

特集：スクミリングガイ研究の進展状況と防除技術の展望

電気的手法によるスクミリングガイ防除の試み

佐世保工業高等専門学校 電気電子工学科

柳生^{やぎゅう} 義人^{よしひと}・大島^{おおしま} 多美子^{たみこ}・猪原^{いはら} 武士^{たけし}・
川崎^{かわさき} 仁晴^{ひろはる}・須田^{すだ} 義昭^{よしあき}

はじめに

動物や昆虫等に対する駆除や行動抑制への電気の直接的な利用は、野生動物の農地などへの侵入を抑制するための電気柵や昆虫の走光性を利用して捕虫・殺虫する装置など身近に目にする事ができる。我々は水田作物に甚大な被害をもたらすスクミリングガイ *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) に対し、電気工学的アプローチにて防除方法の研究開発を進めている。

スクミリングガイなど腹足類が有する特徴の一つとして、外部からの物理的、化学的刺激等を受けると、筋肉を収縮させ殻口を蓋で塞ぎ殻内に閉じこもるといった専守防衛的な閉じこもり行動を示すことが挙げられる。閉じこもり行動を示している間は、移動、摂食、交尾等の行動は行われず不活発な状態になることから、閉じこもり行動を誘発する条件を人為的に整えることでスクミリングガイの行動を制御、抑制できると考えられる。先行研究として電気工学の立場からスクミリングガイの閉じこもり行動に着目し、80 V ~ 330 V の比較的高い電圧による電気ショックを与えることで閉じこもり行動を誘発し、摂食行動や交尾行動が一時的に抑制されることが示されている(佐藤ら, 1998)。また、電気化学的作用に着目し、直流電流を貝の飼育水槽に通電することでイオン化した電極材料がスクミリングガイの殺貝に与える影響を数種類の電極材料および交流電流に対して比較検討した結果、銅電極を用いたときが最も効果が高く、水中の銅イオン濃度が 3.3 ppm のときに 100% の死亡率を得られたことが報告されている(高田ら, 1997)。これらの先行研究により、電気によるスクミリングガイの行動抑制効果および駆除の可能性が示唆されている。しかし、実用化の観点から農業従事者、農作物および環境に対する安全安心が最優先される現場において、高電圧の使用は感電事故につながる危険性の高い方法であり、ま

た重金属である銅イオン濃度は農業用水基準(水稻)において 0.02 ppm 以下と定められていることから水田での施用は困難なため、環境や人の安全に対する配慮がなされた新たな方法を考案する必要がある。そこで、我々は、比較的低い電圧による電気ショックを利用して、スクミリングガイの閉じこもり行動を誘発し、その摂食や移動行動を抑制することで、食害回避効果が認められるかどうかを検討したので紹介する。なお、本研究では、スクミリングガイの要防除期間が播種から 3 週間と比較的短いことから、初期投資を抑えるために、周波数変換器やパルス発生器などを使用せず、汎用電源(電圧 AC100 V, 周波数 60 Hz)を使用した防除を想定している。

I 電気ショックがスクミリングガイの閉じこもり行動に与える影響

1 電気ショックに対するスクミリングガイの閉じこもり行動

匍匐しているスクミリングガイの電気ショックに対する閉じこもり行動(図-1)は、電気刺激を受けた直後に匍匐行動(図-1(A))から閉じこもり前兆行動(図-1(B))に移り、閉じこもり(図-1(C)(D))に至る。その際、電気ショックとして感受できるがその程度が弱い場合は、刺激を受けた直後に匍匐している状態から閉じこもり行動の前兆に移行するものの、再び匍匐行動に復帰することもある。

2 電気ショックと閉じこもり行動の関係

電気ショックの強さとスクミリングガイの閉じこもり行動の関係を調べるため、水槽に平行平板電極を配置し、印加電圧に対する閉じこもり行動の有無について調べた。その際、スクミリングガイの進行方向に対して同じ方向に通電する水平型(図-2(A))および垂直方向に通電する垂直型(図-2(B))に配置した二種類の実験用水槽を用意した。実験回路はスライドトランス、タイマーおよびスライド抵抗、水槽から構成されている。水平型の実験用水槽の両電極と垂直型の実験用水槽の下部電極にはアルミニウム板を、垂直型の実験用水槽の上部電極には、スクミリングガイの行動を観察するためにアルミニウム網(網目 1 mm × 1 mm)を使用した。スク

