

## 「まちがえる脳」を読んで

中所武司

### ■このエッセイのきっかけ

朝日 (2023.7.8) の下記の書評における、脳の活動は全て脳内のニューロン間の電気信号の伝達によるという内容に興味を持ち、私の卒論・修論 (1968~1971) の研究との関連で読んでみることにした。

書評「まちがえる脳」(岩波新書 2023.4) 不確かさが生む創造性・多様性

<https://book.asahi.com/article/14951208>

### ■内容の要約とコメント (→★)

#### はじめに

- ・本書は、まず人がいかにまちがえやすいかを示す多くの事例を紹介する。そして、脳内の信号伝達が、本来不確かで確率的であることを、解説する。
- ・さらに、脳はまちがえながら働くようになっているからこそ、新たなアイデアを創造し、さまざまな高次機能を実現し、損傷しても回復できることを、説明する。
- ・AI (人工知能) と脳は、本質的に異なることも詳しく解説し、脳が未知で魅力にあふれた研究対象であることを述べる。

→★「まちがえやすい」という表現に違和感はあるが、脳内の信号伝達が確率的ということ。記憶を想起できたり、できなかったりすることはある。第2項の「まちがえながら働く」にも違和感があるが、第3項には同意。

#### 序章 人は必ずまちがえる

##### 1 ヒューマンエラーの実態

- ・図の a と b は高層ビルの同じ写真を並べただけだが、タワーの傾きが違って見える。これは視覚的な錯覚を引き起こす錯視図形の例である。その理由は、脳は、これまでの経験から、見ているものを勝手に判断してつくり変えてしまうからである。

#### 見ているものは脳がつくっている

- ・網膜は、外界から入る光信号を、電気信号に変換して脳に送る装置にすぎない。
- ・錯覚は、視覚だけではなく、聴覚、触覚、時間感覚などでも数多く報告され、外の世界をいかに歪めてとらえてしまうのかが、よくわかる。

→★錯覚は、外界からの入力を脳内の記憶と照合して認識しているために生じると思われる。

## 記憶と計算は苦手の双壁

- ・認識、判断、記憶などにおけるまちがいは、不規則に生じるため、やっかいである。
- ・2日前や3日前のメニューはすぐには思い出せないことが多い。
- ・多くの人は計算も大の苦手である。

## 生死に関わるまちがい

- ・事故や災害につながるまちがいは、人命に関わることもある。厚労省の統計によると、労働災害のほぼ80%が人為的なミス（ヒューマンエラー）により引き起こされている。

## 2 対策の限界

- ・国内の鉄道は安全対策が非常に充実しているが、小さな事故や誤操作は一定の確率で起きており、人に働きかけ、人の集中力や行動を変えようとする方法には限界がある。

→★本題とは異なるが、鉄道の安全対策は必ずしも充実していない。

【2023.8のブログ参照】「鉄道のフェールセーフが常識ではなかった（2）」

<http://www.1968start.com/M/blog/index3.html#2308>

## 病原体としての医師？

- ・米国では、医療行為によって新たな疾患や感染症が起こるという事実を多数紹介した「病原体としての医師」という題名の論文や、どんなに注意していても医療ミスは一定の確率で起こると明記した「人は誰でもまちがえる」という題名の報告書がある。

→★50年以上前の学生時代の医学生の話思い出した。著名な医学部の教授に手術前の診断の正しかった割合を尋ねると、70%と答えた。一般の人は30%も誤診があるのかと驚いたが、医学関係者は、さすがにそんなに誤診が少ないのかと驚いたらしい。

- ・国内での医療ミスによる死亡事故の20%は薬剤の誤投与とのこと。

## 何が自動車事故を減らしたか？

- ・「交通戦争」と言われた1960年代に比べ、死亡者数を1/6に減らしたのは、道路の改良、信号と道路標識の改善、オートマチック車の登場、ヘルメットの改良、シートベルトの改良などだった。

## 3 脳の何が問題なのか？

- ・脳の働きを知るための以下の3つの問題設定のうち、how問題が重要。
  - \* where 問題：脳のどこが担当しているか
  - \* what 問題：脳のどの物質が関係しているか
  - \* how 問題：脳がなぜまちがってしまうのか

## 「人」を「脳」と言い換える

- ・認知科学は、脳を情報処理システムととらえ、どこでどのようにまちがいが生じるかを解説するが、まちがいの原因を脳の働き方から明らかにしてはいない。

→★ソフトウェア工学のテスト技法にたとえると、ブラックボックステストはしているが、ホワイトボックステストはしていない、ということかな。

## 脳の活動から見えてくる

- ・人がまちがう原因を脳から説明するためには、how 問題の回答が必要。  
脳の信号伝達の実体であるニューロン集団の活動から説明すべき。

## コラム0 どこからが脳のドーピングか？

- ・覚醒剤や麻薬や一部の薬は、耐性と依存性を生じ、脳のドーピングである。
- ・カフェインは、脳のドーピングとはいえないが、大量摂取には副作用がある。

→★以上の序章では、人がまちがう事例をいろいろと紹介し、その原因の説明のために、脳内の信号伝達に注目すべしとのことである。マクロな現象をミクロな構造で説明できるとも思えないが・・・

