

# Shoubuで実現する ネコー匹分の人工小脳

山﨑 匡 (電通大) NumericalBrain.Org

### 今日の内容

Shoubuへの人工小脳の実装について主にお話します。

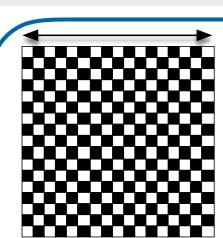
- ・脳のシミュレーションって何?
- ・小脳って何?
- ・人工小脳はどうやって作る?
- Shoubu利用の実際

Shoubuの人工小脳の応用についてはお話しません。

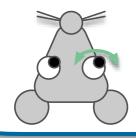
- ・ 単純に何もできてないからです。
- もし期待されていたらごめんなさい。
- ・いつかまた。

運動記憶の定着過程のシミュレーション

Shutoh et al. Neuroscience (2006)



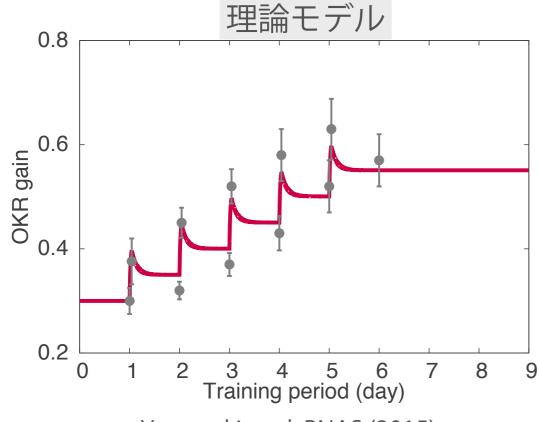
視野像を左右に ゆっくりと動かす



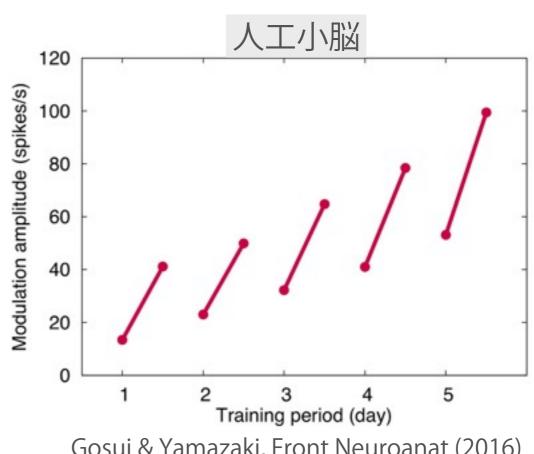
目は同じ方向に回転する (視機性眼球運動, OKR)

目の動きの大きさ

-ニング日数



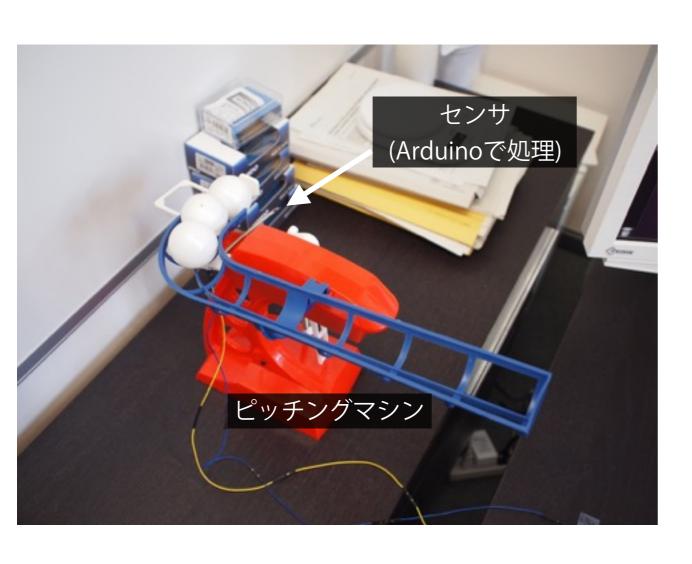
Yamazaki et al. PNAS (2015)

