

日本学術振興会委託事業

ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～

ロボットで探る昆虫の 感覚と脳と行動の不思議



～ようこそ大学の研究室へ～

K A K E N H I



JSPS 日本学術振興会
JAPAN SOCIETY FOR THE PROMOTION OF SCIENCE



東京大学 先端科学技術研究センター神崎研究室

日本学術振興会委託事業

ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～

ロボットで探る昆虫の 感覚と脳と行動の不思議

日時：平成21年12月26日（土）10:00-17:00

場所：東京大学 先端科学技術研究センター
4号館 2階講堂



主催：東京大学 先端科学技術研究センター 神崎研究室

後援：東京都目黒区 教育委員会，日本比較生理生化学会

東京大学 先端科学技術研究センター

JSPS

日本学術振興会



ひらめき☆ときめきサイエンス

HIRAMEKI TOKIMEKI

ようこそ大学の研究室へ

独立行政法人日本学術振興会は、我が国の学術振興を担う中核機関として、科学研究費補助金(独創的・先駆的な研究に対する助成を「研究機関(大学など)の研究者」に対して行う「競争的資金」)、研究者養成及び学術の国際交流等、研究者の自主性や創造性を尊重した学術の進展に資する研究支援事業をしております。

その事業の一環として、全国の大学とともに「ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～」を開催させていただきます。この事業は、科学研究費補助金によって得られた研究成果を我が国の将来を担う子どもたちに発信し、科学の楽しさを身近で感じてもらい、心の豊かさと知的創造性を育んでもらうというプログラムです。

はじめに

わたしたちは、光や音そして味や匂いなどさまざまな情報に囲まれて生活をしています。そして、そこから必要な情報を目や耳、舌や鼻などの感覚器(センサ)でとらえ、その情報をもとに外界の世界を脳のなかに作り出しています。わたしたちの行動は脳に作られたそのような世界に基づいて決められるのです。これはわたしたち人間ばかりではなく、昆虫を含めあらゆる動物が普遍にもつ基本的なしくみなのです。

空中にはさまざまな種類の匂いが存在します。私たちはそこで感じることでできる匂いの情報を使って“匂いの世界”を脳に作りあげていきます。しかし、すべての匂いを感じることはできません。ヒトにしかわからない匂い、昆虫にしかわからない匂いと、動物によって“匂いの世界”は異なります。つまり“ヒトの匂いの世界”や“昆虫の匂いの世界”があるわけです。動物はそれぞれ異なる匂いの世界に生きながらも、匂いを区別する脳のしくみは共通しています。しかし、私たち人間には昆虫のように何キロも離れた仲間を匂いを頼りに探し出すことはできません。動物にはそれぞれ独自の匂いの世界があり、その利用の仕方それぞれなのです。

ジャン・アンリ・ファーブルは『昆虫記』の中で、雄のオオクジヤクガが数キロメートルも離れたところから、わたしたちにはまったく感じとれない雌の匂いをたよりに飛来することを記しています。われわれには思いもよらない嗅覚能力です。どのような匂いが、どこで感じられ、どのように匂いの情報が処理され、そしてどのような行動が引き起こされることで、匂いの探索が可能なのでしょう。ファーブルから100年が経過し、ようやくこれらの謎に答えることができるようになってきました。

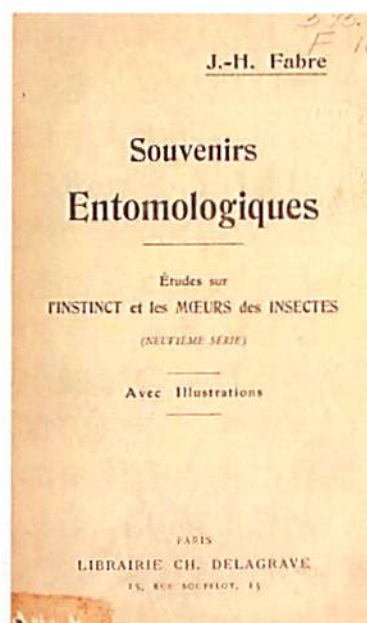
この「ひらめき☆ときめきサイエンス」では、小さなサイズの世界で活躍する昆虫の特徴から、昆虫の感覚や脳そして行動へと話を進めていきます。昆虫の世界の不思議、そしてわれわれ人間とはちがった世界に生きる昆虫の能力(昆虫パワー)をぜひ味わっていただきたいと思います。そして、ファーブルの残した「匂い源探索のなぞ」を行動実験によって解きながら、昆虫を例に動物の感覚や脳、行動の仕組みを学んでいきましょう。また、ロボットをみなさんの筋肉から発生する電気でコントロールする実験を通して、生物と工学とのかかわりについても体験してみましょう。

昆虫の持つ能力は今、生物学の研究だけではなく、工学や情報学、そして数理科学などの分野の協力によっておおきく進展し、ヒトの脳を明らかにするため、また、昆虫のもつ優れた能力を“かしこい”ロボットや自動車などの産業に応用するための研究が始まっています。昆虫の研究は、今ファールも想像さえしなかった方向へと大きく進んでいるのです。

