

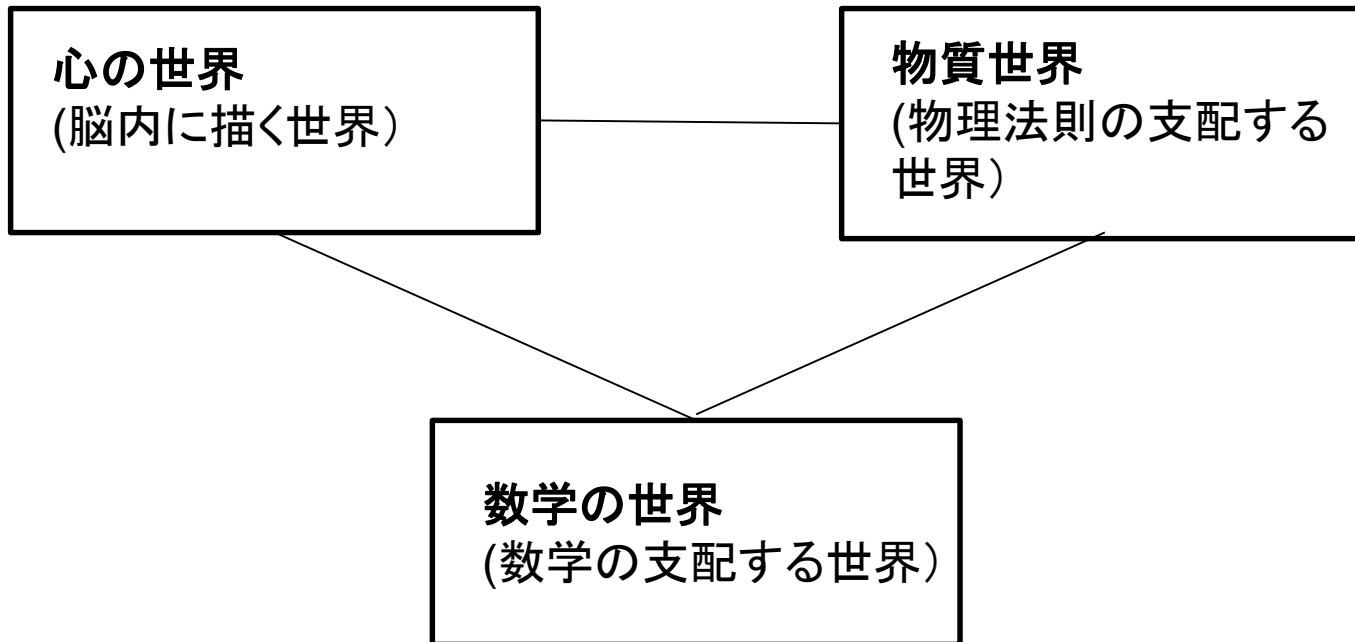
脳はいかにして数学を生みだすのか？

—脳の数理・言語機能—

武田 暁

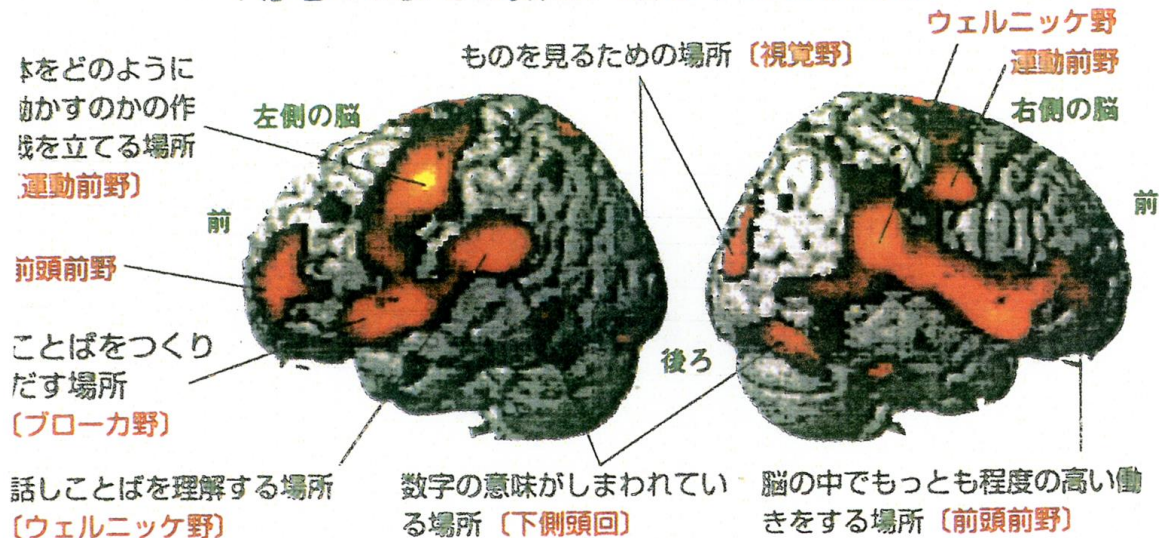
- 前半の内容 数と言葉の学習、ニューロンとニューロン回路網、数ニューロンの存在、
数と図形の認知、記憶の機構
- 後半の内容 数学と論理学、情報の統合と抽象化、命題の表現、基本論理過程、
数学と言語、数学と音楽、数学をいかに創るのか