## 第1章 サイコロを振って伝えている？——いい加減な信号伝達

### 1 働いている脳の信号伝達

- ・脳がまちがう原因を知るために、脳内の神経回路のニューロンの信号伝達を計測できる。

### ニューロンと神経回路の構造

- ・ニューロンは種類が多く、形態が異なるが、基本的構造は同じ。図 1-1 の模式図（右図）。

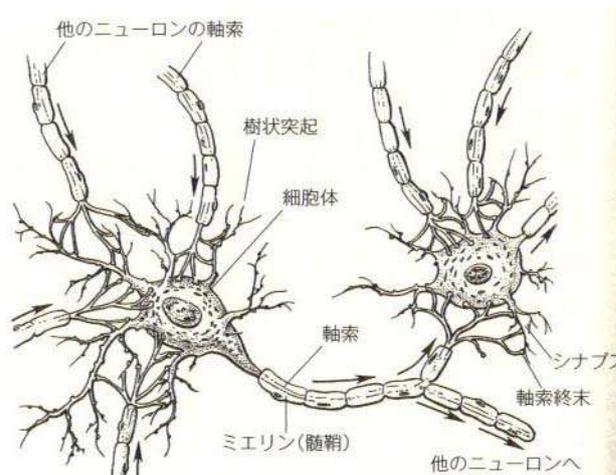
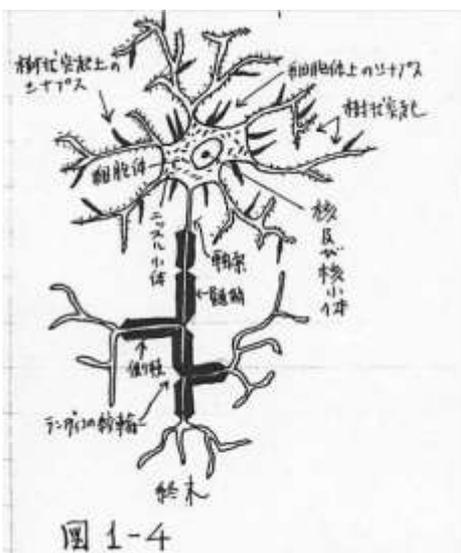


図 1-1 ニューロンの模式図("Foundation of Physiological Psychology", 1988 より改変)

→★左図は私の卒論（1969年）に掲載した図、右図は本書に掲載された図。

基本的構造の表現は、50年前と変わっていない。

【卒論の参照】「条件反射の生体工学的解析」

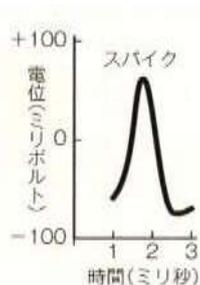
<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/soturon.htm>

- 人の脳のニューロン数：約 1000 億
  - \* 800 億以上は小脳、シナプスの数は比較的少ない
  - \* 100~200 億は脳で、特に大脳皮質に多い。本書の対象はこの大脳皮質。
- 大脳のニューロンの特徴：シナプスが多い
  - \* 一つのニューロンのシナプス数：数千以上
  - \* 大脳皮質の 1 mm 平方の中に、
    - # ニューロン数：10 万個以上
    - # 樹状突起と軸索の長さの合計：10 km
    - # シナプス総数：10 億か所以上

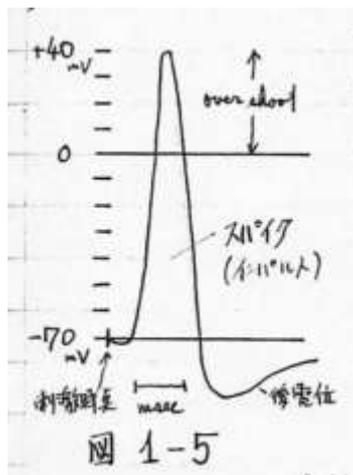
→★私の卒論（1969年）では、神経細胞は『新皮質だけで 140 億個』と記しており、上記の「100~200 億」と合致する。

## 物質が信号を発生させる

- ニューロンで信号が発生するメカニズム：
  - ↓ 細胞体が他のニューロンから樹状突起のシナプスを介して信号を受け取る
  - ↓ 細胞内部の電圧（膜電位）が、 $-70\text{mV}$  から少し高くなる（興奮性シナプス後電位）（10ms 以内に元に戻る）



↓この信号が多数のシナプスからまとめて到達して、 $-50\text{mV}$  前後の閾値を超えると、膜電位は、マイナスから  $+60\text{mV}$  まで一気に変化する。この一過性のプラス電位はスパイクと呼ばれる。（1~2ms で元に戻る）左図（図 1-2）参照。



→★私の卒論（1969年）には左図（図 1-5）と以下の記載がある：『神経細胞が興奮すると、図 1-5 に示すような、 $100\sim 120\text{mV}$  のインパルスが発生し、膜の内側は外側に比べて、 $40\sim 50\text{mV}$  高電位になる。このインパルスの持続時間は約 1 msec で、これをスパイク電位といい・・・』

→★この両図はほぼ同じ。スパイクの電位の変化が本書では、 $-50\text{mV}$  から  $+60\text{mV}$  卒論では、 $-70\text{mV}$  から  $+40\text{mV}$  なので、電位差  $110\text{mV}$  は同じ。スパイクの持続時間 1 ms も同じ。

- この信号発生を物質の動きで説明：
  - ↓シナプスを介してほかのニューロンから信号を受取り、ナトリウムイオン発生
  - ↓多数のニューロンから信号を受取ると、ナトリウムイオンの増加が閾値に達する
  - ↓スパイク発生

## 信号発生の大きな謎

- ここで最初の入力信号はどこで発生しているかという疑問が生じるが、今も謎である。脳の自発的活動、人の自発性はどのように生まれるのか？
- 実は、自分での気づかない外界や体内の刺激により脳は活動しているとの考えがある。また、パブロフの条件付けで有名な条件反射が無意識に働いているとの考えもある。

