

ツバメの巣の接着強度と成分解析を通した教育実践



京都府立亀岡高等学校／京都府 中 野 あゆみ*

目 的

ツバメの巣は土と糞と唾液を使用して作られると言われているが、唾液が巣作りに利用されていることを明確に示した報告はみられない。そこで、本校専門学科の「総合的な探究の時間」における課題研究のグループ活動および自然科学部の研究として、ツバメやその近縁種であるコシアカツバメの巣に使われている材料を明らかにすることを目的とした。

概 要

ツバメ目ツバメ科のツバメ *Hirundo rustica* やコシアカツバメ *Hirundo daurica* は、人工的な建築物の壁や天井に巣を作る。ツバメは土に糞を混ぜ込んだ巣を、コシアカツバメは糞を利用せず土のみを材料として巣を作る。本校周辺には毎年春に多くのツバメ類が飛来し、子育て後、秋には飛去する。ツバメ類の巣は屋外で一年以上形を保ち翌年も使用されることが多い。

そこで野外のツバメ類の巣がどの程度の力で壁に接着しているのか、巣材には何が使われているのかを調査した。その結果、屋外のツバメの巣はヒナと巣を十分に支えることのできる力で接着していることが明らかとなった。実験によりツバメの巣に含まれる糞が、壁面に対する接着強度を向上させることを発見した。一方、近縁種のコシアカツバメの巣には糞が使用されていないため、接着強度を向上させる物質として唾液が含まれている可能性を考えた。一般に、動物の唾液には粘性成分の糖タンパク質であるムチンが含まれていると言われている。そこで巣の中のムチンの有無を分析したところ、両種の巣からムチンが確認された。その量はツバメよりもコシアカツバメの方が多く、屋外の土には含まれていなかった。ツバメの巣は糞が混ざることによって接着強度が向上するが、コシアカツバメは唾液に含まれるムチンの量または唾液自体を多く分泌することで巣の接着強度を確保すると考えられる。

2019年から2023年までの5カ年における探究活動の結果、ツバメ類の巣の接着強度に関わる物質と唾液由来の成分であるムチンの存在の確認ができた。

教材・教具の製作方法

本実践は対象となる現象をどのように測定するかを工夫した実践であり、特別な装置の製作を行っていない。そのため簡易な製作物については学習指導方法の実験方法に記す。

学習指導方法

I. 授業における課題研究および部活動における支援について

1. 総合的な探究の時間

本実践は本校の専門学科である数理科学科(2019年4月入学生以前)および探究文理科(2020年4月入学生以降)の2年次に週2時間設定されている総合的な探究の時間の課題研究の班活動において実施した。

専門学科の課題研究は2年次に1年間をかけて少人数のゼミ形式で実施される。1班は3~5人程度で構成され、年間計画の作成、校内での計画発表会、中間発表会、成果発表会の他、府内の複数の学校が集まる発表会にも参加する。最初に先行研究を確認し、関連する論文や書籍を把握するところから活動を始めている。継続研究であるが、取り組むメンバーが全員入れ替わるため、これまでの成果の把握をさせた上で、今後何に着目していくかを考えさせるように心がけている。

2. 部活動における研究活動

自然科学部の活動では2000年より毎年3~6名程度がツバメに関する研究に関わっている。上級生と一緒に作業をする時間が持てるため、研究に関する技術等の伝承が可能である。特別な機器を用いない実験や観察で研究を継続できるよう活動しているが、特別な設備が必要な場合、筆者が企業や大学などの外部機関に協力をお願いするなどの調整を行っている。

具体的な取り組みを以下に記す。

II. ツバメの巣の接着強度の測定

1. 実験内容と方法

ツバメの巣がどれくらいの力で接着しているのかを測るために、ヒナが巣立った後の巣を外させてもらった。

*なかの あゆみ 京都府立亀岡高等学校 教諭 〒621-0812 京都府亀岡市横町 23

☎(0771)22-0103 E-mail a-nakano-17@kyoto-be.ne.jp

巣を外す力を測定するために、環状の布を用意し、布の下方にバネばかりのフックをかけて引っ張り、巣が壁面から外れたときの値を読み取った。布のサイズは長さ50 cm、幅10 cm、素材は木綿の布を利用し、布の端を縫い止めて環状にしたものを用いた。当初は布だけを巣にかけていたが、板(10 cm×15 cm×0.5 cm)を環状の布に固定し、板の部分を巣の上端に置いて布の下方を引く方と測定がやや容易になった。

