研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

研究テーマ	害虫カメムシが個体間のコミュニケーションに用いている振動信号の解明と行動制御技術への応用	報告書作成者	上地　奈美
研究従事者	上地　奈美		

研究目的

チャバネアオカメムシ（図 1）は、果樹の果実を加害する害虫であり、クサギカメムシ、ツヤアオカメムシと並んで「果樹カメムシ」と呼ばれる。体長 1cm 程度で、日本国内に広く分布する果樹カメムシの主要種である。

ところで、多くの昆虫が個体間のコミュニケーションに音や振動を用いている（Hill ＆ Wessel 2016）。チャバネアオカメムシに関しては、比較的低い周波数の振動（100～500Hz あたり）に反応することや、カメムシ自身が振動を発すること等が明らかになっており、コミュニケーションに振動を用いていることが推察される。そこで、カメムシ自身が発する振動信号を計測し、カメムシの行動制御および防除に応用できるような振動信号を明らかにすることを試みた。

研究内容

【材料と方法】

供試虫

試験に供したチャバネアオカメムシ成虫は、茨城県つくば市藤本（農研機構植物防疫研究部門）にて、乾燥ダイズおよび生ラッカセイを用いて累代飼育されている 3～10 日齢の成虫を用いた。

1）腹部運動の頻度

メス成虫 24 頭、オス成虫 8 頭を、プラスチックシャーレ（直径 5cm、高さ 15mm）に 1 頭ずつ入れて並べ、60 分間観察した。

2）腹部運動の振動計測

成虫を 1～2 頭ずつ、プラスチックシャーレ（直径 5cm、高さ 15mm）に入れて、振動のノイズを抑えるためにウレタンスポンジの上に並べた（図 2）。腹部の上下運動を始めた個体に、レーザドップラ振動計（VibroGo，ポリテックジャパン株式会社）のレーザーをシャーレの蓋越しに上から照射して、振動の周波数および振幅を計測した（図 2）。主に腹部の背面側からレーザーを照射したが、成虫が蓋に止まっている場合は腹面側から照射した（図 3）。ノートパソコンおよびソフトウェア（VibSoft、ポリテックジャパン）で計測と記録をおこなった。得られた振動データから、成虫が発する周波数を FFT により解析した。目視でメス成虫の腹部運動を認めることができ、複数個体の運動を計測した。一方、オス成虫に関しては、目視では動きを認めなかったものの、試しに 1 個体にレーザーを照射してみたところ振動が計測されたので記録した。

研究内容（続き）	3）異なる周波数の振動への反応 腰高シャーレの底に穴を開けて、アンプ内蔵小型加振器（K2007E01, The Modal Shop 社, 米国）の加振部分にネジで固定した（図 4）。腰高シャーレ内にカメムシ成虫を 1 頭入れて加振した。振動条件として、強さ 1m/s^2 (0-p 値)、周波数 25～1,000Hz の周波数の振動を 1～3 回繰り返して与え、フリーズ反応や驚愕反応の有無を確認した。加振の際は、供試虫が振動に慣れるのを避けるため、加振の持続時間は 1 秒とし, 間に 14 秒以上の休止時間を設けた。6個体供試した。
研究結果と考察	1）腹部運動の頻度 メス成虫 24 頭中 5 個体で、腹部を細かく上下させる腹部運動が認められた。うち 4 個体ではいったん止まっても再び動きはじめ、最大 4 回繰り返された。継続時間は、振動開始と終了を確認できた 5 回において、平均 4.2 分（標準誤差 0.9 分）だった。オス成虫では、観察開始後 38 分で 8 頭中 1 個体の腹部運動が認められた。小刻みに数回振動があり、継続時間は 3 秒以内だった。 2）腹部運動の計測 メス成虫では複数の個体で腹部の運動が認められ、いずれも、周波数は150Hz 前後だった。また、オス成虫では初めて計測できた。メス同様に、150Hz 前後の周波数がみとめられた。計測できた振動は 10 秒以上連続していため、これまで目視で確認されている数秒間の腹部運動とは異なるものだと考えられる。いずれにしても、今回の観察により、オスもメスも 150Hz 前後の振動を発することを確認した。同じく果樹カメムシの一種であるクサギカメムシは、オスもメスも 3 種類ほどの振動パターンを持っており、それらの周波数はいずれも 100Hz 以下である（Polajnar et al. 2016）。チャバネアオカメムシ成虫は、クサギカメムシより高い周波数域を主に利用している可能性が考えられた。 3）異なる周波数への反応 チャバネアオカメムシ成虫は、周波数が 100～300Hz で反応する個体が多い傾向にあった（図 6）。加振時に、触角を動かす行動が多く見られ、脚を上下させたり、体の向きを変えたりする行動も観察された。 上地・高梨（2021）では、キリの苗木に止まったチャバネアオカメムシ成虫を加振し、50～1,000 Hz の周波数において反応行動を観察し、特に 150 Hz と 500 Hz において, 小さい振動強度（0.02 m/s^2）で反応を確認している。今回の実験でも、おおむね同様な傾向が得られた。なお、ガラスの腰高シャーレでの加振は、より単一の周波数を与えることができ、木の枝の加振よりも、異なる周波数に対する反応性をより詳細に観察できたと考えられる。

