

■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

***** : 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC : 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

 : パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

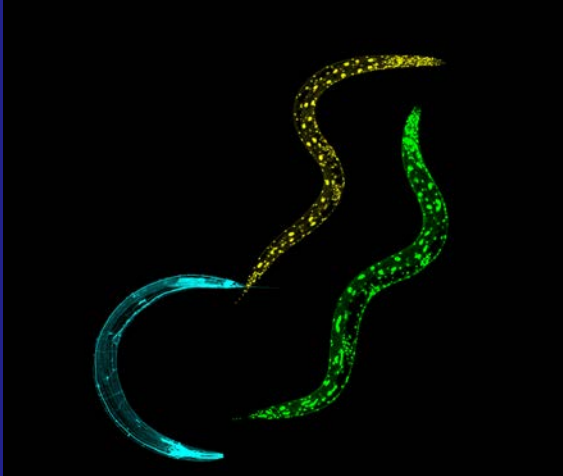
なし : 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

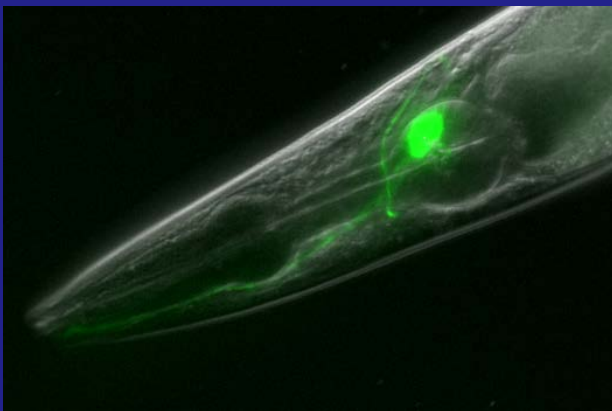
ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2015, 飯野雄一

The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2015, Yuichi Iino

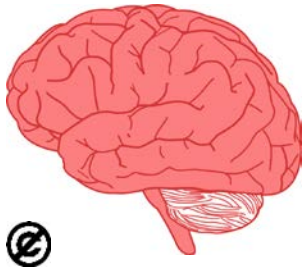


行動を変化させる分子と回路



飯野 雄一
東大・院理・生物科学
Yuichi Iino
Dept. Biol. Sci. Univ. Tokyo

脳神経系の 基本的な構造



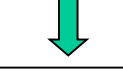
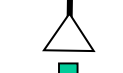
>100 billion neurons

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた
画像を削除しました

ニューロンの画像
『細胞の分子生物学』
(ニュートンプレス)

“Molecular Biology
of the Cell”より

感覚受容



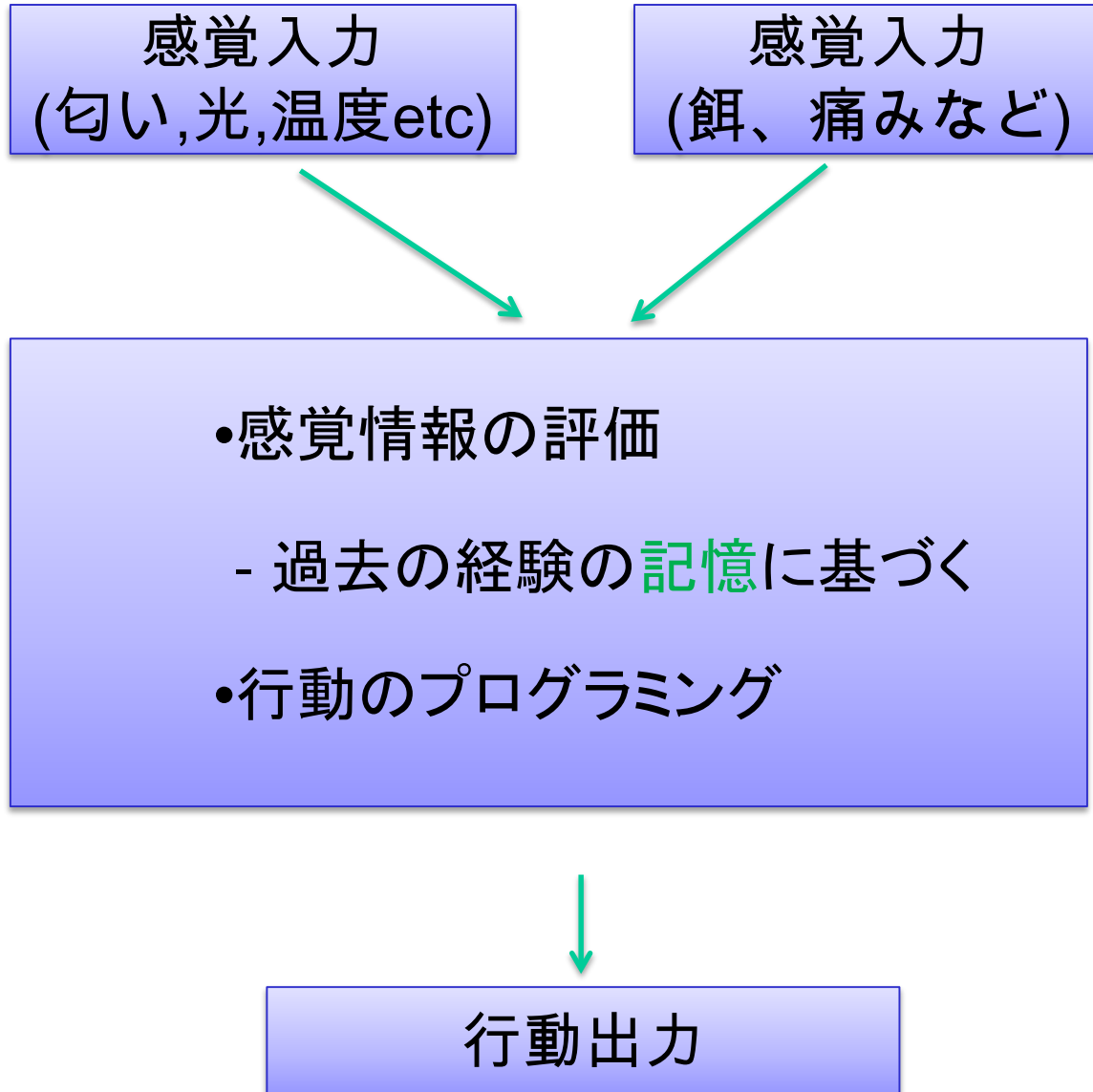
電氣的興奮
(活動電位)

シナプス
電氣的興奮
(活動電位)

シナプス
電氣的興奮
(活動電位)

行動出力

神経系はさまざまな感覚入力を受け取り 行動などの出力を出す



学習記憶はすべての生物の神経機能の基本的要素

Image by Genny Anderson, from Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aplysia_californica.jpg
CC BY-SA 4.0



Image by André Karwath aka, from Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drosophila_melanogaster_-_side_\(aka\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drosophila_melanogaster_-_side_(aka).jpg)
CC BY-SA 2.5



Image by Liftarn, from Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rattus_rattus03.jpg
CC BY-SA 3.0

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた
画像を削除しました

ニューロンの画像
『細胞の分子生物学』
(ニュートンプレス)

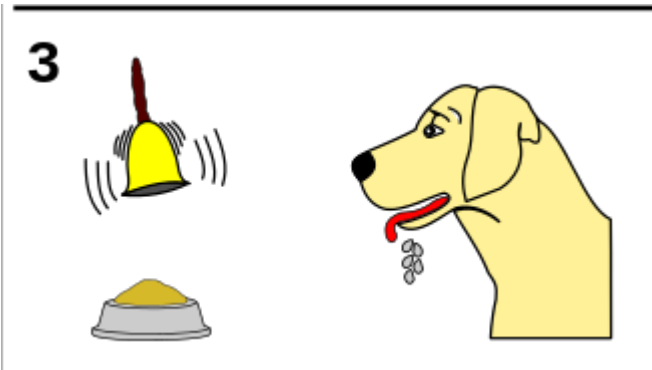


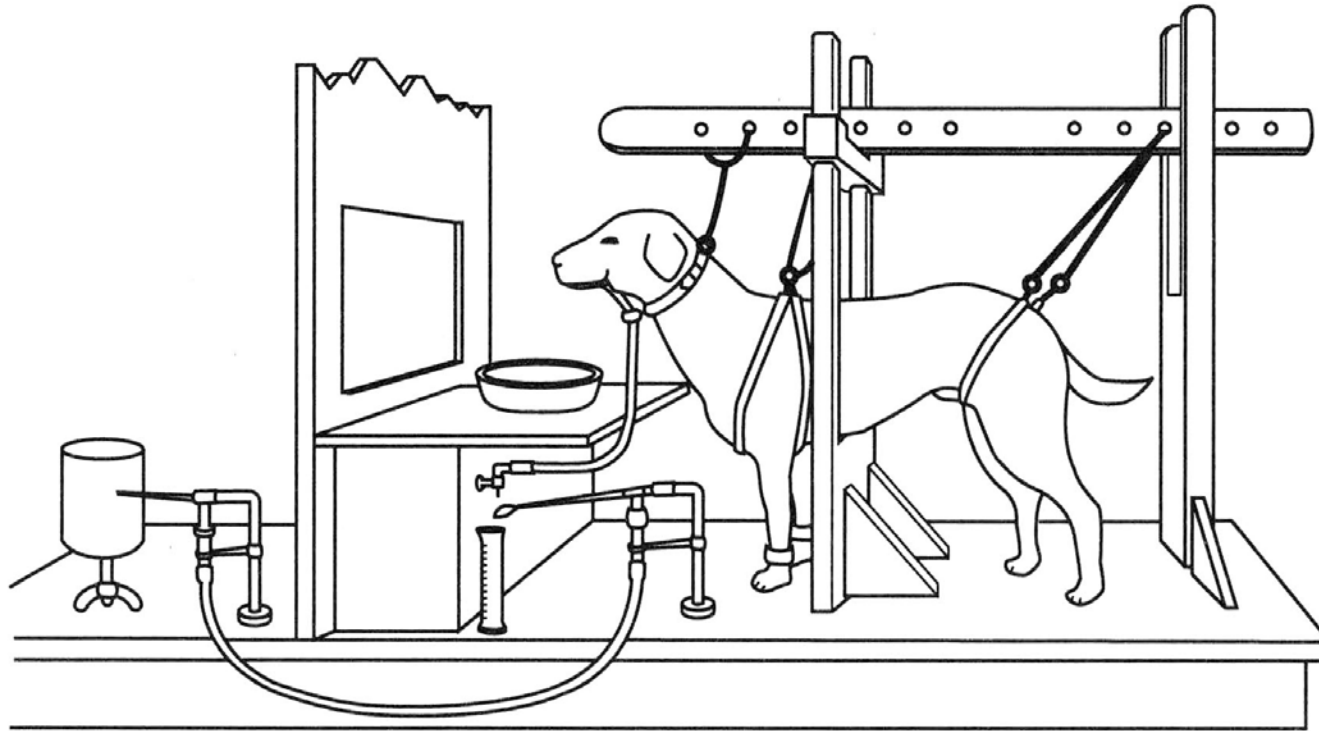
Image by MaxxL, from Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pavlov%27s_dog_conditioning.svg
CC BY-SA 4.0



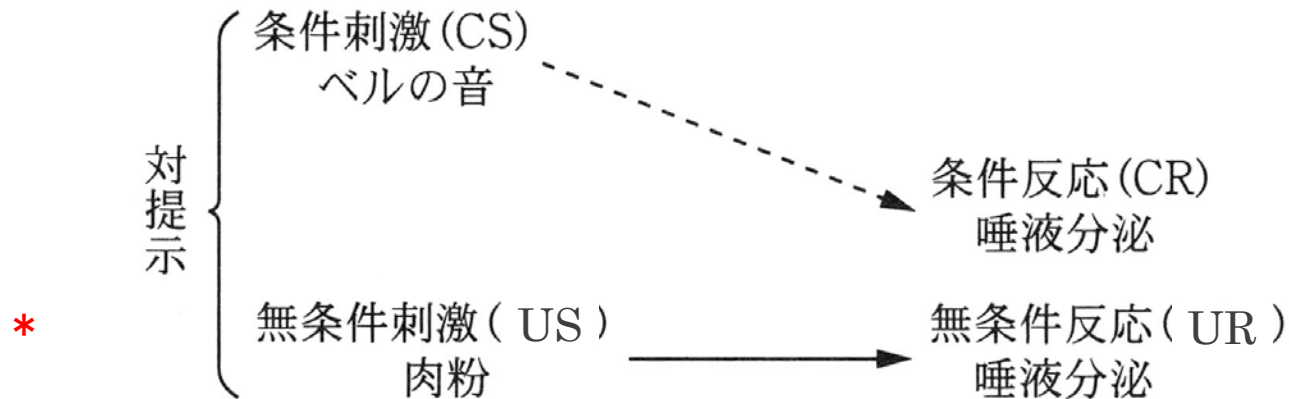
Photo by User:Iolaire, from Wikipedia Commons
ref.20180514
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B5%E3%83%AB%E7%9B%AE#/media/File:Barbary_Macaque.jpg
CC BY-SA 3.0

A

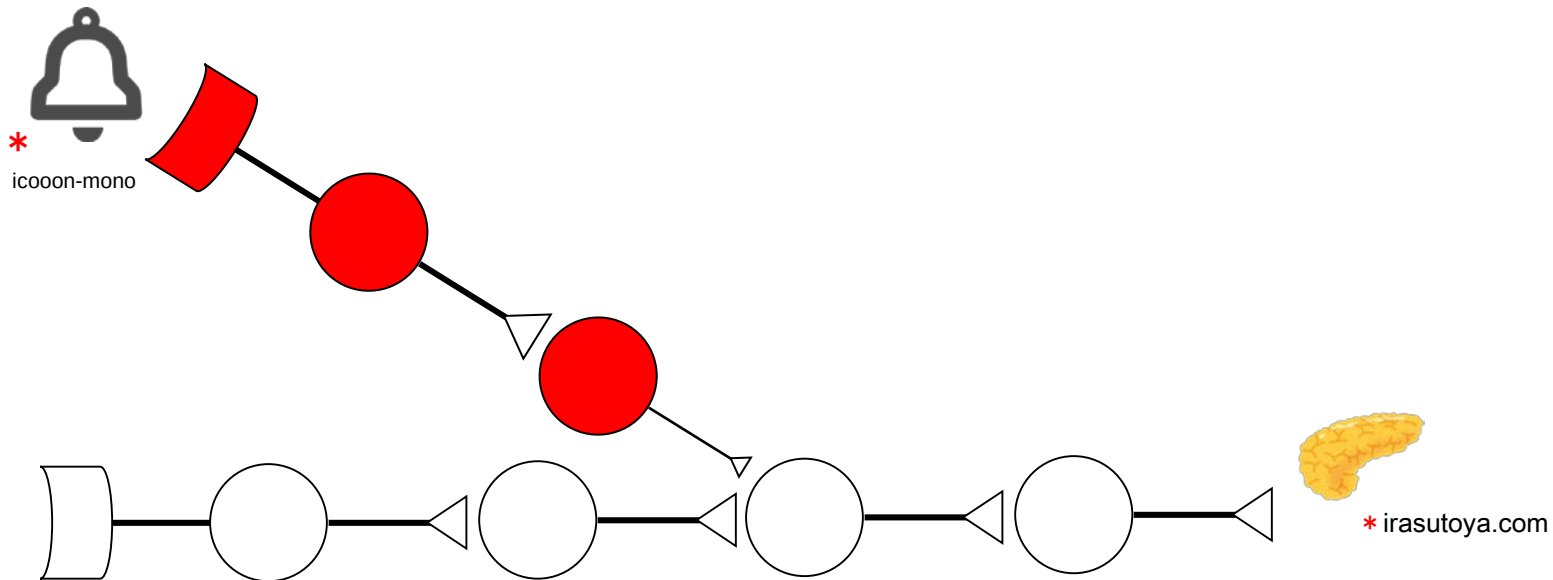
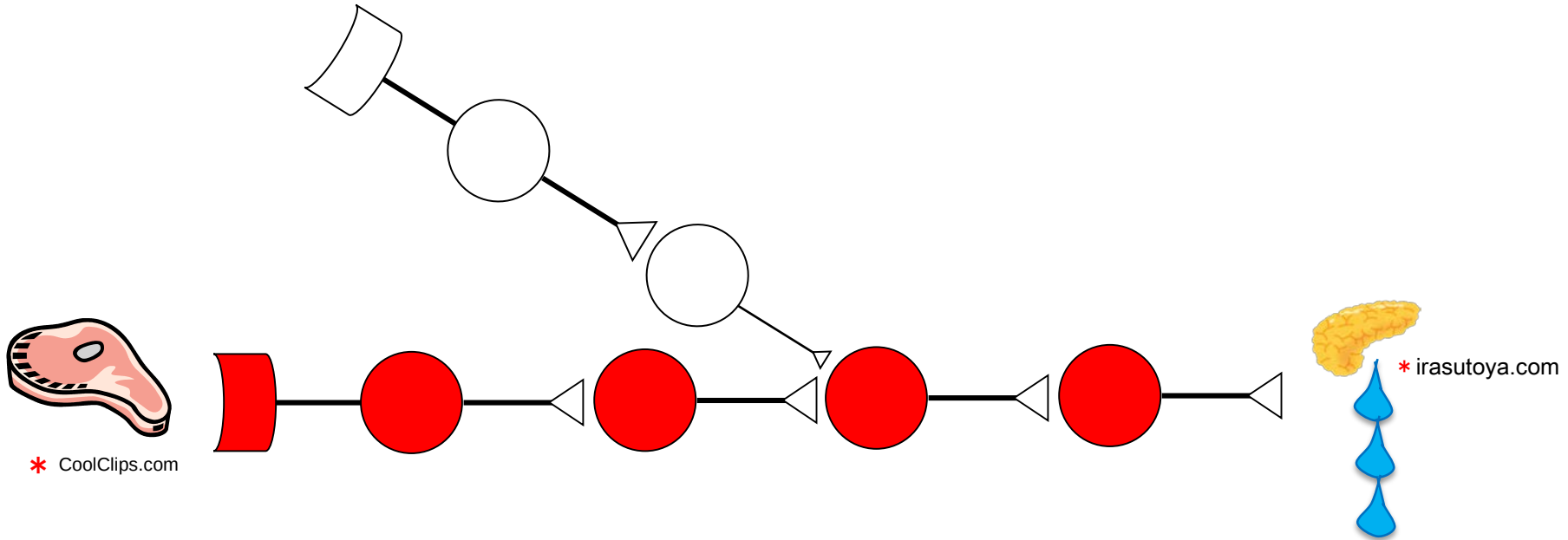
パブロフの古典的条件づけ



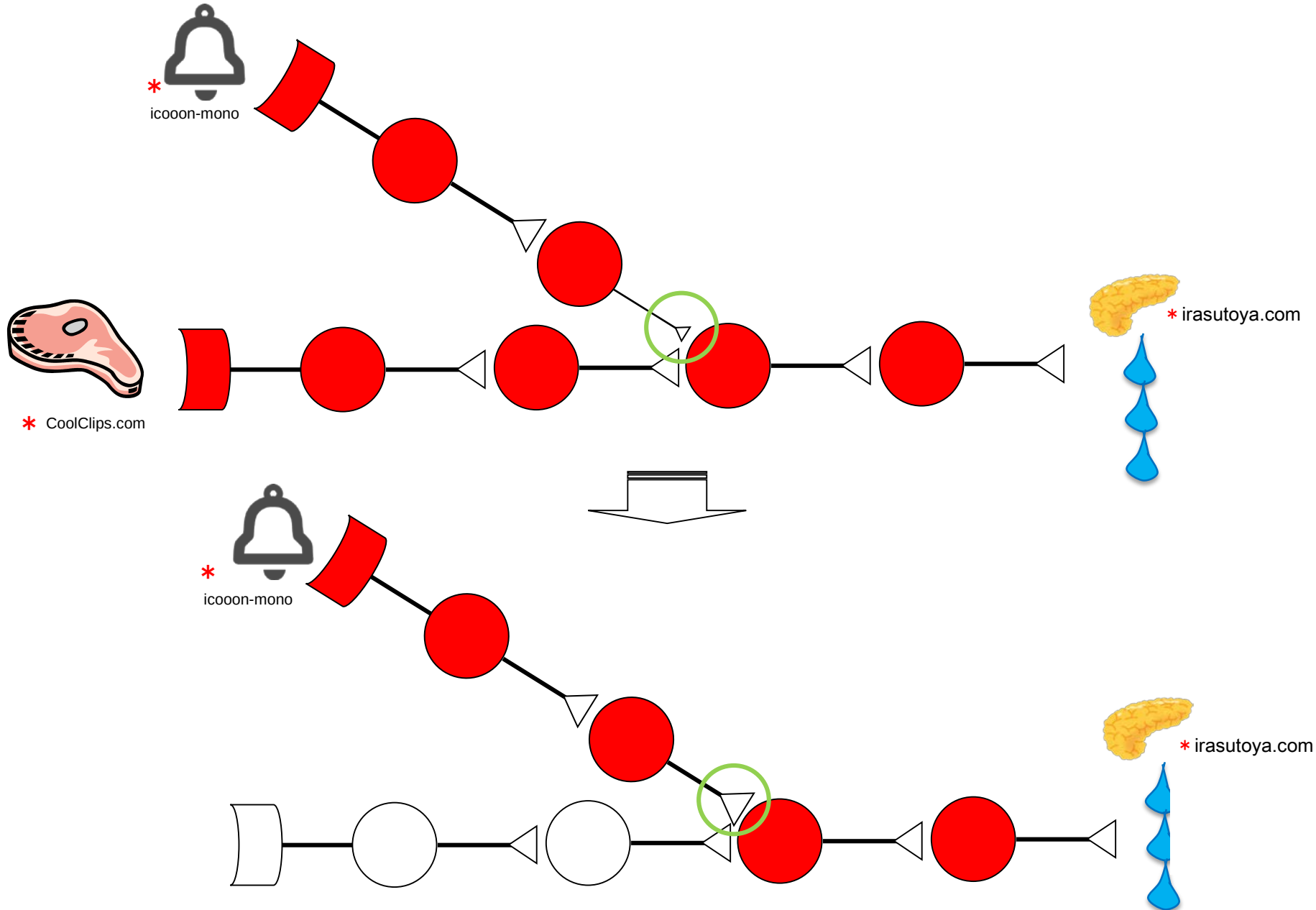
B



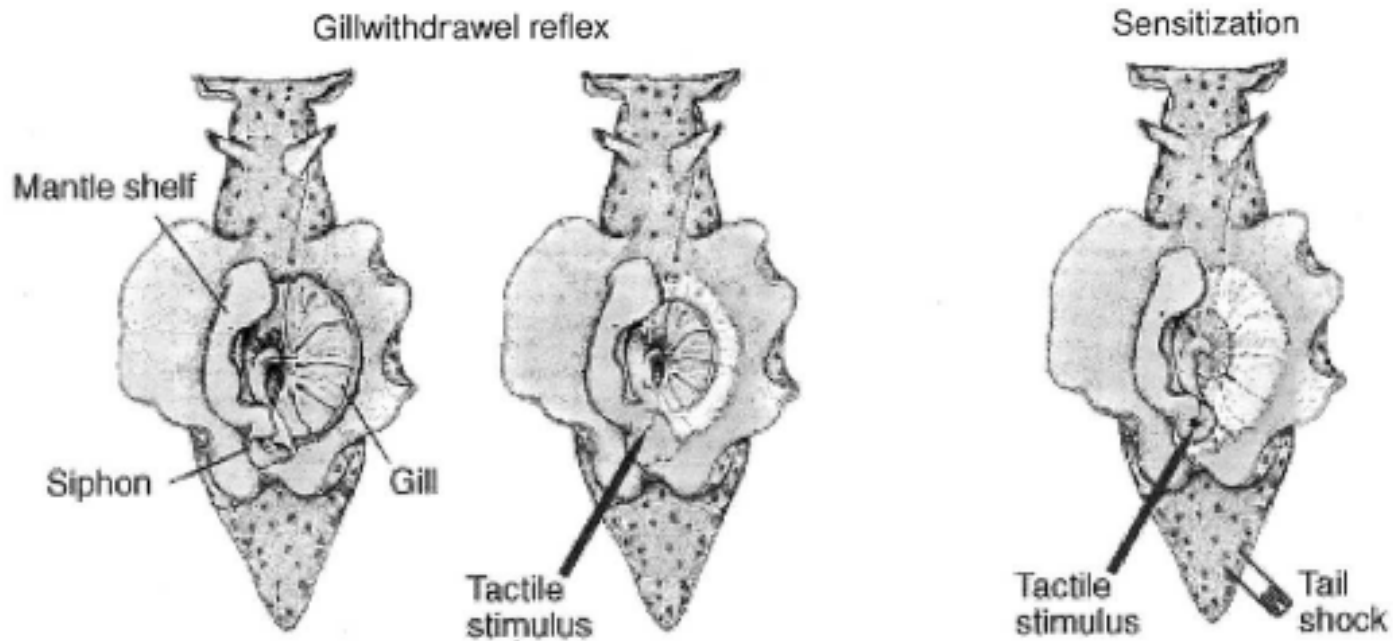
• 学習の機構(考え方)



• 学習の機構(考え方)

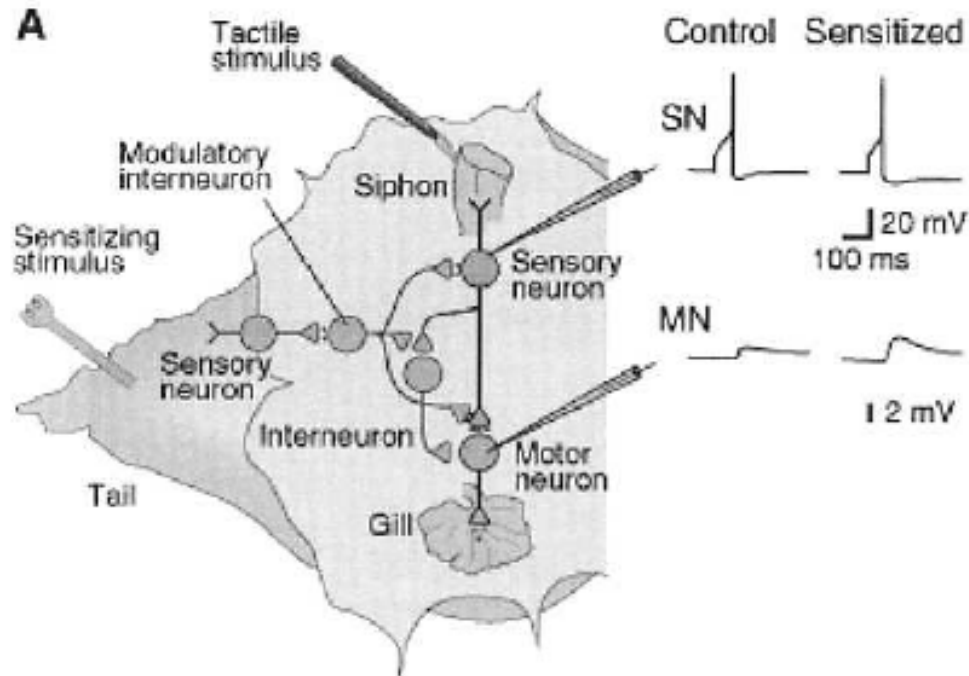


アメフラシ～学習の研究で有名



- * Figure 4. A dorsal view of *Aplysia* showing the gill, the animal's respiratory organ. The gill lies in the mantle cavity and is normally covered partially by the mantle shelf. A light touch to the siphon with a fine probe causes the siphon to contract and the gill to withdraw into the mantle cavity under the protection of the mantle shelf. Here, the mantle shelf is shown to be retracted for a better view of the gill. Sensitization of the gill-withdrawal reflex, produced by applying a noxious stimulus to another part of the body, such as the tail, leads to an enhancement of the withdrawal reflex of both the siphon and the gill.

エラ引込反射の感作



* Figure 9. Long-term sensitization of the gill-withdrawal reflex of *Aplysia* involves long-term facilitation of the connections between sensory and motor neurons.

A. Experimental arrangement showing recordings from the sensory and motor neuron. The recordings on the right show representative records of action potentials in a siphon sensory neuron and synaptic potentials in a gill motor neuron in a control animal and in an experimental animal one day after the animal had received long-term sensitization training by stimulating its tail.

よく使われるモデル生物



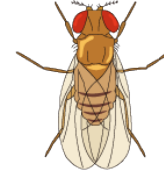
ネズミ
Mouse

* 研究.net



* 研究.net

ゼブラフィッシュ
Zebrafish
メダカ



* 研究.net

ショウジョウバエ
Drosophila



線虫
C. elegans

**Nobel Prize
2002**



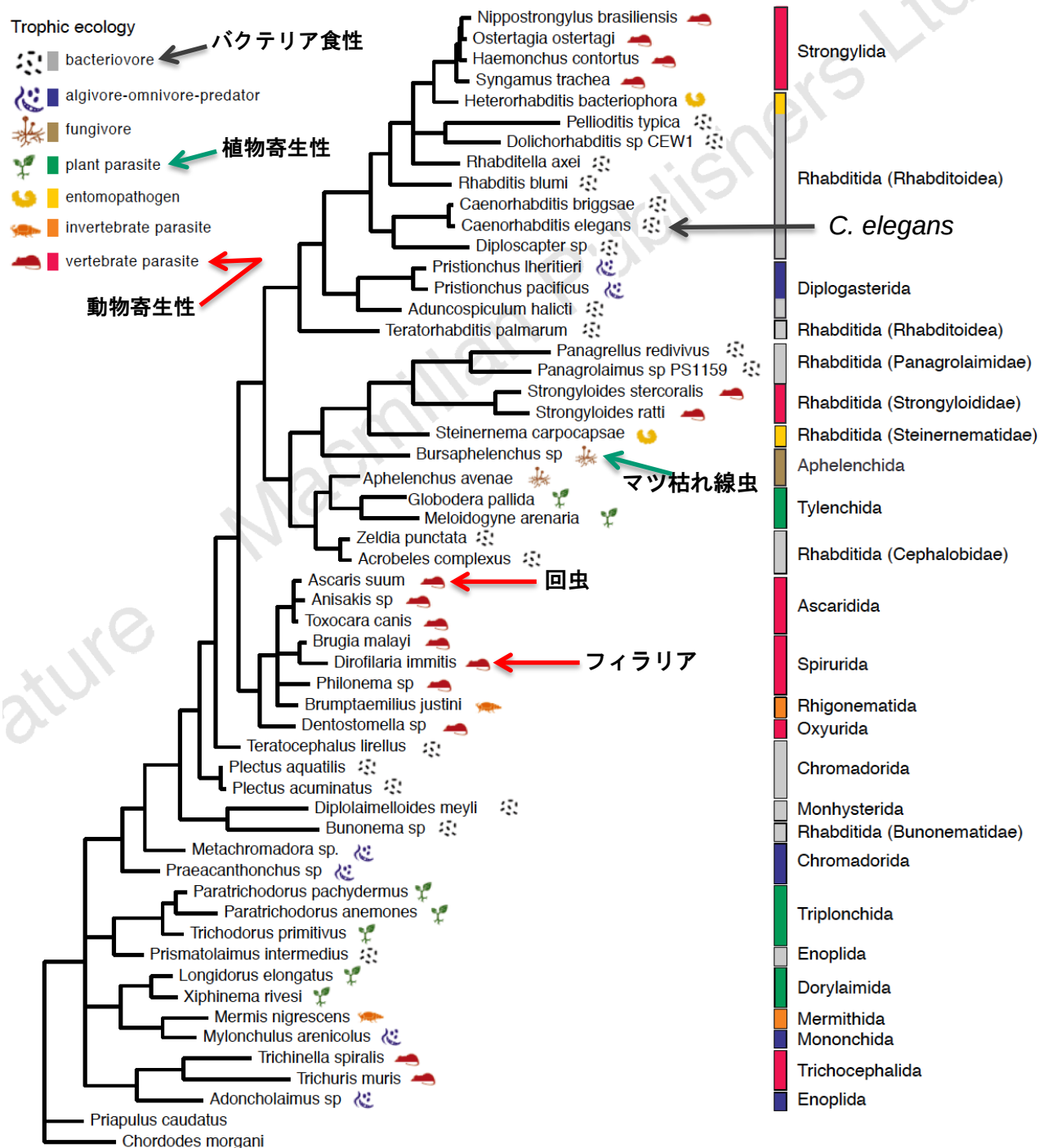
“We should like to attack the problem of cellular development, by choosing the simplest possible differentiated organism and subjecting it to the analytical methods of microbial genetics”



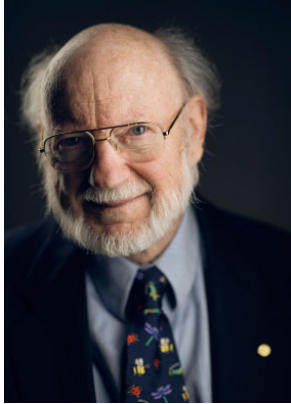
Image by Shadow600, from Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EMLederberg_GStent_SBrenner_JLederberg_1965_wiki.jpg
CC BY-SA 3.0

シドニー・ブレンナー

線虫類 (線形動物門)



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2015



* Ill. N. Elmehed. © Nobel Media AB 2015.