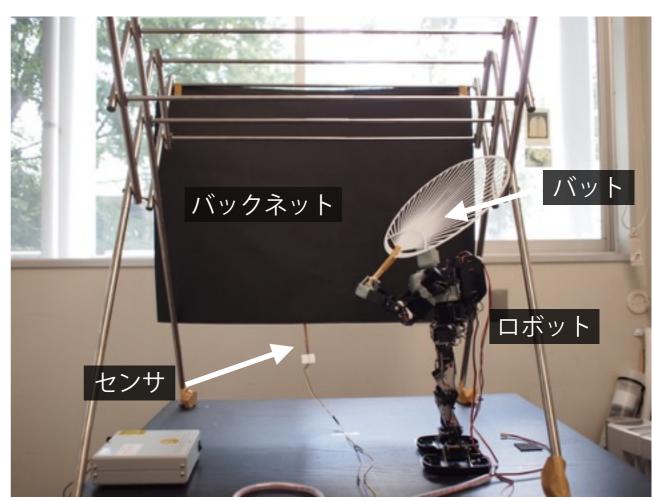


Gosui & Yamazaki, Front Neuroanat (2016)

### GPU版人工小脳の応用例 (2/2)

小型ロボットのタイミング学習



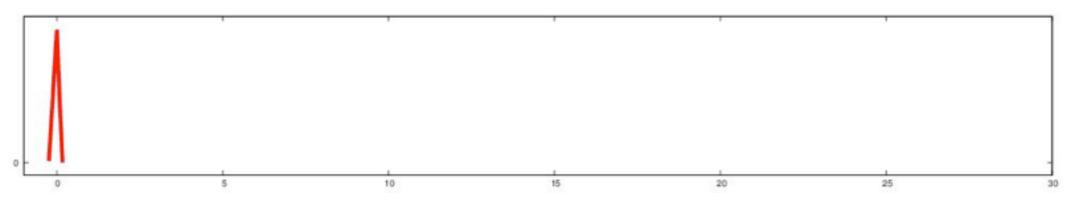


飛んでくるボールのタイミングを学習してバットを振る

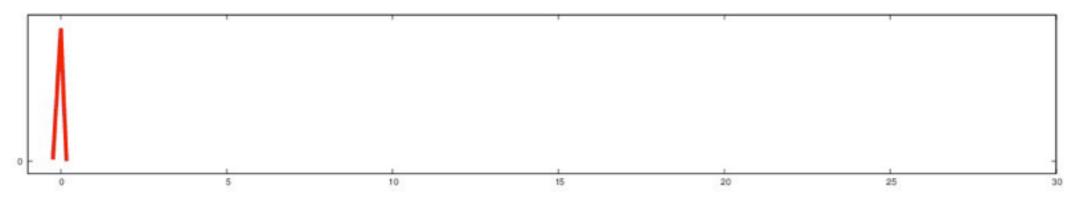
Yamazaki, Igarashi. Neural Netw (2013)