## 物質が信号を伝搬する

- ニューロンが発したスパイクの伝搬：
  - ↓軸索表面のナトリウムチャンネルが開き、ナトリウムイオンが次々と移動
  - ↓軸索終末で細胞膜のカルシウムチャンネルが開き、軸索終末内へカルシウムイオン流入
  - ↓軸索終末からシナプスの隙間に神経伝達物質を放出
  - ↓これを受取ったニューロンの受容体のナトリウムチャンネルが開き、膜電位が変化
- シナプスでの神経伝達物質：
  - \*興奮性伝達物質（グルタミン酸など）：発火促進
  - \*抑制性伝達物質（ガンマアミノ酸など）：発火抑制
  - \*これらの伝達物質の作用を制御する物質（ドーパミン、アセチルコリンなど）

## 返品必至の性能

- ニューロンは信号の発生も伝達も不安定で非効率なので、電気製品なら返品必至の不良品
- 大脳皮質のニューロンの発火は不規則で、常にパラパラと自発発火していることが多い。発火による信号の軸索上の伝搬速度は時速 150~160 km で電線内の電子の数百万分の 1
- ニューロンの発火頻度は、毎秒 0.1~50 回で、信号の種類と量は少なく、多様性なし

## 信号の伝達はサイコロゲーム

- 発火したニューロンから次のニューロンが発火する確率（貢献度）は 100 回~10 回に 1 回（平均 30 回に 1 回）程度で、サイコロを振るようなもの。

→★たとえば、スマホの着信音が鳴って画面確認する動作の確率がほぼ 100%だとすると、そのための [認知→行動] に関与するニューロンのネットワークは相当複雑と思われる。

## 2 どのように調べればわかるのか？

- ・働いている脳のスパイクの信号伝達の計測の基本となる電気生理学は 80 年前に確立し、この慢性的記録法と呼ばれる技術は、以下の理由でこの 20 年間に飛躍的に向上した。
  - \* スパイクを検出する精密な電極の作製
  - \* スパイクを増幅する電子回路の小型化
  - \* データを保存し解析するコンピュータの性能向上

### 多数ニューロンの同時記録

- ・慢性的記録法では、電極をニューロンのごく近くに刺して、スパイクを検出する。電極の先端の直径は、0.001~0.02mm。
- ・従来は一つひとつのニューロンの発火を記録していたが、現在は、神経回路を構成する多くのニューロンの発火を同時に記録する方法が主流である。

### ニューロン間の信号伝達を測定する

- ・シナプスでつながる 2 つのニューロン間での信号の伝達を計測する相互相関解析はパソコンの利用が可能になった 1990 年代から多く実施されている。

### 相互相関解析の難しさ

- ・この方法でシナプスでつながる 2 つのニューロン間での信号の伝達を確認できるのは、ペア全体の数%に過ぎない。

### 信号伝達の確率を計算する

- ・あるニューロンの発火直後に隣接するニューロンが発火するか否かには規則性がない。このような不確実な信号伝達では、脳がよくまちがえるのは当然だ。

→★ここでの「規則性がない」、「まちがえる」という表現に違和感あり。

本書の「物質が信号を発生させる」項で、他のニューロンから信号を受取ると膜電圧が少し上がり、多数のシナプスからまとめて到達して、膜電位が閾値を超えると発火すると説明しているので、多くのニューロンとシナプス結合している場合、そのニューロンが、ひとつのニューロンから信号を受取って発火する確率が小さいのは当然であり、「膜電位が閾値を超えると発火する」という規則性はゆるがない。

### 3 ニューロンは協調して働くしかない

- ・実際には私たちはときどきまちがえる程度なので、数十回に 1 回だけ成功する信号伝達を数十回に 1 回だけ失敗する程度に改善するメカニズムが脳には備わっているはずだ。

### どのように伝達の確率を上げるのか？

- ・多くのニューロンがほぼ同時に発火する同期発火により、脳は信号をより高い確率で伝えている

### 集中時や正解時に同期発火が現れる

- ・サルの実験で、多数のニューロンの同期発火がサルの注意に応じて現れた。  
また、課題に正解したときに同期発火が見られた。

## 学習の途中で同期発火が現れる

- ・学習の途中で現れる同期発火が、学習完了で現れなくなることが次の実験でわかった。
  - \*放射状迷路を使ったラットの実験で、正解を学習後に、正解を変更して学習しなおすときに、海馬で同期発火が現れた。
  - \*サルの実験で、見せる文字A/B/Cの違いで視線を右/左/上に動かす学習の後で、正解を変更し、まちがいが減り、正解が増え始めたときに前頭前野の同期発火が増えた。

→★試行錯誤しながら正解選択の神経回路が確立していくとすれば、同時に発火したニューロン間でシナプス結合が強化されるという学習機能を有するニューラルネットワークモデルの根拠となる。

## ペアの同期発火は集団の同期発火

- ・一つのニューロンの発火のためには、多数のニューロンが同期して信号を送る必要があるので、二つのニューロンが同期発火していれば集団の同期発火といえる

## 同期させているものは何か？

- ・ニューロンを集団にして発火させるものはそのニューロン集団自身と思われるが、詳細は不明。

## コラム1 ブレイン—マシン・インタフェースはなぜ難しいのか？

- ・脳と機械をつなぎ、思い通りに機械を動かすBMIはまだ実用化にはほど遠い。  
脳内の活動実態が機械を動かす信号源として使えるほどに十分には解明されていない。