The Applications of Electrical Method as a Novel Apple Snail Control Technique. By Yoshihito YAGYU, Tamiko OHSHIMA, Takeshi IHARA, Hiroharu KAWASAKI and Yoshiaki SUDA

(キーワード: スクミリングガイ, 閉じこもり行動, 電気ショック, 電界, 電流密度)

ミリングガイが匍匐する路面には、水田の路面状況を模擬するために軟質ビニール製の網を敷くことで、腹足と路面間の接触面積を減らして不自然な閉じこもり行動を抑制した。

電極間に発生させる電気ショックは、汎用電源（周波数 60 Hz）からスライドトランスを介して減圧した電圧を印加した。また、試験に用いるスクミリングガイは、その大きさの指標となる殻高（図-3）を 10 mm ～

40 mm の間で 5 mm 間隔で 6 群に分けた。スクミリングガイは個体間の相互作用を避けるため一頭ずつ供試し、電圧印加直前に飼育水槽から一対の電極を設置している実験用水槽に移した。ここで、実験用水槽に入れてから 30 秒以内に歩行を開始しないスクミリングガイは不活発として試験から除いた。水中に発生させる電気ショックは、電極間に印加する電圧により算出した電界もしくは電流密度を基準として、9.1 V/m（電流密度 0.1 A/m²）から 45.5 V/m（電流密度 0.5 A/m²）の間で変化させた。電気ショックを与えるための電圧の継続時間はタイマーによって 1 秒間に設定し、スクミリングガイの匍匐中に水槽内に単発で発生させた。閉じこもり行動はスクミリングガイの腹足が完全に路面から離れ、殻内に収められたときに成立したものとし、閉じこもり行動の有無は電気ショックを発生した直後に目視にて判断した。実験には、遊離残留塩素を除去した水道水（電気伝導度は約 11 mS/m、水温 27℃～30℃）を使用した。なお、本実験は、殻高および電気ショックの強さに対してそれぞれ 6 反復ずつ無作為な順番で行った。

スクミリングガイの電気ショックに対する閉じこもり

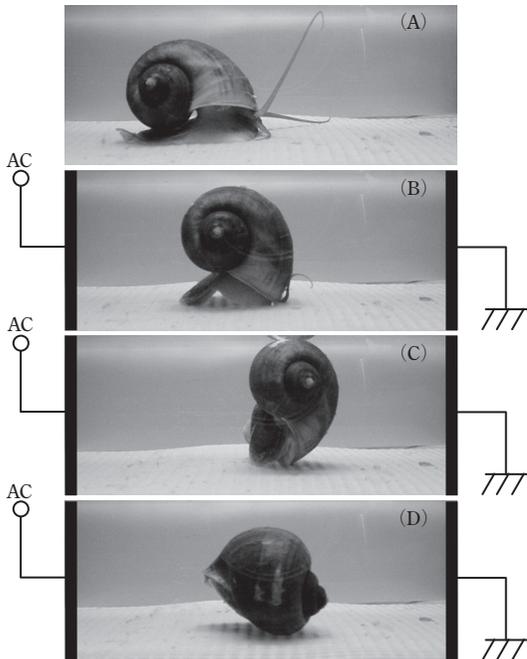
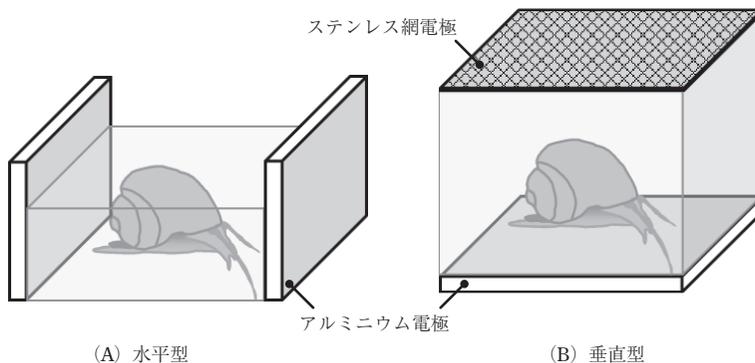


