

電子計算機

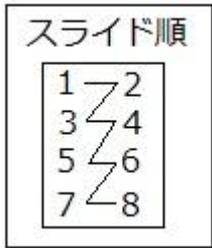
- ・1940年暗号解読のため進歩
- ・機械式(歯車式) Harvard Mk(1944)
- ・リレー式 Harvard Mk(1948)
- ・電子管(真空管)式 Pennsylvania MIT ENIAC(1945)ユニット化
18,000本の真空管日に1つの真空管が
- ・1957パラメロン計算機(電電公社武蔵野研 ⇒ FACOM 201, 202, 212 (高橋秀俊教授、後藤英一)
- ・1964 FACOM 280 (電子管)
- ・2002地球シミュレーション2003
35.9テラフロップ 当時世界一
非軍事目的で実用 m p u s t m d j k k
- ・2011「京」 8.1ペタフロ/秒 プ世界一

(参考:狐崎は地球シミュレーターのソフトを作った高度情報科学技術研究開発機構(RIST)が第2の職場 2003-2007)

コンピューターと脳

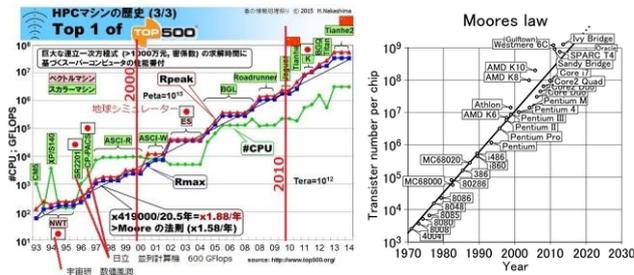
2019. 9. 27.
根津科学の会

狐崎晶雄

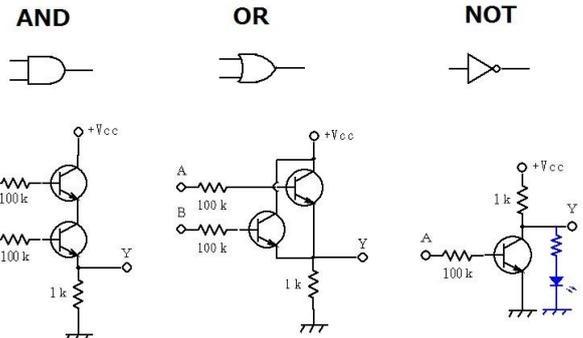


電子計算機(2)

1. すべてを「1」か「0」に直して処理(演算、記憶、伝送)する
2. 一つ一つは単純な操作、演算を高速度で実施
3. 入力装置、演算装置、記憶装置、出力装置から成る
冷却装置も重要
4. 高速計算は「並列計算」
5. 計算速度の進展 Mooreの法則 20年で約 10^6 倍

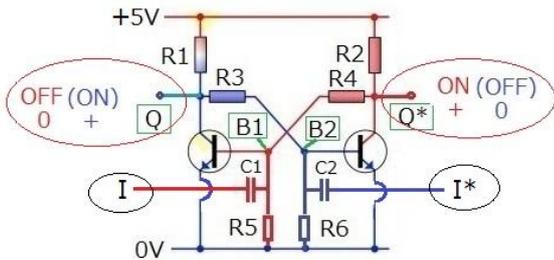


論理回路と記号、実際の回路例

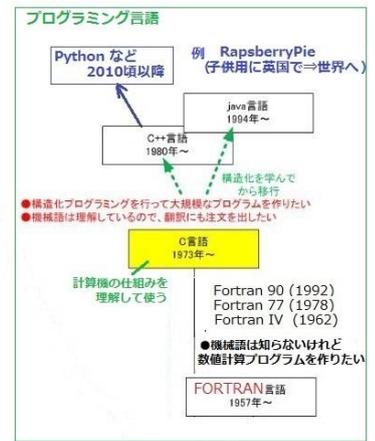
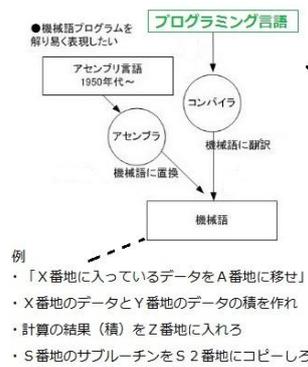


記憶回路・・・双極性回路(フリップフロップ)