## 第2章 まちがえるから役に立つ——創造、高次機能、機能回復

### 1 脳活動のゆらぎと創造

- ・脳は絶え間なく同期発火を繰り返し、それがリズムを持つゆらぎとして現れる。

→★私の修論の思考モデルでは、拡散と集中の繰り返しを基本としている。  
そのときの「ゆらぎ」を連想機能としているが・・・

### 絶え間ない自発的なゆらぎ

- ・大脳皮質のニューロンは、自然発火を繰り返している。  
仮に、信号を送る側のニューロンの自然発火の頻度を5ヘルツ、受け取るニューロンのシナプスを5000とすると、毎秒25000回の信号を受取り、膜電位が変動している。  
この不規則に見える自然発火も、集団で見ればリズムカルなゆらぎに見える。

- ・ネコの視覚野のニューロン集団の膜電位のゆらぎの程度は、視覚刺激を与えたときも、自発的なゆらぎの2倍程度にすぎなかった。
- ・人間の頭皮に電極を付けて測定すると、常にゆらぎのあるリズムカルな脳波を観測できる。この自発的ゆらぎを、デフォルト脳活動と呼び、それらが互いに同期して活動することもあるので、まとめてデフォルト脳ネットワークと呼ぶ。

→★学生時代の知識としては、脳波は、活動状態では20ヘルツくらいのβ波、瞑想状態では10ヘルツくらいのα波と記憶している。

## 自発的ゆらぎとエラー

- ・機能的磁気共鳴画像（fMRI）を用いて、人の脳内の血流を測定する研究がある。脳内の空間分解能が数mm以内と高いが、ニューロン発火の数秒遅れでの測定になる。
- ・フランカー課題（右矢印表示→右手のボタン押す）に対する脳活動測定では、問題の矢印表示の直前に両側に表示する矢印の向きが逆の場合に間違いが増えた。この場合、問題表示の30秒前から脳の広範囲で活動に変化があり、エラーを予測できた。
- ・ストループ課題（赤色の黒の文字をみて色を答える）では、赤色の赤の文字に比べて、まちがいが多く、正解の場合も判断に時間がかかる。この場合も、問題表示の前から脳の広範囲で活動に変化があり、エラーを予測できたとのことである。

→★著者は、これらの実験結果から、自発的ゆらぎがエラーに関連ありとしているが、問題表示に紛らわしい情報を加えたことが、自発的ゆらぎに影響して、それが解答に影響したという説明は、理解できない。この場合、「自発的」ゆらぎではないのでは？通常は文字を見たとき、文字の色の認識よりも文字の認識が優先しているので、文字の色を答える質問では、文字認識を抑制するような集中力が要求されるのでは。

## まちがえるからアイデアが生まれる

- ・脳の信号伝達は確率的なので、まちがいが起こる。ニューロン集団の同期発火は常に自発的にゆらぎ変動しているので、脳は意外性のある答えを出す。斬新なアイデアや発想など。

→★マイクロな話とマクロな話が直結しているが真偽不明。  
ただ、日常において、モノや人の名前を思い出せるときとそうでないときがあり、脳内のマイクロなメカニズムのモデル化ができればおもしろいとは思っている。

## 失敗は創造のもと

- ・「失敗は成功のもと」は、脳の信号伝達が不確実で確率的であるので当然といえる。生物の進化が突然変異で生じることに似ている。

→★再掲：マイクロな話とマクロな話が直結しているが真偽不明。

## 正解だけを求める教育現場

- ・成長期の子どもに試行錯誤させながら斬新な発想を出させる余裕が教育現場にはない。多くの大学教員が実感しているであろうが、授業中や授業後に質問する学生は少ない。

→★同感。

本書の主題との関連はないが、私も大学教員退職後のレポートで以下を記載：  
<http://www.1968start.com/M/paper/1803chuRandD.html#1993> <(12)項参照>

『講義科目ではなかなか授業中には受講生から質問がでないので、毎回、授業の最後にミニレポートを書かせて、次回の授業の最初に個別にコメントする方法や、意見の分かれる課題に関してインターネットを利用して電子討論させて、その後の授業でまとめのコメントをする方法をとった』

『実のところ、アクティブラーニングの重要性が指摘されて久しいが、多くの学生は与えられて学ぶ受け身の習性が強く、自分の意見を人前で述べることになれていないため、教員側にもそれなりの根気が求められる』

## 2 記憶はまちがえてこそ有用である

- ・記憶は、脳の信号伝達の確率をさらに向上させる方法である。  
その記憶が不安定で間違いやすいことが脳の高次機能にとって不可欠である。

### 記憶とは何か？

- ・記憶とは、特定の神経回路を作るニューロン間の信号伝達の確率が高くなった状態。

### シナプスで起こる変化

- ・一つのニューロンから一定時間に高頻度で信号を受取ると、長時間にわたり膜電位が上昇しやすい状態になり、その後、ひとつの信号だけで興奮性シナプス後電位が生じるようになる現象をLTP（長期増強）と呼ぶ。
- ・このとき、信号を受取るニューロンの樹状突起には棘のようなスパインが数千ほどあり、この信号の受け皿としてのスパインが大きくなることで発火しやすくなっている。
- ・さらに、大きくなったスパインが信号発信側のニューロンの軸索終端を押すことで、そのニューロンからの神経伝達物質を放出しやすくしている。  
そして、信号の低頻度が続くと、この大きくなったスパインは小さくなる。

