

「農林技術アカデミー」 第22回セミナー

2024年9月7日（土）13:00～15:00
八ヶ岳中央農業実践大学校
2階第1、第2教室



ニホンミツバチなど社会性ハチ類の
驚くべき生存戦略と農業への利用

小野 正人

玉川大学農学部昆虫科学領域/
大学院農学研究科
学術研究所 ミツバチ科学研究センター
脳科学研究所 脳システム研究センター



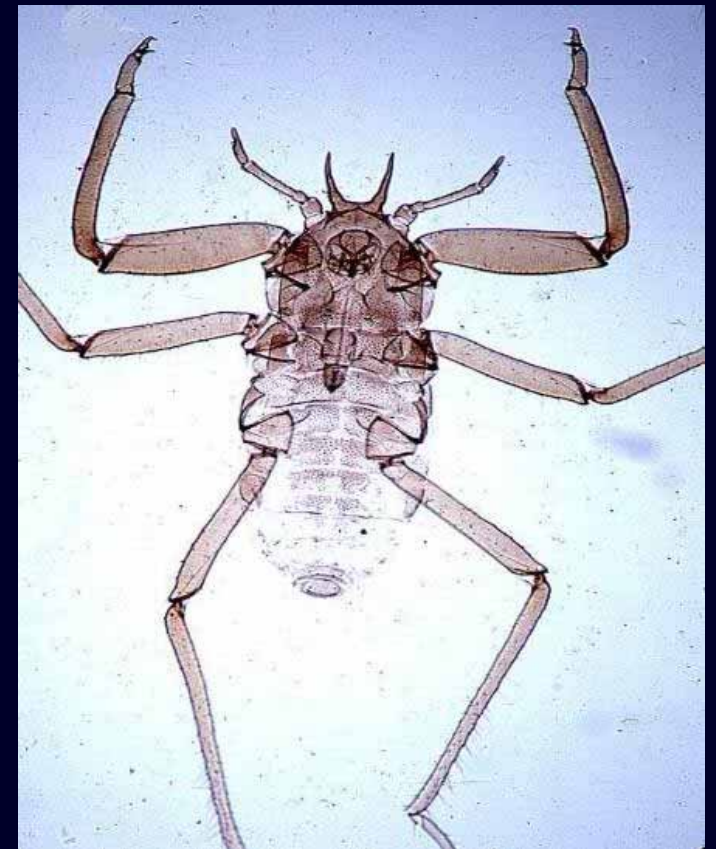
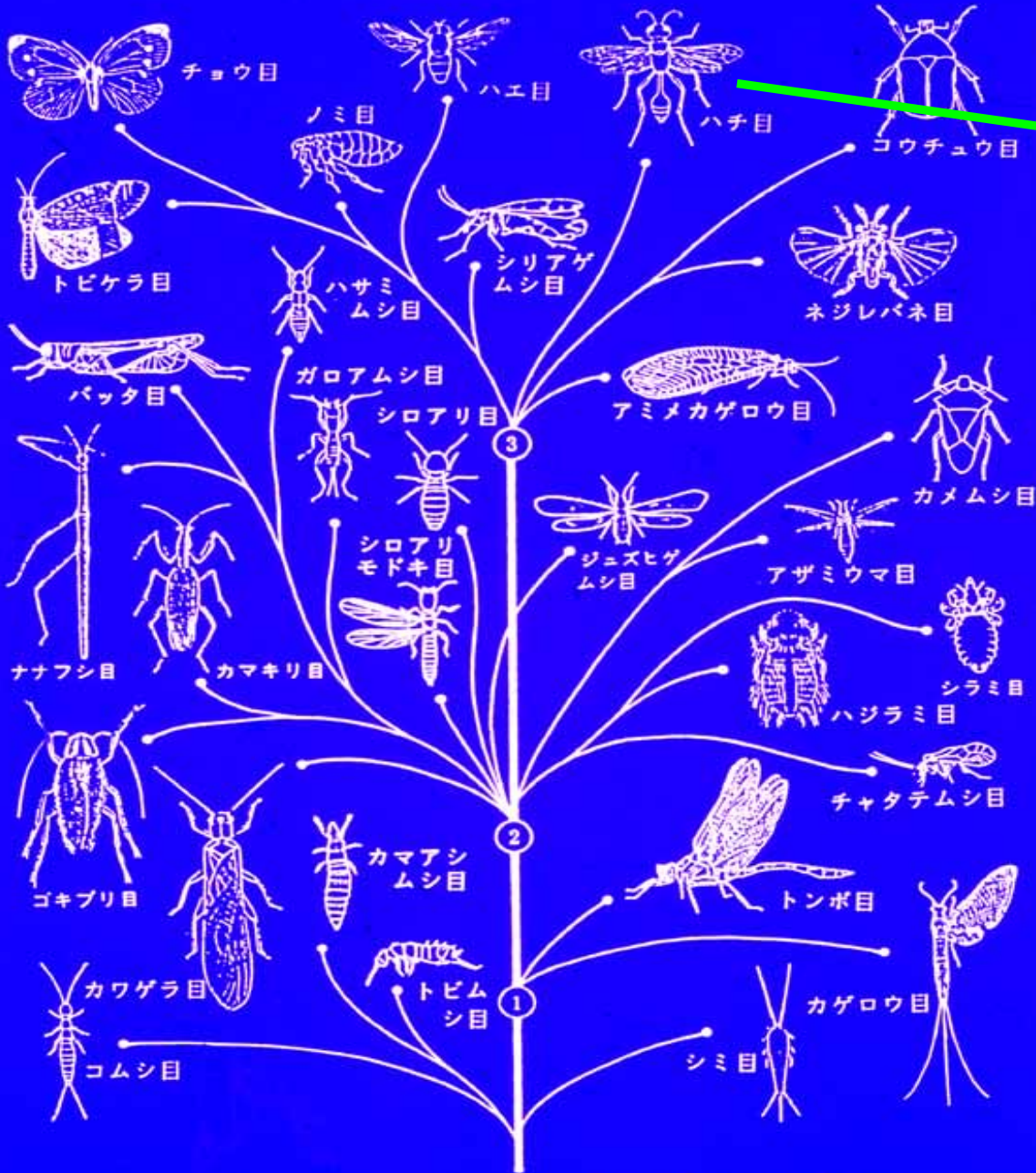
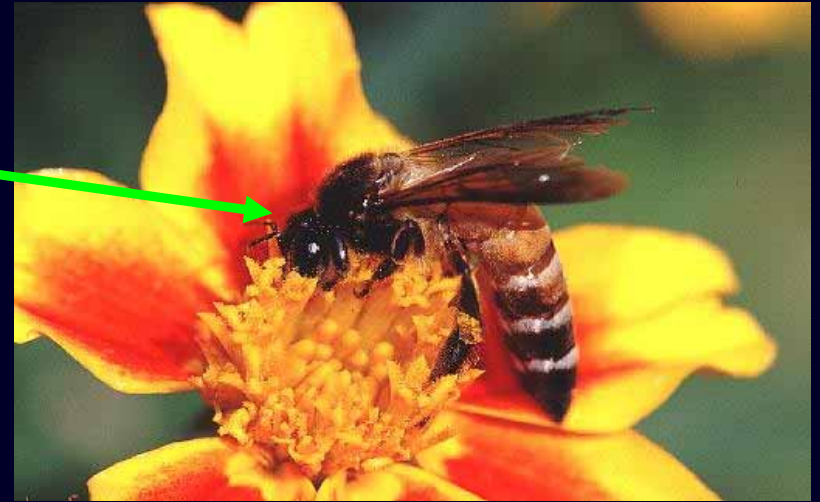
日本農学賞と読売農学賞を授賞