この「ひらめき☆ときめきサイエンス」を通して、昆虫を使った研究の面白さを、そして重要さを体験してもらいたいと思います。本事業は、日本学術振興会（JSPS）の委託により、また東京都目黒区教育委員会、日本比較生理生化学会、東京大学先端科学技術研究センターの後援により行われます。開催に当たり、JSPSをはじめご後援・ご支援をいただきました関係諸機関、皆様にこころより厚く御礼申し上げます。

2009年12月26日

神崎亮平
東京大学先端科学技術研究センター



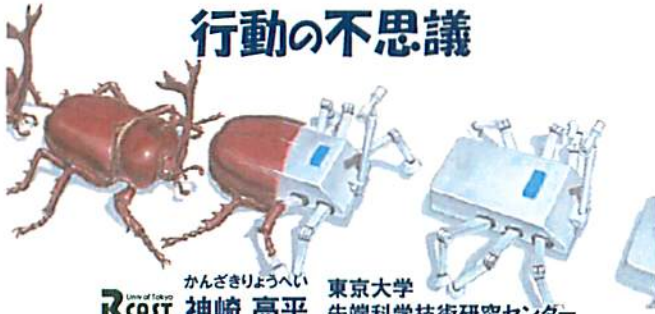
ジャン・アンリ・ファールと昆虫記

スケジュール

時間	内 容
9:30	受付開始, 開場
10:00- 10:20	挨拶とオリエンテーリング・学振事業および科研費の説明
10:20- 12:30	(1) 講義： 昆虫の感覚と脳と行動の不思議 (2) 実習1： カイコガのオスがメスを探すしくみを探る (3) 実習2： 昆虫の脳と神経のしくみを探る
12:30- 13:30	昼食（研究者らと一緒に食事）：4号館2階講義室
13:30- 15:00	(4) 実習3-1：昆虫の脳の解剖と観察 (5) 実習3-2：昆虫の筋肉の活動電位計測 (6) 実習3-3：筋電ロボット：筋電でチョロQを操縦 (7) 実習3-4：昆虫の能力をみる
15:00- 16:20	(8) 研究室見学と体験（4号館5階） ・遺伝子、神経、神経回路からの昆虫の脳を探る ・昆虫の能力をもったロボットの紹介
16:20	クッキータイム： フリートークと講義・実験の解説と反省会・アンケート
16:40	修了式, 「未来博士号」授与式, 記念撮影
17:00	後片付け・解散