→★マクロな話では、加齢により流動性知能は衰えるが、結晶性知能は維持されるという話を以前のブログで取り上げたが、このシナプスの変化の加齢による影響を知りたいものだ。

【2008.5のブログ】「結晶性知能と流動性知能 → 学習度と学習エントロピー？」

<http://www.1968start.com/M/blog/old.html#0805b>

【2014.11のブログ】「結晶性知能と流動性知能 → 学習度と学習エントロピー？（2）」

- ・一方、新たな記憶を作る際に、新たなニューロンが生まれる神経新生や軸索が伸びて新たな経路が作られる発芽により、新しい神経回路が作られることもある。

→★神経新生については、以下の過去のブログでも取り上げている：

【2016.9のブログ】「大人の脳（海馬）の新生ニューロンが記憶力を左右する」

<http://www.1968start.com/M/blog/index.html#1609b>

【詳細】「新生ニューロンは自由なニューロン？」

<http://www.1968start.com/M/blog/1609nyuron.htm>

【抜粋】

- \*海馬（神経細胞：1億）の短期記憶は、大脳皮質（100億以上）に転送されて長期記憶になる。
- \*マウスの実験で、新たに生まれる新生ニューロン（神経新生）の発生を抑制すると転送されないが、その発生を促進すると短時間で転送される。

### 脳はハードディスクではない

- ・記憶の神経回路を構成するニューロンを記憶痕跡細胞（エンGRAMセル）と呼ぶ。マウスを実験箱Aに入れて電気ショックを与える恐怖条件付けの実施後、翌日、同じ実験箱Aに入れると同様の恐怖反応を示した。次に、異なる実験箱Bに入れて海馬に青色光を照射してニューロンを発火させると恐怖反応を起こした。このニューロンがエンGRAMセルである。
- ・この記憶は、ハードディスクに保存した情報をそのまま再生するのと同じである。これでは多数の記憶に基づく新たな概念の形成などが説明できない。

### 記憶はたいてい不正確

- ・何かを覚えたとき、そのまま記憶するのではなく、記憶しやすいように変換する。たとえば、”He gives her a flower”という英文を聞かせて覚えさせた後、2分以上たってから”She is given a flower”が元の英文と内容が同じか問うと、判断に要する時間は、元の英文を提示した場合と同じだったので、構文を記憶しているのではなく、「意味」を記憶していることがわかる。

→★この意味の記憶のメカニズムは、まだほとんど解明されていないのかな。

AI分野では、意味ネットワークという知識表現がある。

【例】拙著（共著）人工知能（昭晃堂、1988）

p.112 図5.22「桃太郎に関する意味ネットワーク」

<http://www.1968start.com/M/p2/8808chuAIbook.pdf>

- ・「脳裏に焼き付いた光景」も時間が経過するとゆがむ。車同士の衝突事故の映像を見せ、しばらくしてガラスが割れたか否かの質問に、割れた／割れないと答える学生が多いが、実はガラスは映像には写っていなかった。

## もしも記憶がコピーだったら

- ・1920年代のロシアの青年シーは、見聞きしたものが鮮明な視覚的な像として残るが、暗記する努力は不要で、記憶の容量が事実上無限で、時間経過で減弱しなかった。このような記憶を直感像といい、小さな子供に多く、成長につれてほとんどなくなる。

## コピーのような記憶は役に立たない

- ・上記の青年シーは、物語の内容を理解できなかった。創造力や抽象的な思考力を完全に欠いていた。

## 3 まちがえる神経回路だから回復できる

- ・神経回路の構造と機能は固定されておらず、この柔軟性が動物の生存に有益である。

## 気づいたら頭の中は水だった

- ・幼児期に水頭症にかかり、脳の大きさが成人の25~10%でも、普通の生活ができている人たちがいる。初めから小さい脳として成長すれば大きい脳と同じ機能を持つ。

## 脳はどこまで回復するのか？

- ・事故や病気で損傷した脳は正常には動かないが、正常に近い回復をすることがある。子どものころに難治性のてんかんの大脳半球切除の手術を受けた人が、大人になって普通の生活をしている。

## 高齢者の脳も回復する

- ・以上の事例は子どもや30歳以下の成人で、高齢者は機能代償は難しいと言われるが、68歳の男性の事例で、脳梗塞で言語野（ブローカ野）と周辺部位を大きく損傷したが、3カ月過ぎには、やや不明瞭でいい間違いもあるが、普通の会話ができるようになった。この場合、損傷した左半球とほぼ同じ右半球の部位が活動していた。

## まちがえる脳だから機能代償も可能になる

- ・片側大脳半球を切除された人の残された半球は通常のネットワークが働いているうえ、そのネットワーク間の相互作用も密に働いていた（神経回路の機能的再編成）

→★大脳の言語野を損傷した人の事例で思いだったが、私の修士論文では、脳を損傷して失語症になった事例を調査して、思考過程のモデル化の参考にした。

【修論の参考文献リスト】 <http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/shuuron.htm>

\* 「精神神経学雑誌」から失語症関係の論文10件、1953—1969年

\* 「精神医学」から失語症関係の論文14件、1959—1969年

## コラム2 宇宙旅行で脳はどう変わるか？

## 第3章 単なる精密機械ではない——変革をもたらす新事実

- ・脳はコンピュータのような機械とは本質的に異なる。

### 1 ニューロンとシナプスがすべてではない

- ・ニューロンを単一部分ととらえがちだが、実は数百種類に分類可能で、形態は多様である。

### ニューロン間の信号伝達は単純ではない

- ・ニューロンの信号は、出力側の軸索と入力側の樹状突起に伝わっていく。後者は、樹状突起スパイクと呼ばれるが、役割は不明な点が多い。
- ・神経伝達物質を介するシナプス（化学シナプス）には、軸索終端から興奮性の物質と抑制性の物質を放出するものがある。