3つの世界

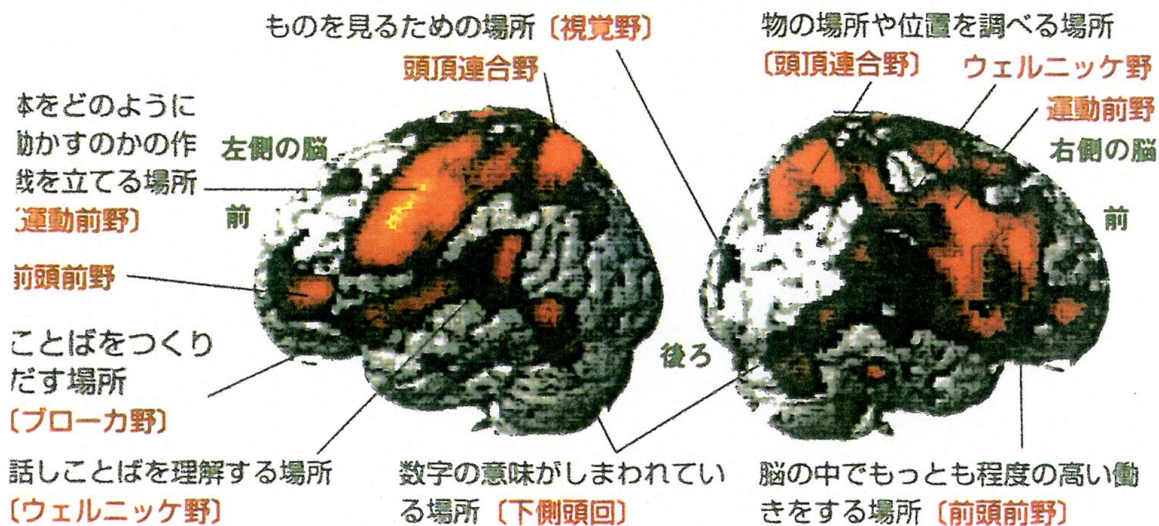


究極的な物理法則は数式で表される(デカルト、ガリレオ、ニュートン、今日の物理学者); マックスウエルの電磁気法則、アインシュタインの一般相対性理論、量子力学のシュレーディンガー方程式、素粒子の標準理論、等々
数学の不条理な有効性(ウィグナー、ノーベル物理学者)