日本学術振興会委託事業
ひらめき☆ときめき サイエンス~ようこそ大学の研究室へ~

昆虫の感覚と脳と 行動の不思議



かんざきりょうへい 東京大学
RCAST 神崎 亮平 先端科学技術研究センター

地球に生きるさまざまな動物

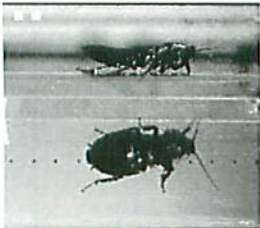


地球に生きる
生物の種類の
70%以上が昆虫

出典：放送大学、移動知、神崎研究室

昆虫とは？

ゴキブリ



6本のあし

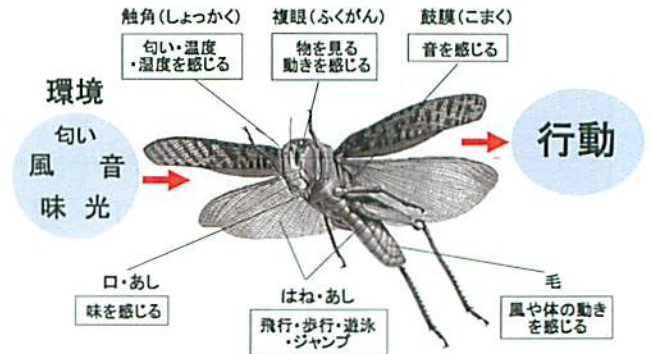
スズメガ



4枚のはね

からだは、頭・胸・腹 からできている。

昆虫の不思議なパワー

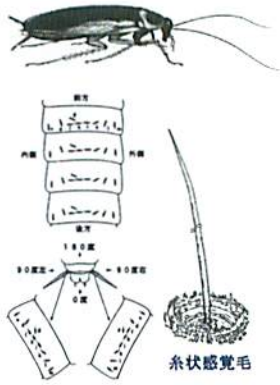


驚異の昆虫パワー：触覚センサ

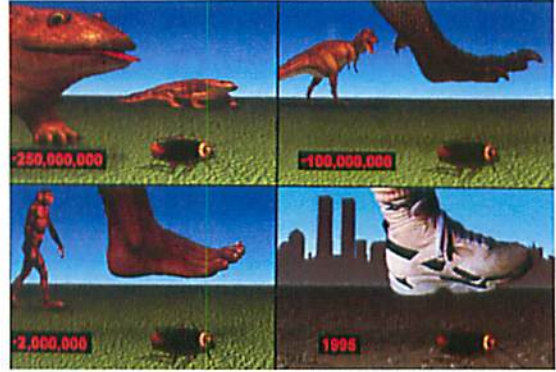
しよっかく



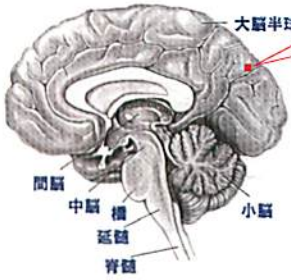
「NHK ためしてガッテン」
神崎研究室



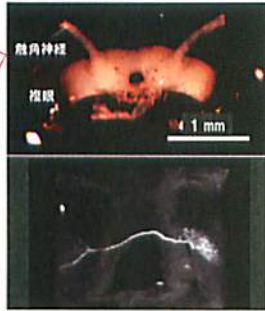
ゴキブリはこの地球に約 2.5億年前に現れ
今もその姿・形は変わっていない



昆虫の脳とヒトの脳



ヒト
100,000,000,000



昆虫
100,000

ヒトの脳も昆虫の脳も同じ神経からできている

昆虫の世界とぼくたちの世界

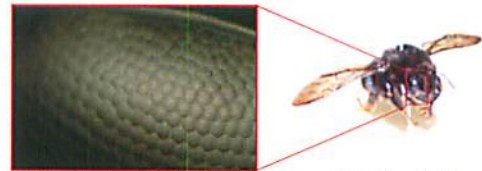
- 感じる(感覚)の世界
- 時間の世界
- 大きさの世界

神崎亮平著、茂利勝彦絵「昆虫ロボットの夢」より

昆虫の見る能力：複眼

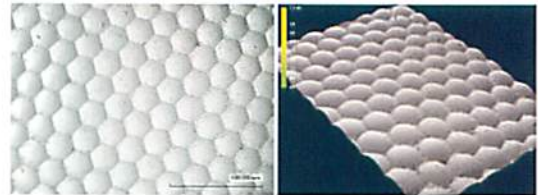


昆虫の複眼：視力は？



クロマルハナバチの複眼

クロマルハナバチ



うーん、
見えな
いなあ

どっちがあいて
るかなあ？



0.1	C O O		
0.2	C	O	C
0.3	C	O	C
0.4	O	O	O
0.5	O	O	O
0.6	O	O	O
0.7	O	O	O
0.8	O	O	O
0.9	O	O	O
1.0	O	O	O
1.5	O	O	O

昆虫の視力は、0.01以下

昆虫の複眼：視力は？



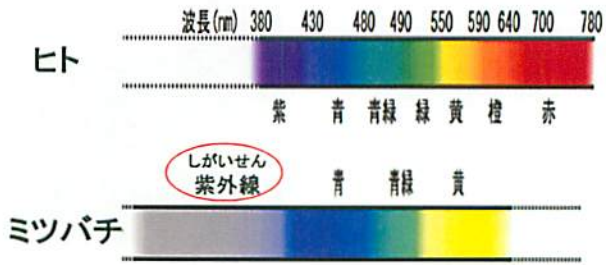
Kirschfeld, 1976より

**最先端 IT・エレクトロニクスの総合展
『CEATEC JAPAN 2008』**



「BR23C」
バイオミメティック・ロボット23C
(Biomimetic Robot 23 Car)