→★抑制性ニューロンについては、私の卒論（1969）でも言及している。

<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/soturon.htm>

#### 【1.3節「神経系と神経細胞」から引用】

『シナプスには興奮性シナプスと抑制性シナプスがあり、前者にインパルスが到着すると、細胞膜（シナプス後膜）の電位は脱分極の方向、即ち、正方向に動き、後者の場合は、膜電位は過分極の方向、即ち、負方向に動く』

- ・ニューロン同士が接合し、電気的信号が直接高速で伝わるシナプス（電気シナプス）は、哺乳動物の脳にも多く含まれていることがわかってきた。

### グリア細胞も信号伝達に参与する

- ・脳にはニューロンと同じかやや多い程度のグリア細胞がある。その役割は、ニューロンを物理的に支えたり、栄養補給や老廃物処理など。グリア細胞の数は以前にはニューロンの10倍以上といわれていた。

→★次のコメント参照。50年以上前の卒論では、以下の記述あり：

『グリア細胞の方は、一生分裂し、数も、神経細胞に比べて、圧倒的に多い』

- ・グリア細胞には3種類あり：
  - \*アストロサイト：細動脈の直径を調節して、血流を調節。表面には、シナプスで放出される主な神経伝達物質であるグルタミン酸、ガンマアミノ酪酸、セロトニン、ノルアドレナリン、アセチルコリン、ドーパミンなどの受容体あり。信号伝達の可能性あり。
  - \*オリゴデンドロサイト：ミエリンとして絶縁テープのように軸索に巻き付き、信号伝達速度を上げている。ミエリンは幅0.5mmでお互いの隙間は0.001mm。隙間はランビエ絞輪と呼ばれ、その間をスパイクが跳躍のように高速で伝わる。ミエリンを有しない無髄線維では、伝達速度は1/100程度の低下。学習により新たな記憶が形成されると軸索が太くなり、信号伝達速度が速くなる。この現象は、大脳皮質や海馬の白質でも生じている。

\*ミクログリア：

- ・加齢によりミエリンが薄くなり、認知機能が低下し、新たな学習と記憶が難しくなる。アルツハイマー病や統合失調症では、白質が変化する。

→★50年以上前の卒論でもかなり言及している：

【卒論（1969）からの引用】 <http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/soturon.htm>

### 『1.3 神経系と神経細胞

神経系を形づくるものは、脳膜や豊富な血液網を除けば、神経細胞とグリア細胞である。グリア細胞は、神経細胞の支柱や、その物質代謝にたずさわるもので、本質的な神経機能は神経細胞が行う。この神経細胞は、生後一年で分裂能力を失い、数は、以後一定である。新皮質だけで140億個と言われている。グリア細胞の方は、一生分裂し、数も、神経細胞に比べて、圧倒的に多い。』

### 『2.2 記憶

・・・学習過程における生体内の変化は、シナプスにおける何らかの変化であるとして、具体的には、シナプスにおける抵抗の減少、即ち、インパルスを伝えやすくなることが学習の本質であるとする。

この機構については、主な考えに三つあり、一つには、インパルスがシナプスを何度も通ると、シナプス桿状体が膨大になり、伝導度が高くなるという解剖学的考え、第二には、シナプスにおける伝導物質としてのアセチルコリンが増大して、伝導度が高くなるという考え、第三には、グリア細胞との関連で、説明しようとする試みなどであるが、明らかではない。前の二つについては、一応の実験的裏付けがある。』

## 軸索を伝わる機械的な信号

- ・軸索上の信号は電気信号としてだけでなく、物理的な圧縮波として伝わるという説もある
- ・軸索表面の細胞膜は圧電体に相当し、電氣的信号を機械的信号に相互に変化可能で、電気信号は機械的信号の副次的なものという説もある。その根拠は、麻酔薬は軸索の細胞膜に染み込み、物理的な特性を変え、信号としての圧縮波の生成をブロックしているという推測にある。

→★この関連で、『脳の神経細胞、「押す力」で情報伝達』という記事関連のブログあり：

【2022.1のブログ】「脳の神経細胞における力学的情報伝達の発見」

<http://www.1968start.com/M/blog/index2.html#2201>

<http://www.1968start.com/M/essay/2201synapseMech.pdf>

## 脳の隙間から広がる信号

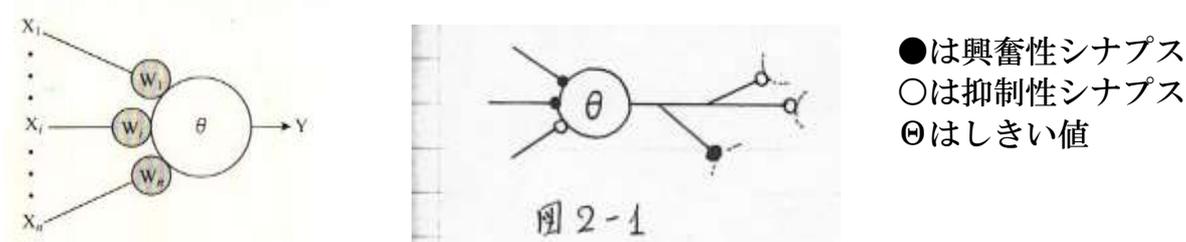
- ・ニューロンとグリア細胞が連なった脳には隙間があり、成人では、全体の20%は無色透明の間質液で満たされていて、脳の構造を支え、衝撃を吸収するほかに、信号伝達への関与の可能性が指摘されている。
- ・脳の神経回路では、シナプスを介したニューロン間の確率的な信号伝達のほかに、細胞外スペースを介した持続的で安定した信号伝達が働いて、相互に影響し合っている

