

神生研教員研修

動物の感覚/脳/行動のしくみの 講義/実習法の提案

日時:2010年1月31日(日)13:00-18:00

場所:東京大学 先端科学技術研究センター 3号館、4号館

神崎亮平

 **東京大学 先端科学技術研究センター**
Research Center for Advanced Science and Technology

神生研 教員研修
動物の感覚・脳・行動のしくみの講義・実習法の提案

神崎亮平

東京大学 先端科学技術研究センター

動物の環境適応のしくみに関する講義と実験デモの体験をとおして、環境、感覚、脳神経系、動物行動について体系的に講義・実習を行うための教育法について提案します。具体的には、動物の行動の発現のしくみに関する講義と、カイコガ（昆虫）を用いた行動実験のデモンストレーションをおこないます。

1. 講義：動物の感覚・時間・サイズの世界の違いから、動物によってそれぞれまったく異なる世界（環境世界）に生きていることを説明します。ファンクションジェネレーターを用いて、一瞬の時間感覚の違いや、偏光フィルターを用いて、視覚で用いる感覚の違いを体験します。

2. デモ実験：中学校・高校においても容易に扱うことのできるモデル動物であるカイコガ (*Bombyx mori*) を用いて、次のような行動実験のデモを行います。この実験をとおして、感覚・脳・行動のしくみを推測します。

(1) カイコガのフェロモン源探索行動

- ・ファール昆虫記のなぞに挑戦：匂い源を探索する行動の秘密を探ります。
- ・匂い源探索行動を起こす昆虫の感覚器・脳のしくみを簡単な行動実験から推定します。
- ・昆虫の脳の解剖方法を紹介します。

(2) 昆虫の生体情報の計測（安価・容易な装置の提案）

- ・2000円程度で筋肉の活動電位を計測できる装置を紹介します。
- ・これまで高校や教員実習でおこなってきた、この計測装置を製作や実験の実施例を紹介します。

3. 協議：動物とくに無脊椎動物の感覚・脳・行動など神経科学に関する情報を統合したデータベースの構築をおこない、教育や研究に活用する活動を紹介します。このようなデータベースの中学・高校における活用について意見交換をするとともに、動物の感覚・脳・行動の講義と実習を中学・高校で実施する上での問題点などについても具体的に検討します。



2010年1月31日(日)
神生研教員研修

動物の感覚/脳/行動のしくみの 講義/実習法の提案

神崎亮平
安藤規泰・並木重宏
峯岸諒・藤原輝史
東京大学 先端科学技術研究センター
Research Center for Advanced Science and Technology

H19年度 理数系教員指導力向上研修事業



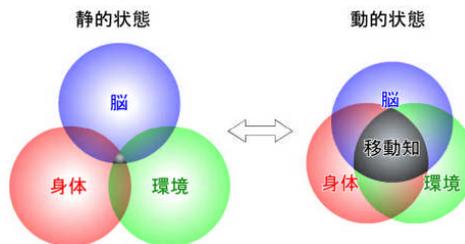
<http://spp.jst.go.jp/example/dvd.html>

背景

動物の行動が環境変化の中、いかに進化し、
環境に適応する能力(知能)を獲得してきたかを知る
ことは、生物学上の最も重要な課題のひとつ。

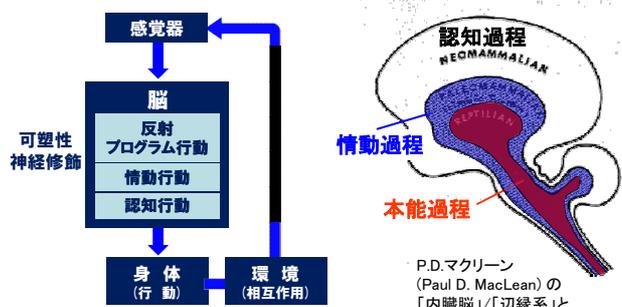
動物の行動のしくみに関する講義と実習をとおして、
環境、感覚、脳、行動を体系的に学ぶ。

課題



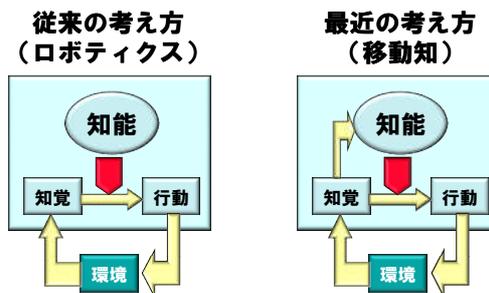
(1) 動物の行動, それを支える (2) 感覚・神経・脳・筋肉,
さらに (3) 環境・生態などは分離独立した学習が一般的。
しかし, 近年の脳科学・工学では環境・感覚・神経・脳・行
動を統一的に理解する方向で研究が進められている。

生物の適応行動生成のしくみ



「脳」は生物の「知能(環境適応能)」を生む!

知能(環境適応能)の考え方



研修のねらい・目的

- (1) 動物の行動のしくみに関する講義と実習をとおして、
環境、感覚、脳神経系、行動を**体系的に学ぶ**
- (2) 廉価で容易な生理計測装置の実験への活用
体験を通じた知識
- (3) ネットワーク(データベース)の活用
教員・研究者の有機的連携

➡ **生物学・情報学・工学の分野融合
(学際)的な研究によって、生物学
は進展している**

研修内容

- (1) 動物の行動のしくみに関する講義と実験
 - ・環境世界
 - ・行動発現のしくみ
 - ・カイコガの行動実験から感覚・脳・行動の機能を探る(含: 脳の解剖、感覚能力の比較)
- (2) 廉価で容易な生理計測装置の実験への活用
 - ・筋電位計測
 - ・筋電位でチョロQを制御
- (3) ネットワーク(データベース)の活用
 - ・無脊椎動物脳プラットフォーム

スケジュール

- 13:00-14:30
講義: 環境適応・行動発現のしくみ(担当: 神崎)
実習: カイコガの行動実験から感覚・脳・行動の機能を探る
- 14:30-16:00
(20分ごとのローテーション、一班は休憩)
(1) デモ1: 脳の解剖(担当: 藤原)
(2) デモ2: 偏光、CFF、高速度撮影(担当: 並木)
(3) デモ3: 安価なアンプを用いた筋電位の計測(峯岸)
(4) デモ4: 筋電位でチョロQを操作(担当: 安藤)
- 16:00-17:00
データベースの紹介。反省・意見交換、後片付け、解散
- 17:00-18:00
研究室見学
(7名x4班、5班のひと、1-4班に分かれて加わる)

カイコガの行動実験から 感覚・脳・行動の機能を探る

- カイコガのオスがメスを探すしくみを探る
(ファーブルの実験の再現)
- 昆虫の脳と神経のしくみを探る

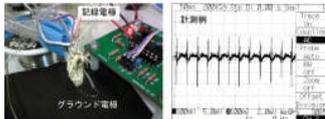


デモンストレーション

デモ1: 昆虫の脳の解剖と観察



デモ3: 昆虫の筋肉の活動電位計測



デモ2: 昆虫の能力をみる

行動を高速度撮影装置でみる
臨界融合頻度 (CFF)
偏光を見る



デモ4: 筋電ロボット 筋電位でチョロQを操縦



ブレインマシンインターフェース (BMI)

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 カイコガの脳をつくる神経

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

スケジュール

- 13:00-14:30
講義: 環境適応・行動発現のしくみ(担当: 神崎)
 実習: カイコガの行動実験から感覚・脳・行動の機能を探る
- 14:30-16:00
 (20分ごとのローテーション、一班は休憩)
 (1) デモ1: 脳の解剖(担当: 藤原)
 (2) デモ2: 偏光、CFF、高速度撮影(担当: 並木)
 (3) デモ3: 安価なアンプを用いた筋電位の計測(峯岸)
 (4) デモ4: 筋電位でチョロQを操作(担当: 安藤)
- 16:00-17:00
 データベースの紹介。反省・意見交換、後片付け、解散
- 17:00-18:00
 研究室見学
 (7名x4班、5班のひと、1-4班に分かれて加わる)



感覚

動物が体の各受容器(感覚器)で受け取った刺激が感覚神経により脳に伝えられるとき、そこに生じた反応

岩波生物学辞典第4版を簡略



感覚<知覚<認知

(性質・要素)<(全体)<(関係・意義)

例: リンゴ 赤い, 冷たい, 丸いく全体<食べ物, くちびる

感覚のパラメータ

種類: modality

視覚, 聴覚, 嗅覚, 味覚, 触覚

質: quality

波長(色), 頻度(調子), 波形(音色)