# 小脳による歩行制御 (1/2)

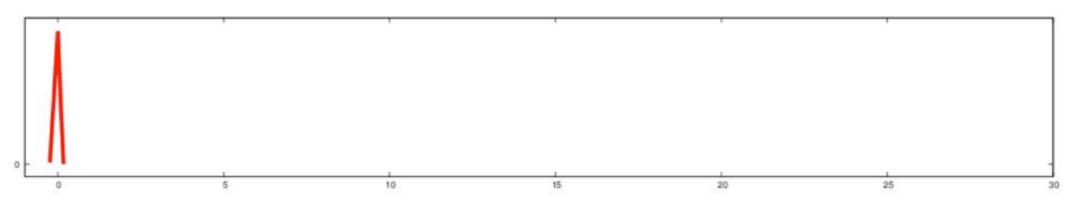
下肢筋骨格系動力学モデル+小脳モデルによる制御



両側の小脳を停止した場合



片側の小脳を停止した場合



#### 脳神経回路シミュレーション

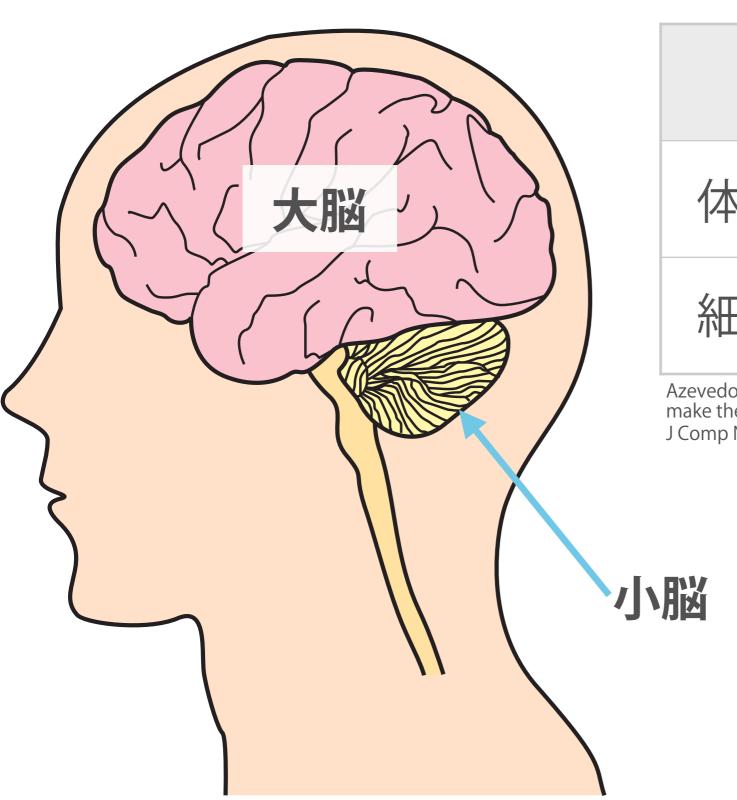
#### 人工の脳がなぜ必要か

脳のシステム的理解 実験では不可能な操作の実施 動物に過度の負担をかける実験の置き換え 脳の病気に対する新しい治療法の開発 脳型人工知能の構築

#### EUのThe Human Brain Project

ヒト全脳シミュレーション10年で10億ユーロ

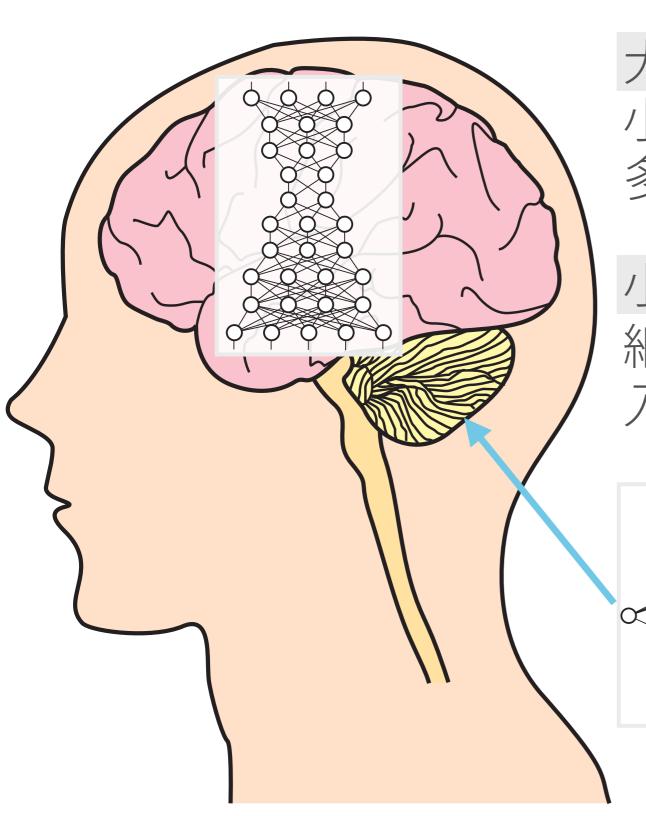
# 大脳と小脳(1/2)



	大脳	小脳
体積比	80%	10%
細胞数	1.6×10 <sup>10</sup> (19%)	6.9×10 <sup>10</sup> (80%)

Azevedo FA et al. Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. J Comp Neurol. 513:532-541, 2009.