可能性がある。

## 神経回路を電子回路にたとえることはできない

- ・脳の教科書や解説書にはニューロンの単純化した図や、モデルを掲載したものが多い。個々のニューロンの発火の有無はデジタル信号に近いが、膜電位はアナログ的变化だ。1970年代には、脳の信号が広範で膨大なニューロン集団の活動により統計的・確率的に処理されることがネコの脳波を記録する実験で示していた。

→★本書には図 3-3 (b) に McCulloch-Pitts モデルが掲載（左図参照）されているが、私の卒論でも図 2-1 に「McCulloch-Pitts の神経回路網モデル」を掲載（右図参照）：  
<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/soturon.htm>



## 2 心が脳の活動を変える

- ・脳の活動が心を生んでいることは自明である。逆に、心が脳の活動を制御できることも分かってきた。これが脳を機械にたとえられない決定的理由かもしれない。
- ・制御する側の心は、同じ脳から生じているが、制御される側の脳から独立して働き得る。

→★脳にはメタレベルの働きとオブジェクトレベルの働きの少なくとも2種類があり、前者は脳内へ働きかけ、後者は脳外へ働きかけるといふことかな。  
[いろいろ考えて → 行動する] という基本に合致する。

## ニューロンの発火を自ら制御する

- ・動物が自分の脳の発火頻度を自ら変えられるという論文が1969年に発行された。ニューロン活動のオペラント条件付けである。
- ・それは、ある行動が生じたとき、その直後に何らかの刺激（報酬など）の有無により、その行動の頻度を変化させる手続きである。報酬を与えることを強化という。ラットのレバー押しの実験が有名。

→★「ラットのレバー押しの実験」については、私の卒論でも言及している：  
【卒論（1969）からの引用】<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/soturon.htm>

### 『1. 1 条件反射

・・・道具的条件付けとか、操作的条件付けとか言われるものがある。例えば  
レバーを押せば食餌が与えられる仕掛けのスキナー箱の中にネズミを入れると、ネズミは食餌を得るために連続的に速くレバーを押すようになるというような報酬訓練とか・・・』

## 同期発火も自ら制御できる

- 本書の筆者の実験：ラットの運動野と海馬のニューロンを対象とした実験の結果として、最終的に、海馬のニューロン集団内のニューロンが互いに同期して発火した場合にのみ報酬を出すようにしたら、30分ほどで餌をコンスタントに出すようになった。

## ヒトのニューロンオペラント

- ヒトもニューロンの発火頻度を自ら制御できる。  
難治性の重度てんかんの患者11名の前頭葉、海馬、扁桃体などに電極を埋め込み、それらのニューロンの発火頻度を自ら増減させてコンピュータ画面上のブロックを上下させることに成功している。

## ヒトの疾患治療への応用

- 人の場合、電極を埋め込まない（脳を傷つけない）非侵襲式の測定が必要で、新たなニューロンフィードバックという名称で広がっているが、客観的な結果を得るのは難しい。

## 3 「病は気から」は本当か？

- 最近の研究で、心が脳や身体の不調を改善するという事実が明らかになってきた

## 信じることで救われる

- パーキンソン病、頭痛、胃腸炎、うつ症状などで、偽薬でも本物と信じれば、症状が治まることがある。プラセボ効果という。

## 偽薬だけではないプラセボ効果

- パーキンソン病の患者を2グループに分け、一方にはある手術をして、他方には手術をしなかったが、患者にはどちらに属するかは伝えなかった。その結果、手術に効果はなかったが、自分は手術を受けるグループだと信じた患者に効果が見られた。

## なぜプラセボ効果が起こるのか？

- 口腔外科の手術後の患者の例：
  - \*鎮痛剤の偽薬を投与後、1/3の患者の痛みが改善した。
  - \*脳内で産生されるエルドルフィンという鎮痛物質の働きを阻害する作用のあるナロキソンを注射すると痛みが再発した。この実験で、偽薬によるエルドルフィンの産生が確認された。
- 特に免疫系は神経系とつながり、密接に相互作用している。免疫系の臓器である脾臓や胸腺には神経線維がつながり、神経伝達物質の受容体が免疫細胞の表面にある。これは、精神的なストレスが免疫機能を低下させ、病気になりやすくする根拠となる。

## 4 AIは脳になれない

→★以下の内容には同意。脳とコンピュータの違いは自明の話。

### 脳を真似てはいない

- ・ AI 実用化の理由：
  - \* コンピュータの性能の飛躍的向上
  - \* ディープラーニング（深層学習）というアルゴリズムの開発
- ・ ニューラルネットワークは、入力された情報を入力層→中間層→出力層と処理していく。この中間層の数を増やして答えの精度を飛躍的に向上させた。
- ・ 「脳を真似て」とは「現時点でわかっている脳の概略からヒントを得て」ということ。