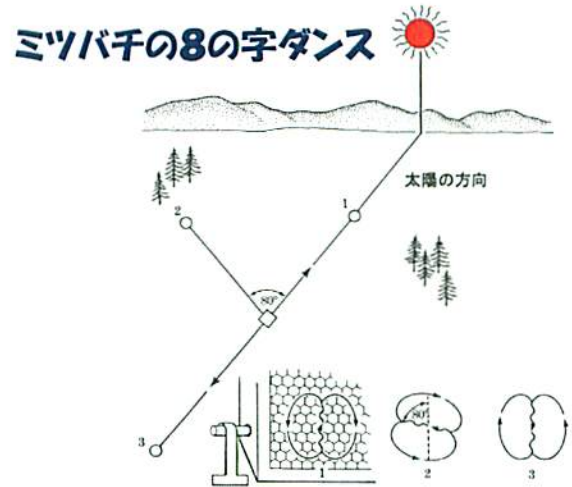
昆虫の複眼：どんな色が見える？



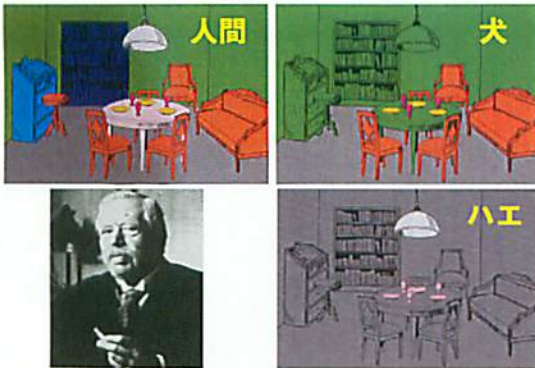
放送大学より



放送大学より



感覚の世界



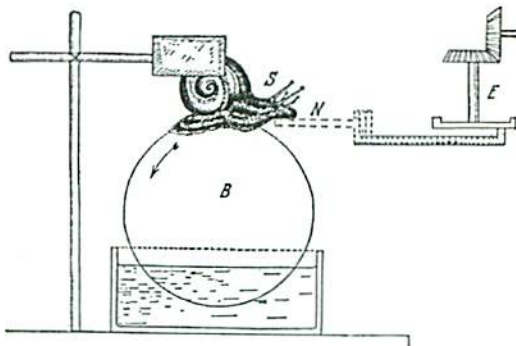
『生物から見た世界』ユクスキュル Jakob von Uexküll, 1933

昆虫の世界とぼくたちの世界

- 感じる(感覚)の世界
- 時間の世界
- 大きさの世界

神崎亮平著、茂利勝彦絵 『昆虫ロボットの夢』より

時間の世界



『生物から見た世界』ユクスキュル Jakob von Uexküll, 1933

時間の世界

電球を点滅させて、1秒間に点滅させる回数(頻度(ひんど))をあげていくと、点滅しているのか、連続に光っているのかが区別できなくなる。

りんかいゆうごうひんど
臨界融合頻度
(CFF)



さまざまな動物の臨界融合頻度

(照明弱・強。値がひとつのものは照明強の場合。)

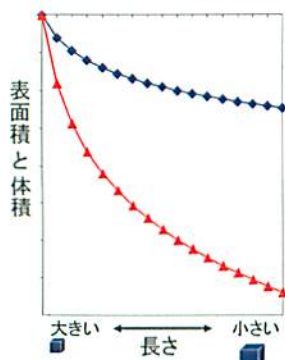
	CFF (Hz)
ホニュー類	
人間	15-60 (網膜中心) 5-20 (網膜周辺15度)
ネコ	15-60
モルモット	10-40
鳥類	
ハト	150
魚類	
コイ	14-18
スナキュウリウオ	67
昆虫	
ミツバチ	60-310
ハエ (クロバエ)	60-260
チョウ (ミドリヒョウモン)	150
コオロギ	5-40
頭足類	
タコ	20-70



大きさの世界



寸法(スケール)効果

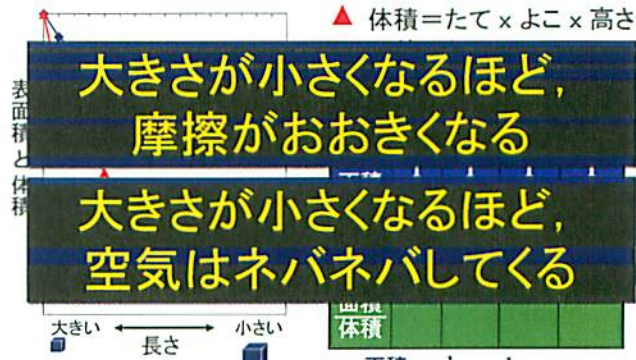


- ▲ 体積=たて×よこ×高さ
- ◆ 面積=たて×よこ

長さ	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
面積	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{256}$
体積	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{512}$	$\frac{1}{4096}$
面積 体積	$\frac{2}{1}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{8}{1}$	$\frac{16}{1}$

$$\frac{\text{面積}}{\text{体積}} = \frac{1}{4} \div \frac{1}{8} = 2$$

寸法(スケール)効果



$$\frac{\text{面積}}{\text{体積}} = \frac{1}{4} \div \frac{1}{8} = 2$$

環境世界

同じ環境（場所）にいても、動物によって見たり、聞いたり、匂いの感じ方は、ちがう。

これを「環境世界」がちがうといいます。

- 感じる（感覚）世界
- 時間の世界
- 大きさの世界

生物によって、世界はちがうぞ！
人間それぞれでも世界はちがうぞ！

実習

実習1:

カイコガのオスがメスを探ししくみを探る
（ファーブルの実験の再現）

実習2:

昆虫の脳と神経のしくみを探る

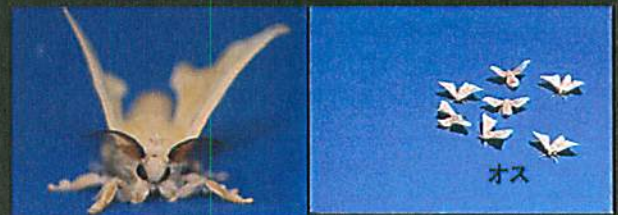
カイコガのオスがメスを探ししくみを探る （ファーブルの実験の再現）



Jan-Henri Casimir Fabre
1823年12月21日～1915年10月11日

フランスの生物学者。
昆虫の行動研究の
先駆者。研究成果を
まとめた『昆虫記』で
有名。

カイコガのオスがメスを探ししくみを探る （ファーブルの実験の再現）



どのようにしてオスは、何キロもはなれた
メスを探し出すことができるのだろう？

問1.

