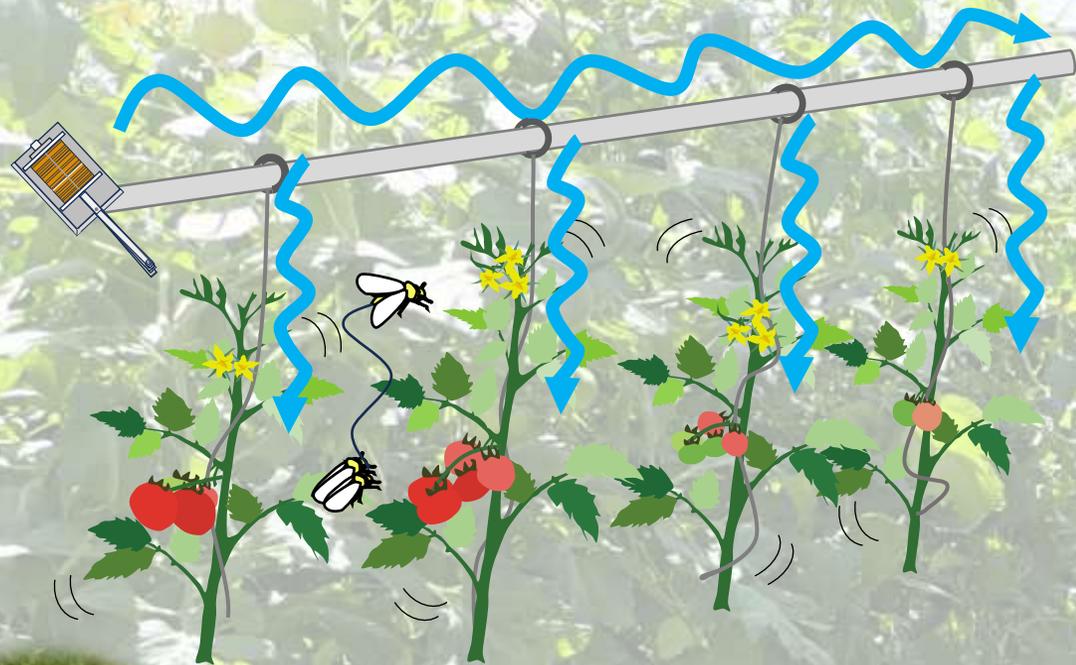


振動技術が拓く新たな害虫管理



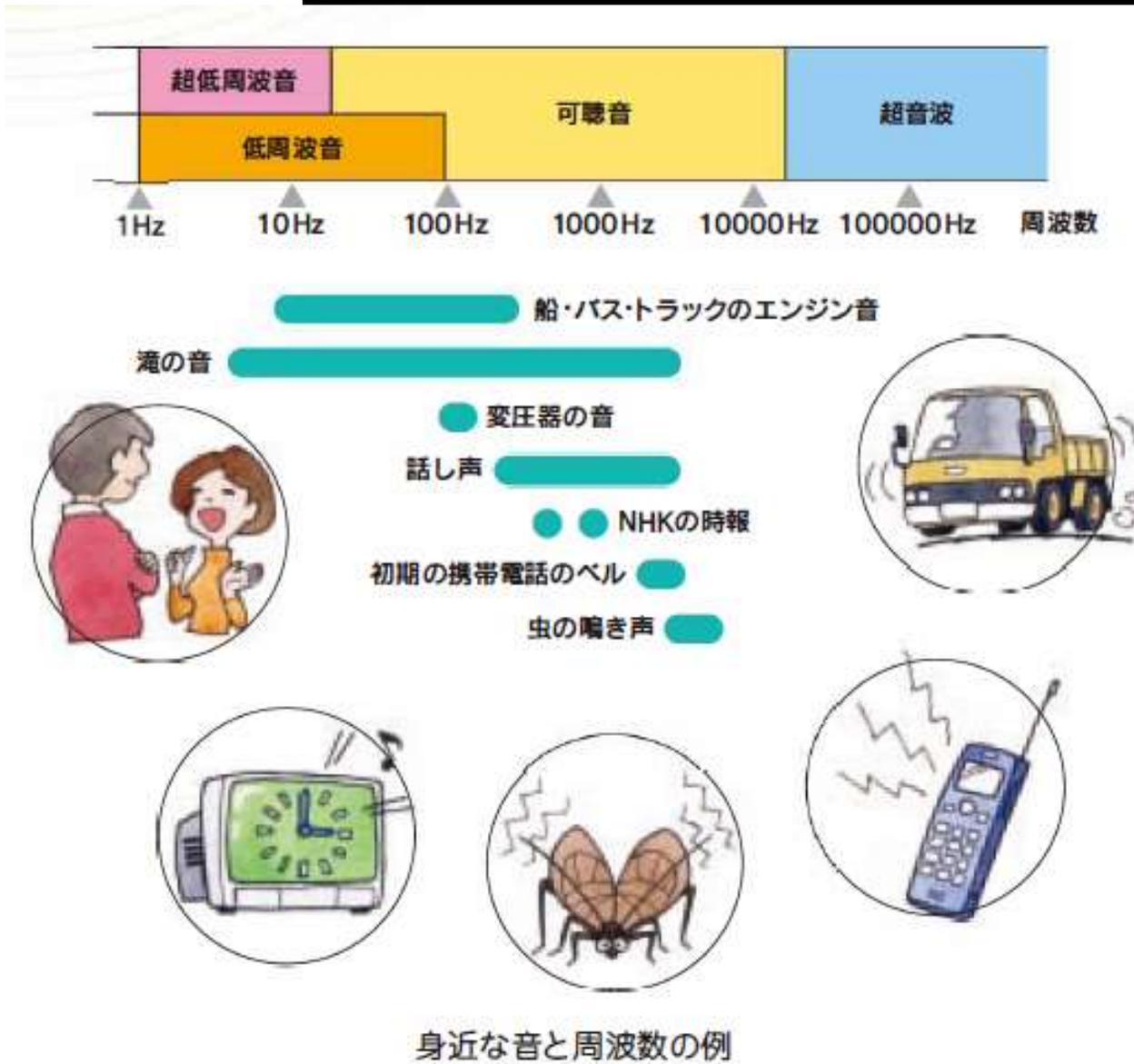
九州大学 理学研究院

立田 晴記



九州大学

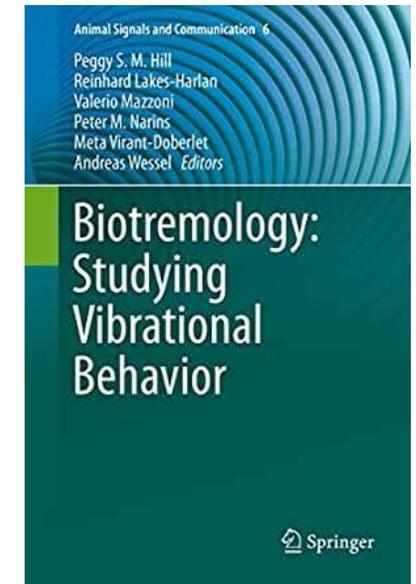
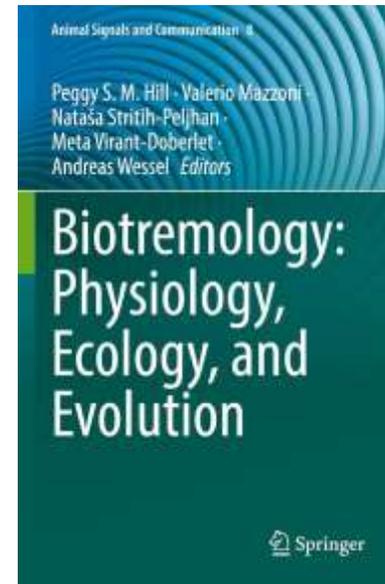
音・振動を利用したコミュニケーション



23万種以上の節足動物が振動コミュニケーションをおこなっている

“Tremology”

揺れ，振動研究を包含する分野



Annual Review of Entomology
**Functional Diversity of
 Vibrational Signaling
 Systems in Insects**

Meta Virant-Doberlet,* Nataša Stritih-Peljhan,
 Alenka Žunič-Kosi, and Jernej Polajnar

Department of Organisms and Ecosystems Research, National Institute of Biology, Ljubljana,
 Slovenia; email: meta.virant-doberlet@nib.si

Virant-Doberlet et al. (2023)