2024年4月5日（金）

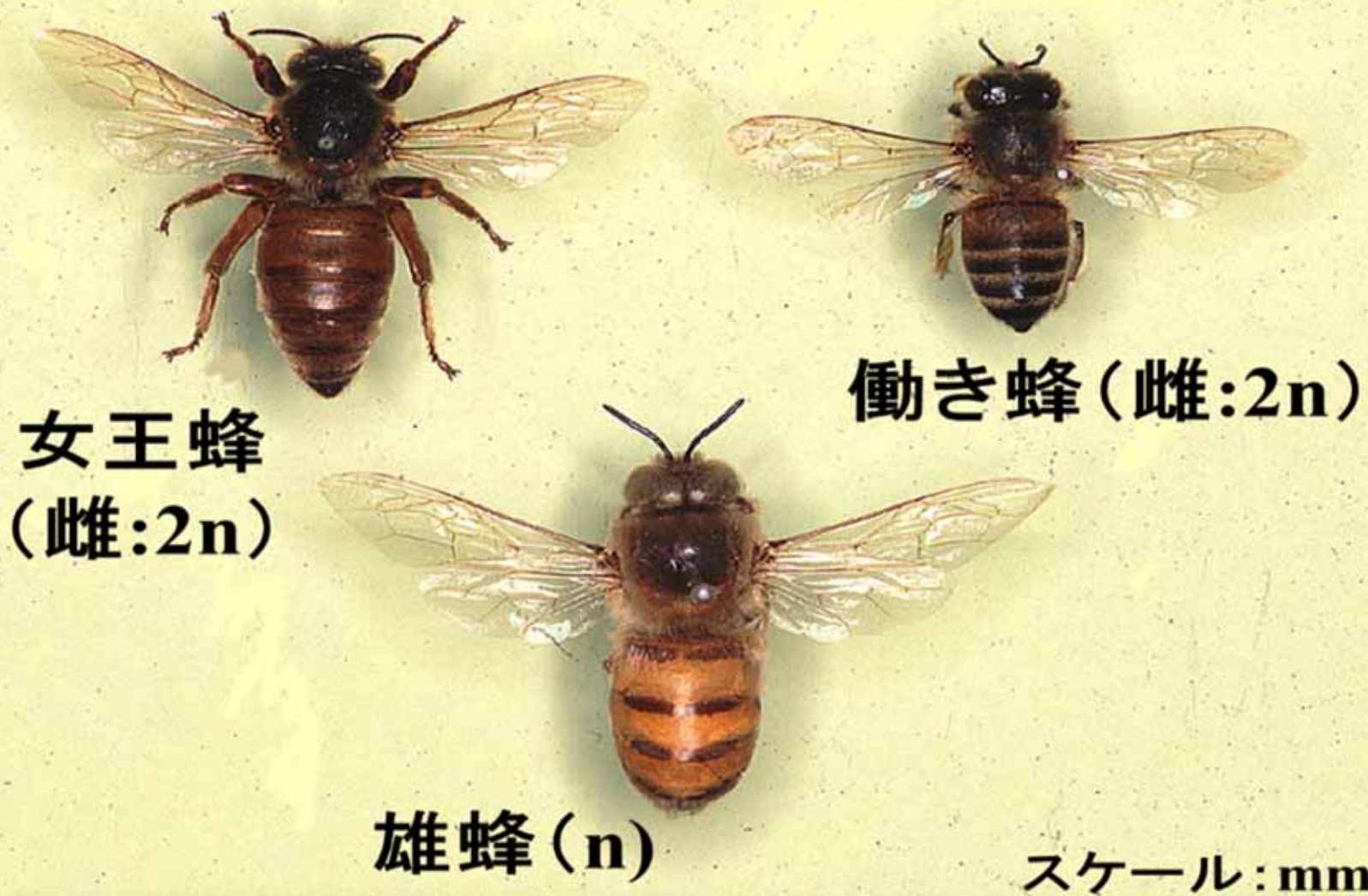
於：東京大学弥生講堂

日本農学会 大杉 立会長より
日本農学賞の授与

昆虫綱におけるハチ類とは？真社会性とは？

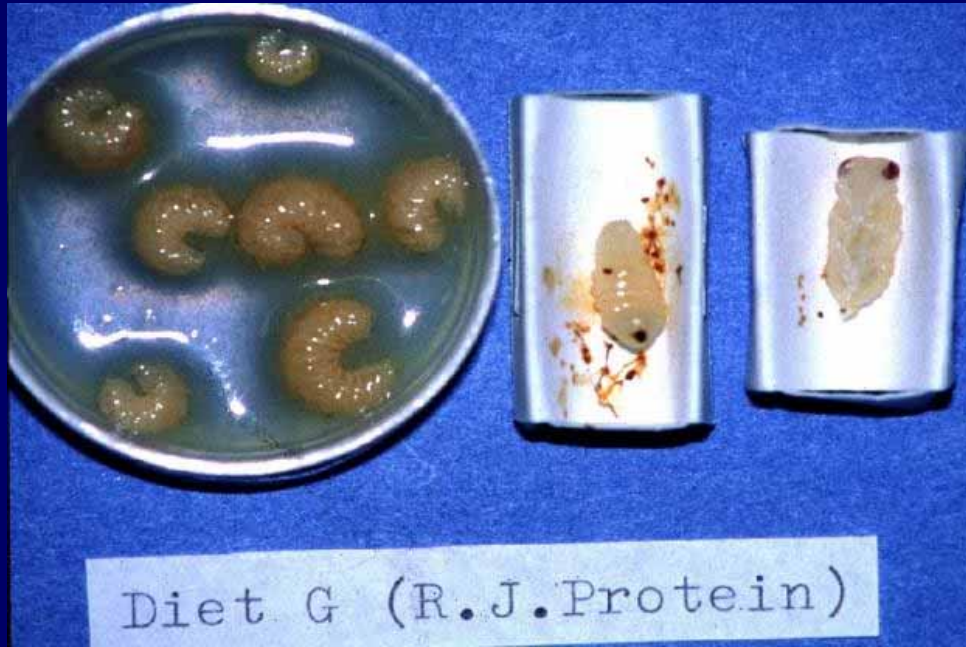


昆虫綱各目(order)の系統と形態の概念図
(松香ら1984を一部改写)



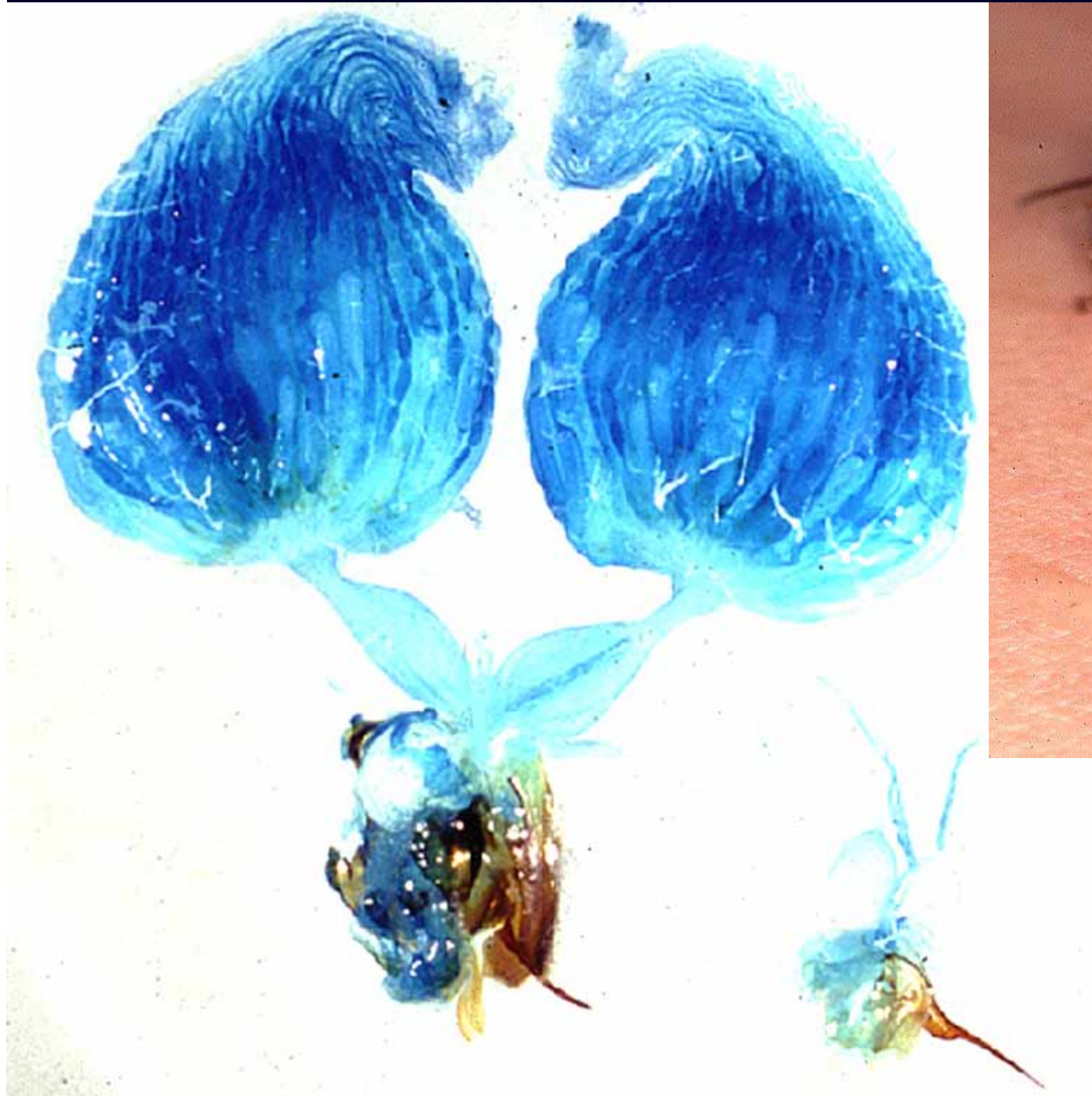
女王蜂と働き蜂は、共に雌性で受精卵から発生(2倍体)
雄蜂は、無精卵から発生(1倍体)