量: quantity

強さ, 振幅, 濃度

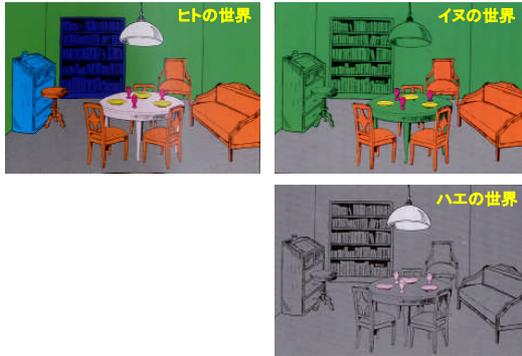
動物によって異なる感覚能力

1. 紫外線, 偏光を感知するミツバチの複眼
2. 1Hzの音を感知するゾウ
3. 8万Hzの音を感知するネズミ
4. ヒトの100万倍の匂い(汗に含まれる酒石酸など)感知能力をもつイヌ
5. 100個の目をもつホタテガイ
6. 360度の視野を持つヤマシギ(ヒトは260度)

ヤーコブ・フォン・ユクスキュル Jakob von Uexkull

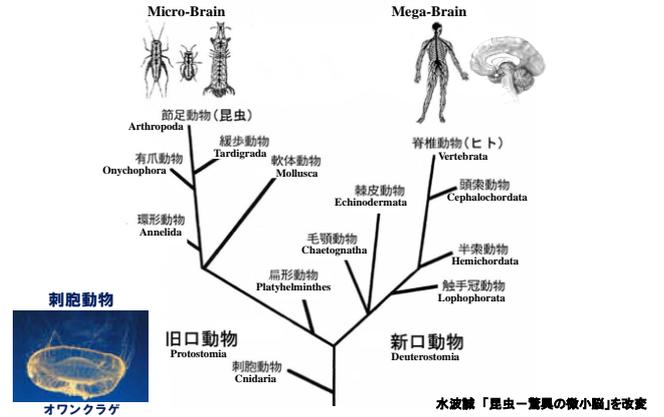


感覚の世界

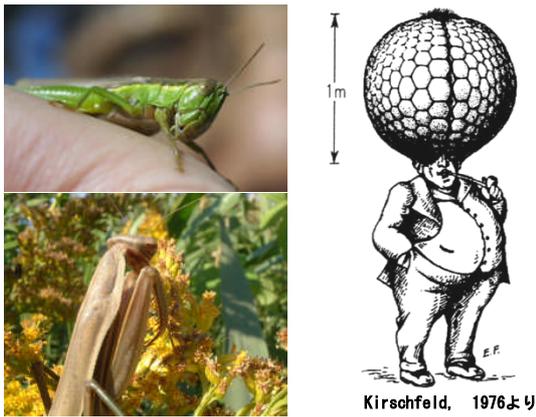


生物から見た世界:ユクスキュル Jakov von Uexkull, 1933

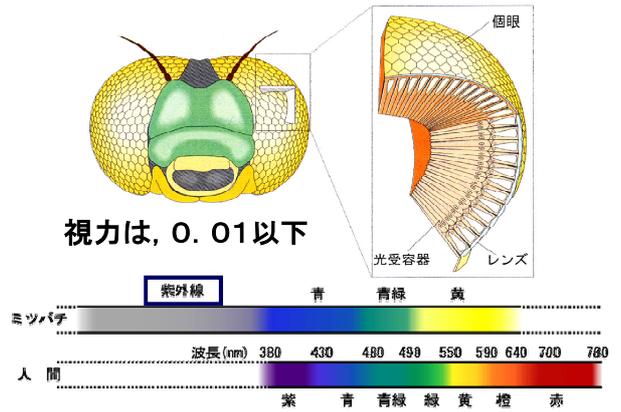
脳の進化



昆虫の複眼



昆虫の複眼

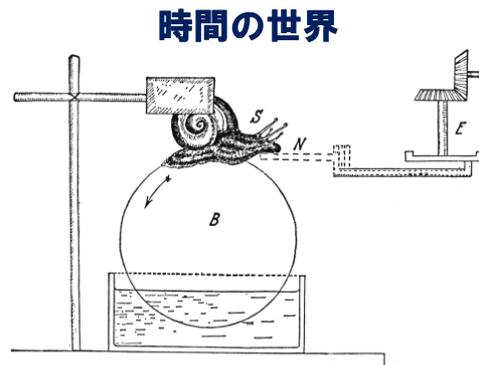


ミツバチがみたアブラナ



モンシロチョウの配偶行動





第16図 カタツムリの瞬間 B:ゴム球, E:偏心輪, N:棒, S:カタツムリ

生物から見た世界:ユクスキュルJakov von Uexkull, 1933

一瞬

ユクスキュル(生物学的一瞬)
一瞬の長さは動物ごとに異なる



CFF
critical fusion frequency
臨界融合頻度:
視覚の時間分解能

さまざまな動物のCFF

(照明弱-強。値がひとつのものは照明強の場合。)

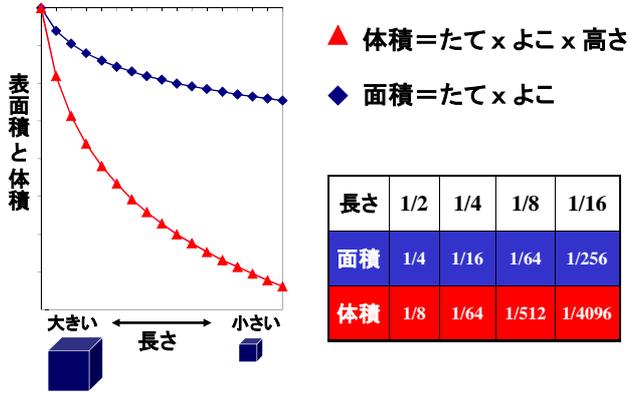
	C F F (Hz)
ホニユウ類	
人間	15-60 (網膜中心) 5-20 (網膜周辺15度)
ネコ	15-60
モルモット	10-40
鳥類	
ハト	150
魚類	
コイ	14-18
スナキュウリウオ	67
昆虫	
ミツバチ	60-310
ハエ(クロバエ)	60-260
チョウ (ミドリヒョウモン)	150
コオロギ	5-40
頭足類	
タコ	20-70

サイズの世界

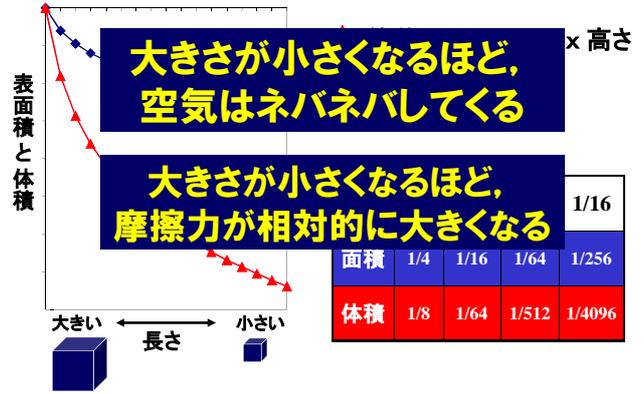


神崎亮平著, 茂利勝彦絵 「昆虫ロボットの夢」より

スケール効果



スケール効果



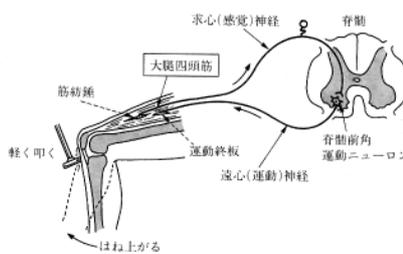
行動 (behavior) とは？

動物行動学:
動物の個体が外界
に対して能動的に示
す, その個体の生活
になんらかの意味が
裏付けられているよ
うな動き (適応的)

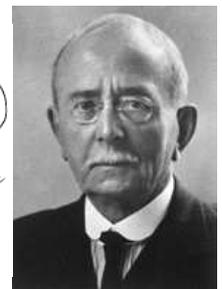


行動の単位は？

行動の単位: 反射

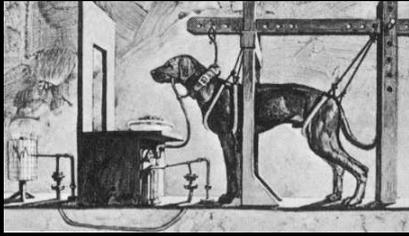


反射 (reflex)



Charles Sherrington (1857~1952)

条件反射



行動主義：
すべての行動は、
反射と条件反射の連鎖
によって説明できる。

イワン パブロフ
(1849~1936)

ミツバチの吻伸展反射条件付け



associative learning
in the honeybee

提供：岡田龍一・徳島文理大学

ウミウシの逃避行動



軟体動物門マキガイ綱ウミウシ目 出典：BBC Nerves

行動の単位：生得的行動パターン (プログラム行動)