- ・Q と Q* が、(0, 1) あるいは (1, 0) しかない。
- ・入力 (I or I*) に正パルスが入ると、(1, 0) が逆転する。



プログラム言語



コンピューターの中で何をやっているか

機械語で見ると

アセンブラプログラム	番地:機械語 (16進表記)	説明
PROG0 START 0000		; プログラムPROG0の開始位置 0000番地
LDA XXXX	0000:3A 0C 00	; XXXX番地の値をAレジスタにコピー
MOV B, A	0003:47	; Aレジスタの値をBレジスタにコピー
LDA YYYY	0004:3A 0D 00	; YYYY番地の値をAレジスタにコピー
ADD B	0007:80	; A+B=>A
STA ZZZZ	0008:32 0E 00	; Aレジスタの値をZZZZ番地にコピー
HLT	000B:76	; プログラムの実行停止
XXXX DC 12	000C:12	; メモリーに16進で値12を格納
YYYY DC 34	000D:34	; メモリーに16進で値34を格納
ZZZZ DS 1	000E:00	; バイト分メモリを空けておく
END		; プログラムPROG0の終端

※ 機械語の番地やラベルの値はアセンブラが計算してくれる

```

; プログラムPROG0の開始位置 0000番地
0000:3A 0C 00 ; XXXX番地の値をAレジスタにコピー
0003:47 ; Aレジスタの値をBレジスタにコピー
0004:3A 0D 00 ; YYYY番地の値をAレジスタにコピー
0007:80 ; A+B=>A
0008:32 0E 00 ; Aレジスタの値をZZZZ番地にコピー
000B:76 ; プログラムの実行停止
000C:12 ; メモリーに16進で値12を格納
000D:34 ; メモリーに16進で値34を格納
000E:00 ; 1バイト分メモリを空けておく
; プログラムPROG0の終端
    
```

- ・赤矢印を除けば、データをあちこちに移動しているだけ
- ・データの転送が多い(プロセスの90%)
- ・スパコンも配線だらけ

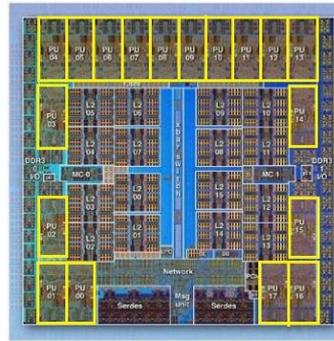
記憶装置(メモリー)

- 短期記憶 CPUの中に
高速度でデータをやりとり
記憶容量は大きくない
 - 長期、大容量記憶
速度は速くない
非常に大容量
データや演算手順(プログラム、サブルーチン)を
記憶
- 脳との対比
- 短期記憶 --- 海馬(?)
短期記憶を長期記憶に変えるのに海馬が重要
 - 長期記憶 --- 大脳皮質の記憶

小型計算機の例(中型?)

BlueGene/Q Compute chip ワンチップ・コンピュータ IBM

System-on-a-Chip design: integrates processors, memory and networking logic into a single chip

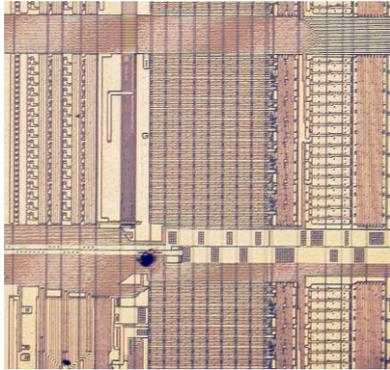


- 360 mm² Cu-45 technology (SOI)
 - 1.47 B transistors
- 16 user + 1 service processors
 - plus 1 redundant processor
 - all processors are symmetric
 - each 4-way multi-threaded
 - 64 bits PowerISA™
 - 1.6 GHz
 - L1 I/D cache = 16KB/16KB
 - L1 prefetch engines
 - each processor has Quad FPU (4-wide double precision, SIMD)
 - peak performance 204.8 GFLOPS@55W
- Central shared L2 cache: 32 MB
 - eDRAM
 - multiversioned cache
 - will support transactional memory, speculative execution,
 - supports atomic ops
- Dual memory controller
 - 16 GB external DDR3 memory
 - 1.33 Gb/s
 - 2 * 16 byte-wide interface (+ECC)
- Chip-to-chip networking
 - Router logic integrated into BQC chip.
- External IO
 - PCIe Gen2 interface

6cm x 6cm CPU 17個 CPU以外はメモリー

© 2011 International Business Machines Corporation

集積回路 (演算部もメモリーも)

