会大会 (枚方市) (3月14日)
- 千野陽平・山岸健三・上船雅義 (2023) カリヤサムライコマユバチの光応答に対する 光波長, 光強度および空腹度の影響. 第67回日本応用動物昆虫学会大会 (枚方市) (3月14日)
- 松澤弘賢・山岸健三・上船雅義 (2023) プロヒドロジャスモン処理によるハクサイの 害虫忌避と天敵誘引の向上. 第67回日本応用動物昆虫学会大会 (枚方市) (3月15日)
- 井上 貴翔・平見慎太郎 (2022.7.16) 棚田オーナー制度に対する参加者の認識と評価 - 岐阜県恵那市坂折棚田を事例として -. 中部農業経済学会 91 回研究発表会, 名古屋
- 井上 貴翔・平見慎太郎 (2022.12.3) 共起ネットワーク分析を用いた棚田オーナー制度参加者の潜在的な認識の特定: 岐阜県恵那市坂折棚田を事例に. 2022 年 棚田学会発表会, 東京

【総説】

- Uesaka, K., H., Oka, R., Kato, K., Kanie, T., Kojima, H., Tsugawa, Y., Toda, and T. Horinouchi. (2022) Bioinformatics in bioscience and bioengineering: Recent advances, applications, and perspectives. *J. Biosci. Bioeng.* 134, 363-373.
- 児島孝明 (2023) 大規模 DNA 配列解析の実践的ノウハウ. 名城大農学部学術報告 59, 47 - 54.
- 藤原和樹 (2023) 病害抑止土壌における微生物と生態系機能. 名城大農学報, 59:33-40.
- 上船雅義 (2022) 植物の香り成分を用いた天敵誘引による害虫制御. *JATAFF ジャーナル* 10: 13-18.

【著書】

実験医学別冊 論文図表を読む作法 (牛島俊和, 中山敬一/編) 羊土社: 第7章 NGS などを用いた網羅的解析 (編集協力)

【展示会出展】

櫛田聖也・平野達也・黒川裕介、稲の耐水性機構を解明する～豪雨に負けない安定生産を目指して～、名城大学リサーチフェア 2022、令和4年1月11日、ウインク愛知。

安藤稜・平野達也・黒川裕介、繊維作物の耐水性機構を解明する～豪雨に負けない安定生産を目指して～、名城大学リサーチフェア 2022、令和4年1月11日、ウインク愛知。

伊藤蓮・平野達也・黒川裕介、稲種子のデンプン蓄積を向上させる遺伝子を探索する～実りの良くなる稲品種の改良を目指して～、名城大学リサーチフェア 2022、令和4年1月11日、ウインク愛知。

応用生物化学**【原著論文】**

Hiromitsu Suzuki, Reini Mori, Masashi Kato, Motoyuki Shimizu, Biochemical characterization of hydroquinone hydroxylase from *Phanerochaete chrysosporium*, *J. Biosci. Bioeng.*, 135, 17-24, 2023.

Hiromitsu Suzuki, Toshiki Morishima, Atsuya Handa, Hironaka Tsukagoshi, Masashi Kato, Motoyuki Shimizu, Biochemical characterization of a pectate lyase AnPL9 from *Aspergillus nidulans*, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 194, 5627-5643, 2022.

Hiroyuki Kato, Terumi T Furusawa, Reini Mori, Hiromitsu Suzuki, Masashi Kato, Motoyuki Shimizu, Characterization of two 1,2,4-trihydroxybenzene 1,2-dioxygenases from *Phanerochaete chrysosporium*, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 106, 4499-4509, 2022.

三井俊, 近藤徹弥, 家田明音, 伊藤彰敏, 山本晃司, 原本直幸, 志水元亨, 加藤雅士, GC/MS を用いた清酒中のカプロン酸及びカプリル酸の簡易迅速定量. 日本醸造協会誌, 117, 866-877, 2022

Okumura, H., A. Mizuno, E. Iwamoto, R. Sakuma, S. Nishio, K-i. Nishijima, T. Matsuda and M. Ujita (2023) New insights into the role of microheterogeneity of ZP3 during structural maturation of the avian equivalent of mammalian zona pellucida. *PLoS ONE* 18(3): e0283087.

Ueno, Y., T. Okada, N. He, M. Ujita, Y. Banno and Z. Kajiura (2022) 19G1-30 kDa proteins in the membrane of the pupal fat body of *Bombyx mori* interact with a hemolymph chymotrypsin inhibitor. *J. Insect Biotech. Seric.* 91: 33-39.

鷲見勇吾・原田悠宇・奥村裕紀・氏田 稔 (2023) 組換えヒト CD69 と β -グルカンオリゴマーの相互作用. 名城大総研紀要, 28: 69-72.

渡邊哲也・奥村裕紀・氏田 稔 (2023) マウスプロフィラグリン N 末端ドメインとマウスロリクリンの相互作用. 名城大総研紀要, 28: 73-75.

Mizuno, M., A. Fujioka, S. Bitani, K. Minato, H. Sakakibara, Anti-Allergic Activity of Fucoidan Can Be Enhanced by Coexistence with Quercetin. *Int. J. Molecular Sciences*, DOI: 10.3390/ijms232012163, 2022

Enokida M., Minato K., Yoshino S., Ohto Nobuyuki, Kuwahara H., Mizuno M., Oral administration of *Lactiplantibacillus plantarum* 22A-3 exerts anti-allergic activity against intestinal food allergy mouse models sensitized and challenged with ovalbumin. *Food Bioscience* 47, 101785, 2022

湊健一・富田沙織・高田琴巳・近澤未歩、タモギタケ β グルカンの M2 マクロファージ分化作用と抗炎症効果、名城大学総合研究所総合学術研究論文集、21、13-18、2022

Yoshitake J, Shibata T, Chikazawa M, Uchida K. "Autoxidation of ascorbate mediates lysine N-pyrrolation." *Free Radic Res.* 56, 749-759, 2022.

Ishihara, K., S. Hirota, T. Shioiri, A. Fujino, K. Ishihara, T. Shioiri, and M. Matsugi (2022) Asymmetric Henry reaction using a double fluorine-tagged Co-salen complex. *Tetrahedron Letters* 95: 13833. (DOI: 10.1016/j.tetlet.2022.153833)

Shioiri, T., K. Ishihara, and M. Matsugi (2022) Cutting edge of diphenyl phosphorazidate (DPPA) as a synthetic reagent - A fifty-year odyssey. *Organic Chemistry Frontiers*: 3360-3391. (DOI: 10.1039/D2QO00403H)

Ishihara, K., T. Shioiri, and M. Matsugi (2022) A solvent-free synthesis of 4-aryl-NH-1,2,3-triazoles from ketones utilizing diphenyl phosphorazidate. *Synthetic Communications* 52: 1326-1335. (DOI: 10.1080/00397911.2022.2086466)

Maegawa T., R. Oishi, A. Maekawa, K. Segi, H. Hamamoto, A. Nakamura, Y. Miki (2022) The Reaction of Ketoximes with Hypervalent Iodine Reagents: Beckmann Rearrangement and Hydrolysis to Ketones Synthesis. 54: 4095-4103.