動物行動学を築いた3人の研究者：1930-50年代



ティンバーゲン
(1907-1988)
『本能の研究』



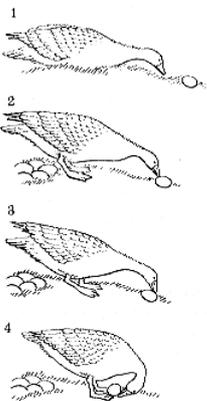
ローレンツ
(1903-1989)
ガチョウの刷り込み



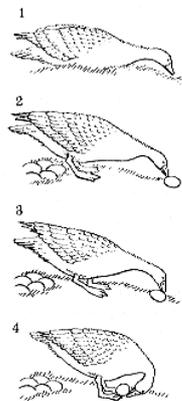
フリッシュ
(1886 - 1982)
ミツバチの
ダンス言語

出典：放送大学

行動の単位は反射だけ？

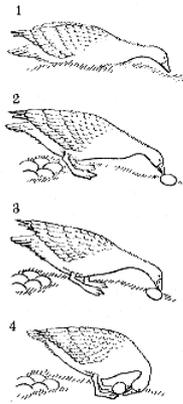


ガチョウの卵回収行動



ガチョウが巣の中で
卵を抱いているとき、
一つの卵が、巣から
転げ出すと、ガチョウ
は首をのぼして、くち
ばしで卵を転がして
巣に運び込む。

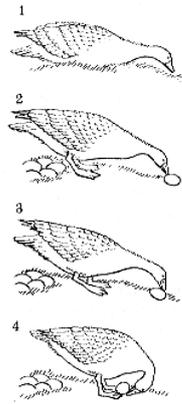
ガチョウの卵回収行動



ガチョウの首の動きを横から見ると、**前後にピストン**のように規則的に動かしていた。

正面から見ると、**首を左右に少し動かして**卵が横に転がるのを防いでいた。

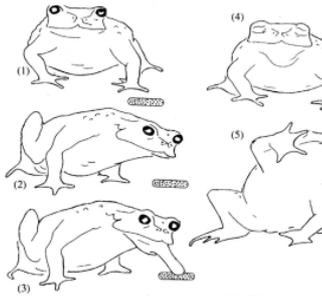
ガチョウの卵回収行動



ガチョウが卵を動かし始めた直後に卵を突然取り去ると、

ガチョウはあたかも卵がまだあるかのように首をそのまま**ピストン運動**し続けた。しかし、**首の横への動き**は消失した。

行動の単位: 反射とプログラム行動



- 1) 獲物の動きを検出
- 2) 獲物に向き直り、両眼の視野に獲物を固定
- 3) 舌を伸ばしてからめ獲る
- 4) 飲み込む
- 5) 前足で口をぬぐう

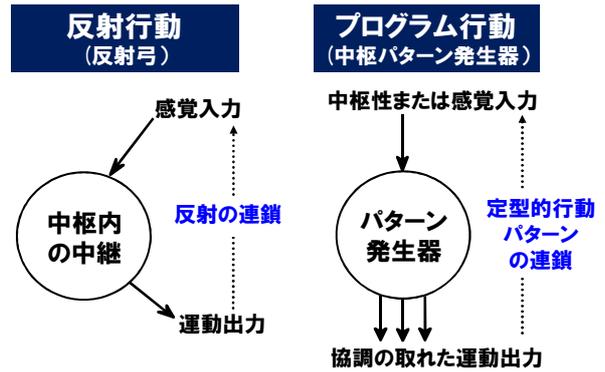
1)から5)へと行動が連続的に起こる。しかし、獲物を捕獲する直前に獲物を取り除いても、捕獲から口をぬぐう行動起こる

ヒキガエルの捕獲行動

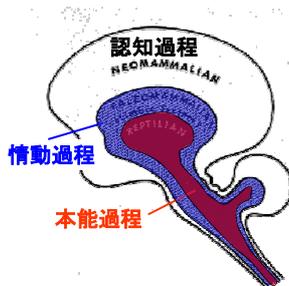
[J.-P.Ewert, NEUROETHOLOGY, Fig.41, Springer (1976)]

- 1)2)は、**反射行動**
3)から5)は**プログラム行動**

行動の単位



脳の階層的な構成



P.D.マククリーン (Paul D. MacLean) の「内臓脳」「辺縁系」と「三型階層性脳」説

新哺乳類脳: 新皮質
認知過程

旧哺乳類脳: 辺縁系
情動過程

原始爬虫類脳: 脳幹
反射・定型的行動

動物の古い脳の上に新しい脳が付加される進化の道筋

行動の発現機構に関わる3つの柱



1. 感覚器(解発因(リリーサ), 鍵刺激)
2. 中枢神経系(解発機構)
3. 効果器(生得的行動パターン)

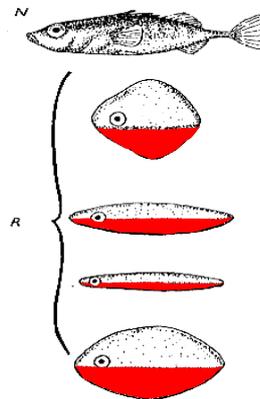
環境にはどのように動けばよいかの情報がある。一部の環境情報(鍵刺激)で動き方がきまる。

イトヨの配偶行動・攻撃行動



出典：放送大学

鍵刺激



イトヨの雄の闘争行動
トゲウオでは、赤い腹部がすべて必要なのではなく、本質的には、赤い色が鍵刺激となる。ライバル雄の赤い腹が背側にあると意味がない。



セグロカモメ 雛の餌ねだり行動



Tinbergen and Perdeck, 1950

出典：放送大学

鍵刺激

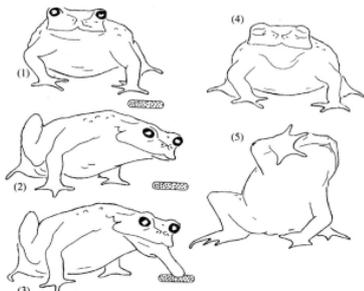


180
25
40
80

カモメの仲間は、素直に多くの食物を蓄えることができる。これを吐き出して、つがいの相手やヒナに餌を与える。
行動の鍵となる刺激は、黄色いくちばしの赤いスポット。



環境(刺激)の意味

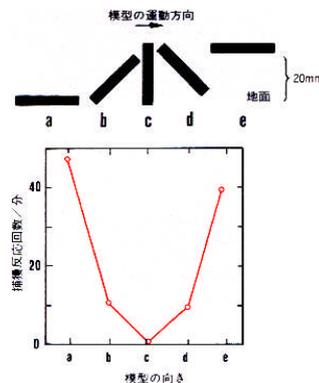


ヒキガエルの捕獲行動

[J.-P.Ewert, NEUROETHOLOGY, Fig.41, Springer (1976)]

- 1) 獲物の動きを検出
 - 2) 獲物に向き直り、両眼の視野に獲物を固定
 - 3) 舌を伸ばしてからめ獲る
 - 4) 飲み込む
 - 5) 前足で口をぬぐう
- 1)から5)へと行動が連続的におこる。獲物を捕獲する(3)の直前に獲物を取り除いても、捕獲から口をぬぐう行動が起こる
- 1)2)は、**反射行動**
3)から5)は**プログラム行動**

環境(刺激)の意味



小さい物体が動いているとそれに対して捕食行動を起こす。

モデルが虫のように横方向に動くとき: 餌として認識

立った形で横に動くとき: "恐れ" 例えへびと認識

ゲシュタルト受容型の例
ヒキガエル(*Bufo bufo*) 捕獲行動

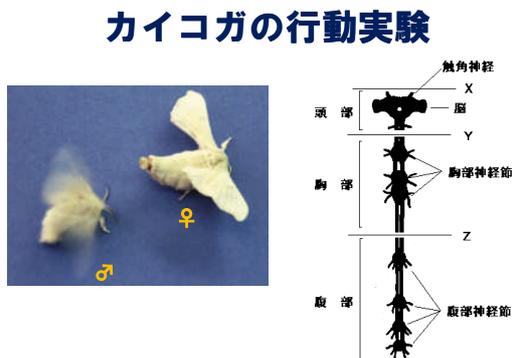
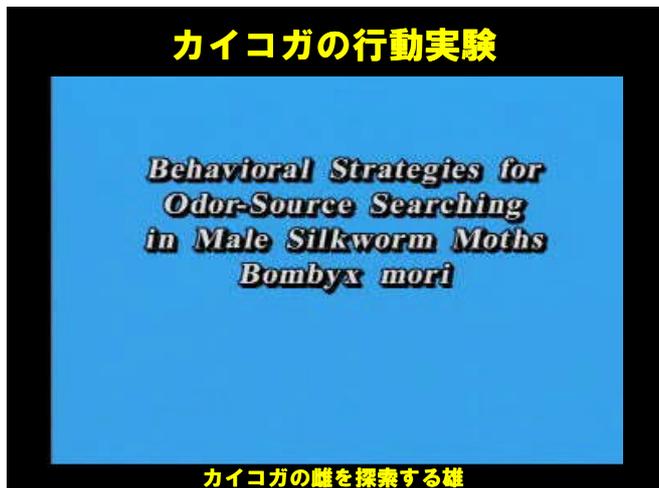
スケジュール