William C. Campbell

Prize share: 1/4



* Ill. N. Elmehed. © Nobel Media AB 2015.

Satoshi Ōmura

Prize share: 1/4



* Ill. N. Elmehed. © Nobel Media AB 2015.

Youyou Tu

Prize share: 1/2

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2015/

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

2015年ノーベル医学・生理学賞のイラスト
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2015/press.html

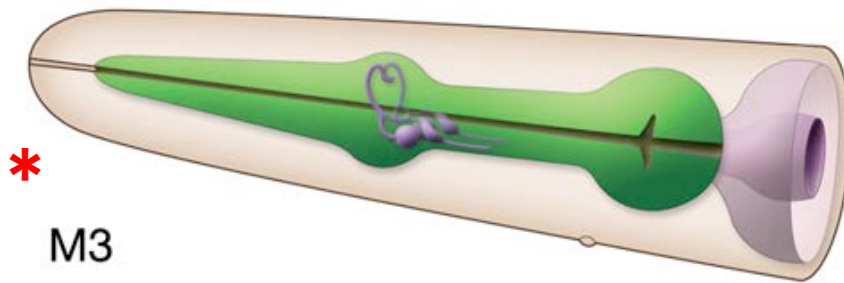
大村さんが土中の放線菌 *Streptomyces avermitilis* から発見した avermectin (改良版= ivermectin) が、線虫類（フィラリア）の感染により起こる河川盲目症、リンパ系フィラリア症などの治療に絶大な効果を示した。

*C. elegans*でも ivermectin / ivermectin の作用機序が調べられた。



© 2012 David Raizen et al
<http://www.wormbook.org/>
CC BY 2.5

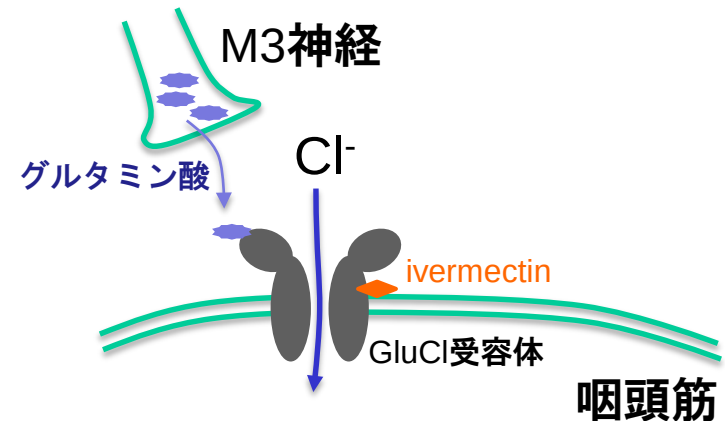
ivermectinを加えると咽頭のポンピングが止まって成長できなくなる。
ivermectinがあっても育つことのできる耐性変異体を探したところ、抑制性
グルタミン酸受容体(GluCl受容体)の変異体が得られた。
→抑制性グルタミン酸受容体がivermectinの標的であることが確認された。



<http://www.wormatlas.org>

For the Neuron page or its single illustration, the acknowledgement should read:
Z.F. Altun and D.H. Hall (2014)
<http://www.wormatlas.org/neurons/Individual%20Neurons/M1frameset.html>

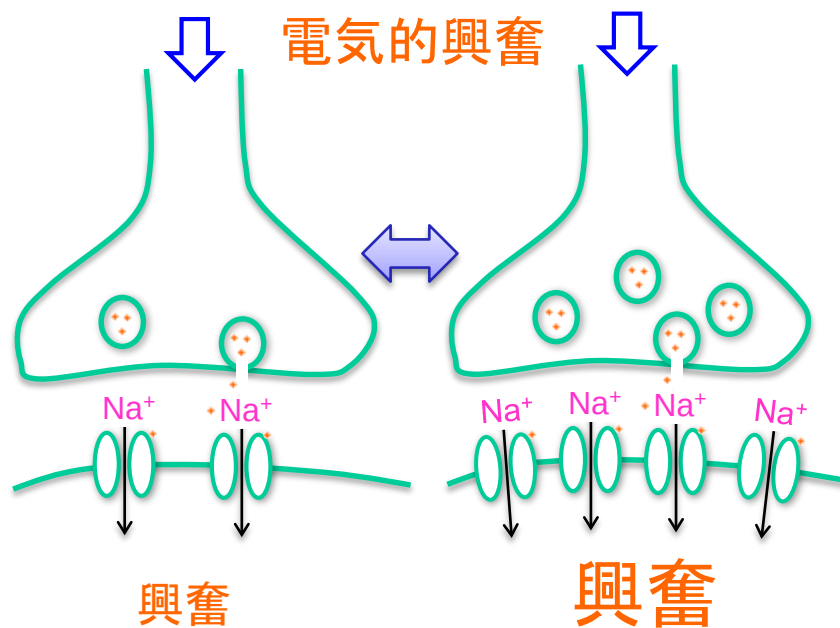
For the long paper by John White et al, the acknowledgement should read:
J.G. White et al., 1986, The structure of the nervous system of the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 314:1-340. Web adaptation, Thomas Boulin, for www.Wormatlas.org, 2001, 2002



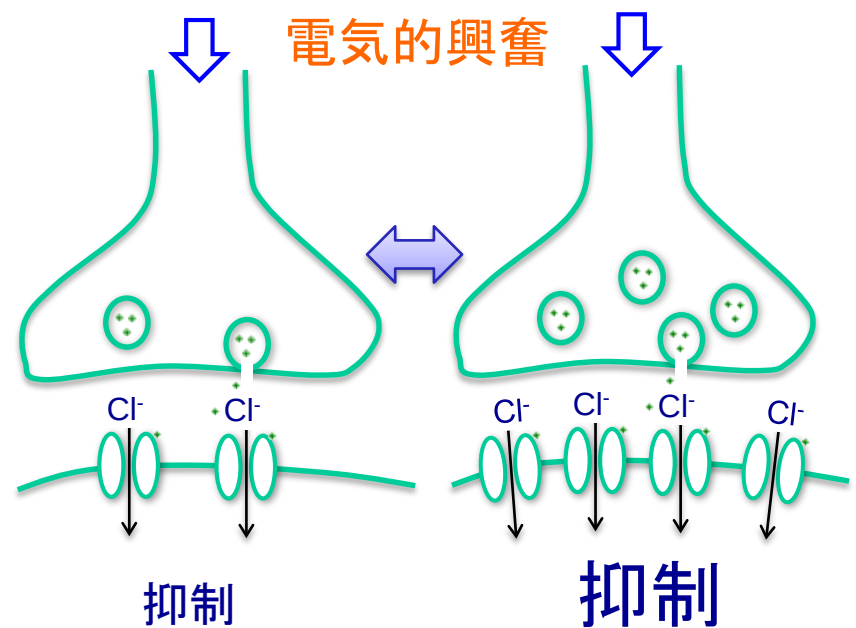


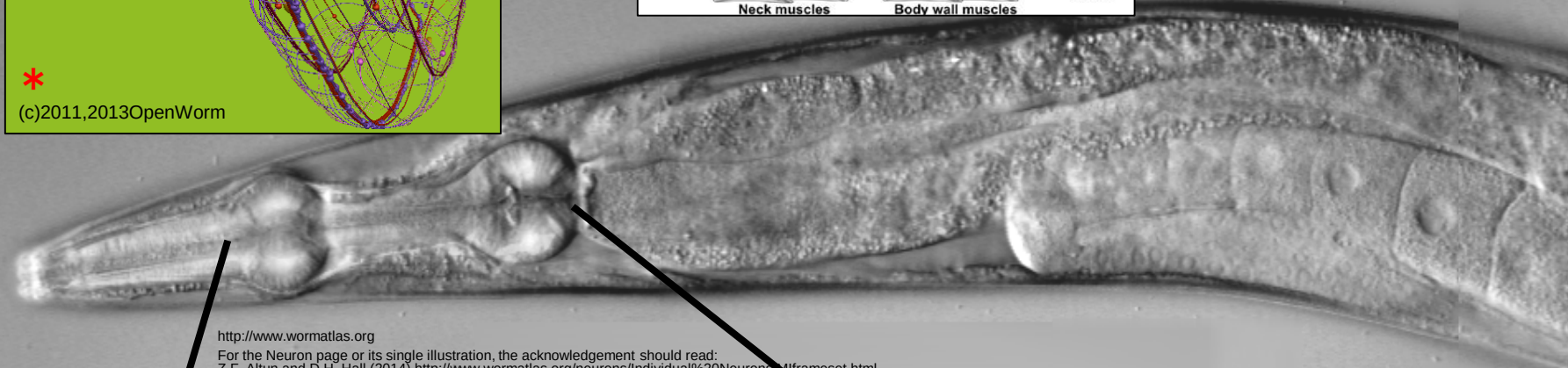
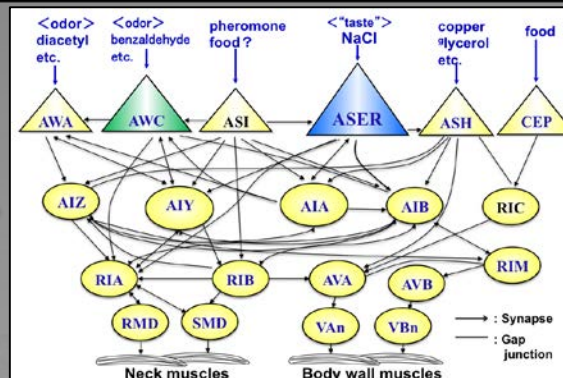
興奮性シナプスと抑制性シナプス

興奮性シナプス



抑制性シナプス

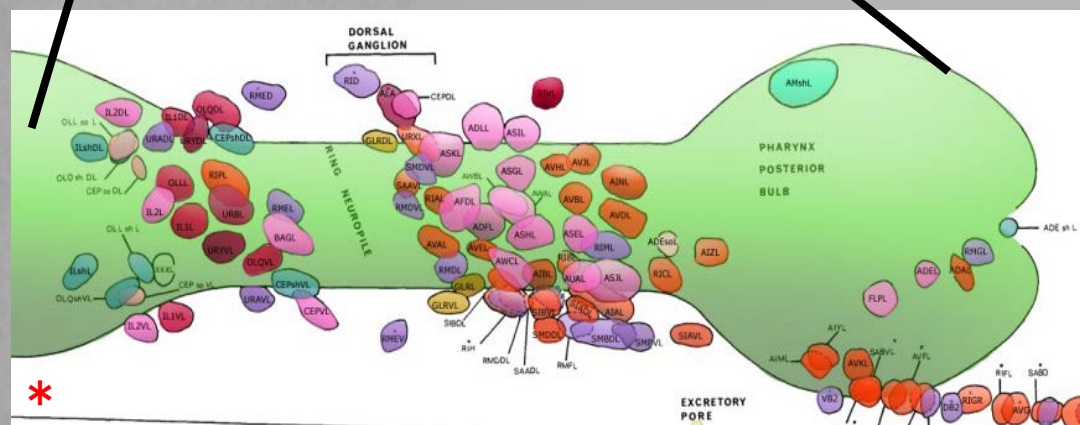




<http://www.wormatlas.org>

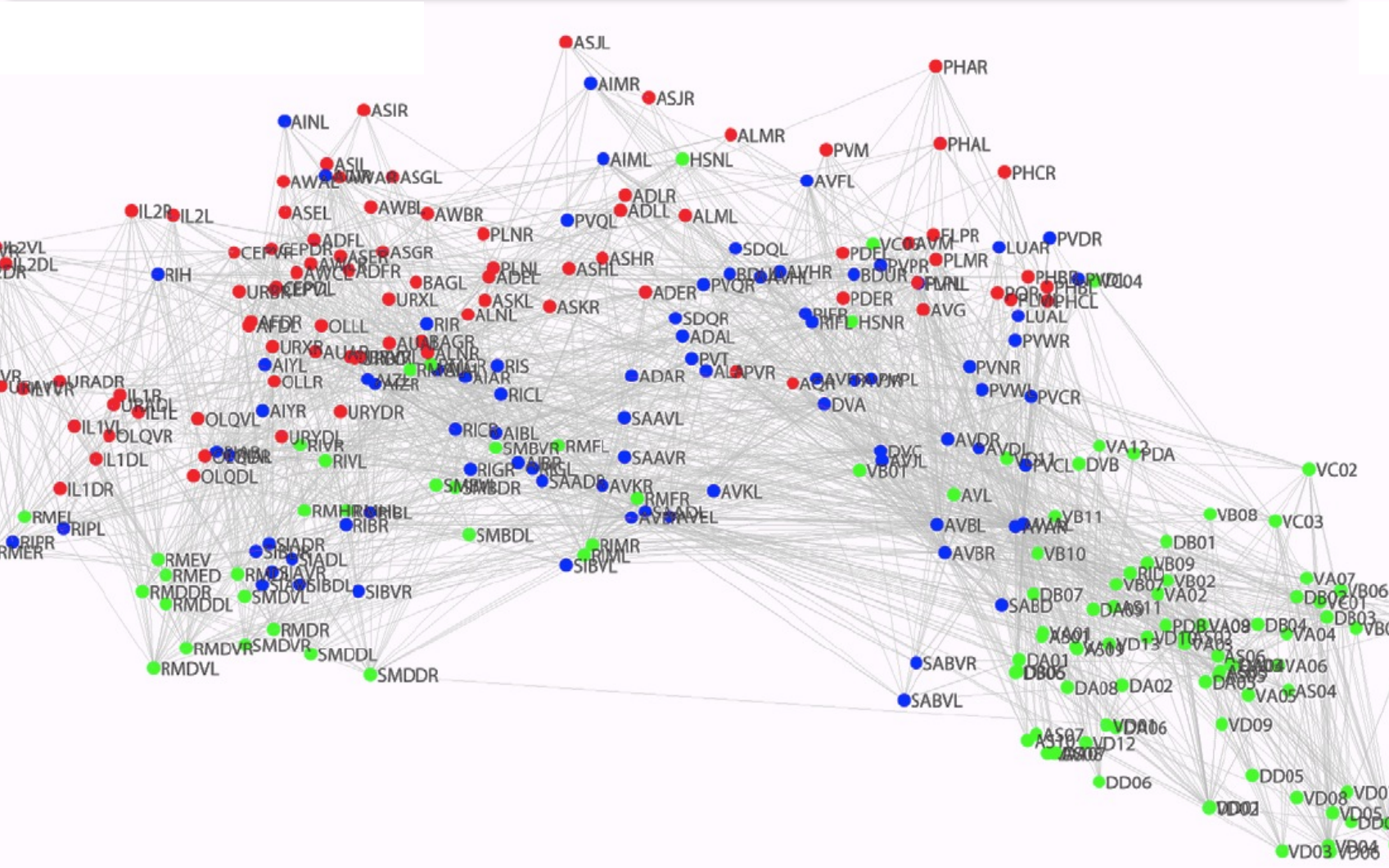
For the Neuron page or its single illustration, the acknowledgement should read:
Z.F. Altun and D.H. Hall (2014) <http://www.wormatlas.org/neurons/Individual%20Neurons/4frameset.html>

For the long paper by John White et al, the acknowledgement should read:
J.G. White et al., 1986, The structure of the nervous system of the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 314:1-340. Web adaptation, Thomas Boulin, for www.Wormatlas.org, 2001, 2002

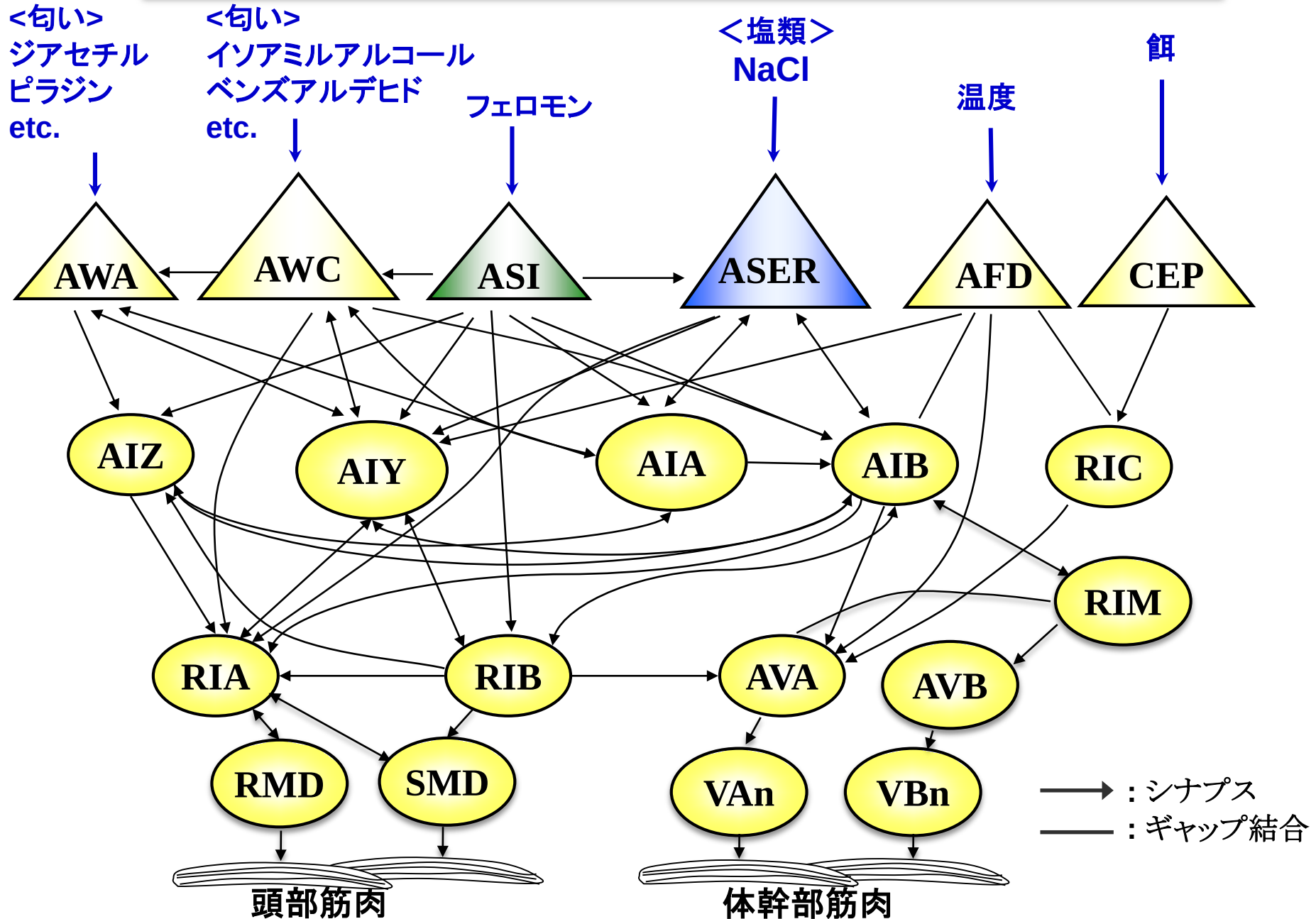


- 全体細胞数は959個
- 神経細胞は302個
- 神経細胞間のすべての結合関係(配線図)がわかっている。

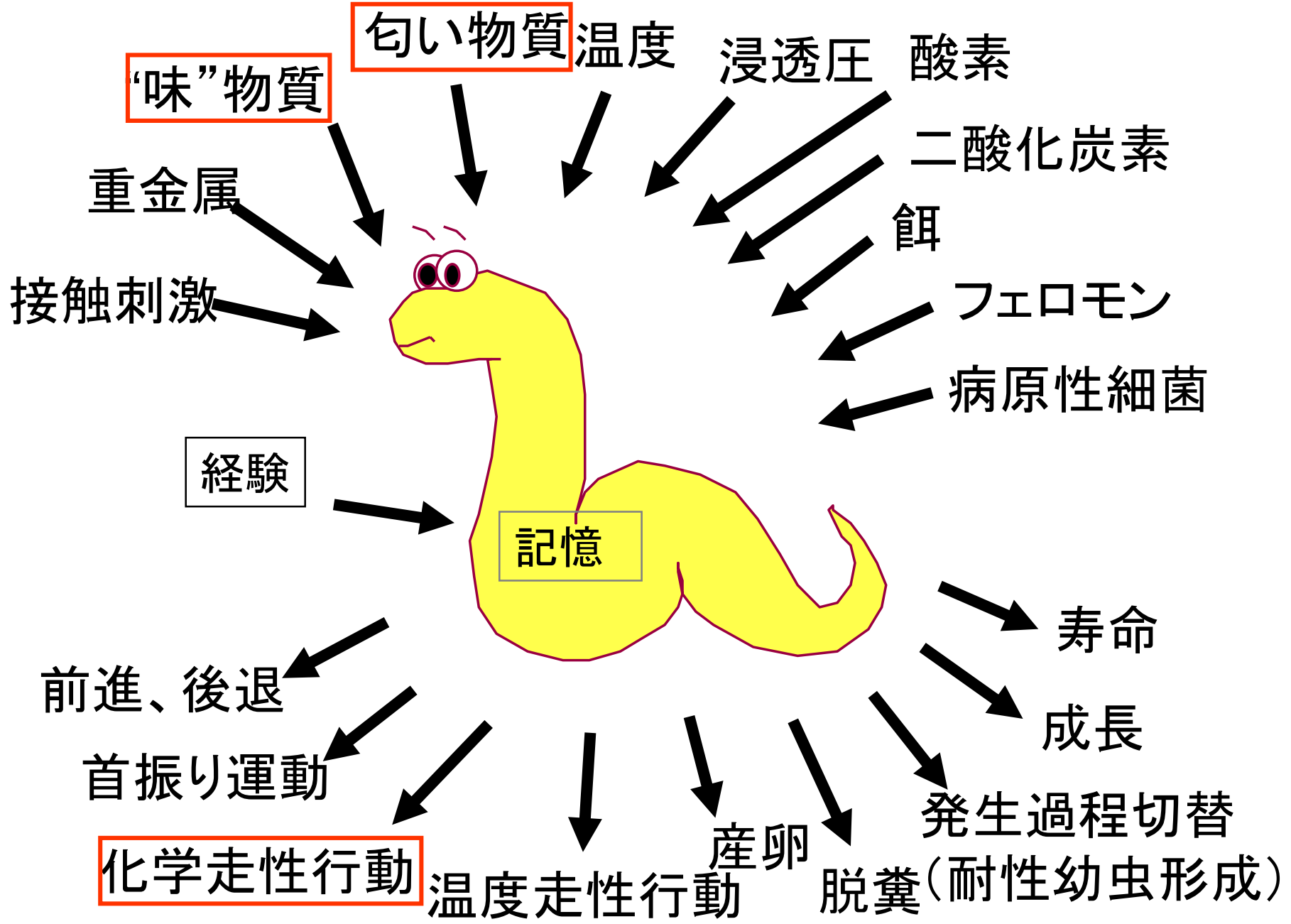
線虫の神経ネットワーク



線虫の神経回路の一部



線虫はさまざまな行動(または神経系に依存した機能調節)を行う



線虫の化学走性(走化性)

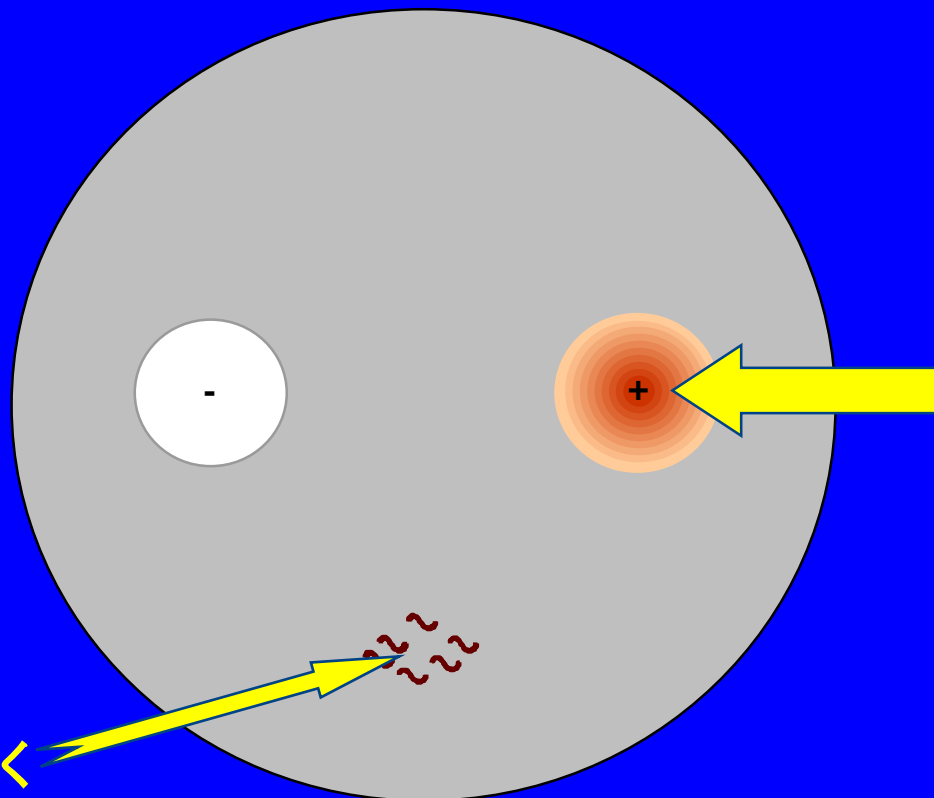
誘引物質

匂い物質

イソアミルアルコール
ベンズアルデヒド
ブタノン
ジアセチル
など

味物質

食塩 (NaCl)
塩化マグネシウム
ヨウ化アンモニウム
など

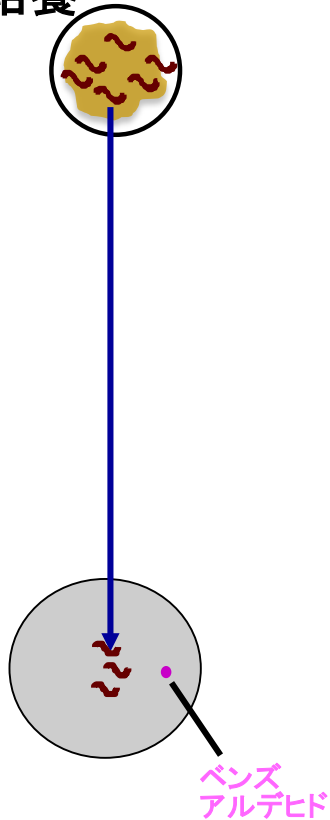


寒天平板(プレート)



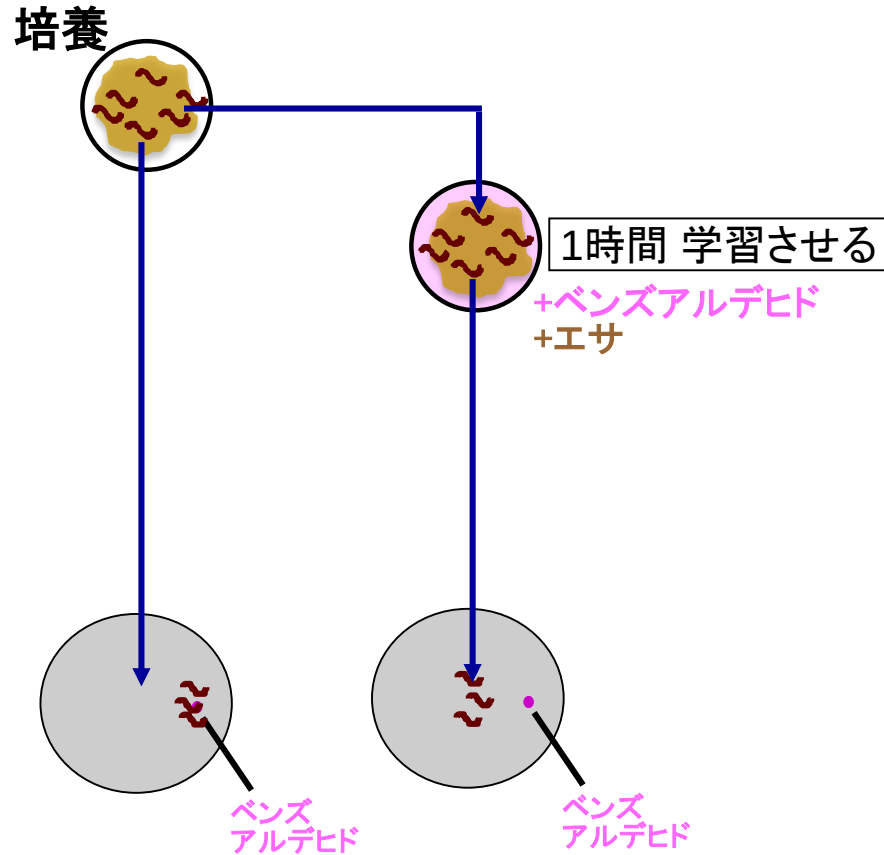
匂い(ベンズアルデヒド)の学習

培養



Cobert et al. Neuron 14, 803 (1995)
Nuttley et al. PNAS 99, 12449 (2002)