1 から10までの数を、頭の中でとなえる



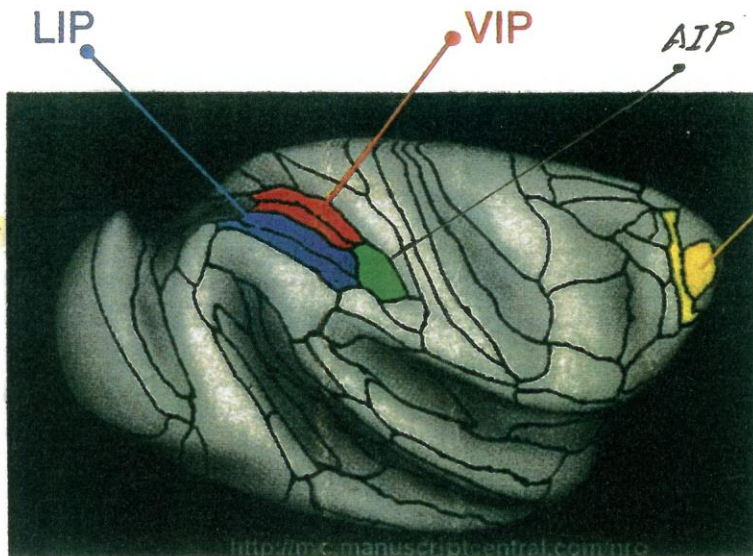
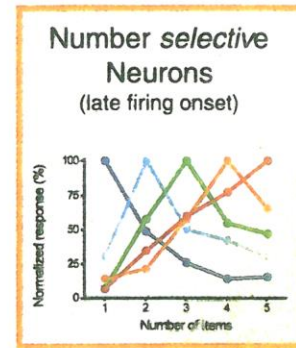
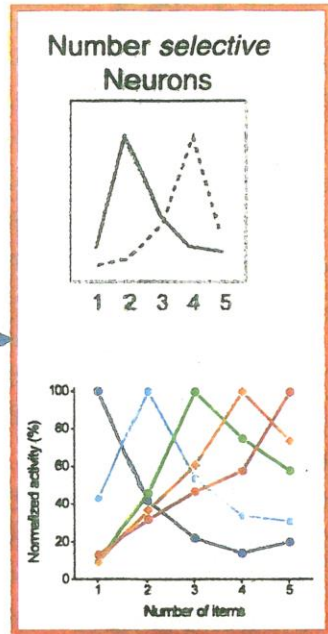
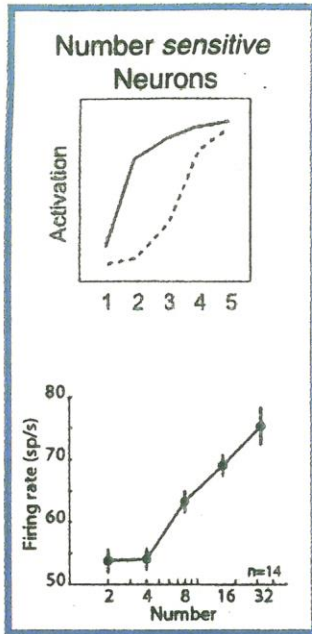
47までの素数を、頭の中でとなえる

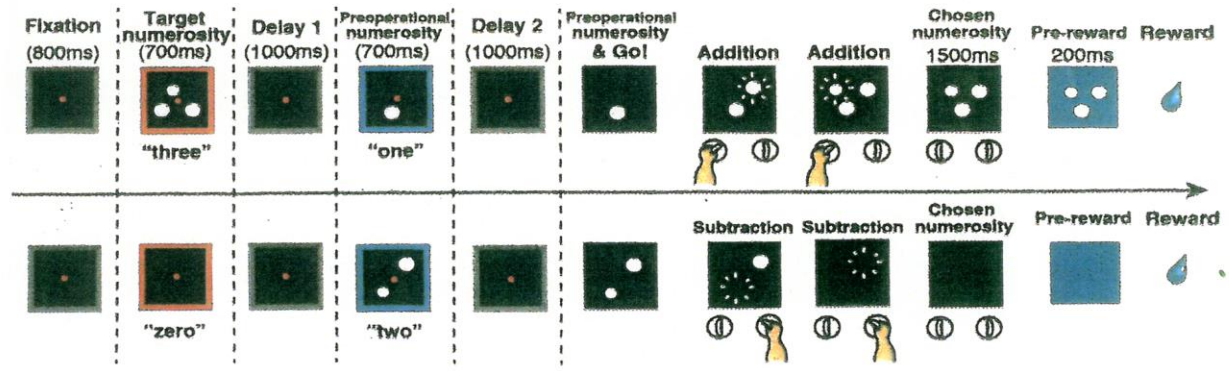


数を扱う人の脳部位：fMRI 画像

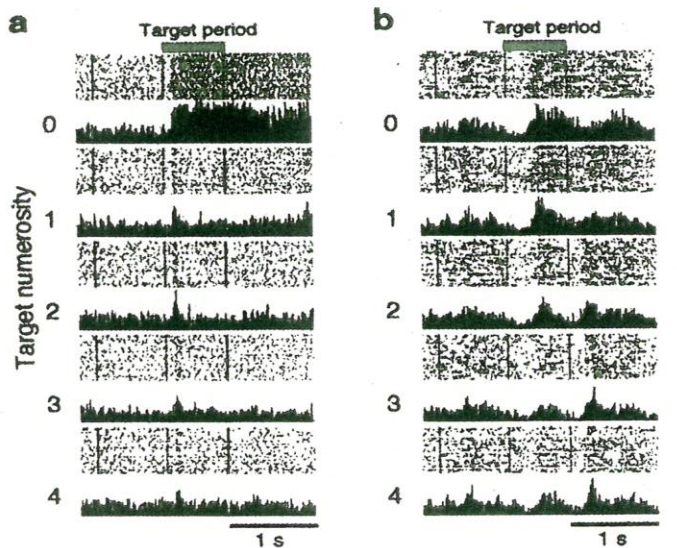
1 から 10 まで暗誦、47 までの素数を暗誦するときの講演者の脳

(川島隆太、脳を育て夢をかなえる、くもん出版、2003 の図を引用)