【学会発表】

- 早坂実夏・濱嶋凜紅・加藤雅士・志水元亨 (2023) 白色腐朽担子菌 *Phanerochaete chrysosporium* 由来 salicylate monooxygenase の機能解析 日本農芸化学会大会 3月16日 仙台 (オンライン)
- 川嶋隆之介・古澤晃史・野村亮・加藤雅士・志水元亨 (2023) 糸状菌 *Aspergillus nidulans* 由来の新規 aminopeptidase 機能解析 日本農芸化学会大会 3月16日 仙台 (オンライン)
- 亀山綾音・鈴木裕満・加藤雅士・志水元亨 (2023) *Aspergillus nidulans* のラムノガラクトツロナン分解機構の解明 日本農芸化学会大会 3月16日 仙台 (オンライン)
- 野村亮・志水元亨・加藤雅士 (2022) 麹菌細胞壁多糖の摂取による腸内環境改善効果 日本応用糖質科学会中部支部会 12月10日 岐阜 (オンライン)
- 亀山綾音・鈴木裕満・志水元亨・加藤雅士 (2022) 糸状菌 *Aspergillus nidulans* のラムノガラクトツロナン分解機構の解明 第21回糸状菌分子生物学研究会 11月17日 東京 (オンライン)
- 加藤大志・早坂実夏・鈴木裕満・加藤雅士・志水元亨 (2022) 白色腐朽担子菌 *Phanerochaete chrysosporium* のリグニンフラグメント分解機構 第21回糸状菌分子生物学研究会 11月17日 東京 (オンライン)
- 早坂実夏・加藤大志・森玲香・鈴木裕満・志水元亨・加藤雅士 (2022) 白色腐朽担子菌による新規リグニンフラグメント変換経路の発見 日本農芸化学会中部支部例会 9月30日 名古屋
- 三浦綾夏・小林吉生・榊原誠也・深津奈々・津島玲奈・志水元亨・加藤雅士 (2022) 転写制御因子 HapX とその結合タンパク質の相互作用解析 日本生物工学会大会 9月18日 オンライン
- 早坂実夏・森玲香・鈴木裕満・加藤雅士・志水元亨 (2022) 白色腐朽担子菌 *Phanerochaete chrysosporium* 由来新規 Flavoprotein monooxygenase の機能解析 日本生物工学会大会 9月18日 オンライン
- 古澤晃史・鈴木貴之・半田敦也・小林吉生・加藤大志・鈴木裕満・志水元亨・加藤雅士 (2022) *Aspergillus nidulans* 由来新規 aminopeptidase の機能解析 日本生物工学会大会 9月18日 オンライン
- 鷺見勇吾・原田悠宇・奥村裕紀・氏田 稔 (2022) 組換えヒト免疫細胞受容体のグルカン結合特異性. 第95回日本生化学会大会, 11月10・11日, 名古屋
- 奥村裕紀・水野綺香・西尾俊亮・西島謙一・松田 幹・氏田 稔 (2022) 鳥類卵膜の形成過程におけるマトリックス構造の成熟とミクロ不均一性を示す ZP3 アイソフォームの組成の変化. 第95回日本生化学会大会, 11月11日, 名古屋
- 近澤 未歩・湊 健一郎「糖尿病モデルマウスにおける腸管抗体レパトアの解析」第76回日本栄養・食糧学会大会 2022年6月11日(兵庫)
- 近澤 未歩「生体内におけるグリケーションが自然免疫系に及ぼす影響」第32回日本メイラード学会年会 2022年11月12日(愛知)
- 近澤 未歩「食事が抗体レパトアに及ぼす影響の解析と健康効果の検証」令和4年度 T-GEEx 研究成果エキシビジョン 2022年11月7日(名古屋)
- Uchino, Y., M. Mizukoshi, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Effects of niacinamide in an animal model of motivational deficit induced by lipopolysaccharide administration. 68th International Congress of Meat Science and Technology, 22-25 August, Kobe, Japan (e-poster)
- Kawakita, A., M. Uchida, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Establishment of a model for examining the improving effects of meat components against brain dysfunction. 68th International Congress of Meat Science and Technology, 22-25 August, Kobe, Japan (e-poster)
- Kawamura, Y., T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Effects of muscle atrophy induced by hindlimb suspension and chronic dexamethasone administration on metabolic pathways of skeletal muscle. 68th International Congress of Meat Science and Technology, 22-25 August, Kobe, Japan (e-poster)
- Kiyota, S., N. Koitachi, A. Kawakita, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Niacinamide ameliorates the anxiety-like behavior induced by social defeat stress. 68th International Congress of Meat Science and Technology, 22-25 August, Kobe, Japan (e-poster)
- Shimizu, R., R. Mizuno, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Antihypertensive effect of pork immersed in sake lees through nitric oxide synthesis. 68th International Congress of Meat Science and Technology, 22-25 August, Kobe, Japan (e-poster)
- Hattori M., K. Gabe, A. Otani, Y. Ito, M. Nagasawa and T. Hayashi (2022) Study on the immunostimulatory effect of fermented meat products with psychrotrophic lactic acid bacteria. 68th International Congress of Meat Science and Technology, 22-25 August, Kobe, Japan (e-poster & oral presentation)
- Ito, Y., M. Hattori, K. Gabe, A. Otani, M. Nagasawa and T. Hayashi (2022) Study on immunostimulatory action of meat products fermented with psychrotrophic lactic acid bacteria. 第130回日本畜産学会大会, 9月16日, 東京農業大学 (オンライン) *English Presentation Award 受賞
- 越立奈穂・清田昇吾・林 利哉・長澤麻央 (2022) 社会的敗北ストレスにおけるナイアシンアミドの脳機能障害予防効果について. 第130回日本畜産学会大会, 9月14日, 東京農業大学 (オンライン) *優秀発表賞ノミネート
- 伊藤優里・服部茉優・我部加菜子・大谷朱里・長澤麻央・林 利哉 (2022) 低温乳酸発酵を施した食肉製品の免疫賦活作用に関する研究. 2022年度日本食品科学工学会中部支部大会, 12月3日, 金沢
- 岡本 和真・前林 正弘・志水 元亨・加藤 雅士・堀 勝・伊藤 昌文 (2022) 大気圧空気グロープラズマ処理カルボキシメチルセルロー