2. 結果と考察

7つの巣を外した結果、巣を外すのに必要な力は2.4～5.7 kgfとなった(表1)。亀岡市内において、一つの巣から巣立つヒナは最大で6羽¹⁾、巣立ち直前の体重は1羽約20 gである²⁾。巣の重さは168.3～528.4 gであり、巣の自重とヒナの重さの合計が1 kgを超えることはなく、巣を外すのに必要な力が2.4～5.7 kgfというのは、子育てをするのに十分な強度があることが明らかとなった(図1)。



図1 巣にかかるツバメの重さと巣を外すのに必要な力

表1 ツバメの巣を外すのに必要な力について

調査日	巣を外すのに 必要な力(kgf)	巣の重さ(g)	営巣場所
2019/9/17	2.4	400.6	駐輪場
2019/11/19	3.2	168.3	駐輪場
2019/11/19	4.5	181.7	店舗
2019/11/22	5.0	528.4	農作業小屋
2019/11/22	5.0	317.0	農作業小屋
2020/1/13	3.2	211.2	民家
2020/1/13	5.7	174.3	民家

Ⅲ. ツバメの巣における藁の効果

1. 藁による接着強度の向上について

(1) 実験内容と方法

巣に藁が含まれることによる接着強度への影響を調べるために、水田の土だけで巣を作った場合と、土に藁を混ぜて作った場合で接着強度を比較した。写真1のようにツバメの巣の形を模した縦8 cm、横10 cmの人工巣を作製し木製の板に貼り付けた。板は不要となった木製の机の天板の裏面を利用した。

人工巣は①「水田の土のみ」、②「土+重量の3%の藁」、③「土+重量の3%のプラスチック製ストロー」の3種類の条件で作製した。実験で混ぜた藁の割合は実際のツバメの巣の割合から設定した。藁とストローは長さ2～3 cmに切り、ストローは3 mm幅に切ったものを用いた。ストローは藁が重要なのか、繊維状の物質の存在が重要なのかを検討するために加えた。それぞれの材料の乾燥重量の合計は100 gである。

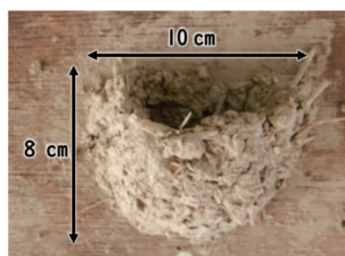


写真1 実験で作製した人工巣

(2) 結果と考察

実験の結果、①「土のみ」で人工巣を作製した場合は接着強度が小さいが、②「土+藁」では接着強度が向上することが明らかになった。また③「土+ストロー」でも接着強度は向上することが明らかになり、土に繊維状の物質が混ざることによって壁面への接着強度が向上することが明らかになった(図2)。

伝統的な建築物の土壁でも土に混ぜる藁の分量が重要であることがわかっており、適切な量の配合により、亀裂や変形が起こりにくくなることが報告されている³⁾。ツバメの巣は、藁を混ぜることで、壁への接着強度を向上させていると考えられる。

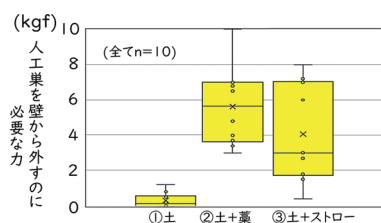


図2 土に藁等を混ぜた場合の接着強度の比較

2. 藁による圧縮強度の向上について

(1) 実験内容と方法

巣に藁が含まれることによる圧縮強度への影響を調べるために円柱状のサンプルを作製し、圧縮強度を測定した。サンプルの作製には500 mlのペットボトルの容器の上下を切り落とし、途中部分を5 cmの高さにしたものを用いて使用した。サンプルは①「水田の土のみ」、②「土+重量の3%の藁」で、直径6.5 cm、高さ5 cmの円柱を3個ずつ作製した。

(2) 結果と考察

圧縮強度は島津製作所の精密万能試験機オートグラフで測定した。土に藁が混ざっている場合は土だけの場合よりも弱い力で崩れるが、崩れ始めてから形を保つ時間が長いことが明らかになった。つまり巣に藁が含まれている方が、土だけで作製する場合に比べて圧縮に耐える力は小さいものの、崩れ始めてからも形態を保ち続けることがわかった(図3)。

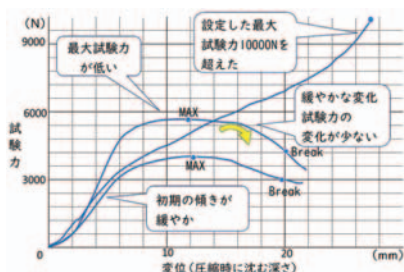


図3 「土+藁」の圧縮強度

IV. ツバメ類が巣作りに使う土のサイズの確認

1. 実験内容と方法

ツバメとコシアカツバメは両種とも湿った土を巣に使用するが、ツバメは土に藁を混ぜて巣を作るのに対し、コシアカツバメは土に藁を混ぜないで巣を作る。両種が使用する土の粒度を比較するため、土壌分析ふりを用いて土を分けた。ツバメの巣には藁が含まれているため、藁を取り除いてから粒度分析を行った。粒度の分析基準は、JIS A1204 を用いた⁴⁾。