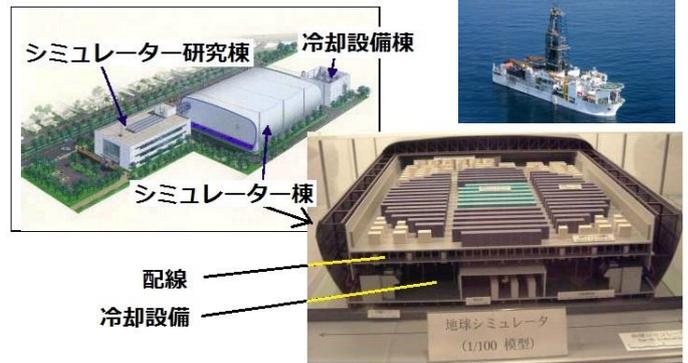


やや古い集積回路(IC)

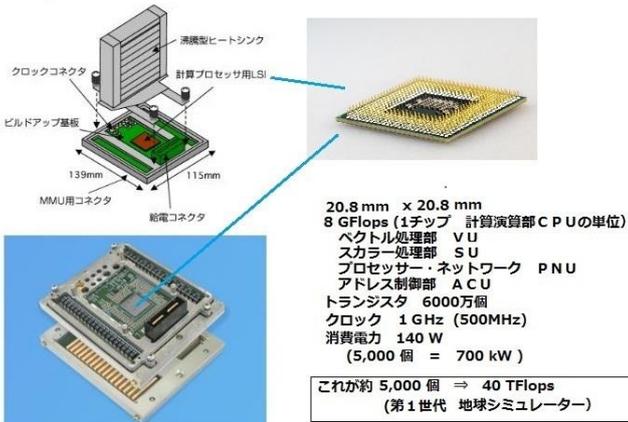
地球シミュレーター (ES)



地球シミュレーター (海洋研究開発機構 JAMSTEC)

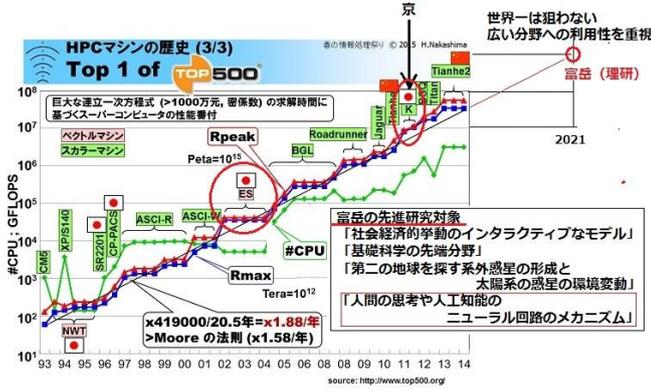


地球シミュレーターの演算処理部 (計算プロセッサ AP)



地球シミュレーター(ES)

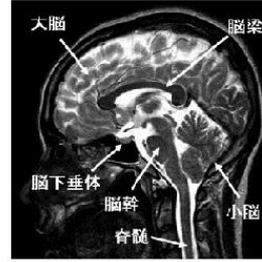
⇒ 京 ⇒ 富岳



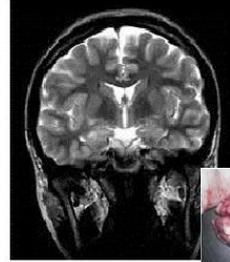
脳 Brain



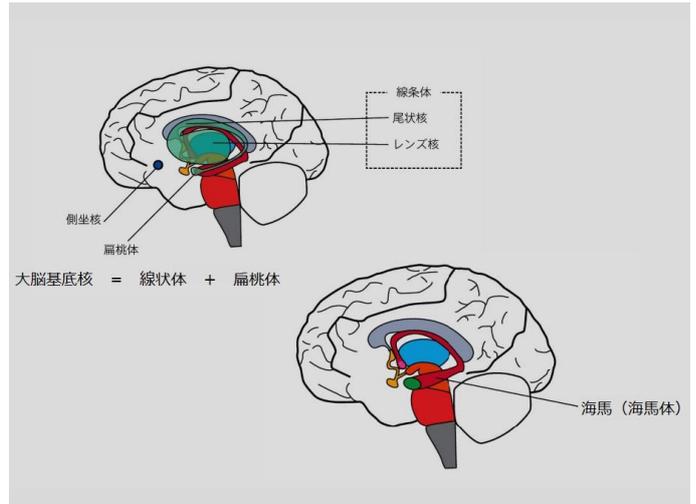
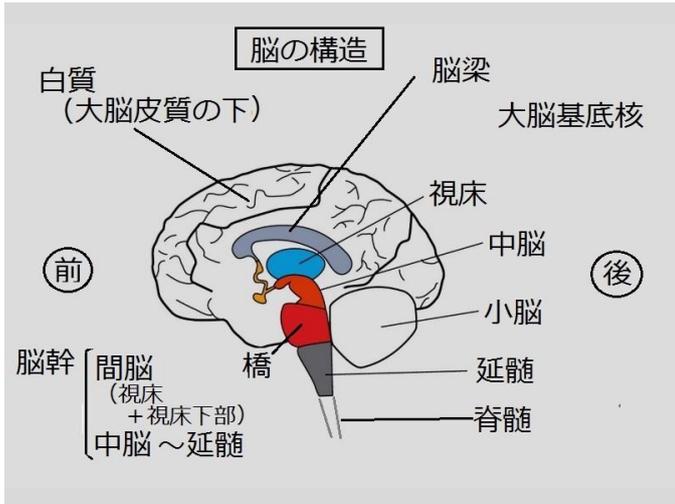
上から