- ス溶液粘度のぜん動ポンプ送液速度依存性, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 9 月 20 日, 仙台.
- 内田 隆也・前林 正弘・天野 健一 (2022) コロイド抗がん剤-細胞膜間相互作用の取得と理解に向けた AFM 用逆解析理論の有用性の検討, 第 73 回コロイドおよび界面化学討論会, 9 月 22 日, オンライン.
- 高木 理子・天野 健一・一井 崇 (2022) 液体金属ガリウム中におけるコロイド粒子間の平均力ポテンシャルの検討: AFM と液体統計力学理論による研究, 第 73 回コロイドおよび界面化学討論会, 9 月 22 日, オンライン.
- 宮川 晶広・今井 宏起・前林 正弘・天野 健一 (2022) 食用高分子の含侵によるコロイド結晶の固定: 新しい菓子の見せ方を目指して, 第 73 回コロイドおよび界面化学討論会, 9 月 22 日, オンライン.
- 左近 優弥・天野 健一・岩城 光宏 (2022) 光ピンセットを用いたコロイド粒子間の平均力ポテンシャルの取得: 実験から理論までの構築, 第 73 回コロイドおよび界面化学討論会, 9 月 22 日, オンライン.
- 梶田 龍希・天野 健一・松本 拓也・松下 結衣・手老 龍吾・平山 朋子・大西 洋 (2022) 潤滑油中におけるガラス基板近傍の蛍光一分子観察: 反応速度論による考察, 第 73 回コロイドおよび界面化学討論会 9 月 22 日, オンライン.
- 左近 優弥・天野 健一・岩城 光宏 (2022) ライン光ピンセットによるコロイド粒子間の平均力ポテンシャルの取得: C 型関数 による粒子中心位置の決定, 第 44 回溶液化学シンポジウム, 10 月 28 日, 鹿児島.
- Amano K. (2022) Non-additive-Asakura-Oosawa theory and non-additivities of the particle sizes hidden in model pair potentials, 第 44 回溶液化学シンポジウム, 10 月 29 日, 鹿児島.
- Okamoto K., H. Kato, M. Maebayashi, M. Shimizu, M. Kato, M. Hori and M. Ito (2023) Enhancement of Reacation Efficiency of Ambient-Air Glow Discharge with Carboxymethyl-Cellulose by Narrowing Solution-Flow Path, ISPlasma2023/IC-PLANTS2023, March 7, Nagoya, Japan
- 石原稿太郎・高須菜々恵・中村有璃・石原一輝・塩入孝之・松儀真人 (2022) p-NO₂DPPA を用いたニトロンからの 1,5- 二置換テトラゾール合成. 第 48 回反応と合成の進歩シンポジウム, 11 月 28 日, 千葉
- 石原稿太郎・木村静花・石原一輝・塩入孝之・松儀真人 (2023) DPPA を用いるケトンからの無溶媒下トリアゾール合成. 日本農芸化学会 2023 年度大会, 3 月 16 日, 広島 (オンライン開催)
- 石原稿太郎・田中瑠大・石原一輝・塩入孝之・松儀真人 (2023) DPPA による Lossen 転位経路型のカルバモイルアジド合成. 日本薬学会第 143 年会, 3 月 26 日, 札幌
- 加藤大和・石原一輝・塩入孝之・松儀真人 (2023) 空気とフルオラス鉄 (III) サレン錯体によるオレフィンの位置選択的エポキシ化反応. 日本薬学会第 143 年会, 3 月 26 日, 札幌
- 濱本博三・鈴木千尋・伊藤康平・小野田光洋 (2022) ヒドロキシ安息香酸類の酸化的脱炭酸反応によるキノン関連化合物への変換法の開発, 第 48 年反応と合成の進歩シンポジウム, 11 月 29 日, 千葉
- 鈴木千尋・小野田光洋・濱本博三 (2021) 超原子価ヨウ素試薬を用いるフェノール酸類からキノンモノアセタールへの変換法の開発, 日本薬学会 第 143 年会, 3 月 27 日, 札幌

【総説、プロシーディング、その他】

- 岡田莉子・林 利哉・長澤麻央 (2022) 糖尿病誘発性脳機能障害モデルを用いたうつ病発症メカニズムの解明. 名城大学総合研究所紀要, 27:81-84.
- Uchino, Y., M. Mizukoshi, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Effects of niacinamide in an animal model of motivational deficit induced by lipopolysaccharide administration. Proceedings and Abstracts of the 68th International Congress of Meat Science and Technology, 63 (Special Issue): 354.
- Kawakita, A., M. Uchida, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Establishment of a model for examining the improving effects of meat components against brain dysfunction. Proceedings and Abstracts of the 68th International Congress of Meat Science and Technology, 63 (Special Issue): 356.
- Kawamura, Y., T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Effects of muscle atrophy induced by hindlimb suspension and chronic dexamethasone administration on metabolic pathways of skeletal muscle. Proceedings and Abstracts of the 68th International Congress of Meat Science and Technology, 63 (Special Issue): 174.
- Kiyota, S., N. Koitachi, A. Kawakita, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Niacinamide ameliorates the anxiety-like behavior induced by social defeat stress. Proceedings and Abstracts of the 68th International Congress of Meat Science and Technology, 63 (Special Issue): 365.
- Shimizu, R., R. Mizuno, T. Hayashi and M. Nagasawa (2022) Antihypertensive effect of pork immersed in sake lees through nitric oxide synthesis. Proceedings and Abstracts of the 68th International Congress of Meat Science and Technology, 63 (Special Issue): 353.
- Hattori M., K. Gabe, A. Otani, Y. Ito, M. Nagasawa and T. Hayashi (2022) Study on the immunostimulatory effect of fermented meat prod[1]ucts with psychrotrophic lactic acid bacteria. Proceedings and Abstracts of the 68th International Congress of Meat Science and Technology, 63 (Special Issue): 153, 366.

【講演会】

- 志水元亨 (2023) バイオインフォマティクス相談部会のおかげで論文が出せます - 麹菌そのもののプレバイオティクス効果 - 日本生物工学会バイオインフォマティクス相談部会 3月21日 名古屋 (オンライン)
- 加藤雅士 (2022) 「麹が醸す甘美な酒: 本みりんの温故知新」伝統的酒造りシンポジウム in 名古屋; 和食文化を支える「みりん」の魅力と将来性 (招待講演) 11月5日 名古屋クレストンホテル、国税庁主催
- 加藤雅士 (2022) 「麹菌と発酵」子どもたちの未来につなぐ伝統の味・三河みりん講座 (招待講演) 12月3日 愛知県青年の家
- 近澤 未歩 「免疫系との関わりから食と健康について明らかにする」若手研究者シンポジウム 第25回フードサイエンスフォーラム学術集会 2022年9月15日 (神戸)

【解説】

- 天野 健一 (2022) 光ピンセットを用いたコロイド粒子間の平均力ポテンシャル測定: 複雑な溶液から由来する微弱な相互作用の理解に向けて, 溶液化学研究会誌 (Journal of the Japan Association of Solution Chemistry), 1, 44-49.
- 天野 健一 (2022) これまで開発した逆解析理論の紹介: 界面構造や界面誘起相互作用の研究, 日本化学会 コロイドおよび界面化学部会誌 “コロイドおよび界面化学部会ニュースレター” (C & I Commun), 47, 56-59.
- 天野 健一 (2023) 原子間力顕微鏡による液体ガリウムと固体合金界面の原子スケール構造解析 (Division Topicsにて説明), 日本化学会誌 化学と工業, 76 (2), 106.
- 天野 健一・二江 隆之 (2023) 温泉微粒子の評価・分類・魅力 日本温泉協会刊行物 温泉, 91 (1), 38-39.

