

運動細胞のモデルの構想

産業技術総合研究所

2007-10-16

一杉裕志

概要

- M1から脊髄の運動細胞への結合は、M1の抽象度の高い運動指令を、具体的な運動細胞の活動に変換していると思われる。
- 以下の仮説を提案する。
 - この変換は、ヘブ則学習で獲得される。
 - 同様の機構により、確率分布で表現されたM1の運動指令から、筋収縮の強さを表す運動細胞の活動への変換も獲得される。

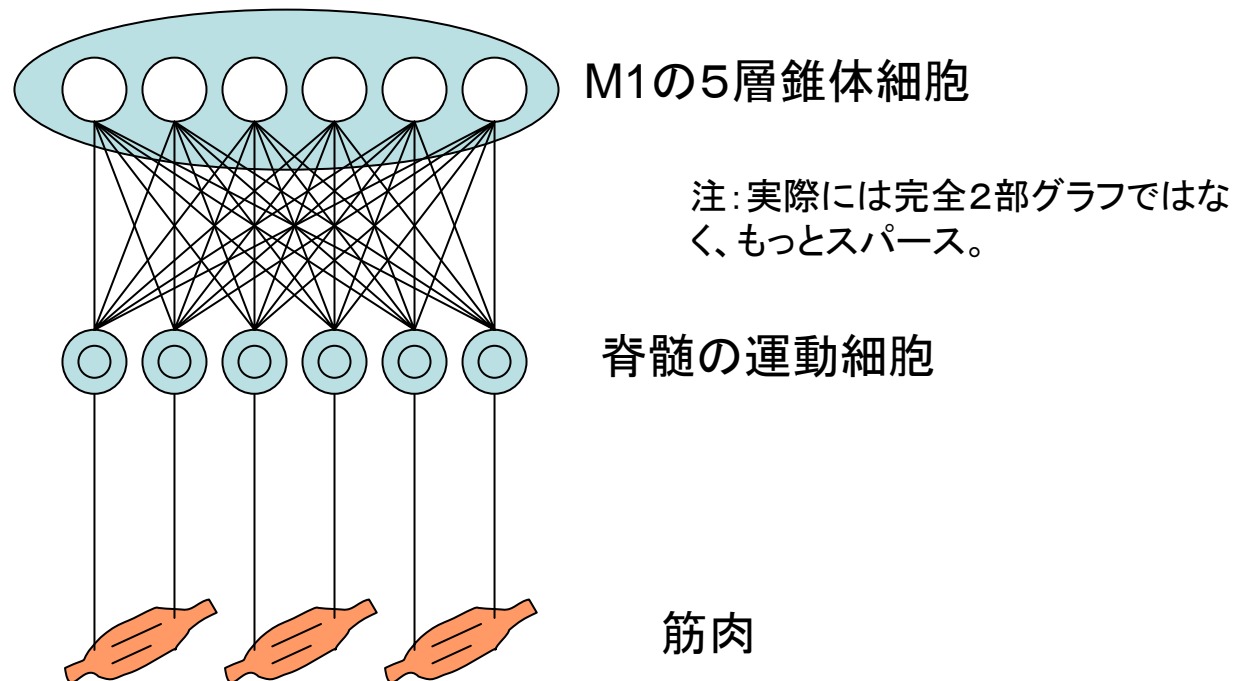
背景

- M1 (一次運動野) が出力する抽象度の高い運動指令を具体的な筋肉の動きに変換する機構はいかにして形成されるのだろうか。
- BESOM モデル [Ichisugi 2007] によれば、大脳皮質の領野は下位の領野から送られてくる情報を圧縮し、確率変数の値の確率分布として表現する。M1 も例外ではない。それが正しいとすれば、M1 が出力する確率分布表現は、いかにして筋収縮の強さに変換されるのだろうか？

神経科学的知見1

- M1の5層錐体細胞は脊髄にある運動細胞に多対多で投射。脊髄の運動細胞は筋肉に投射。([丹治 1999] p.29)