図-1 電気ショックに対するスクミリングガイの専守防衛的な閉じこもり行動の様子

- (A) 通常の匍匐行動, (B) 閉じこもり行動の前兆,
(C) 閉じこもり行動直前, (D) 閉じこもり行動。



図-3 スクミリングガイの殻高



(A) 水平型

(B) 垂直型

図-2 電気ショックと閉じこもり行動の関係を調べるための電極配置

行動は電気ショックの強度に依存し、両実験系ともに電極間の電界（電流密度）の上昇に伴って閉じこもり行動を示すスクミリングワイが増加した（図-4；Kruskal-Wallis test：水平型 $P < 0.001$ ；垂直型， $P < 0.001$ ）。また、スクミリングワイの閉じこもり行動は通電方向にも依存し、垂直型と比較して水平型のほうが閉じこもり行動を誘起しやすい傾向にあったことから、電気ショックを受けやすいことが判明した（図-4；Mann-Whitney U-test： $P < 0.05$ ）。

継続時間 1 秒間で単発の電気ショックを与えた場合、すべての供試貝が殻内に閉じこもる電界のしきい値は、

水平型で 31.8 V/m（電流密度 0.35 A/m²）、垂直型 40.9 V/m で（電流密度 0.45 A/m²）あった（YAGYU et al., 2005）。また、殻高と閉じこもり行動の間には、殻高が大きくなるほど閉じこもり行動を示しやすいという関係（図-5；水平型： $r = -0.89$ ， $P < 0.05$ ；垂直型： $r = -0.88$ ， $P < 0.05$ ）があり、電気ショックの閉じこもり行動に対する殻高依存性が認められた。

供試したすべてのスクミリングワイが閉じこもり行動を示すしきい値未満の電気ショック（水平型 31.8 V/m、垂直型 40.9 V/m 以下）を与えたとき、スクミリングワイは瞬間的に触角や頭部を収縮させて閉じこもり行動を