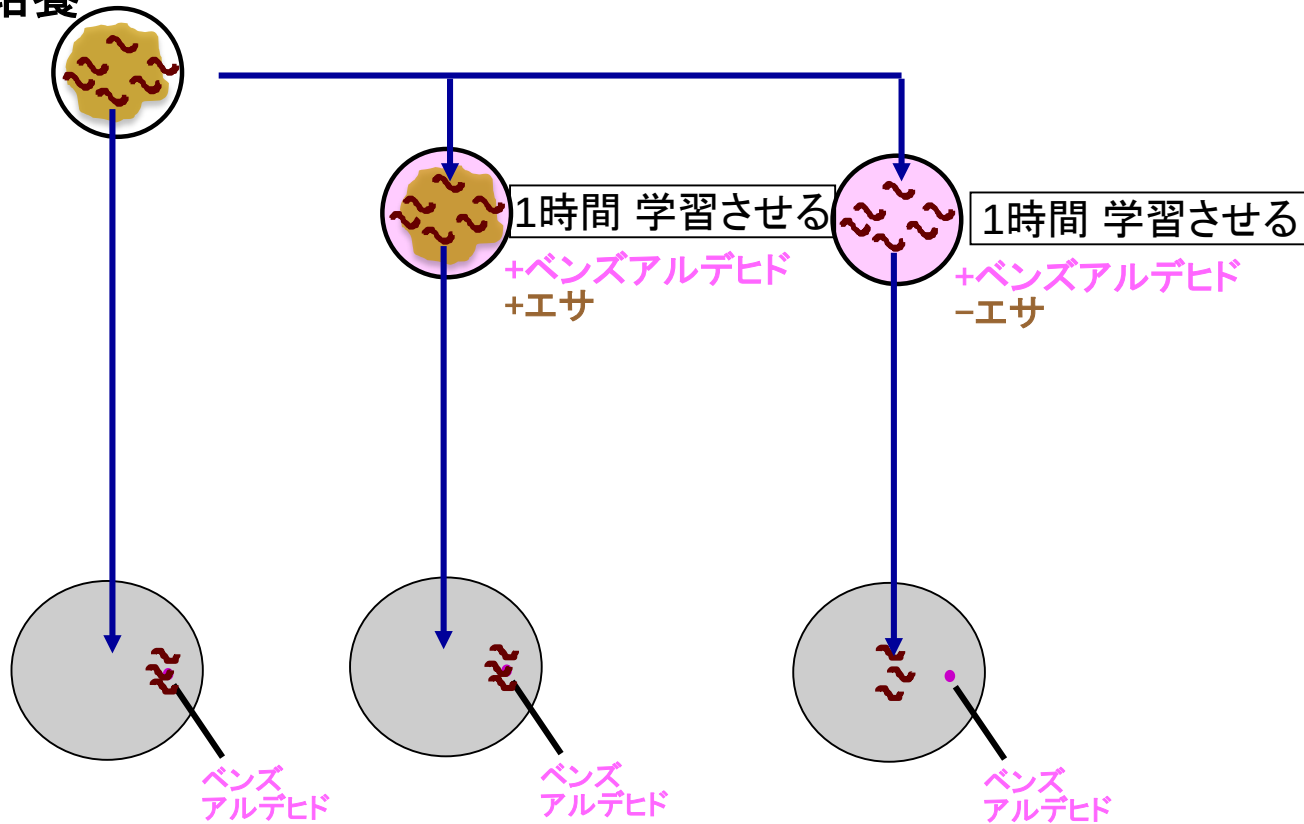
匂い(ベンズアルデヒド)の学習



Cobert et al. Neuron 14, 803 (1995)
Nuttley et al. PNAS 99, 12449 (2002)

匂い(ベンズアルデヒド)の学習

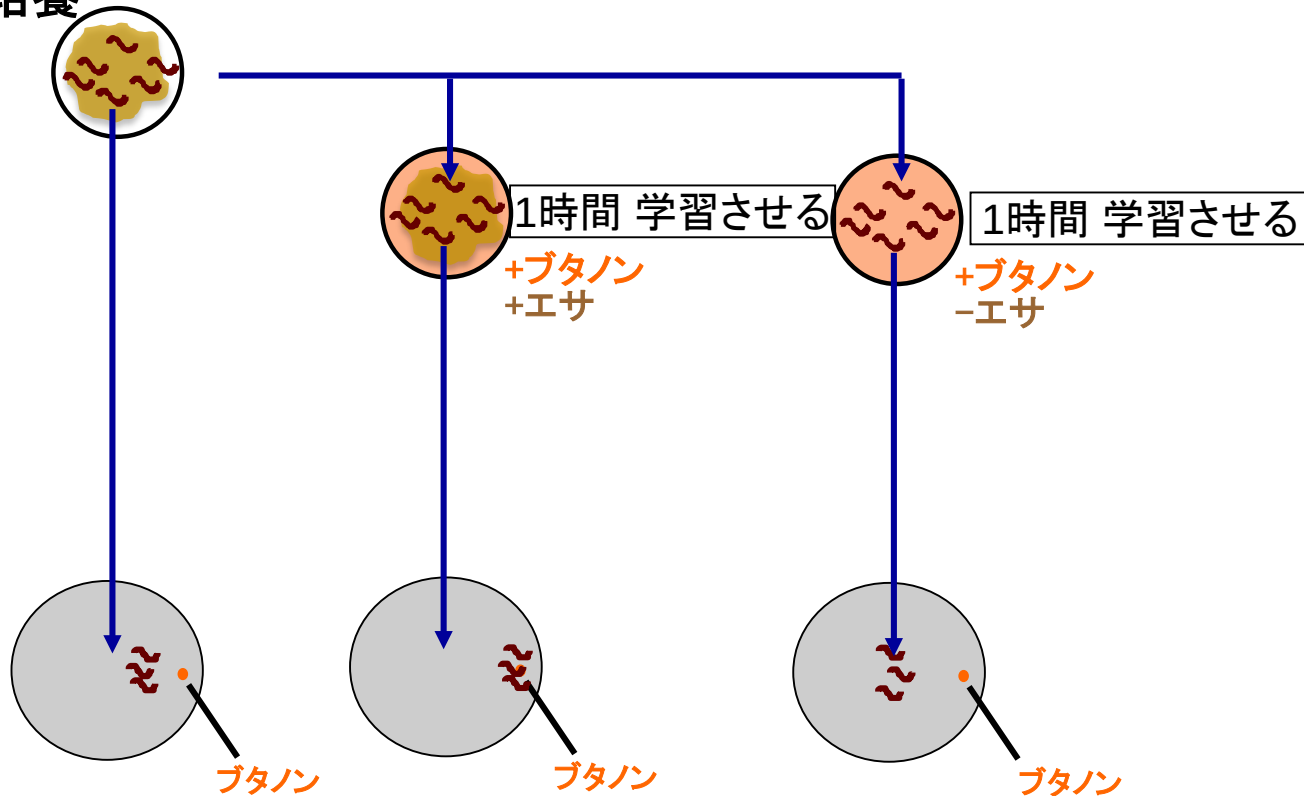
培養



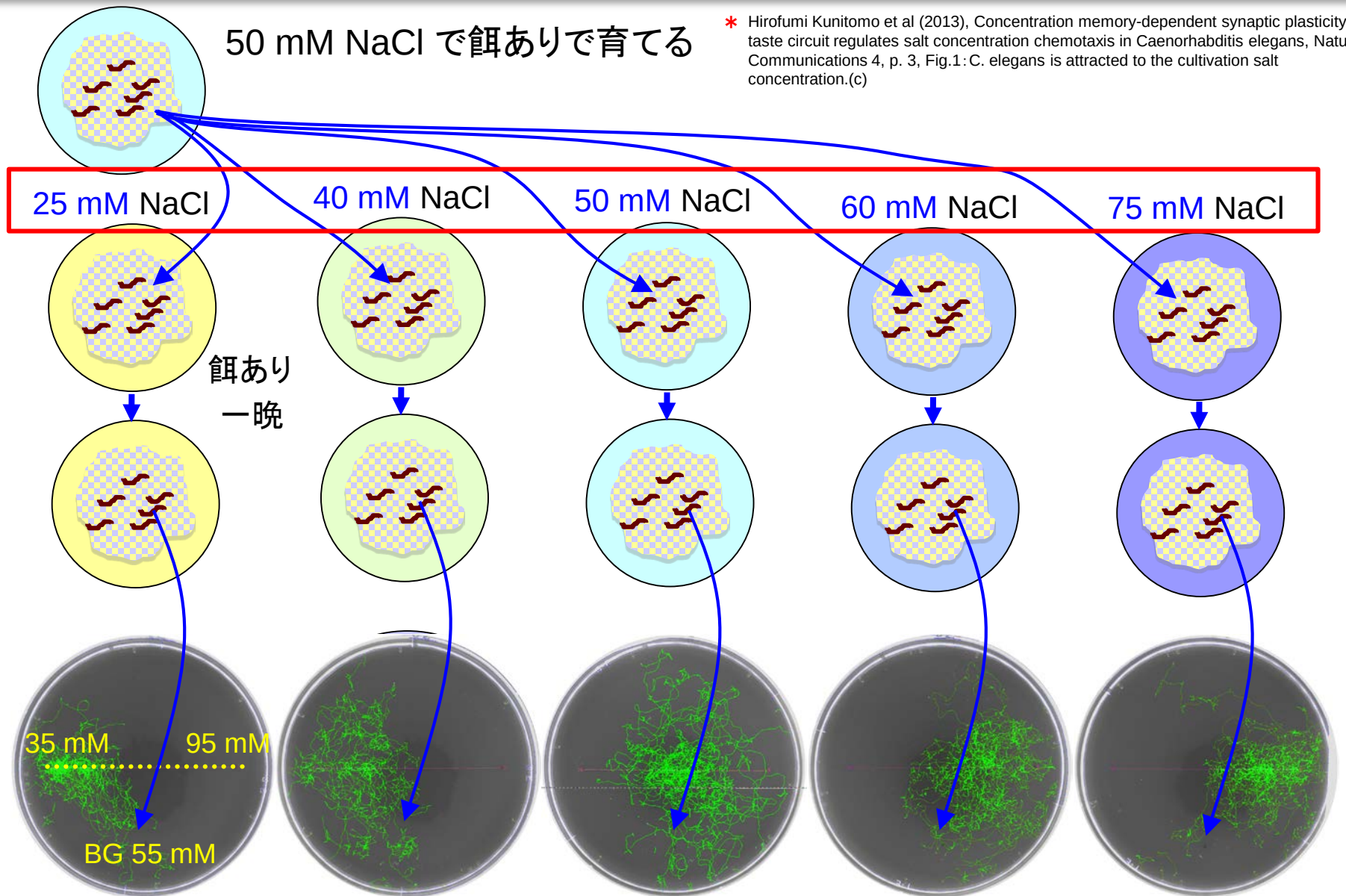
Cobert et al. Neuron 14, 803 (1995)
Nuttley et al. PNAS 99, 12449 (2002)

匂い(ブタノン)の学習

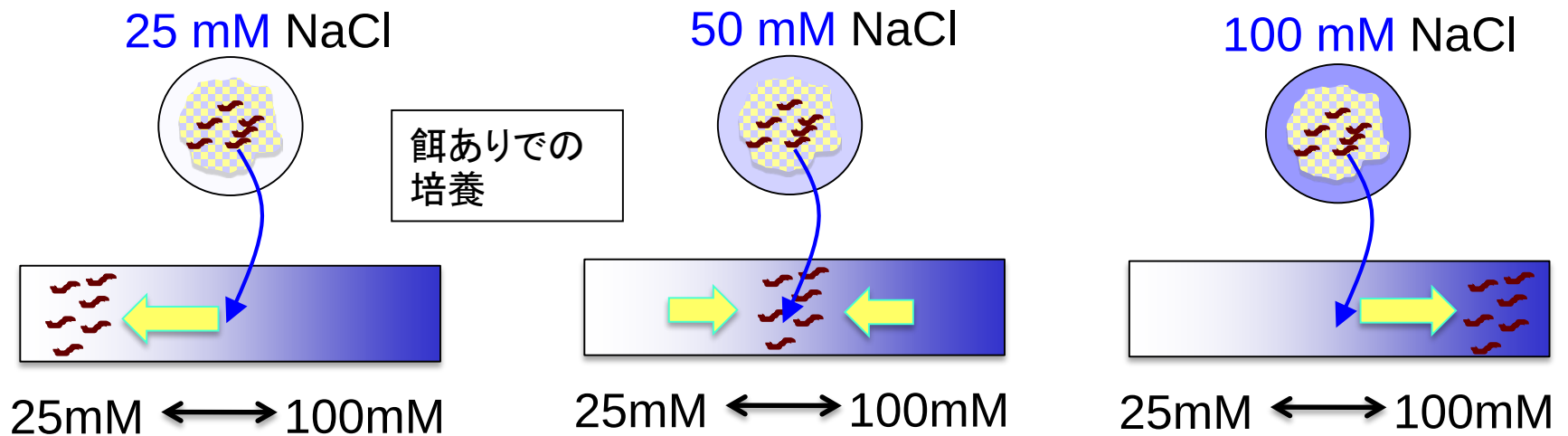
培養



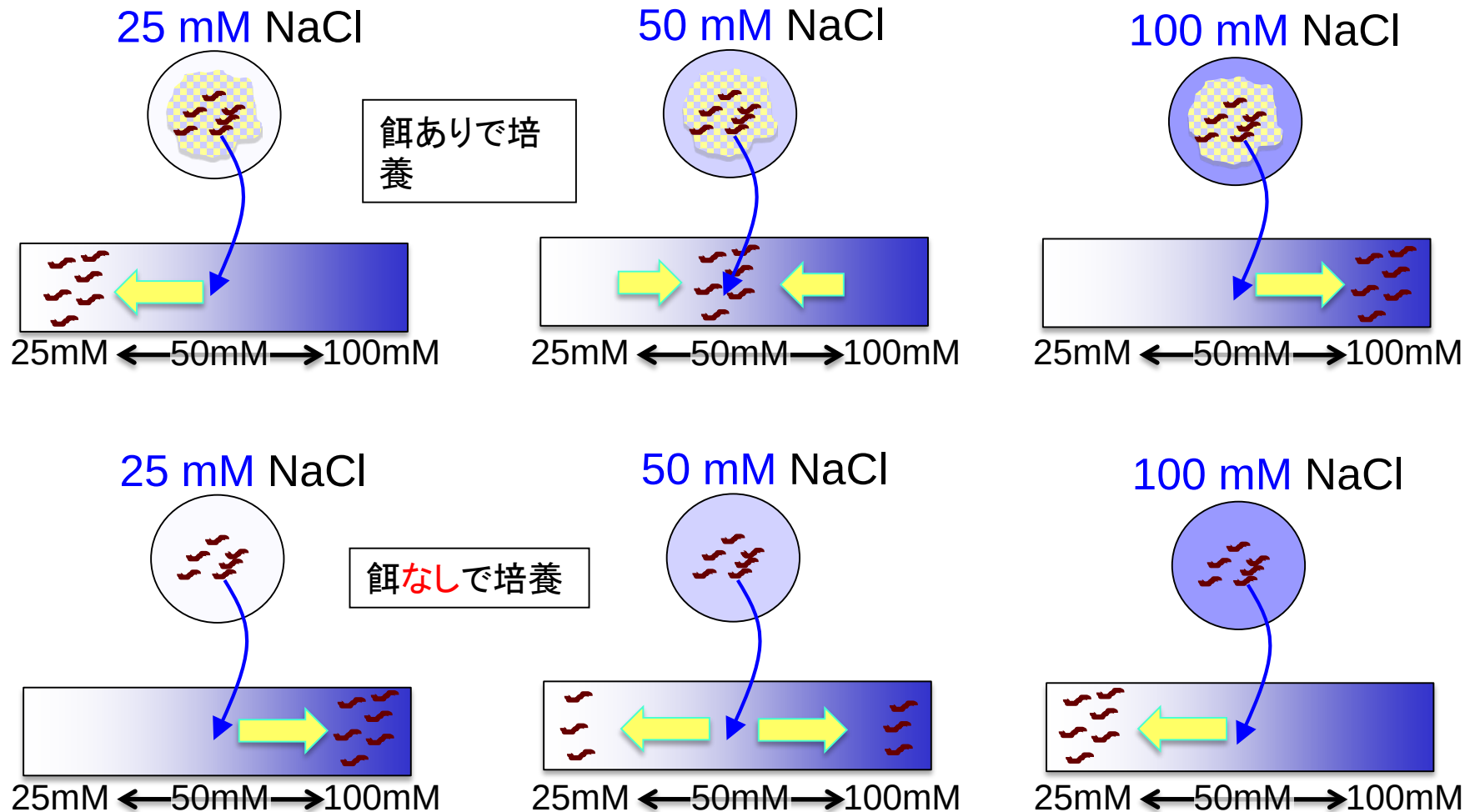
塩の学習 (餌ありの場合)



線虫は塩濃度を記憶する



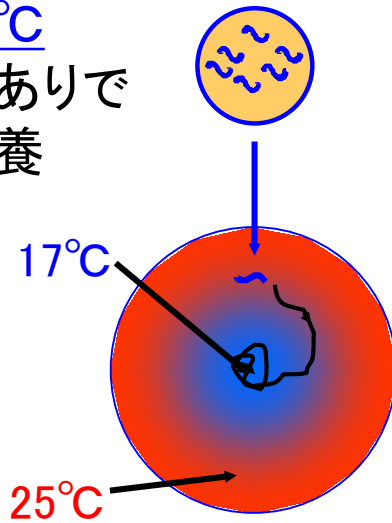
線虫は塩濃度を記憶し、餌と連合学習して 走性の方向を逆転させる



温度学習

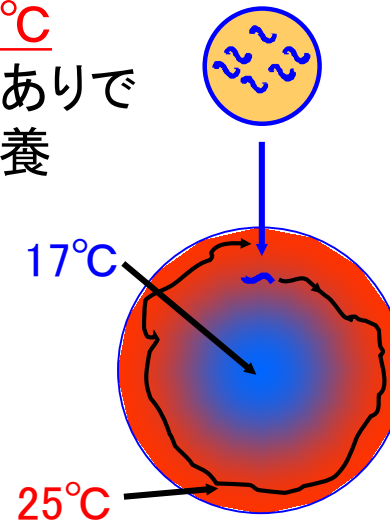
17°C

餌ありで
培養



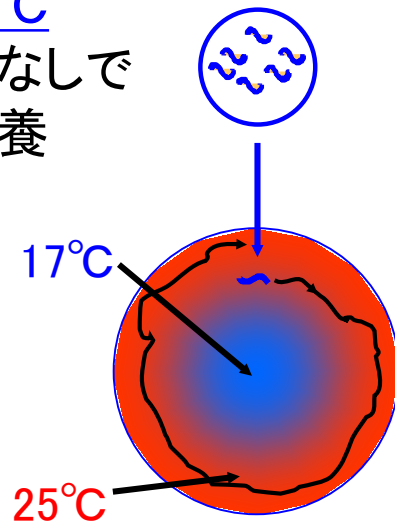
25°C

餌ありで
培養



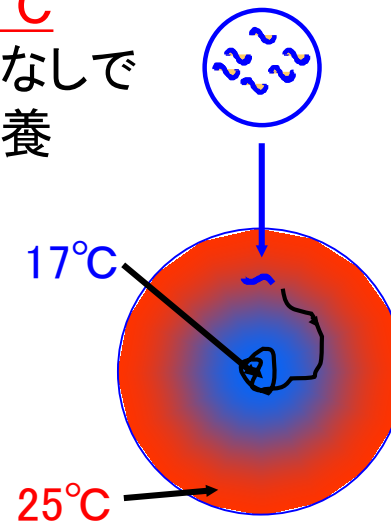
17°C

餌なしで
培養



25°C

餌なしで
培養



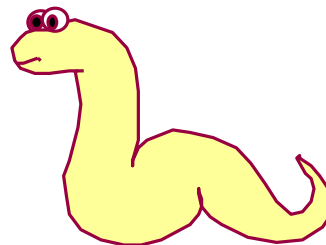
(Mori and Ohshima
Nature 376, 344, 1995)

C. elegans はNaCl 濃度を手がかりにエサを みつける？

Photo by Poyraz 72, from Wikipedia Commons
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A1%A9#/media/File:Table_salt_with_salt_shaker_V1.jpg
CC BY-SA 4.0

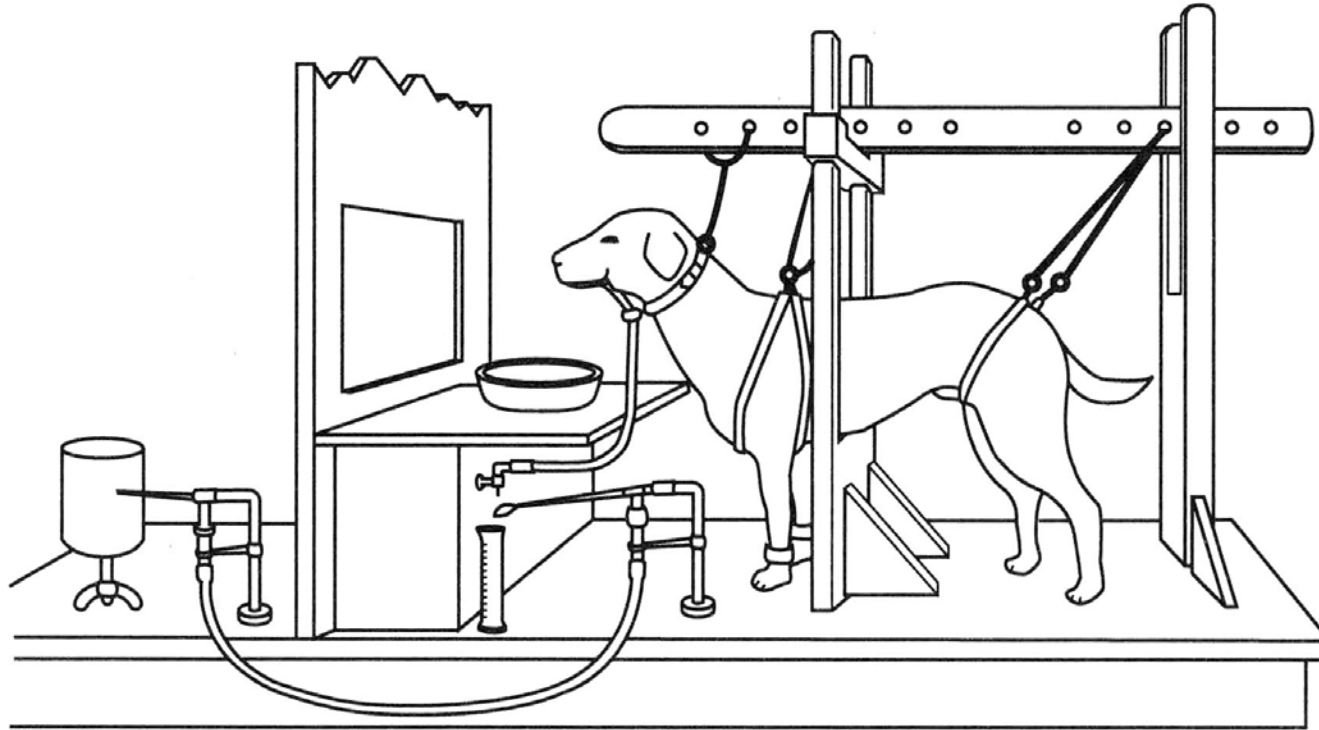
← 濃度勾配 →

Photo by Yumi Kimura, from Wikipedia Commons
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%AF%BF%E5%8F%B8#/media/File:Various_sushi_beautiful_October_night_at_midnight.jpg
CC BY-SA 2.0

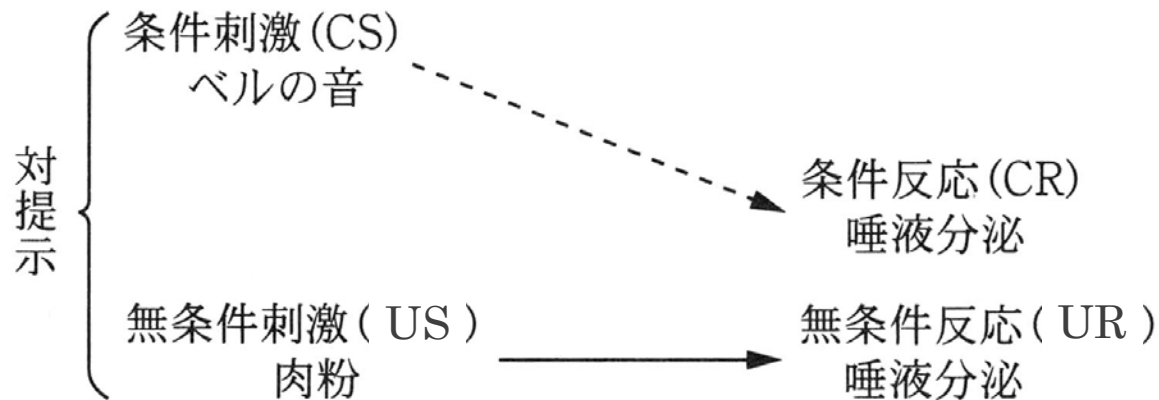


パブロフの古典的条件づけ

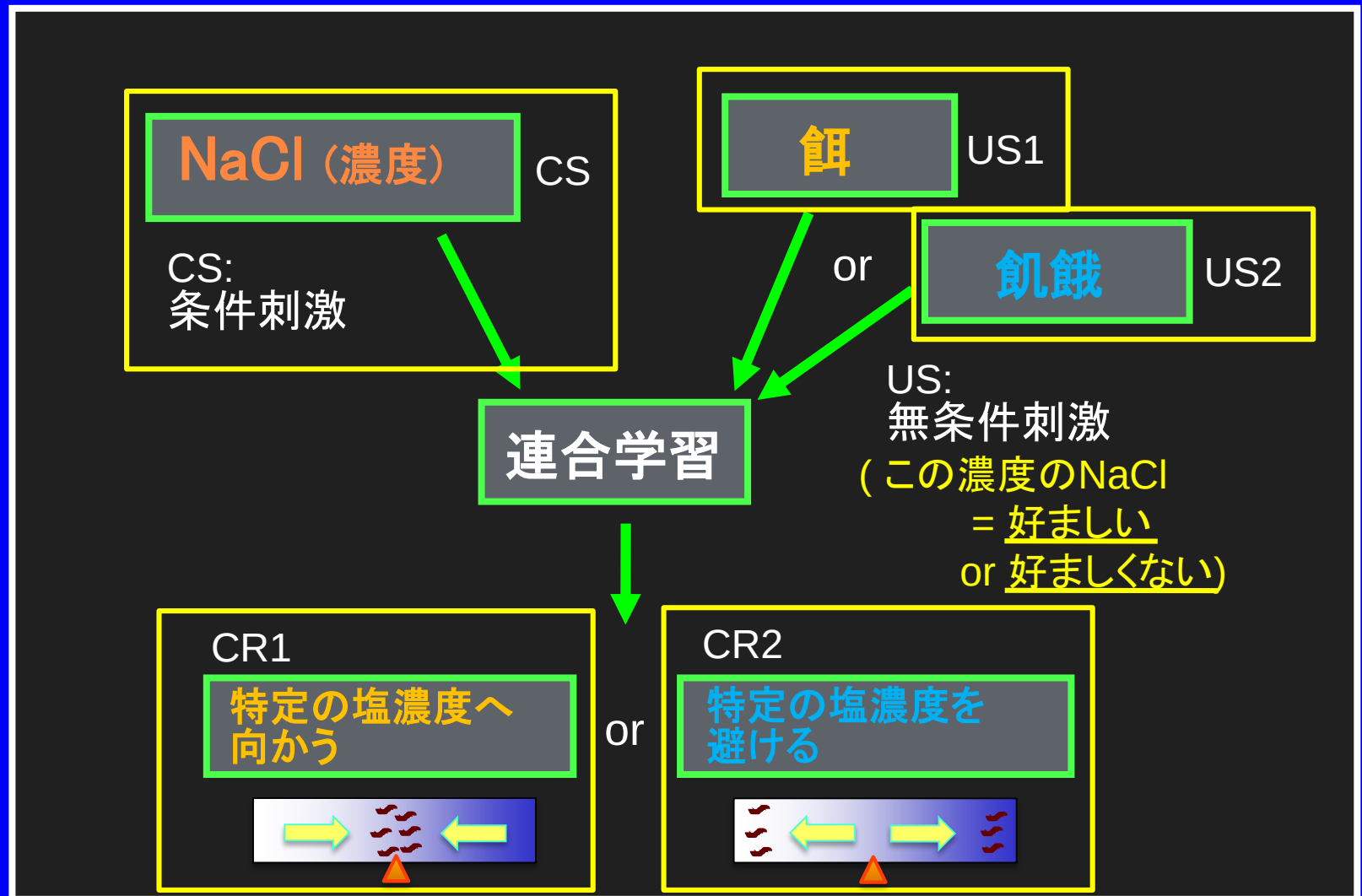
A



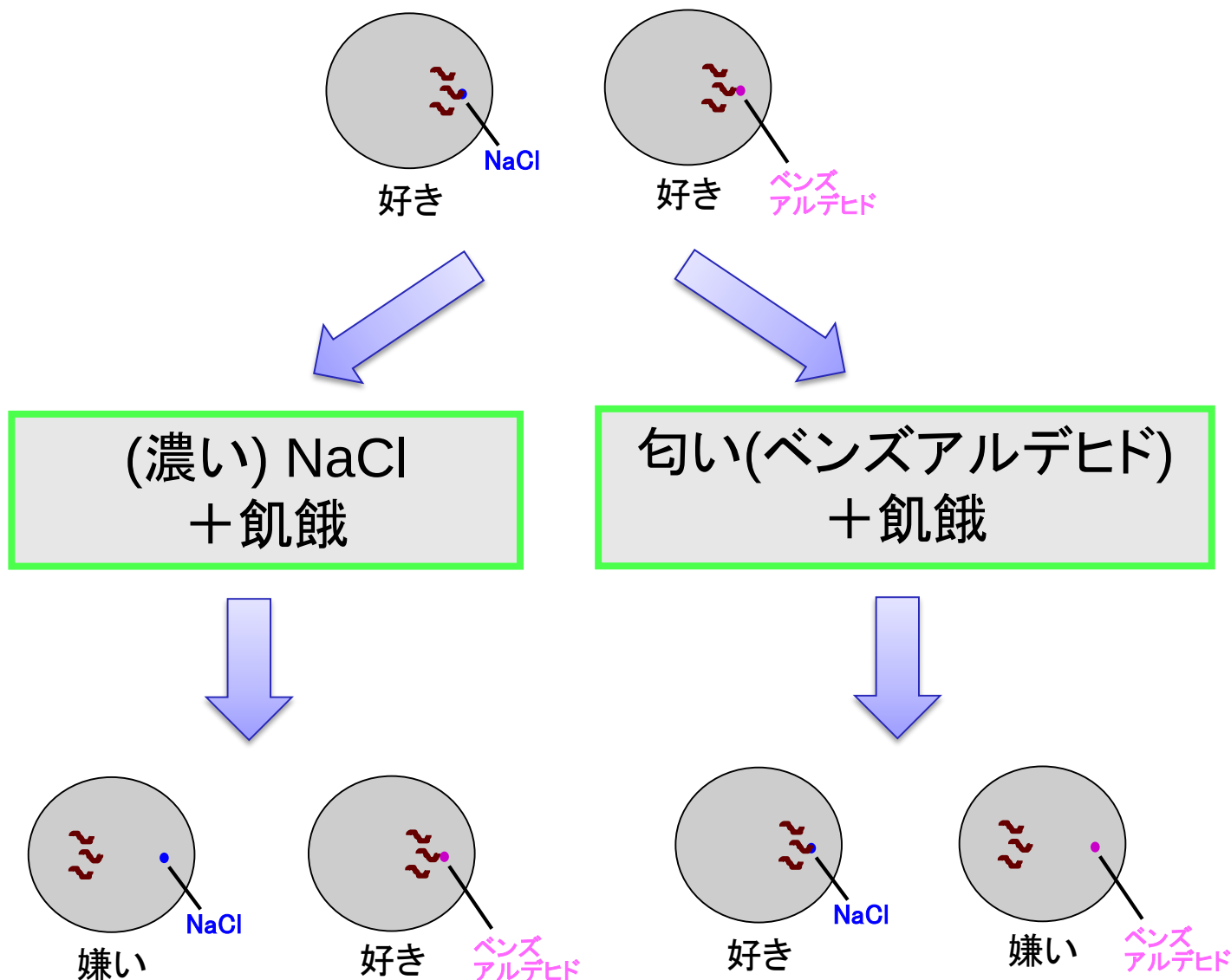
B



線虫の塩走性の可塑性 Salt learning



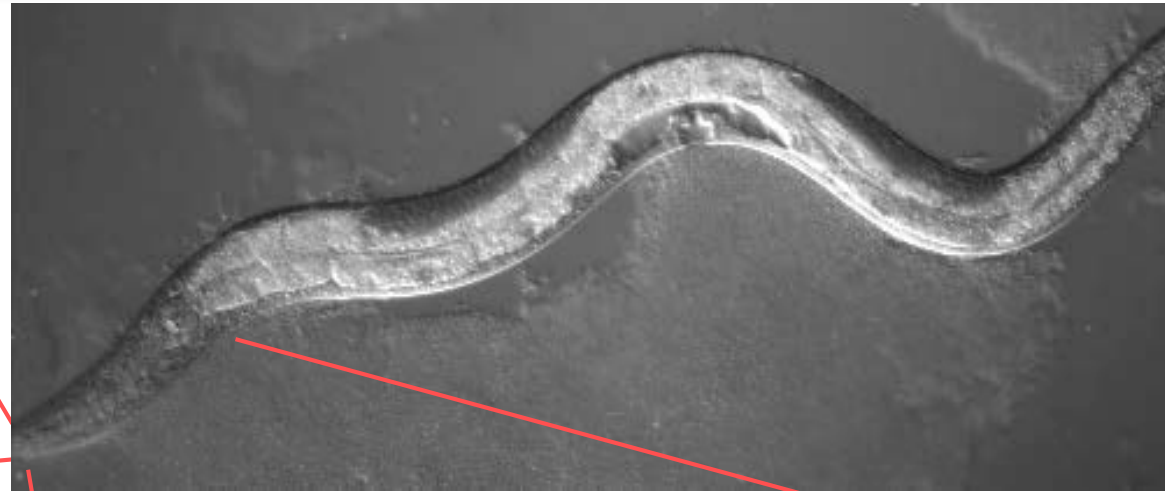
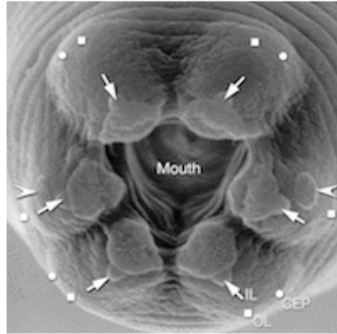
学習は感覚に特異的に起こる