模式図



神経科学的知見2

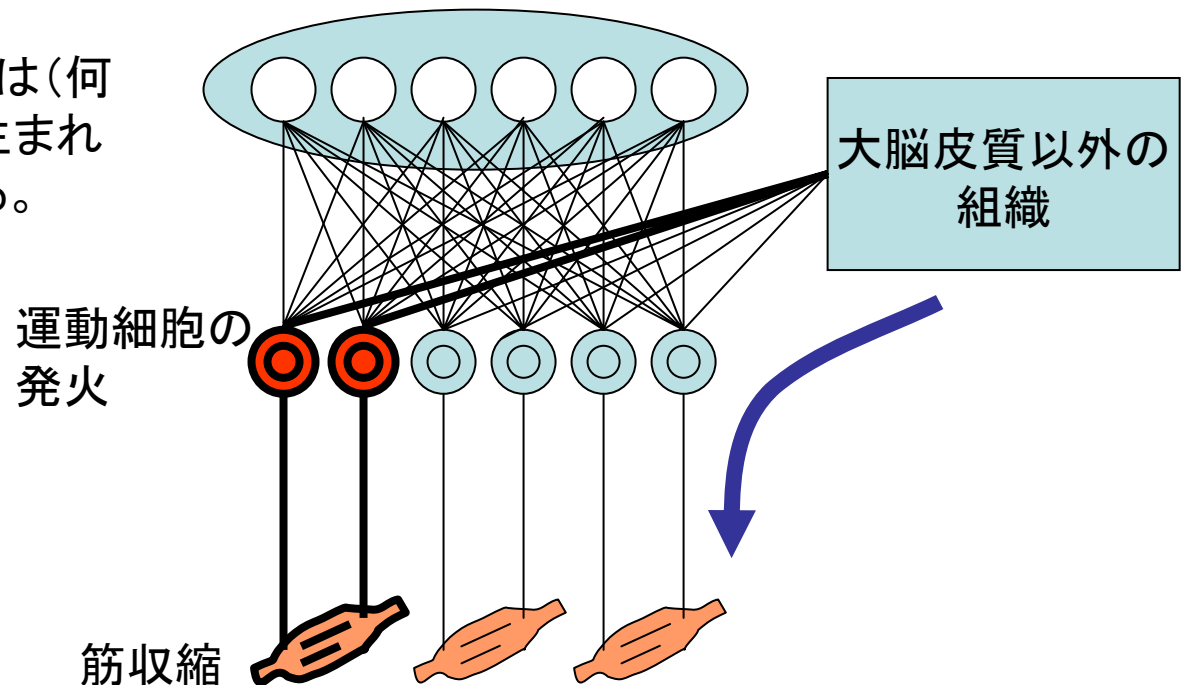
- M1のニューロン活動は、運動に関する抽象度の高い情報を表現しているようである。
 - M1のニューロン集団の活動から、運動の方向を予測可能。[Georgopoulos, Schwartz and Kettner 1986]
 - M1には単一の筋収縮を誘発するような機能単位はない。([丹治 1999] p.28)

M1の抽象的な運動指令から運動細胞の具体的な活動への変換方法の学習モデルの提案

学習の流れ(1/3)