- 13:00-14:30
講義: 環境適応・行動発現のしくみ(担当: 神崎)
実習: **カイコガの行動実験から感覚・脳・行動の機能を探る**
- 14:30-16:00
(20分ごとのローテーション、一班は休憩)
(1) デモ1: 脳の解剖(担当: 藤原)
(2) デモ2: 偏光、CFF、高速度撮影(担当: 並木)
(3) デモ3: 安価なアンプを用いた筋電位の計測(峯岸)
(4) デモ4: 筋電位でチョロQを操作(担当: 安藤)
- 16:00-17:00
データベースの紹介。反省・意見交換、後片付け、解散
- 17:00-18:00
研究室見学
(7名x4班、5班のひと、1-4班に分かれて加わる)

感覚・脳・行動のしくみを実験で探る

- (1) カイコガの行動実験: 鍵刺激、行動戦略を探る
(ファーブル昆虫記の実験の再現)
- (2) フェロモンの抽出(n-ヘキサンで抽出)
鍵刺激の取り出し(デモンストレーション)
- (3) 感覚・脳の仕組みを簡単な実験から推定する

アクティブな行動実験の提案



目的: 刺激と行動の関係(環境世界), 行動発現(脳)のしくみを実験から考える。

行動の発現機構に関わる3つの柱



1. 感覚器(解発因(リリーサ), 鍵刺激)
2. 中枢神経系(解発機構)
3. 効果器(生得的行動パターン)

環境にはどのように動けばよいかの情報がある。
一部の環境情報(鍵刺激)で動き方がきまる。

問1

雄のカイコガは、雌の出すどのような信号をたよりに雌を探すのでしょうか?



実験1：雌に定位する雄カイコガ

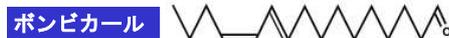


フェロモンの化学構造の決定 ブテナント (1959)

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



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



フェロモンの抽出



1. n-ヘキサン (2cc)を入れたバイアルビン(13.5cc)に、雌のフェロモン腺を切除し、入れる。
2. 5分後に、フェロモン腺を取り出す。
3. バイアルビンのn-ヘキサン一滴を濾紙(1x2cm)に滴下し、刺激カートリッジに挿入する。コントロールカートリッジも準備すること。
4. 雄カイコガに刺激を与える。

(注意：1から3の作業は、ドラフト内でおこなう)

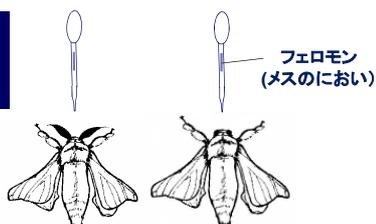
問2 フェロモンの“におい”の感覚器は？



実験2

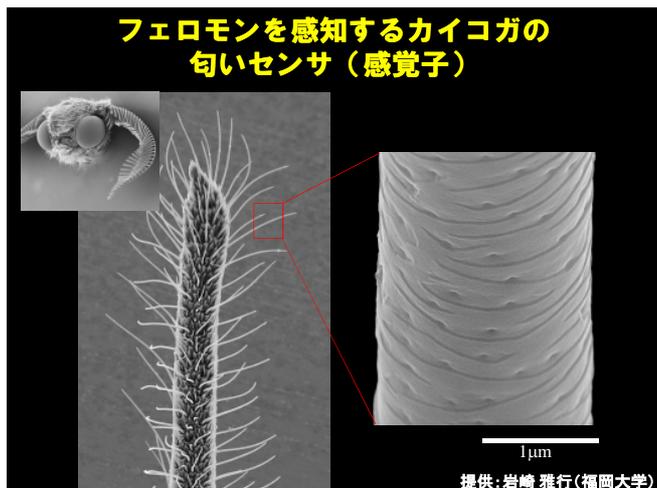
1. 正常のカイコガと触角を切りはなしたカイコガを準備
2. それぞれにフェロモンのにおいをあたえる
3. それぞれのカイコガの行動観察をする

フェロモンのにおいをあたえる

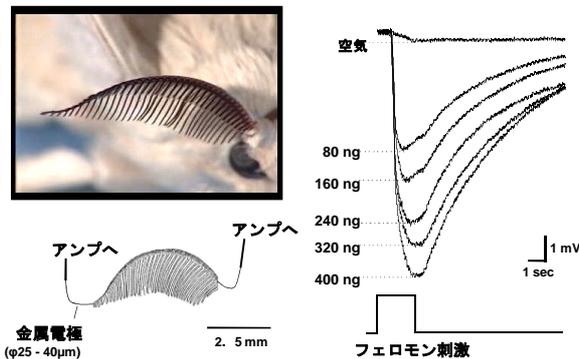


昆虫の鼻は触角





フェロモンセンサとしての触角

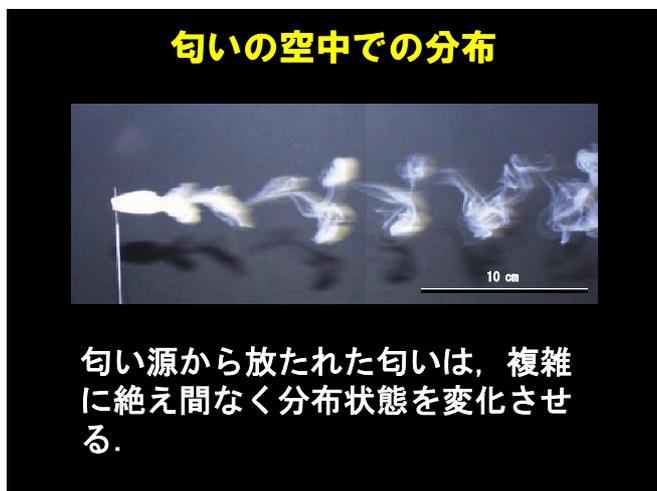


行動の発現機構に関わる3つの柱



1. 感覚器(解発因(リリーサ), 鍵刺激)
2. 中枢神経系(解発機構)
3. 効果器(生得的行動パターン)

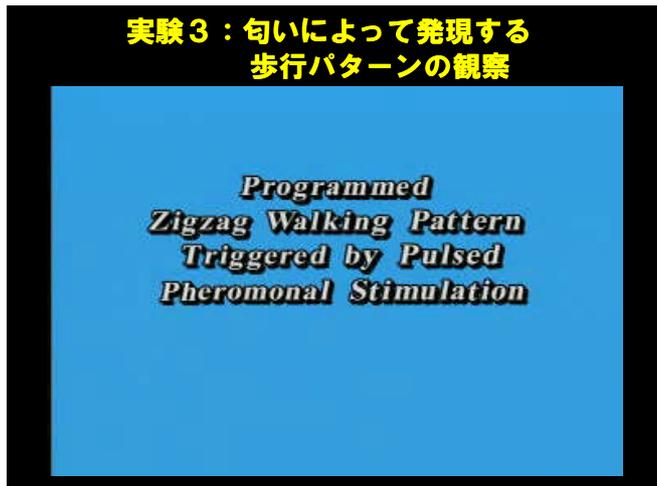
環境にはどのように動けばよいかの情報がある。
一部の環境情報(鍵刺激)で動き方がきまる。



問3
雄のカイコガは、雌の匂いをたよりに
どのようにして探すのでしょうか？

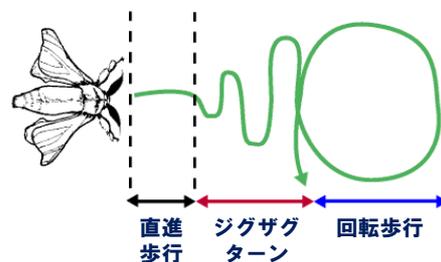
「ファーブル昆虫記」以来のなぞ





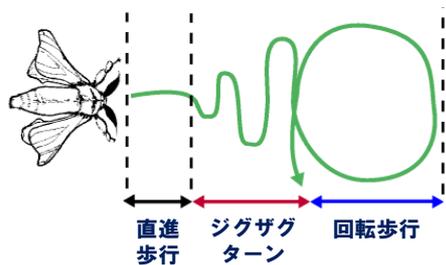
匂い刺激によって発現する歩行パターン

- 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



問3-1：匂い源探索になぜこのような行動パターンをとるのだろうか？

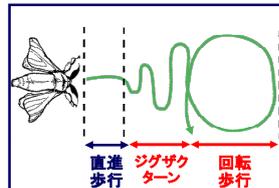
- 1. 匂いによって起動するジグザグプログラム
- 2. プログラムは匂いを受けるたびにリセットされる