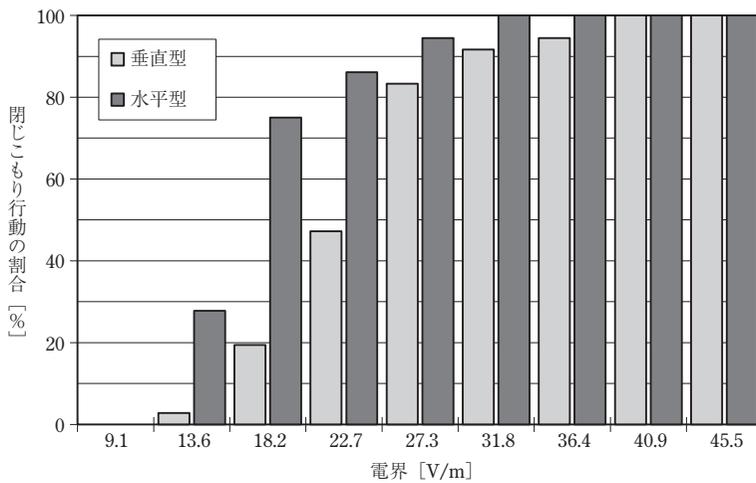


図-4 電界（電気ショック）に対する閉じこもり行動の割合（YAGYU, Y. et al. (2005) を改変）。

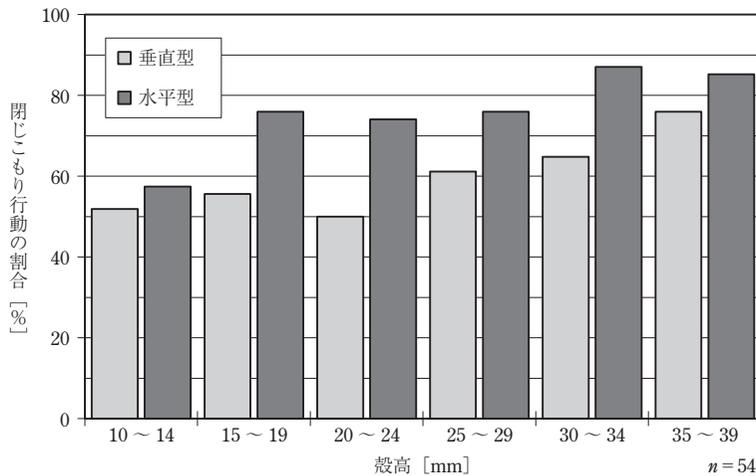


図-5 電気ショックを受けたスクミリングワイの殻高と閉じこもり行動の関係（YAGYU, Y. et al. (2005) を改変）。

とる前兆(図-1 (B))を示した。また、電気ショックが水平型で13.6 V/m (0.15 A/m²), 垂直型で18.2 V/m (0.2 A/m²) 以下のとき、ほとんどのスクミリングガイは電気ショックに応答せず、通常の匍匐姿勢(図-1 (A))を継続した。

3 電気ショック感受に関する一考察

スクミリングガイは、電気ショックの感知に特化した感覚神経を供えている可能性は低く、電気ショックを腹足や触角等筋肉部に流れる電流による痙攣として感知していると思われる。また、殻は優良な絶縁体である炭酸カルシウムに覆われているため、内臓部への通電はないと推察される。電気ショックを水平方向に与えた場合、スクミリングガイは主に腹足と触角を通じて感受していると考えられ、一方、垂直方向に発生させた場合、スクミリングガイは主に触角と腹足の末端および頭部の一部分で感受していると考えられる。殻高が大きく腹足が長い成貝ほど筋肉部の電圧降下が高くなり、体内を通電する電流値が増加すると考えられる。したがって、小型貝が閉じこもり行動を示さない電界値においても、大型貝の筋肉部には電気ショックを感じて閉じこもり行動を示すほどの電流が流れることから、小型貝と比較して大型貝の方が低い電界値でも閉じこもり行動を示す理由の一つであると考えられた。

II 電気ショックによる食害回避効果および実用化の可能性

1 電気ショックによる食害回避効果

比較的低い電圧による電気ショックをスクミリングガイに与えることで、閉じこもり行動を確認することができたため、次に水田での施用を想定した電気ショックによる食害回避効果について実用化の可能性を含めた検討

を行った。

実験には、野外に設置されたコンクリートポット(図-6: 2 m²; 1 × 2 m)を使用し、電気ショックによる食害回避効果を試験するための実験区(図-7)と比較対照区をそれぞれ2区画ずつ用意した。それぞれのコンクリートポットには200粒(100粒/m²)の発芽粉を条間30 cmにて10 cmの幅で播種し、水深約5 cmになるよう水道水を注入した。なお、ポット内の水の電気伝導度は約30 mS/mで、実際の水田の水とほぼ等しい値であった。

電気ショックによる食害回避効果を試験するための防除区のコンクリートポット(B)および(C)には、スライドトランス、可変抵抗、タイマーおよび電極(ステンレス線電極、アース電極)により構成しており、これらのポットは、水田を電氣的に模擬した大地と同電位とするために内壁をアルミニウムで覆い接地電極(アース)とした。また、対向電極にはステンレス線電極(直径0.3 mm, 長さ1 m)を30 cm間隔で並列接続し、播種した発芽粉に沿って土壌から高さ約1 cmの間隙を維持して6本設置した。また、電極を設置しなかった二つのコンクリートポット(A)および(D)について、コンクリートポット(A)は発芽粉の苗立ち率を調査し、コンクリートポット(D)はスクミリングガイを放飼することで食害の調査を行った。

苗立ち率を調査するポット以外のすべてのポットには播種5日後に殻高20 mm(±2.5 mm)のスクミリングガイを10頭放飼した(貝密度5頭/m²)。電気ショックによる食害回避効果を試験するための実験区では、線電極を中心に幅5 cmの範囲を防除域に設定し、その防除端域に生じる電界がスクミリングガイの匍匐を抑制する60 V/mになるよう印加電圧を約30 Vに調節した。電圧