左から

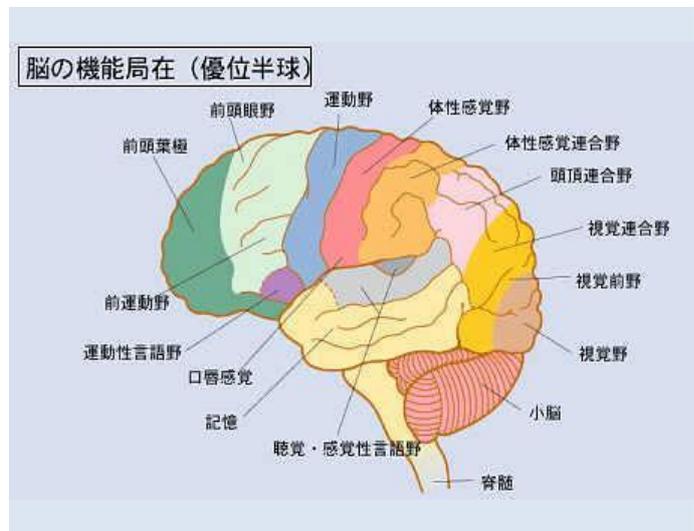
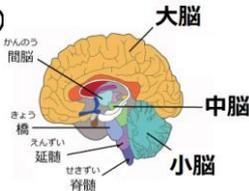


後ろから

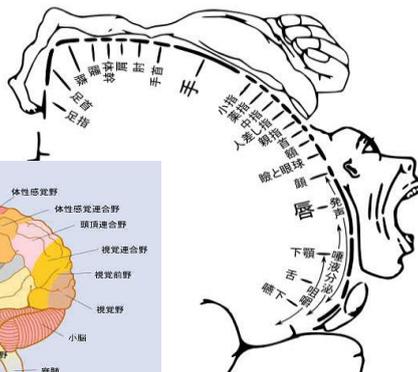
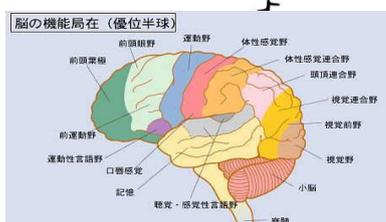


脳の構造(2)

- 脳幹 = 間脳 + 中脳 + 延髄
- 脳幹と最小限の大脳(大脳辺縁系...生きるために必要な機能:恐怖感など)は爬虫類と同じ
- 血流の15%は脳へ
心臓へ5%、消化器系(肝臓を含む)へ25%、腎臓へ20%、骨格筋へ20%、皮膚へ5%、骨などへ10%
- 大脳新皮質(脳のしわ)の表面積: 2500cm² = 50cm x 50cm (新聞紙片面)
- ニューロンの数 1200億個
大脳: 200~400億
小脳: 800~1000億



脳の小人

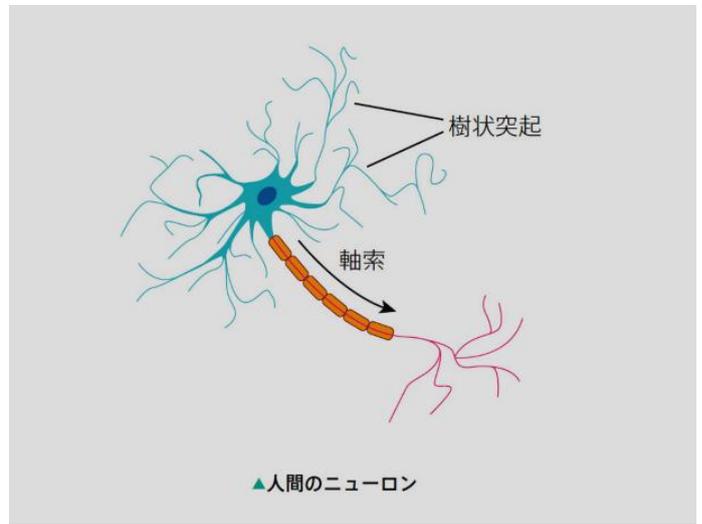
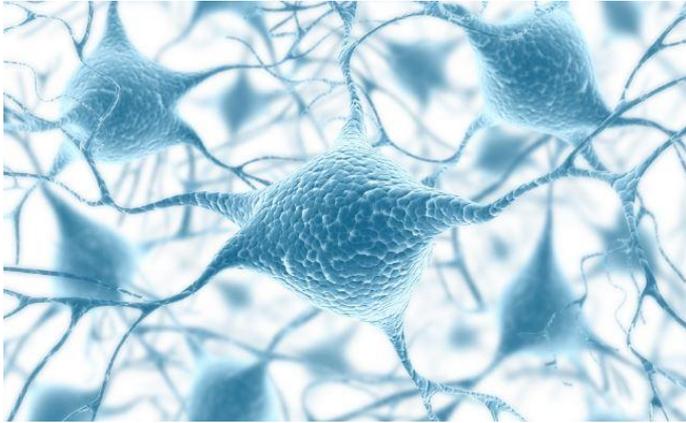