匂い源探索の行動戦略
「ファーブル昆虫記」以来のなぞ

匂い源探索の行動戦略

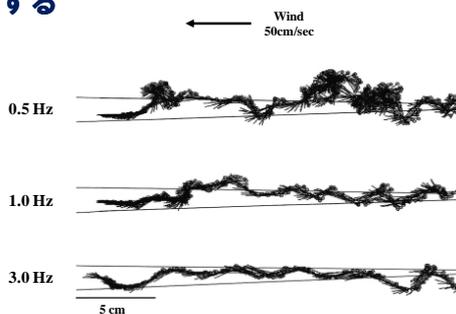
- 1. 匂いによって起動するジグザグプログラム
- 2. プログラムは匂いを受けるたびにリセットされる



NHK教育 高校生物・サイエンスアイ

時々刻々と変化する匂いの時空間パターンに依存して、行動パターンのセット・リセットを繰り返す。

環境下で時々刻々と変化する匂いの分布状態に依存して固定化した歩行プログラムのセットとリセットを繰り返すことにより匂い源を探索する



カイコガの匂い源探索行動とガチョウが卵回収行動の比較



卵を運ぶ行動には独立した2種類の動きが関与している。

- (1) ピストン運動
- (2) 首の横への動き



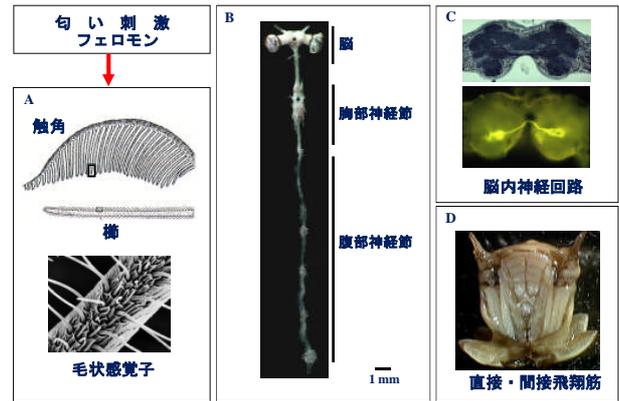
問3-2
カイコガのフェロモン刺激によって起こる行動は、どちらに対応するだろうか？

行動の発現機構に関わる3つの柱



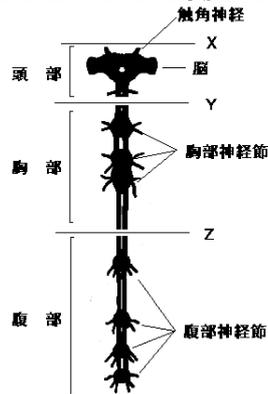
1. 感覚器(解発因(リリーサ), 鍵刺激)
2. 中枢神経系(解発機構)
3. 効果器(生得的行動パターン)

環境にはどのように動けばよいかの情報がある。
一部の環境情報(鍵刺激)で動き方がきまる。

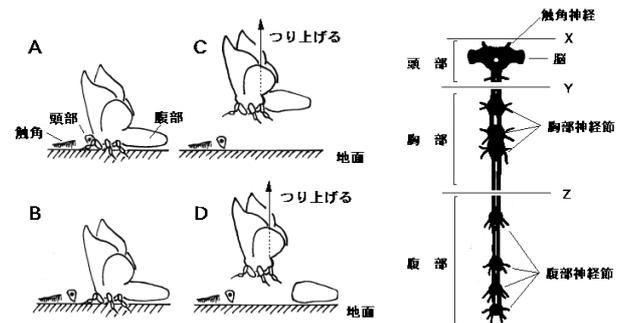


受容器 → 中枢神経系 → 効果器(筋肉)

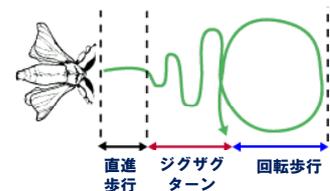
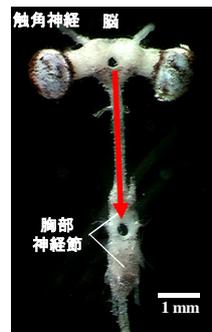
問4：頭部、胸部、腹部にある脳(神経節)は行動発現の上でどのような働きをしているか？



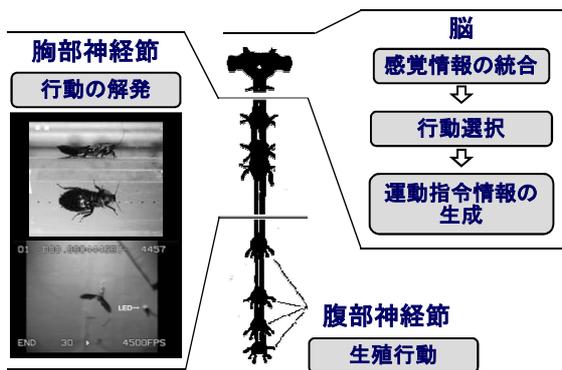
実験4



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指令される



脳の役割：分散脳

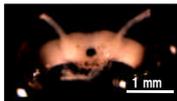


スケジュール

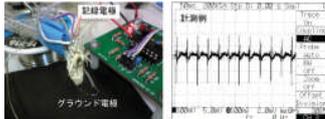
- 13:00-14:30
講義: 環境適応・行動発現のしくみ (担当: 神崎)
実習: カイコガの行動実験から感覚・脳・行動の機能を探る
- 14:30-16:00
(20分ごとのローテーション、一班は休憩)
(1) デモ1: 脳の解剖 (担当: 藤原)
(2) デモ2: 偏光、CFF、高速度撮影 (担当: 並木)
(3) デモ3: 安価なアンプを用いた筋電位の計測 (峯岸)
(4) デモ4: 筋電位でチョロQを操作 (担当: 安藤)
- 16:00-17:00
データベースの紹介。反省・意見交換、後片付け、解散
- 17:00-18:00
研究室見学
(7名x4班、5班のひと、1-4班に分かれて加わる)

デモンストレーション

デモ1：昆虫の脳の解剖と観察



デモ3：昆虫の筋肉の活動電位計測



デモ2：昆虫の能力をみる

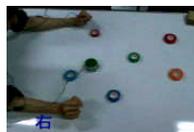
行動を高速度撮影装置でみる

臨界融合頻度 (CFF)

偏光を見る

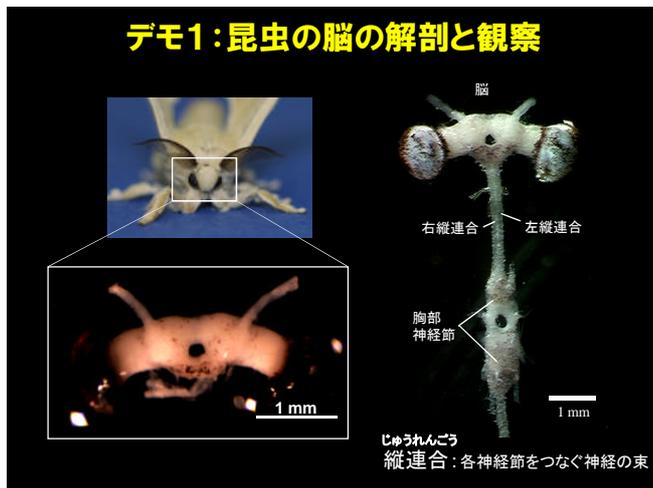


デモ4：筋電ロボット
筋電でチョロQを操縦

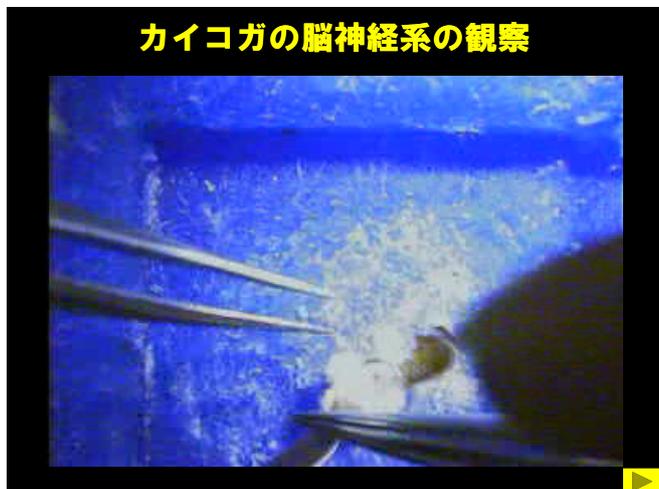


ブレインマシンインターフェース (BMI)

デモ1：昆虫の脳の解剖と観察



カイコガの脳神経系の観察



デモ2：昆虫の能力をみる

臨界融合頻度 (CFF)