2. 結果と考察

両種の巣に含まれる土および比較のための水田の土の構成成分は主に砂に分類されるサイズとなった(図4)。サンプルごとの粒径の割合は、ほとんどの場合で顕著な違いはみられなかった。ツバメとコシアカツバメが利用する土に違いがないことを裏付ける観察例として、同じ場所で両種が泥を採取するのを2例確認している(写真2)。観察場所は兵庫県三田市と京都府亀岡市の水たまりの縁である。両種は同じ場所で泥を採取することがあることから、巣材に利用する土が2種の間で特別な違いがあるとはいえない。コシアカツバメはツバメが利用していない特別な土を利用するのではなく、藁以外の別の物質で接着強度を向上させている可能性があることが、巣材の粒度分析および採泥の様子の観察例から示唆された。

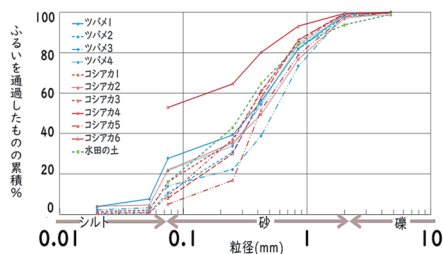


図4 巣に含まれている土の粒度分析結果(粒径加積曲線)



写真2 ツバメ(左)とコシアカツバメ(右)の採泥の様子(2022年5月1日兵庫県三田市運動公園)

V. ツバメ類の巣に含まれる唾液成分の効果

1. ムチンによる接着強度の変化

(1) 実験内容と方法

巣作りに唾液が使われている可能性を探るにあたり、ツバメの口腔内から直接、唾液を採取することが難しいため、一般に動物の唾液に含まれる「ムチン」に着目した。ムチンは高級中華食材に用いられる「燕の巣」の主成分であるが⁵⁾、この巣を作るアナツバメはツバメやコシアカツバメとは目が異なり分類的に遠い種である。海外の研究では、ムチンを疑似唾液として粘土に混ぜると押しつぶし方向の圧縮強度が増すことが報告されている⁶⁾。この実験で使用されたムチンは試薬のブタ胃ムチンである。

そこでブタ胃ムチン(富士フィルム和光純薬㈱・ムチン ブタ胃由来・生化学用)を人工巣の重量の1%分を水に溶かして土に混ぜたものと、土のみで人工巣を作製したものを木製の板(不要となった机の天板裏)に貼り付けた。人工巣の形態は製作者による接着面積のバラツキをなくすねらいから各辺3cmの立方体に変更した。サンプルは室内で一週間以上自然乾燥させ、人工巣の接着強度を分銅またはばねばかりで測定した。綿の布の下部の両脇を縫い止めて袋状にしたものの上部を人工巣にかけ、袋状の部分に分銅を入れて、巣が落下するまでの重さを測定した。分銅で測りきれない場合は、ばねばかりのフックを布に引っかけて引っ張り、土が落下するまでの力を測定した(写真3)。



写真3 接着強度の測定

(2) 結果と考察

実験の結果、土だけの場合に比べて、疑似唾液としてムチンを加えた人工巣で接着強度が向上した(図5)。ムチンは圧縮強度の向上⁶⁾だけでなく接着強度の向上にもはたらくことが明らかになった。コシアカツバメは唾液に含まれるムチンによって巣の接着強度を確保している可能性がある。

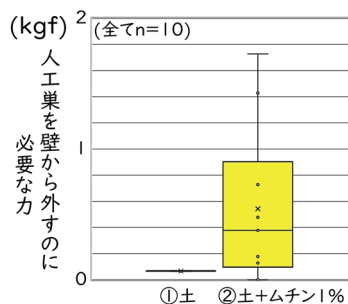


図5 土と水に溶かしたムチンを混ぜた場合の接着強度の比較

2. ツバメ類の巣に含まれるムチン

(1) 実験内容と方法

巣に唾液成分が含まれるかどうかを調べるため、ムチンの定量が可能であるコスモ・バイオ社の糞便ムチン測定キットを使用した。キットの使用には高速遠心分離機や蛍光測定装置が必要であったため京都先端科学大学に協力を依頼し、藤田裕之教授に分析のご指導をいただいた。ツバメ類の巣を蒸留水で懸濁後、オートクレープし濾過した上澄をエバポレーターにて乾固させ分析サンプルとした。得られたサンプルの蛍光測定により巣の中のムチンの分析を行った(写真4)。