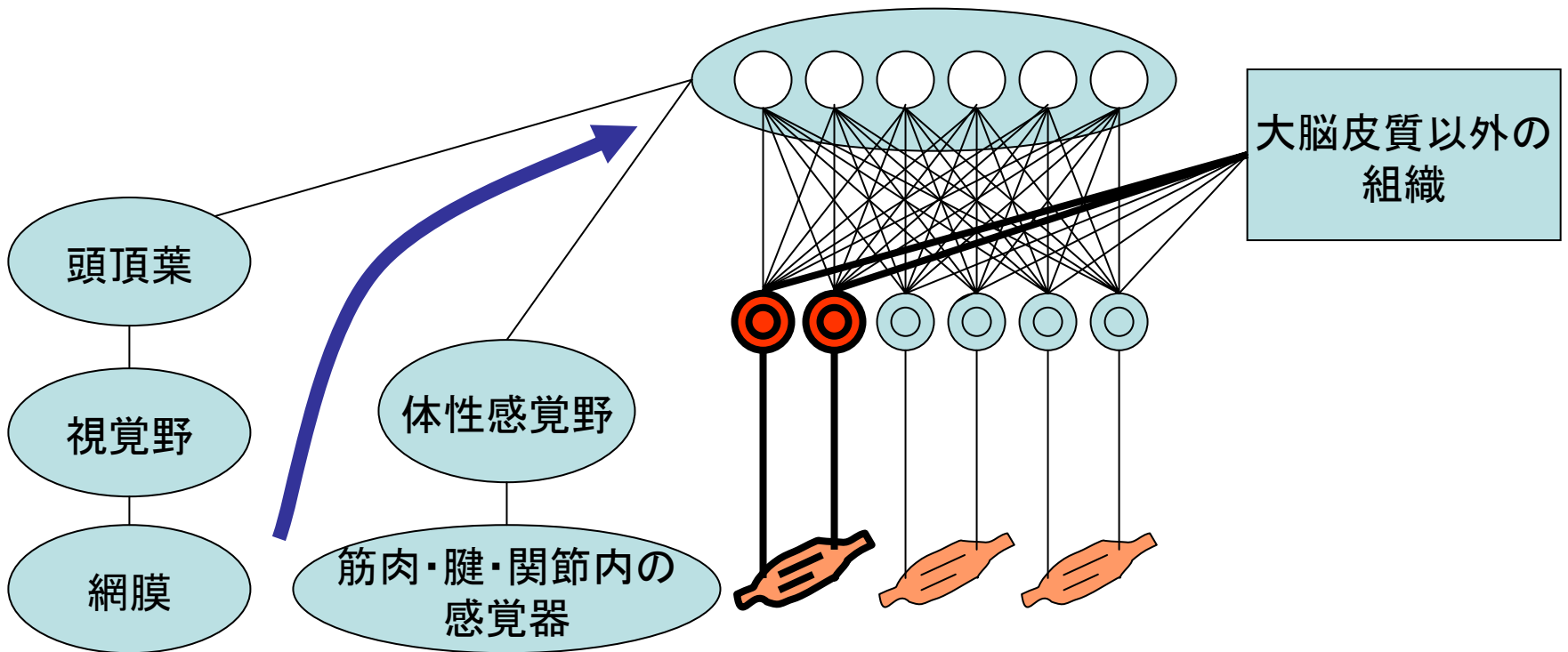
- 動物はM1 からの運動指令がなくても、脳幹からの運動指令や脊髄内の神経回路により、それなりに運動できる。

例えば、たいていの動物は(何も学習していないのに)生まれた直後に歩くことができる。



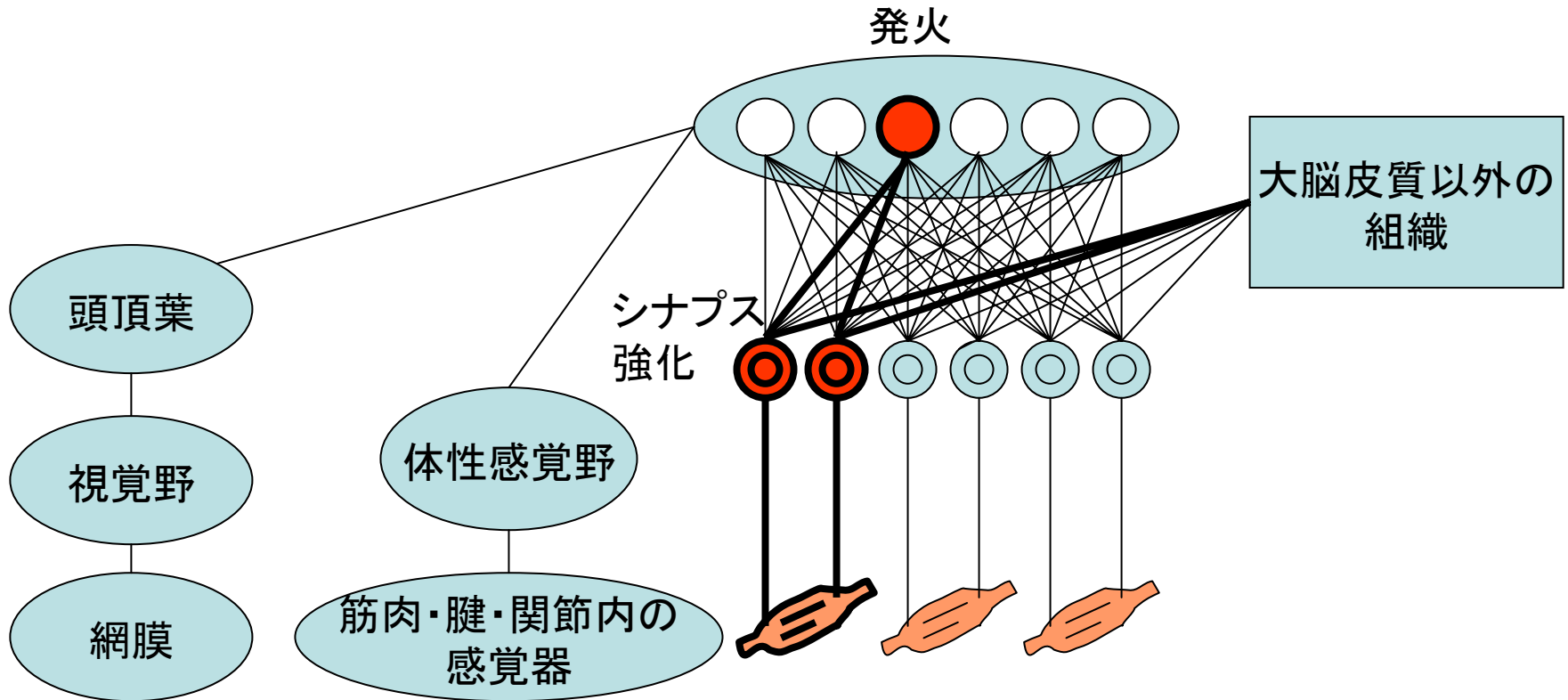
学習の流れ(2/3)