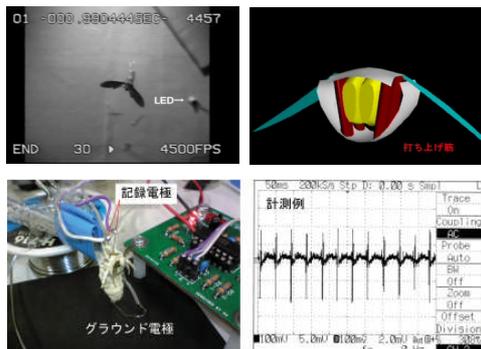
偏光を見る



行動を高速度撮影装置でみる



デモ3: 昆虫の筋肉の活動電位計測



目的: 神経や筋肉の活動電位を計測し、その役割を実験から考える。

デモ4: 筋電ロボット: 筋電位でチョコロQを操縦

ヒトの上腕筋電位によるロボットの制御実験



筋電位の計測

筋電位でロボット制御

生物(脳)と機械の融合(BMI)について考える

筋電位によりロボットを制御 ブレインマシンインターフェース (Brain-Machine Interface)

NHK 立花隆が探るサイボーグの衝撃 より

サイエンスZERO
「念力を使える!? 脳と機械をつなぐ新技術」
1月7日(木) 2:30~3:05(水曜日深夜)NHK衛星第2(BS2)
1月8日(金) 19:00~19:35 NHK教育テレビ

昆虫脳-操縦型ロボット

100ms毎の発火数

操縦のための司令情報

Spikes Recorded from Right and Left MNs

red spikes: right turn
white spikes: left turn

カイコガ脳の行動司令情報によって操縦されるロボットによる匂い源への定位

スケジュール

- 13:00-14:30
講義: 環境適応・行動発現のしくみ(担当: 神崎)
実習: カイコガの行動実験から感覚・脳・行動の機能を探る
- 14:30-16:00
(20分ごとのローテーション、一班は休憩)
(1) デモ1: 脳の解剖(担当: 藤原)
(2) デモ2: 偏光、CFF、高速度撮影(担当: 並木)
(3) デモ3: 安価なアンプを用いた筋電位の計測(峯岸)
(4) デモ4: 筋電位でチョコロQを操作(担当: 安藤)
- 16:00-17:00
データベースの紹介。反省・意見交換、後片付け、解散
- 17:00-18:00
研究室見学
(7名×4班、5班のひと、1-4班に分かれて加わる)



無脊椎動物脳PF



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



IVB-PFの目指すところ

無脊椎動物における神経生理学、神経行動学に関する実験データ、数理モデル及び研究・実験・教育のソフトウェアやツールの共有

- 脳(設計・デザイン)の理解
- 所望のin vivo神経回路の設計・構築
- 行動制御技術
- 産業応用(適応システム)
- 教育

From 2009



ミツバチ
Apis mellifera



ルリキンバエ
Protophormia terraenovae



カイコガとショウジョウバエは、ナショナルバイオリソース プロジェクト(NBRP)の対象



カイコ
Bombyx mori

キショウジョウバエ
Drosophila melanogaster

クロコオロギ
Gryllus bimaculatus

アメリカザリガニ
Procambarus clarkii

無脊椎動物脳ギャラリー

ヒメナガバネトビウコ	ウツタ	フタネシヨロヒギ	アマガサカサ	オニシシ
NakamuraF 2006-10-25	NakamuraF 2006-10-25	NakamuraF 2006-10-25	Kuramochi 2006-05-18	Kuramochi 2006-04-12
ウツタ	ウツタ	ヒメナガバネトビウコ	アマガサカサ	オニシシ
Kuramochi 2006-04-12				
タガメ	シキコ	オオスズメバチ	オオスズメバチ	オオスズメバチ
Kuramochi 2006-04-12				
エダナナシ	アマササバ	セイヨウコバネ	オオスズメバチ	オオスズメバチ
Kuramochi 2006-04-12				

コンテンツ

- ・さまざまな無脊椎動物の脳神経系(36種)
- ・神経系の特徴の解説



高校教員から提供された資料・PFに関する感想・要望

1. ダンゴムシの行動
2. 海に生息する無脊椎動物の行動観察
3. 脊椎動物の行動観察実験 (ベタの闘争行動、メダカの配偶行動)
4.

PFに関する感想・要望

回答: 東京都立西高等学校・渡邊正治 都立翔陽高校・岡崎愛 成城学園中学校・中村雅浩

入手したい映像・画像
ミミズなどの雌雄同体生物がわかる(2匹の個体がくっついているものなど)画像
ヒドラ・プラナリア・昆虫の幼虫について、体を透明化して神経系だけ染めた画像
散在神経系・かご状神経系を写真で示したい
樹状突起・軸索・細胞体ははっきりわかる画像
ニューロンのネットワークの画像

入手したい動画
プラナリアを切って、しばらくすると再生するというその動画
頭部に半分だけ切り込みを入れたら、頭部が2つできる実験を高速度再生してみたい。
ミツバチの8の字ダンスの動画(速度や方向の違いがわかるものをいくつか)

ダンゴムシの行動観察

ねらい
ダンゴムシを用いて、本能的行動を観察してみる。

準備 材料 ダンゴムシ(何匹か観察してくる) 志願付きの厚紙(もしくは両用紙) 器具 はさみ、セロハンテープ

ダンゴムシの観察
①顔先や公腹、肢端などでダンゴムシを観察する。
「顔先がよく見えるダンゴムシはオオダンゴムシで観察時には日本に入らず海外産である。これによりオオダンゴムシは多くならないで観察できる。」

ダンゴムシのからだの観察
②ダンゴムシの体を観察する。
足の数 触角の様子などを観察する。
触角が折れているものなどは使わない。
足は折れているか
観察は、どのように動くか
体節はいくつあるか。

～観察する前、中、あとの、1は準備からできている。
1 観察、2～3は観察、4～5は観察、6～7は観察、8～9は観察、10は観察となっている。

参考図書



(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

☆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



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



今日のまとめ

まとめ: 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、世界がちがうぞ!
人間それぞれでも世界がちがうぞ!

お問い合わせ

神崎亮平 (Kanzaki Ryohei)
 東京大学 先端科学技術研究センター
 〒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: kanzaki@rcast.u-tokyo.ac.jp
 http://www.brain.imi.i.u-tokyo.ac.jp

著作権:本資料の全部または一部を無断で複製(コピー)することは、著作権法上の例外を除き禁じられています。本資料から複写複製する場合は、上記(神崎)までご連絡の上、許諾を得てください。

スケジュール

- 13:00-14:30
 講義:環境適応・行動発現のしくみ(担当:神崎)
 実習:カイコガの行動実験から感覚・脳・行動の機能を探る
- 14:30-16:00
 (20分ごとのローテーション、一班は休憩)
 (1)デモ1:脳の解剖(担当:藤原)
 (2)デモ2:偏光、CFF、高速度撮影(担当:並木)
 (3)デモ3:安価なアンプを用いた筋電位の計測(峯岸)
 (4)デモ4:筋電位でチョロQを操作(担当:安藤)
- 16:00-17:00
 データベースの紹介。反省・意見交換、後片付け、解散
- 17:00-18:00
研究室見学
 (7名x4班、5班のひと、1-4班に分かれて加わる)