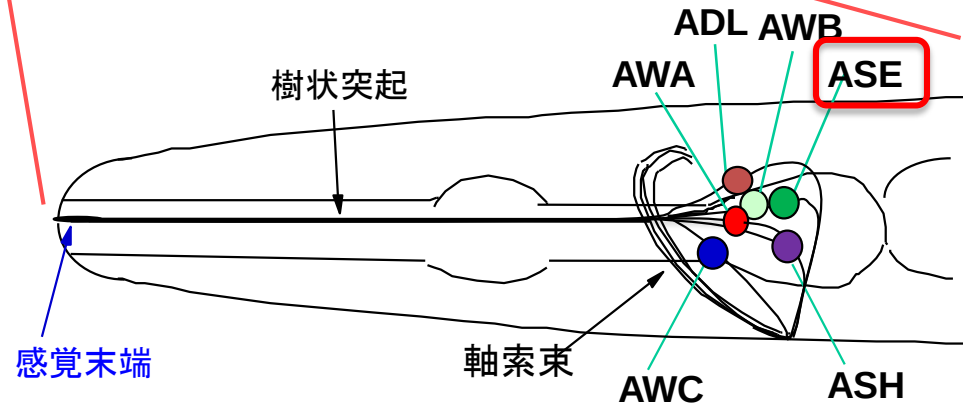
化学感覚器と感覚神経

Altun, Z.F. and Hall, D.H. 2009. Introduction. In WormAtlas.
doi:10.3908/wormatlas.1.1
<http://www.wormatlas.org/>

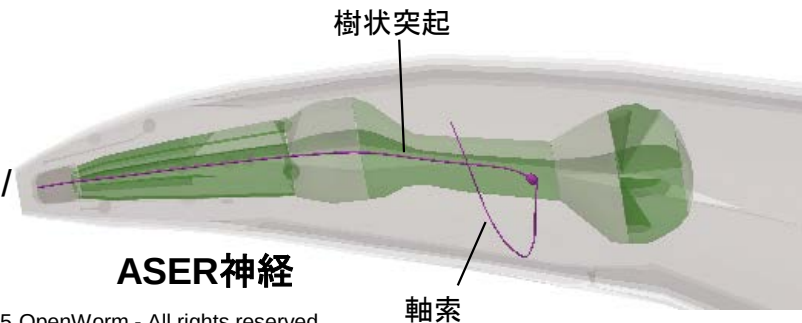
アンフィド感覚器



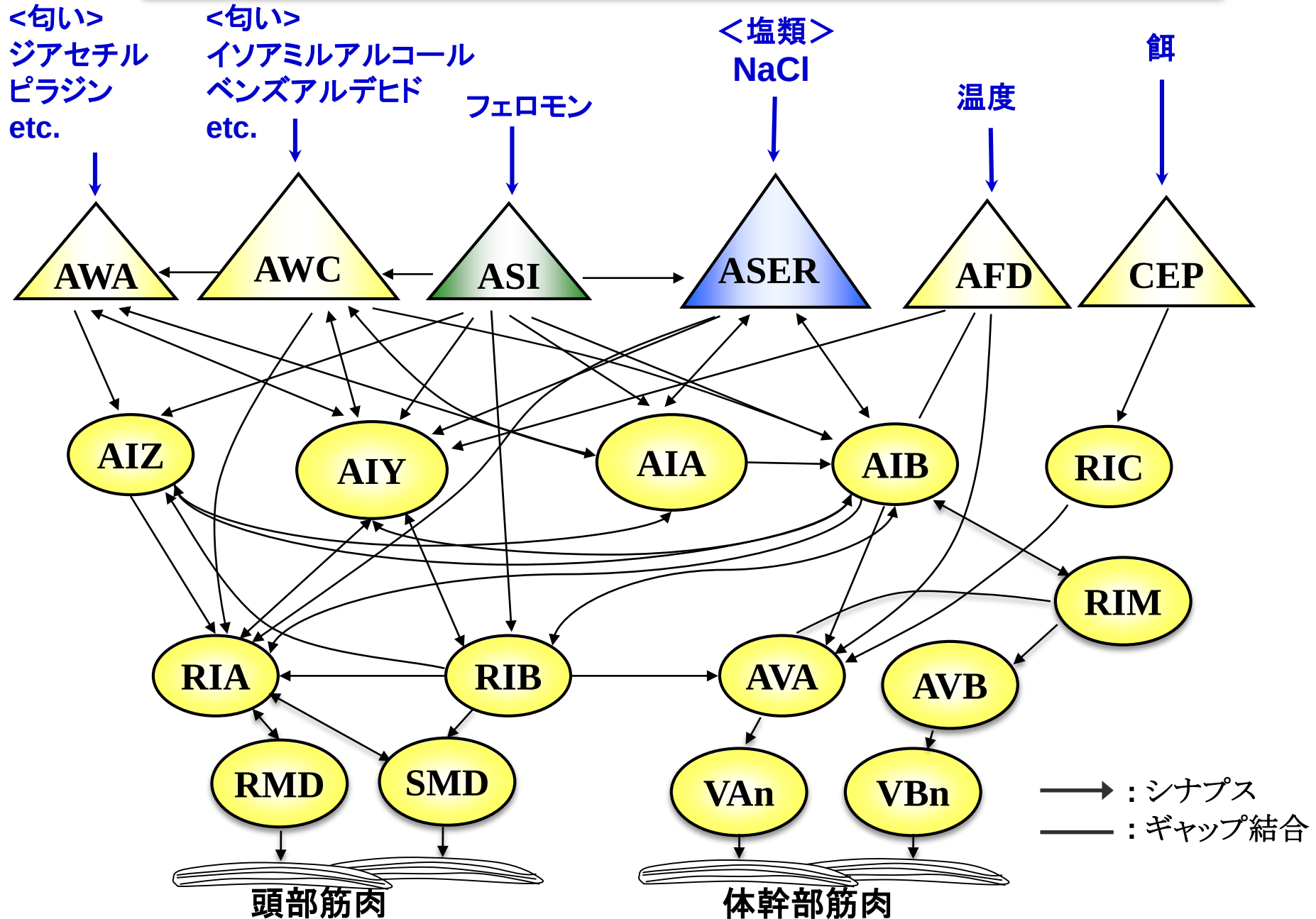
Na ⁺ , Cl ⁻ , K ⁺ ビオチン cAMP 他	ASE
イソミルアルコール ベンズアルデヒド ブタノン 他	AWC
ジアセチル ピラジン 他	AWA
1-オクタノール	ADL
Cu ⁺⁺ , Cd ⁺⁺ ソルビトール, グリセロール 他	ASH



Reviewed in WormBook
"Chemosensation"
<http://www.wormbook.org/>



線虫の神経回路の一部



化学走性(走化性)の行動 メカニズム

*C. elegans*はいかに化学物質に到達しているか？

attractant



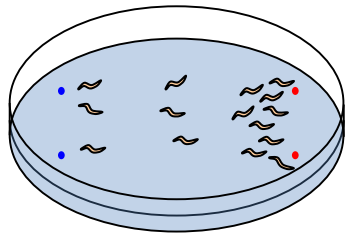
マルチワームトラッカーによる行動解析

CCDカメラでプレートのタイムラプス画像を取得



コンピュータビジョンで個々の線虫を認識し、 dC/dT とピルエット頻度などを算出

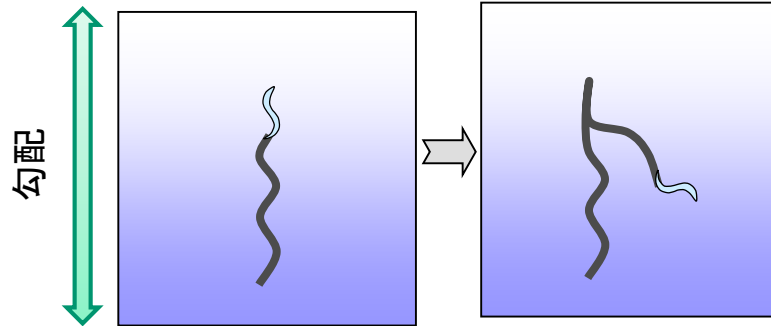
CCDカメラ



濃いNaClに向かう化学走性の二つのメカニズム

ピルエット機構

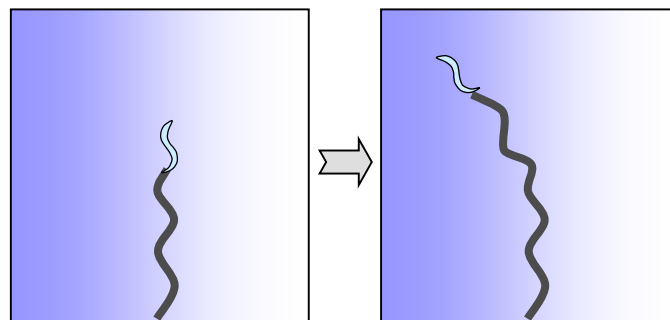
(クリノキネシス, バイアスランダムウォーク)



Pierce-Shimomura et al. (1999)

風見鶏機構

(クリノタクシス)



勾配

Iino and Yoshida J. Neurosci. (2009)



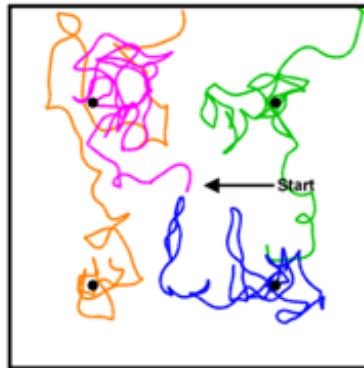
化学走性行動のシミュレーション

各地点の滞在時間
(全個体の合計)

実際の線虫



ピルエット機構のみ



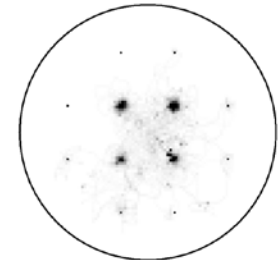
風見鶏機構のみ



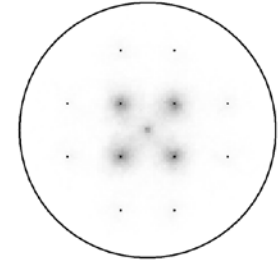
両機構併用



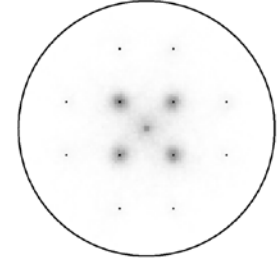
実際の線虫



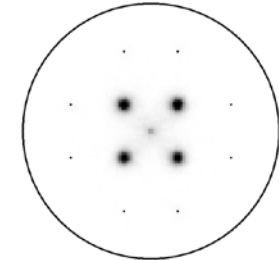
ピルエット機構のみ



風見鶏機構のみ



両機構併用

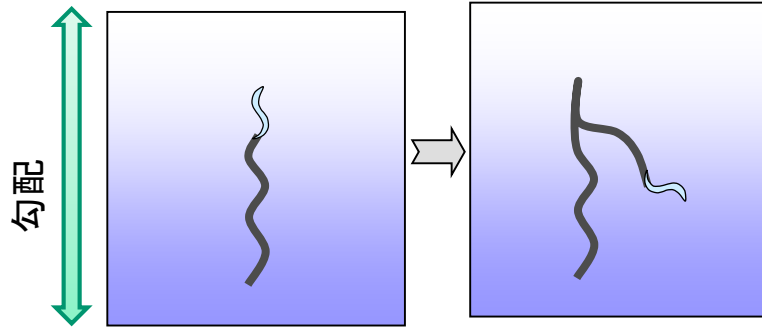


*

*

ピルエット機構(クリノキネシス)は広く使われている

ピルエット機構 (クリノキネシス, バイアスランダムウォーク)



Pierce-Shimomura et al. (1999)

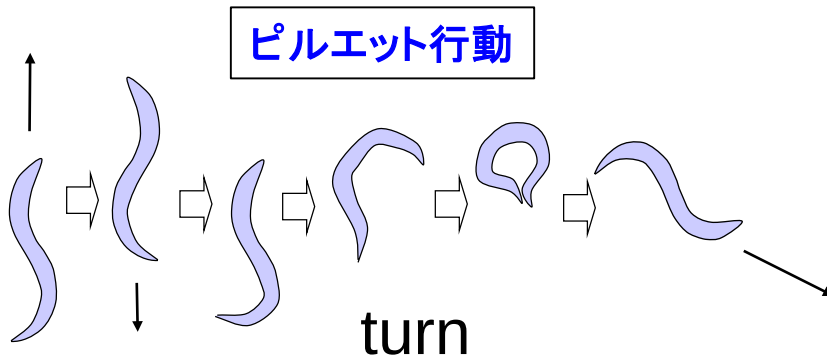
この機構は以下でも使われていることが知られている:

☆塩への化学走性

Shawn Lockery
(Oregon University)

☆匂いへの化学走性

Cornelia Bargmann
(Rockefeller University)



ピルエット行動

turn

reversal

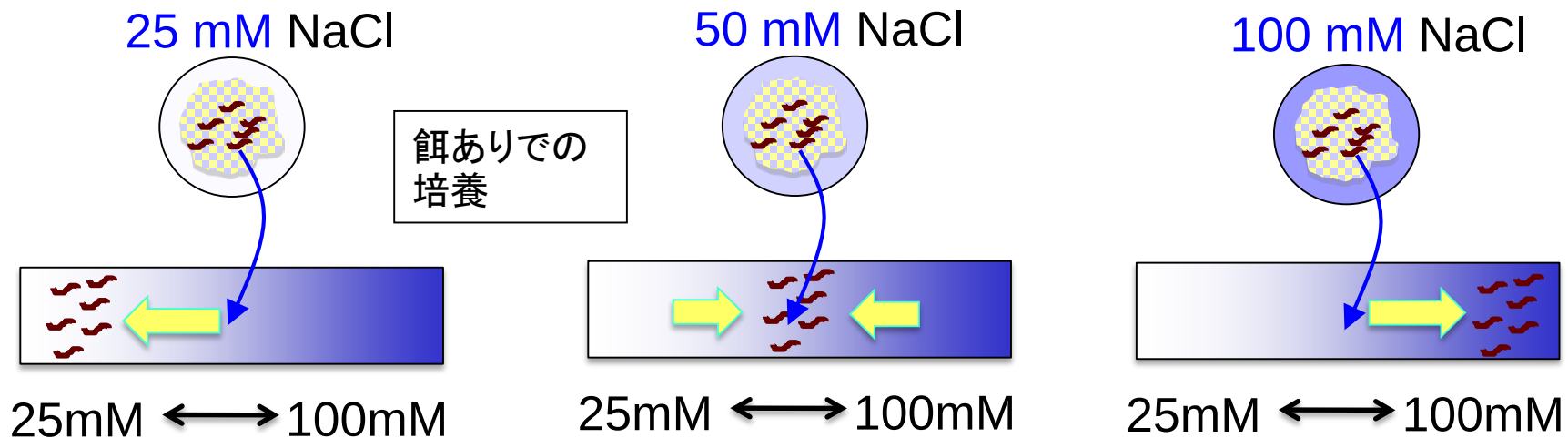
☆温度走性

Aravinthan Samuel
(Harvard University)

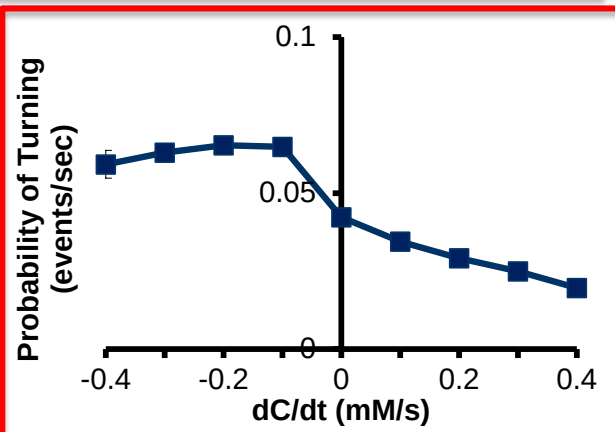
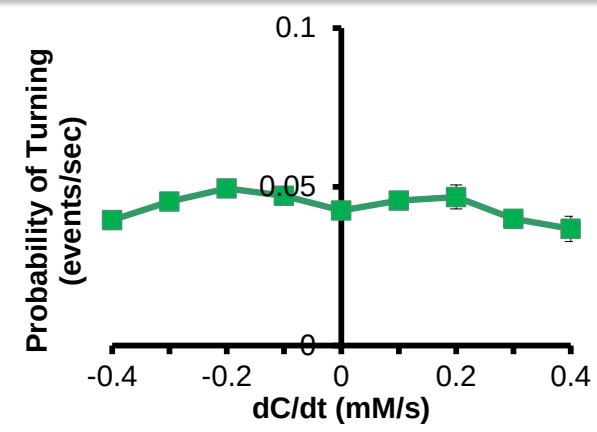
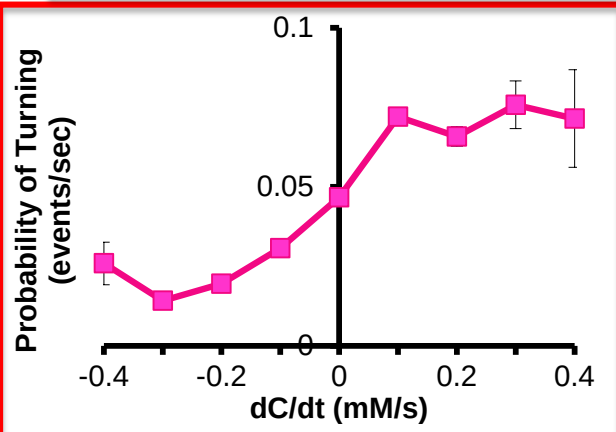
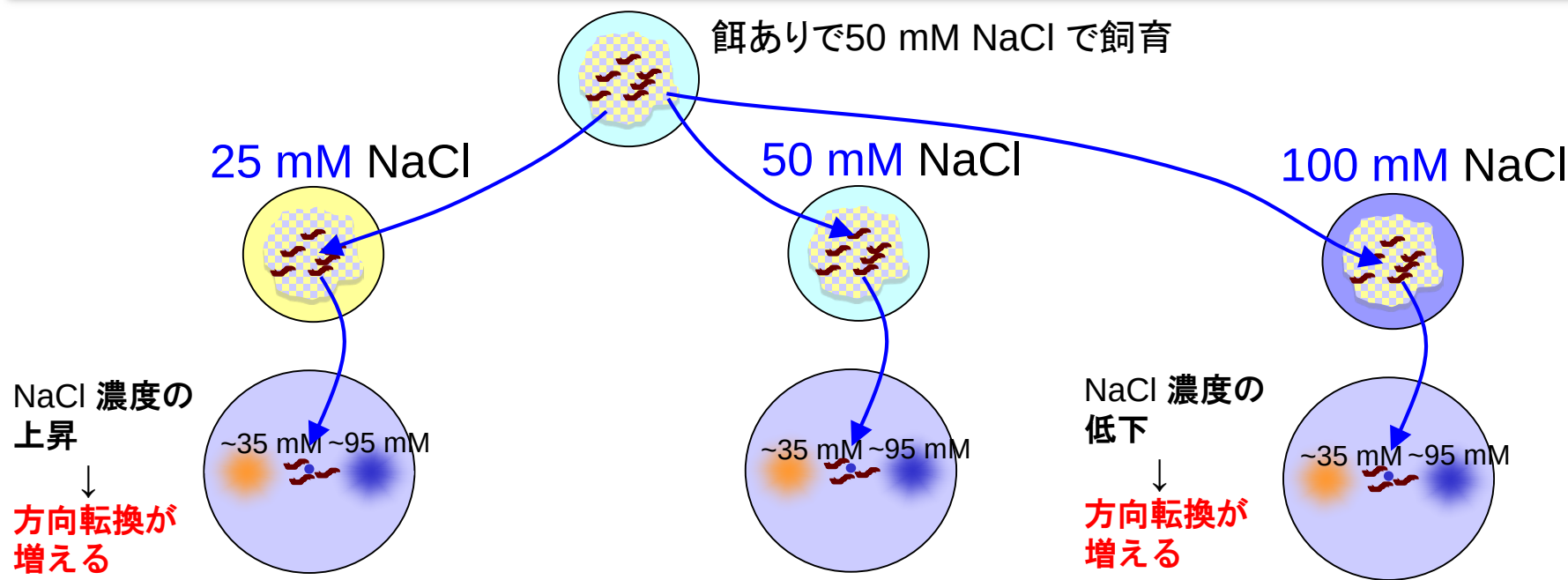
☆ O_2 や CO_2 の走性でもたぶんそう

濃度学習の機構

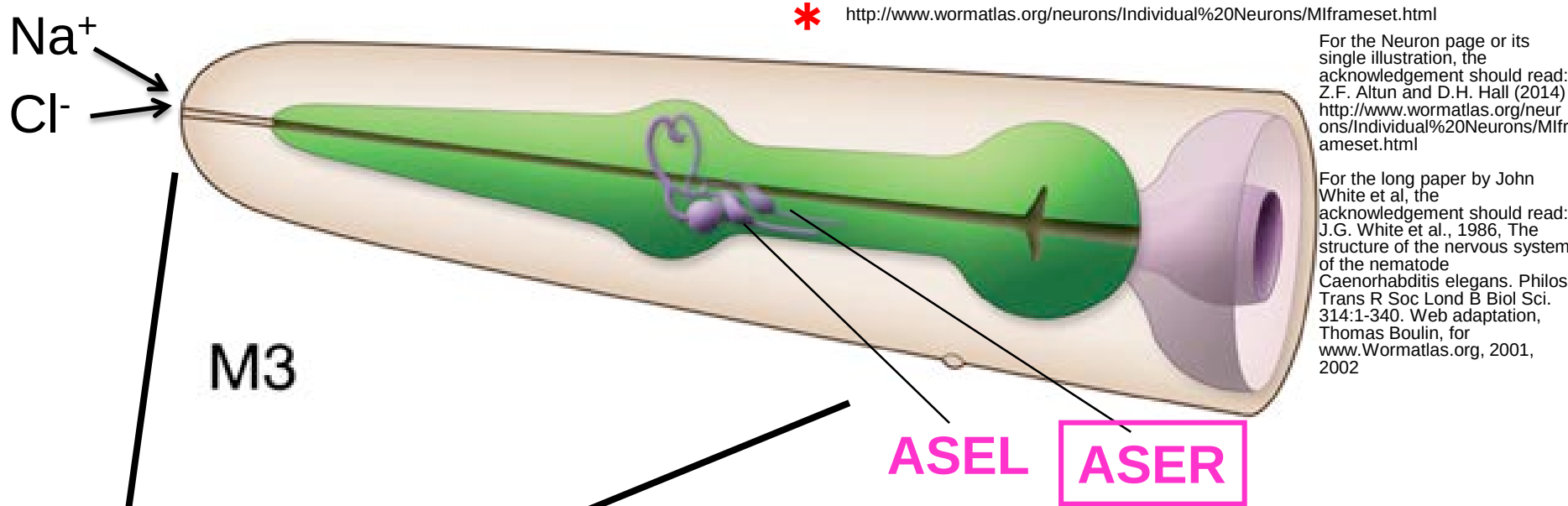
線虫は塩濃度を記憶する



学習した濃度の違いにより ピルエット機構が逆転する

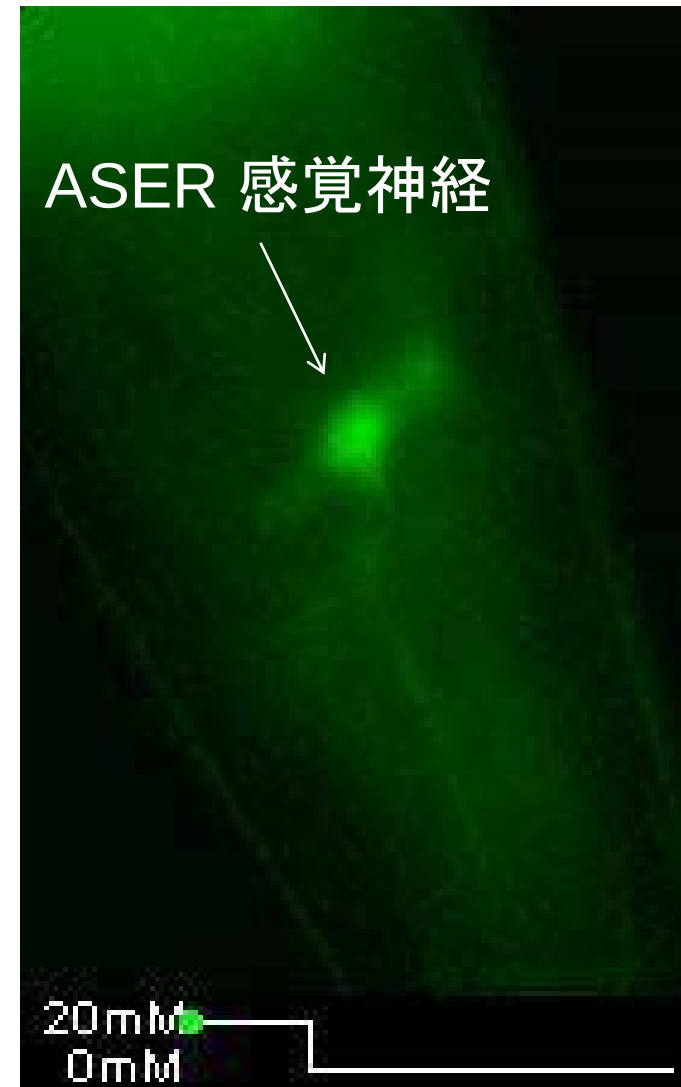
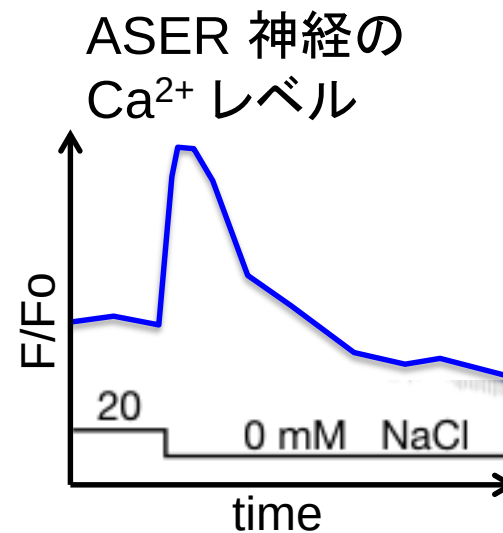
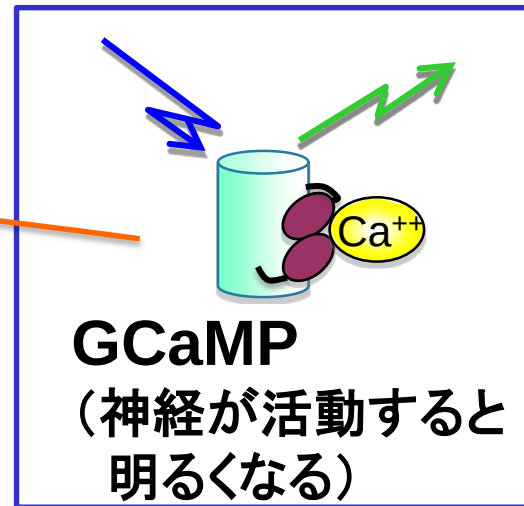
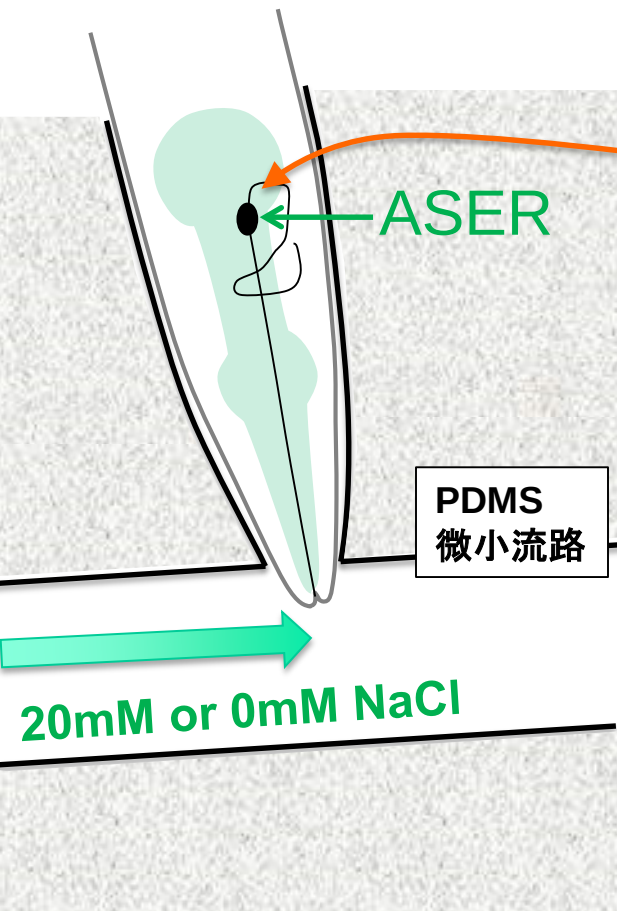