写真4 ムチン分析

(2) 結果と考察

ツバメ、コシアカツバメの両種の巣にムチンが含有していることを確認できた。その一方でツバメ類が採泥していた場所の屋外の土からムチンは確認されなかった(表2)。ツバメ、コシアカツバメの巣から確認されたムチンは唾液由来と考えられ、ツバメもコシアカツバメも巣作りに唾液を使用していることが明らかになった。コシアカツバメのムチンの量がツバメに比べて多いが、ツバメは糞を混ぜることで接着強度を確保できるのに対し、コシアカツバメは土だけで巣を作るため唾液に含まれるムチンの量または唾液自体を多く分泌することで巣の接着強度を確保すると考えられる。

表2 ツバメ類の巣と屋外の土に含まれるムチンの量について

サンプル	入手場所	熱水抽出後 重量 (mg/10g)	ムチンの量 ($\mu\text{g/g}$)
ツバメの巣	兵庫県三田市	31	17.3
コシアカツバメの巣	京都府亀岡市	50	133.0
土	兵庫県三田市	17	0.0
土	京都府亀岡市	9	0.0

実践効果

活動の出発点は「ツバメの巣は土と糞と唾液で作られているのは本当なのか」という疑問だった。筆者の指導のもとに、生徒たちはツバメの巣に含まれる物質を探るため、仮説を設定し、実験計画を立てて研究活動を進めた。構成材料や化学成分を調べたり、接着強度を測定したりする実験を通して、構成や成分の違いで強度に違いが出てくることがわかった。

土に適量の糞が混ざること、接着強度が向上することが明らかになったことから、生徒たちは巣材に糞が混ざるツバメの巣に唾液は含まれていないという結論に達した。糞を混ぜた人工巣はヒナや巣の自重の数倍の接着強度を持っていたためである。しかし土のみで巣を作るコシアカツバメの巣が壁に付く理由が説明

できないため、巣材は土だけなのかどうかを確認しようとした。そこで校内で使われていない巣を取り外し、巣に水を適量混ぜて接着強度が得られるか実験した。それらの土は壁によく接着し、また水を加えたときの土の粘性が水田の土の粘性に比べて異なることも発見した。これらのことからコシアカツバメの巣には何か特別な物質が含まれていると生徒たちは確信を得た。その後、学会やコンテストで発表を重ね、専門家から助言を得ることで、新たな実験計画につなげるなど、未知のことに対する姿勢に変化が見られるようになった。本研究にかかわった生徒の一人は、「普通だと思いうことに対して疑問を持つ心を忘れず学び続けていきたい。」と述べている。

その他補遺事項

現在の接着強度の実験では、コンクリートパネルにリシンを吹きつけたモルタル外壁の表面と同様の加工がなされた板を用いている。ツバメの巣はモルタルの外壁の住宅で見られることが多く、外壁の素材の違いによる接着強度の比較を行いたいと考えている。

謝 辞

京都先端科学大学バイオ環境学部食農学科の藤田裕之教授にはムチンの分析についてご指導いただきました。令和2年度には京都府教育委員会の島津製作所による課題研究支援の対象チームに選出され、圧縮強度等の測定に関して支援を受けました。研究助成として第60回(令和3年度)下中科学研究助成金と令和4年度および令和5年度 中谷医工計測技術振興財団 科学教育振興助成の助成を受けました。株式会社京・塗・屋様には実験用のモルタル外壁を作っていただきました。近隣住民の方、京都新聞の紙面およびweb上に掲載された記事を読まれた方からツバメの巣をご提供いただきました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 亀岡みらいパス、特定非営利活動法人プロジェクト保津川: 亀岡ツバメ調査2016結果報告書(2017)。
- 2) 金井郁夫: ツバメの生態(第3報), 山階鳥類研究所研究報告, 2, 30-40(1960)。
- 3) 山田宮土理, 興石直幸: 糞スサを混入した荒壁土および中塗土の性質, 日本建築学会構造系論文集, 78, 1209-1218(2013)。
- 4) JIS A 1204 土の粒度試験方法(2020)。
- 5) B.-H. Yeo, T.-K. Tang, S.-F. Wong, C.-P. Tan, Y. Wang, L.-Z. Cheong and O.-M. Lai: Potential residual contaminants in edible bird's nest, Front. Pharmacol., 12, 631136(2021)。
- 6) Y. Jung, S. Jung, S. Lee, W. Kim and H.-Y. Kim: Avian mud nest architecture by self-secreted saliva, PNAS, 118, e2018509118(2021)。