- 様々な感覚器を通して、実際に行われた運動の様子を表す情報が得られる。その情報をM1が圧縮し抽象化して記憶する。



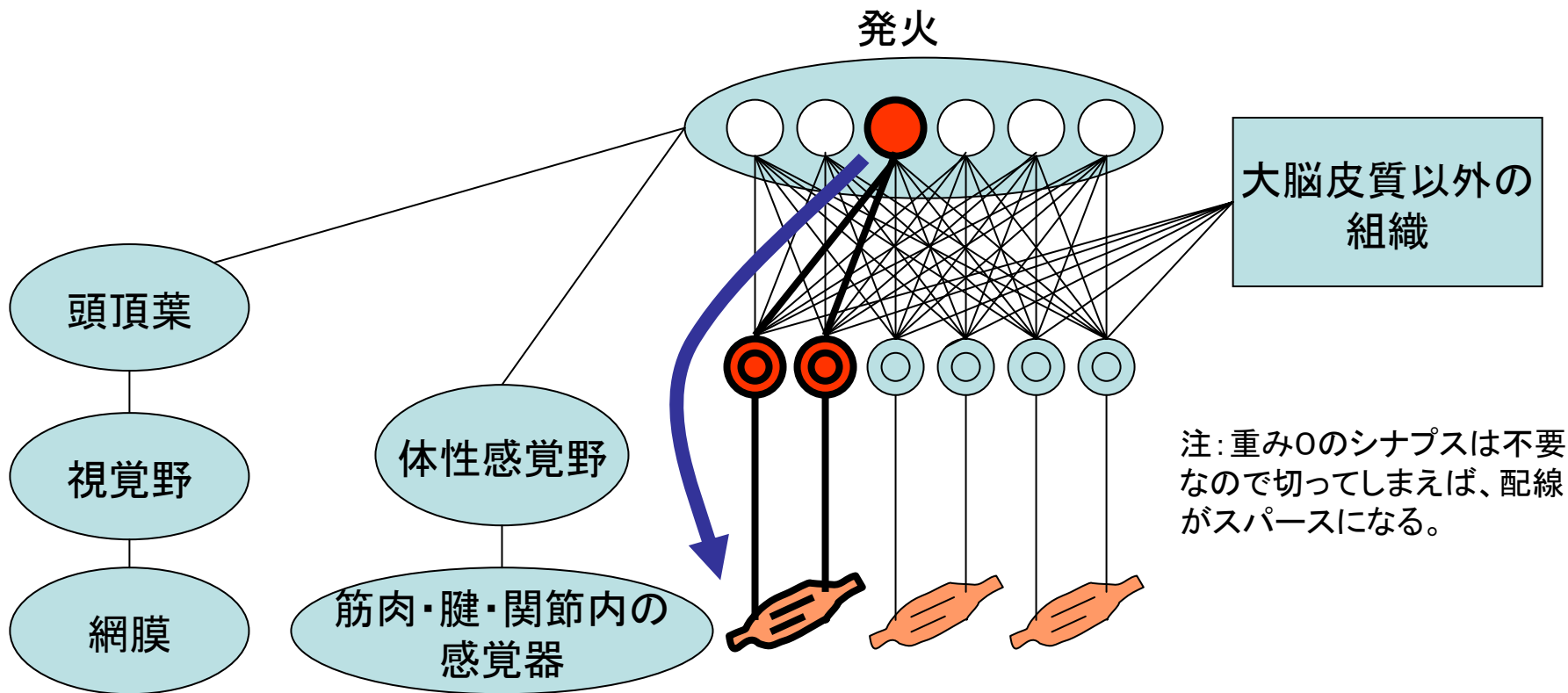
学習の流れ(3/3)