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

カイコガの行動実験のポイント

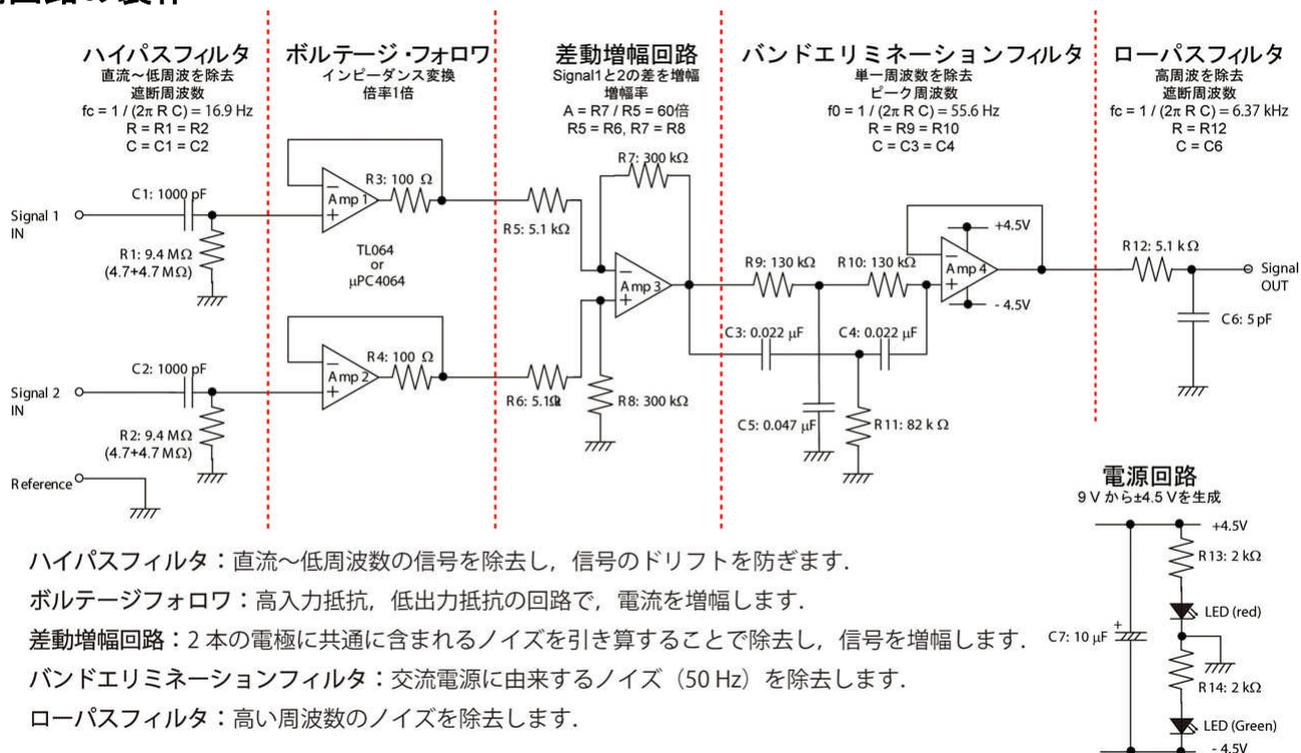
目的：刺激と行動の関係（環境世界）、行動発現（脳）のしくみを実験から考える。

1. カイコガの雄は雌を提示するとどのような行動を示すでしょう？
2. 雄のカイコガは、雌の出すどのような信号をたよりに雌を探すのでしょうか？
（フェロモンの抽出）
3. フェロモンの“におい”の受容器は？
4. フェロモンの匂いをヒトは感じるか？
5. 雄のカイコガは、雌を匂いをたよりにどのようにして探すのだろうか？
6. 匂い源探索になぜこのような行動パターンをとるのだろうか？
7. カイコガの行動とガチョウの卵回収行動を比較してみよう。
（反射とプログラム行動）
8. 頭部、胸部、腹部にある脳（神経節）は 行動発現の上でどのような働きをしているか？
9. ある動物（昆虫、犬、猫、人なんでもいいです）の行動のしくみを調べる方法は？

生体信号計測

文責: 安藤規泰 (東京大学先端科学技術研究センター)

1. 計測回路の製作



ハイパスフィルタ: 直流～低周波数の信号を除去し, 信号のドリフトを防ぎます。

ボルテージフォロワ: 高入力抵抗, 低出力抵抗の回路で, 電圧を増幅します。

差動増幅回路: 2本の電極に共通に含まれるノイズを引き算することで除去し, 信号を増幅します。

バンドエリミネーションフィルタ: 交流電源に由来するノイズ (50 Hz) を除去します。

ローパスフィルタ: 高い周波数のノイズを除去します。

図1. 計測回路の回路図

図1は, 生体信号(筋電位, 神経電位)を計測するための回路の回路図です。生体信号を計測するためには, 1) 微小な信号($\mu\text{V} \sim \text{mV}$)を観察するための十分な増幅率をもつこと, 2) 十分な入力インピーダンスをもつこと, そして, 3) 不要な信号(ノイズ等)を除去するためのフィルタをもつことが重要です。図2は, 図1の回路の基板サンプルと, 部品を実装した写真です。片面の基板でも十分小さく製作することができます。ユニバーサル基板でも製作できないこともないですが, 配線が複雑になりますし, 複数製作する場合は, エッチングして自作するか, 業者に依頼すると良いでしょう。最近は少数からの試作に対応してくれる業者も増えています。

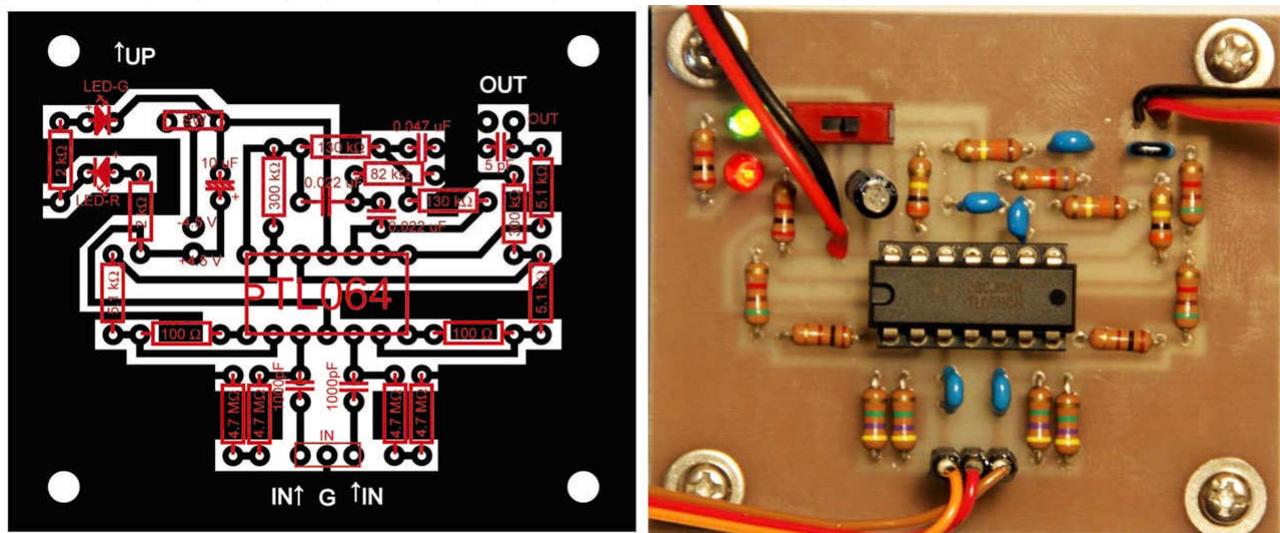


図2. 基板のデザイン(左)と部品の実装例(右)

2. 筋電位の計測

昆虫のもつ筋肉でも最も大きい飛翔筋(翅を動かす筋肉)の筋電位を計測します。カイコガの胸部の背面には、背縦走筋(DLM: Dorsal longitudinal muscle)と呼ばれる巨大な翅打ち下ろし筋があります。そのため、胸部背面の中央近くに深さ5 mm 以内で電極を刺入すれば、必ず計測できます。手順は以下の通りです。