運動野、体性感覚野の身体各部との位置対応

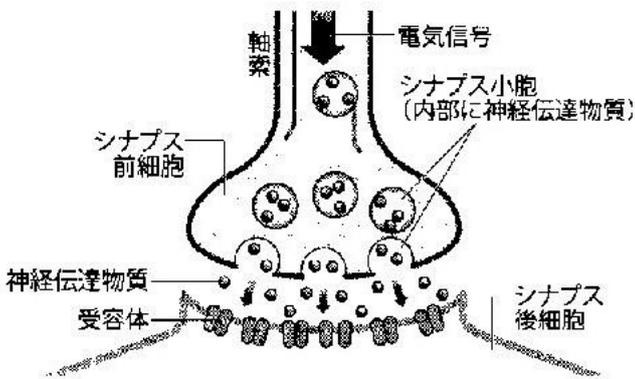


ペンフィールドの小人

神経細胞(ニューロン)



ニューロンのつなぎ目のシナプス



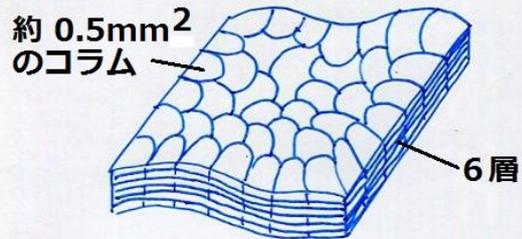
シナプスでの信号伝達

1. シナプス小胞が沢山ある
2. 上の細胞 A の上部から電気信号が来るとシナプス小胞が下の面に近づき、内部にあった神経伝達物質を放散する
3. 下の別の神経細胞 B のシナプスの受容体が神経伝達物質を受け取って
4. ニューロン B の電位がすこし変化する
5. ニューロン B の多数の受け口 (入力用) シナプスでの電位変化が足し合わされてニューロン B の電位の変化がある値 (閾値) に達すると、ニューロン B の出力信号用の枝 (電気絶縁性のある「軸索」に包まれた枝) に 100mV の電気信号が発生する
6. ニューロン B の軸索の先の枝分かれた多数の枝の先端部のシナプスにニューロン B の電気信号が伝わる

神経伝達物質(2)

- アミノ酸(グルタミン酸、γ-アミノ酪酸、アスパラギン酸、グリシンなど)
- ペプチド類(バソプレシン、ソマトスタチン、ニューロテンシンなど)
- モノアミン類(ノルアドレナリン、ドーパミン、セロトニン)とアセチルコリン
- その他一酸化窒素、一酸化炭素などの気体分子も神経伝達物質様の作用を示す。
- 神経伝達物質の放出、拡散、イオンチャンネル通過の一連のプロセスは1ms程度で、高速度で行なわれる