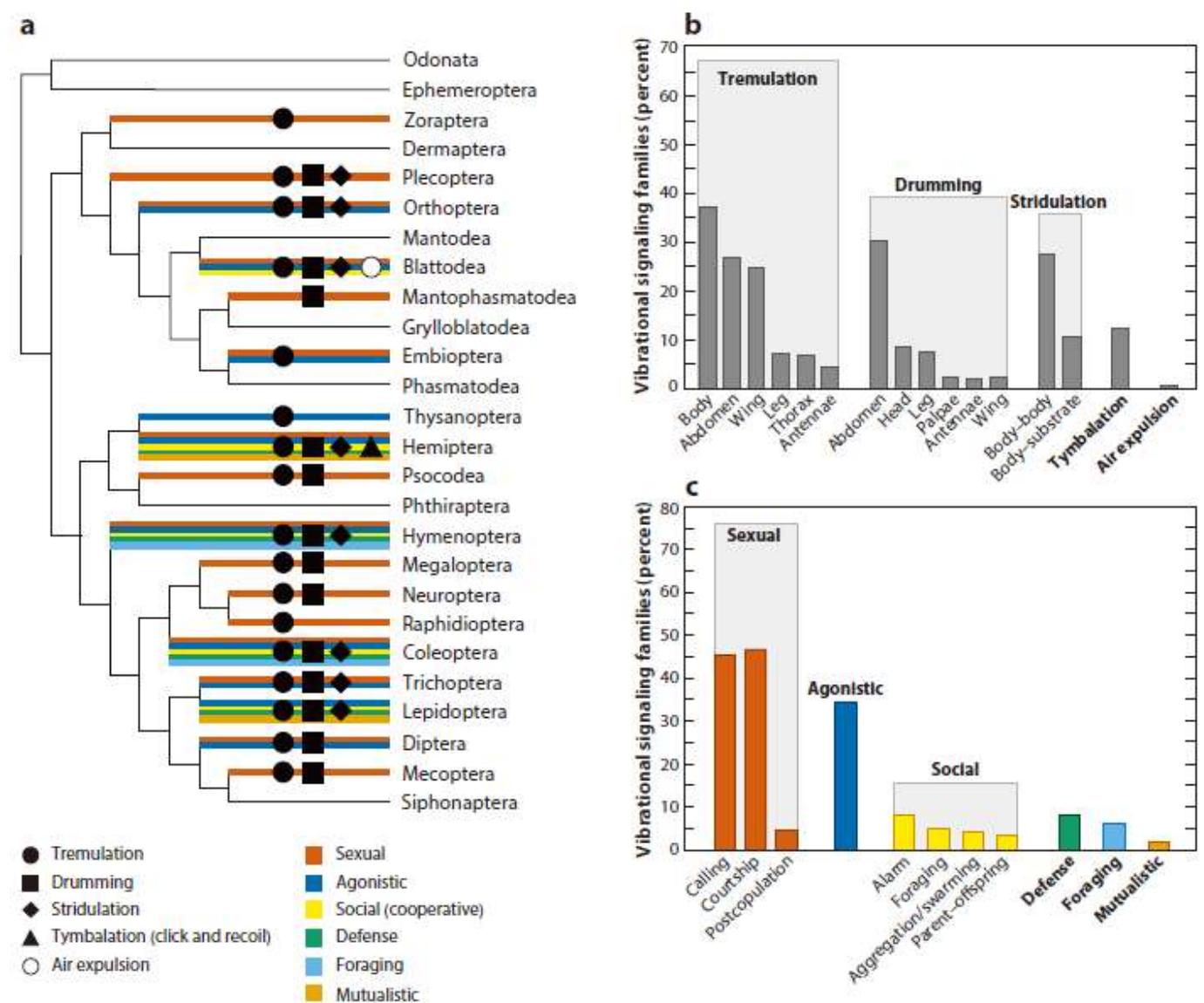
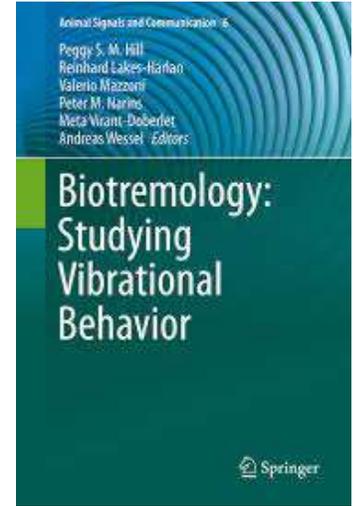
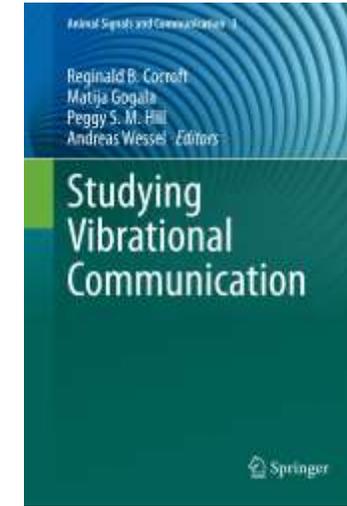
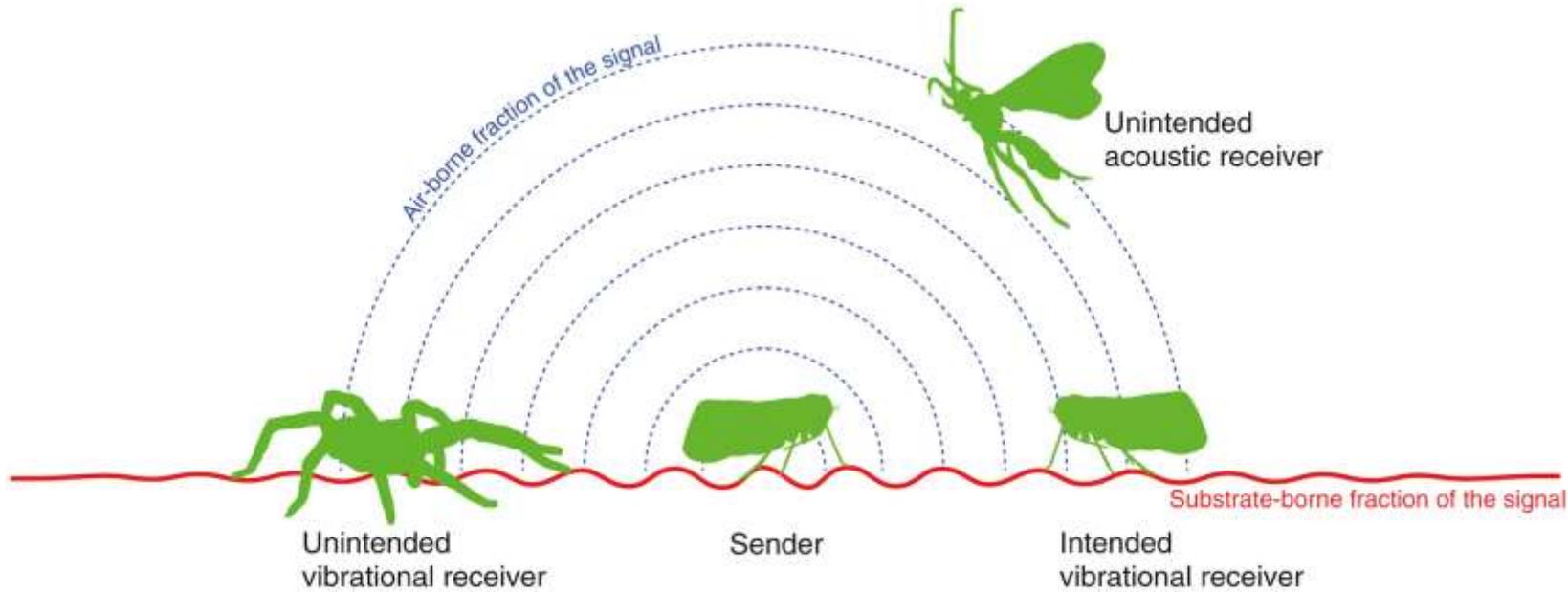


Figure 1

Vibrational signaling mechanisms and contexts (a) in a phylogenetic framework (phylogenetic relationships based on those in References 162 and 165) and (b,c) quantified by the family-level occurrence [(b) mechanisms, $n = 145$; (c) contexts, $n = 146$]. The analysis is based on the information in **Supplemental Table 1**. In addition to the four predominating mechanisms, air expulsion in cockroaches (traditionally considered acoustic) elicits intense vibrations in the substrate (147). Of the overall social functions quantified, only the most common are shown individually. Defense only relates to examples where the deterring function of substrate-borne signals has been demonstrated or suggested based on arthropod predators. Contact vibrational signaling and the hypothesized modes or contexts are not considered in this analysis.