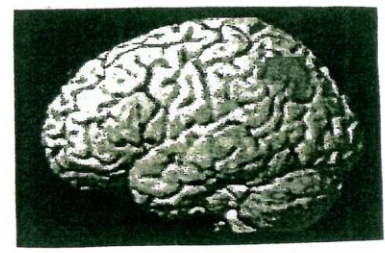




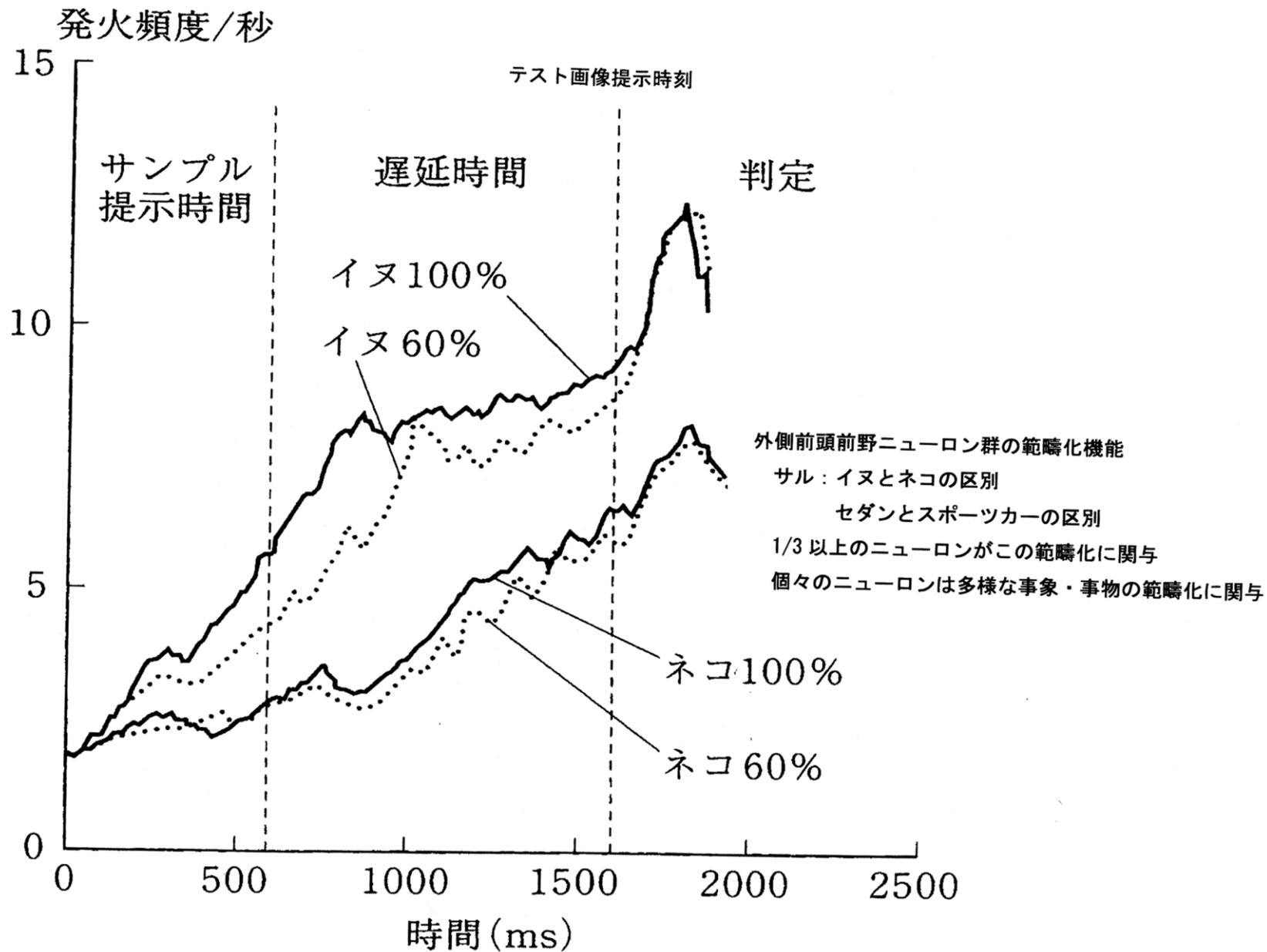
実験手続き 標的数、操作前数が 3, 