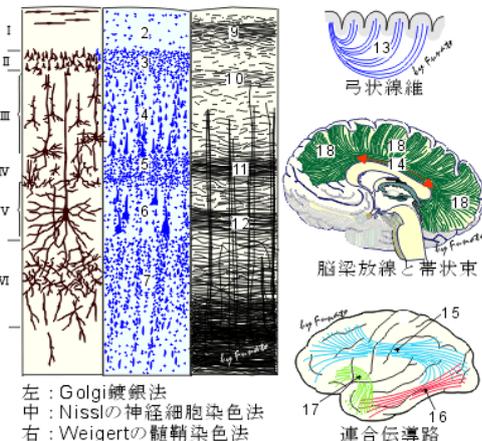
大脳皮質 しわを拡げると 2500 cm²



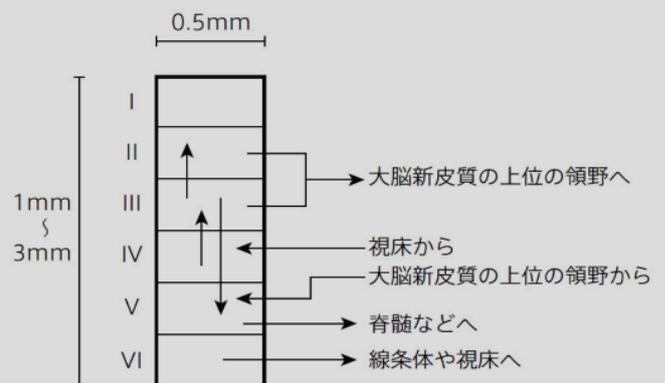
コラムに分かれて機能分担 (情報処理)

大脳のどこでも同じ構造 必要に応じてどんな機能もできる
大脳は設計図なしの万能装置

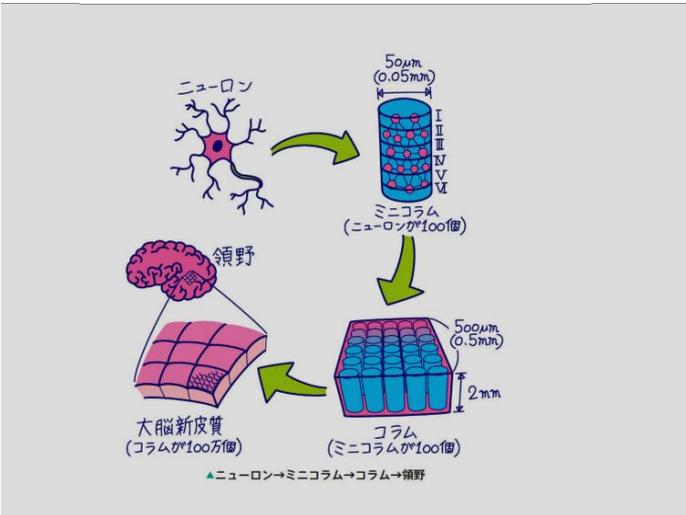
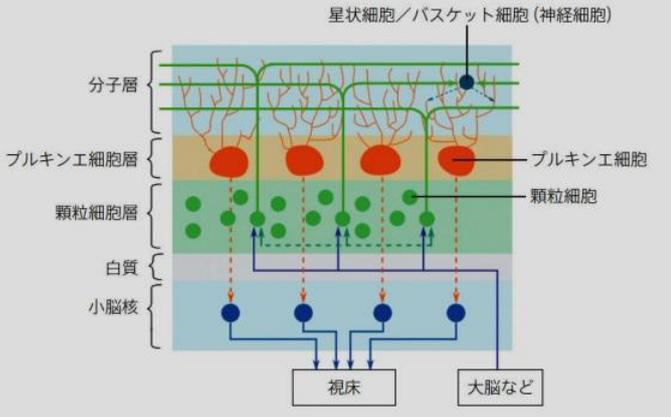
大脳皮質の6層構造