生物環境科学

【原著論文】

- Niwa, S., Osada, N. and Saeki, I. (2022) Young climbers successfully avoid predators: survival behavioural strategy of juveniles of the land snail *Ezohelix gainesi*. *Biological Journal of the Linnean Society* 138: 27-36.
- Jiang W. and Wang, G.-X. (2022) Photosynthetic inorganic carbon acquisition of *Ottelia alismoides* in Japan. *Journal of Research Institute of Meijo University* 21: 19-26.
- Ishikawa S, Kohno H, Mizuno Y, Masuyama R, Kitayama K and Hino T (2023) Influences of weather conditions, natural food abundance, and the spacing of feeders on the feeding-table use by Japanese squirrels *Sciurus lis* in a suburban forest. *Mammal Study* 48: 28-34.
- 日野輝明 (2023) ニホンジカによるミヤコザサの採食がネズミとオサムシ群集に及ぼす影響 - 奈良県大台ヶ原での8年間の野外実習の結果分析 - 名城大学農学部学術報告 59: 25-32.
- 井上莉央南・荒川征夫・汪光熙・日野輝明 (2023) ニホンリスの体毛を用いたマイクロサテライト DNA 分析手法の改良と野生個体群への適用. 名城大学総合研究所紀要 28: 85-88.
- 近藤雅也・日野輝明 (2023) エナガ *Aegithalos caudatus* の有無にとまなう鳥類混群内でのメジロ *Zosterops japonicus* の役割の変化. 日本鳥類学会誌 72: 195-210.
- Miura K, Mori T, Ogawa H, Umano S, Kato H, Izumiyama S, Niizuma Y (2022) Density estimations of the Asiatic black bear: Application of the Random Encounter Model. *Journal of Natural History*. 56, 1123-1138.
- Wickrama-Arachchige, A. U. K., Guruge, K. S., Tani, H., Dharmaratne, T. S., Kumara, M. P., Niizuma, Y., & Ohura, T. (2022). Comparative Study on the Distribution of Essential, Non-Essential Toxic, and Other Elements across Trophic Levels in Various Edible Aquatic Organisms in Sri Lanka and Dietary Human Risk Assessment. *Toxics*, 10(10), 585.
- Hori M, Kimura SS, Mizutani Y, Miyagawa Y, Ito K, Arai N, Niizuma Y (2022) Detection of Telomere Length and Oxidative Stress in Chondrichthyes. *Fisheries Science*. 88: 741-750.
- Inoue Y, Nakatsuka S, Niizuma Y, Ochi D, Katsumata N, Okamoto K, Ishihi Y, Oshima K, Minami H (2023) Stable isotope differences among species, sexes and breeding stages in Laysan and Black-footed Albatrosses in western North Pacific. *Ornithol Sci* 22: 3-14.
- Tani Hinako, Shirai Masaki, Mizutani Yuichi, Yasuaki Niizuma. (2023) The growth rate of Black-tailed Gull chicks is negatively related to total mercury of female parents on Kabushima (Kabu Island), Japan. *Avian Conservation and Ecology*. 18: 14
- Akiko Shoji, Shannon Whelan, Joshua T. Cunningham, Scott A. Hatch, Yasuaki Niizuma, Chinatsu Nakajima, Kyle H. Elliott (2023) Ecological niche partitioning in two Pacific puffins. *Mar Ecol Prog Ser* 709: 125-139.
- Goswami, P., A. U. K. Wickrama-Arachchige, M. Yamada, T. Ohura, K. S. Guruge (2022) Presence of Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Milk Powder and the Consequence to Human Health. *Toxics*, 10: 621.

- Kawatsu, Y., J. Masih, T. Ohura (2022) Occurrences and potential sources of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons associated with PM2.5 in Mumbai, India. *Environ. Toxicol. Chem.* 41: 312-320.
- 久留戸 涼子・植田 和章・鈴木 峻真・川井 巳由・大浦 健 (2022) パクチー (*Coriandrum sativum*) がヒト培養細胞に及ぼす影響. 常葉大学教育学部紀要, 42:155-170.
- Shahidin, N.M., I. Roslan, S.H. Kang, K.N. Kamarudin, H. Murano, S.S. Abe (2023) Effects of chicken manure applied with inorganic fertilizer on mango tree nutrition and fruit yield in Northern Peninsular Malaysia. *Tropical Agriculture and Development*, 67(1): 36-40.
- Shahidin, N.M., I. Roslan, S.S. Zaharah, S.H. Kang, A.A. Elisa, M.N. Malisa, K.N. Kamarudin, H. Murano, S.S. Abe (2022) Soil spatial variation in a sloping mango orchard of Northern Peninsular Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*, 26: 104-119.
- 村野宏達・磯井俊行 (2022) 溶存有機物の凝集に低分子有機酸が与える影響、名城大学総合研究所紀要、27:81-84.
- Ayumu Kondo, Masashi Ito, Yusaku Takeda, Yuka Kurahashi, Shigeo Toh, Toru Funaguma. Morphological and antioxidant responses of *Nopalea cochenillifera* cv. Maya (edible *Opuntia* sp. "Kasugai Saboten") to chilling acclimatization. *Journal of Plant Research* 136, 211-225 (2023).
- Takahashi, N., S. Nagai, Y. Tomimatsu, A. Saito, N. Kaneta, Y. Tsujimoto and H. Tamura (2022) Simultaneous Discrimination of Cereulide-Producing *Bacillus cereus* and Psychrotolerant *B. cereus* Group by Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time-of-Flight Mass Spectrometry, *J. Food Protect.*, 85: 1192-1202.
- Chen, S., T. Hirano, Y. Hayashi and H. Tamura (2022) Biological soil disinfestation compatible with renewable energy production for sustainable agriculture. *J. Pestic. Sci.*, 47: 111-117
- 橋本啓史・木村元則・戸丸信弘 (2022) 都市孤立林におけるスダジイ、コジイおよびその雑種への訪花昆虫相. 保全生態学研究 27: 209-219. (査読あり)
- 太田貴大・前波晴彦・三浦政司・竹島喜芳・児島利治・橋本啓史 (2023) 林業体験を通じて森林生態系サービスの供給と受益に対する気づきを促すシリアスボードゲーム『The Forest-est: 最上級の森林を目指した林業経営者の挑戦』の開発. 環境共生 39: 77-86. (査読あり)
- Okuyama J, Watanabe A, Takuma S, Tanaka K, Shirai K, Sugihara NM, Arita M, Fujita K, Nishizawa H, Narazaki T, Yamashita Y, Kameda K. (2022). Latitudinal cline in the foraging dichotomy of loggerhead sea turtles reveals the importance of East China Sea for priority conservation. *Diversity and Distributions*, 28: 1568-1581. (査読あり)
- Fujita K, Nishizawa H, Okuyama J, Arita M, Takuma S, Narazaki T, Watabe A. (2023). Polymorphic foraging tactics in a marine reptile: insight from horizontal movement and dive behavior analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 707: 115-129. (査読あり)