研究のポイント	チャバネアオカメムシは、日本各地に分布し、果樹を加害する害虫である。チャバネアオカメムシは腹部を動かして振動を発していることが報告されており、他の多くの昆虫と同様に、振動を使って個体間の交信を行っていることが示唆されている。本研究では、チャバネアオカメムシの成虫が発する振動の特徴を明らかにし、振動を使った害虫防除に資する基礎的な情報を得ることを目的とした。まず、成虫が腹部を運動させる回数や時間を観察した。次に、レーザドップラ振動計を用いて、出された振動の速さ(周波数)や強さ(振幅)を計測した。さらに、小型加振機を用いて成虫に対して異なる周波数の振動を与え、どの振動に反応しやすいかを確認した。これらの結果により、チャバネアオカメムシが特定の振動に反応する傾向が明らかになり、防除への応用が期待される。
研究結果	メス成虫の一部では、腹部の上下運動が繰り返し観察され、優位な周波数は150Hz前後だった。オス成虫も同様の周波数の振動を発していることが確認され、これらは目視で認められる腹部の運動とは異なる可能性が示唆された。振動刺激に対する反応実験では、100～300Hzの範囲で感受性が高い個体が多く、触角や脚の動き、体の向きを変えるなどの行動が観察された。これらの結果から、チャバネアオカメムシは特定の振動帯域に対して選択的に反応し、振動による行動制御があることが示された。
今後の課題	現在、害虫がコミュニケーションの手段として用いる振動情報を逆手にとって害虫防除に利用する試みが進んでいる(例えば、Yanagisawa et al. 2024)。害虫のカメムシ類においても、ミナミアオカメムシの交尾阻害(Polajnar & Čokl 2008)やクサギカメムシの行動制御(Polajnar et al. 2015)の研究例がある。チャバネアオカメムシについて振動による行動制御効果を見出すことで、果樹の被害抑制の技術が可能になると考える。今後、被害抑制において対象とする行動反応を見出し、その行動の制御が可能な振動条件を明らかにする必要がある。その際、今回は研究室で累代飼育されている個体を用いたが、野外の成虫でも観察をおこなう必要がある。