1 および 0, 2 の場合

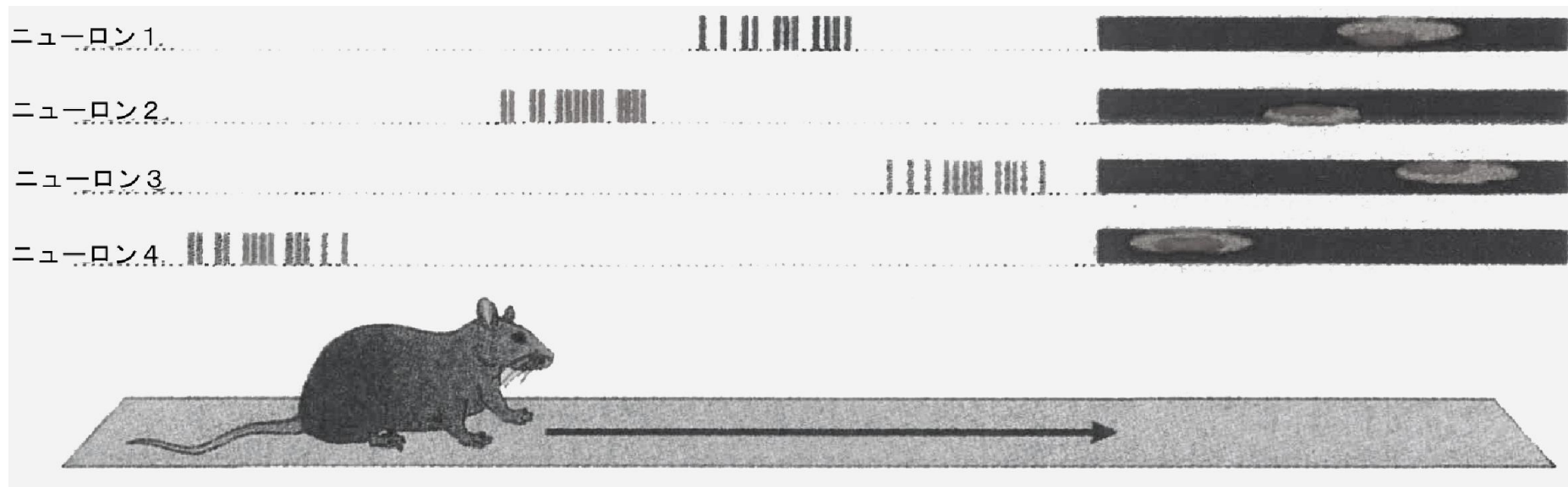


Aは排他的0ニューロン、Bは連続的0ニューロン
(99/185) (~25/185)