オスのカイコガは、メスの出すどのような
信号をたよりにメスを探るのでしょうか？



実験1-1:メスに近づくオスのカイコガ



この実験は、何のために行ったのでしょうか？
その結果、何がわかったのでしょうか？

フェロモンの化学構造の決定 フテナント(1959)

(E, Z) - 10, 12 - hexadecadienol (Bombykol)



(E, Z) - 10, 12 - hexadecadienal (Bombykal)



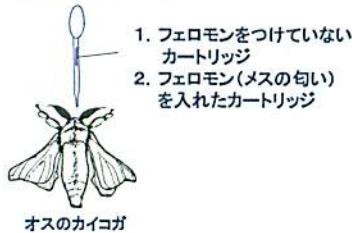
実験1-2. フェロモンの抽出



1. メスのフェロモン腺をはさみで切り、ピンセットでつまんで、溶液を入れたピンに入れる。
2. 5分後に、ピンの中に、ろ紙を入れて、溶液を付ける。
3. ろ紙をカートリッジに入れる。
溶液をつけていないカートリッジも準備する。
4. オスカイコガにカートリッジをつかって刺激を与える。

実験1-3. 抽出したフェロモンでオスを刺激する

1. フェロモンがつけていないカートリッジでオスのカイコガに吹きかけてみよう
2. フェロモンを入れたカートリッジでオスのカイコガに吹きかけてみよう
3. カイコガの行動観察をする



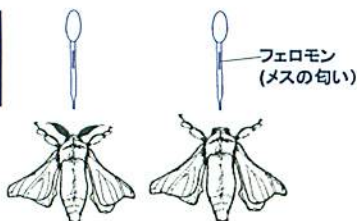
問2. フェロモンの“匂い”の感覚器は？



実験2-1. 昆虫の鼻は？

1. 正常のカイコガと触角を切りはなしたカイコガを準備
2. それぞれにフェロモンの匂いをあたえる
3. それぞれのカイコガの行動観察をする

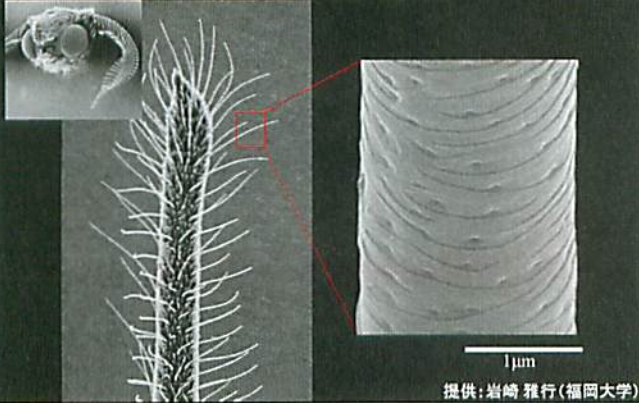
フェロモンの
匂いを
あたえる



昆虫の鼻は触角

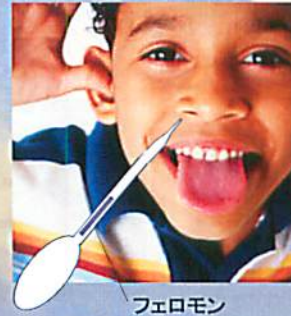


**フェロモンを感知するカイコガの
匂いセンサ(感覚子)**



実験2-2. 環境世界の確認

フェロモンのにおいをかいてみよう



フェロモン
(メスのにおい)

匂いの空中での分布



匂いは、つねに複雑に変化しながら分布する。

問3.

オスのカイコガは、メスの匂いを
たよりにどのようにして探すのでしょうか？

「ファーブル昆虫記」以来のなぞ



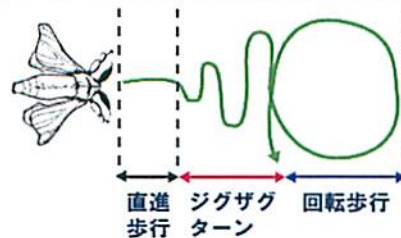
**実験3. 匂いによって発現する
歩行パターンの観察**

*Programmed
Zigzag Walking Pattern
Triggered by Pulsed
Pheromonal Stimulation*

**問4. 匂い源を探す時に、なぜ
このような行動パターンをとるのだろう？**

匂いによって発現する歩行パターン

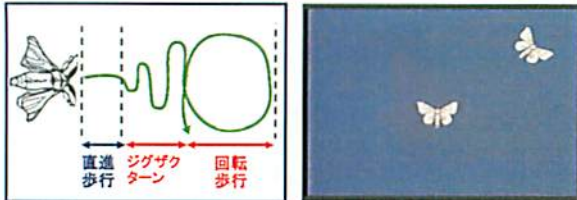
1. 匂いによって起動するジグザグプログラム
2. プログラムは匂いを受けるたびにリセットされる