真社会性ミツバチのコロニー構成メンバー



雌の幼虫が女王蜂になるか働き蜂になるかは「氏ではなく育ち」

ローヤルゼリーの生物検定



なぜ進化した？

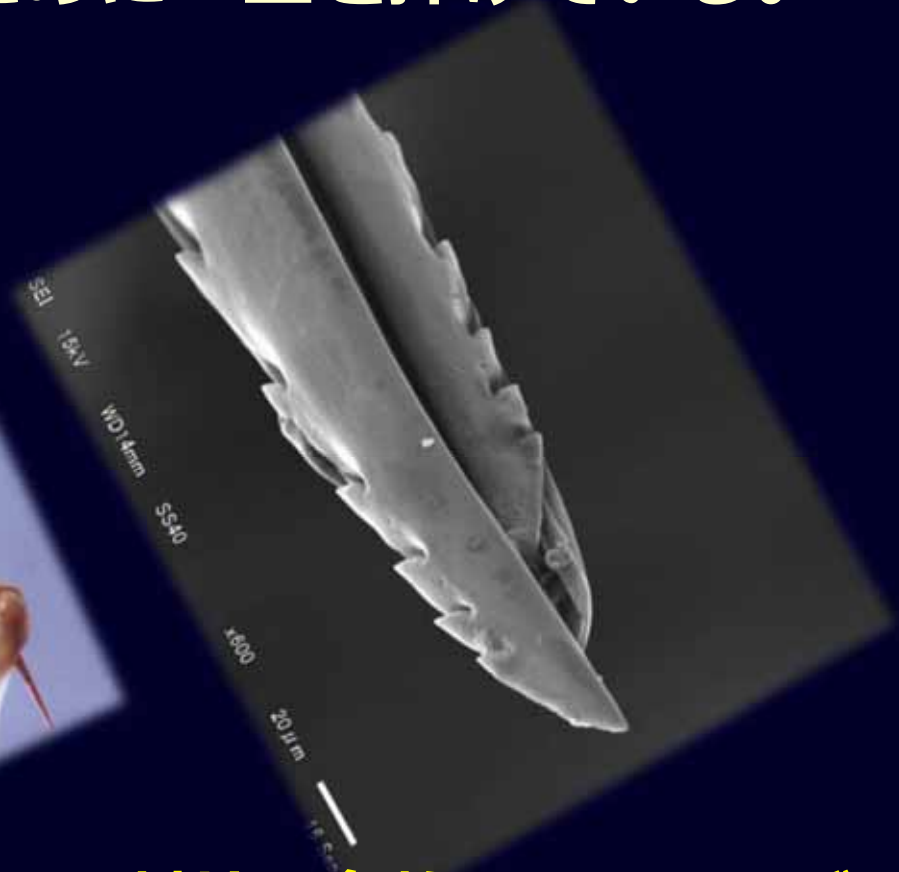
子孫を残さない性質
自己犠牲的な性質

利他行動の進化の謎!?

真社会性昆虫のワーカー（働き蜂や働き蟻）は、雌性であるにもかかわらず、原則的に繁殖をせずにコロニー（血縁集団）のために一生を捧げている。

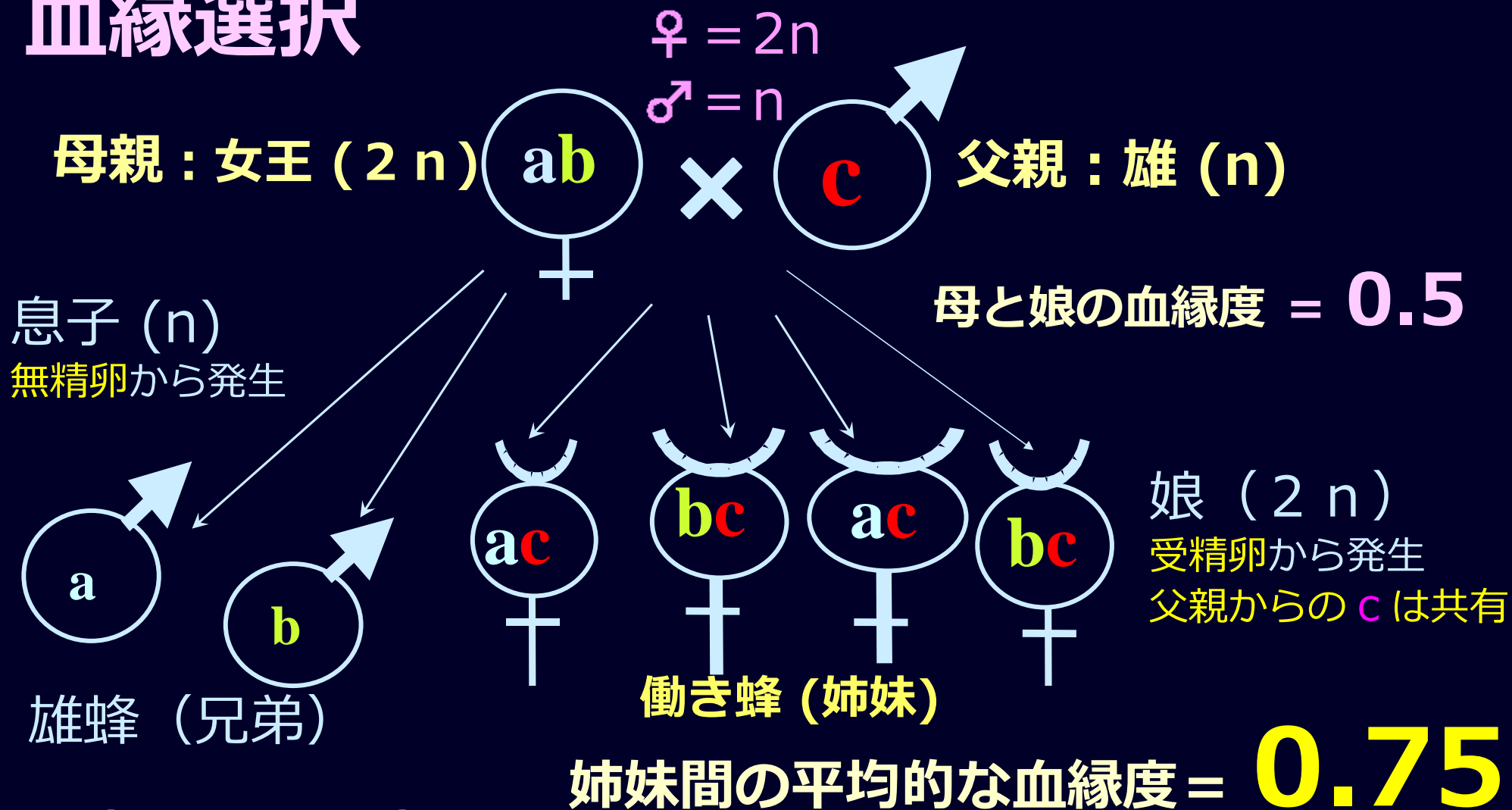


刺したワーカーは針が抜けて死んでしまう



刺針に多数の“かえし”がある

ハチ目の単数倍数性による性決定と血縁度 血縁選択



姉妹間の方が、母娘間よりも血縁度が高い。

娘を産むよりも妹を育てた方が、より多くの遺伝子を継承できる。

血縁選択説 ハミルトン (1964)

受益者との血縁度 (r)