大脳皮質の6層構造

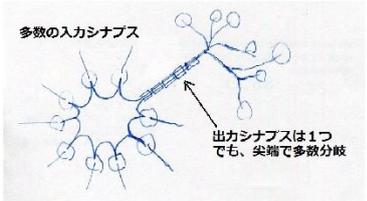


小脳は5層構造

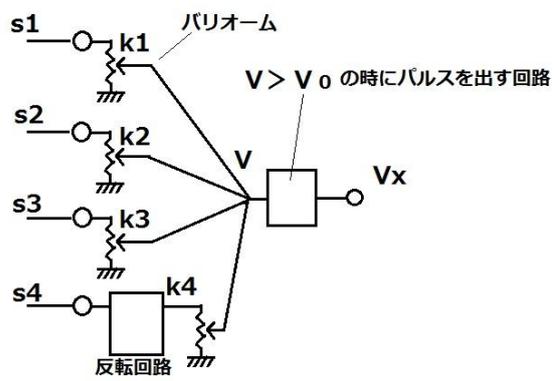


ニューロン

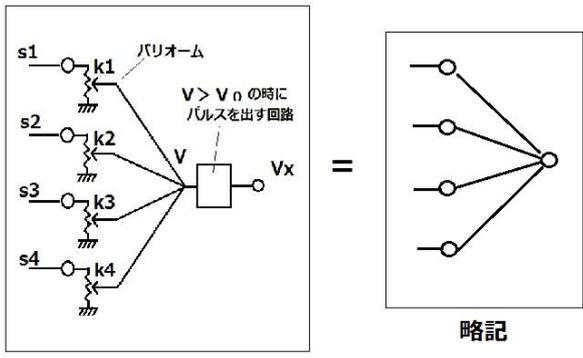
- 1 ニューロンの電位は周囲電位より70mV低い
- 2 多数の入力信号で20mV電位が上がると100mV、1msのパルス信号を出す
- 3 各シナプスからの入力信号の強さはそれぞれ異なる
- 4 脳内の計算の基本式は $k_1 \cdot s_1 + k_2 \cdot s_2 + k_3 \cdot s_3 + \dots > 20mV$
- 5 負の入力信号 ($k_n < 0$) もある
- 6 k_1, k_2, \dots の値は、神経伝達物質の量や出やすさ、出るとき遅れ時間、受け口シナプスの感度、などによる
- 7 上記の6が「判断」、「行動」など、すべてのもととなる
- 8 数個(?)のシナプスの接続系と各シナプスの k_1, k_2, \dots が「記憶」



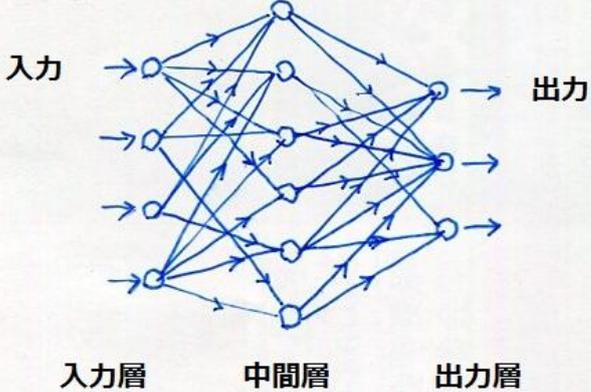
シナプスを模擬した電気回路



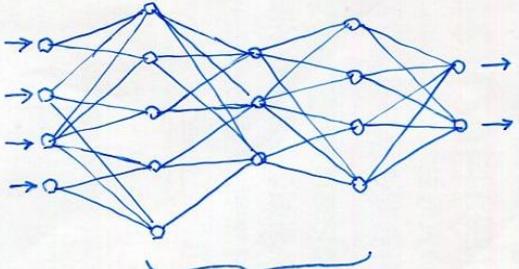
シナプスを模擬した電気回路 (2)



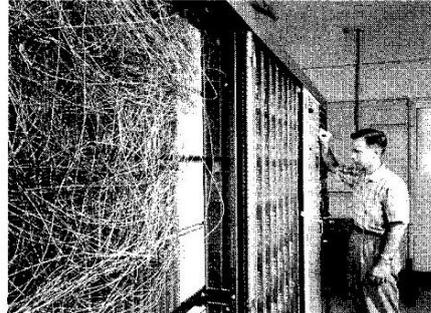
単純パーセプトロン



多段パーセプトロン



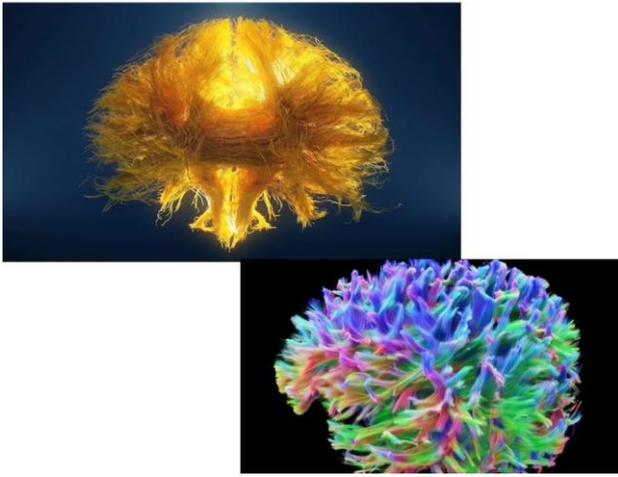
中間層は何層あってもいい
(層ごとに最適化すると、どんな問題でも解ける)
ディープ・ラーニング



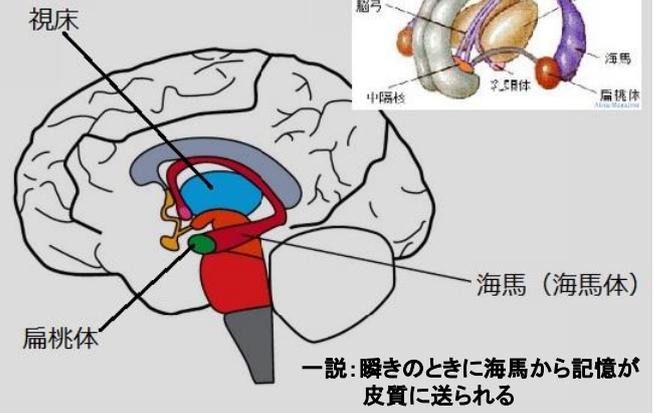
学習機械パーセプトロンの原型
(UCSD Institute for Neural Computation Technical Report #0403 Robert Hecht-Nielsenより)