匂い源探索の行動戦略 「ファーブル昆虫記」以来のなど

匂い源探索の行動戦略

1. 匂いによって起動するジグザグプログラム
2. プログラムは匂いを受けるたびに再スタートする



NHK教育 高校生物・サイエンスアイ

実習

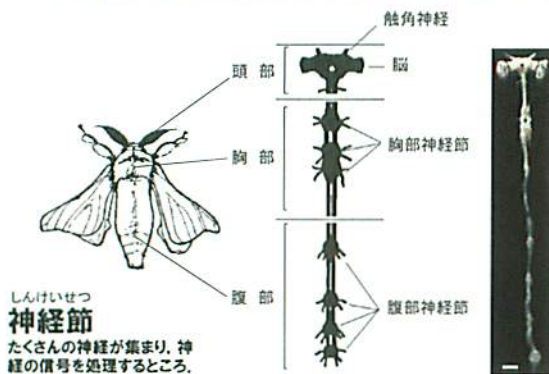
実習1:

カイコガのオスがメスを探しくみを探る
(ファーブルの実験の再現)

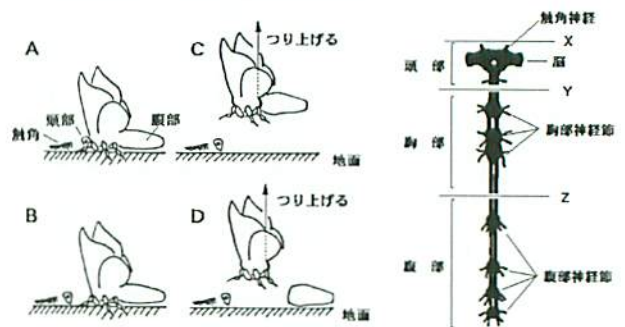
実習2:

昆虫の脳と神経のしくみを探る

問5. 頭部、胸部、腹部にある脳(神経節)は
行動をおこす上でどんな役わりをしているか?



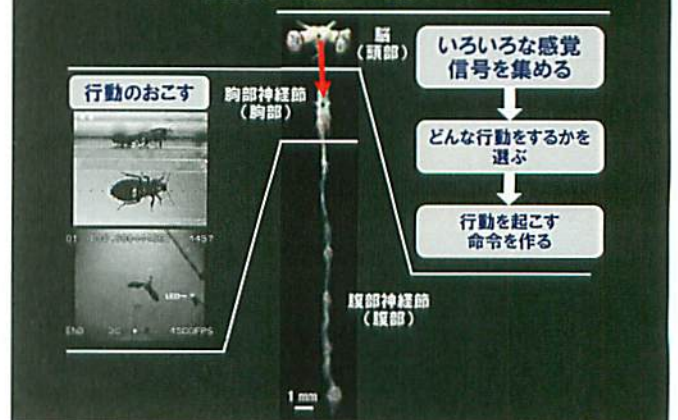
実験5. 昆虫の脳の役わりは?



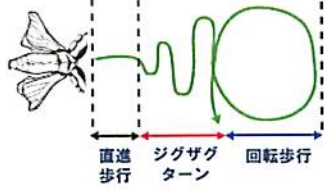
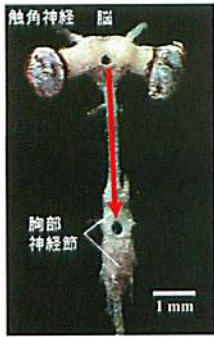
実験5. 昆虫の脳の役わりは?