多くの節足動物は異なる刺激（感覚）モダリティ (i.e. 光, 音, 温度, 色覚, 味覚, 圧力, 嗅覚, etc...) を日常的に利用している



Hill & Wessel (2016)

Applied Entomology and Zoology (2019) 54:21–29
<https://doi.org/10.1007/s13355-018-00603-z>

REVIEW



Vibrations in hemipteran and coleopteran insects: behaviors and application in pest management

Takuma Takanashi¹ · Nami Uechi² · Haruki Tatsuta^{3,4}

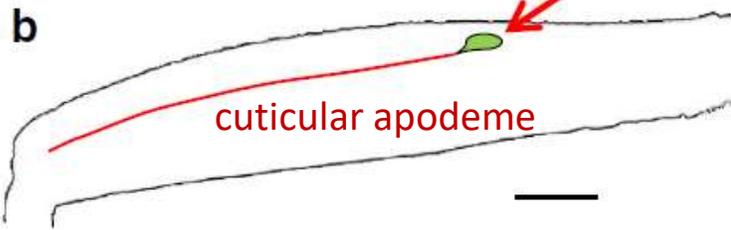
Received: 12 October 2018 / Accepted: 24 December 2018 / Published online: 11 January 2019
© The Japanese Society of Applied Entomology and Zoology 2019

Startle response (驚愕反応)

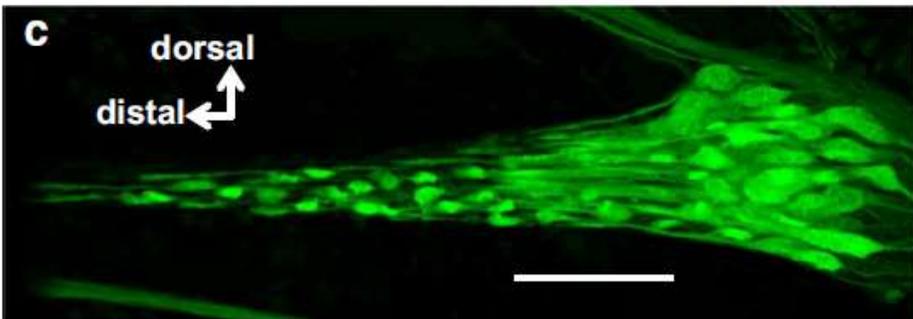


マツノマダラカミキリ
Monochamus alternatus

sensory neurons (scoloparium : 音波小束器)



femoral chordotonal organ
(FCO) 弦音器官

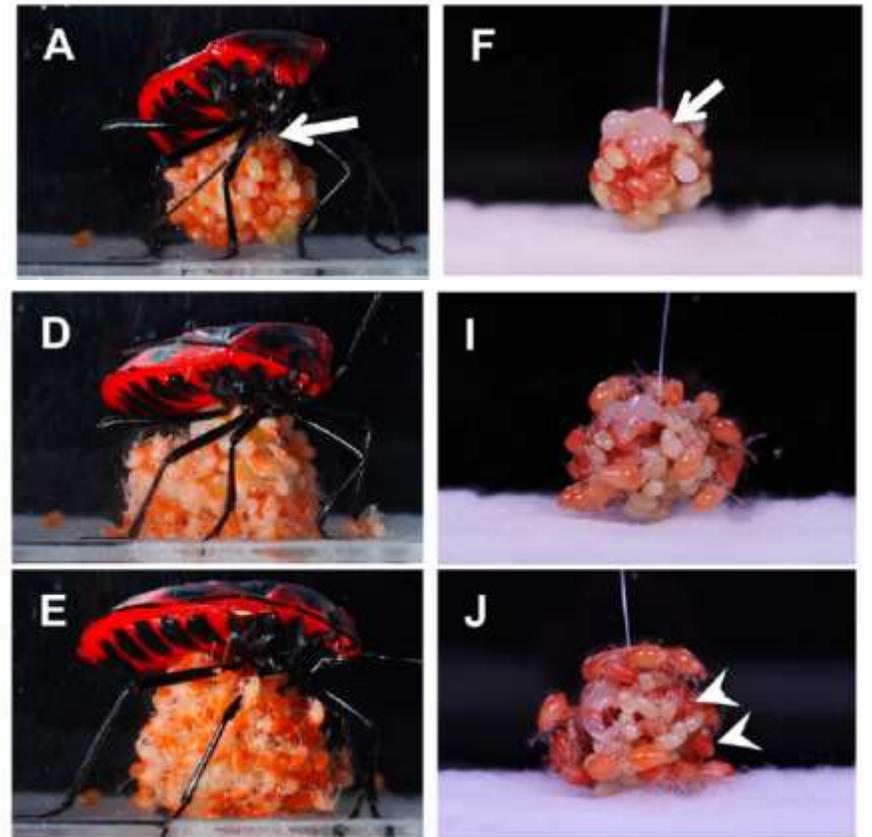


FCO scoloparium

Takanashi et al. 2016, 2019

孵化タイミング

ベニツチカメムシ
Parastrachia japonensis



Mukai et al. 2014

Opinion

Plant protection and biotremology: fundamental and applied aspects

Apostolos Pekas ^{1,*}, Valerio Mazzoni ², Heidi Appel ³, Reginald Cocroft ⁴ and Marcel Dicke ⁵

There is overwhelming evidence that synthetic pesticides have a negative impact on the environment and human health, emphasizing the need for novel and sustainable methods for plant protection. A growing body of literature reports that plants interact through substrate-borne vibrations with arthropod pests and mutualistic arthropods that provide biological control and pollination services. Here, we propose a new theoretical framework that integrates insights from biological control, the ecology of fear, and plant-borne vibrations, to address plant-insect interactions and explore new, sustainable opportunities to improve plant health and productivity.

Highlights

Plants use substrate-borne vibrations to interact with both biotic and abiotic factors in their environment.

Substrate-borne vibrations play a key role in the detection of herbivory and the interactions between plants and pollinators.

More than 150 000 species of arthropods, including major pests and cam-

Pekas et al. (2023)

Key figure

Hypotheses integrating biological control, the ecology of fear, and biotremology to improve plant health and productivity

Hypotheses integrating biological control, the ecology of fear and biotremology to improve plant health and productivity

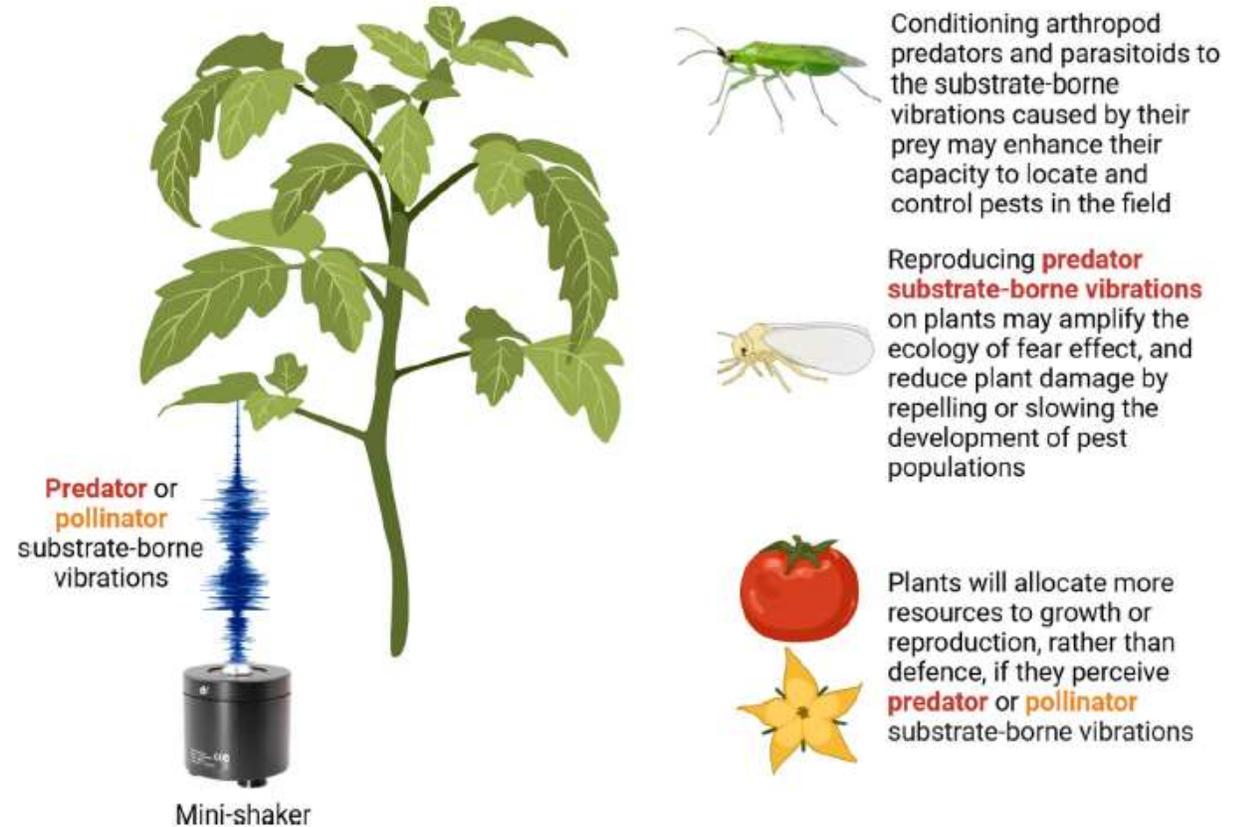


Figure 3. Substrate-borne vibrations of predators, pollinators, or abiotic factors can be recorded using a laser vibrometer (for details, see [43]). Subsequently, they can be accurately reproduced using appropriate equipment, such as mini-shakers. This figure shows a mini-shaker attached to the plant with a rod reproducing substrate-borne vibrations emitted by the predatory arthropod *Macrolophus pygmaeus* [44]. For a detailed description of the hypotheses shown here, please see Box 1. Created with BioRender (BioRender.com).