- M1 の出力は脊髄に向かう。ヘブ則により、M1が出力する抽象的な運動の様子と運動細胞の具体的な活動との関係が学習される。



学習終了後

- 学習が収束すれば、M1 から抽象的な運動指令を送れば、運動細胞の具体的な活動に変換されるようになる。



問題点

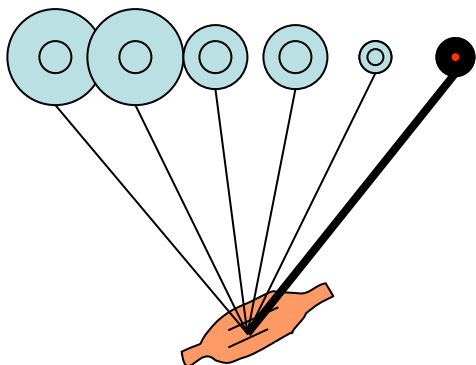
- 脊髄の運動細胞に投射するシナプスがヘブ則で学習するという神経科学的知見は存在しているだろうか？
- この機構だけだとM1と運動細胞の間の結合が必ずしも最適化されないように思う。(単に作り付けの運動制御方法をコピーするだけ。)また、体が成長したときにちゃんとキャリブレーションされるかどうかも怪しい。まだいくつかの機構の追加が必要だろう。

確率分布表現から筋収縮の強さ への変換

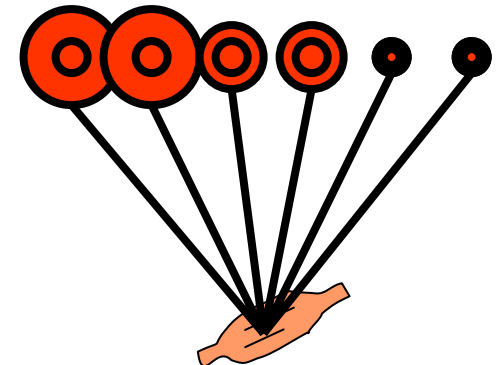
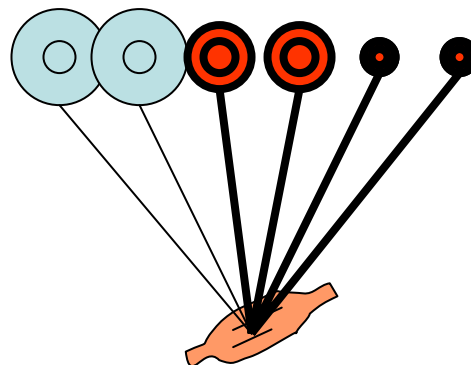
神経科学的知見

- 弱い筋収縮では小型の運動細胞のみ活動、強い筋収縮では大型の運動細胞も活動。
([丹治 1999] p. 11)