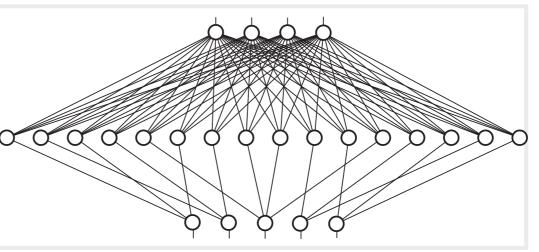
# 大脳と小脳(2/2)



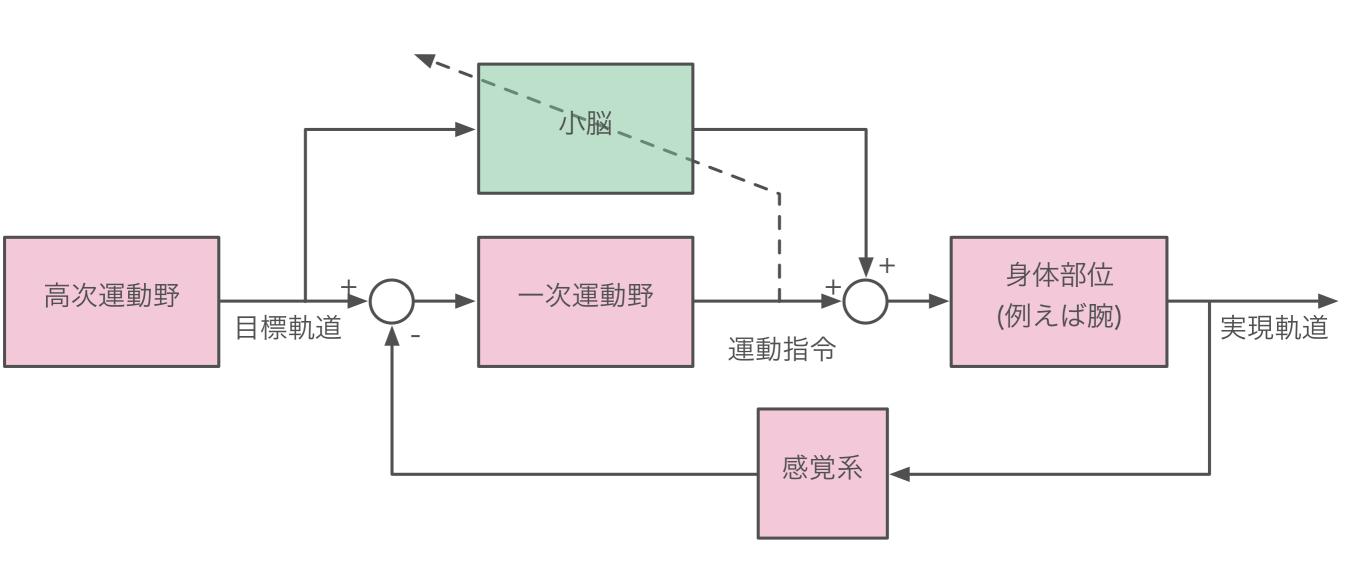