【学会発表】

- 長田典之・萩原陽子・上田実希. 2023. 共存する常緑広葉樹と落葉広葉樹における陽葉と陰葉の展葉パターンの違い. 第70回日本生態学会 仙台 (Web開催) 2023年3月18日
- 近藤雅也. メジロは何をしゃべっているのか? -メジロの音声言語と混群構成種との関係- パードリサーチ鳥類学大会 2022.
- Risa Sakai, Nodoka Yamada, Bungo Nishizawa, Ochi Daisuke, Niizuma Yasuaki, Watanuki Yutaka. Plastics in the stomach of two species of albatrosses in the western North Pacific. North Pacific Marine Science Organization 2022 Annual Meeting. Sept 23 - Oct 2, 2022, Busan, Korea.
- 氏家太・新妻靖章・庄子晶子. 日本におけるミサゴの水銀暴露量の推移. 日本鳥学会 2022年度大会, 2022年11月3-6日, 網走市, 東京農業大学北海道オホーツクキャンパス.
- 庄子晶子・Shannon Whelan・Josh Cunningham・新妻靖章・Scott Hatch・中嶋千夏・Kyle Elliott. ミドルトン島で繁殖するエトピリカとウトウはすみわけをしているのか? 日本鳥学会 2022年度大会, 2022年11月3-6日, 網走市, 東京農業大学北海道オホーツクキャンパス.
- 大島康平・新妻靖章・庄子晶子. 異なる島で繁殖するウトウの水銀暴露量の比較. 日本鳥学会 2022年度大会, 2022年11月3-6日, 網走市, 東京農業大学北海道オホーツクキャンパス.
- 永谷奈央・新妻靖章・綿貫豊. ウトウ雛の安静時代謝速度. 日本鳥学会 2022年度大会, 2022年11月3-6日, 網走市, 東京農業大学北海道オホーツクキャンパス.
- 中嶋千夏・Jacopo Cecere・Kyle Elliott・Marie Claire Gatt・Scott Hatch・新妻靖章・Don-Jean Léandri-Breton・Joan Obiol・Diego Rubolin・Shannon Whelan・庄子晶子. ミツユビカモメにおける繁殖成績と行動の関係. 日本鳥学会 2022年度大会, 2022年11月3-6日, 網走市, 東京農業大学北海道オホーツクキャンパス.
- 大野夏実・水谷友一・細田晃文・新妻靖章. 野生下のウミネコのテロメア長は水銀暴露によって短縮するか. 令和4年度メチル水銀研究ミーティング, 2023年1月27日, 日比谷国際ビルコンファレンススクエア, 環境省.
- 小池菜月・大浦 健(2022)GC-Orbitrap MSを用いたハロミックスPAHsの分析と毒性評価. 環境化学物質3学会合同大会, 6月14日, 富山
- 山田尚人・バットジャルガル アディヤスレン・大浦 健 (2022) モンゴル大気粒子における多環芳香族キノン体の季節変動ならび

- に発生源解析. 環境化学物質 3 学会合同大会, 6 月 14 日、富山
- 久留戸涼子・植田和章・鈴木峻真・津ヶ谷勇斗・大浦 健 (2022) 植物性食品が多環芳香族炭化水素の作用に及ぼす影響. 環境化学物質 3 学会合同大会, 6 月 14 日、富山
- 浅野航輝・磯井俊行・Margaret Kit Yok Chan・Kanokkorn Sinma・仲田 (狩野) 麻奈・江原宏 (2023) タイ南部および東マレーシアのサゴヤシ生育地におけるアーバスキュラー菌根菌密度と多様性に影響を及ぼす土壌物理化学的要因. 日本熱帯農業学会第 133 回講演会. (東京) 2023 年 3 月 13 日～14 日
- 坂崎来実・村野宏達・磯井俊行 (2022) 自然栽培および慣行栽培圃場におけるアーバスキュラー菌根菌の群集構造解析. 日本土壌肥料学会中部支部第 102 回例会. (名古屋) 2022 年 11 月 14 日～15 日
- 永田万由・Zhengyang Wang・村野宏達・Joseph Pignatello (2022) カルボン酸がフミン酸の表面電荷と pH に与える影響. 日本土壌肥料学会中部支部第 102 回例会. (名古屋) 2022 年 11 月 14 日～15 日
- 深津奎祐・磯井俊行・村野宏達・前林正弘 (2022) カルボキシ基を有する農薬の吸着に負電荷支援型水素結合が果す役割の解明. 日本土壌肥料学会中部支部第 102 回例会. (名古屋) 2022 年 11 月 14 日～15 日
- 野々垣ほのか・磯井俊行・山本 拓・村野宏達 (2022) 愛知県東三河農業研究所の赤黄色土の土壌特性. 日本土壌肥料学会中部支部第 102 回例会. (名古屋) 2022 年 11 月 14 日～15 日
- 深津奎祐・前林正弘・磯井俊行・村野宏達 (2022) カルボキシ基を有する農薬の吸着に負電荷支援型水素結合が果す役割の解明. 第 39 回農薬環境科学研究会. (岐阜) 2022 年 9 月 29 日～30 日
- 野々垣ほのか・磯井俊行・村野宏達 (2022) 赤黄色土の粘土鉱物へのグリホサート吸着機構の継時的変化. 第 39 回農薬環境科学研究会. (岐阜) 2022 年 9 月 29 日～30 日
- 永田万由・Zhengyang Wang・村野宏達・Joseph Pignatello (2022) カルボン酸がフミン酸の pH と表面電荷に与える影響—フェノキシ系除草剤の土壌吸着機構の解明に向けての予備的研究—. 第 39 回農薬環境科学研究会. (岐阜) 2022 年 9 月 29 日～30 日
- 深津奎祐・前林正弘・磯井俊行・村野宏達 (2022) カルボキシ基を有する農薬の吸着に負電荷支援型水素結合が果す役割の解明. 日本土壌肥料学会 2022 年大会. (東京) 2022 年 9 月 13 日～15 日
- 村野宏達・Zhengyang Wang・永田万由・Joseph Pignatello (2022) 溶存有機物の表面電荷に pH と低分子有機酸が与える影響. 日本土壌肥料学会 2022 年大会. (東京) 2022 年 9 月 13 日～15 日
- 戸邊星良・山本梨津己・風間麻未・村野宏達・新妻靖章・風間健太郎 (2022) ウミネコの糞由来窒素が沿岸海洋生態系に与える影響の長期変化. 日本生態学会第 69 回全国大会. (福岡) 2022 年 3 月 14～19 日
- Dekio, I., K. Okuda, M. Nishida, S. Hamada-Tsutsumi, T. Suzuki, S. Kinoshita, H. Tamura, K. Ohnuma, Y. Murakami, Y. Kinjo and A. Asahina (2022), Common feature and intra-species variation of *Cutibacterium modestum* strains, FEMS Conference on Microbiology, 30 June-2 July, Belgrade (Serbia), Poster #781
- 林奏希・松尾健太郎・細田晃文 (2022) ; 海洋底泥中の銅還元嫌気性細菌の生態解析, 日本微生物生態学会第 35 回大会, 札幌
- 小島史大・杉本陸飛・横井裕伎・松岡七海・細田晃文 (2022) ; 鉄還元能を有する糸状菌の生理的特性, 日本微生物生態学会第 35 回大会, 札幌
- Hashimoto, H. and K. Nomura (2022) Population trends of breeding forest birds in Nagoya City, Japan for 35 years. 28th International Ornithological Congress, 16 August, South Africa (オンライン)
- 橋本啓史・中林雪乃 (2022) 木曾岬干拓地における樹木の分布拡大過程. ELR2022, 9 月 22 日, つくば市
- 橋本啓史 (2022) 越えるか、くぐるか、都市河川に二段に架かる橋と高架道. 日本鳥学会 2022 年度大会, 11 月 4 日, 網走市
- 橋本啓史・太田貴大・長谷川泰洋・児島利治 (2023) 文献情報と植生図に基づいた流域内の森林性鳥類の個体数推定とシナリオ分析. 第 134 回日本森林学会大会, 3 月 25 日, 鳥取市 (オンライン)

【総説】

- 村野宏達 (2022) 農薬の土壌吸着機構への新たな提言 :—強い水素結合は農薬の土壌吸着に寄与しているのか?—, 日本農業学会誌, 47 : 8-10.