弱い筋収縮

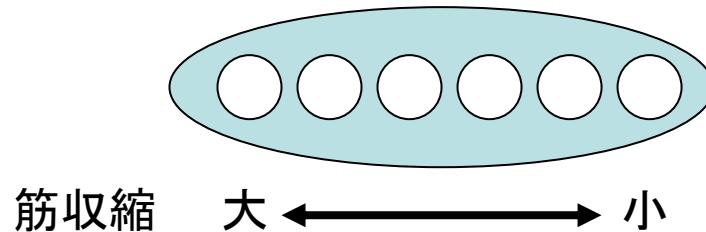


強い筋収縮



M1 における確率分布表現

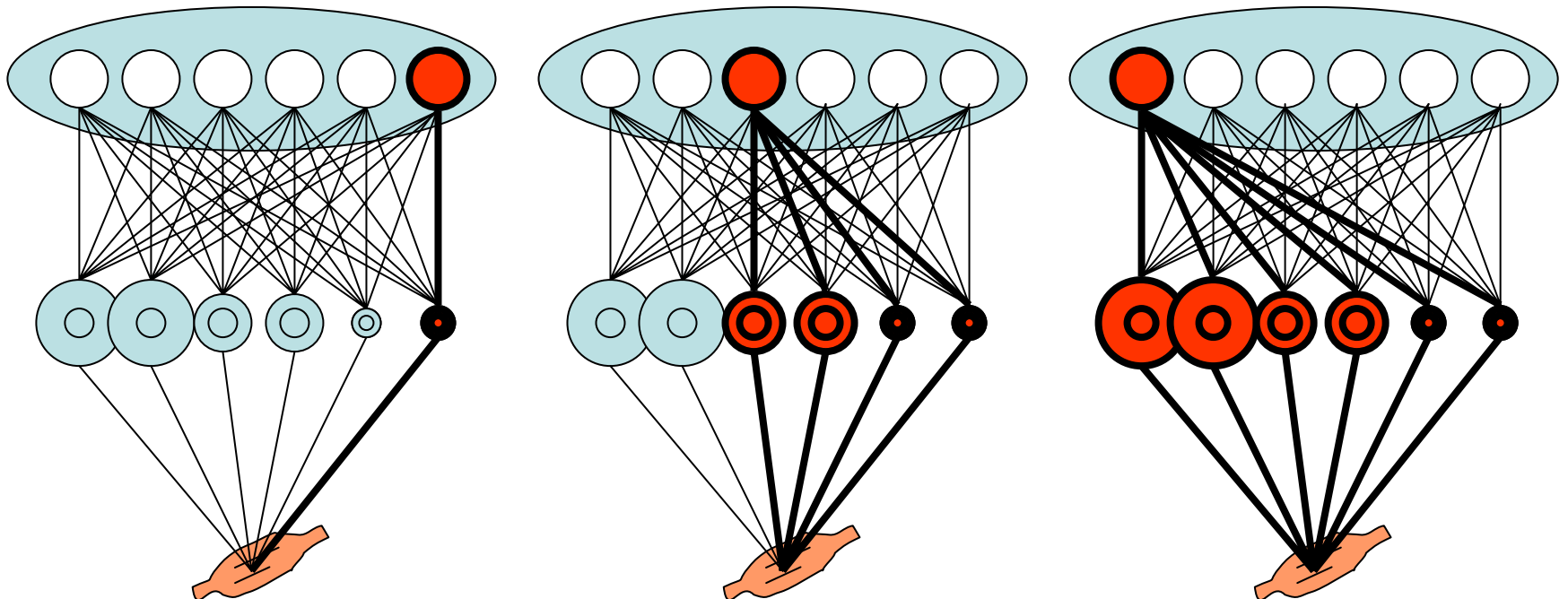
- BESOM モデルによると、5層錐体細胞の出力は確率分布を表す。「筋収縮の強さ」というアナログ値を表してはいない。
- 仮に筋収縮の強さを表現するならば下図のようになる。



ある筋肉の筋収縮の強さを表現するM1のハイパーコラム。
どのコラムが発火するかによって、筋収縮の強さを表現する。

5層錐体細胞の発火と筋収縮の強さとの関係の学習

- 同様にヘブ則で学習可能。



結論

- 確率分布表現から値表現への変換は、運動細胞のヘブ則学習を仮定する簡単なモデルで実現可能である。このことは、BESOMモデルの妥当性を示す1つの証拠と言える。

参考文献

- [丹治 1999] ★★★
丹治 順 著
脳と運動—アクションを実行させる脳
出版社: 共立出版 (1999/11)
ASIN: 432005394X