主にASER感覚神経がNaClを感じる

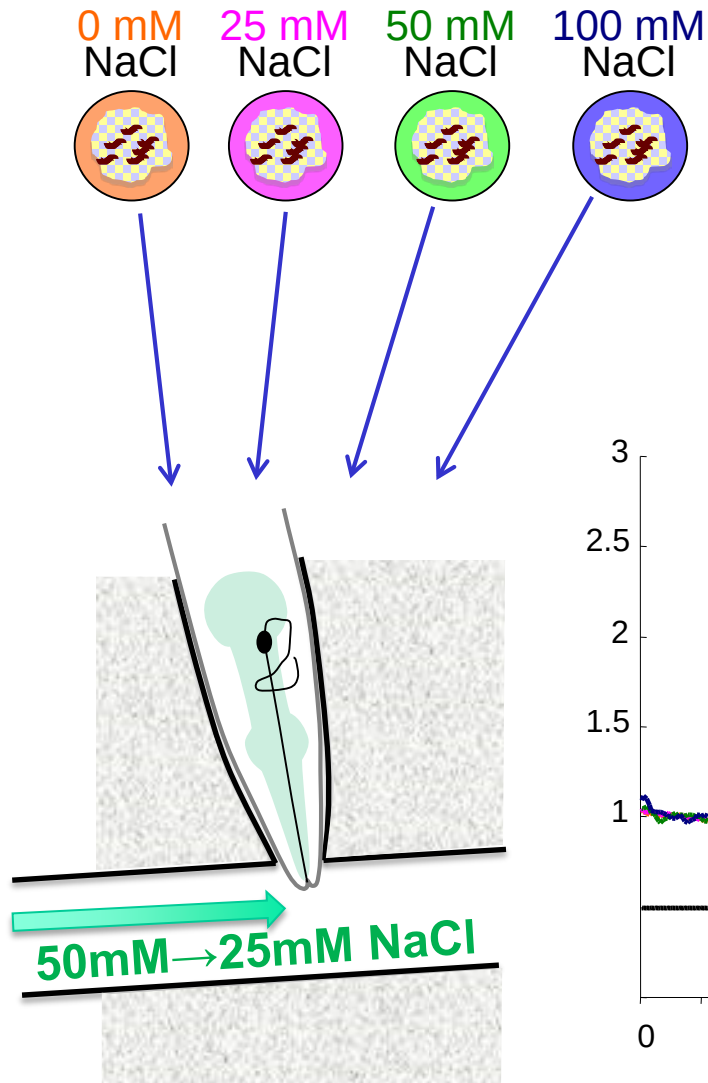


餌と共に経験した塩濃度に向かう行動には、感覚神経のうちASERだけで十分

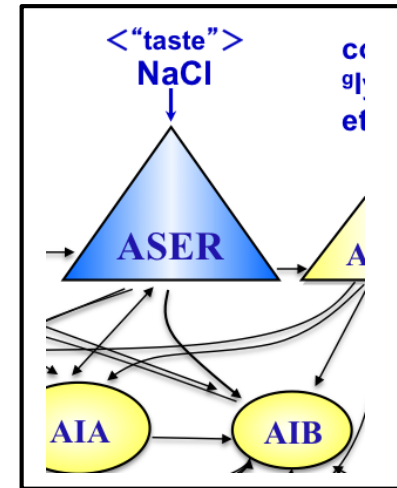
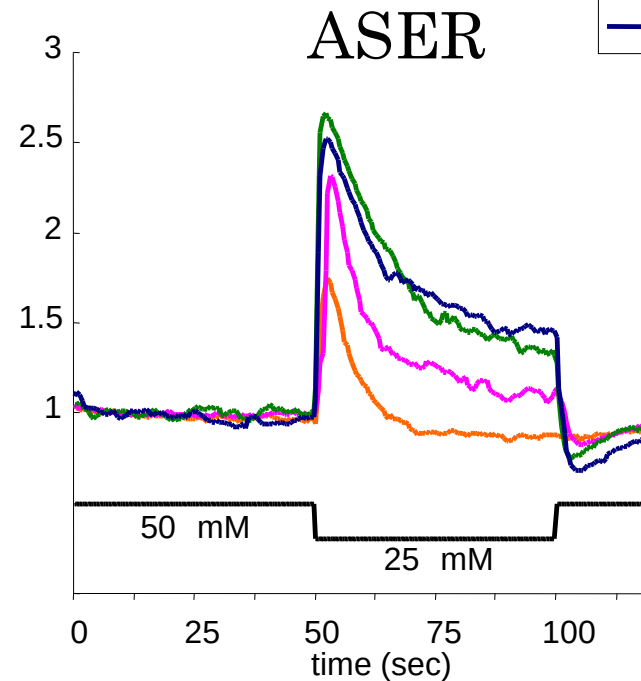
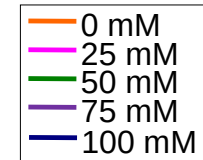
ASER 感覚神経は塩濃度の低下に応答して活性化される



ASER 感覚神経は塩濃度の低下に応答して活性化される



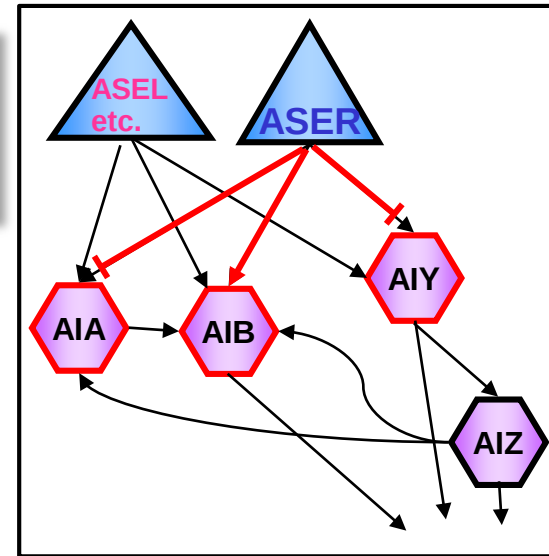
前培養時のNaCl濃度



ASERの下流の介在神経の応答も 学習によりかわる

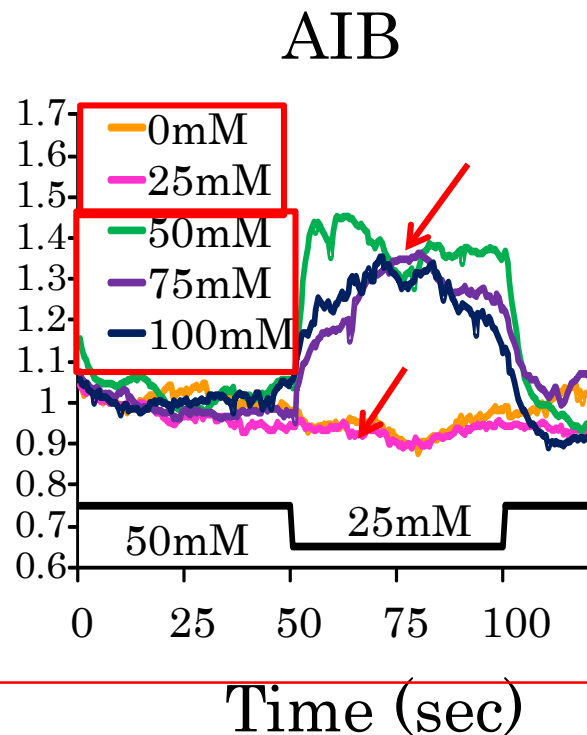
高い塩濃度で培養後のみ.

↓
塩濃度変化に AIB が応答する



著作権等の都合
により
ここに挿入されて
いた画像を削除し
ました

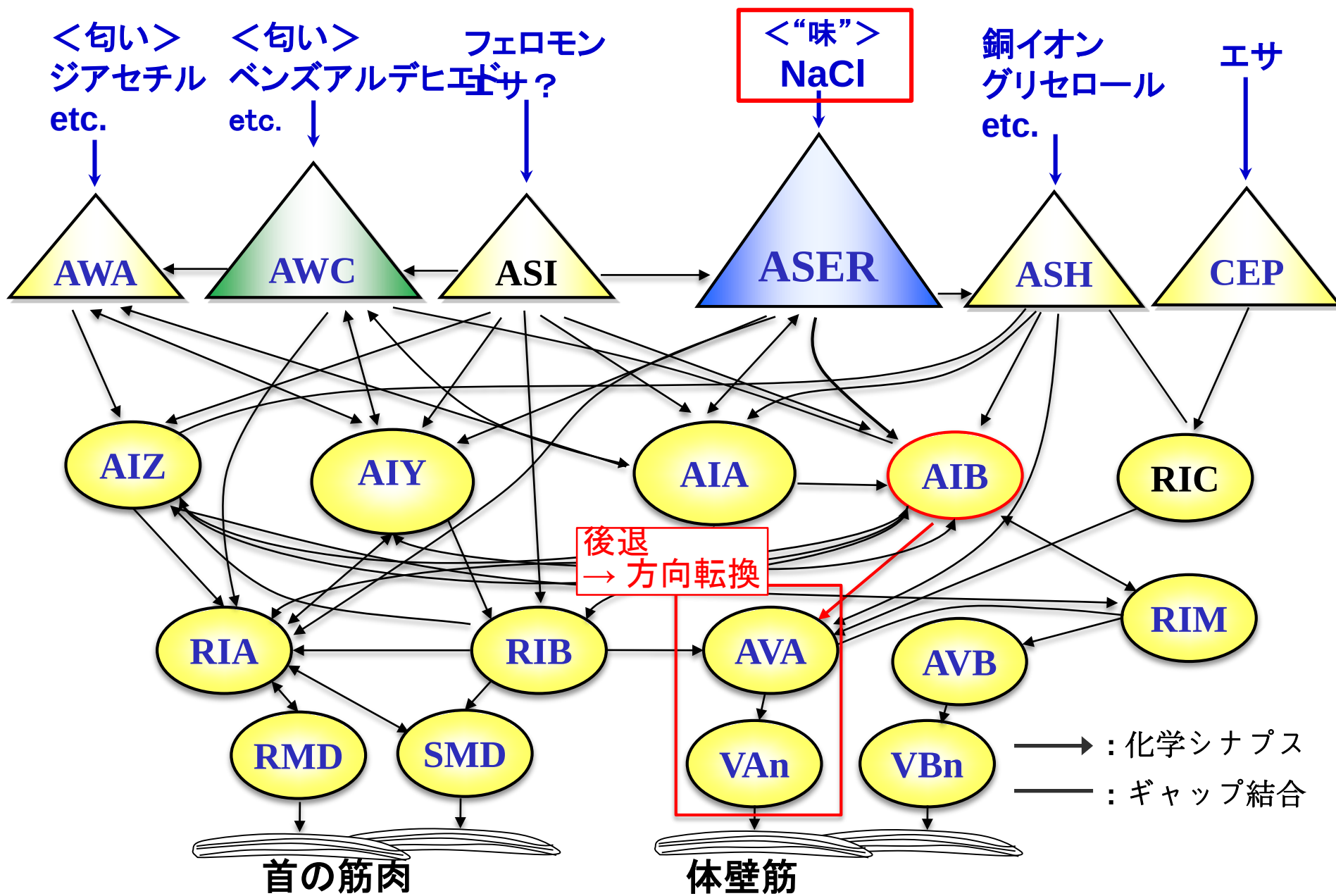
AIAのグラフ



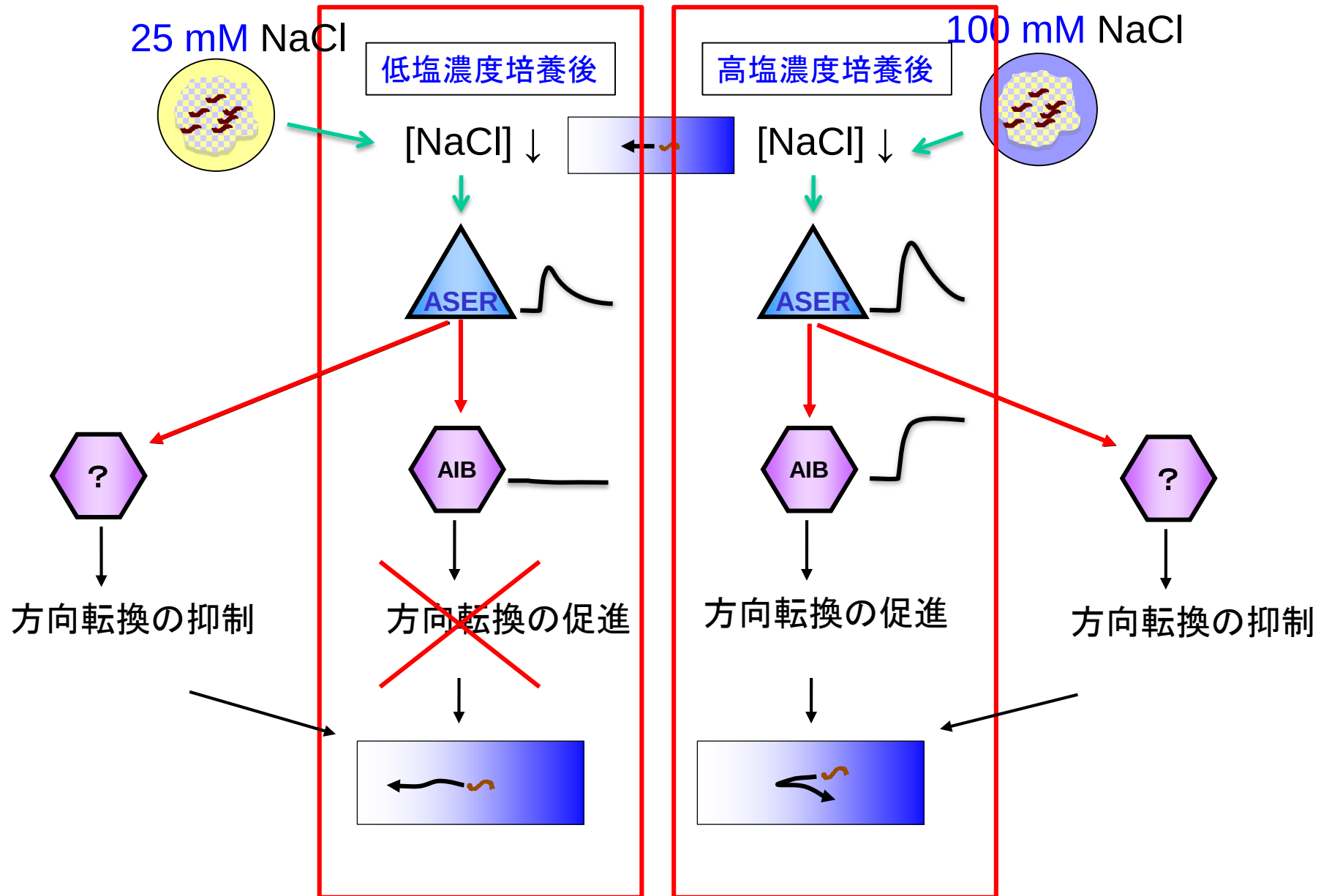
著作権等の都合
により
ここに挿入されて
いた画像を削除し
ました

AIYのグラフ

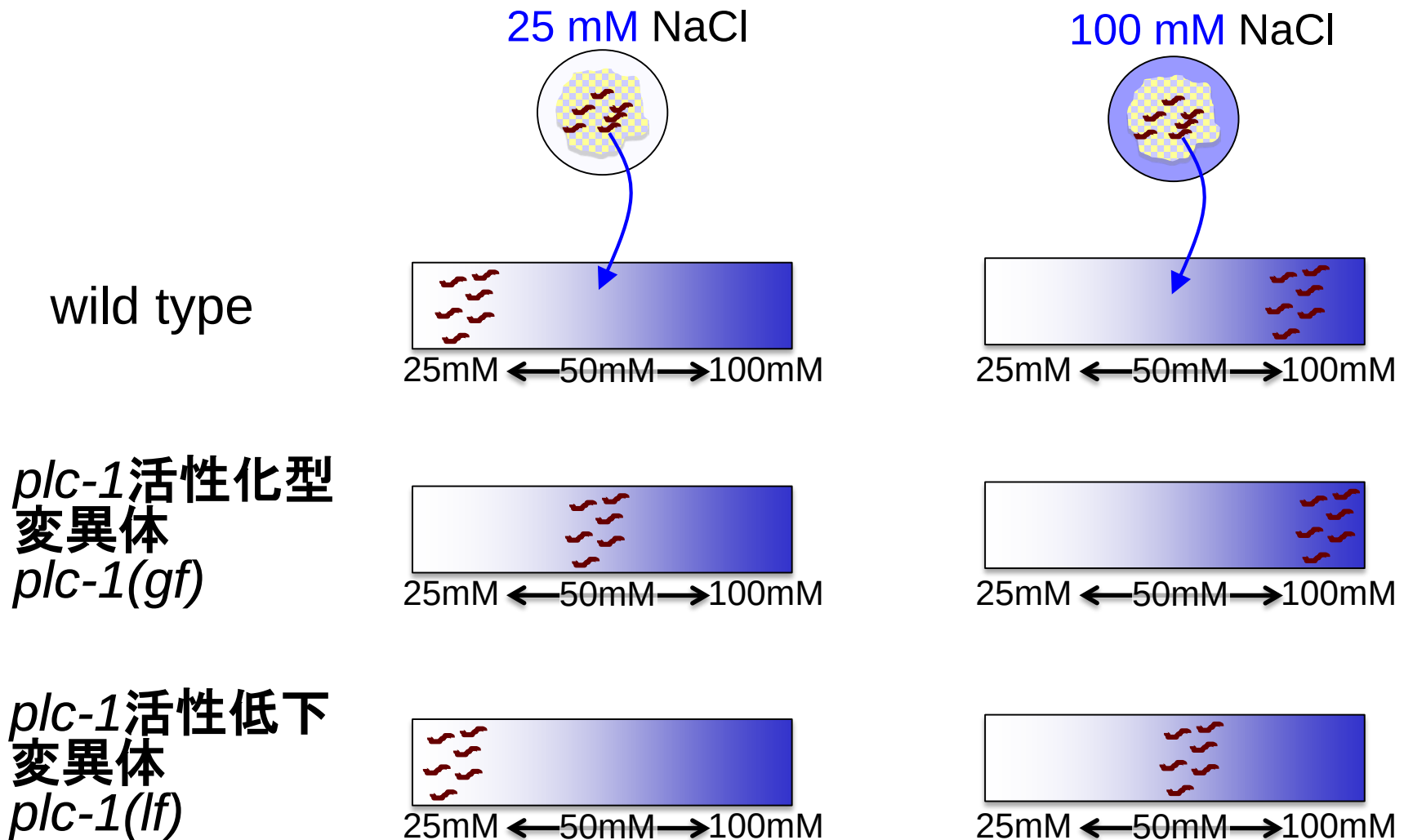
C. elegansの神経系



学習による化学走性の変化の機構のモデル

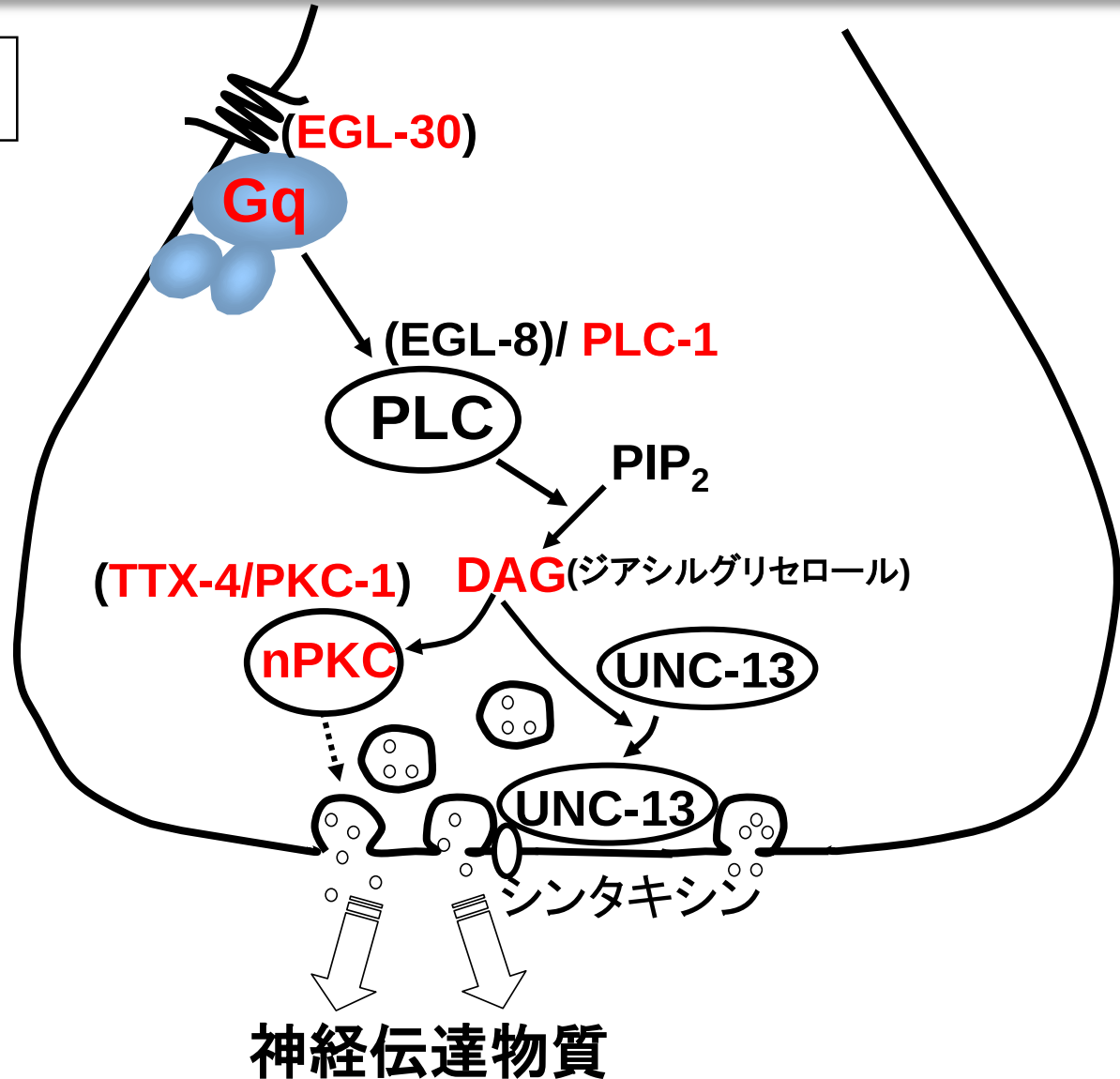


塩濃度嗜好性が変化した変異体の分離



Gq/DAG/PKC 経路は他の生物と同様 シナプス伝達を促進する

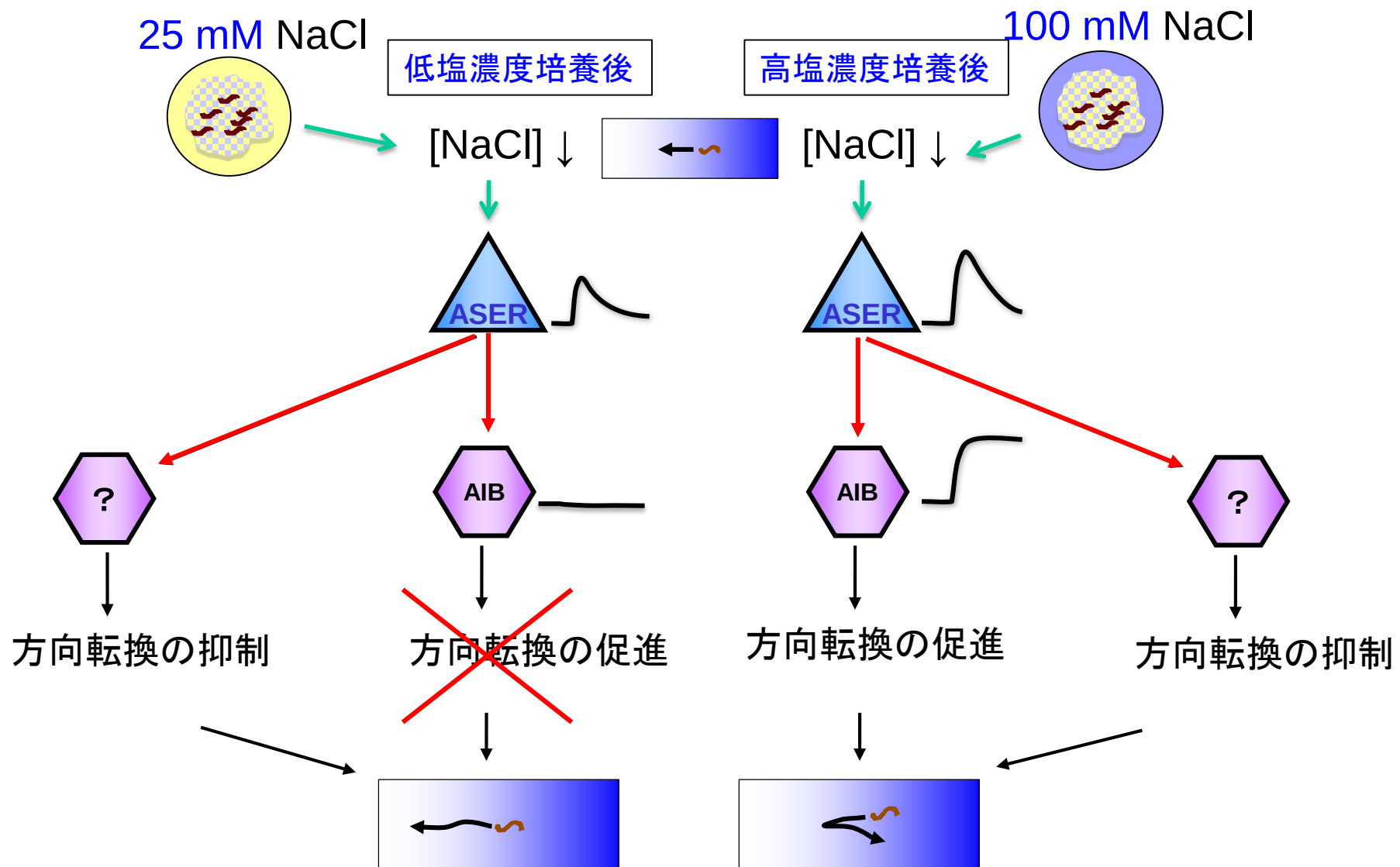
ASER神経



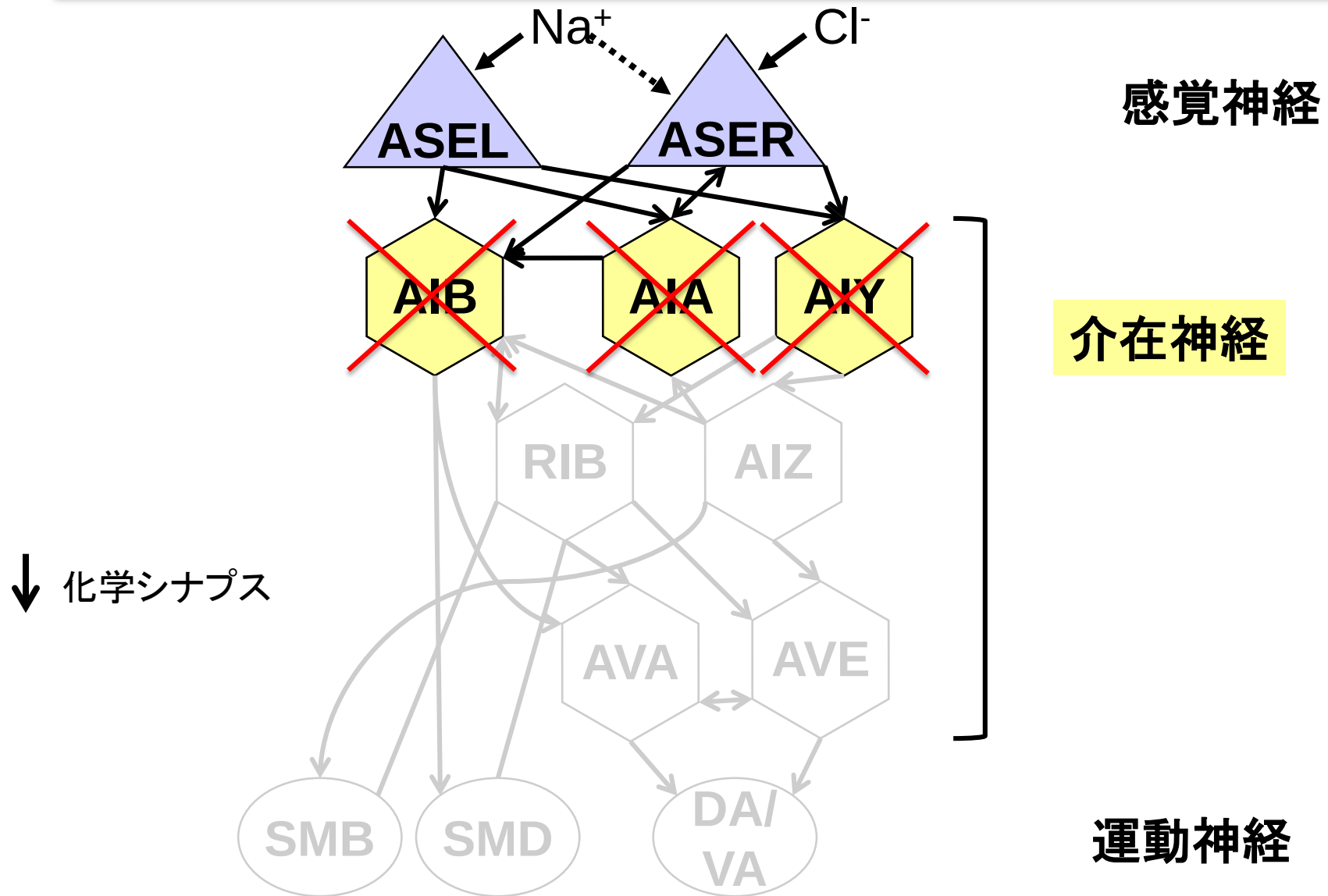
ここまでのまとめ

- *C. elegans* はそれまでにエサと共に経験した塩濃度に向かう。
- 高塩濃度経験後と低塩濃度経験後では、ピルエット行動が逆になる。
- ASER感覚神経は常に塩濃度低下に応答して活性化する。その下流のAIB介在神経の応答は、それまでの塩濃度の経験の違いにより大きく変化する。つまり、ASER-AIBのシナプス伝達が変わっていると推定される。
- PLC-1/DAG/PKC-1 経路はASER感覚神経で働き、おそらくシナプス伝達を変化させることにより線虫をより高塩濃度に向かわせる。

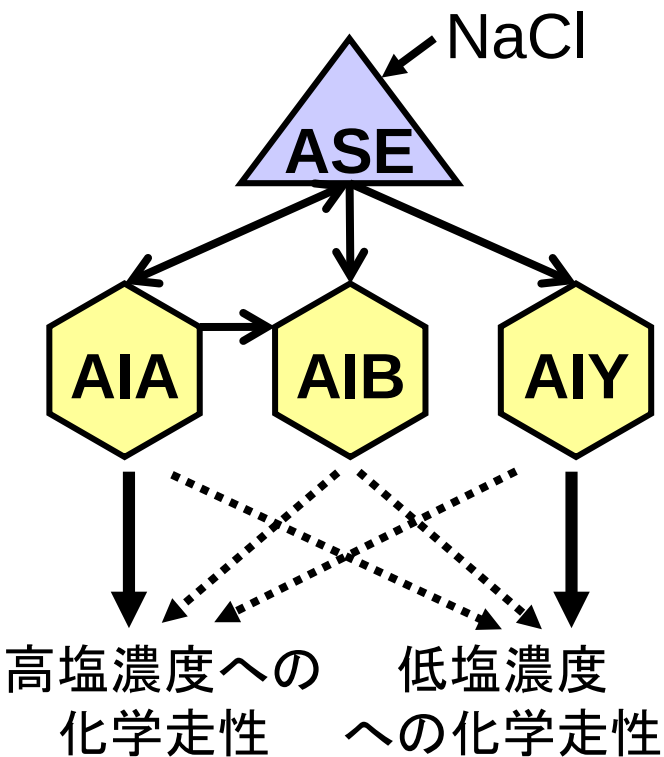
学習による化学走性の変化の機構のモデル



では介在神経AIBの必要性は？



AIB はあまり大事ではない！ AIA, AIB, AIY いずれも少しずつ必要??