【著書その他】

公衆衛生学実験・実習；角野 猛，岸本 満，青地 克頼，伊藤 央奈，伊藤 勇貴，近藤 浩代，須崎 尚，林原 好美，細田 晃文，建帛社
2022年 ISBN: 9784767907116

Hosoda, A. (2022) Cultivation and molecular biological analysis of copper reducing bacteria as for a copper recycling from low-grade metal ore. *Impact* 2022(1) 48-50.

橋本啓史 (2022) 段戸裏谷原生林. 『ランドスケープ遺産百選 中部編Ⅲ～人が誇れる風景～ ((公社) 日本造園学会中部支部 (編))』, 112, (公社) 日本造園学会中部支部

橋本啓史 (2022) 鳥類調査. 『造園大百科事典 (亀山章 (総編集))』, 618-619, 朝倉書店

【講演会】

田村廣人 (2022) 生物農薬の残留分析—質量分析を用いたプロテオタイピングによる残留微生物識別・定量の試み—, 第39回農薬環境科学研究会, 9月29日, 岐阜市

【特許】

特願 2022-049286, バイオメタン発酵設備, 田村廣人, 前林正弘, 村野宏達, 箕浦 隆

農場**【原著論文】**

中尾義則・石井章夫・寺尾聡美・板垣芳・斯琴巴図・新井由紀・河合美波・藤原正幸・鼠尾まい子 (2022) 土壌特性と収穫期直前のかん水が果粒品質に及ぼす影響. *日本ブドウ・ワイン学会誌*. 2022. 33 : 3-11.

Thonara K., P. Saenphoom, A. Chaokaur, S. Chimtong, Y. Hayashi (2023) Study on quality of fermented juice from sugarcane leaves. *Khon Kaen Agriculture Journal Suppl.*, 51:7-13.

Chen S., T. Hirano, Y. Hayashi, H. Tamura (2022) Biological soil disinfestation compatible with renewable energy production for sustainable agriculture. *Journal of Pesticide Science*, 47:111-117.

【資料】

奥田徹・佐藤充克・久本雅嗣・渡辺史恵・塩崎修志・鈴木俊二・中尾義則・望岡亮介 (2022). *American Journal of Enology and viticulture* 論文の概要 (Vol. 72, No.2 and 3). *日本ブドウ・ワイン学会誌*. 33 : 25-31.

奥田徹・佐藤充克・久本雅嗣・渡辺史恵・塩崎修志・鈴木俊二・中尾義則・望岡亮介 (2022). *American Journal of Enology and viticulture* 論文の概要 (Vol. 72, No.4 and Vol. 73, No.1). *日本ブドウ・ワイン学会誌*. 33 : 117-123.

【学会発表】

Morita, T., Y. Kanie, Y. Nakao and Y. Morita (2022) Comparison of dormancy and early yield of Japanese native taro. XXXI International Horticultural Congress. 19 August (Angers, France)

Hayashi Y. (2022) Manure production using ruminant excreta for Bio-Circular-Green model - Different characteristics of goat and cattle manure derived from the same feeding condition -. The National Undergraduate Conference on Agricultural Science and Technology (Thailand), 3 April, Online (Cha-am, Thailand)

林義明・上園美紗・岡部健太郎・米本正弘 (2022) 日本ザーネン種ヤギにおける異なる乳タンパク質生産量での血漿成分の相違. 日本畜産学会第130回大会, 9月16日, オンライン (東京農業大学, 神奈川)

Hayashi Y., M. Uezono, K. Okabe, M. Yonemoto (2022) Comparison of milk production in different milk protein yield goats. The 13th International Conference on Goats, 21 September, Online (Eger, Hungary)

Thonara K., P. Saenphoom, A. Chaokaur, S. Chimtong, Y. Hayashi (2023) Study on quality of fermented juice from sugarcane leaves. The 24th Agricultural Conference, Khon Kaen University, 30 January, Khon Kaen, Thailand.

森田裕将・北村崇馬・渡辺大起・飯田滋・星野敦 (2022) マルバアサガオ新規 *ivory seed (ivs)* 易変性変異の同定と解析. 第11回アサガオ研究集会 7月30日, オンライン

中川颯也・朴慶一・森田裕将・飯田滋・星野敦 (2022) アサガオの覆輪に関わる重複変異とRNAサイレンシング. 日本遺伝学会 第94回大会 9月14-17日, 札幌, オンライン

名城大学学部学術報告第58号 (2022) 査読者一覧 (50音順)

農学部生物資源学科
准教授 荒川征夫

農学部生物環境科学科
准教授 藤 茂雄

農学部生物資源学科
教授 上船雅義

農学部生物環境科学科
准教授 橋本啓史

農学部生物環境科学科
教授 長田典之

農学部生物資源学科
教授 平野達也

農学部生物資源学科
助教 黒川裕介

農学部附属農場
准教授 森田裕将

農学部生物環境科学科
准教授 近藤 歩

農学部生物環境科学科
教授 汪 光熙

農学部生物資源学科
教授 津呂正人

名城大学学部学術報告第59号 (2023) 査読者一覧 (50音順)

農学部生物資源学科
助教 黒川裕介

農学部生物資源学科
教授 平野達也

日本学術振興会
特別研究員 木下千尋

農学部応用生物科学科
教授 湊健一郎

農学部生物資源学科
教授 津呂正人

農学部生物資源学科
教授 山岸健三

農学部生物環境科学科
准教授 橋本啓史

農学部生物環境科学科
教授 汪 光熙

農学部生物環境科学科
教授 日野輝明

(第59号に第58号査読者一覧の掲載漏れがありましたので本号に掲載いたしております)

名城大学農学部学術報告投稿規程

昭和 59 年 9 月 27 日制定
平成 8 年 9 月 26 日一部改正
平成 20 年 6 月 5 日一部改正
平成 24 年 5 月 24 日一部改正
平成 26 年 6 月 12 日一部改正
平成 28 年 2 月 25 日一部改正
令和 5 年 7 月 13 日一部改正