図1 チャバネアオカメムシ成虫

図3 レーザドップラ振動計で計測中の成虫

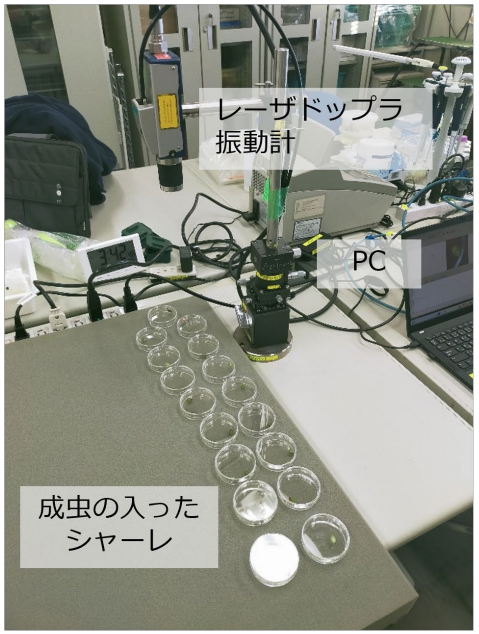

図2 レーザドップラ振動計を用いた計測

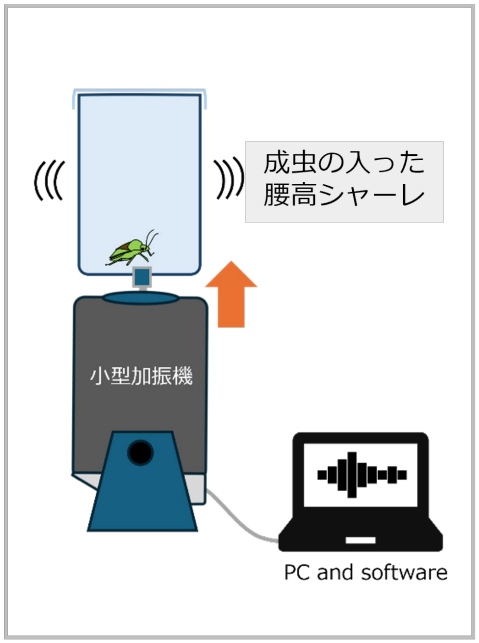

図4 振動に対する反応観察の模式図

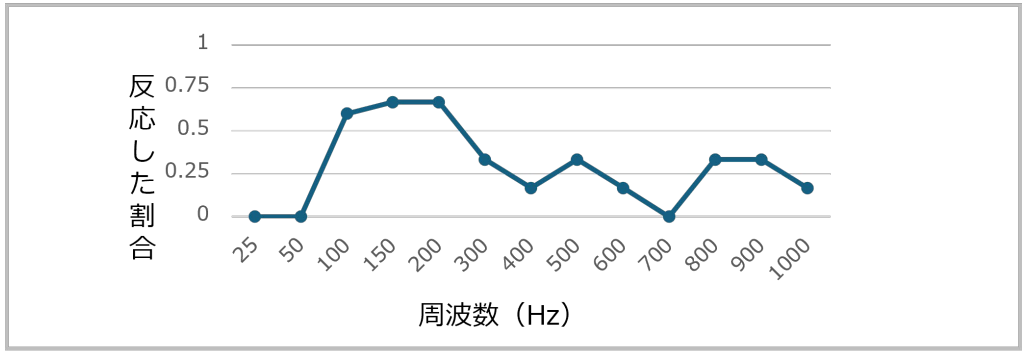

図5 チャバネアオカメムシ成虫が反応した割合

研究収支計算書【サウンド技術振興部門】（単位：円）

	科目	予算額	実績額	
収入	カワイサウンド技術・音楽振興財団	500,000	500,000	
	運営費交付金（農研機構）	100,000	98,463	
	合計	600,000	598,463	

	科目	予算額	実績額	助成金充当額
支出	旅費	50,000	44,398	0
	消耗品費	150,000	154,765	100,700
	その他	400,000	399,300	399,300
	合計	600,000	598,463	500,000

科目別支出内容明細	
旅費	
ブドウ葉の振動試験のサンプリング	44,398
1人1泊2日（岩手県紫波町のブドウ生産園）	
消耗品費	
植物育成ライト用電源ケーブル　2本	2,420
植物育成ライトLED615mm　3セット	53,361
植物育成ライト用連結ケーブル　6本	3,630
L（＋）－アスコルビン酸ナトリウム　1個	1,551
L－システイン塩酸塩一水和物　1個	2,574
生落花生　1袋	2,200
生落花生　1袋	1,980
プラテナー　岐阜プラスチック工業　N-2透明　1個	989
精密用マイナスドライバー　ANEX　軸長50mm先　3本	323
鶴の子大豆　1L　4袋	21,780
なま落花生 中手豊（なかてゆたか）5袋	8,690
ゼブラジムノック0．5 黒 1本入 油性 本体　1箱	762
コクヨ測量野帳　2冊	440
Shindo Trap CBC(EUROPE) SRL（イタリア）　2個	50,600
SD－04用クイックシュー（カメラ台座+カメラネジ）　1個	3,465
その他	
ポータブルレーザードップラー振動計レンタル　1式	399,300

様式－11

研究報告書

チャバネアオカメムシ成虫の腹部運動による振動計測

緒　言

チャバネアオカメムシ（図 1）は、果樹の果実を加害する害虫であり、クサギカメムシ、ツヤアオカメムシと並んで「果樹カメムシ」と呼ばれる。体長 1cm 程度で、日本国内に広く分布する果樹カメムシの主要種である。