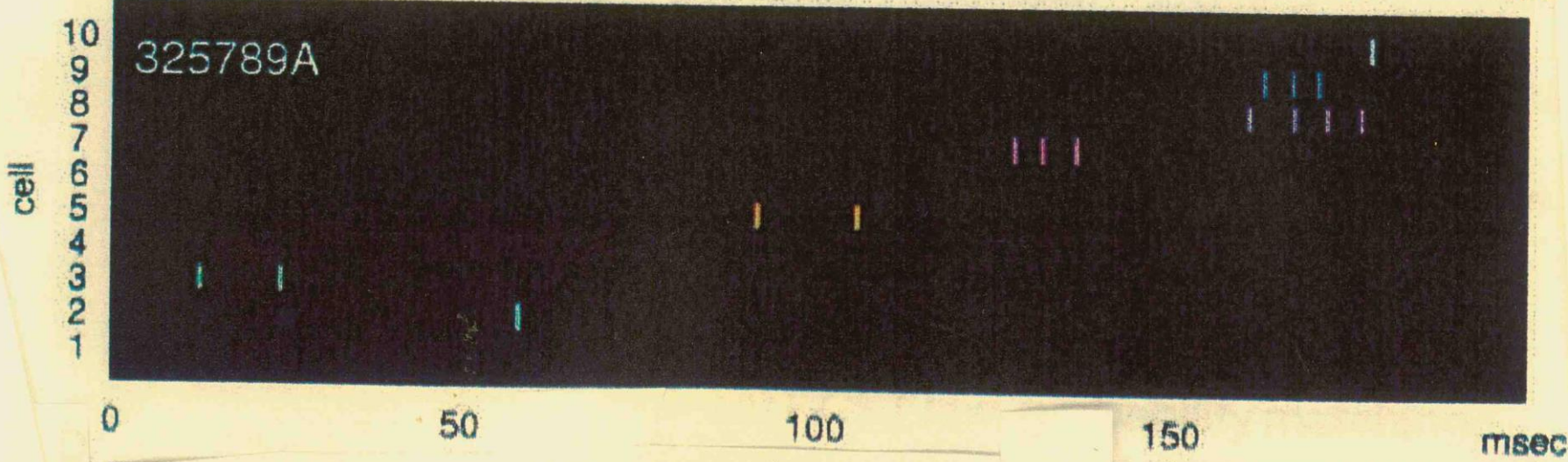
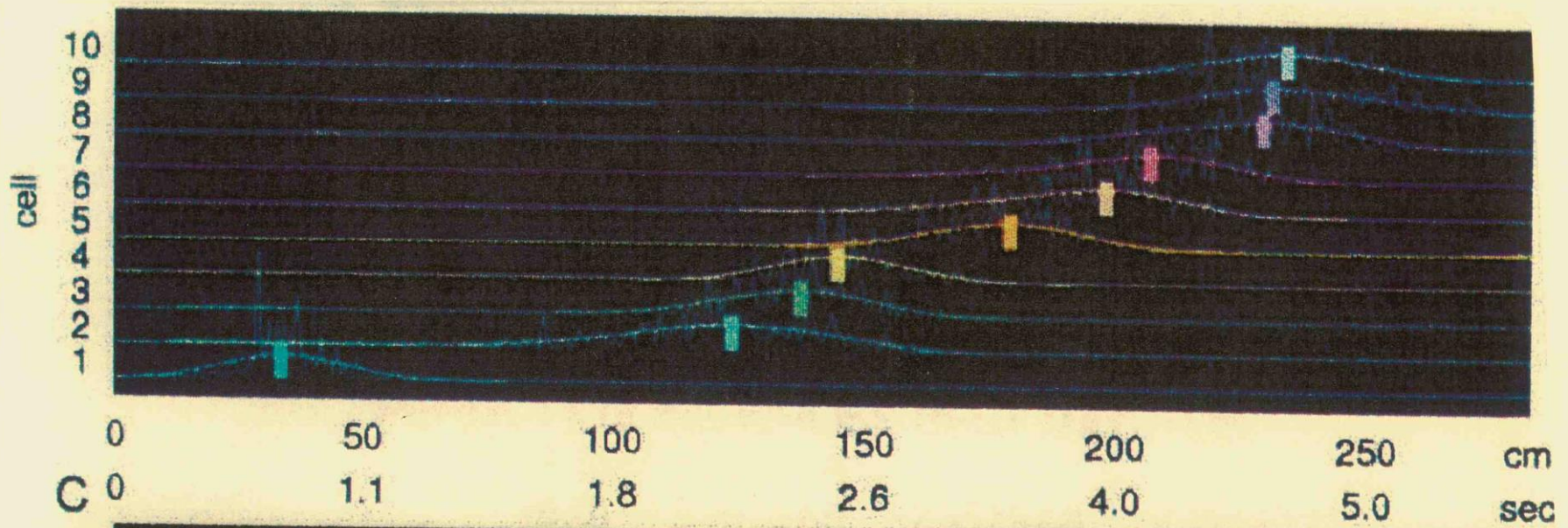


人の脳の対応する領域 (頭頂間溝)





ネズミの餌探索行動中の海馬場所ニューロン群の発火



ネズミ海馬場所ニューロンの深睡眠中の活性化パターン A.K.Lee and M.A. Wilson.Nature Vol.36,2002

殆どの脳機能は意識に上らずに進行する

現代人間科学のセントラルドグマ 人は自分のことも良く分からない

宇宙のエネルギー		脳で使われるエネルギー	
暗黒エネルギー	73%	意識を伴わない脳活動	95%以上
暗黒物質	23%	意識を伴う脳活動	5%以下
通常物質	4%		