開発中の加振装置

オープンイノベーション研究・実用化推進事業



害虫防除および安定栽培のための振動
農業技術の開発と実用化 (R5-R9)

国立大学法人九州大学

加振装置コントローラー



加振タイミング
をフレキシブル
に変更可能

加振装置



鉄 - コバルト系磁歪材料
を利用したクラッド鋼板
(性質の異なる異種の金属
を圧着した鋼板) により、
より強力な加振が可能

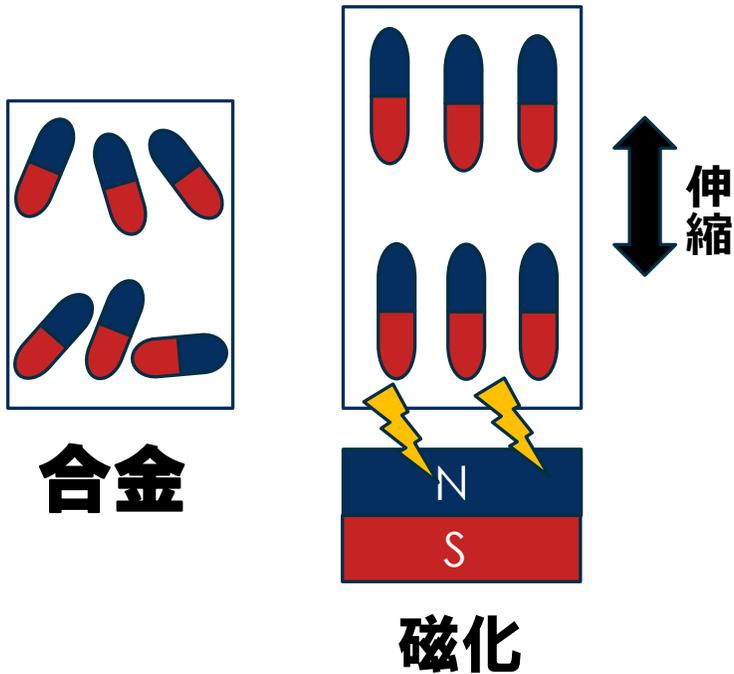
トマトハウス内に設置された加振装置



施設部品であるパイプ等を用いて、植物体を
支持するワイヤなどを通じ、一台の加振器で
振動を多くの植物体に効果的に伝達可能

磁歪素子の原理

磁歪効果のイメージ



合金を磁化させることで、
磁化方向に伸縮する

- ・磁場をあたえると寸法が変化する合金を活用

- ・合金の材料を変えることで伸縮の大きさを変更することが可能

- ・電気信号を与えることで瞬時に対象物を制御できる

- ・耐用性が低く、動作が安定しないモーター類とくらべ、**信頼性が格段に高い**

- ・他の素子(例:圧電素子)とくらべ、**耐候性、耐水性に優れる**



タバココナジラミ *Bemisia tabaci* (Gennadius)

植物の師管液を吸汁することで、さまざまな問題を引き起こす

- ウイルス病の伝播

Begomovirus, Crinivirus, Ipomovirus, Carlavirus, Torradovirus

- 40を超える隠蔽種（バイオタイプ）の存在

B and Q-biotypeが最も侵略的

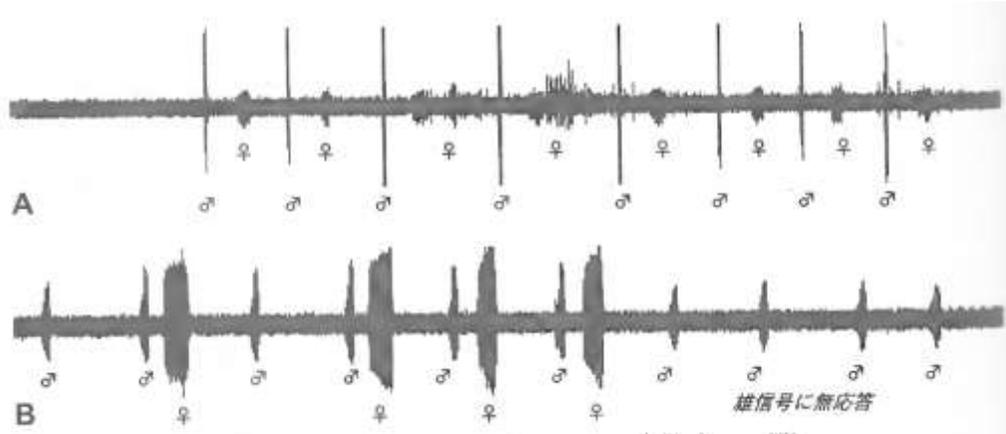
殺虫剤抵抗性の発達

➡ 化学農薬に依存できない



トマト黄化葉巻病ウイルス(TYLCV)

コナジラミは繁殖時に**振動**を利用する (Kanmiya, 1996)



Biotype Q ♂ + Biotype Q ♀

Biotype B ♂ + Biotype Q ♀

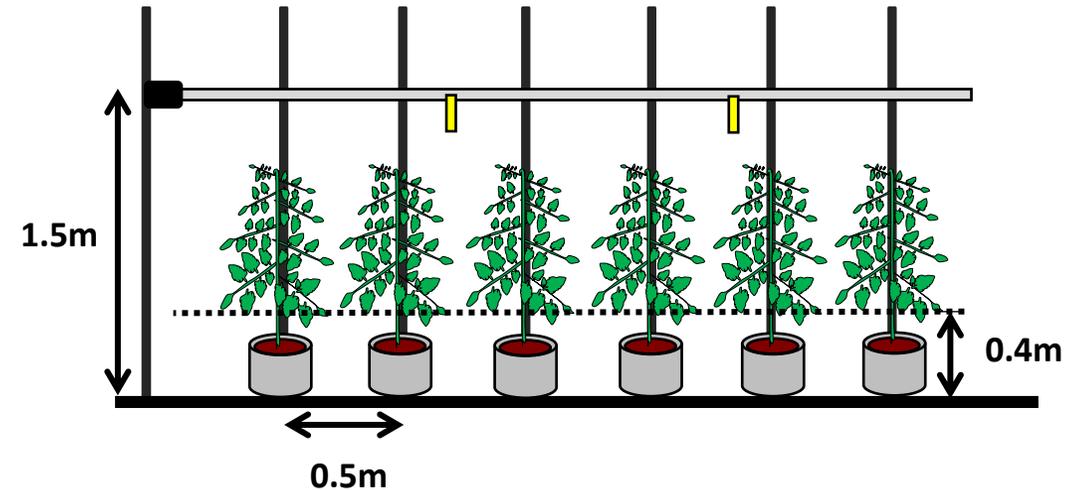
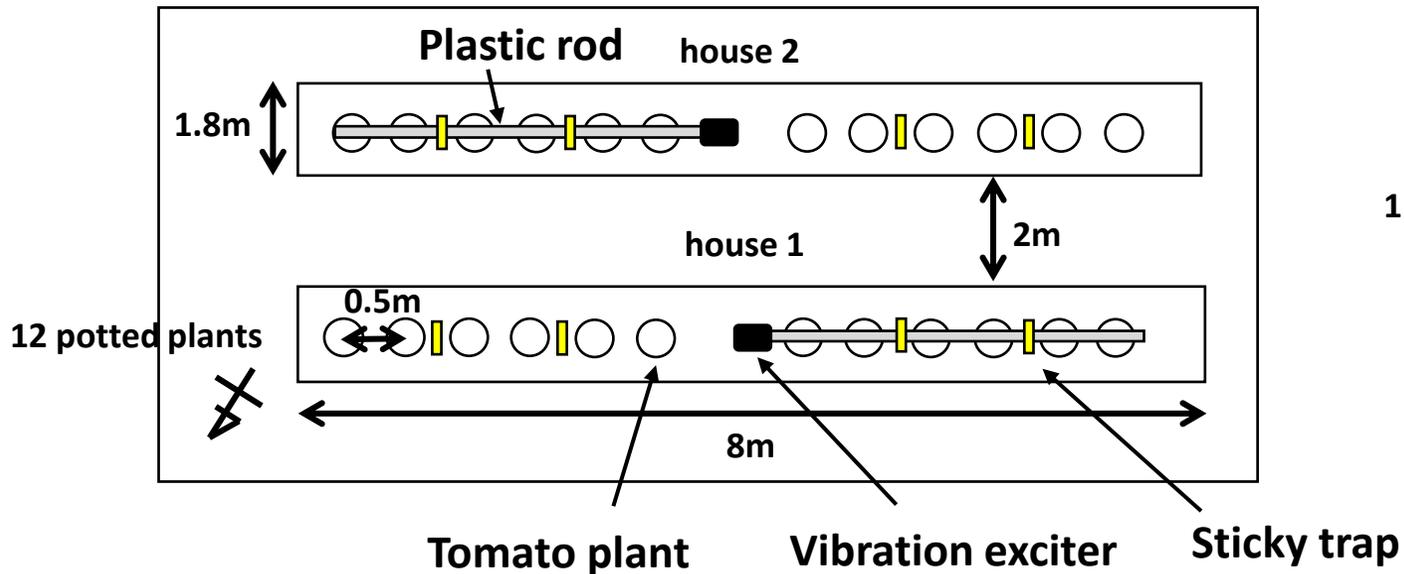
人工的な振動を植物体に与えることで、害虫の行動制御が可能？

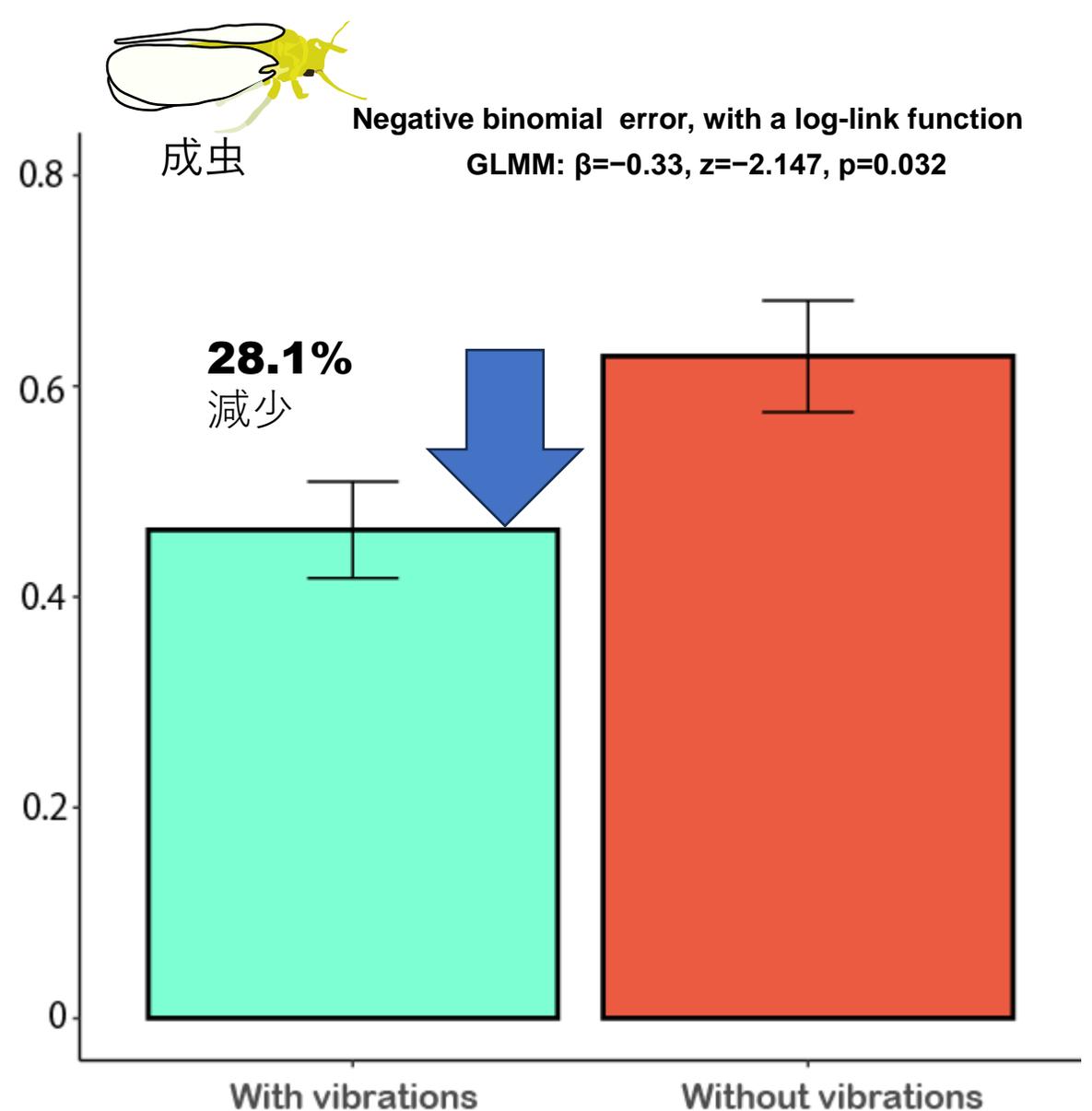
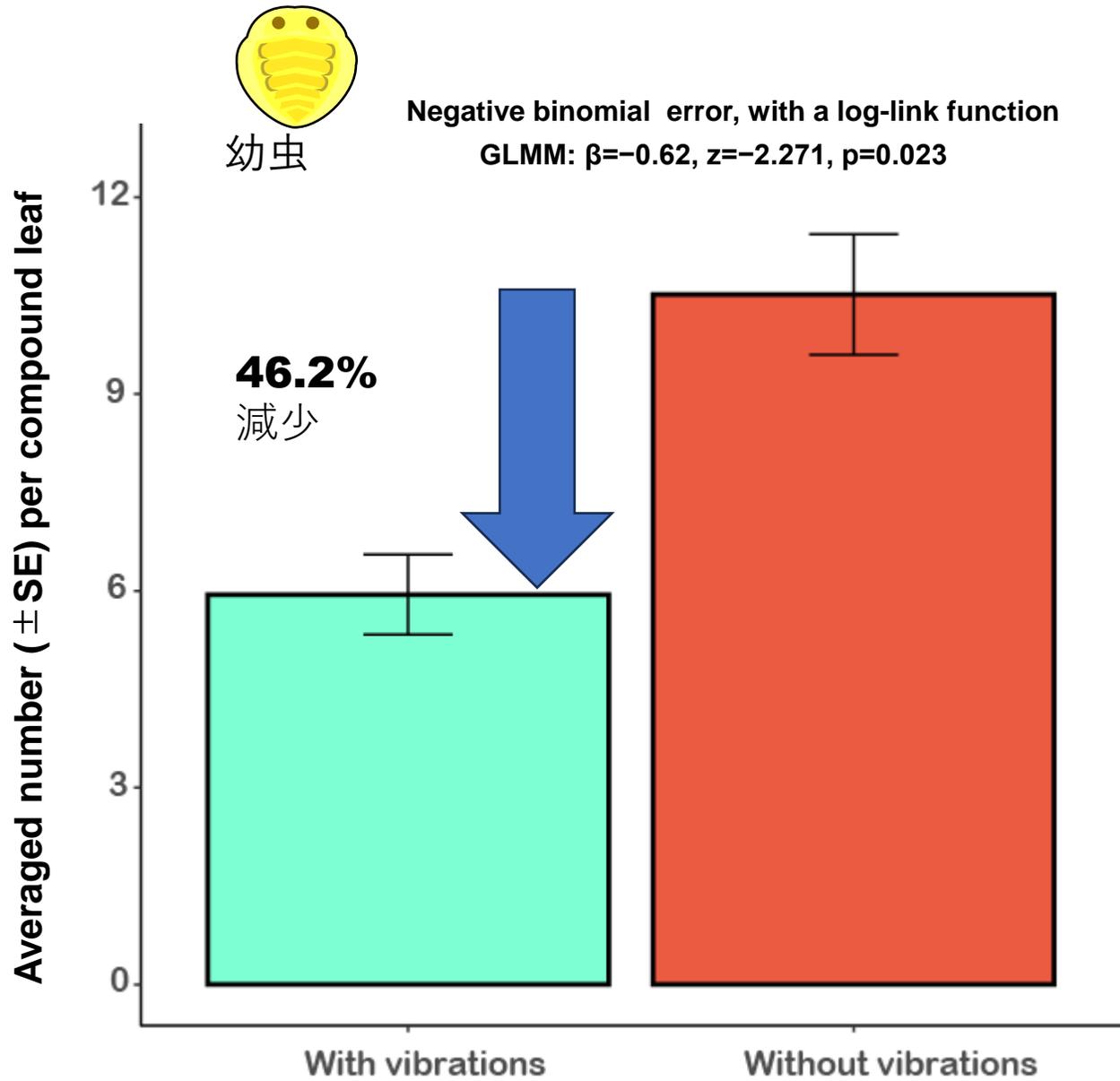


振動はコナジラミの増殖を抑制するか？

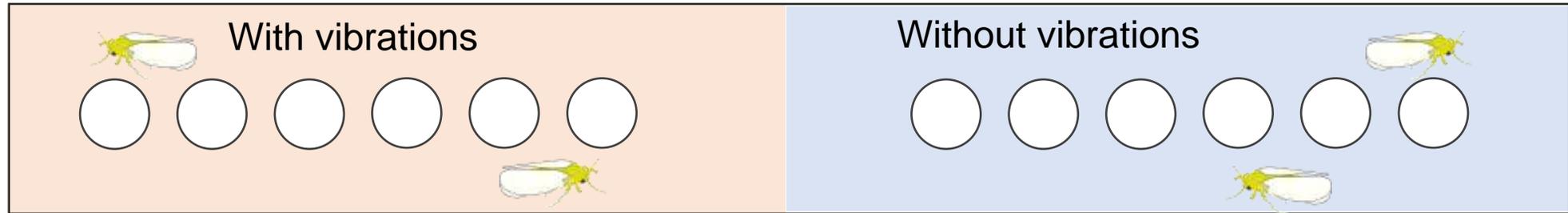
- ・ 振動パラメータ：100Hzの振動を1秒間加え，9秒休止，これを9:00～18:00の間に10分おきに1分間繰り返す
- ・ 振動の強さ：7 ~ 76 m / s²
- ・ 羽化後日齢が1-9日の成虫を30頭，各株に放飼
- ・ 試験期間：2017年11月13日～2018年1月1日

鉢植えされたトマト

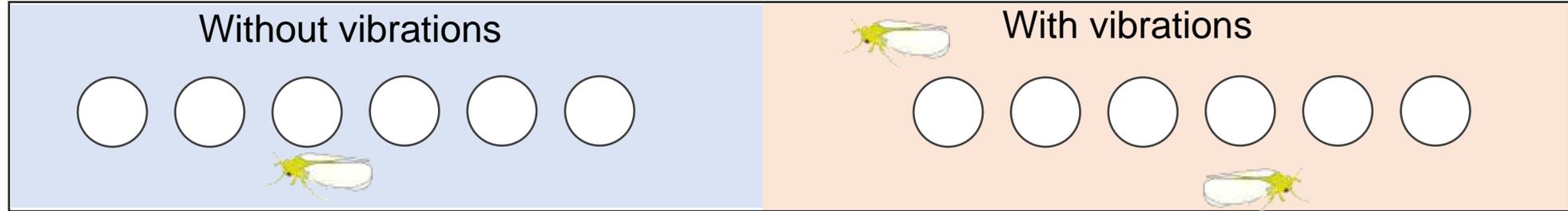




House 2



House 1

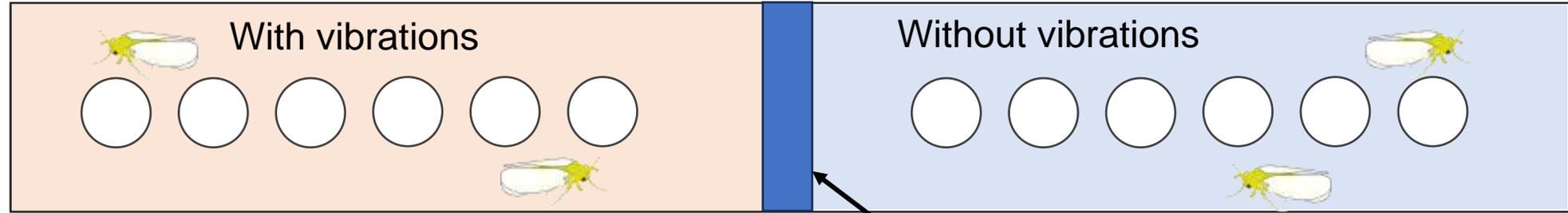


先の試験ではコナジラミが加振区，無加振区を自在に動き回ることができた

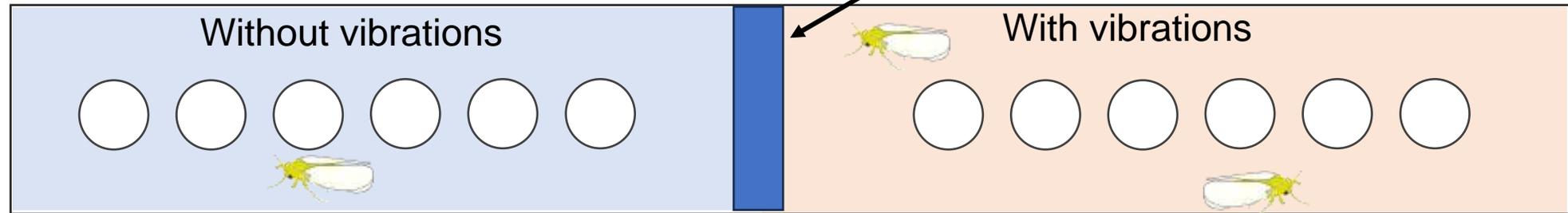
➡ 加振区のコナジラミが無加振区に逃避できる

➡ 加振区，無加振区の差がより強調されていた？

House 2

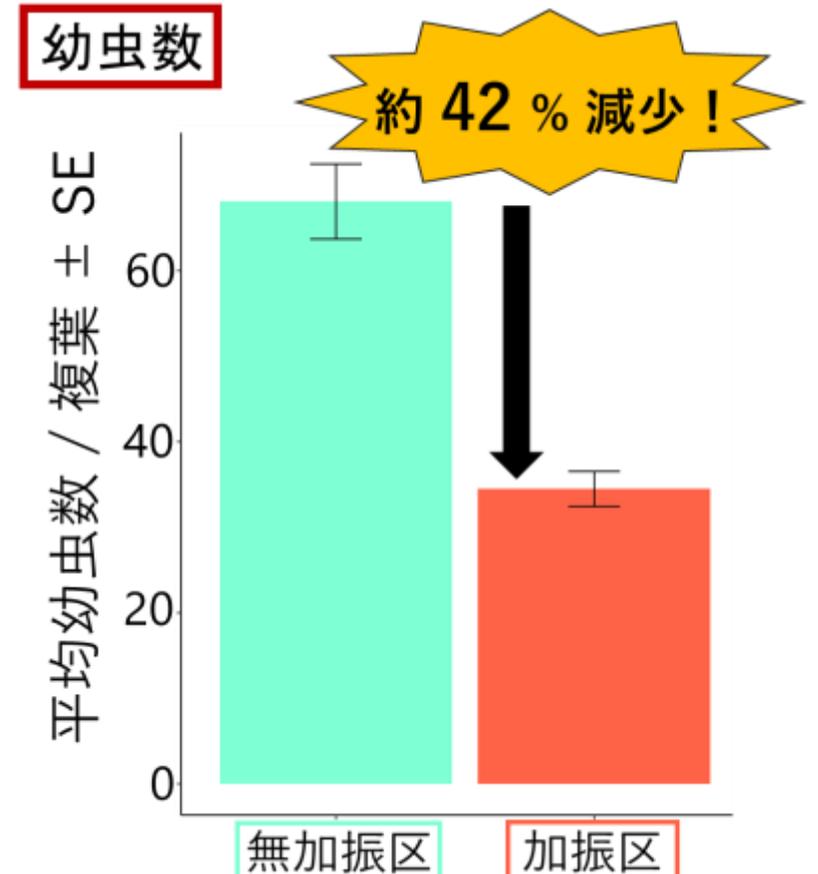
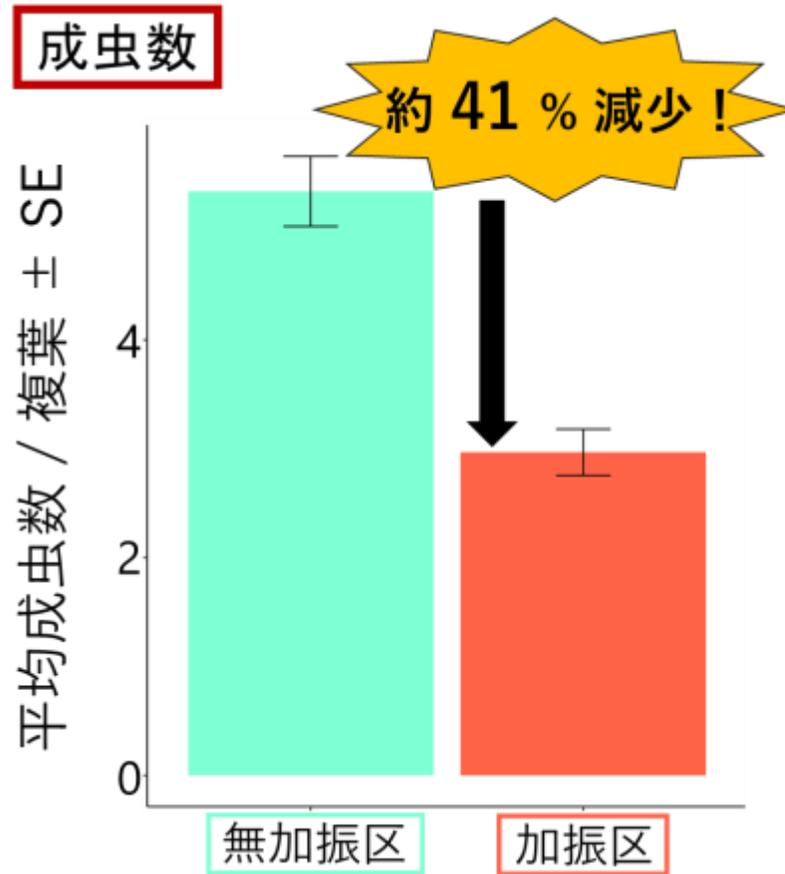


House 1



移動を妨げる“仕切り”

加振区と無加振区間のコナジラミの移動を遮断し、コナジラミの密度が高い状況で121日間の試験を行った場合でも高い密度抑制効果が確認された！

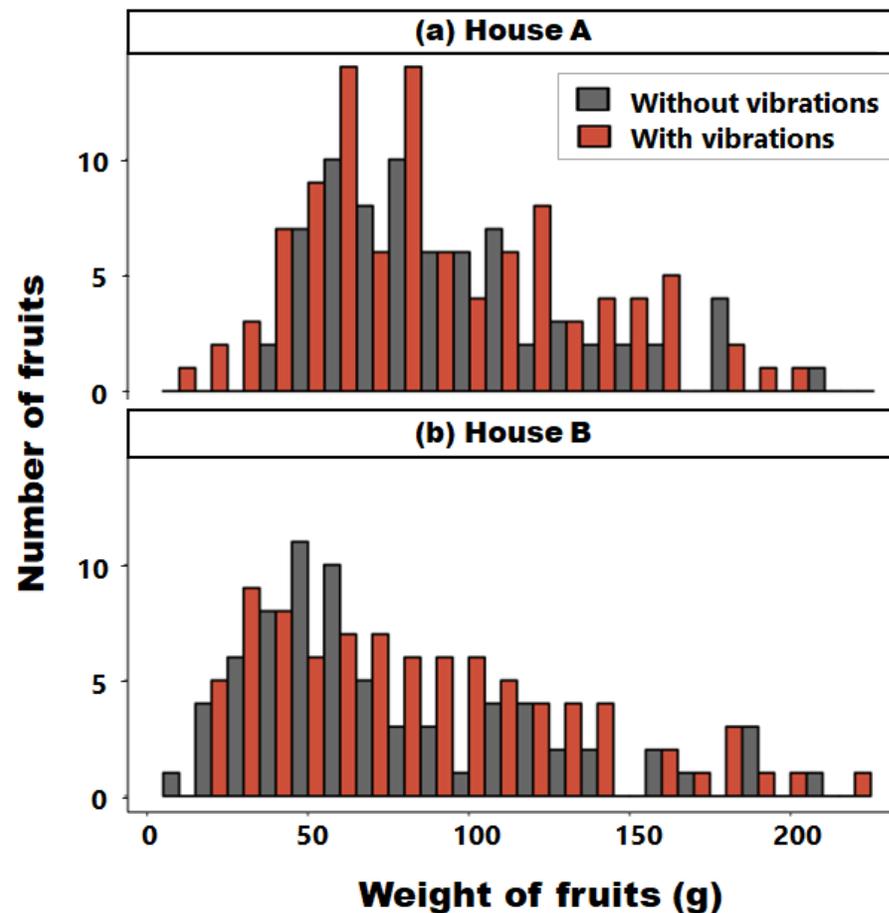
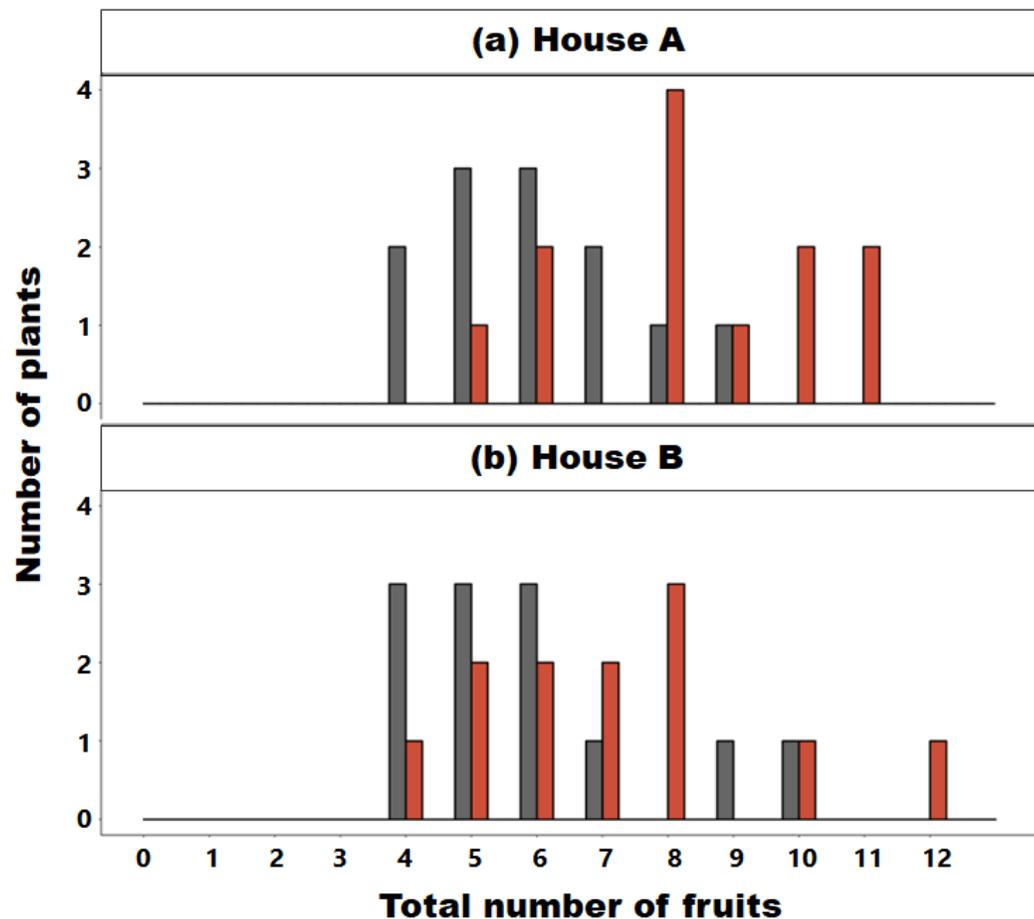


果実の増収効果



LMM, $\beta = 1.792$,
 $\chi^2 = 10.27$, $p = 0.0014$

LMM, $\beta = 0.0165$,
 $\chi^2 = 0.027$, $p = 0.869$



果実の総数: 加振区 >> 無加振区

果実の重量: 加振区 \approx 無加振区

➡ 加振することにより、およそ30%の増収

なぜ害虫密度が減るのか？

求愛信号の妨害により生殖活動が阻害される？



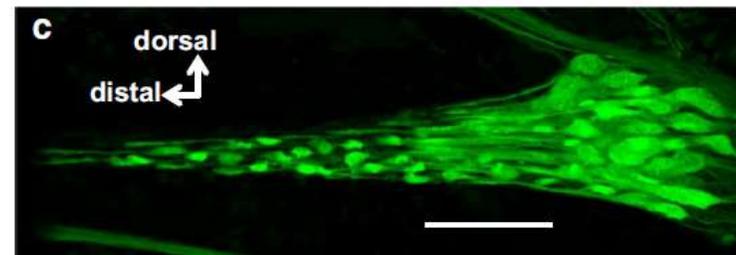
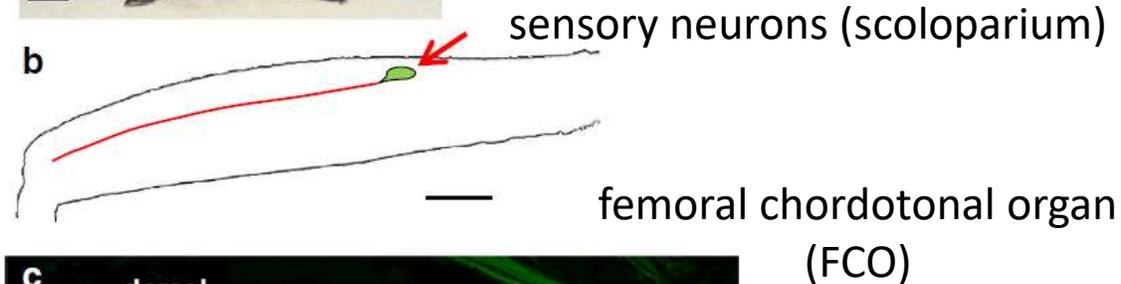
忌避行動の増大？

驚愕反応による行動阻害？

摂食阻害？.....



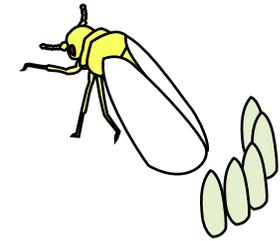
マツノマダラカミキリ
(*Monochamus alternatus*)



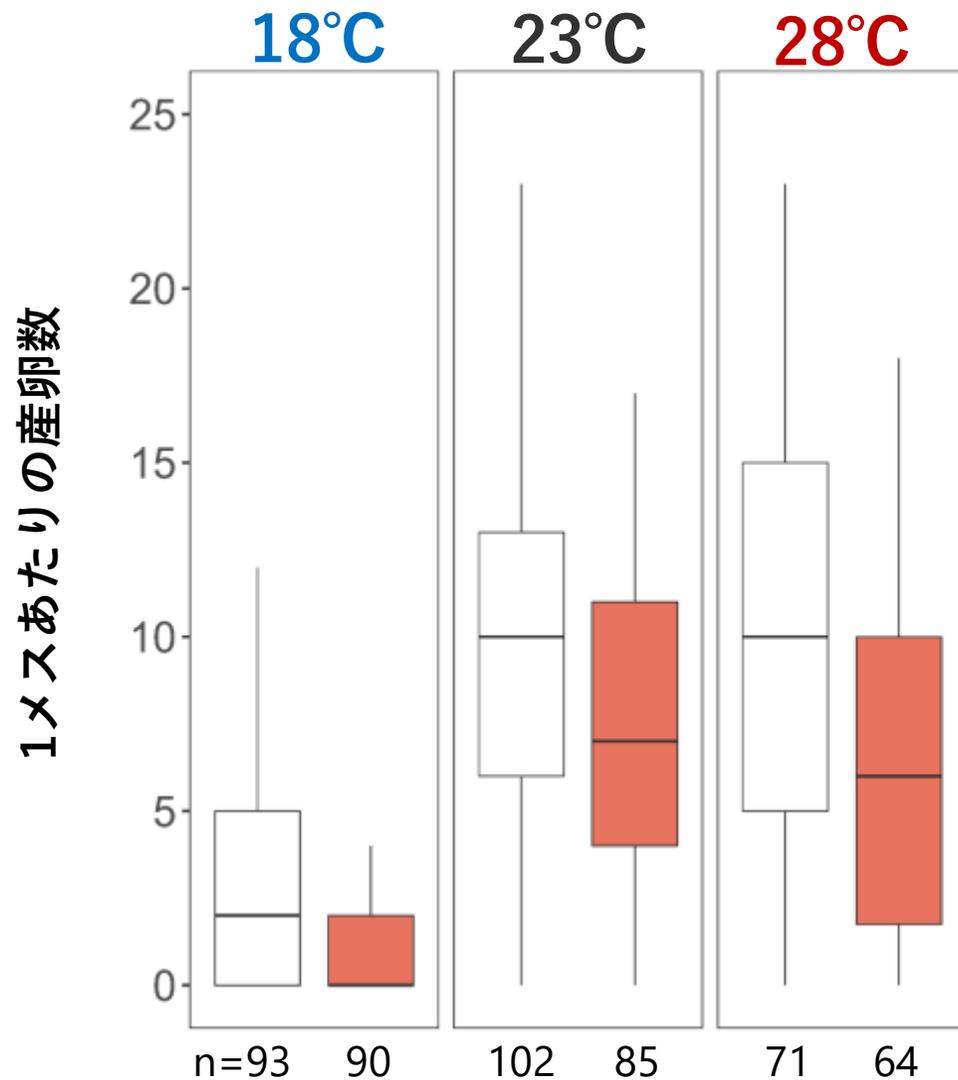
室内実験による検証



- ・ 実験室内で生育したトマト苗を亚克力製ボックス内に設置
- ・ 加振区，無加振区にそれぞれ5つの箱を割り当てる
- ・ 振動パラメータ： 先述の通り
- ・ 供試虫： 雌雄成虫10頭ずつ，計20頭を箱内に放飼，14時間後に全ての虫体を取り出す
- ・ 葉上に産み付けられた卵をカウント，そこから羽化した雌雄比を計算



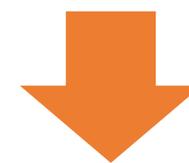
飼育温度



すべての飼育温度で
加振により産卵数が減少した！

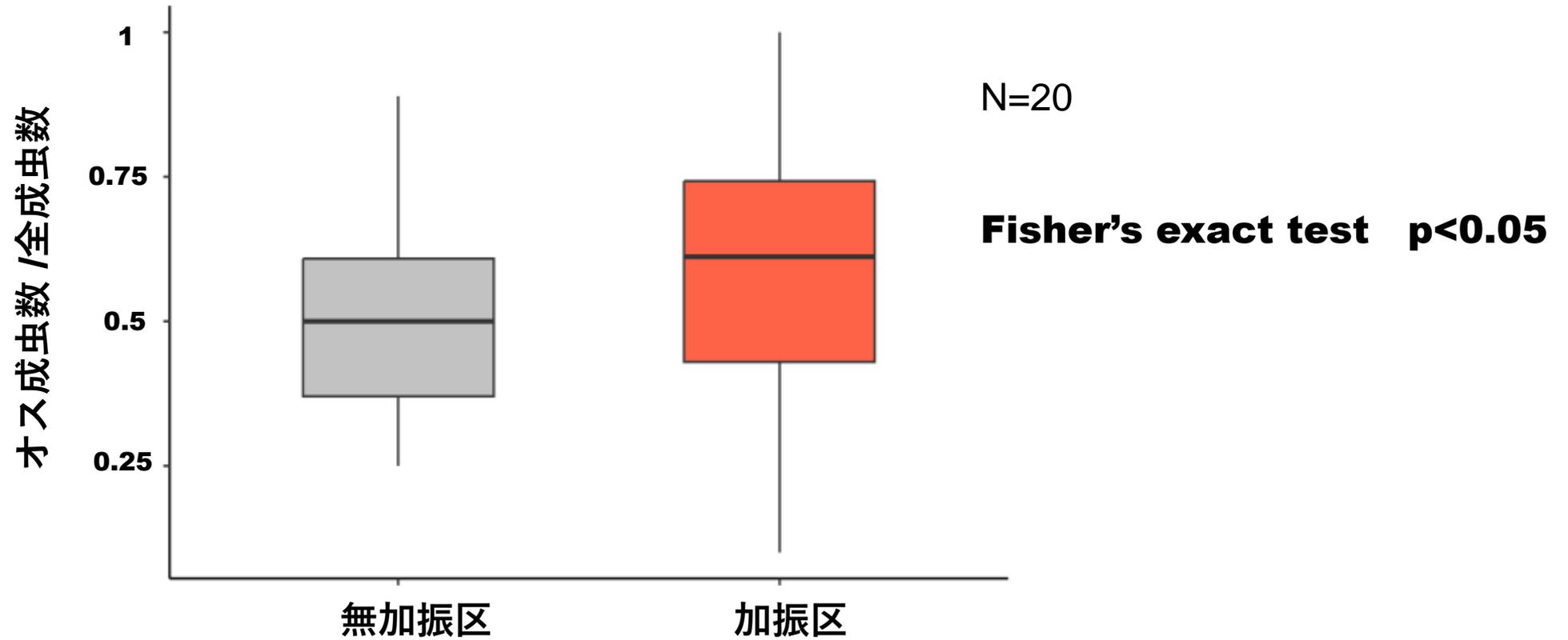
(GLMM, negative binomial, log-link, $\beta = -0.39$, $\chi^2 = 27.161$, $p < 0.001$)

(treatment*temperature interaction effect was not significant, $\chi^2 = 2.107$, $p = 0.349$)

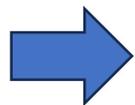


振動はコナジラミの産卵を抑制する！

雌雄比



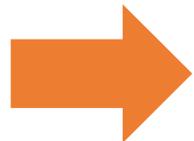
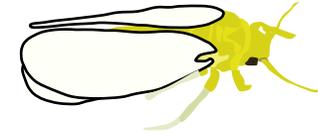
コナジラミでは未受精卵はオスになる（産雄単為生殖）



加振により交尾・受精が阻害された？

まとめ

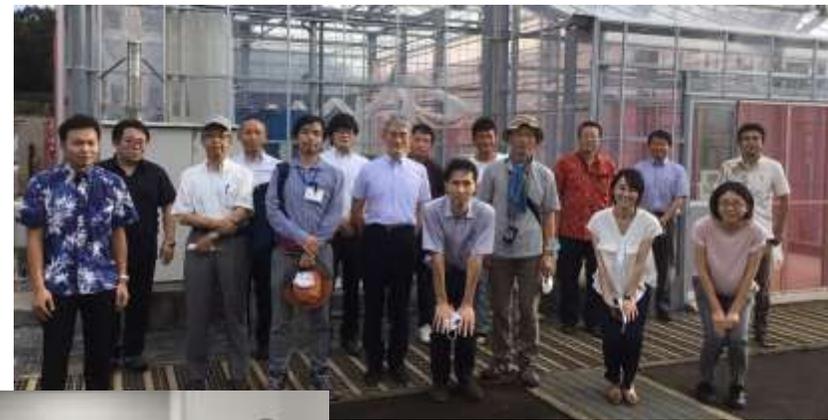
- 植物体を加振することで、コナジラミの**密度が大きく低下した**（異なる実験区で実証）
- 加振による植物の生長阻害は見られなかった
- 一方で、加振することで**果実が増収した**（異なる実験区で実証）
- 加振により、コナジラミの**産卵が有意に抑制された**



減農薬への貢献, IPM体系への組み込み

謝辞

- 振動農業技術コンソーシアム
- 九州大学理学部生物学科
生態科学研究所のメンバー
- 琉球大学農学部
昆虫学研究室のメンバー



本研究は生物系特定産業技術研究支援センター
(BRAIN) のイノベーション創出強化研究推進事業
(JPJ007097)、およびオープンイノベーション研
究・実用化推進事業 (JPJ011937) の支援により実
施されました