大脳: 深層低次元学習 小数の細胞を階層的に積む 多階層で次元を削減

小脳: 浅層高次元学習

細胞数にものを言わせて力任せ 入力を高次元空間に写像して処理

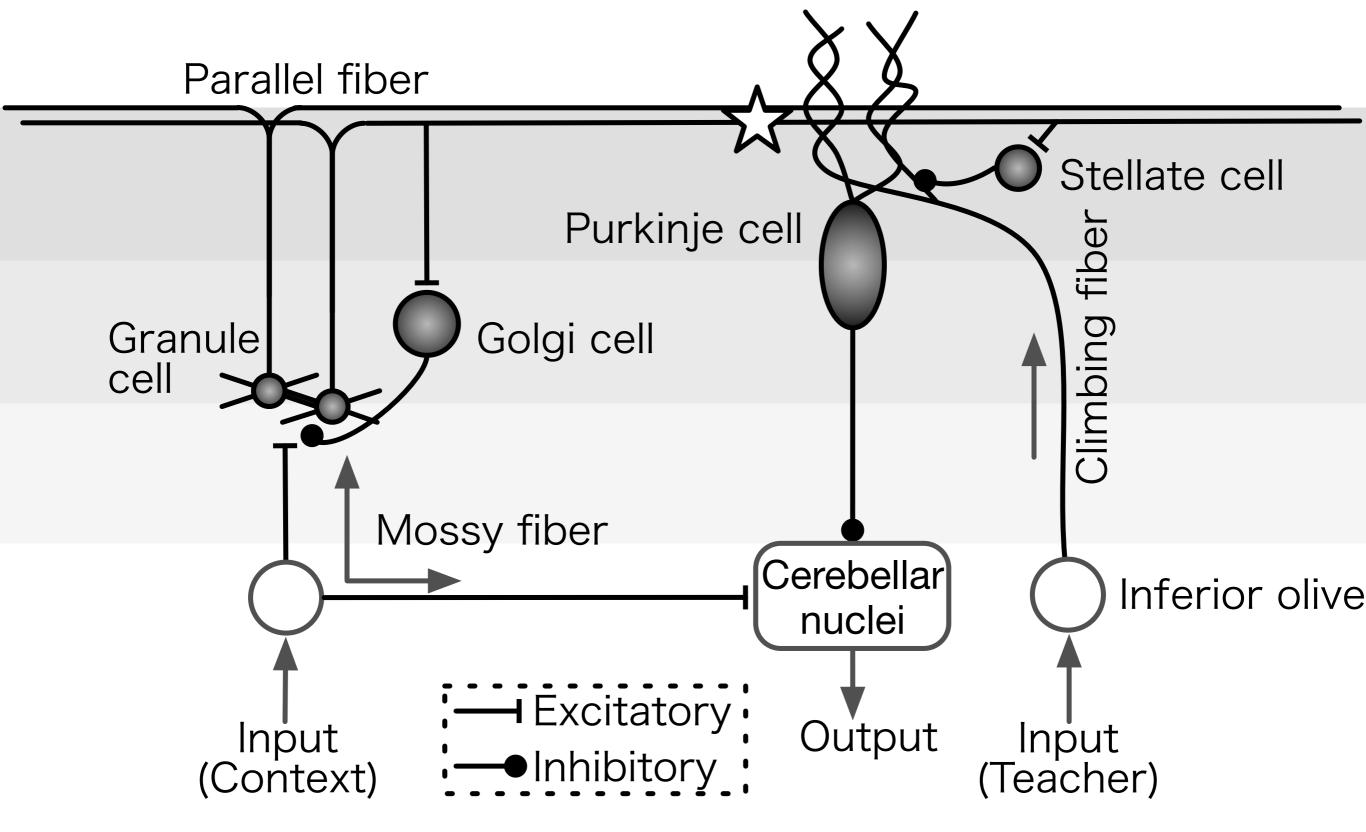