一方、多くの昆虫が個体間のコミュニケーションに音や振動を用いている（Hill & Wessel 2016）。チャバネアオカメムシに関しては、これまで、比較的低周波の振動（100～500Hz あたり）に反応することや、カメムシ自身が振動を発すること等が明らかになっており、コミュニケーションに振動を用いていることが推察される。そこで、これを逆手にとって、カメムシ自身が発する振動信号を計測し、カメムシの行動制御および防除に応用できるような振動信号を明らかにすることを試みた。

図 1　チャバネアオカメムシの成虫

材料と方法

供試虫

試験に供したチャバネアオカメムシ成虫は, 茨城県つくば市藤本（農研機構植物防疫研究部門）にて、乾燥ダイズおよび生ラッカセイを用いて累代飼育されている 3～10 日齢の成虫を用いた。

１）腹部運動の頻度

メス成虫 24 頭、オス成虫 8 頭を、1 頭ずつプラスチックシャーレ（直径 5cm、高さ

15mm）に入れて並べ、60 分間観察した。

２）腹部運動の振動計測

1～2 頭ずつプラスチックシャーレ（直径 5cm、高さ 15mm）に入れて、振動のノイズを抑えるためにウレタンスポンジの上に並べた。腹部の上下運動を始めた個体に、レーザドップラ振動計（VibroGo, ポリテックジャパン株式会社）のレーザーをシャーレのフタ越しに上から照射して、振動の周波数および振幅を計測した（図 2）。主に腹部の背面側からレーザーを照射したが、蓋に止まっている個体の場合は腹面側から照射した（図 3）。ソフトウェア（VibSoft、ポリテックジャパン）で計測と記録をおこなった。得られた振動データから、成虫が発する周波数を FFT により解析した。目視でメス成虫の腹部運動を認めることができ、複数個体の運動を計測した。一方、オス成虫に関しては、目視では動きを認めなかったものの、試しに 1 個体にレーザーを照射してみたところ振動が計測されたので記録した。

図 2　レーザドップラ振動計を用いた計測の様子　図 3　計測中の成虫

３）異なる周波数の振動への反応

腰高シャーレの底に穴を開けて、アンプ内蔵小型加振器（K2007E01, The Modal Shop 社，米国）の加振部分にネジで固定した（図 4）。腰高シャーレ内にカメムシ成虫を 1 頭入

れて加振した。振動条件として、強さ 1m/s^2 (0-p 値)、25～1000 Hz　の周波数の振動を 1～3 回繰り返して与え、フリーズ反応や驚愕反応の有無を確認した。加振の際は、供試虫が振動に慣れるのを避けるため、加振の持続時間は 1 秒とし、間に 14 秒以上の休止時間を設けた。 6 個体供試した。

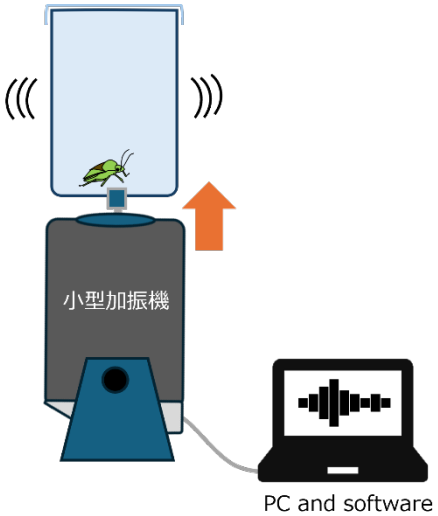

図 4　振動に対する反応の観察装置

結果と考察

１）腹部運動の頻度

メス成虫 24 頭中 5 個体で、腹部を細かく上下させる腹部運動が認められた。うち 4 個体ではいったん止まっても再び動きはじめ、最大 4 回繰り返された。継続時間は、振動開始と終了を確認できた 5 回において、平均 4.2 分（標準誤差 0.9 分）だった。オス成虫では、観察開始後 38 分で 8 頭中 1 個体の腹部運動が認められた。小刻みに数回振動があり、継続時間は 3 秒以内だった。

２）腹部運動の計測

メス成虫では複数の個体で腹部の運動が認められ、いずれも、周波数は 150Hz 前後だった。これは、上地・高梨（2023）で報告されたメス成虫の優位周波数の値と一致する。また、オス成虫では初めて計測ができた。メス同様に、150Hz 前後の周波数がみとめられた。計測できた振動は 10 秒以上連続していため、これまで目視で確認されている数秒間の腹部運動とは異なるものだと考えられる。いずれにしても、今回の観察により、オスもメスも 150Hz 前後の振動を発することを確認した。