著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除
しました

AIA, AIB, AIYのグラフ

Luoら (Neuron 82, 1115-1128, 2014) も同様な結果
ネットワークで処理する神経系の基本的な性質？

全中枢神経系の活性測定

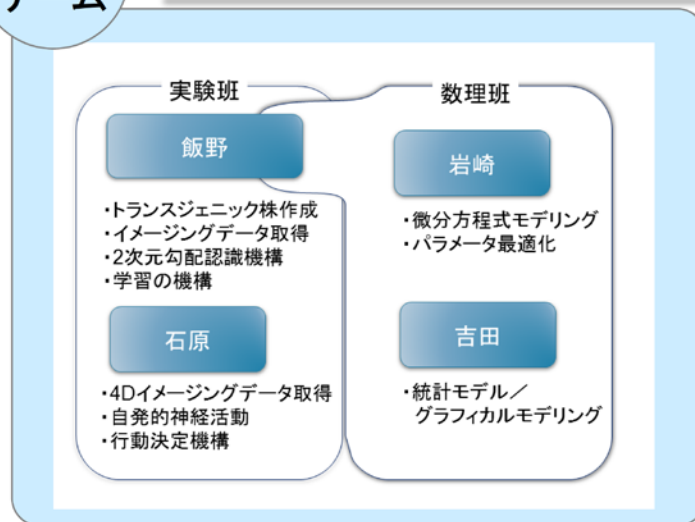


飯野 雄一

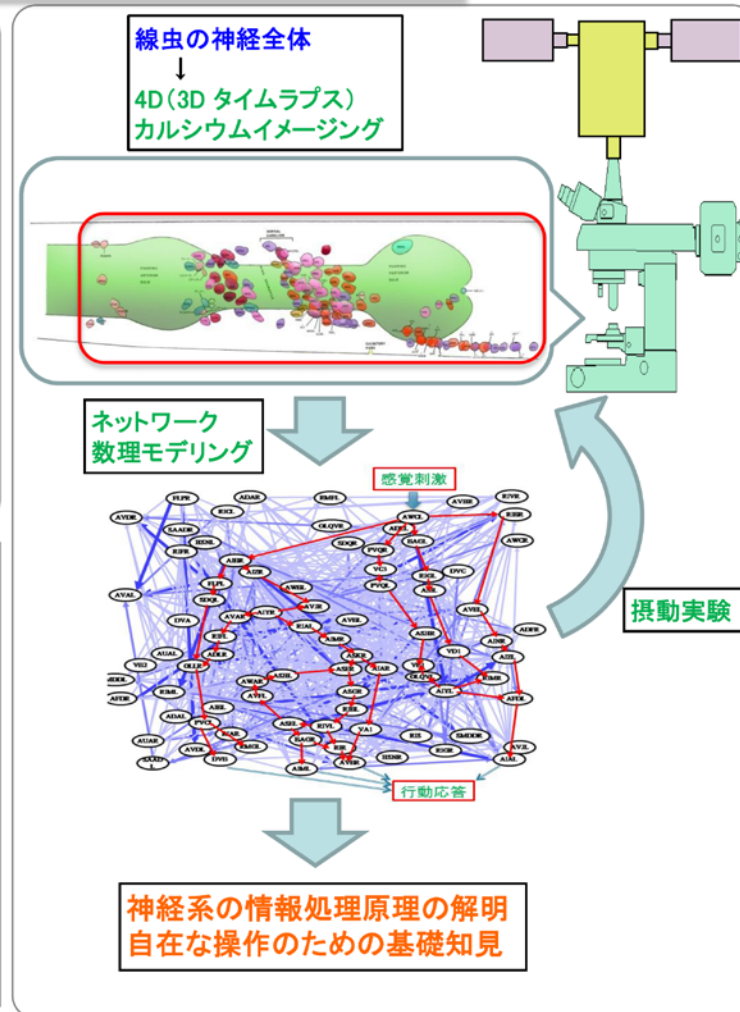
CREST Project

飯野雄一
チーム

神経系まるごとの観測データに基づく神経系の動作特性の解明



ヒトや他の動物の脳は無数の神経が網目状に結びついて情報を処理していますが、実際の神経回路がどのように演算し、情報処理しているのかはよくわかっていません。本研究では、神経の数が少なく各神経のつながり方がすべてわかっている線虫を、生きたまま独自に開発した共焦点顕微鏡システムで立体的に並んだ多数の神経の活動を連続的に観測すると共に、シミュレーションにより感覚系から行動制御系への情報伝達を担う神経回路の情報処理原理を明らかにします。



4D イメージングシステム

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

4Dイメージングシステムの写真

頭部全神経の4Dイメージング

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

頭部全神経系の4Dイメージングの動画

頭部全神経の4Dイメージング

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

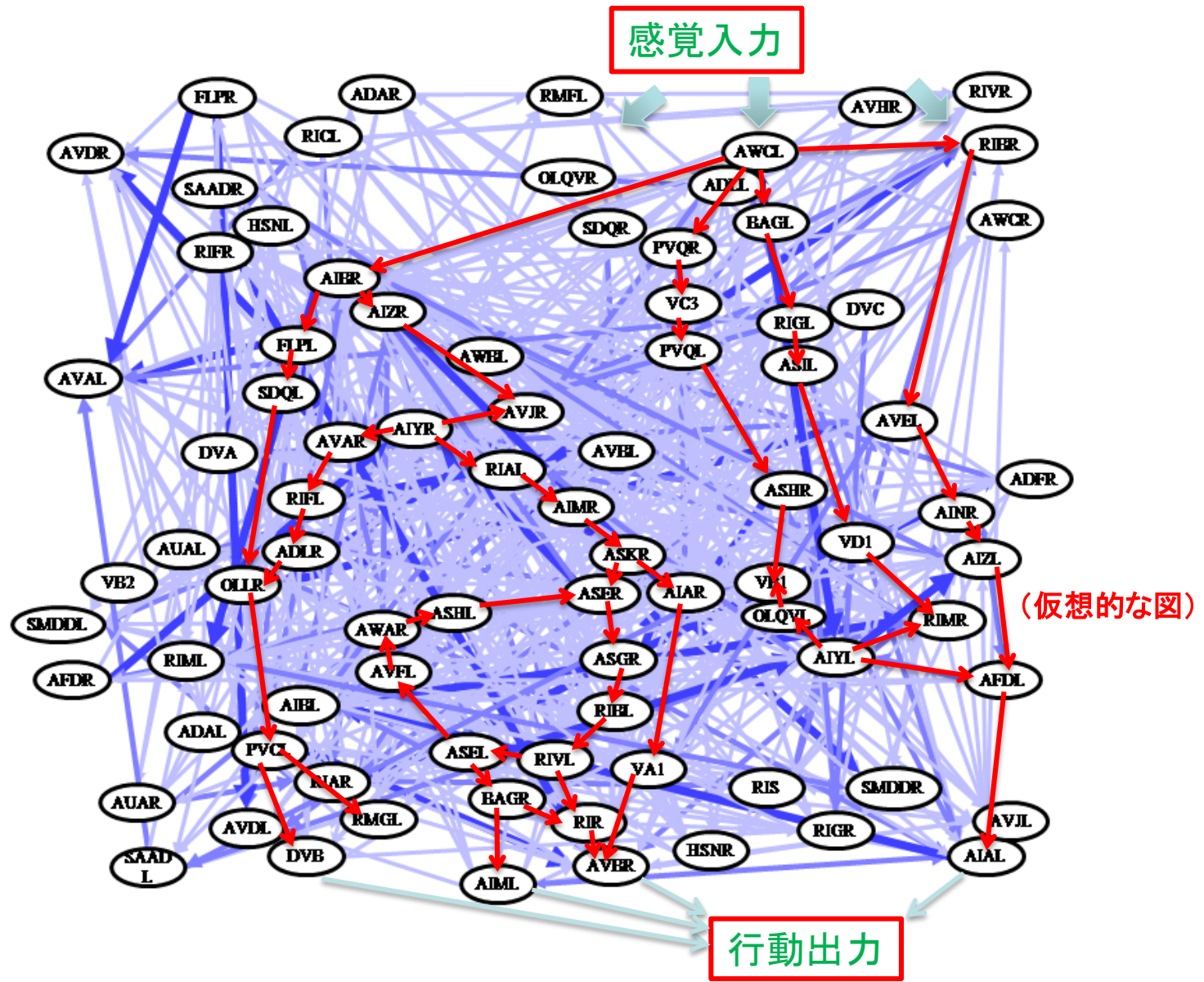
頭部全神経系の4Dイメージングの動画

129 神経の活動パターン(無刺激)

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

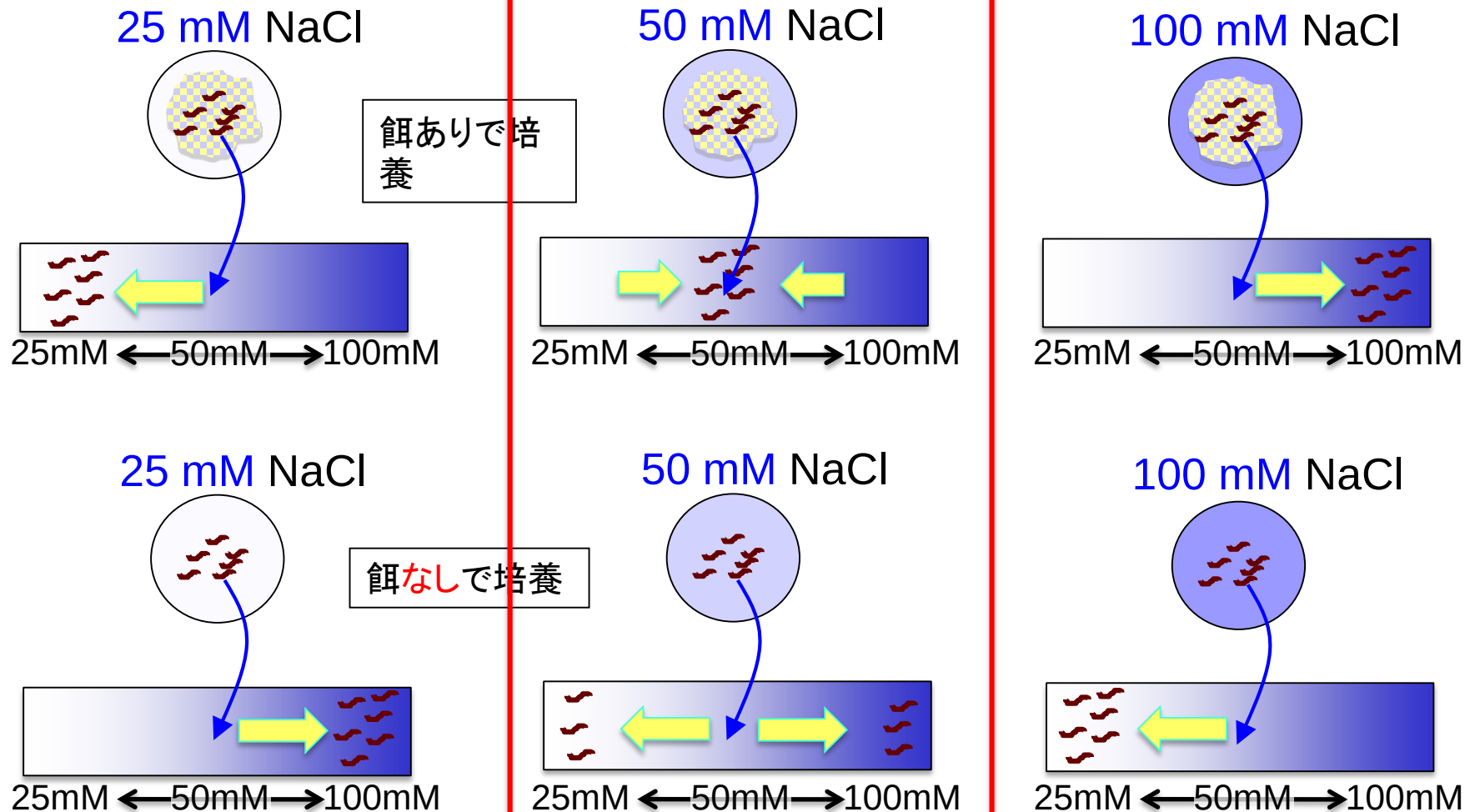
神経の活動パターンのグラフ

神経系全体での情報の流れはどう 変化する？

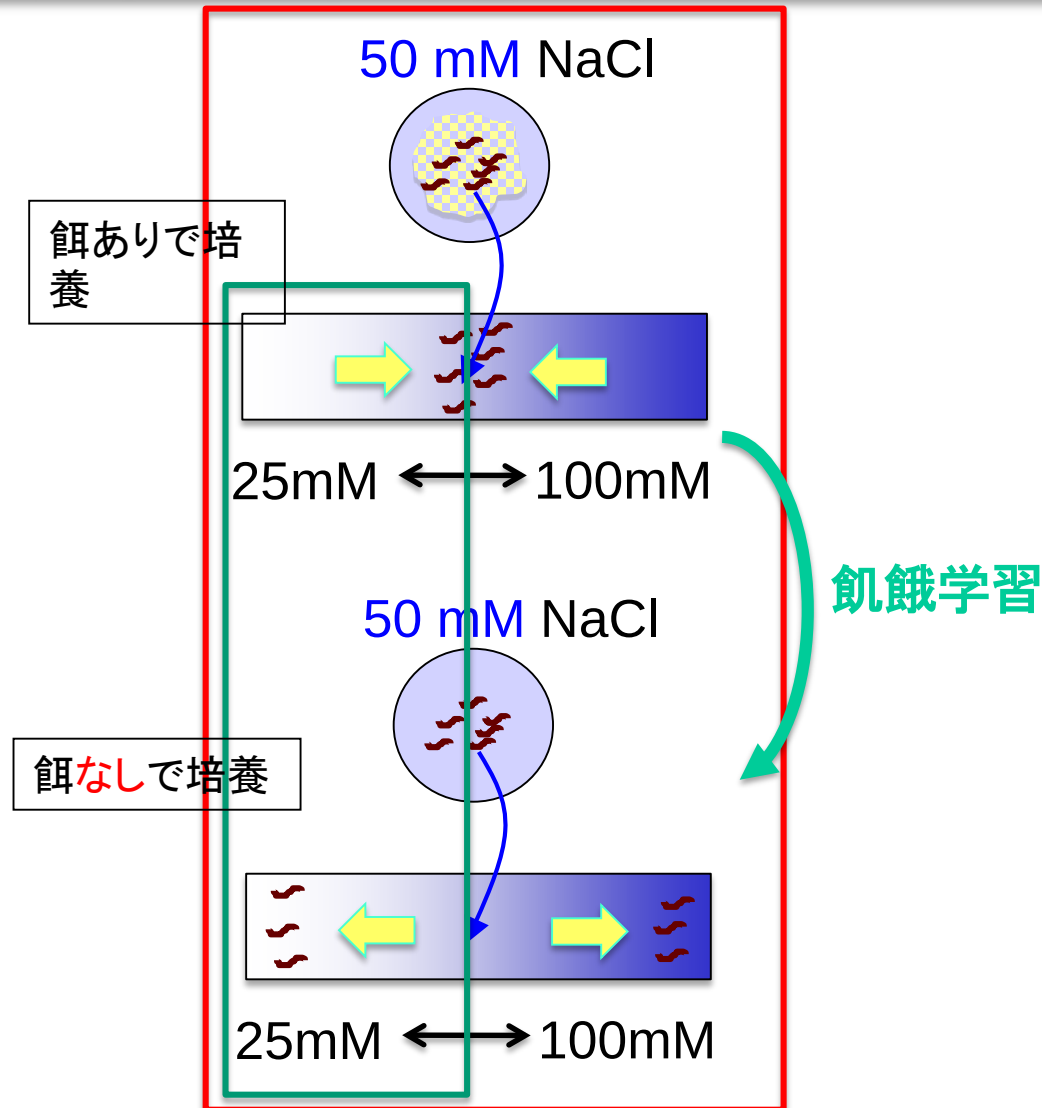


飢餓学習による行動変化の 機構

線虫は塩濃度を記憶し、餌と連合学習して 走性の方向を逆転させる



線虫は塩濃度を記憶し、餌と連合学習して 走性の方向を逆転させる



異性学習

異性学習

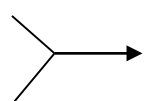
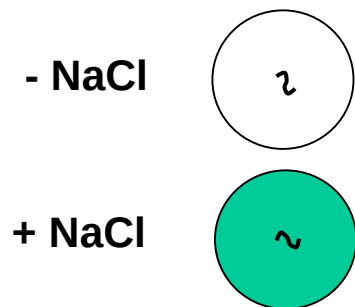
著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

新聞記事

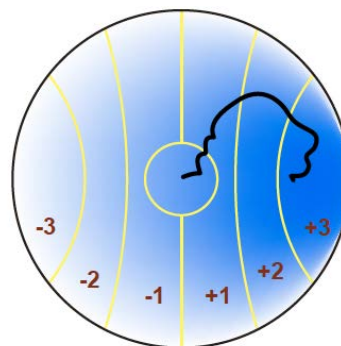
NHKNEWSWEB 2013年7月16日（火）
見出し：食べ物よりも異性 線虫のオス
『オスはメシよりメスが好き』

オスの塩走性学習

餌なし条件付け

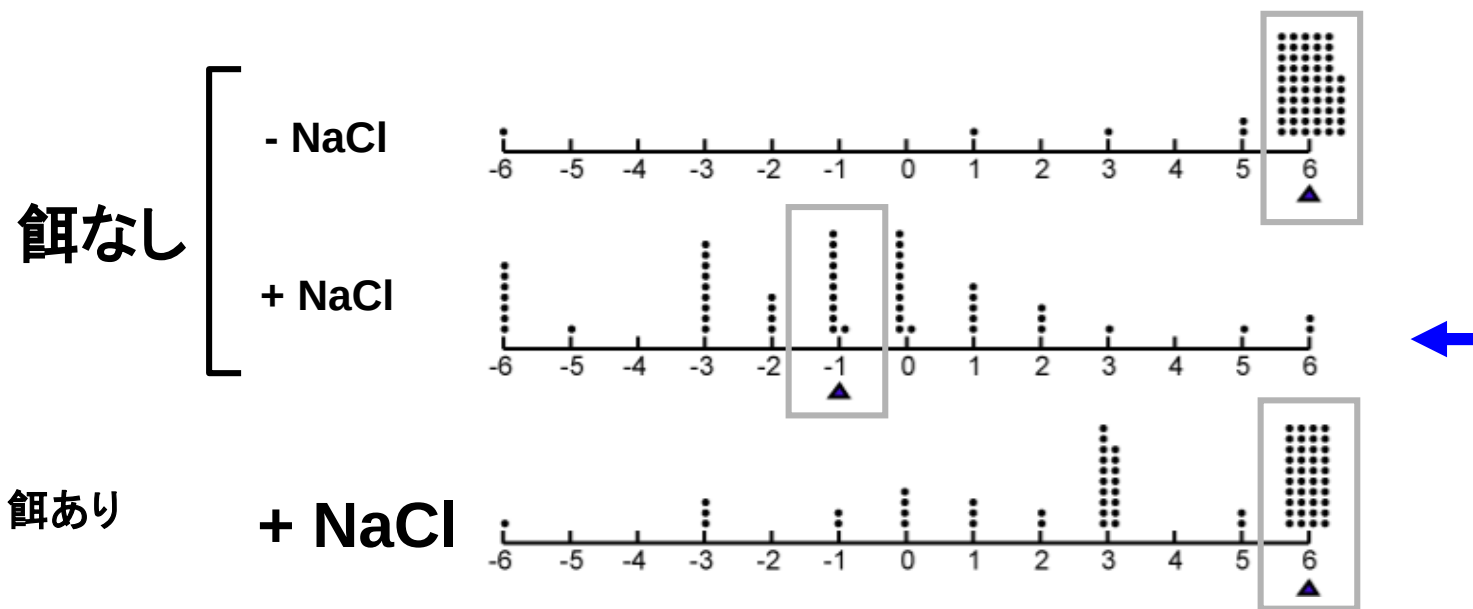


NaCl 勾配上
でテスト



(スコア = 1+2+3 = 6)

オス ♂ の行動

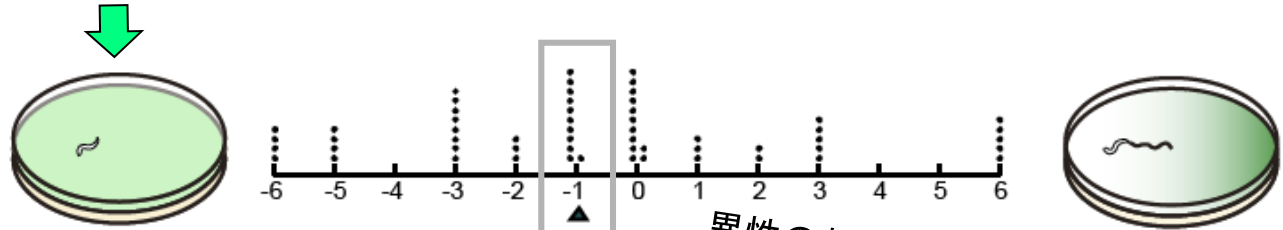


雌雄同体はオスに対し無条件刺激として働く

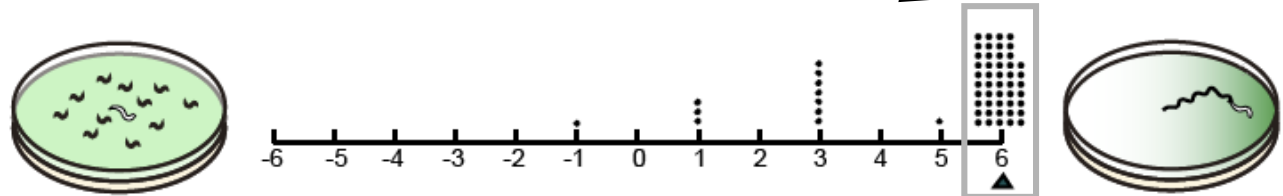
餌なし + NaCl

オス ♂ の行動

オスのみ



オス +
雌雄同体

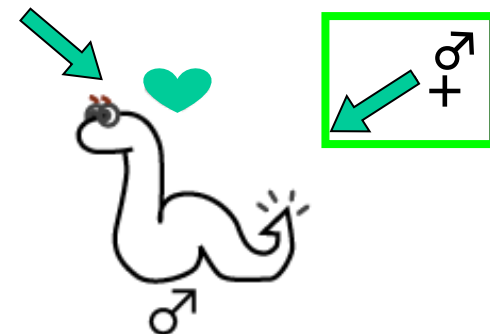


♂ = 好ましいもの！
+ ≡ 餌

NaClと連合

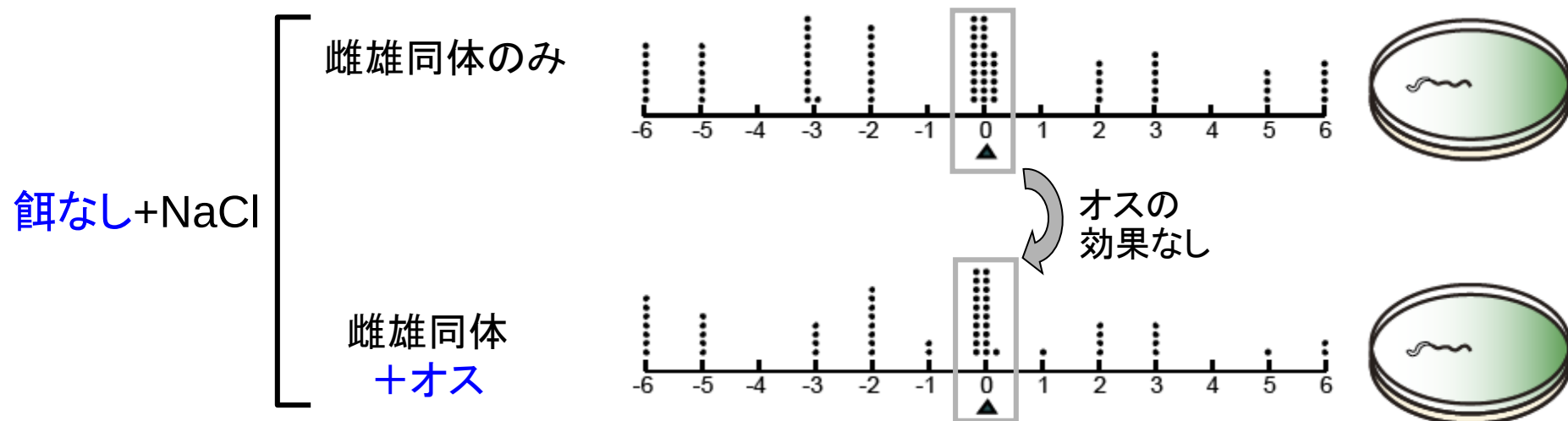
オスはNaClが好きになる

NaCl



雌雄同体はオスによっては影響されない

雌雄同体 ♀♂ の行動

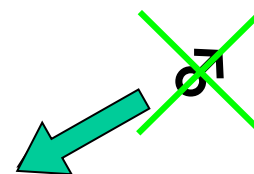


♂ = 無意味 !

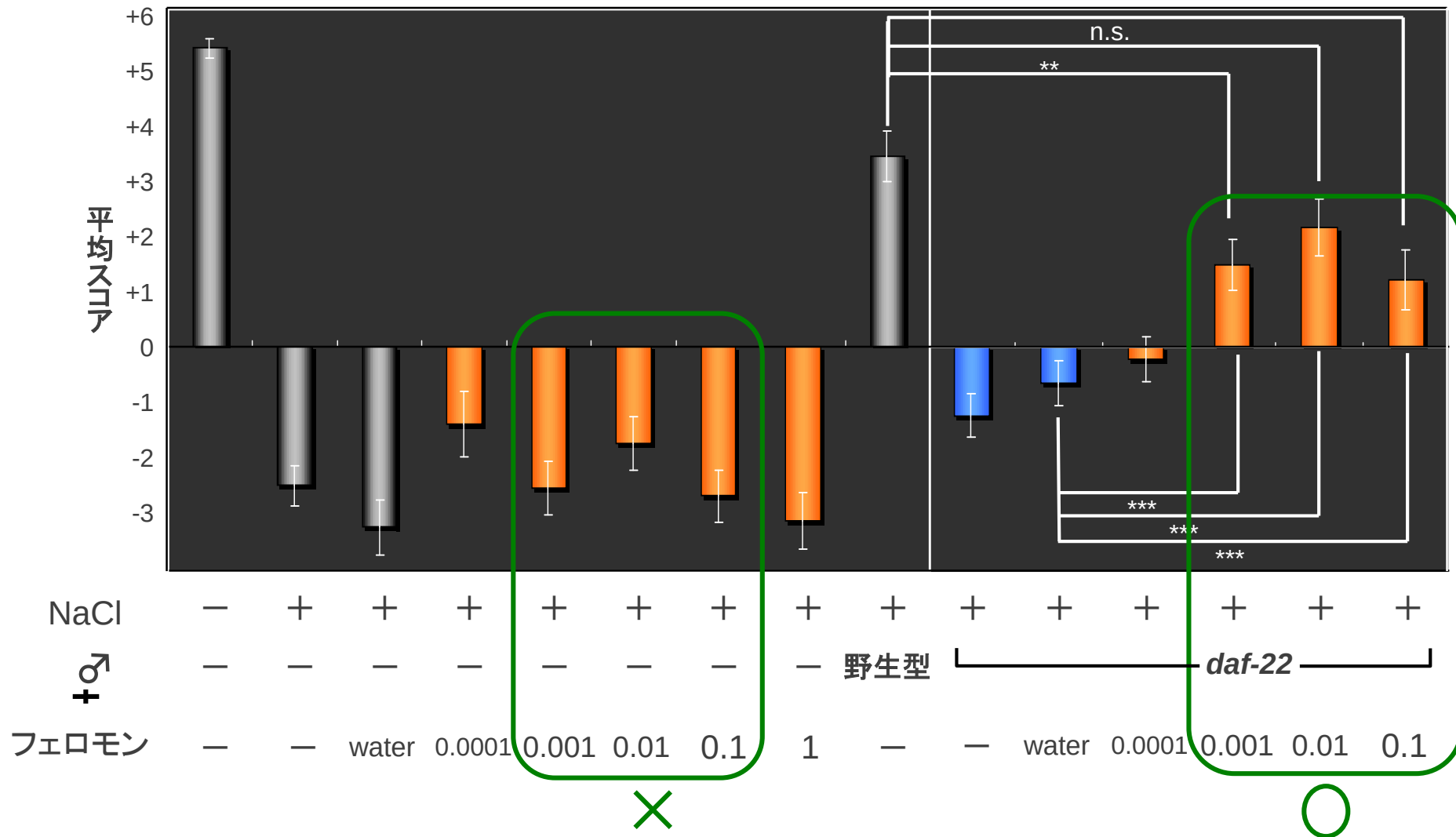
NaCl



♀♂

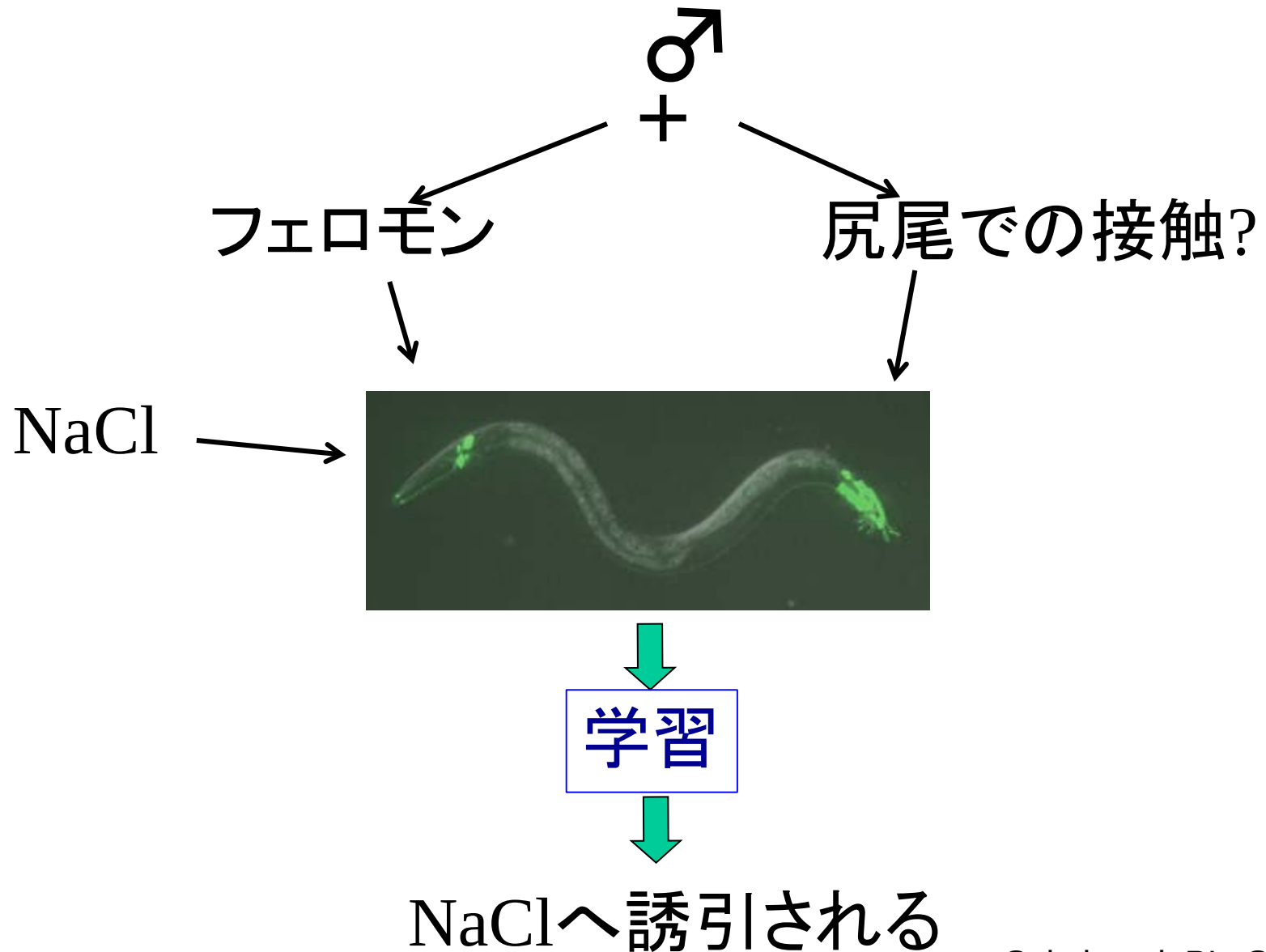


異性間のコミュニケーションにはフェロモンが必要だがそれだけでは不十分

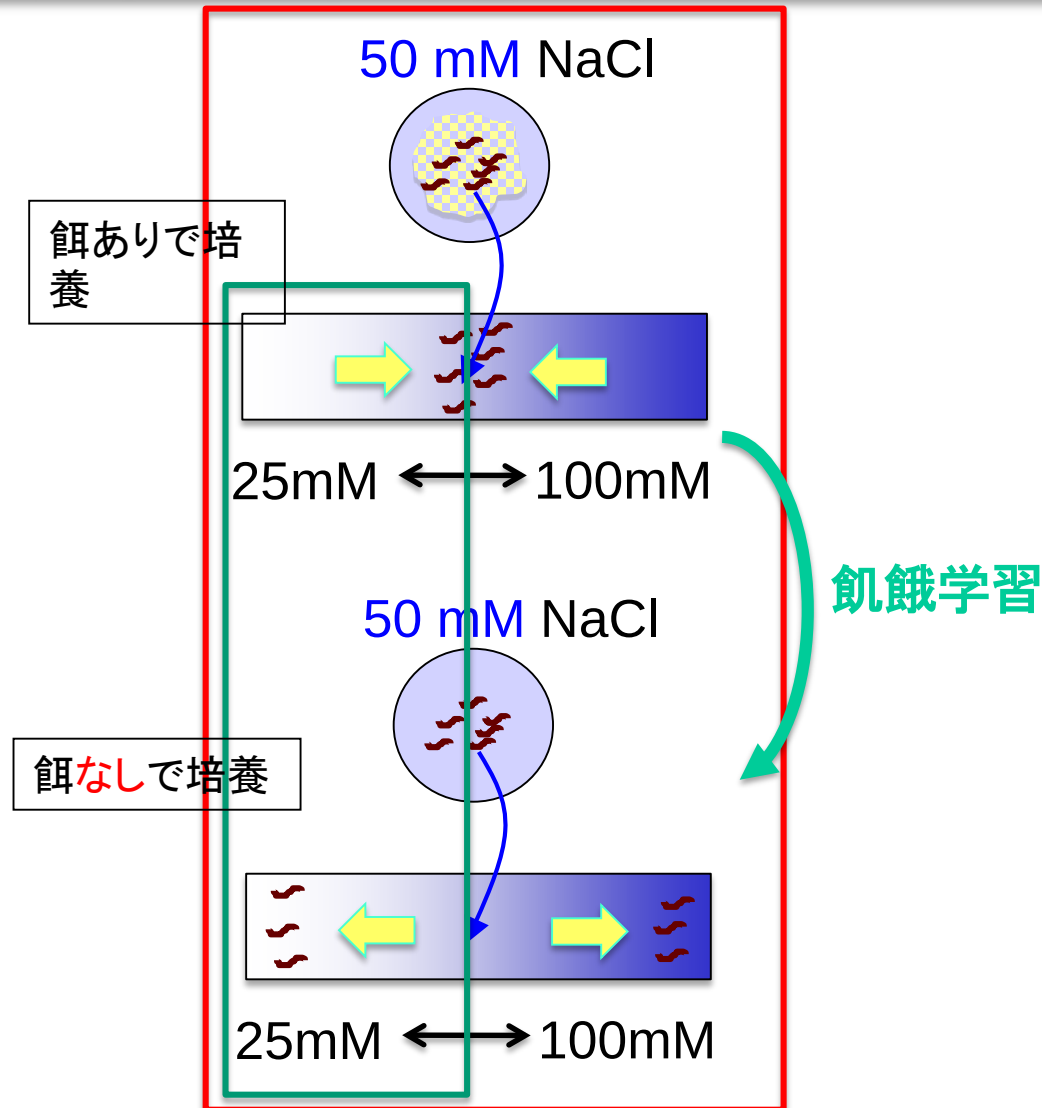


フェロモンに加えて雌雄同体の物理的な存在が必要

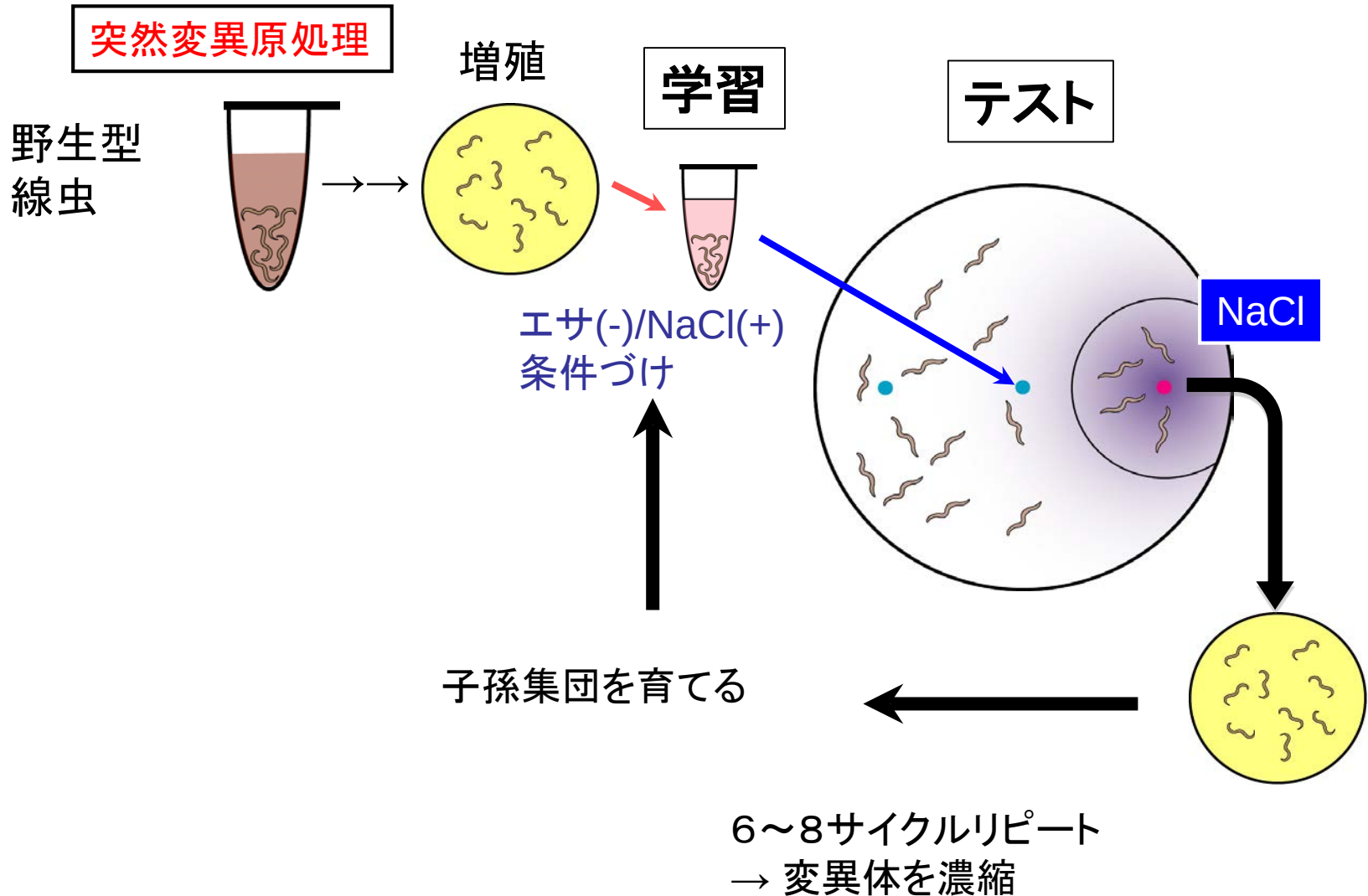
今までにわかったこと



線虫は塩濃度を記憶し、餌と連合学習して走性の方向を逆転させる



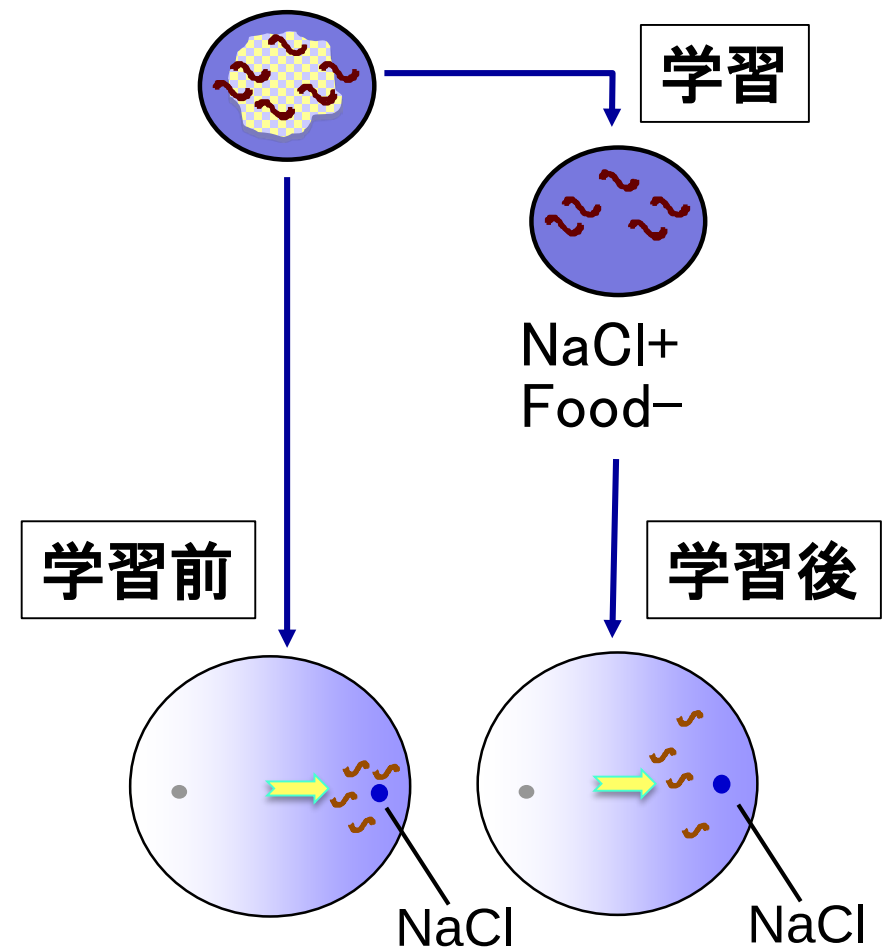
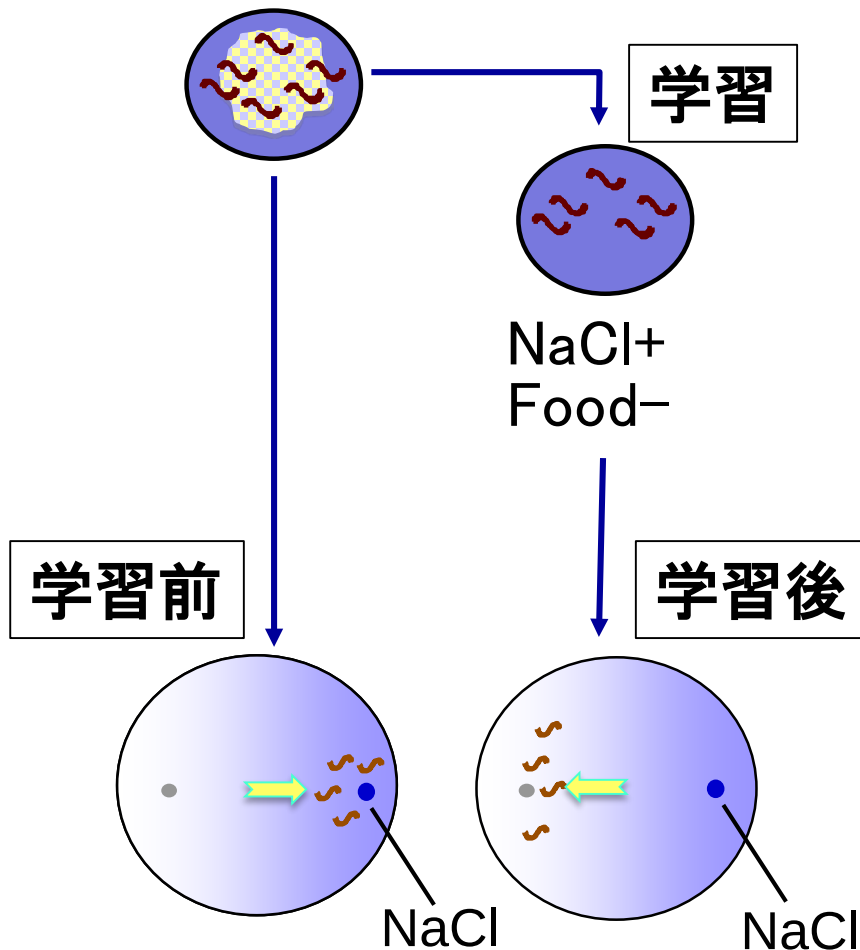
学習変異体のスクリーニング



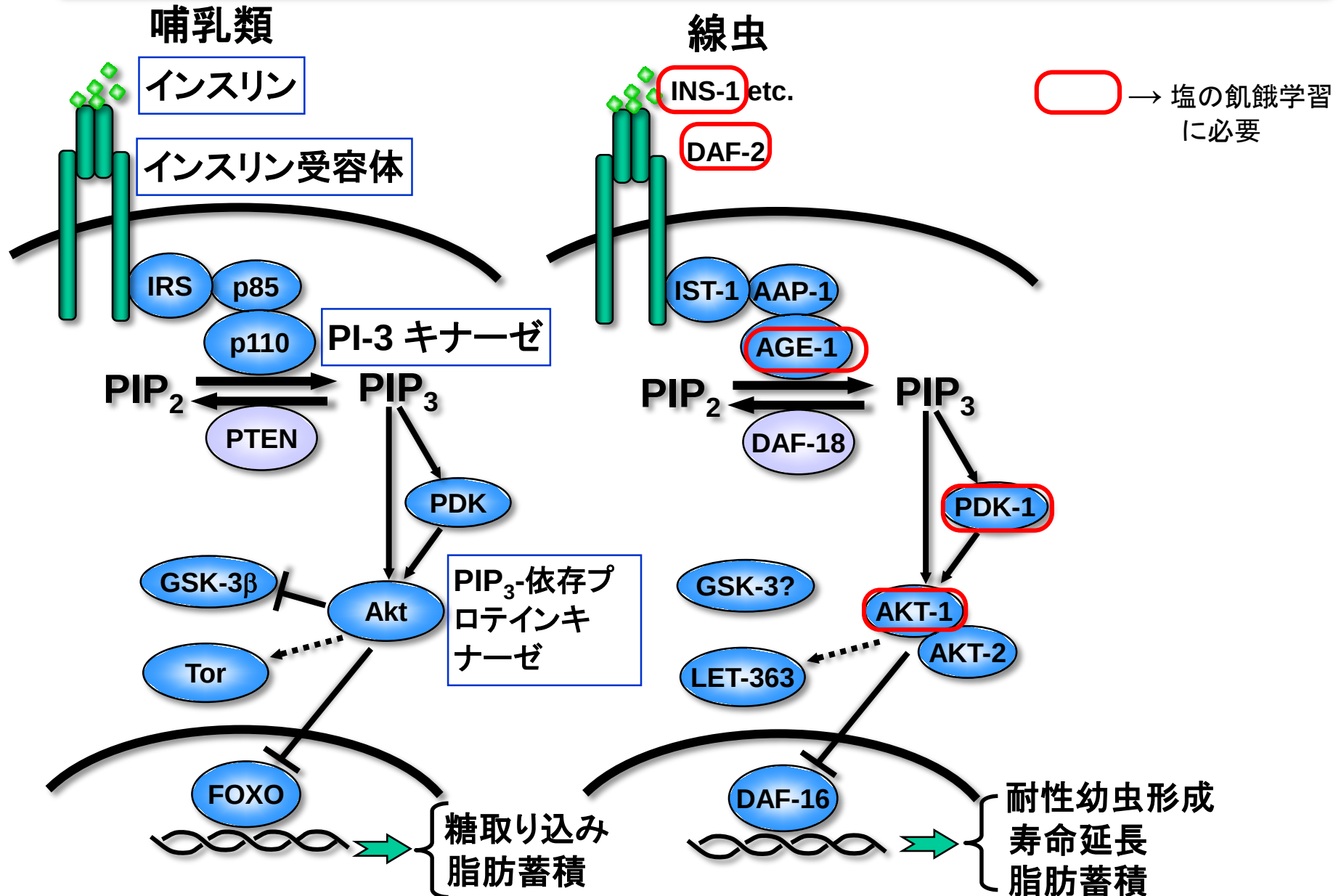
学習ミュータントの性質

< 野生型株 >

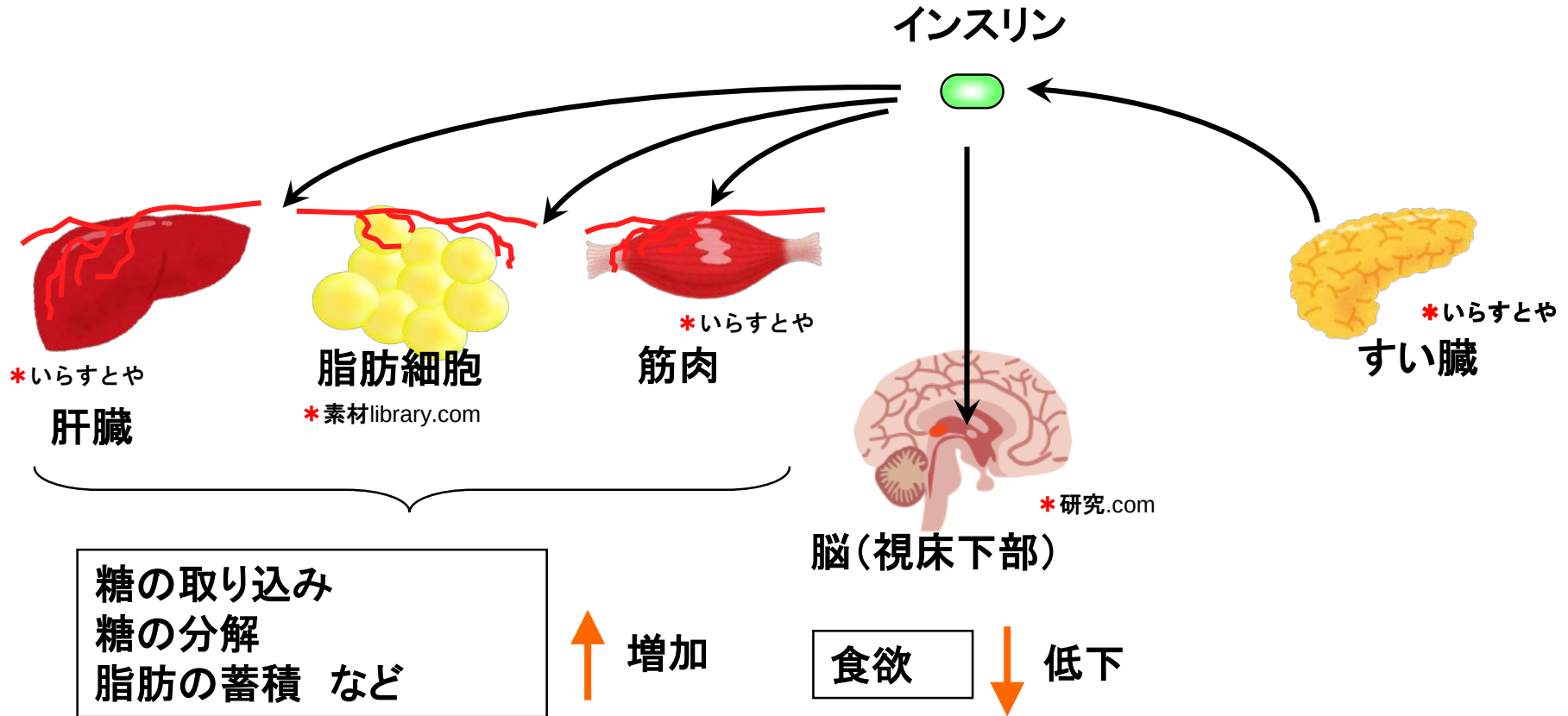
< 突然変異体(ミュータント) >



線虫のインスリン/PI3キナーゼ経路



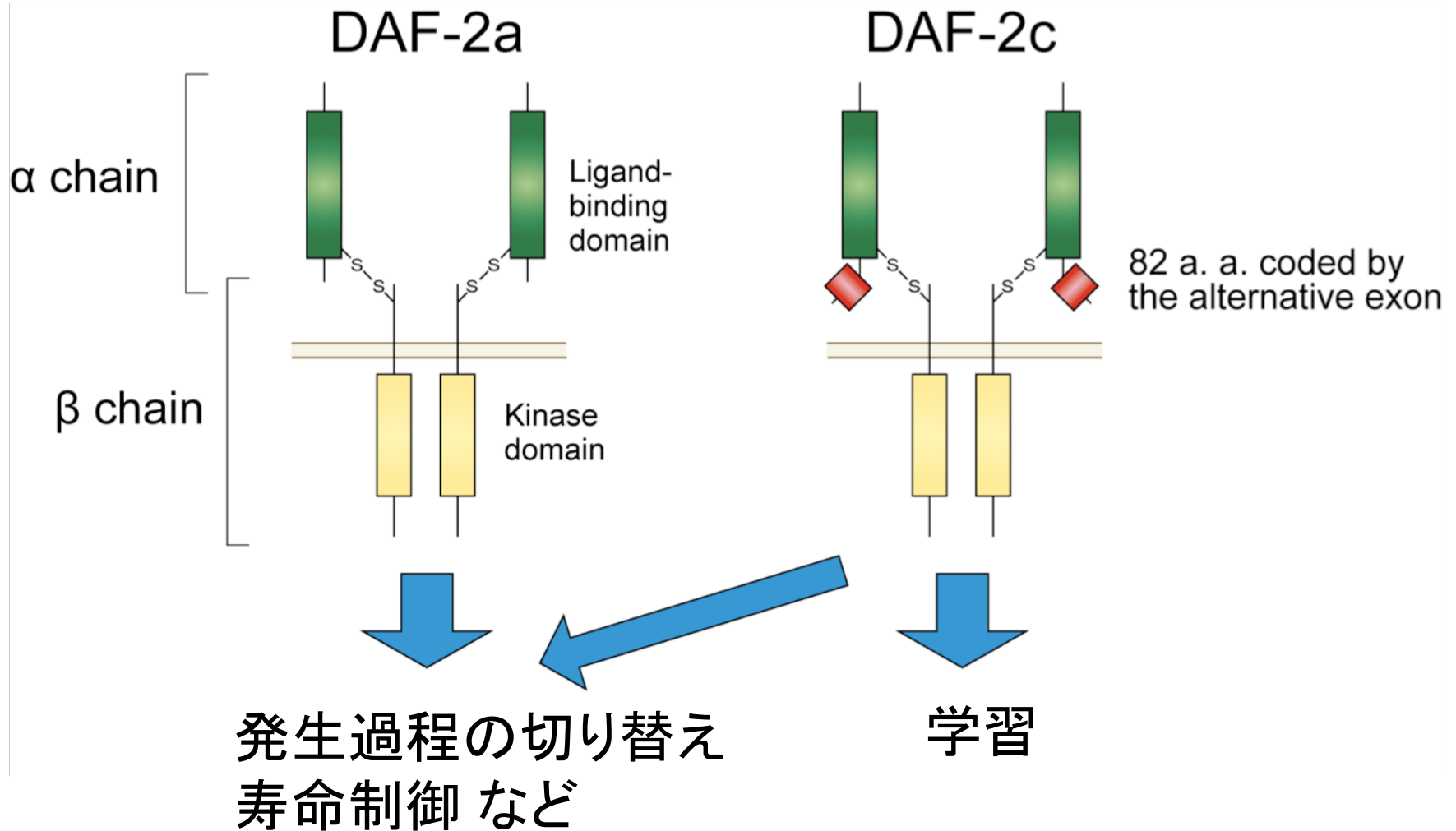
哺乳類のインスリンの機能



インスリンは肝臓、脂肪細胞、筋肉などの組織に働き、糖や脂肪の代謝を制御する。

<インスリンは脳にも働く。>

線虫のインスリン受容体DAF-2には二つのタイプがある



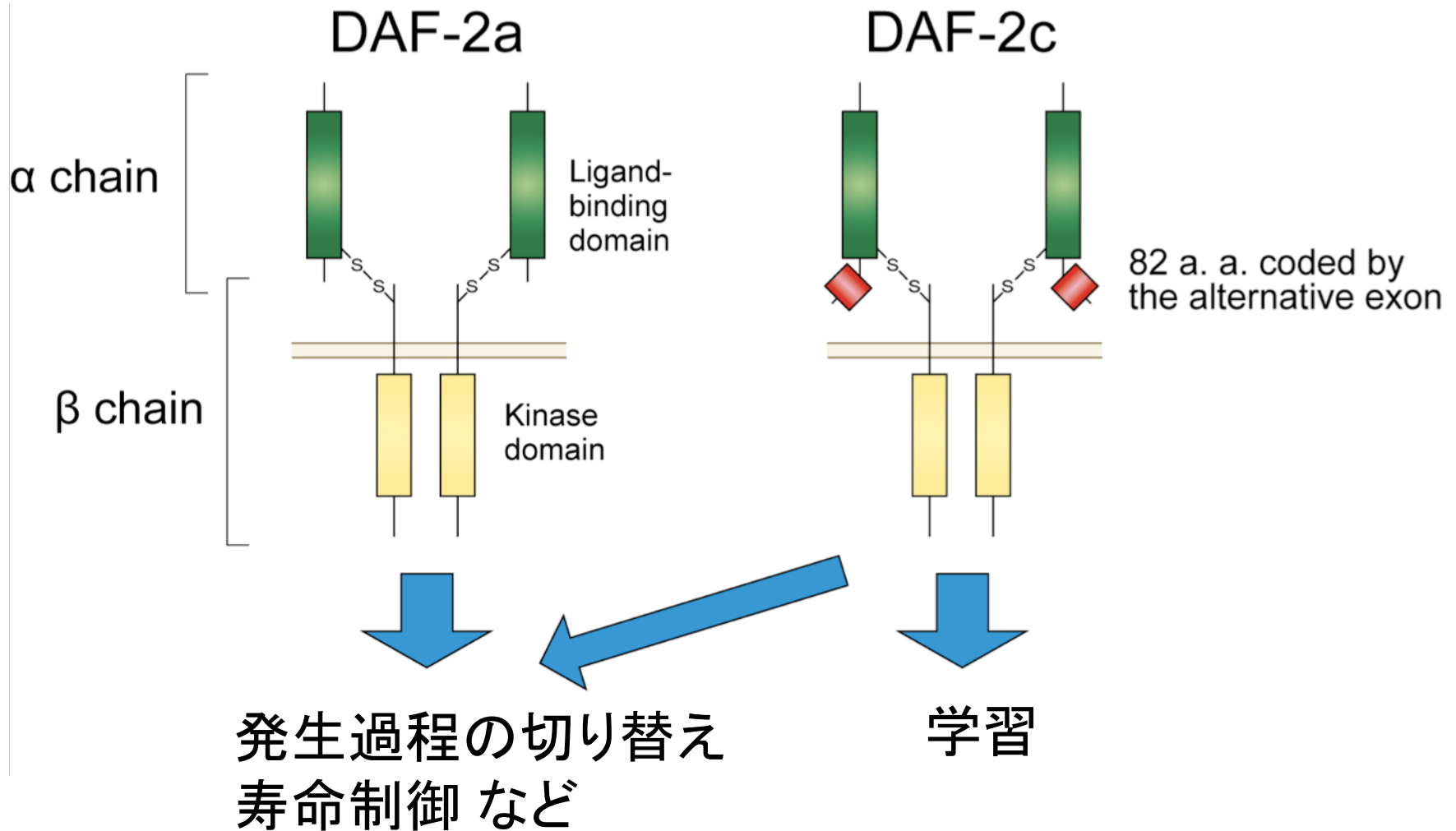
ヒトや哺乳類のインスリン受容体にも 二つのタイプがある

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

インスリン受容体の図

Antonino Belfiore et al (2009), Insulin Receptor Isoforms
and Insulin Receptor/Insulin-Like Growth Factor Receptor
Hybrids in Physiology and Disease, Endocrine Reviews
30(6):586–623, p. 590, Fig. 3:Modular structure of IR
isoforms. (A, B)

線虫のインスリン受容体DAF-2には二つのタイプがある

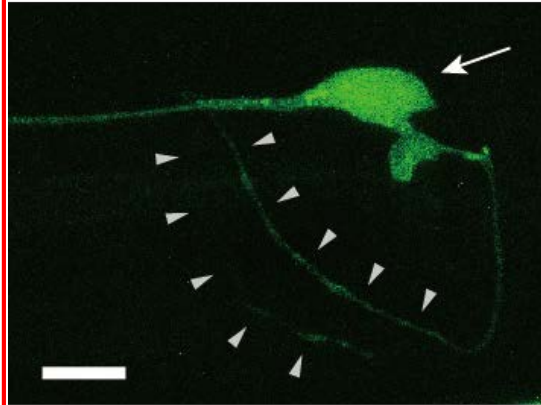


学習に働くインスリン受容体DAF-2c はASER神経の軸索に集まっている

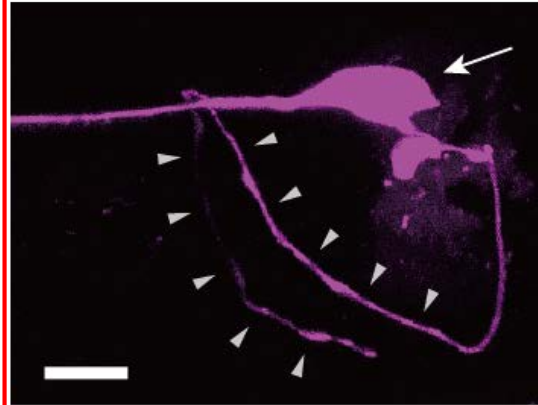
© 2011-2015 OpenWorm - All rights reserved.

WT

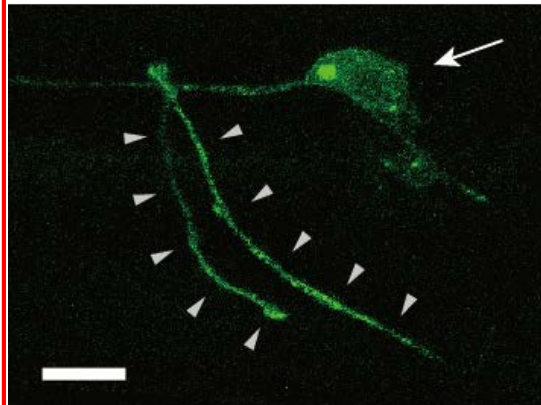
*



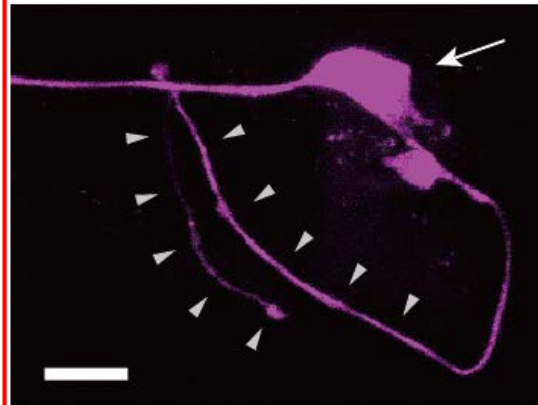
DAF-2a::Venus



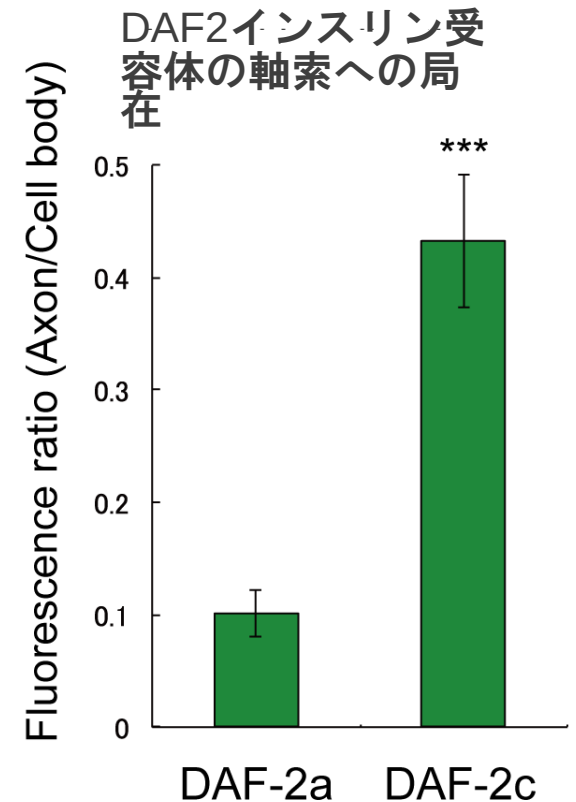
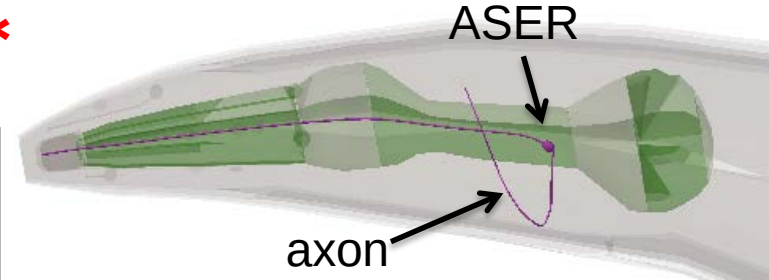
ASER neuron (mCherry)



DAF-2c::Venus



ASER neuron (mCherry)



*

Hayao Ohno et al (2014), Role of synaptic phosphatidylinositol 3-kinase in a behavioral learning response in *C. elegans*, Science 345(6194):313-317, p. 314, Fig. 1(F, G)
<http://science.sciencemag.org/content/345/6194/313>

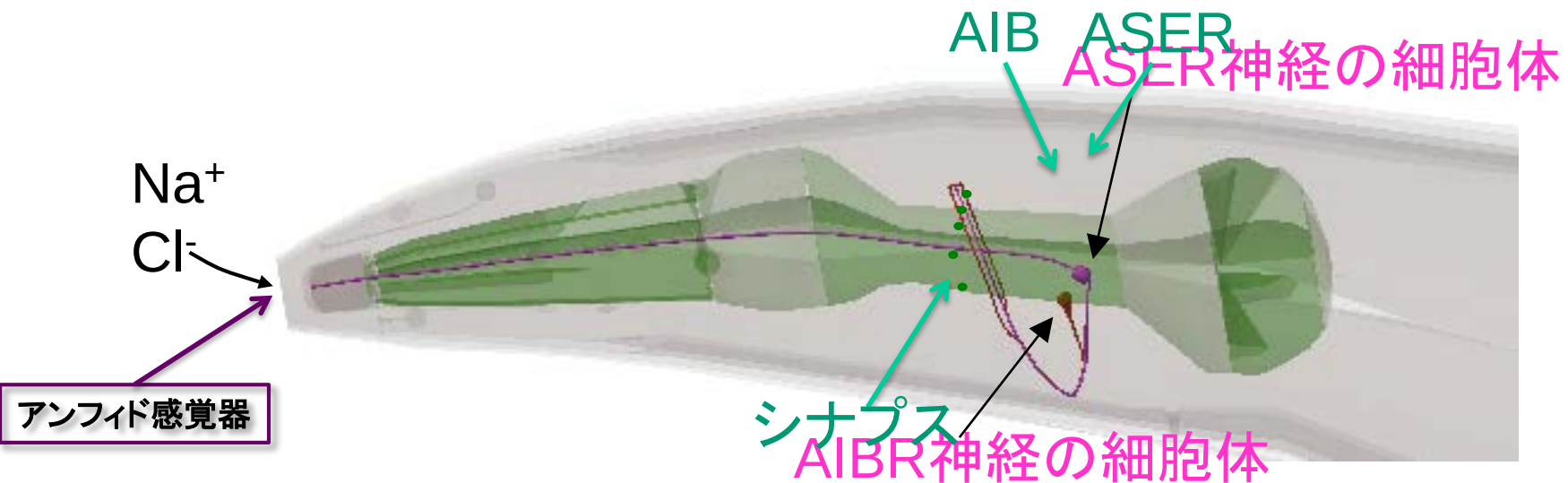
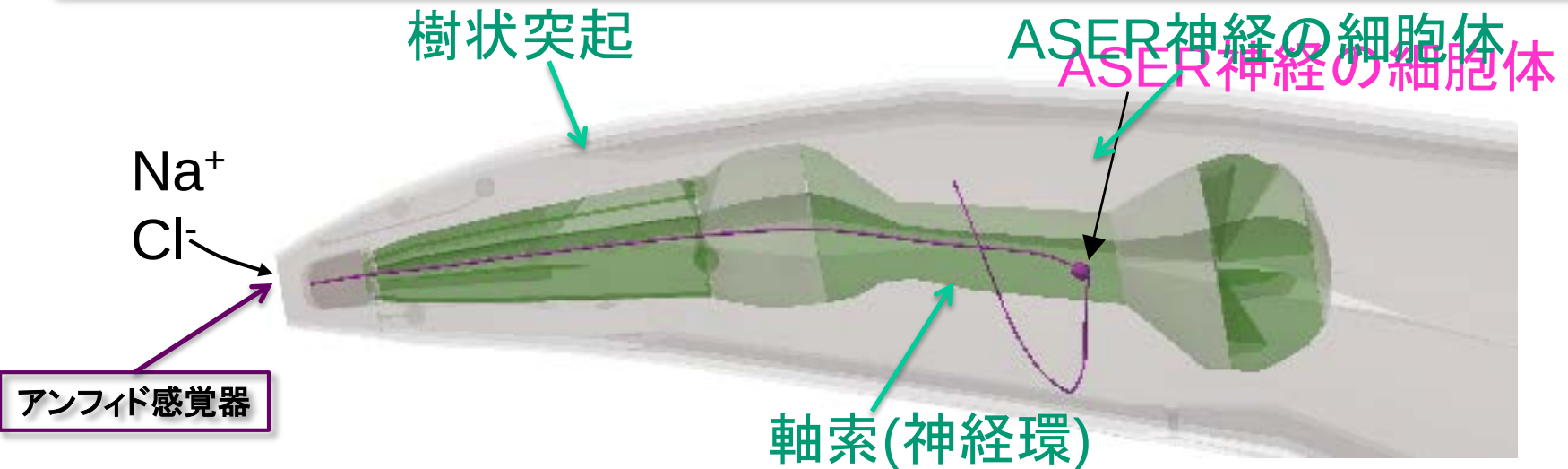
project



*

Fig.2

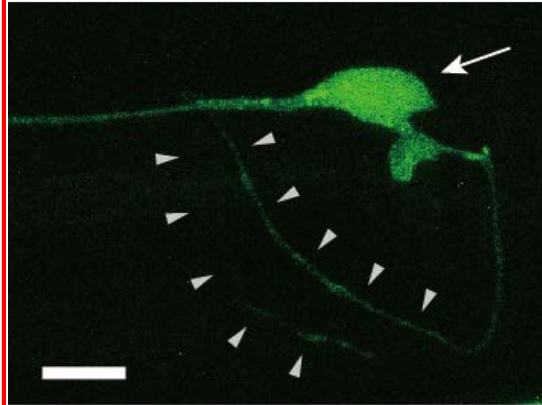
ASE感覚神経は神経環で他の神経と接続する



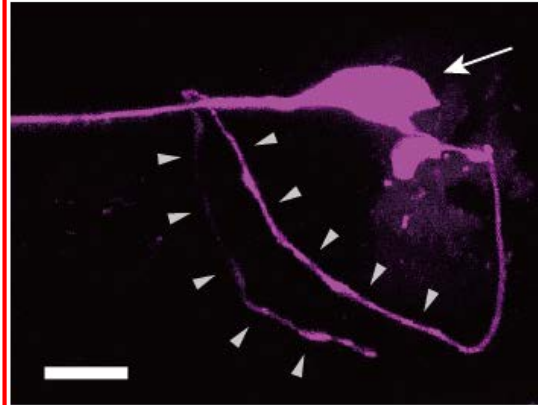
学習に働くインスリン受容体DAF-2c はASER神経の軸索に集まっている

© 2011-2015 OpenWorm - All rights reserved.

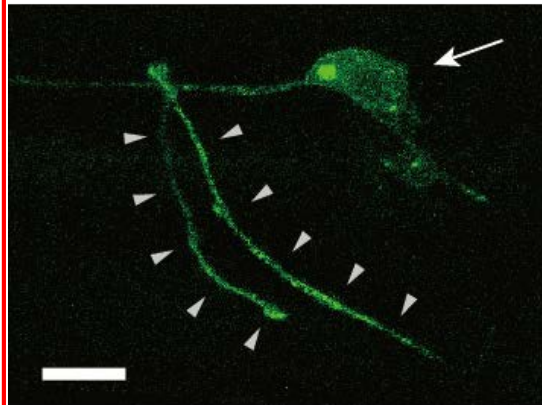
WT



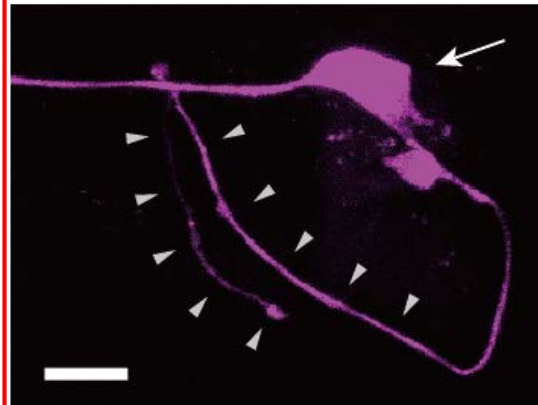
DAF-2a::Venus



ASER neuron (mCherry)

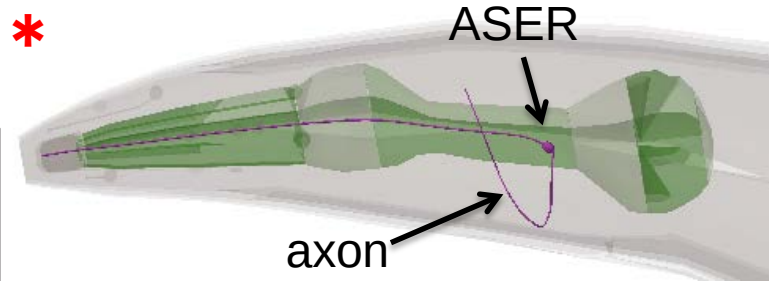


DAF-2c::Venus

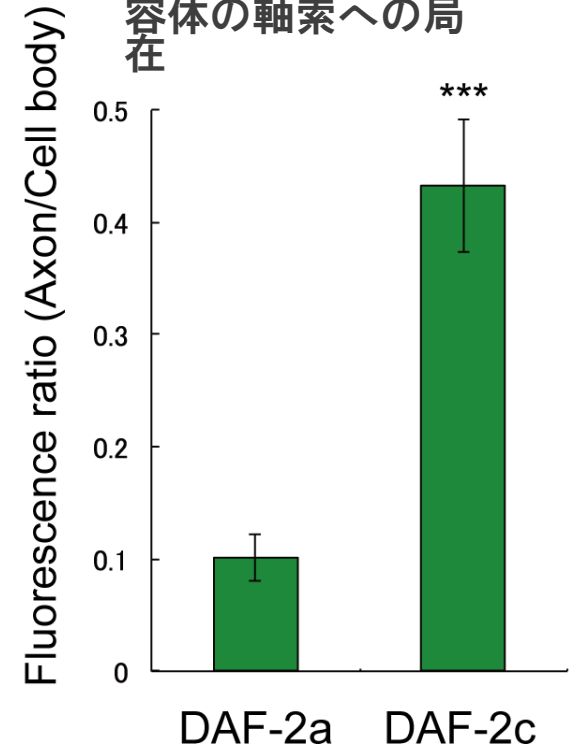


ASER neuron (mCherry)

*



DAF2インスリン受容体の軸索への局在



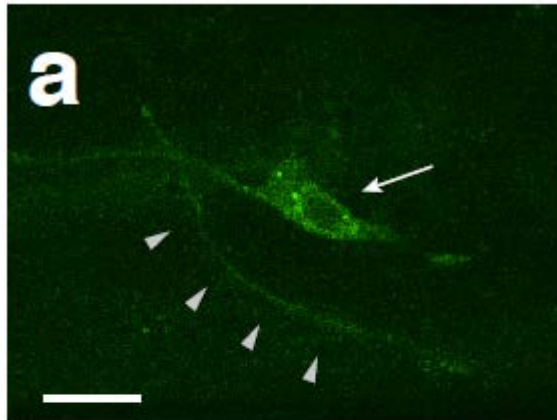
*

Hayao Ohno et al (2014), Role of synaptic phosphatidylinositol 3-kinase in a behavioral learning response in *C. elegans*, Science 345(6194):313-317, p. 314, Fig. 1(F, G)
<http://science.sciencemag.org/content/345/6194/313>

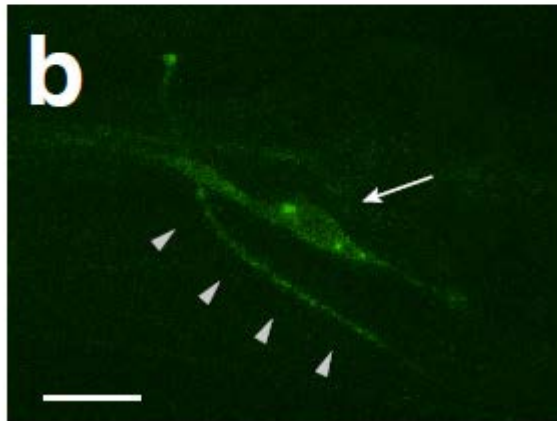
インスリン受容体DAF-2cは飢餓により軸索に運ばれる

* Hayao Ohno et al (2014), Role of synaptic phosphatidylinositol 3-kinase in a behavioral learning response in *C. elegans*, *Science* 345(6194):313-317, p. 314, Fig. 1
<http://science.sciencemag.org/content/345/6194/313>

DAF-2c::Venus

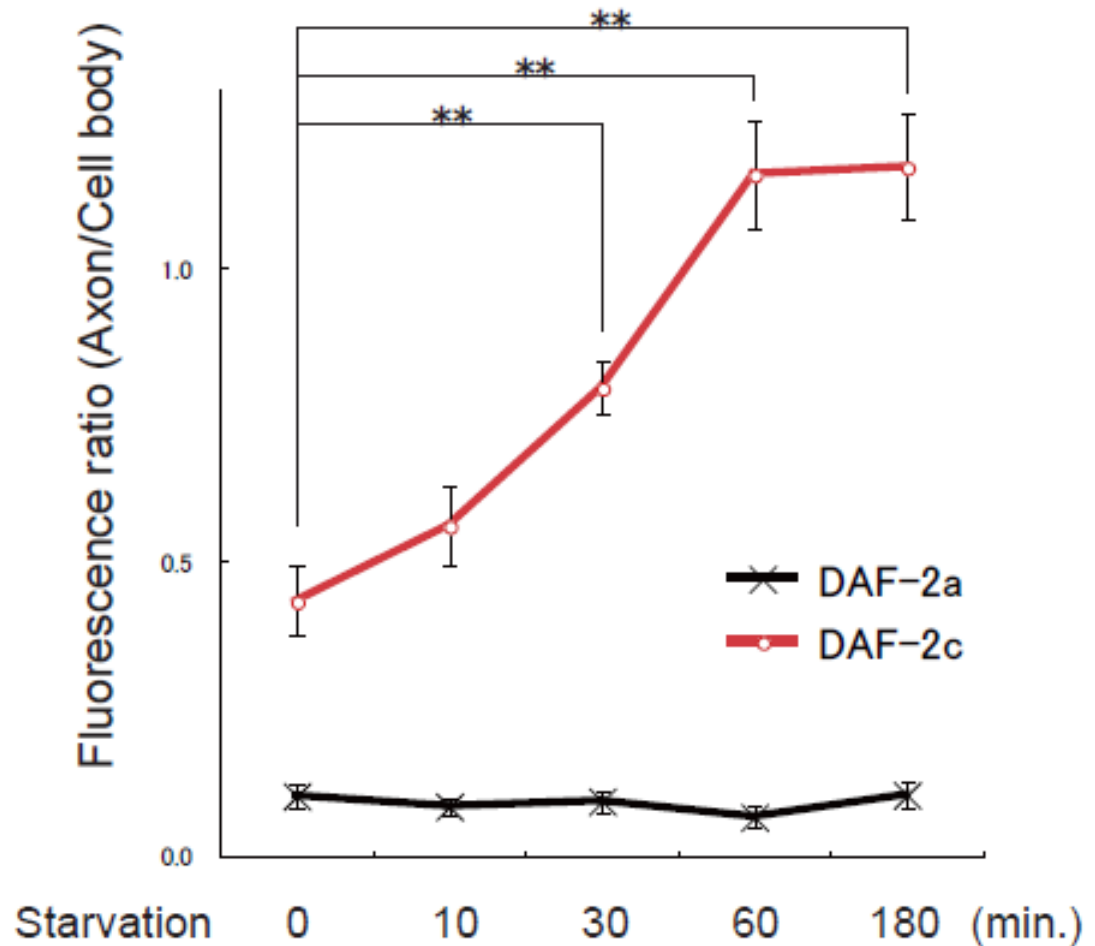


naive

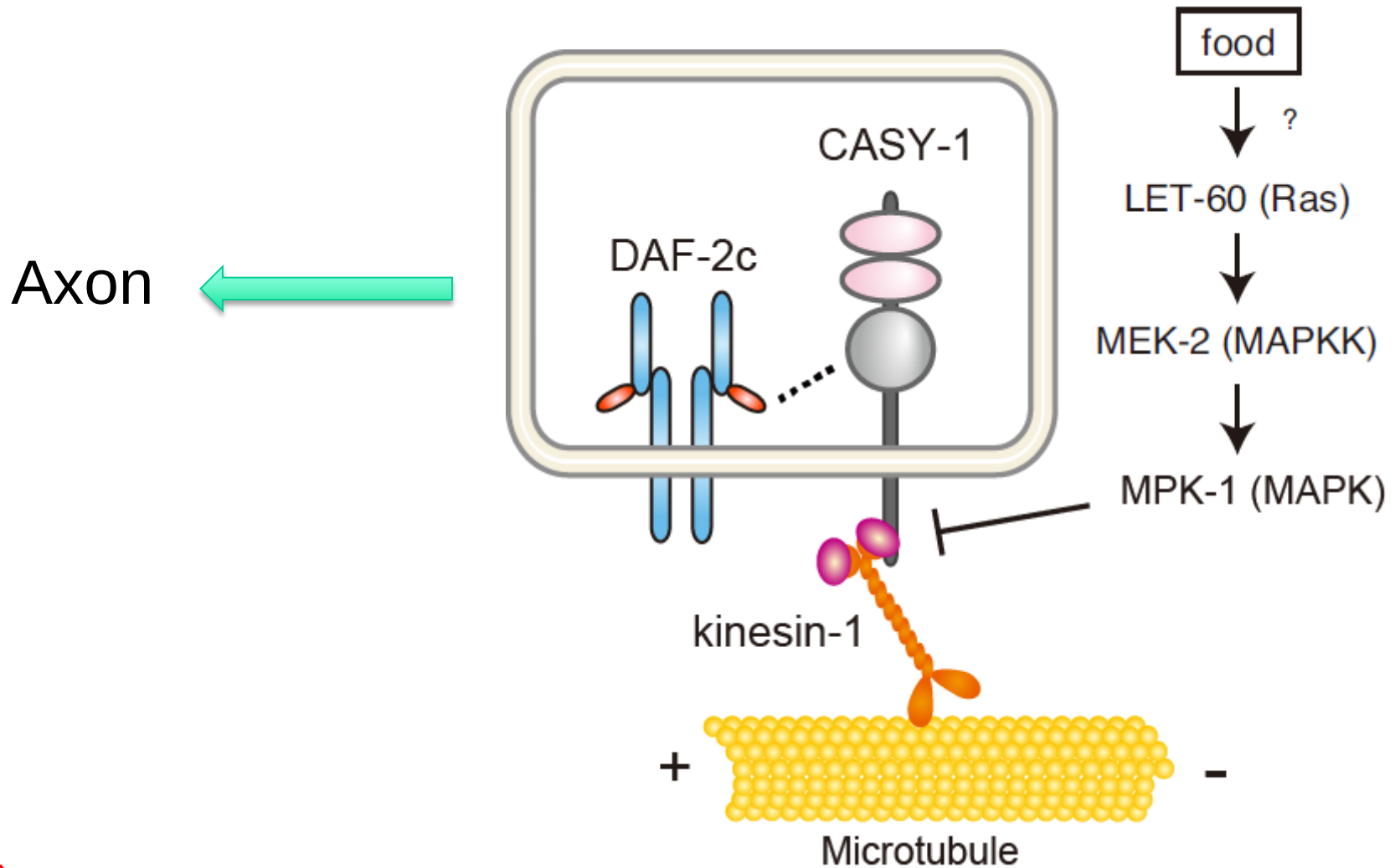


1 hr starvation

DAF-2 in the axon of ASER



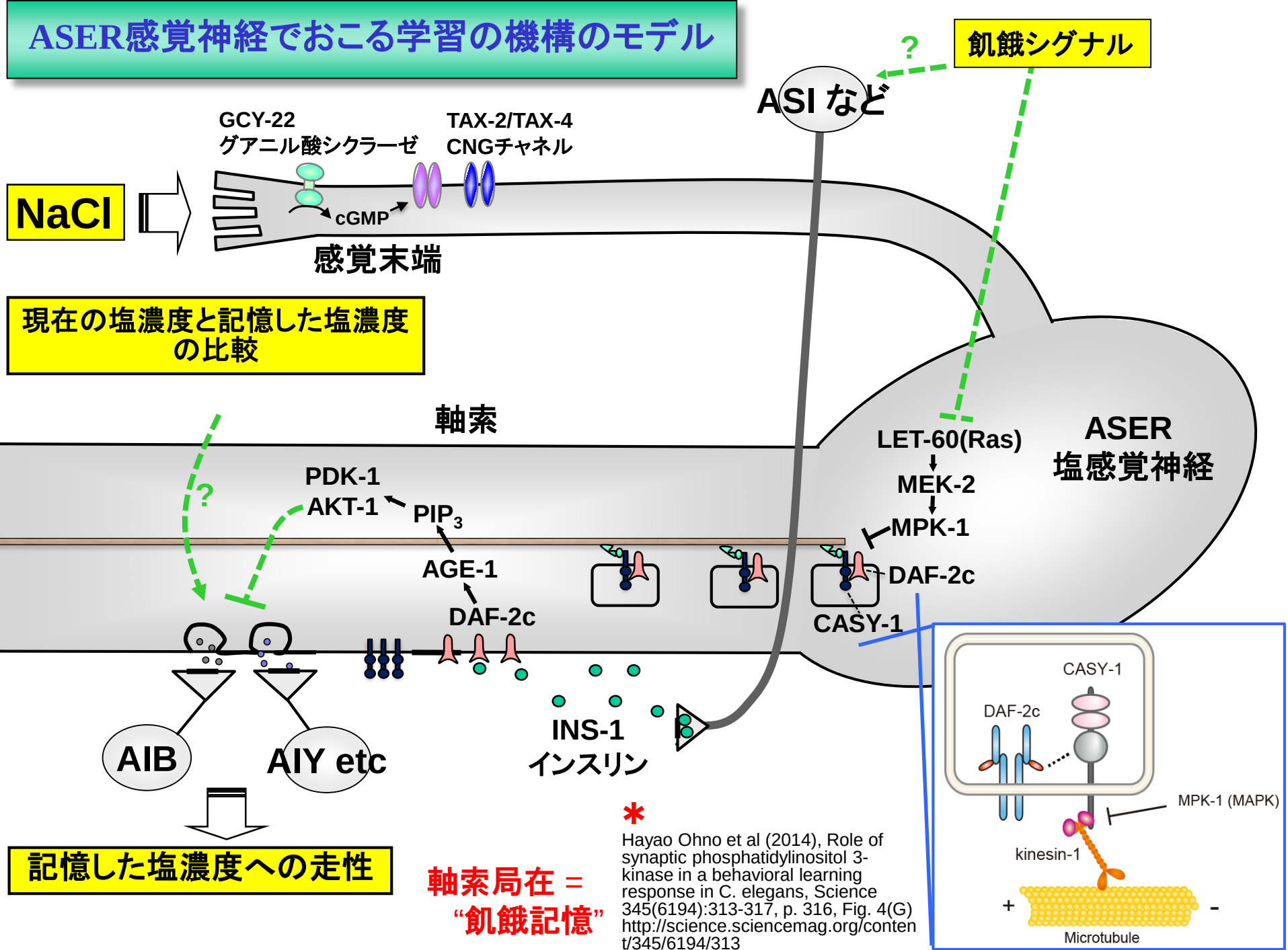
Model



*

Hayao Ohno et al (2014), Role of synaptic phosphatidylinositol 3-kinase in a behavioral learning response in *C. elegans*, *Science* 345(6194):313-317, p. 316, Fig. 4(G)
<http://science.sciencemag.org/content/345/6194/313>

ASER感覚神経でおこる学習の機構のモデル



ここまでのまとめ

- *C. elegans* はそれまでに餌なしで培養されていた塩濃度を避けるように学習する。
- ASER感覚神経で働くインスリン経路がこの学習に必要なである。
- 飢餓によりインスリン受容体DAF-2cがシナプス部位に運ばれる。これが記憶の一端を担う。
- シナプス部位でDAF-2cが働くと線虫は餌があった後でもその濃度の塩を避ける

線虫に関するデータベース等情報

WormBase (<http://www.wormbase.org/>)

線虫の統合データベース。ゲノム情報、遺伝子、変異体等の情報が得られる。

WormBook <http://www.wormbook.org/>

最新版のオンライン教科書

WormAtlas (<http://www.wormatlas.org/index.htm>)

線虫の体の構造が細かく表示されている。個々の神経の構造などもグラフィカルに見られる。

OpenWorm project (http://www.openworm.org/getting_started.html)

シミュレーション線虫

WormImage project (<http://www.wormimage.org/index.php>)

電子顕微鏡写真のコレクション

Textpresso (<http://www.textpresso.org/celegans/>)

線虫に関する文献の全文検索

Caenorhabditis Genetics Center (<http://www.cbs.umn.edu/CGC/>)

線虫の野生型、変異体がすべて揃っている。

Houkatsunou (<http://hokatsu-nou.biochem.s.u-tokyo.ac.jp/index.html>)

線虫のプロモーターや蛍光プローブのコレクション(包括脳ネットワーク支援)

NEXTDB (<http://nematode.lab.nig.ac.jp/db2/index.php>)

cDNAのコレクション。発現部位も調べられている。

National Bioresource Project (<http://www.shigen.nig.ac.jp/c.elegans/index.jsp>)

ノックアウト変異体のリクエスト

Knockout project (<http://celeganskoconsortium.omrf.org/>)

ノックアウト変異体のリクエスト

虫の集いHP (<http://www.wormjp.umin.jp/jp/index-j.html>)

日本の線虫研究者の情報、プロトコル、メーリングリストなど線虫に関する情報(日本語)。