# 小脳の役割 (1/2)

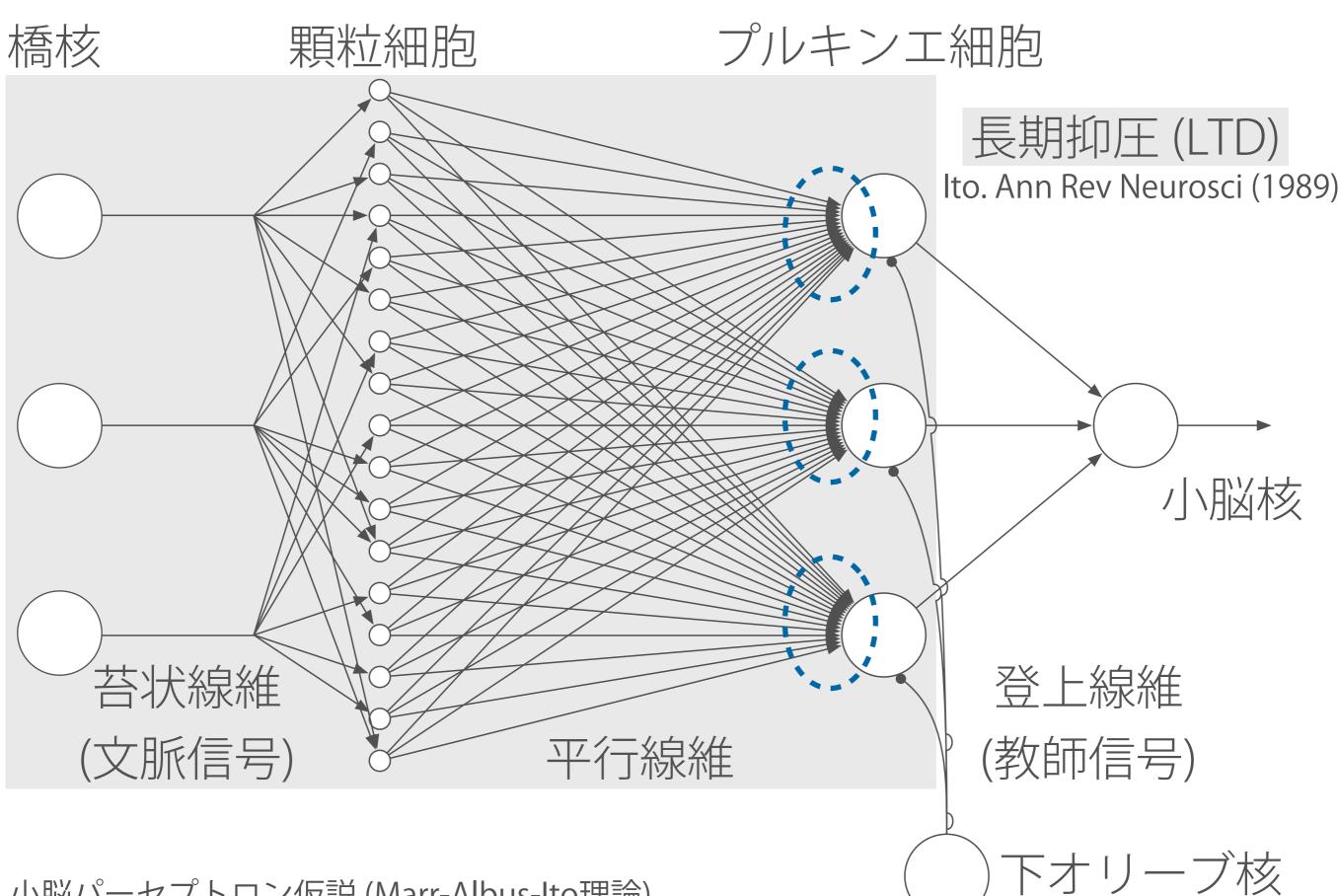


フィードバック誤差学習 (Kawato 1987)