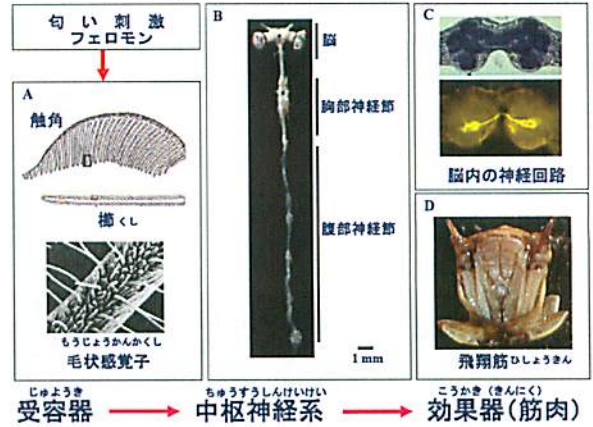
昆虫の脳の役わり



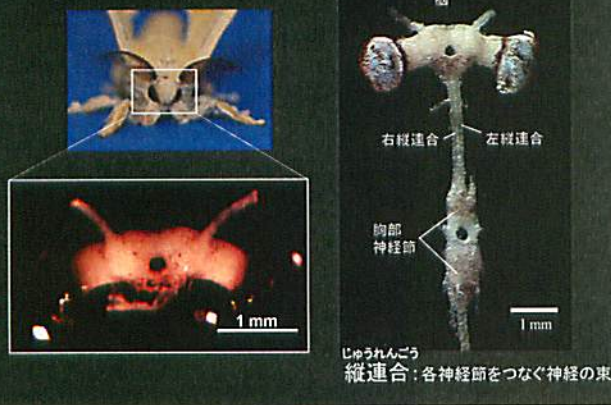
匂い源を探す行動は脳から胸部神経節に
伝えられる信号によって命令される



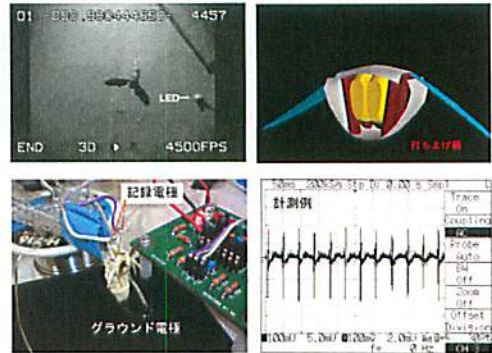
行動がおこる仕組み



実習3-1: 昆虫の脳の解剖と観察



実習3-2: 昆虫の筋肉の活動電位計測



はばたきをおこす筋肉の活動をみる

実習3-3: 筋電ロボット: 筋電でチョロQを操縦

ヒトの上腕筋電位によるロボットの制御実験



生物(脳)と機械の融合(BMI)について考える

実習3-4: 昆虫の能力をみる

臨界融合頻度 (CFF)



偏光を見る

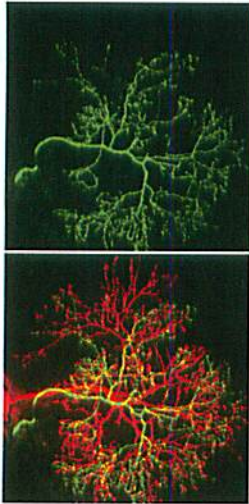


行動を高速度撮影装置でみる



体験：研究室ツアー

■ 遺伝子、神経、神経回路からの昆虫の脳を探る方法を紹介



カイコガの脳
をつくる神経



カイコガの脳

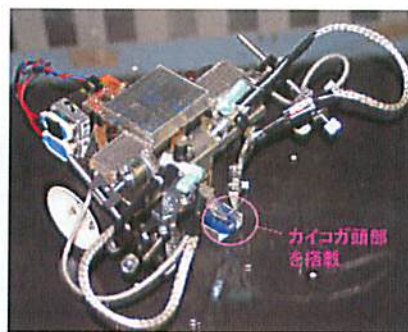


カイコガの脳に微小な電極を
突き刺して、神経の形をみる

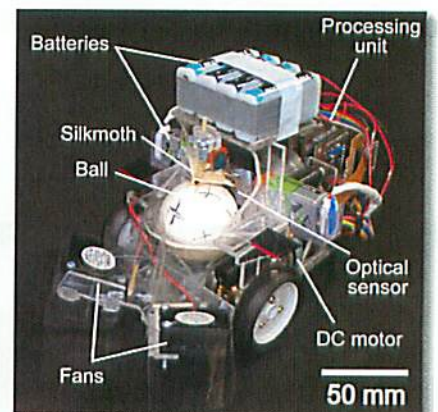
■ 昆虫の能力もったロボットの紹介



昆虫の行動の仕組み
によって制御される
ロボット



昆虫の脳から記録
される神経信号に
よって制御される
ロボット



昆虫が操縦する
ロボット

もっと詳しく知りたい人へ

■「昆虫ロボットの夢」(農文協, 1998年)

神崎先生の書いた絵本です。昆虫の感覚・脳・行動そして昆虫ロボットのことをわかりやすく絵本で紹介しています。

■「ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界—ファール昆虫記のなぞに挑む—」(フレグランスジャーナル社 2009年)

<http://www.fragrance-j.co.jp/books/fragrance/305257.html>

神崎先生の著書で、昆虫の不思議な感覚、脳、行動、そしてロボット、サイボーグの話がわかりやすく紹介されています。

■東京大学 神崎・高橋研究室ホームページ

<http://www.brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp/>

神崎先生の研究室のホームページです。昆虫操縦型ロボット、昆虫サイボーグ、昆虫脳のニューロンの構造・機能分析などの研究が紹介されています。

■財団法人テルモ科学技術振興財団 中高生と“いのちの不思議”を考える：生命科学 DOKIDOKI 研究室。神崎研究室の研究が紹介されています。

<http://www.terumozaidan.or.jp/labo/technology/01/index.html>

■SSP (サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト)

<http://spp.jst.go.jp/example/dvd.html>

「昆虫の脳からヒトの脳へ、そしてロボットを通してみる最先端脳神経科学」で、神崎先生がカイコガの脳の実験を高校の先生に指導しているビデオ (DVD) が見られます (北海道教育委員会主催, (独) 科学技術振興機構製作)。