無意識に行なわれる脳機能を理解することが重要

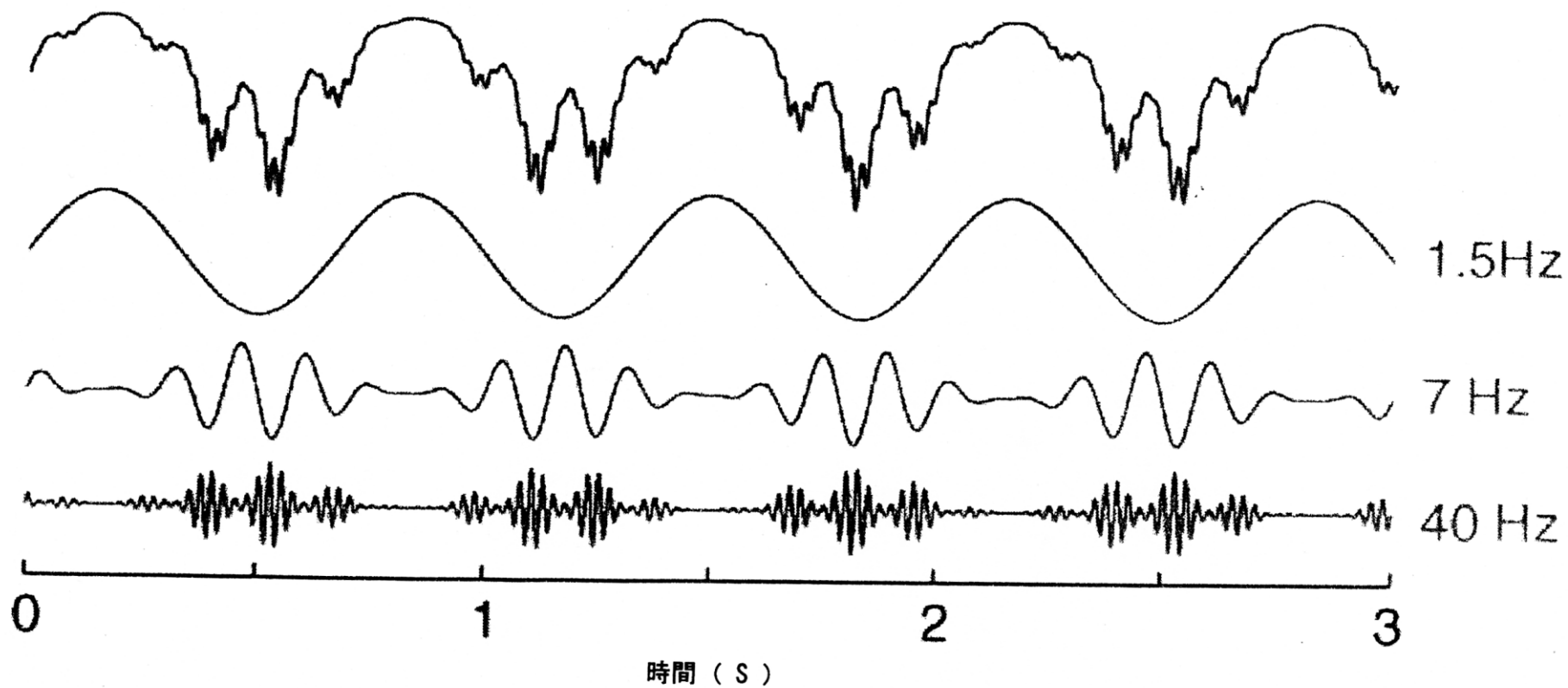
fMRIにより休息中の脳の自発的活動(default 状態)を画像化する
広範囲の脳部位が活動、
外的刺激なしに過去を思い出す、未来を予測するときの活動脳部位と同じ

脳波 (局所場電位振動)

δ 振動	1 ~ 4	ヘルツ
θ 振動	4 ~ 8	ヘルツ
α 振動	8 ~ 12	ヘルツ
β 振動	12 ~ 30	ヘルツ
γ 振動	30 ~ 70	ヘルツ

より低周波、より高周波の脳波も存在する。

言葉は音楽だ。言いたいことが音(脳波)になって心の中を響かせる



異なる周波数帯の局所場振動電位の共存と位相-振幅相関

R.T.Canolty et.al. Nature Reviews Neuroscience Vol.12, 2011,

論理思考の流れと音楽の流れ: 調和の取れた流れ

デルター、テーター、アルファー、ベーター、遅いガンマー、
速いガンマー振動の周波数は1オクターブずつ異なる

(ド、ミ、ソ、次のド: 周波数比 1、約5/4, 約3/2, 2)

低周波振動: 広い脳領域が活性化、個々のニューロンは弱い活性化

高周波振動: 狭い脳領域が活性化、個々のニューロンは強い活性化

異なる周波数帯の局所場振動電位は位相－振幅、位相－位相相関を通して相互に関連し、全体として調和の取れた振動をする

(局所場電位は近傍の数千から数万のニューロンの活性化の総和による)