#### 小脳皮質核微小複合体=小脳の機能単位

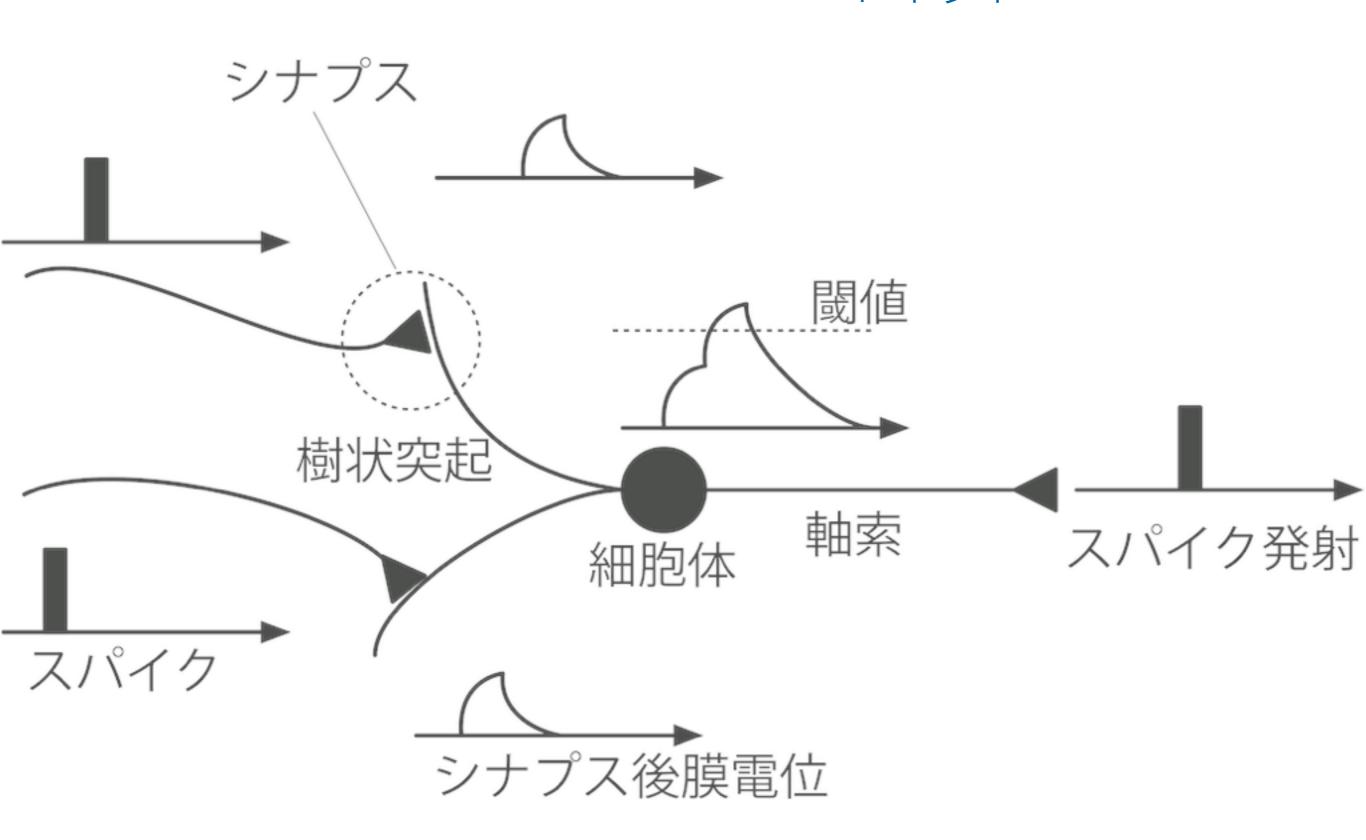


# 小脳の計算=教師付学習



小脳パーセプトロン仮説 (Marr-Albus-Ito理論)

## ニューロンの計算



### ニューロンモデルの数式

膜電位(細胞の活動)を表す微分方程式 状態

$$C\frac{dV}{dt} = -g_{\text{leak}} (V(t) - E_{\text{leak}}) - g_{\text{ex}}(t) (V(t) - E_{\text{ex}})$$
$$-g_{\text{inh}}(t) (V(t) - E_{\text{inh}}) - g_{\text{ahp}}(t) (V(t) - E_{\text{ahp}})$$
$$V(t) > \theta \Rightarrow \text{Spike}$$

コンダクタンスの計算式 
$$g_x(t) = \overline{g}_x \sum_j w_j \int_0^t \alpha(t-s)\delta(s)ds$$