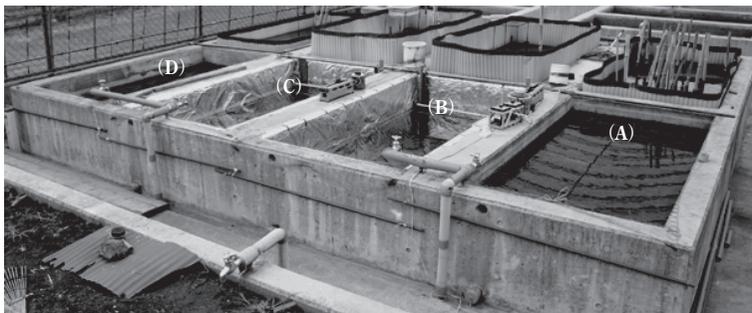


図-6 電氣的防除による食害回避試験に使用したコンクリートポット

(A) コントロール(幼苗のみ), (B) 電氣的防除区(スクミリングガイ・幼苗・電気ショック1.0秒/5.0秒), (C) 電氣的防除区(スクミリングガイ・幼苗・電気ショック1.0秒/10.0秒), (D) 無防除区(スクミリングガイ・幼苗).

はタイマーにより間欠に印加し、ON と OFF のインターバルは、それぞれ5秒ごとに1秒をON (1.0秒/5.0秒)、または、10秒ごとに1秒をON (1.0秒/10.0秒と)した。試験期間は電圧印加開始 (スクミリングカイ放飼) から7日間とし、コンクリートポット (A) (コントロール) における苗立ち率とコンクリートポット (B) (C) (D) における苗立ち率を比較した。

試験開始から7日後にそれぞれのポットの苗立ち率を調査したところ、無処理区 (コントロール) では67.5%、スクミリングカイによる食害について調査した

コンクリートポット (D) ではすべての苗が食害を受けており苗立ち率は0%、印加電圧のインターバルを1.0秒/5.0秒に設定したポット (B) では71.0%、1.0秒/10.0秒に設定したポット (C) では65.5%であった。コントロールに対する苗立ち率は、1.0秒/5.0秒と1.0秒/10.0秒のポットにおいてそれぞれ105.2%と97.0%であり、いずれも高い食害回避効果が得られた (図-8)。防除区に印加した電圧は約30Vであり、比較的低い印加電圧で電気ショックによる食害回避効果を確認することができた。

2 水田での実用化の可能性

本試験で用いたコンクリートポット (2m²) において要防除期間である播種から3週間に渡って連続電圧印加による食害回避を実施したときの電力量を算出すると約20kWhとなる。したがって、電気料金を1kWh当たり20円と仮定すれば、電気ショックの継続時間と発振間隔が1.0秒/10.0秒の条件での電気料金は34.8円と見積もられる。仮に10aの圃場全面に本試験で使用した電極構造および得られたパラメータを適用できると仮定すると、防除に必要な総電力は約9,560kWhとなり、電気代は17,400円となる。実際に圃場に適用されている高価な農薬でも10a当たり約3,000円であることを考慮すると、電気ショックによる防除費用は農薬の約6倍にもなって非常に高い。