配線だらけ！！

大脳白質の神経線維



記憶は海馬が主役



記憶

1. 見たり聞いたり感じた情報が視床から大脳新皮質に送られる
2. 覚えておくべき情報は一時記憶(短期記憶)海馬に?)
3. 刺激の強い情報、繰り返しの多い情報は海馬から(海馬を通して)大脳新皮質に送られて記憶(永久記憶)

しかし、シナプスの係数(記憶の実態)が神経を通して送られるというプロセスは、どんなものか不明(どの本にも書いてない)

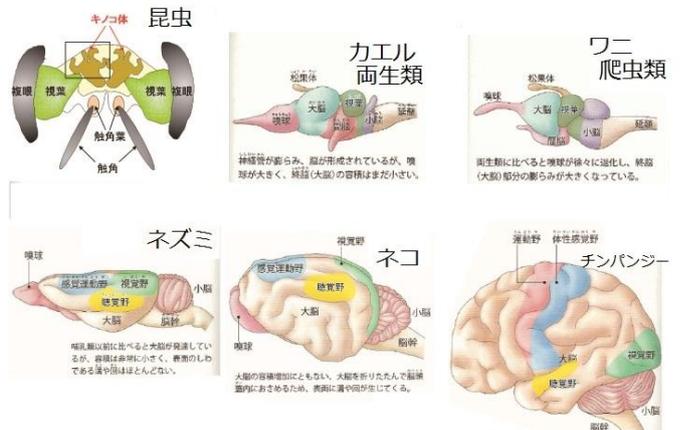
おわりに

- 計算機と脳とは、構造も動作原理も全く違う
- 計算機: ソフト的なフレキシビリティ
 高速度処理
 隔々まで正確
 あきない 疲れない まちがえない
 感情なし
 発想、連想ができない(教えられたことだけ。教えれば狭い範囲での発想は可能だろう。だが、倫理性などを考えることは無理だろう)
- 脳: 非常にフレキシブル いかなる環境でも生き延びるための工夫をする
 処理速度 遅い
 曖昧性 = 要点だけを処理できる
 あきる 疲れる まちがえる
 感情あり
 発想、連想につよい
- 計算機で脳と同じことをさせるのは不可能ではないか
- 計算機で脳のまねをすることが妥当なことなのか。。。 (なにが妥当なのか。。。)

参考資料

- 1) M.R.Williams 「History of Computing Technology」 1997
- 2) 情報処理学会 コンピュータ博物館
<http://museum.ipsj.or.jp/heritage/facom201.html>
- 3) 五島正裕「コンピューターはどうやって動くのか」
 国立情報学研究所 市民講座
https://www.nii.ac.jp/userdata/shimin/documents/H28/160825_2ndlec.pdf#search='%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%83%94%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%83%BC+%E3%81%97%E3%81%8F%E3%81%BF'
- 4) 甘利俊一(1936生)「脳・心・人工知能」
 講談社ブルーバックス 2016
- 5) 五木田和也「コンピューターで脳がつかれるか」
 技術評論社 2016
- 6) 生田 哲「脳と心をあやつる物質」
 講談社ブルーバックス 1999
- 7) その他 インターネット検索

脳の進化(1)



神経伝達物質

放出前

- 神経伝達物質はシナプス前細胞の細胞体で合成され、細胞輸送によって運ばれてくる(細胞外から吸収され、前シナプス終末にあるシナプス小胞に貯蔵される。前シナプス終末に活動電位が到達すると神経伝達物質はシナプス間隙に放出される。)

放出後

- 神経伝達物質はシナプス間隙に放出されると、拡散によって広がり、後シナプス細胞の細胞膜上にある受容体と結びついて活性化される。受容体がイオンチャネルの場合そのイオンチャネルが開き、受容体が代謝型であればその後いくつかのステップを経てイオンチャネルを開かせ、後シナプス細胞に脱分極ないし過分極を生じさせる。放出後は速やかに酵素によって不活性化されるか、または前シナプス終末に再吸収され、一部は再びシナプス小胞に貯蔵され再利用される(元のシナプス小胞に戻るのではなく別のシナプス小胞に充填される)。