同じく果樹カメムシの一種であるクサギカメムシは、オスもメスも 3 種類ほどの振動パターンを持っており、それらの周波数はいずれも 100Hz 以下である（Polajnar et al. 2016）。

チャバネアオカメムシ成虫は、クサギカメムシより高い周波数域を主に利用している可能性が考えられた。

３）異なる周波数への反応

チャバネアオカメムシ成虫は、周波数が 100～300Hz で反応する個体が多い傾向にあった（図 5）。加振時に、触角を動かす行動が多く見られ、脚を上下させたり、体の向きを変えたりする行動も観察された。

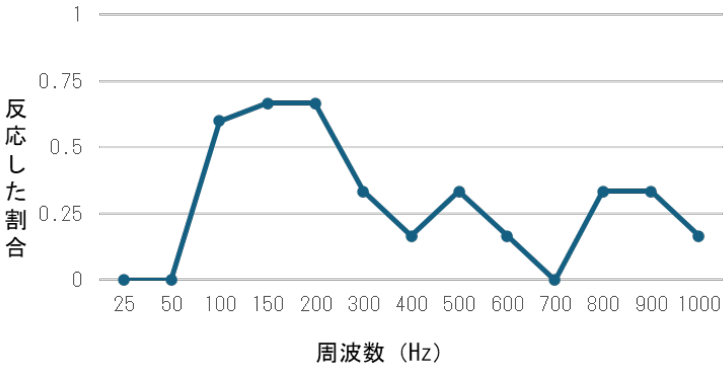

図 5　チャバネアオカメムシ成虫が反応した割合

上地・高梨（2021）では、キリの苗木に止まったチャバネアオカメムシ成虫を加振し、50～1,000 Hz の周波数において反応行動を観察し、特に 150 Hz と 500 Hz において，小さい振動強度（0.02 m/s^2）で反応を確認している。今回の実験でも、おおむね同様な傾向が得られた。なお、ガラスの腰高シャーレでの加振は、より単一の周波数を与えることができ、木の枝の加振よりも、異なる周波数に対する反応性をより詳細に観察できたと考えられる。

現在、害虫がコミュニケーションの手段として用いる振動情報を逆手にとって害虫防除に利用する試みが進んでいる（例えば、Yanagisawa et al. 2024）。害虫のカメムシ類においても、ミナミアオカメムシの交尾阻害（Polajnar & Čokl 2008）やクサギカメムシの行動制御（Polajnar et al. 2015）の研究例がある。チャバネアオカメムシについて振動による行動制御効果を見出すことで、果樹の被害抑制の技術が可能になると考える。今後、被害抑制において対象とする行動反応を見出し、その行動の制御が可能な振動条件を明らかにする必要がある。

謝　辞

羽倉守人氏、円子友理氏（ポリテックジャパン株式会社）には、レーザドップラ振動計を用いた計測およびデータ解析においてサポートいただきました。高梨琢磨氏（福島大）には、

データ解析および報告書作成においてご助言いただきました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

Hill PSM & Wessel A (2016) Biotremology. *Current Biology 26*: R187–R191.

Polajnar J & Čokl A (2008) The effect of vibratory disturbance on sexual behaviour of the southern green stink bug *Nezara viridula* (Heteroptera, Pentatomidae). *Open Life Sciences 3*: 189–197.

Polajnar J, Eriksson A, Lucchi A, Anfora G, Virant-Doberlet M & Mazzoni V (2015) Manipulating behaviour with substrate-borne vibrations – potential for insect pest control. Pest Management Science 71: 15–23.

Polajnar J, Maistrello L, Bertarella A and Mazzoni V (2016) Vibrational communication of the brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*). Physiol. Entomol. 41: 249-259. https://doi.org/10.1111/phen.12150

上地・高梨（2021）振動によるチャバネアオカメムシ(カメムシ目:カメムシ科)の行動制御と害虫防除への応用.日本応用動物昆虫学会誌、65:13-20.

上地・高梨（2023）果樹カメムシの主要種チャバネアオカメムシ *Plautia stali*（カメムシ目：カメムシ科）成虫の振動発生行動. 農研機構研究報告 15:77-81.

Yanagisawa R, Tatsuta H, Sekine T, Oe T, Mukai H et al. (2024) Vibrations as a new tool for pest management – a review. Entomologia Experimentalis et Applicata 172: 1116–1127. https://doi.org/10.1111/eea.13458