N本の膜電位の式と3N本のコンダクタンスの式を 1ステップ毎(1ms)に計算していく。

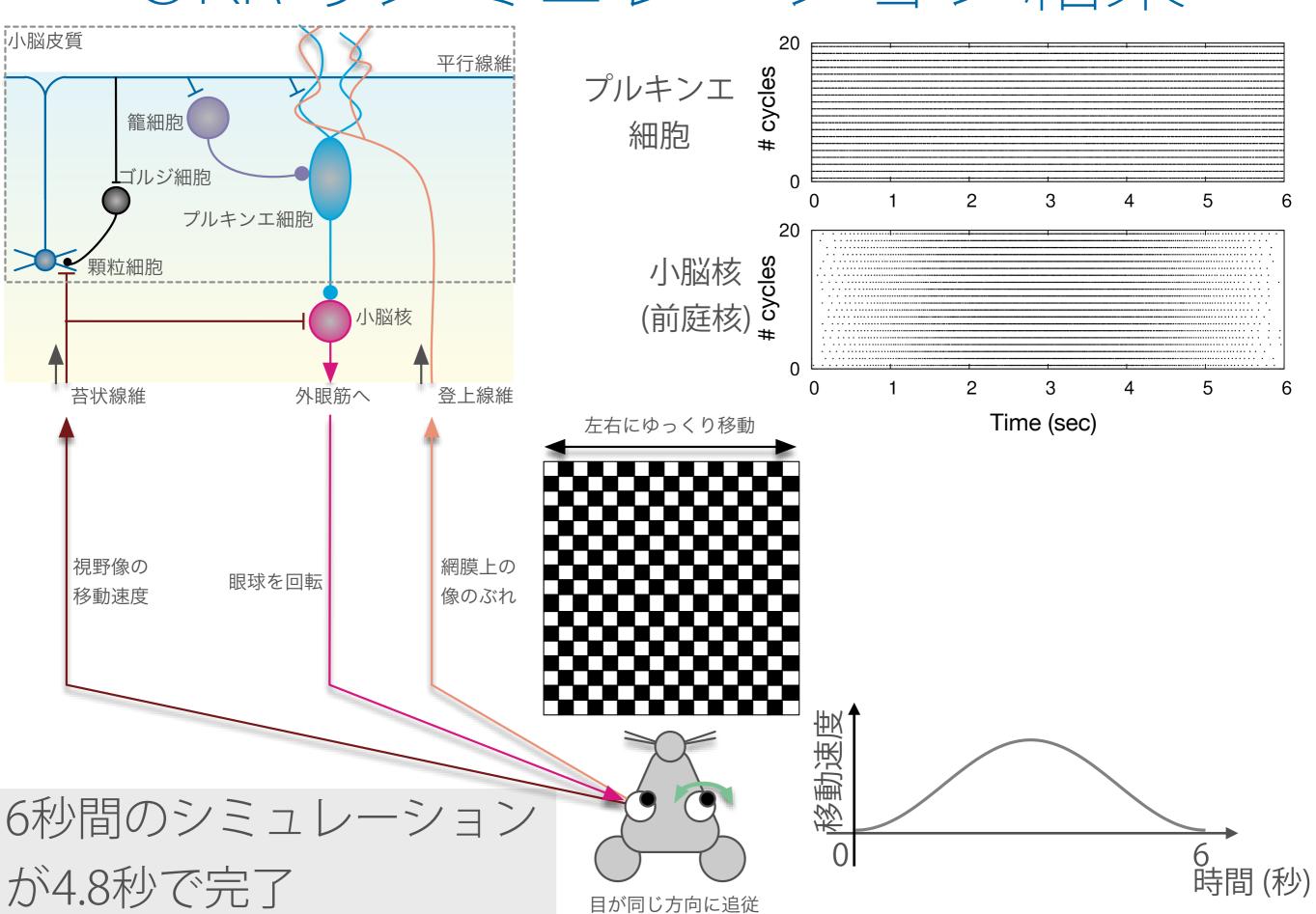
### Shoubu上の人工小脳

- 1,008 PEZY-SCチップ (252/320ノード)を利用
- ・4月上旬の時点で単精度ピーク性能2.6PFlops
- 実行効率 2.6%
- 10億 (= 109) ニューロンからなる小脳回路を実装
  - ・ニューロン数でネコ1匹分の小脳相当
  - 面積換算で62×64 mm<sup>2</sup>
- 実時間シミュレーション
- ・1秒間の小脳の神経活動を1秒以内でシミュレート
- Δt=1ミリ秒

もちろん世界最大

最高速 最も精緻

### OKRのシミュレーション結果



### 将来計画

ピーク性能2.6PFのShoubuで10<sup>9</sup>ニューロン (ネコ小脳相当) (4月上旬)

バージョンアップ後のShoubuで10%弱の性能向上! さらに1280SCでの動作を確認! (昨日) (13.4億ニューロン・72 x 70 mm²)

ピーク性能260PFマシンで10<sup>11</sup>ニューロン (ヒト小脳相当) (PEZY次世代機)

- 計算がメモリバウンド → 磁界結合に期待 (4TB/s!)
- ・顆粒細胞はPEZY-SC2で、それ以外はMIPSで計算

エクサフロップスマシンでヒト全脳シミュレーション (それ以降)

#### 応用の可能性



産総研AIセンター (NEDOプロ) にて全脳の機能モデルを構築

#### 研究目的

複雑な運動を少ない経験から学習・獲得し、滑らかに動作するための脳型人工知能の開発

#### 研究内容

運動制御に関わる

- ・大脳皮質 (運動の表現)
- ・大脳基底核(運動の生成)
- ・ 小脳 (運動の調節)

からなる全脳レベルの

神経回路モデルを構築

#### ポイント

- ・複雑な運動を単純な運動の時空間的組み合わせで表現
- ・フィードバックに頼らない内部モデルによる予測制御

#### 謝辞

理化学研究所情報基盤センター

姫野龍太郎 先生 黒川原佳 先生

PEZY Computing / ExaScaler

齊藤元章 様木村耕行 様鳥居淳様田中英行様

高エネルギー加速器研究機構

石川正先生

共同研究者

五十嵐潤様(理研) 宮本大輔様(東大) 牧野淳一郎先生(神戸大) 戎崎俊一先生(理研)