■無脊椎動物脳プラットフォーム

<http://platform.invbrain.neuroinf.jp/>

無脊椎動物の神経生理学、神経行動学に関する実験データや研究成果の共有を目指したデータベース。神崎先生提供のカイコガの脳・神経細胞データや「雄カイコガのジグザグ歩行」「カイコガ匂い源定位行動」の動画が見られます。中高生のための昆虫の脳のページや実験のページを、中高の先生と協力して作成中です。

■東京大学先端科学技術研究センター

<http://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/>

先端研の各研究室で取り組んでいる研究内容などを調べることができます。

参考図書



ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界
—ファール昆虫記のなぞに挑む—

神崎亮平

フレグランスジャーナル社

香り選書 10

香り選書 10 ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界
—ファール昆虫記のなぞに挑む—

神崎亮平

フレグランスジャーナル社

☆お知らせ☆
「日経サイエンス (9月号)」
の新刊ガイドで紹介されました

新刊GUIDE

ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界
ファール昆虫記のなぞに挑む

神崎亮平 著 フレグランスジャーナル社 1470円 (税込)

空中にはさまざまな匂いが混在しているが、どの匂いを感じとれるかは、生物種によって大きく異なる。匂いを区別する脳のしくみは共通でも、ヒトと昆虫では「匂いの世界」はまったく違っている。本書では昆虫ロボットの研究を通して、匂いによる行動や匂いを識別する仕組みを解説する。サブタイトルは、ファールが『昆虫記』で述べた、雄のオオクジャクガが数km離れたところから雌の匂いをかぎ分けるという話にちなんだもの。



(社) 日本図書館協会選定図書

神崎亮平 著

B6判 148頁

出版社：フレグランスジャーナル社

定価 1,470円 (本体 1,400円)

ISBN 978-4-89479-156-5

2009年5月 第1刷

神崎亮平 著 茂利勝彦 絵

大型本：31ページ

出版社：農山漁村文化協会

定価 2,100円 (本体 2,000円)

ISBN-10: 4540971298

ISBN-13: 978-4540971297

発売日：1998/06



日本学術振興会委託事業

ひらめき☆ときめき サイエンス～ようこそ大学の研究室へ～

ロボットで探る昆虫の 感覚と脳と行動の不思議

昆虫の行動実験，脳の解剖，昆虫ロボットを
とおして，昆虫の不思議を科学しよう！

日時：平成21年12月26日（土）10:00 - 17:00

場所：東京大学 先端科学技術研究センター
3号館中2階

- 募集人数：40名（対象：中学生，高校生）参加無料。
- 申込方法：往復はがきに，①住所・電話番号，②氏名・年齢（学校名・学年），
③参加理由，④「ひらめき☆ときめき サイエンス」参加希望と
お書きの上，以下宛にお申し込みください。
参加希望者数が募集人数を超えた場合は，抽選となります。
- 送付先住所：〒153-8904 東京都目黒区駒場4丁目6番1号
東京大学 先端科学技術研究センター神崎教授室 木村宛
- 申込締切：平成21年11月16日（日）必着
- お問合せ先：木村
電話：03-5452-5195（平日10:00-17:00）
e-mail: secretary@brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp
- 詳しくは，神崎研究室ホームページ (<http://www.brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp>)
- 聴覚に障害をお持ちの方へ：要約筆記または手話通訳で情報補償いたします。



主催：東京大学 先端科学技術研究センター 神崎研究室
後援：東京都目黒区 教育委員会，日本比較生理生化学会
東京大学 先端科学技術研究センター

担当スタッフ



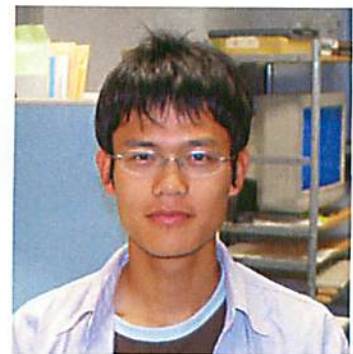
神崎 亮平
(教授)



安藤 規泰
(助教)



峯岸 諒
(博士1年)



藤原 輝史
(修士2年)



金井 輝子
(都立中央ろう学校)



藍 卓也
(成城学園
中学高等学校)



岡崎 愛
(都立翔陽高校)



井上 陽子
(神奈川県立西湘高校)



高田 史子
(筑大附属聴覚)



油井 淳
(筑大附属聴覚)



久川 浩太郎
(筑大附属聴覚)



長島 素子
(筑大附属聴覚)



横山 知弘
(筑大附属聴覚)

略)筑大附属聴覚:
筑波大学附属聴覚特別支援学校

お問合せ

東京大学 先端科学技術研究センター
神崎研究室 木村

〒153-8904

東京都目黒区駒場4丁目6番1号

TEL: 03-5452-5195

FAX: 03-3469-2397

e-mail: secretary@brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp

<http://www.brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp>