

小脳の計算機構

タイミング制御・ゲイン制御・内部モデル

山崎 匡

情報理工学研究科 情報・通信工学専攻 情報数理工学コース

Neuralgorithm.org

自己紹介

1992年 4月 電気通信大学 情報工学科

2002年 3月 博士(理学) 東京工業大学

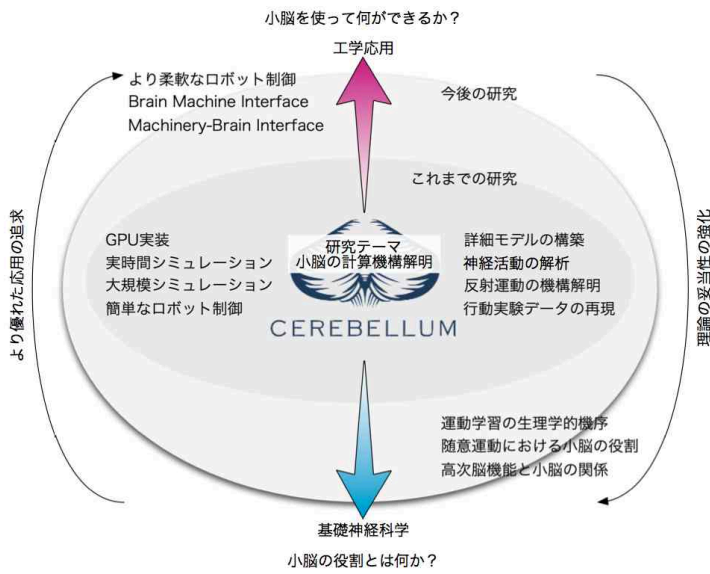
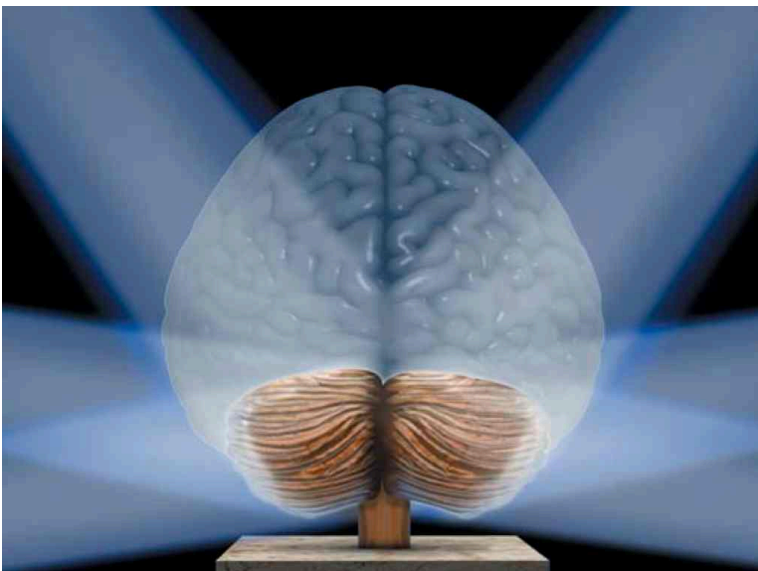
2002年 4月 理研 脳科学総合研究センター 研究員

最初の所属は田中繁研究室!

2012年 4月 I専攻 情報数理工学コース 助教

シミュレーション科学・HPC分野

人間福祉テクノロジー研究ステーション 第14回セミナー 2012年5月30日

Cerebellum

大脳皮質と同じ表面積・大脳皮質より多い細胞数

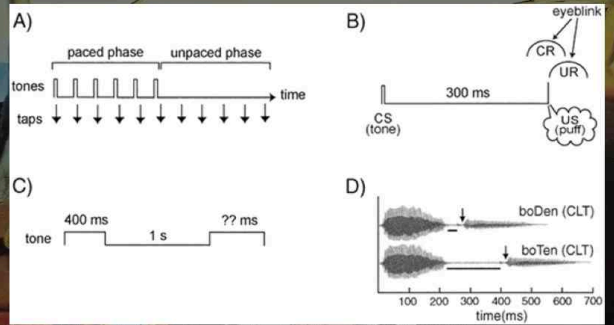
運動制御 = ゲイン制御 + タイミング制御
 運動の大きさ × 運動の時間 = 距離
 速度 × 時間 = 距離

複数の身体部位が協調して動作するために必要



1. 小脳のタイミング制御機構

時間に関する小脳タスク



Ivry et al. The Cerebellum and Event Timing. Ann NY Acad Sci 978:302 (2002).

タッピング課題

瞬目反射の条件付け

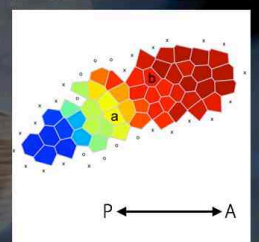
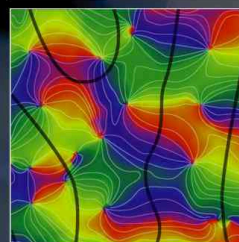
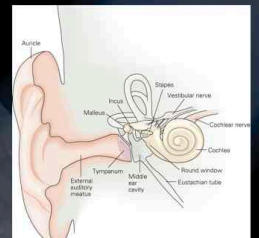
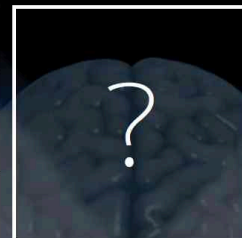
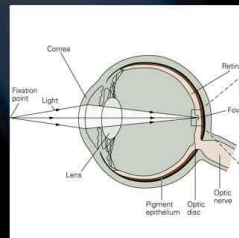
時間弁別課題

Voice onset time

小脳が関与する時間スケール

音源定位 運動制御 作業記憶 概日周期
 数ミリ秒 数百ミリ秒 数秒 数時間

タッピング課題
 時間弁別課題
 Voice onset time (VOT)
 瞬目反射の条件付け



視覚

時間感覚

聴覚

小脳皮質核微小複合体

= 小脳回路の基本単位



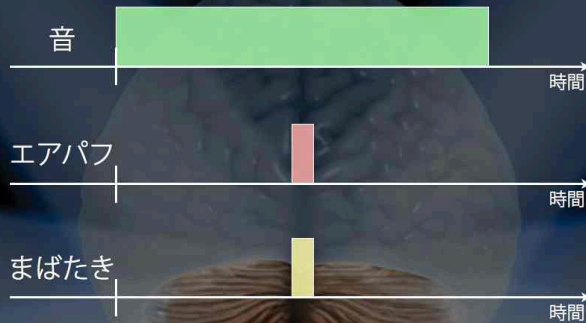
タッピング課題
時間弁別課題

Voice onset time (VOT)

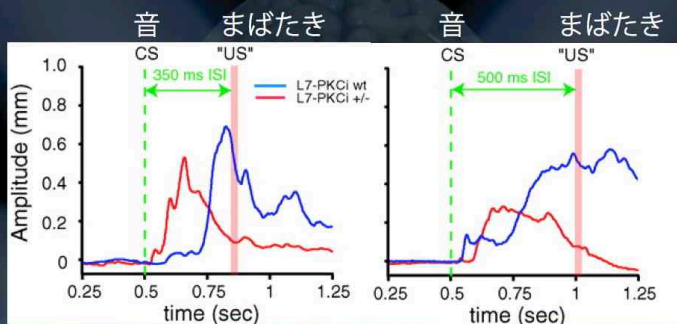
瞬目反射の条件付け

単一の情報処理機構で説明できる可能性がある

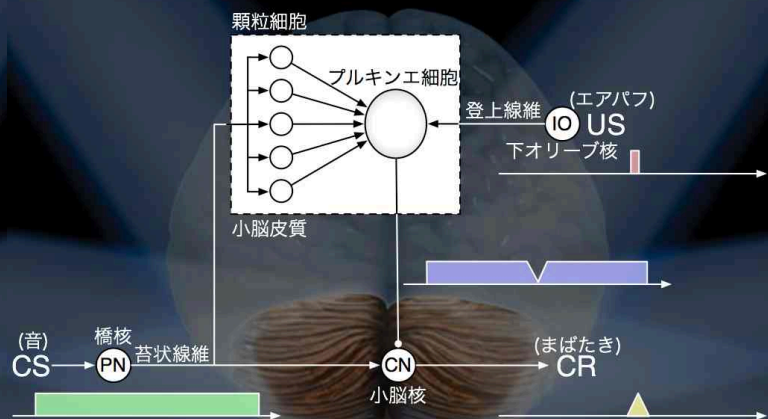
Masao Ito (2011) The Cerebellum: Brain for an Implicit Self. FT Press.



瞬目反射の条件付け



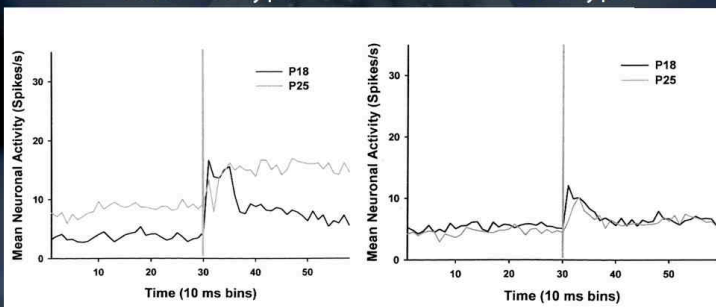
Koekkoek SKE et al. Cerebellar LTD and Learning-Dependent Timing of Conditioned Responses. Science 301,1736 (2003)



音刺激に対する橋核の細胞のスパイク発射の様子

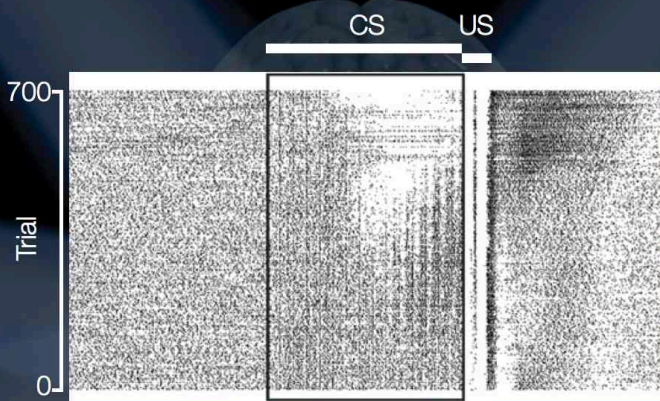
Sustained type

Phasic type



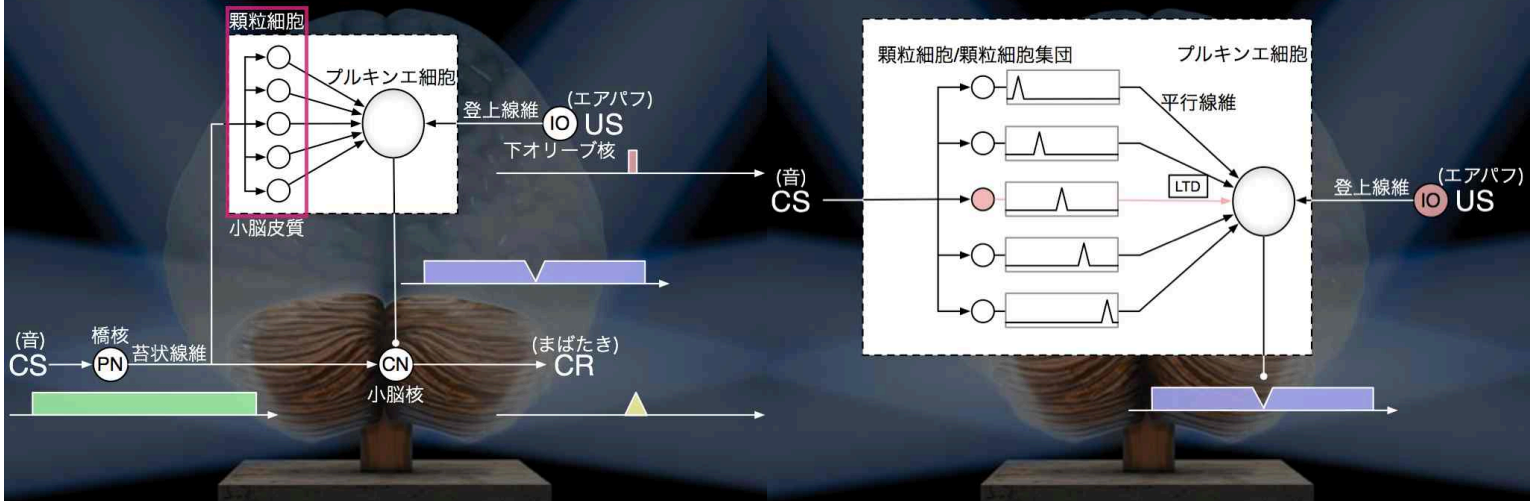
(Freeman & Muckler. Learn & Mem 2003)

トレーニング中のプルキンエ細胞の単純スパイク発射の変化



(Jirenhed, Bengtsson, Hesslow J Neurosci 2007)

時間情報はどこでコードされているか？



どのようにして顆粒細胞の時系列発火パターンを生成するか？

小脳(モデル)を作る

分子から行動まで膨大な量の実験データがある

1958	1967	1984	2011
病理	解剖組織	電気生理制御理論	分子生物イメージング 高次機能

スパコン上で精密に再現可能

可能な限り精密に小脳を再現したモデルを構築

(Yamazaki, Tanaka, Eur J Neurosci 2007)
(Honda, Yamazaki, Tanaka, Nagao, Nishino, PLoS Comput Biol 2011)
(Yamazaki, Nagao, PLoS ONE 2012)

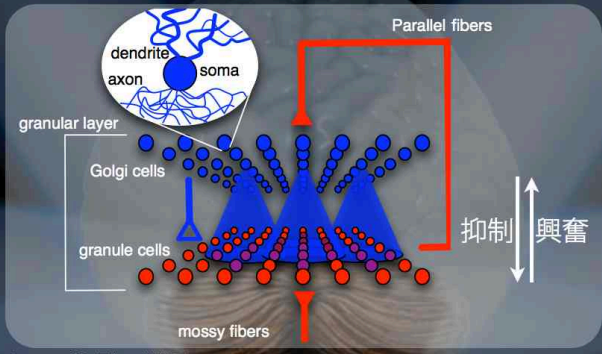
小脳の1微小複合体(機能単位, $\approx 1\text{mm}^3$)をモデル化

細胞種・数	7種類, 10万個以上
細胞間の結合様式 入出力の範囲	ネコの解剖学論文から算出
細胞モデル	ラットとタートルの電気生理学論文から算出

例: 顆粒細胞のパラメータ

$C = 3.1\text{pF/cm}^2$ (2), $\theta = -35.0\text{mV}$ (2), $g_{\text{leak}} = 0.43\text{nS}$ (2),
 $E_{\text{leak}} = -58.0\text{mV}$ (2), $g_{\text{ex}} = 0.18\text{nS}$ (1), $E_{\text{ex}} = 0\text{mV}$ (1), $g_{\text{inh}} = 0.028\text{nS}$ (3),
 $E_{\text{inh}} = -82.0\text{mV}$ (3), $g_{\text{ahp}} = 0.5\text{nS}$ (4), $E_{\text{ahp}} = -82.0\text{mV}$ (2),
 $r_{\text{AMPA}} : r_{\text{NMDA}} = 0.3 : 0.7$ (2), $\tau_{\text{AMPA}} = 48.6\text{msec}$ (2), $\tau_{\text{NMDA}} = 74.0\text{msec}$ (2),
 $r_{1,\text{GABA}} : r_{2,\text{GABA}} : r_{3,\text{GABA}} = 0.22 : 0.58 : 0.20$ (3),
 $\tau_{1,\text{GABA}} = 8.0\text{msec}$ (3), $\tau_{2,\text{GABA}} = 33.5\text{msec}$ (3),
 $\tau_{3,\text{GABA}} = 102.9\text{msec}$ (3), $\tau_{\text{ahp}} = 5.0$ (4),
 1. Gabbiani et al. (1994). 2. D'angelo et al. (1995). 3. Brickley et al. (1999). 4. Estimated so as to obtain spikes in 25 Hz for input spikes of 50 Hz under holding potential -70mV . 5. Estimated so as to obtain unit EPSP of 11.4 mV under holding potential -70mV .

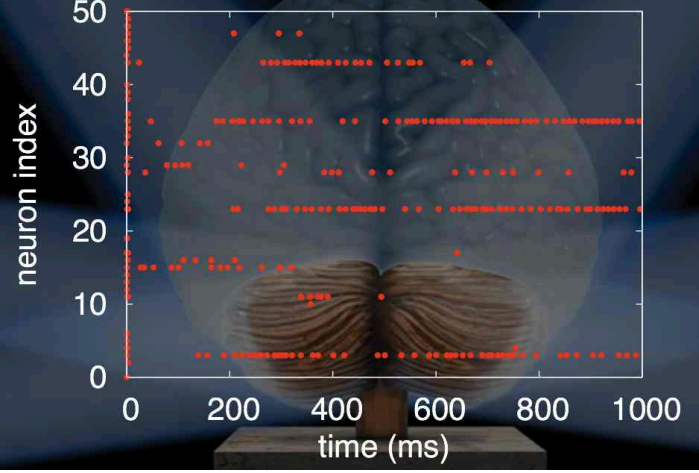
顆粒細胞—ゴルジ細胞ループ



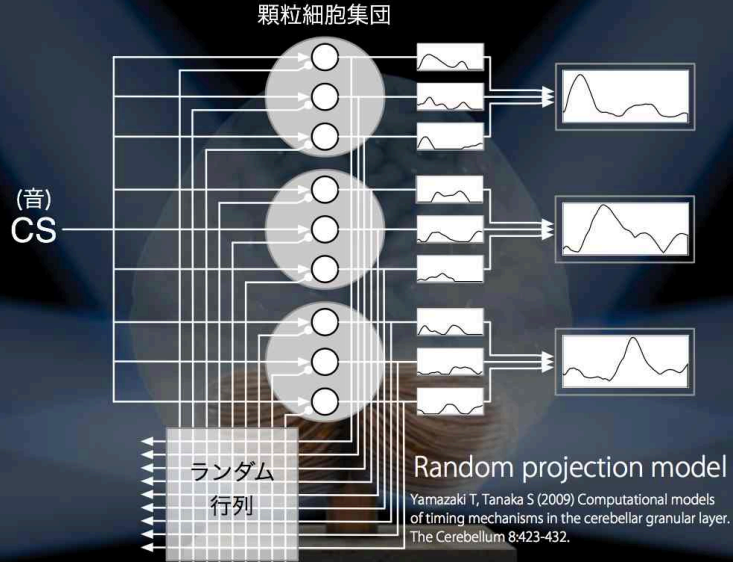
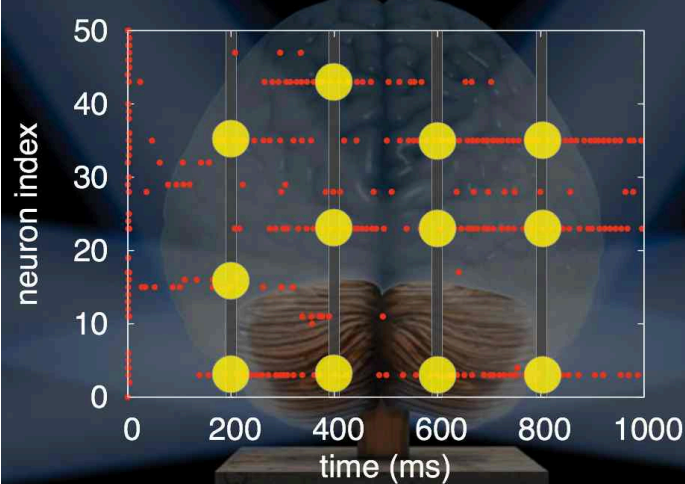
Courtesy of Dr. Takeru HONDA

モデル顆粒細胞の発火パターン

Yamazaki T, Tanaka S (2007) A spiking network model for passage-of-time representation in the cerebellum. Eur J Neurosci 26:2279-2292.



1細胞集団と1時刻が対応する



Model equation

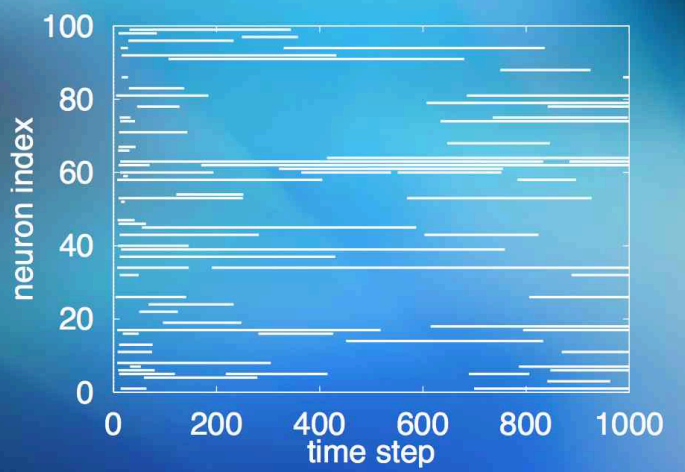
Yamazaki T, Tanaka S (2005) Neural modeling of an internal clock. Neural Computation 17:1032-1058.

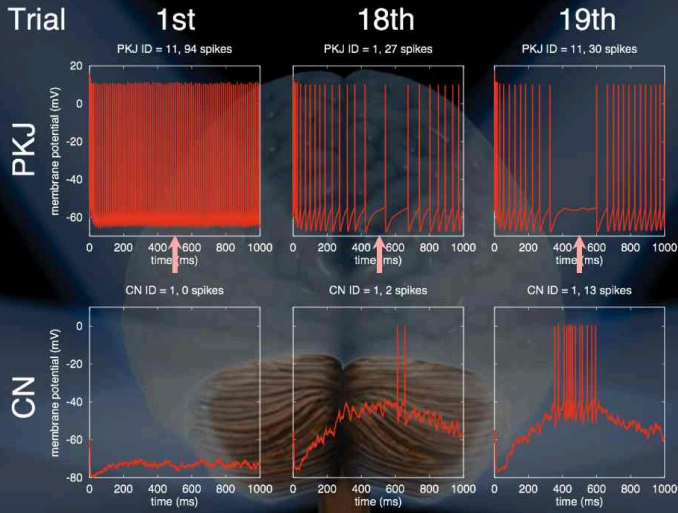
$$z_i(t) = \left[I - \sum_j w_{ij} \sum_{s=1}^t e^{-(t-s)/\tau} z_j(s-1) \right]^+$$

田中繁先生
が考案。

Raster plot of granule cells

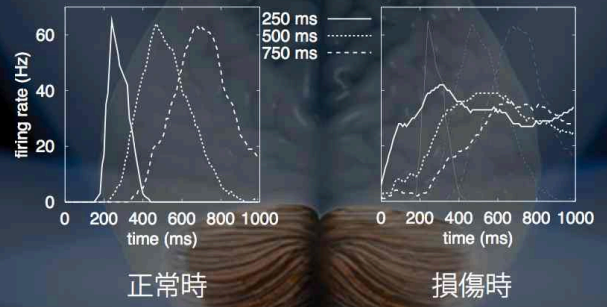
Yamazaki T, Tanaka S (2005) Neural modeling of an internal clock. Neural Computation 17:1032-1058.





Yamazaki T, Tanaka S (2007) A spiking network model for passage-of-time representation in the cerebellum. Eur J Neurosci 26:2279-2292.

瞬目反射の条件付け



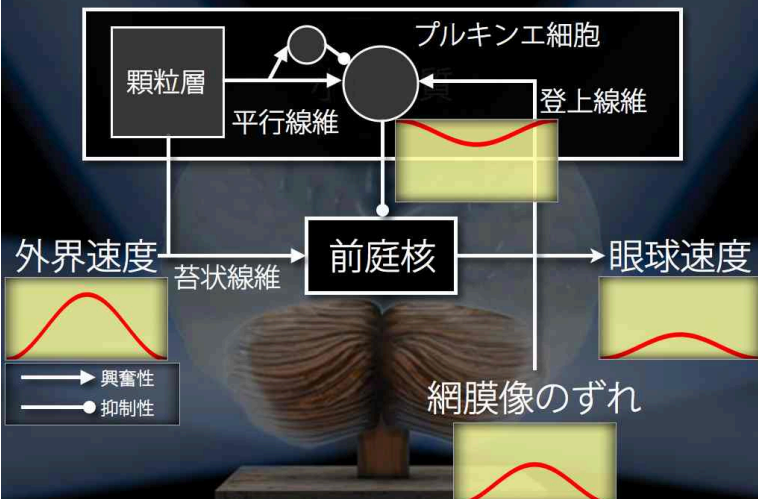
Yamazaki T, Tanaka S (2007) A spiking network model for passage-of-time representation in the cerebellum. Eur J Neurosci 26:2279-2292.

2. 小脳のゲイン制御機構

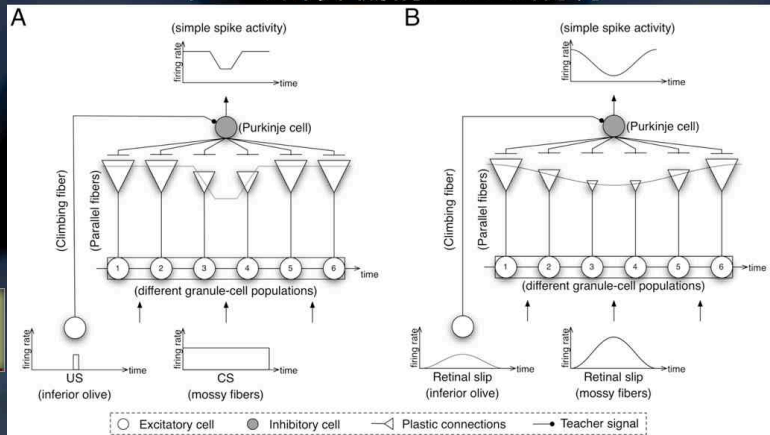
視機性眼球反応のゲイン適応 (Optokinetic Response, OKR)

外界の動きと同方向に眼球が動いて、網膜像のずれを減少させる反射運動

OKRゲイン適応の神経回路



単一の計算機構による説明

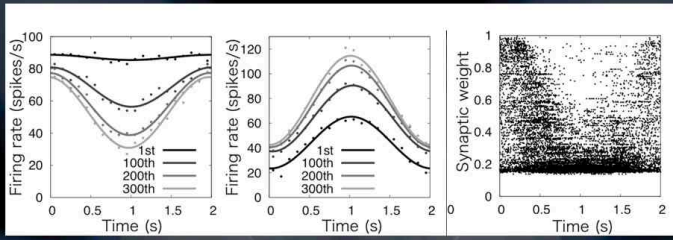


瞬目反射の条件付け

OKRゲイン適応

Yamazaki T, Nagao S (2012) A computational mechanism for unified gain and timing control in the cerebellum. PLoS ONE 7:e33319.

OKRゲイン適応のシミュレーション

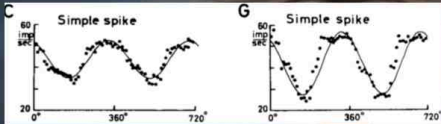


プルキンエ細胞

前庭核

シナプス重み

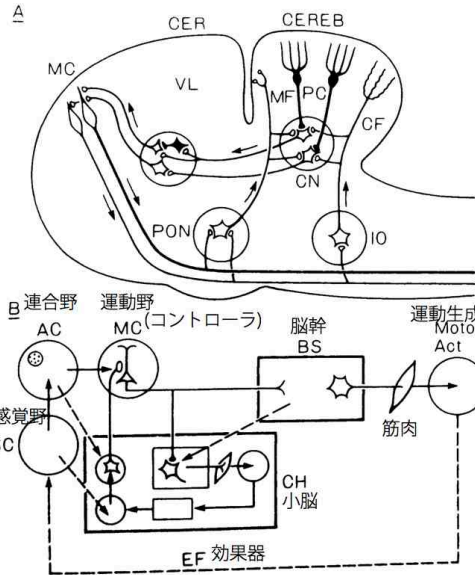
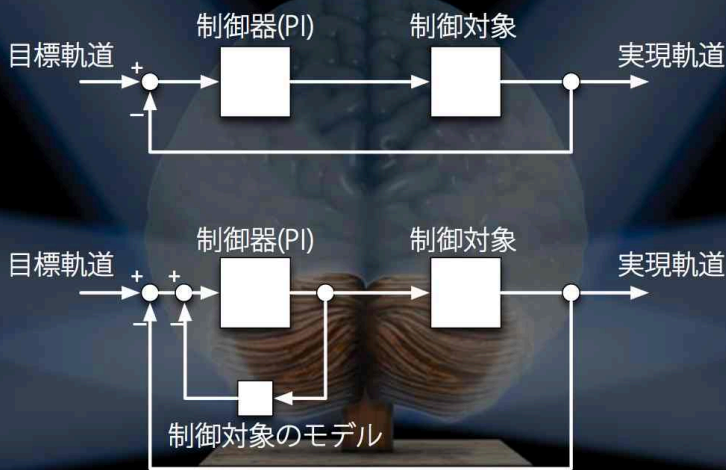
Yamazaki T, Nagao S (2012) A computational mechanism for unified gain and timing control in the cerebellum. PLoS ONE 7:e33319.



Nagao S (1989) Behavior of floccular Purkinje cells correlated with adaptation of vestibulo-ocular reflex in pigmented rabbits. Exp Brain Res 77:531-40.

3. 小脳内部モデル仮説

フィードバック制御 vs 順モデル予測制御



大脳小脳連関

Ito M (1984). The cerebellum and neural control, Raven Press.

運動制御 = ゲイン制御 + タイミング制御

単一の計算機構で説明

何をどこまで計算できるのか？

Liquid state machine (LSM) と等価

Yamazaki T, Tanaka S (2007) The cerebellum as a liquid state machine. Neural Networks 20:290-297.

汎用の教師付機械学習のアルゴリズム

任意の時系列のペアを学習可能

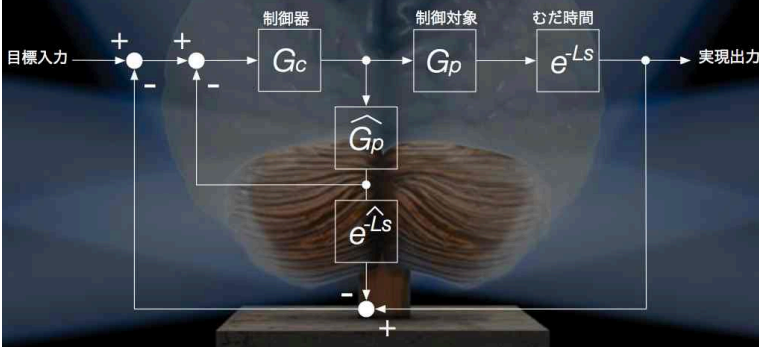
学習の収束が速い

ロボット制御・時系列予測等幅広い工学応用

Smith Predictor

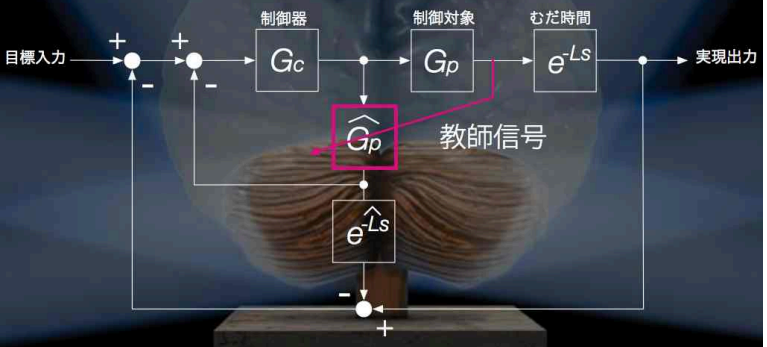
Smith OJM (1958). A controller to overcome dead time. ISA Journal 32:28-33.

むだ時間のある制御対象のフィードバック制御
 制御対象の順モデルを利用した予測制御



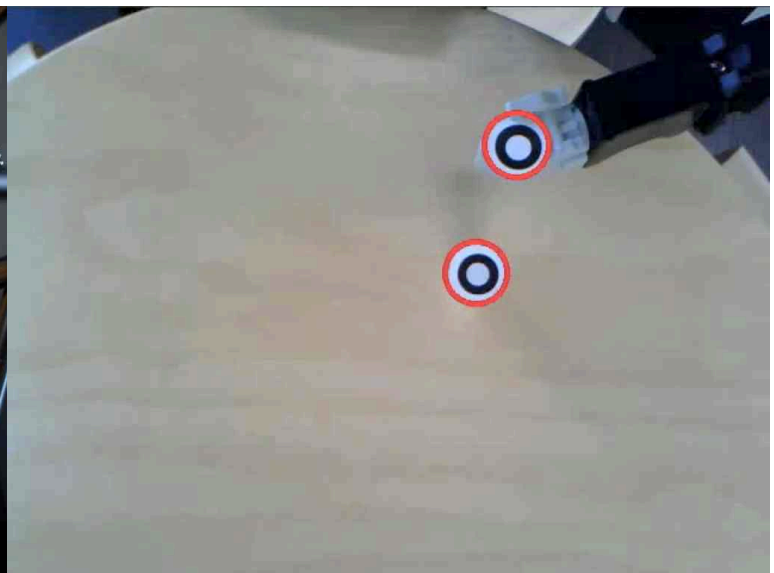
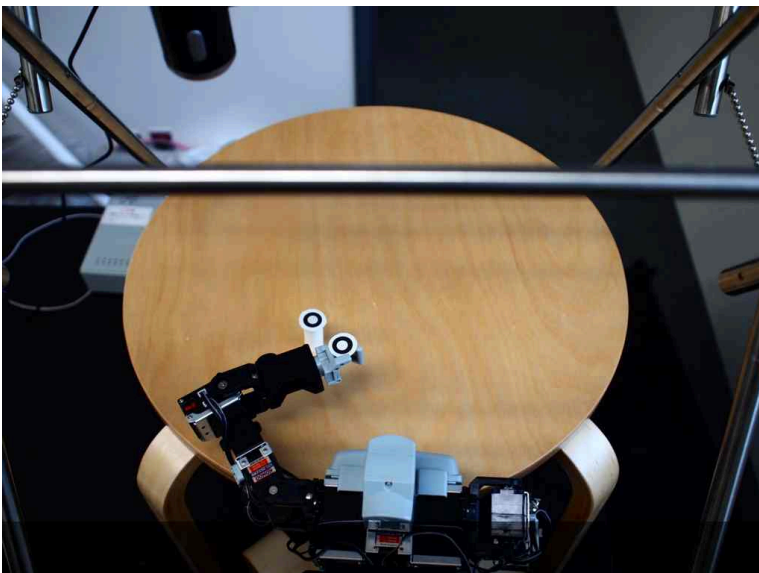
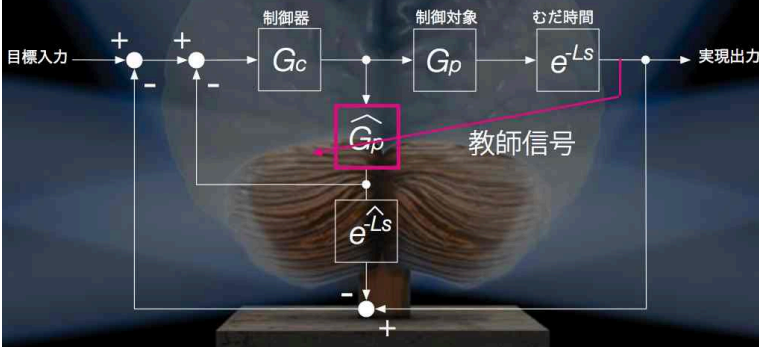
モデルを学習によって求めたい

制御対象の出力そのものを 教師信号にできれば、
 教師付学習で可能。

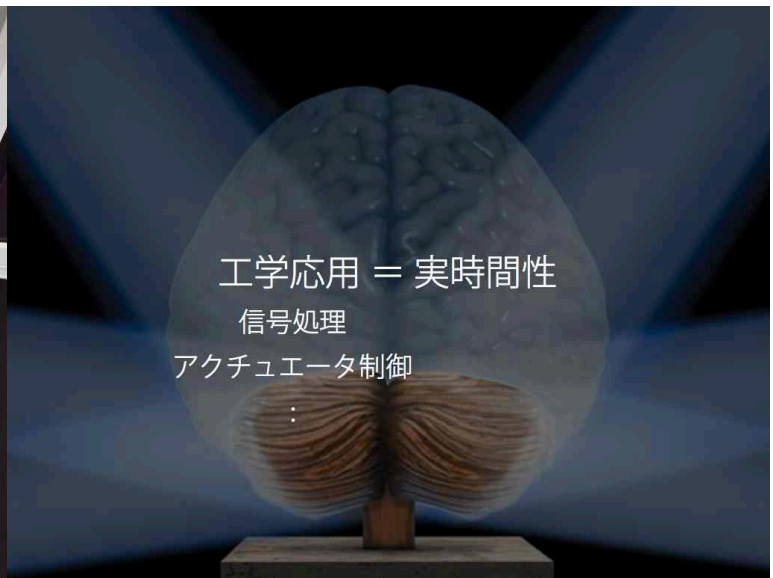
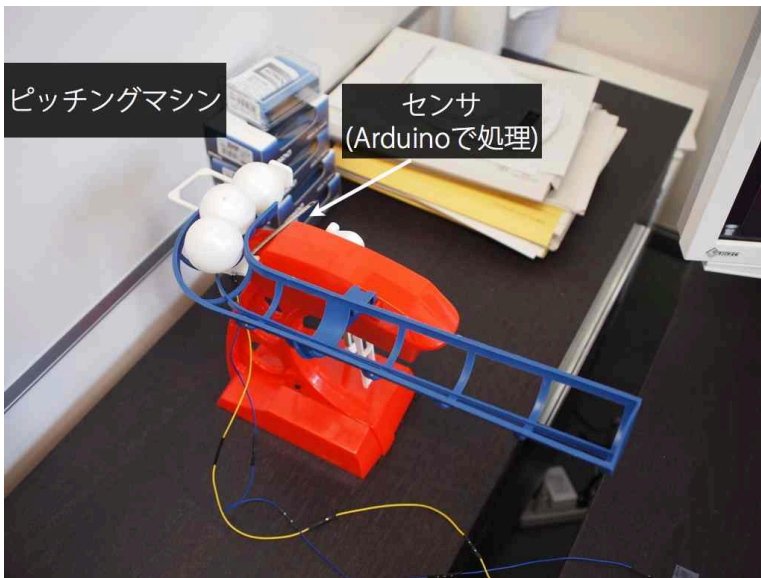
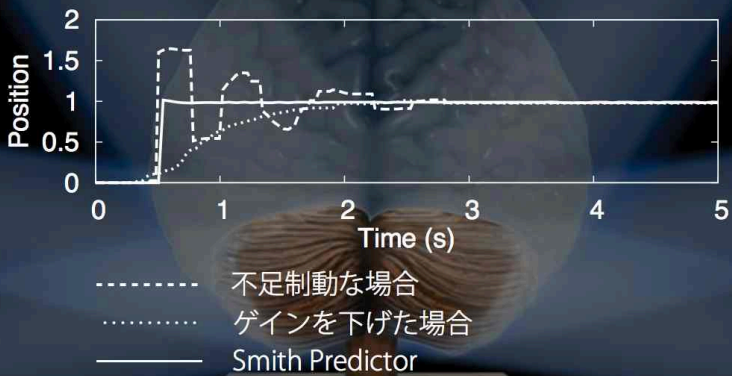


観測できる教師信号にはむだ時間

むだ時間付きの出力からむだ時間のない出力を求め
 る術が必要である



手先位置のプロット



Simulation Platform - INCF Japan Node

http://sim.neuroinf.jp/

Simulation Platform
Supported by INCF Japan Node

検索

To English

カテゴリから選択 | グリッドポータル | フォーラム | リンク | サイト情報

Article on Simulation Platform

We published an article describing the system architecture of Simulation Platform:

Tadashi Yamazaki, Hidetoshi Ikeno, Yoshihiro Okumura, Shunji Satoh, Yoshimi Kamiyama, Yutaka Hirata, Keiichiro Inagaki, Akito Ishihara, Takayuki Kannon, Shiro Usui. Simulation Platform: A cloud-based online simulation environment. *Neural Networks* 24(7):693-698 (2011).

This article will be served as an open access article so that anyone can download the pdf. (Download)

Demonstration for Neuroinformatics2011 and Neural Networks Special Issue

Live Simulation: Models on J-Node Platforms

<p>Moore JW, Desmond JE, and Barthler NE (1989). Adaptively Timed Conditioned Responses and the Cerebellum: A Neural Network Approach. <i>Biol Cybern</i> 62:17-28</p>	<p>Ikeno H (2002). Reconstruction of projection image on honeybees' compound eye. <i>IEICE Trans</i> 6:1137-1139.</p>	<p>Neocognitron for 3D object view recognition simulator written by C language</p>
--	---	--

Yamazaki T et al. (2011) Simulation Platform: A cloud-based online simulation environment. *Neural Networks* 24:693-698.

Join the conversation

オンライン状況

2人のユーザが現在オンラインです。

登録ユーザ: 0
ゲスト: 2

もっと...

Simulation Platform simulationpf

Thank you all for coming to our poster yesterday! We really appreciate your comments on our service! Stay tuned!

132 days ago · reply · retweet · favorite

poster session starting now.

133 days ago · reply · retweet · favorite

Our poster #346 is shown in room D32. Please visit us this afternoon!

133 days ago · reply · retweet · favorite

We participate in CNS*2011 starting today and present a poster and a live demo on day 3. Visit our poster #346!

133 days ago · reply · retweet · favorite

Our paper submitted to Neural Networks Special Issue is now online! <http://t.co/k5XZC5v>

149 days ago · reply · retweet · favorite