1. 名城大学農学部学術報告は毎会計年度に 1 回発行する。
2. 投稿原稿の著者（連名の場合はその中の一名以上）は名城大学農学部の専任教員あるいはその退職者であることを原則とする。ただし、名城大学農学部学術報告編集委員会（以下編集委員会と呼ぶ）が投稿を認めた場合はこの限りでない。
3. 投稿原稿は和文または英文とし、名城大学農学部学術報告執筆要項に従うものとする。
4. 投稿原稿の種類は、原著、総説および資料等の 3 種類とする。
 - 1) 原 著：独創性があり未発表の研究論文、実験・調査にもとづいた内容で、十分に考察が行われている一つの独立した論文、あるいは新しい価値ある事実を含む短報。
 - 2) 総 説：特定の研究・教育に関する課題についての文献をまとめ、体系的に整理、論述したもの。
 - 3) 資料等：他誌に発表した研究論文や本学関係者の学位論文等の内容の解説、あるいは研究技術情報、統計資料；国際学会やシンポジウム、海外留学、海外学術調査等で得た情報および研究室の研究成果の紹介等学外にアピールできる学術的内容を有するもの。なお、原稿の執筆および投稿は以下の点をよく理解したうえで行わなければならない。
 - ・過去に発表された論文、あるいは他の学術誌に投稿中の原稿と本質的に同じ内容の原稿を投稿してはならない。また、投稿中の原稿は、掲載の可否が決定される前に他の学術誌に投稿してはならない。取り下げ、または却下された場合はこの限りではない。
 - ・他の研究者の研究成果やオリジナリティを尊重して公平かつ適切な引用を行わなければならない。
 - ・適切なオーサiership：著者リストには、著者としての資格を有する者のみを含め、また著者としての資格を有するものを除外してはならない。また、著者全員が、本論文の内容に同意したうえで投稿しなければならない。
 - ・上記以外にも、利益相反、研究捏造等の研究倫理に関する様々な問題に注意を払わなければならない。
5. 人を対象とする研究、動物を用いた研究、組換え DNA 実験を用いた研究に関する論文等の投稿については以下の規定に従うものとする。なお、名城大学農学部以外での研究の場合は該当組織での同等の規定に従った研究であることを明記すること。
 - 1) 人を対象とした研究は、名城大学が定める「人を対象とする研究に関する倫理指針」に従って行わなければならない。これに該当する研究を含む投稿論文（原著、資料等）では、実験・調査内容が「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」で承認された旨とその承認番号を明記しなければならない。
 - 2) 動物を用いた研究は、名城大学が定める「動物実験取り扱い要項」に従って行わなければならない。これに該当する研究を含む投稿論文（原著、資料等）では、実験内容が「農学部動物実験委員会」で審査された後、学長に承認された旨とその学長承認番号を明記しなければならない。
 - 3) 組換え DNA 実験を用いた研究は、名城大学が定める「組換え DNA 実験規程」に従って行わなければならない。これに該当する研究を含む投稿論文（原著、資料等）では、実験内容が「組換え DNA 実験安全委員会」で承認された旨とその大臣確認番号もしくは部局整理番号を明記しなければならない。
6. 投稿原稿の査読者はすべて編集委員会の審議により決定される。原著については本委員会が委嘱する 2 名の査読者の審査、それ以外の原稿については 1 名の査読者の審査を受ける。この際、他学部等の教員および学外の研究者を査読者にすることができる。
7. 編集委員会は、審査の結果をもとに原稿の内容について著者に加除・訂正等の変更を求めることができる。その変更を求められた場合、著者は必要な変更を行い、編集委員会が決定する期限までに返送しなければならない。
8. 投稿原稿が編集委員会に到着した日を原稿受付日とする。また、編集委員会が投稿原稿について掲載可とした日を受理日とする。
9. 当該年度の投稿原稿の締め切り日は、編集委員会が決定する。
10. 刷り上がり 10 頁までの掲載料および印刷料は無料とする。この頁数を超える場合、あるいはカラー印刷を必要とするものについては、その超過分およびカラー印刷代を著者負担にする場合がある。
11. 論文の別刷り代およびその送料は著者負担とする。
12. 掲載された論文等の内容についての責任は著者が負い、論文等の著作権は名城大学農学部属するものとする。

名城大学農学部学術報告執筆要項

平成 20 年 6 月 5 日作成

平成 22 年 12 月 15 日一部修正

平成 26 年 6 月 12 日一部修正

平成 28 年 2 月 25 日一部修正

1. 原稿は MS word で作成するものとし, A4 縦長の用紙の片面に印書する. 文字の大きさは 11 ポイントで, ページにつき 40 字×25 行=1000 字詰めで印字する. この際, 原稿の上下左右に 2 cm 程度の余白をとる. 原稿中の句読点等には, 「. , : ; ・」を用い, 和文の場合は全角, 英文の場合は半角文字を用い, アラビア数字はいずれも半角とする.
2. 原稿の項目は以下の順に表記し, 用紙の中央下に通しページ番号をつける.
 - (ア) 和文原稿
 - 1) 表紙ページ [和文表題, 著者名, 著者所属, 筆頭著者または責任著者連絡先メール住所, 要約 (650 字以内), キーワード (5 語程度), 英文表題, 英文著者名, 所属, 筆頭著者または責任著者連絡先メール住所, Abstract (230 語以内), Key words (5 語程度)]
 - 2) 本文 [原則として緒言, 材料および方法, 結果, 考察, (謝辞), 引用文献の順]
 - (イ) 英文原稿
 - 1) 表紙ページ [英文表題, 英文著者名, 所属, 筆頭著者または責任著者連絡先メール住所, Abstract (230 語以内), Key words (5 語程度), 和文表題, 和文著者名, 著者所属, 筆頭著者または責任著者連絡先メール住所, 要約 (650 字以内), キーワード (5 語程度),]
 - 2) 本文 [原則として Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, (Acknowledgements), References の順] ただし, 本文中の章の編成については各専門分野の学会誌の慣例に従うこともできる. 短報の本文は文献のみを別項目とする. 総説と資料等は形式を問わない.
すべての数式には, 末尾に----(1), ----(2)のような両括弧アラビア数字の通し番号をつける. 略語や数量表現については, 原則として IUPAC の勧告に従うものとするが, 各専門分野の学会誌の慣例に従うこともできる. 投稿原稿の字体 (太字, 斜体, 上下付) 等の書式はワードプロセッサで変更するものとし, 下線を用いた指定は行わない. 特殊文字を使用する場合は, 原稿中の該当箇所にその旨を記入する.
3. 図, 表および記号について以下に示す.
 - 1) 本文中の該当箇所に図と表の掲載位置を明記する. 図と表の番号は, 和文表記の場合にはそれぞれ図 1, 表 1 のように示し, 英文表記の場合にはそれぞれ Fig.1, Table1 のように示す.
 - 2) 図は縮小されて印刷製版されるので, 印字サイズ, 線の太さに注意する. 写真を掲載する場合はコントラストを強くする.
 - 3) 図と表は, 1 ページに 1 図表だけ配置する. ただし, 図の説明文は別紙にまとめて記入し, 表の説明文は表の上部に記入する.
 - 4) 記号, 用語, 単位については主として IUPAC の勧告に従うものとする. ただし, 各専門分野の学会誌の慣例に従うこともできる.
4. 引用文献

引用文献は以下の 1), 2) に従って記述することを原則とする. ただし, 各専門分野の学会誌の慣例に従うこともできる.

 - 1) 引用文献は, その様式が英文の場合は (Suzuki et al., 2004) のように, 和文の場合は (船隈ら, 2004) のように姓, 発表年の順に示す. 同じ表記を必要とする著者が同一年に複数存在する場合は発表年の後に小文字のアルファベットを付けて区別する. 引用文献は本文文末の文献欄に収録し, その順序は形式の和英を問わず, 第一著者の姓のアルファベット順に収録する.
名城大学農学部学術報告以外の日本語の学術雑誌等についてはその名称を略さずに表記し, 英語の学術雑誌等については規則に従った略称で表記する.
 - 2) 引用文献の記載様式は以下の例に従うものとする.
船隈透・菅沼礼子・伊藤健太・田中信彦・古田昌之・近藤歩・原彰 (2004a) D-マンノースによるクロマツ花粉の花粉管伸長阻害. 名城大農学報, 40 : 31-36.

Inagaki, K., Q. Guo and M. Arakawa (2004a) Over wintering of rice sclerotial disease fungi, *Rhizoctonia* and *Sclerotium* spp., in paddy elds in Japan. *Plant Pathol. J.* 3 : 81-87.