コンクリートポットでは電気ショックによる食害回避

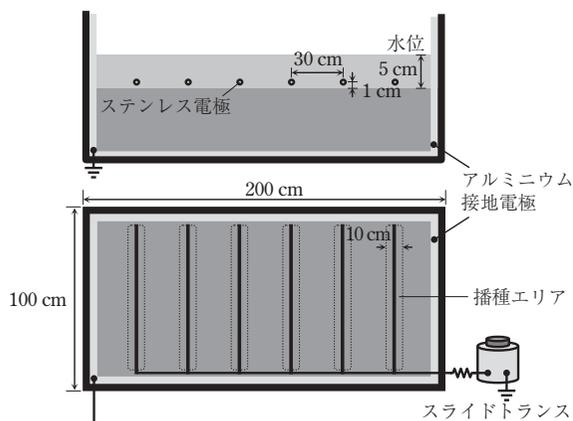


図-7 電気的防除区のコンクリートポットの構成

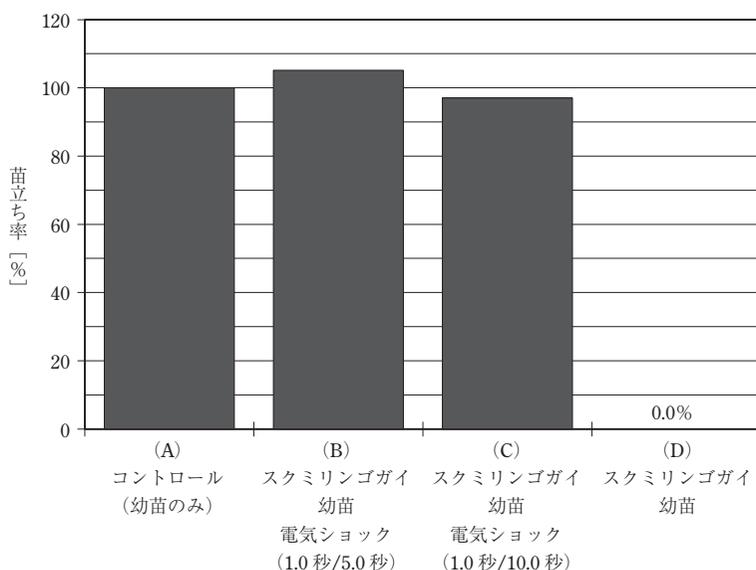


図-8 電気的防除による食害回避効果 (コントロールの苗立ち率を100%とし、電気的防除区および無防除区とを比較した)

効果が認められ、実用的な苗立ち率を確保することができたが、実際の水田への施用に関しては、電気的防除に必要な電力量（電気料金）以外にも、電極などの設備投資、大規模水田への適用の可能性、接地抵抗および電気伝導度など水田の電気的特性の差異が問題点として挙げられる。

水田に貯水された水の電気伝導度は、1970年3月に農林水産省により制定された農業（水稲）用水基準により30 mS/m以下と定められているが、条件によっては、電界が線電極の極近傍のみに集中しやすくなるため、防除端域において有効な電気的條件（電界60 V/m）を得るために印加電圧を高くする必要が生じる。高電圧の印加は感電事故の危険性を高めるうえに、防除には関与しない余剰な電流による無駄な消費電力の増加が懸念される。水田においては水の電気伝導度が高いなどの理由により、高電圧を印加しなければならない条件下での電気ショックによる食害防除法の適用は、安全性を担保できなくなる可能性が高い。したがって、電気ショックによる防除を水田に施用する際、水田全体への適用は困難であるため、取排水口付近など水が溜まりやすく被害が発生しやすい比較的狭い範囲への部分的な適用が適切であると考えられる。

お わ り に

スクミリングガイが日本に導入されてから30年ほど

経過するが、依然として水稲苗を中心に突発的な被害が出ることもあり、水稲における重要な害虫として認識されている。農業就業人口の減少および農業従事者の高齢化が進行する中、水稲直播栽培が推進されているものの、スクミリングガイの存在がその普及を大きく妨げている。我々は、工学的な立場からスクミリングガイの防除に取り組んでおり、電気ショックを利用した食害回避のほかにも、オゾンによる行動抑制効果、超音波による殺貝や電気によって誘導される特異な行動を利用した集貝などについても研究を進めている（柳生ら、2014）。本稿において紹介した電気ショックによって閉じこもり行動を誘発するスクミリングガイの行動を抑制する手法は、食害回避だけでなく、侵入防止や産卵行動の抑制などへの効果も認められており、これらの研究によって得られた知見・技術を活用しながら、今後もスクミリングガイの防除法を提案していきたいと考えている。

謝辞 本稿の成果は、農研機構九州沖縄農業研究センター 和田 節氏、佐賀大学 山部長兵衛名誉教授、佐賀大学産学・地域連携機構 佐藤三郎教授、九州大学大学院総合理工学研究院 林 信哉准教授のご指導とご支援の賜であり、ここに心から感謝の意を表する。

引 用 文 献

- 1) 佐藤三郎ら (1998): 応動昆 42: 129 ~ 133.
- 2) 高田典克ら (1997): 電気学会放電研究会 209: 77 ~ 80 (講要).
- 3) Yagyu, Y. et al. (2005): IEEJ 125: 656 ~ 662.
- 4) 柳生義人ら (2014): 応用物理学会九州支部 40: 84 (講要).

農林水産省プレスリリース (27.1.16 ~ 2.15)

農林水産省プレスリリースから、病害虫関連の情報を紹介します。

<http://www.maff.go.jp/j/press/syouan> の後にそれぞれ該当のアドレスを追加してご覧下さい。

◆「平成26年度 病害虫発生予報第10号」の発表について (2/12) /syokubo/150212.html