数理思考 (論理思考) の流れ

前前頭前野等の脳部位の自発活性化による TOP-DOWN の流れ
低周波振動状態から高周波振動状態への変換の流れでもある

TOP-DOWN の流れは調整型で比較的弱い

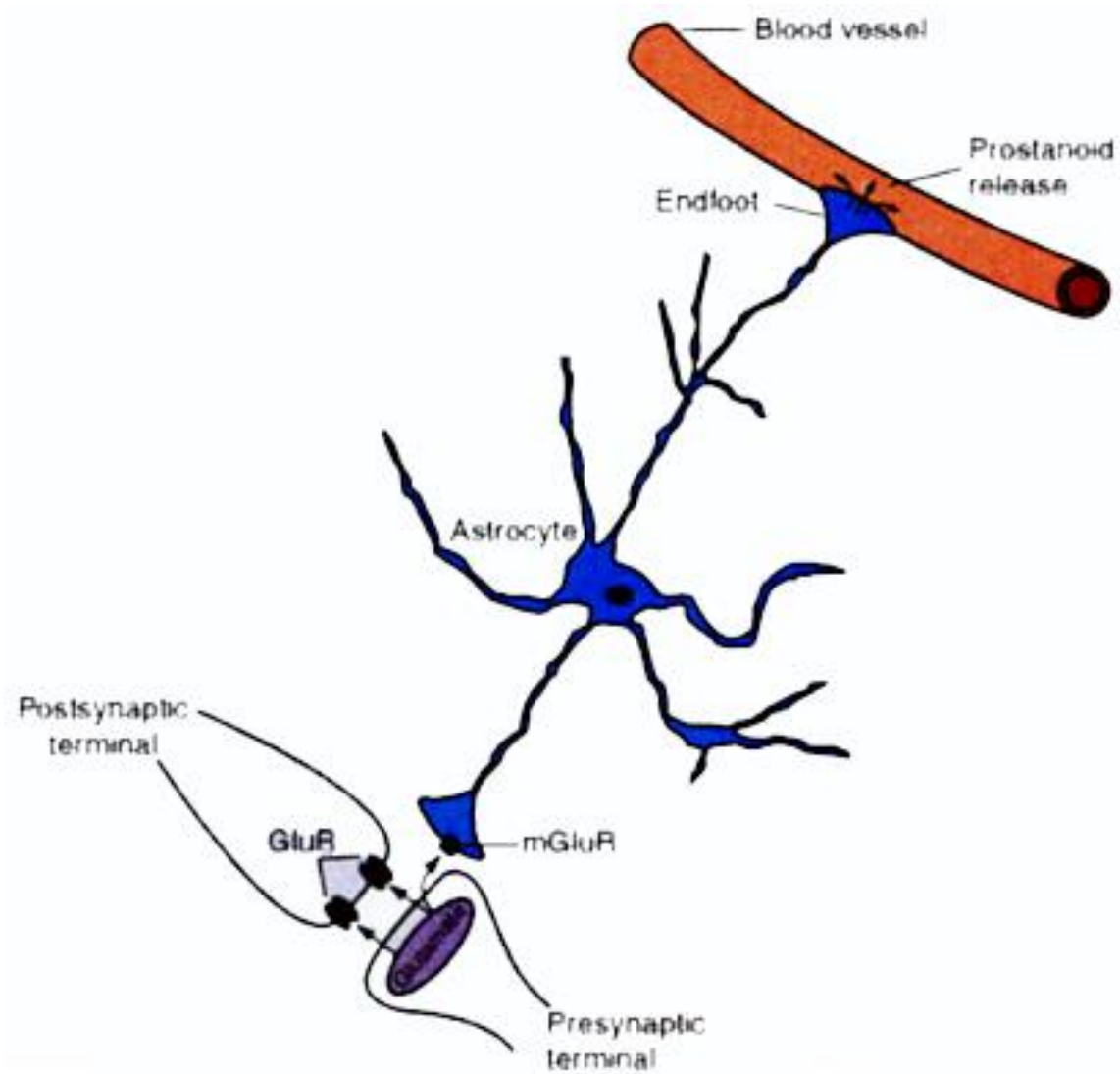
デフォルト状態 (0.1 Hz 以下) 多様な記憶の断片の想起

アルファー振動 注意対象の選択的記憶想起に関与

振幅大 想起を抑制; 振幅小 抑制解除

ベーター振動 思考規則をコード、規則に従い関係部位を
活性化

ガンマー振動 命題記憶脳部位の活性化と思考回路の形成



アストロサイト R.Parri et.al., Trends in neuroscience, Vol. 6, 2003i

どんな自然現象でも何らかの数式で解けるはずだと考えています。私はノートで計算すると気が散って駄目なので、頭の中で計算する。すると夢の中に数式が出てきて動くんです。基本法則は単純ですが、世界は退屈ではない。なんと理想的な組み合わせではありませんか。 南部陽一郎(淡青 2016年3月)

参考文献

脳と力学系(講談社、1997)

脳はいかにして物理学を創るのか 武田暁(岩波、2004)

脳はいかにして言語を生み出すのか 武田、猪苗代、三宅
(講談社、2011)

脳はいかにして数学を創るのか 武田暁(丸善、2017)、