郭慶元・小笠原崇文・荒川征夫・稲垣公治 (2003) 水田におけるイネ紋枯病菌個体群構造の年次推移. *日本植物病理学会報*, 69 : 212-219.

Suzuki, S. and T. Takano (2004) Changes in photosynthetic carbon dioxide and oxygen exchange, transpiration, and stomatal resistance in the rejuvenated primary leaves by the removal of foliage leaves in snap bean plants. *Sci. Rep. Fac. Agr., Meijo Univ.* 40 : 27-30.

5. 本執筆要項に記されていない内容については、最新の「名城大学農学部学術報告」を参考にして原稿を作成する。

6. 投稿方法

- 1) MS Word で作成した原稿の電子ファイルとそれを PDF 化したファイルおよび「名城大学農学部学術報告」原稿送り状を電子メールまたは、電子媒体として送付する。PDF が利用できない場合は、PDF 化したファイルの代わりに印刷したオリジナルコピー1部を送付する。
- 2) 大きな画像や写真等がある場合は原稿送り状の「8.その他の連絡特記事項」にその旨を明記の上、電子メールもしくは、CD-ROM 等の電子媒体または紙媒体で送付する。
- 3) 送付先は当該年度の名城大学農学部学術報告編集委員長とする。
- 4) 「名城大学農学部学術報告」原稿送り状のテンプレートは <https://www-agr.meijo-u.ac.jp/report/index.html> からダウンロードすることができます。

「名城大学農学部学術報告」原稿送り状

1. 発送年月日 : 年 月 日

 2. 原稿の種類 (○印) : 原著論文・総説・資料・その他

 3. 表 題 :

 略表題 (Running title) :

 4. 著者名 (責任著者 (Corresponding author) の後ろに * を付ける) :

 5. 責任著者連絡先
 - (1) 氏名 :

 - (2) 郵便番号 :

 住所 :

 - (3) 電話 :

 FAX :
 E-mail :
 - (4) 所属、研究室名 :
-
6. 別刷希望部数 : 部 (別刷代及びその送料はすべて著者負担となります)
-
7. 査読者の推薦がある場合は氏名、連絡先 (住所、E-mail アドレス、電話番号等) および所属を記入すること。(2人以上可)
-
8. その他の連絡特記事項

(編集委員会記入欄)

原稿受付年月日 : 年 月 日

The Scientific Reports of the Faculty of Agriculture, Meijo University is published annually. All communications are to be addressed to the Faculty of Agriculture, Meijo University, Tempaku, Nagoya 468-8502, Japan.

名城大学農学部学術報告は年1回発行されています。

本報告に関する問い合わせは下記にお願いします。

〒468 8502 名古屋市天白区塩釜口一丁目501番地
名城大学農学部学術委員会

(50音順)

奥村 裕紀

濱本 博三 (委員長)

日野 輝明

平児慎太郎

藤原 和樹

細田 晃文

名城大学農学部学術報告60号

令和6年3月8日 印刷

令和6年3月15日 発行

編集兼
発行所

名城大学農学部

名古屋市天白区塩釜口一丁目501番地

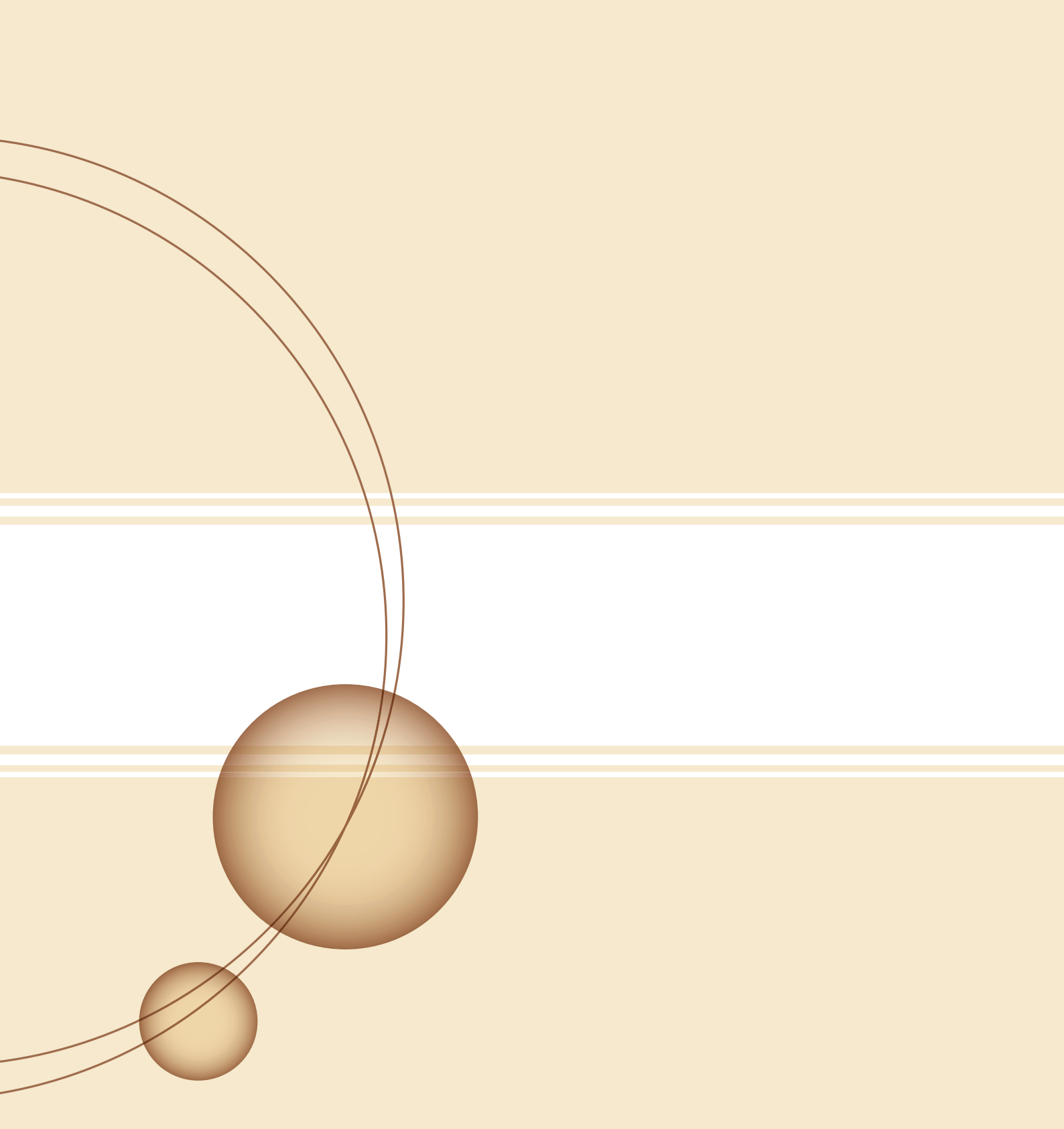
TEL (052) 832-1151(代)

印刷

常川印刷株式会社

〒460-0012 名古屋市中区千代田二丁目18番17号

TEL (052) 262-3028(代)



**Scientific Reports of the Faculty of Agriculture
Meijo University
No.60,2024**

Published by

THE FACULTY OF AGRICULTURE,
MEIJO UNIVERSITY

Nagoya 468-8502, JAPAN