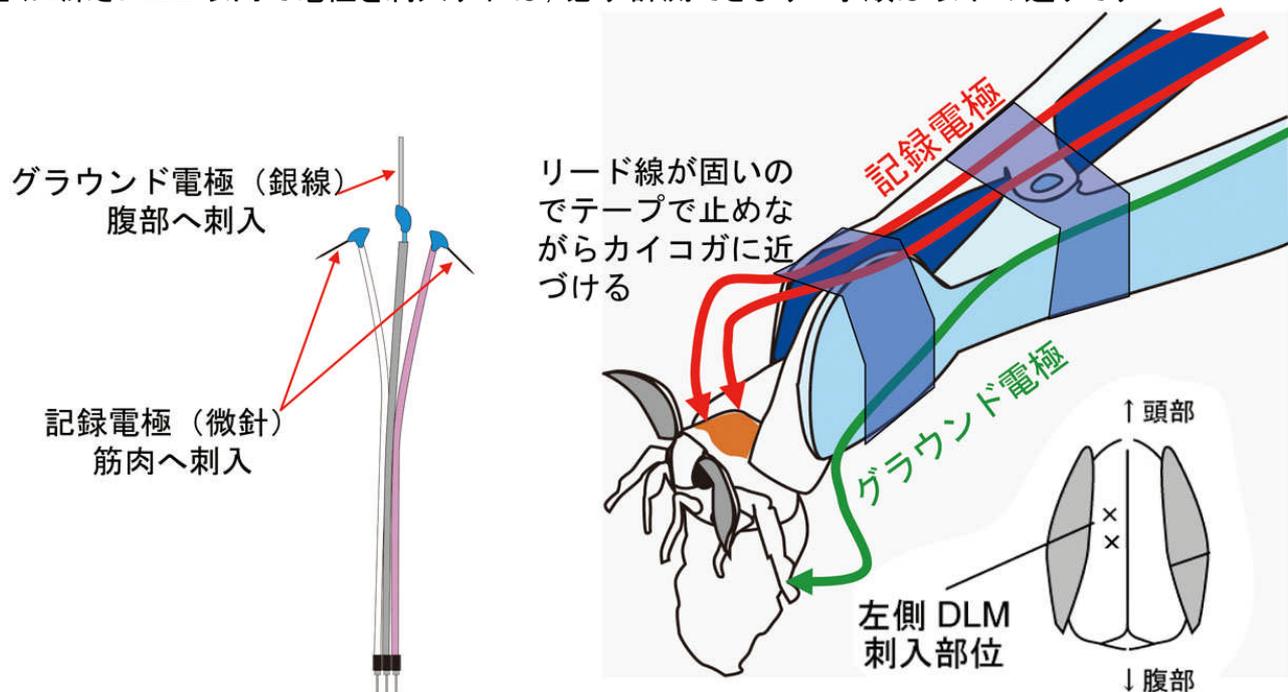


図3. 使用する電極(左)と、カイコガへの刺入方法

- 1) 背中の鱗粉を、湿らせたティッシュ等で十分にはがす(茶色いクチクラが見えるくらい)。
- 2) 洗濯ばさみで、左右の前翅、後翅を同時にはさみ、スタンドに固定する。
- 4) 脚に丸めたティッシュ等を当てて休ませる。
- 5) 電極のリード線をテープでスタンド・洗濯ばさみに固定しながら、電極をカイコガの背部から近づける(図3)。
- 7) グラウンド電極を腹部に深く刺入する(先端を斜めに切っておく)。
- 8) 右下図・次項を参照して記録電極を深さ2mm程度刺入する(事前に深さの目印をつけておく)。
- 9) 電極のコネクタを計測回路に接続、出力端子をオシロスコープ等へ接続。
- 10) 計測回路のスイッチを入れ、オシロスコープ等で波形を観察。
- 11) 脚に持たせたティッシュを取り除き、周期的な筋電位を観察する(図4)。

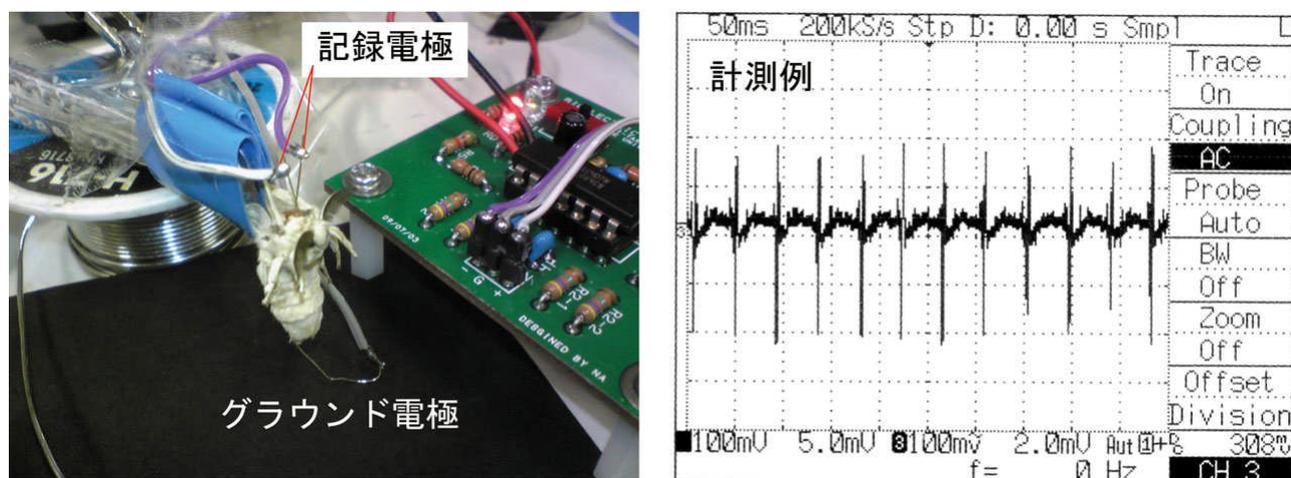
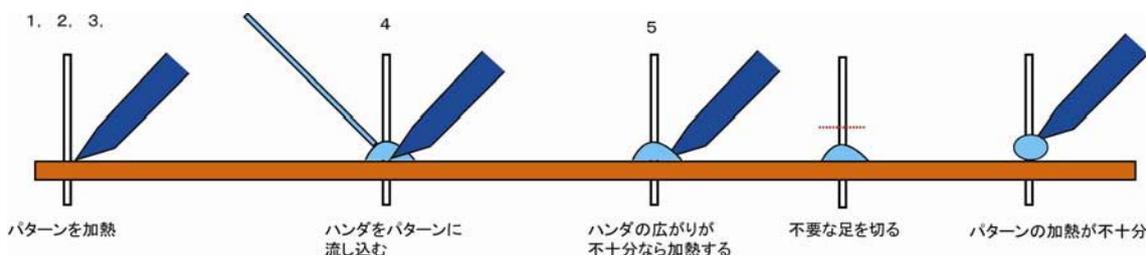


図4. 計測の様子(左)とDLMの筋電位

ハンダ付け参考



材料一覧

回路番号	品名	個数	品名
	9V電池	1	GP【GP1604A05U1】アルカリ電池 006P 1本
	9V電池用スナップ	1	Linkman【006P1】電池用スナップ
	スイッチ	1	日本開閉器工業【SS-12SDP2】2.54mmピッチ端子形スライドスイッチ ON-ON
	イヤホンジャック	1	Linkman【35MMP18M】3.5mmモノラルプラグ付き 1.8m
	ミノムシクリップ	1	Linkman【WTN-23F-1236R/1】コード付ミノムシクリップ
	ICソケット	1	KEL【ICC05-D14-360T-F】ICソケット 14ピン
	丸ピン ピンジャック	3	Linkman【21501*40E】丸ピンピンジャック 40ピン
Amp	オペアンプ	1	TEXAS INSTRUMENTS【TL064CN】Quad Low-Power JFET-Input General-Purpose Operatio 14PDIP
LED1	LED(赤)	1	Linkman【BL304V2CA2A01】LED(3mm・赤・高輝度・集光・1.9V・20mA・700mcd)
LED2	LED(緑)	1	Linkman【BL304V2CA2A01】LED(3mm・黄緑・高輝度・集光・1.9V・20mA・500mcd)
R1-2	抵抗 4.7MΩ	4	KOA【CF1/4W475J】1/4Wカーボン抵抗 4.7MΩ(100本入) 黄紫緑金
R3-4	抵抗 100Ω	2	KOA【CF1/4W101J】1/4Wカーボン抵抗 100Ω(100本入) 茶黒茶金
R5-6, 12	抵抗 5.1kΩ	3	KOA【CF1/4-5.1kΩJ】1/4Wカーボン抵抗 5.1kΩ 緑茶赤金(100本入)
R7-8	抵抗 300kΩ	2	KOA【CF1/4-300kΩJ】1/4Wカーボン抵抗 300kΩ 橙黒黄金(100本入)
R9-10	抵抗 82kΩ	1	KOA【CF1/4-82kΩJ】1/4Wカーボン抵抗 82kΩ 灰赤橙金(100本入)
R11	抵抗 2kΩ	2	KOA【CF1/4-2kΩJ】1/4Wカーボン抵抗 2kΩ 赤黒赤金(100本入)
R13-14	抵抗 130kΩ	2	KOA【CF1/4-130kΩJ】1/4Wカーボン抵抗 130kΩ 茶橙黄金(100本入)
C1-2	コンデンサ1000 pF	2	村田製作所【RPE2C1H102J2K1A01B】積層セラミックコンデンサー ラジアルリード型 50V0.001 μF
C3-4	コンデンサ0.022 μF	2	村田製作所【RPER11H223K2K1A01B】積層セラミックコンデンサー ラジアルリード型 50V0.022 μF
C5	コンデンサ0.047 μF	1	村田製作所【RPER11H473K2K1A01B】積層セラミックコンデンサー ラジアルリード型 50V0.047 μF
C6	コンデンサ5pF	1	村田製作所【RPE2C1H5R0C2K1B01B】積層セラミックコンデンサー ラジアルリード型 50V5pF
C7	電解コンデンサ10 μF	1	Ruby-con【25YK10】縦型電解コンデンサー 25V 10 μF
	ハンダ	1	太洋電機産業【SF-A0410】鉛フリーはんだ
	基板	0.5	サンハヤト【40K】ポジ感光基板 片面ガラスコンポジット 1.0×75×100mm
	M3ネジ、ワッシャー、ボルト	4	

その他、直径 1 mm の銀線

部品購入先:

電子部品：マルツ電波（通信販売，個人・法人可）すべてそろいます

<https://www.marutsu.co.jp/user/index.php>

その他、千石電商（個人・法人），秋月電子（個人），RS コンポーネンツ（法人）

電極に使うようなワイヤ等：ニラコ（通信販売）

<http://www.nilaco.jp/jp/index.php>