継承されるのは、
個体ではなく、
遺伝子のコピー

$$rB > C$$

受益者の利益

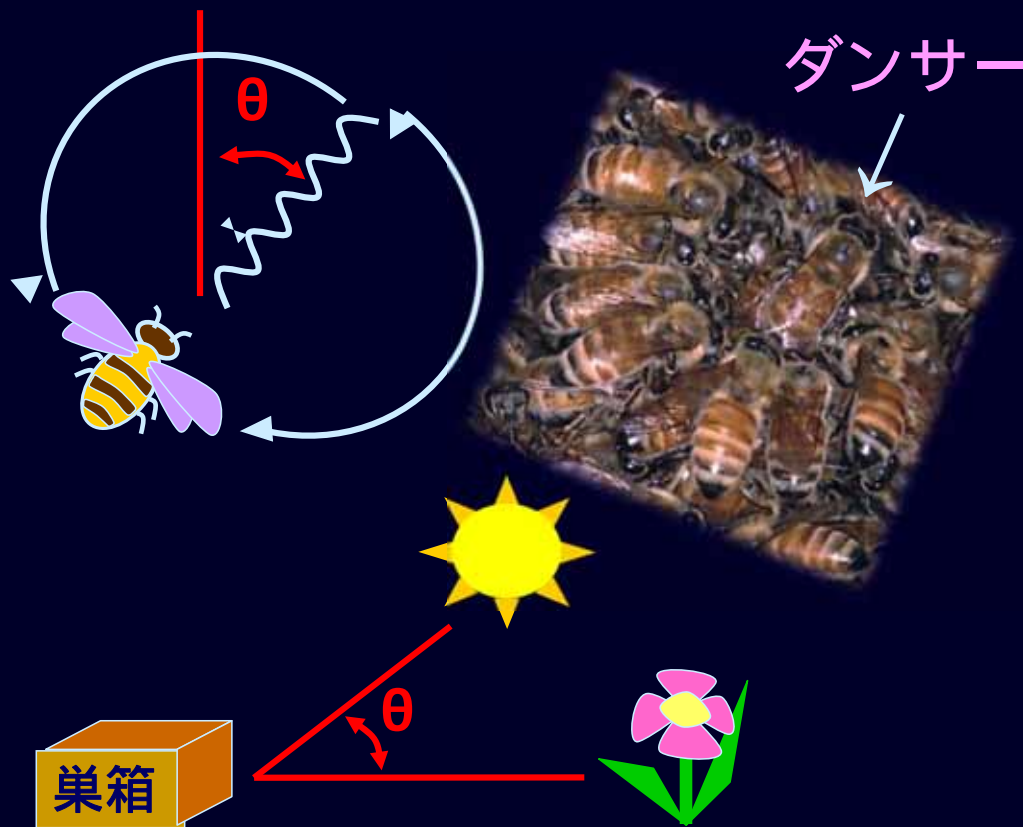
行為者の損失



自然選択は個体にではなく**遺伝子に作用する**。進化はより多くの**遺伝子のコピー**を残す方向に進む。不等式が成り立つとき、利他行動は進化する。遺伝子の共有率が高い血縁者同士は協力し、非血縁者は対立する。

ミツバチのダンス言語

昆虫の社会における血縁者間の協力の良例

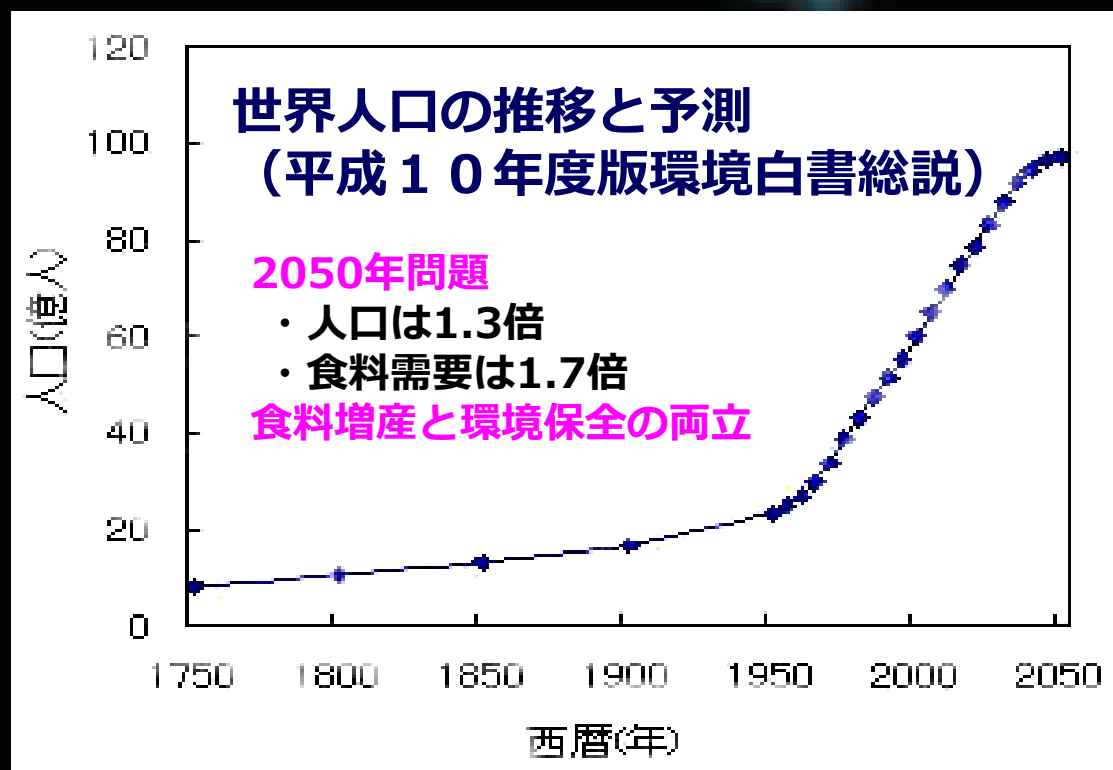


Karl von Frisch (1886-1982)

動物の行動・生理に関する研究功績により
ノーベル賞/ 生理学医学賞受賞 (1973年)

働き蜂は8の字ダンスで巣内の姉妹に餌場までの距離と方角を伝える。
個体の利益とせず、血縁者間で餌資源を共有するシステムが進化。

地球に人の口 = 人口が急激に増えている
その口に入る食料/食糧の増産が必要 → 農薬による植物保護
持続可能な農業、環境保全型農業が求められている



昆虫機能利用
授粉昆虫の活用
など





ポリネータ昆虫の機能利用 : 適蜂適作物

① 送粉者としての真社会性ハチ類の機能活用

生態系を破壊しない日本在来マルハナバチの増殖と利用促進

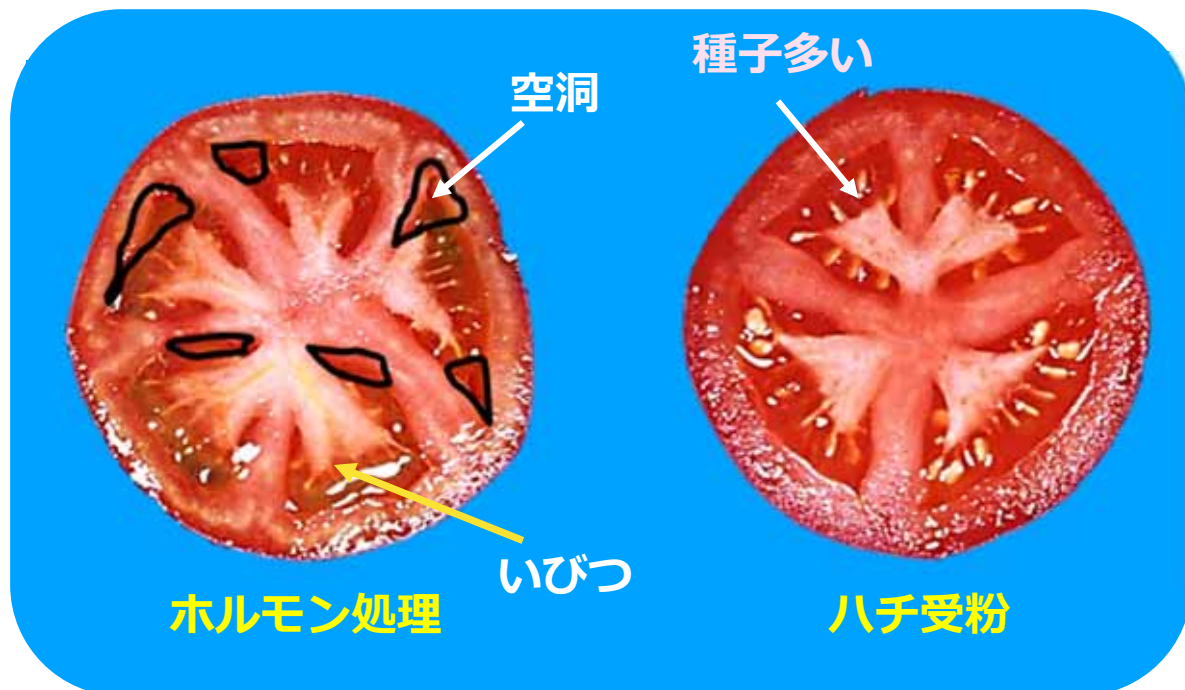
わが国では送粉昆虫としてミツバチしか活用していなかった



1990年代以降にセイヨウオオマルハナバチの輸入・利用が進む

施設トマト栽培でのメリット

- ・省力化
- ・収穫物の品質向上 等



セイヨウオオマルハナバチ

セイヨウオオマルハナバチ：生態系への悪影響

- ・ 在来種の巣の乗っ取り
- ・ 異種間交雑（繁殖干渉）
- ・ 在来種に寄生虫などが感染

Ono (1997) 他



セイヨウオオマルハナバチ

クロマルハナバチ女王へ攻撃



2006年「特定外来生物」に指定
在来種の利用促進のために研究



セイヨウオオマルハナバチ

クロマルハナバチの女王との交尾

どちらが重要か？

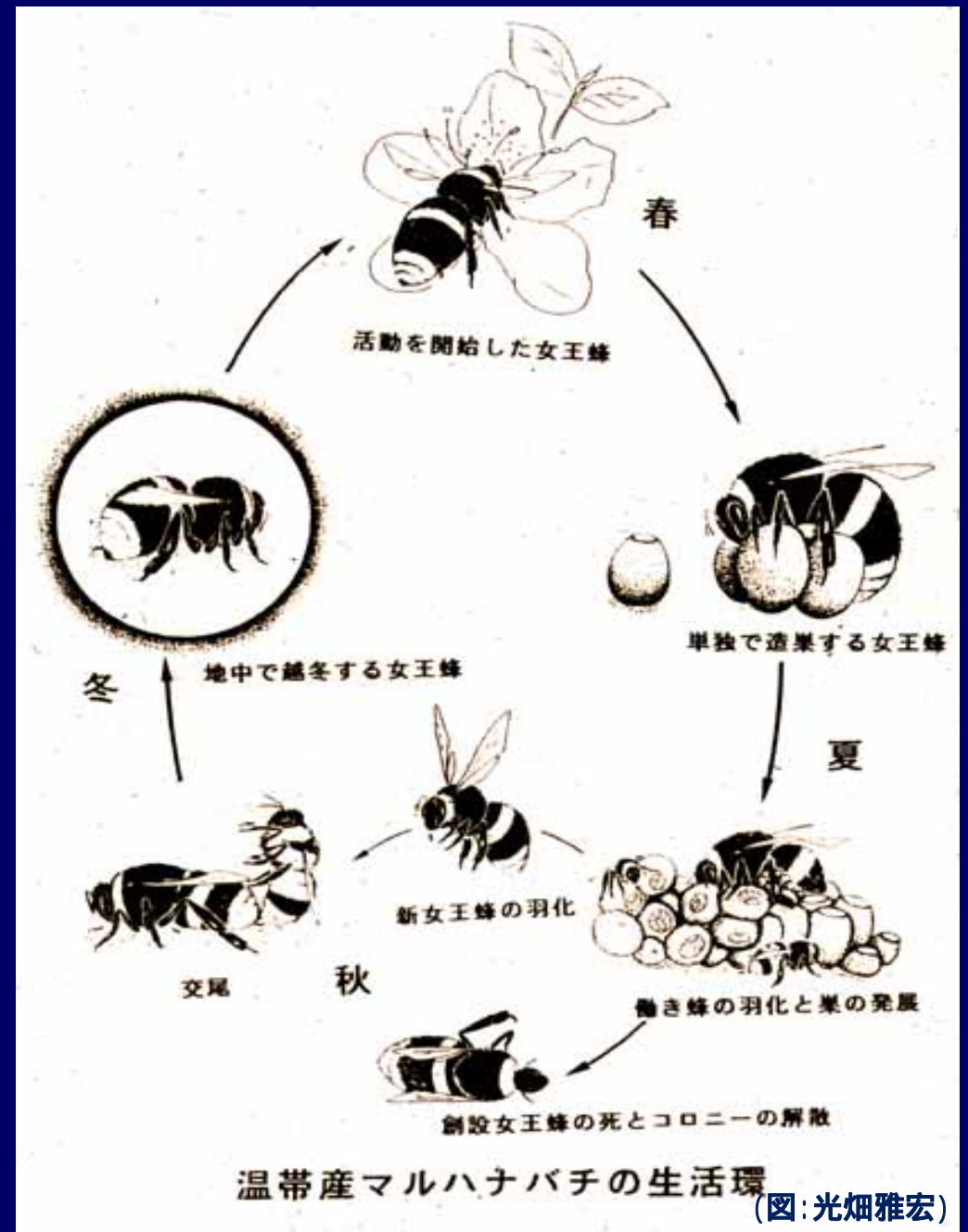
農業への恩恵

生態学的問題

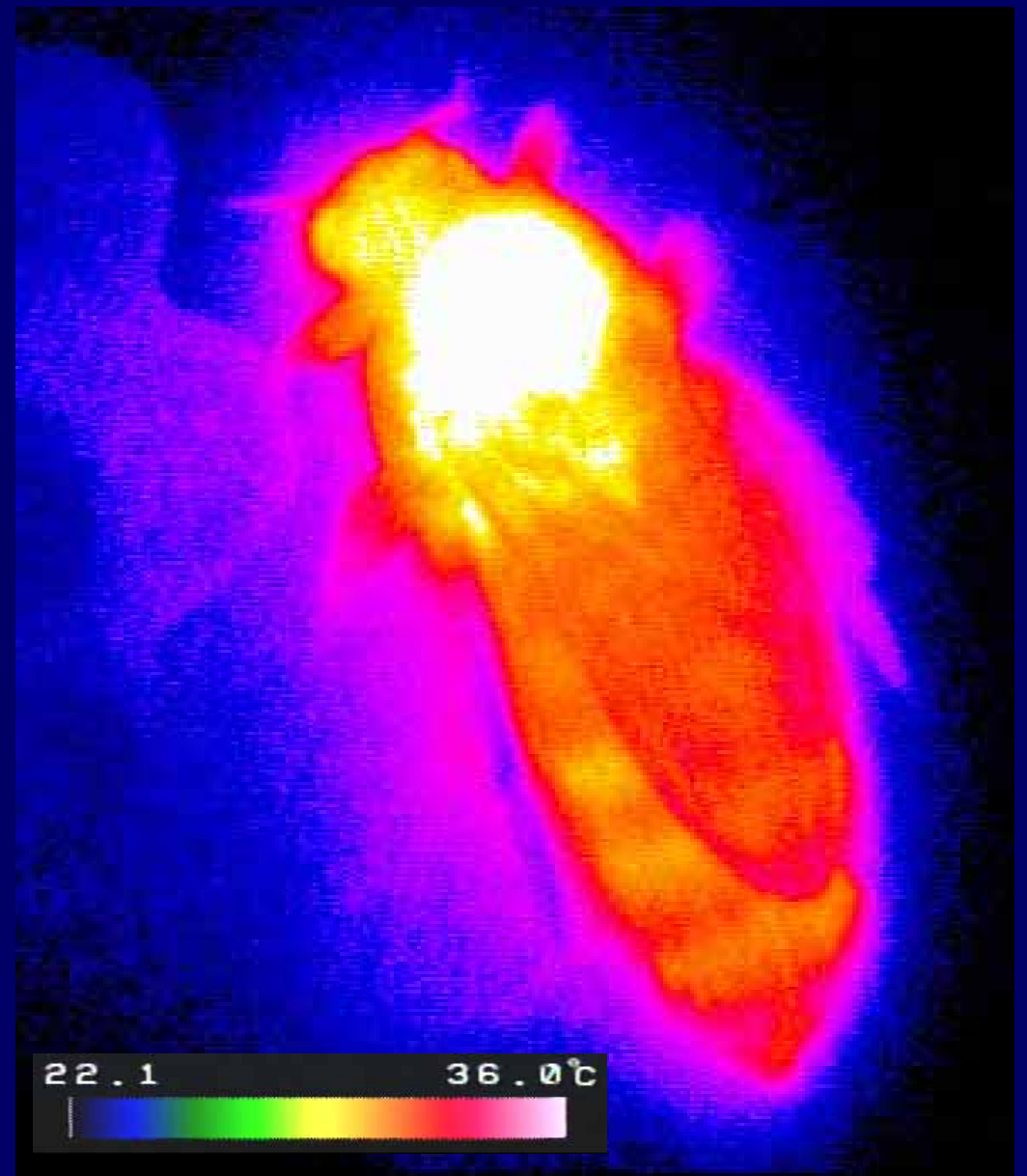
輸入された

セイヨウオオマルハナバチ

日本在来種マルハナバチの実用化が最良の改善策では。
しかし、その試みは成されていなかった。



日本在来種マルハナバチの増殖とそのポリネーターとしての利用
海運コンテナを増殖装置に改造 (科研費: 試験研究、基盤研究A)



卵を温めるクロマルハナバチの女王（右はサーモグラフィー）
好適な室内での飼育・増殖条件の検討

ミツバチの学習機能を活用した標的植物への授粉誘導技術

群馬県農業技術センターとの共同研究



ミツバチ

- 花蜜が出るイチゴなどの授粉に活用
- 花蜜が出ないナスなどには訪花しない



同定したナスの花の香り成分を
餌に混ぜて **連合学習**させる



訪花率の飛躍的上昇に成功

② ニホンミツバチの熱殺蜂球行動

ニホンミツバチ

サイコロミツバチ

(

入種)

天敵 オオスズメバチ



- 逃亡
- 蜜量
- 養蜂
- 野外



いる
きない

要因は??

セイヨウミツバチでは…



原産地にいない**オオスズメバチ**の**集団攻撃**により**全滅**



EAD

ペンレコーダー



冷却槽

電源

GC

流量計
AirとN₂

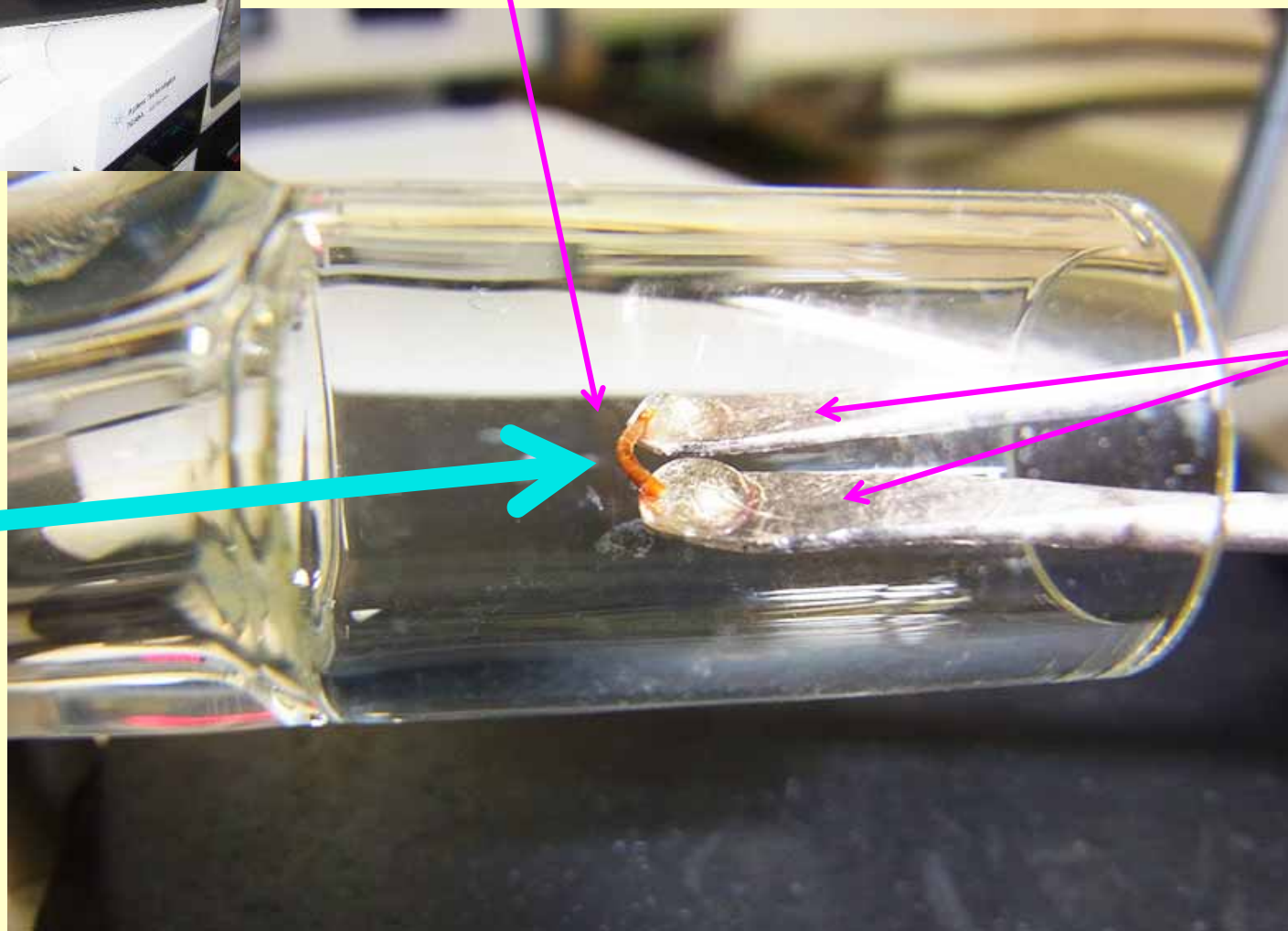
昆虫触角電位増幅システム付ガスクロマトグラフ

昆虫触角電位増幅システム付 ガスクロマトグラフの 電極部分の構造

ハチの触角

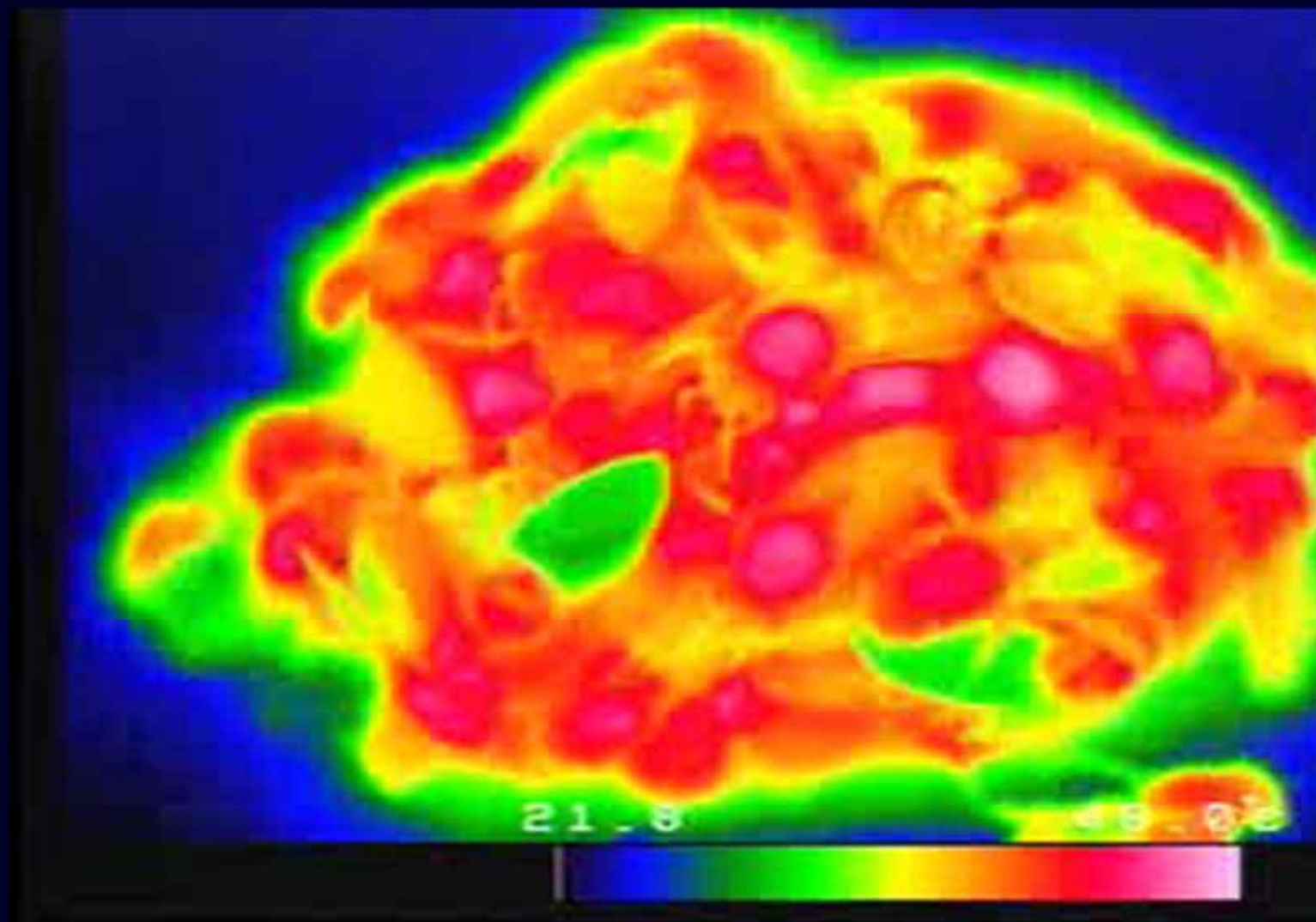
電極

分離された
匂い物質
の流れ



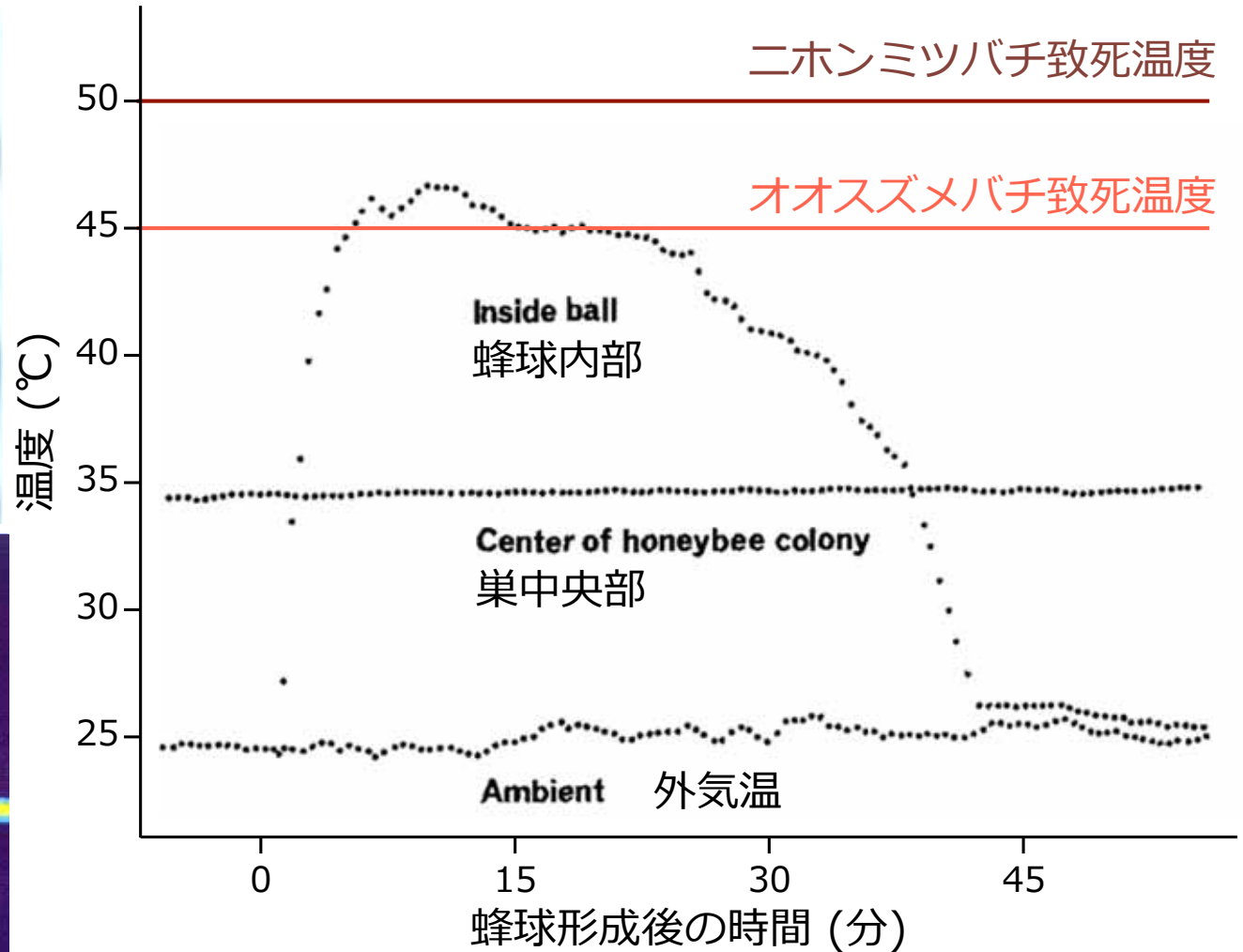
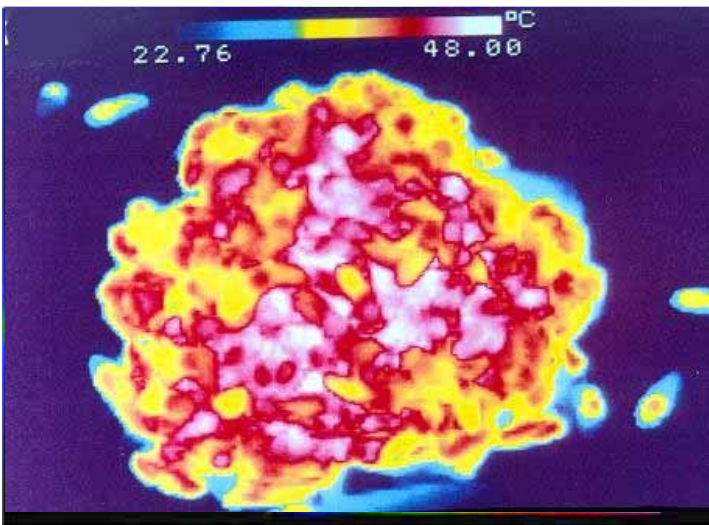


樹洞に造られたニホンミツバチの自然巣



ニホンミツバチでは…

偵察に来たオオスズメバチを巣内におびき寄せ
蜂球を形成して蒸し殺す



Ono et al. (1987) *Experientia*
Ono et al. (1995) *Nature*



ニホンミツバチによる**熱殺蜂球行動** 変温動物である昆虫が **発熱**を防衛行動に進化させた生命現象の発見

刺針行動は起きない

Ono *et al.* (1995) *Nature*

Ugajin *et al.* (2012) *PLoS ONE* : サーモスタット機能

Yamaguchi *et al.* (2018) *Behav Ecol Sociobiol* :

老齢の働きバチが率先して参加、生き残っても余命約1/4に



③ オオスズメバチの化学生態学

- 配偶行動：2種のフェロモンにより制御

- 1) 新女王バチの配偶行動を助ける働きバチの**集合フェロモン**

- 2) 新女王バチに特異的な **性フェロモン**



集合フェロモンにより
巣門周辺に集まるオス



新女王バチに特異的な性フェロモン
により交尾行動を起こすオス

- 防衛行動：刺針行動

毒液に含まれる **警報フェロモン**



集合フェロモン

焼いたオオスズメバチの働きバチ



誘引されたオスバチ

© I. Okada

交尾相手ではない 働きバチの匂いが オスバチを誘引
同様に誘引が確認できた「働きバチの抽出物」で誘引試験

オオスズメバチの新女王の配偶行動 を助ける働きバチのフェロモン



Ono and Sasaki (1987) *Insectes Sociaux*

性フェロモン + 接触



新女王バチの
性フェロモン
+
胸部背面の表皮
+
八子形の構造物

交尾行動
を誘発

オオスズメバチの配偶行動のシミュレーション

第一段階：

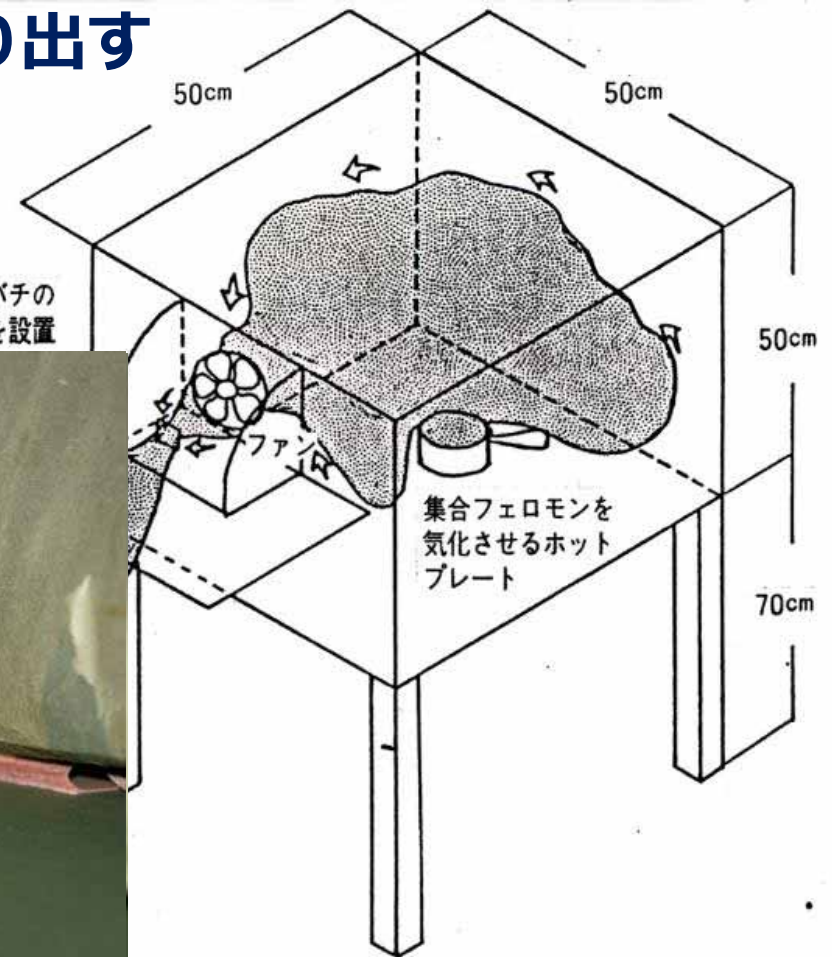
働きバチの集合フェロモンを
箱内で気化させ小型ファンで送り出す

第2段階：

野生のオスが集まった段階で、
巣門相当部位に新女王バチの
ダミーを設置



新女王バチの
ダミーを設置



集合フェロモンと性フェロモンにより2段階で制御される
オオスズメバチの配偶行動の野外における検証実験

警報フェロモン

日用品、食品などにも含まれている身近な揮発物質のブレンド



Insect signaling Components of giant hornet alarm pheromone

Up to 74 people die each year in Japan after being stung by Hymenopteran insects, with hornets (*Vespa* spp.) being among the worst offenders¹. Here we identify a volatile, multi-component alarm pheromone in the venom of the world's largest hornet, *V. manducaria*, and use field bioassays to show that 2-pentanol is its principal active component, and that 3-methyl-1-butanol and 1-methylbutyl 3-methylbutanoate act synergistically with it. The compound 1-methylbutyl 3-methylbutanoate, which may also be a foraging-site-marking pheromone, elicits a strong defensive reaction in the sympatric prey hornet *V. simillima zanthoxperi*. As these chemicals are sometimes used in food flavourings and as fragrances in cosmetics^{2,3}, it is possible that they might provoke a seemingly unwarranted hornet attack on humans.



NATURE | 04 AUGUST 2003 | www.nature.com/nature

スズメバチは化粧品で興奮!?

化学物質は「ペンタノール」というアルコールを主成分とする有機化合物で、スズメバチの毒液に含まれる。バナナやリンゴの香りの成分で、天然香料として香水や加工食品などに含まれている場合があるという。ハイキングやキャンプの際、ハチに襲われることがあるのは、食物や化粧品

ハイキング使用控えめに



香料に攻撃行動促す物質

化粧品において原因の場に行くと舌は、香りの強い」と話している。合もあると書えられ、小い化粧品や化粧品などは、オオスズメバチは夏が野助教授は「ハイキング念のため抑えた方がいから政にかけて、果物で

- オオスズメバチに刺される人数の軽減に役立つ



オオスズメバチ



コガタスズメバチ



ヒメスズメバチ



キイロスズメバチ



チャイロスズメバチ

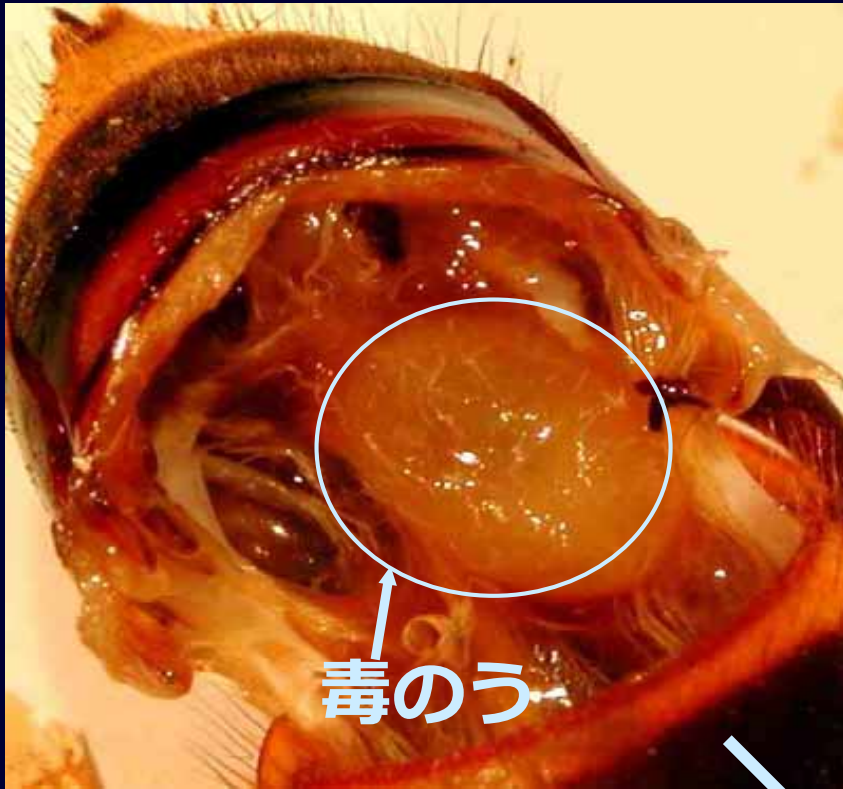


モンスズメバチ

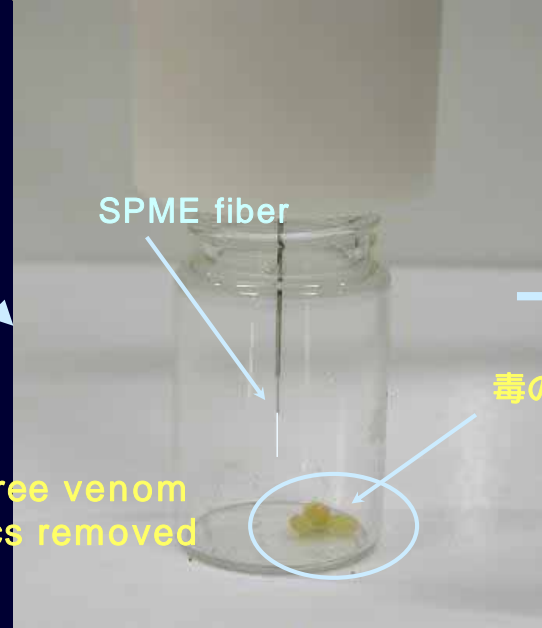
日本産の同所性スズメバチ属6種



オオスズメバチの刺針から注入される毒液（矢印）
警報フェロモンが発散している



オオスズメバチの毒液中 に含まれる警報フェロモン の分析

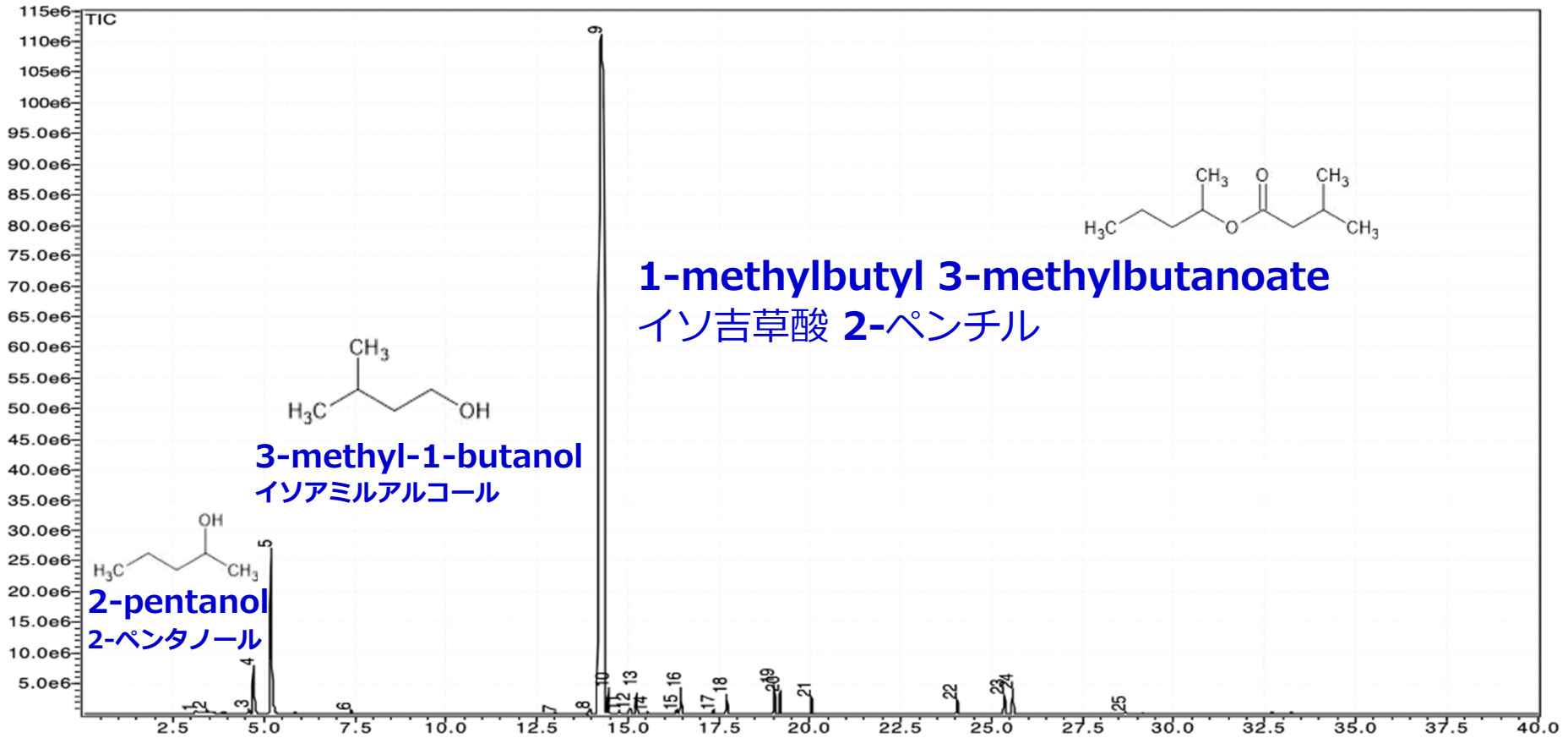


GC/MS
同定
合成
生物検定

警報フェロモン

外敵に毒液かける → 巣仲間の集団攻撃

→ 毒液に含まれる揮発性物質解析



複数の揮発性物質の
相乗作用によって高い活性

Ono et al. (2003) Nature



10周年記念出版

多くの方々に科学の成果を紹介し、
人と自然とに境界が無いこと、その
つながりを紹介し、共感を得たい！

ニホンミツバチが担う自然循環の概念図