### 脳とは本質的に異なる

- ・ コンピュータと脳は、構造や流れる信号がまったく異なる。

### AIの脆弱性

- ・ AI の得意とする画像認識において、頻繁に、些細なノイズによる不可解な回答がある。  
例：交通標識、ポリ袋と人、パンダの誤認識
- ・ さらに大きな問題は、誤認の理由がわからないこと。  
AI を騙す方法が考案され、混乱を引き起こしている（敵対的攻撃）。

→★AIの説明機能については、以下の関連ブログあり：

【2022.8のブログ】「AI判断の根拠を説明するXAI」を読んで

<http://www.1968start.com/M/blog/index2.html#2208>

### AIは人になれない

- ・ 心をもつ脳をつくれるという主張には以下の誤解がある。
  - \* 脳はニューロンとシナプスの動作だけで働いている
  - \* 神経回路の動作を数式表現し、プログラム化は可能
  - \* ヒトの脳の完全な配線図を電子回路で再現可能
  - \* 配線図がなくても、ニューロン間の接続の規則性から神経回路のプログラム化は可能
  - \* 単純な神経回路の動作をプログラムで再現できれば、それを増やして脳の動作が可能

### 心は数式で表せない

- ・ 今心配すべきことは、AIが人になることや、AIによる人の支配ではなく、この便利な道具のプログラムミスであり、その誤用と悪用である。

## コラム3 オンライン会議や授業は脳に影響するのか？

- ・コロナ禍でのオンライン会議・授業が孤独感と抑うつ状態を増大させることは間違いない。PCやスマホの長時間使用が脳に悪影響を与える報告も多い。

## 第4章 迷信を超えて——脳の実態に迫るために

### 1 脳は迷信の宝庫

- ・脳の迷信は神経神話と呼ばれる。  
例：ヒトは3歳までに脳の働きが決まる

→★私の50年以上前の卒論には以下の記載がある。

#### 『1. 3 神経系と神経細胞

- ・・・この神経細胞は、生後一年で分裂能力を失い、数は、以後一定である』

### 左右の脳はほぼ同じ（反右脳左脳神話）

- ・大脳の左半球は言語や論理に関わり、右半球は感性や視空間認知に関わり、その働きが異なるという話があるが、唯一の証拠は言語機能が左脳で優位な人が多いことくらい。
- ・大脳半球は身体の反対側を支配しているが、眼と脳の関係は単純ではない。どちらの眼からの情報も両方の半球に入っている。
- ・両半球をつなぐ脳梁すべて切る脳梁全離断の手術を受けた患者は、注視点の右視野の情報は左脳へ、左視野の情報は右脳へ届くので、瞬間的に提示した物体や言葉を答える実験をした以下の結果が、この迷信の根拠である：
  - \*言葉は左脳に入ったときに素早く正確に答えられた。
  - \*図形、絵画、顔写真は、右脳に入ったときの方がやや素早くこたえられた。

### 切られていない脳の働き

- ・左脳と右脳は、3億本の軸索からなる脳梁によりつながっていて、同じ入力を受け、同じ働きをしている。
- ・ただ、言語については、脳損傷で生じる言語障がい（失語症）や普段の脳活動を調べたfMRIの結果から、左脳との関わりがあきらかである。
- ・また、左脳に言語機能がある人は、右利きで97%、左利きで70%で、残りの30%は、右脳か、両半球に言語機能がある。

### 男女差よりも個人差（反男脳女脳神話）

- ・言語に関わるブローカ野の発見で有名な1850～1870年代に活躍した脳科学者&医師のブローカは、差別主義者で「一般に脳は老人より壮年の方が、女性より男性の方が、普通の人より傑出した人の方が、劣等人種より優秀な人種の方が大きい」と述べている。

- ・しかし、頭蓋骨の大きさ、死後の脳の重さ、前頭葉の大きさを比較しても例外が多く、証明できなかった。個人差の方が大きかったからである。  
ブローカの死後に彼の脳を測ると、特に重くはなく、平均値だった。

→★私の卒業研究中（1968年）の調査資料のどこかに、脳の重さは、男1500g、女1350gの記載があったと思うが、記憶違いかもしれない。Web検索でいろいろ見つかる：

- （1）ウィキでは、『男性が1180-1620g、女性が1030-1400g』と記載されており、私の記憶の値はこの範囲に入っている。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/ヒトの脳>

- （2）一般には、以下の記述が妥当かと思う。

『男性の脳は女性の脳より1割程度大きい。それは、男性の体が女性より大きいからだ。』

この場合、大きいほうが賢いわけではなく、男女の知的能力に差はない』

<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00410/122200003/?P=3>

## ブローカの亡霊

- ・生きている脳の体積をMRIで計測できる。ハーバード大学の結果では前頭葉は女性の方が大きく、空間認知に関わる頭頂葉と情動の制御に関わる扁桃核は男性の方が大きかったことから男女差ありと結論づけた。
- ・これは4つの理由で間違っている：
  - \*特定の脳部位と特定の機能を1:1で対応させることは単純すぎて信頼できない
  - \*どの脳部位に性差があるか否かは研究によって異なっている
  - \*ある脳部位が大きいからその部位の関連機能が優れているとはいえない
  - \*男女の平均値の微妙な差はわずかで、男女で重なっている部分の方が大きい

## 脳は休まず全体が働いている（反10パーセント神話）

- ・脳は10%しか使われていないという迷信も根強い。
- ・動物に視覚刺激や聴覚刺激を与えたり、運動をさせてニューロンの発火を記録すると、視覚野、聴覚野、運動野のニューロンの一部しか発火しなかったが、現在では、サイレントエリアと呼ばれた大脳皮質のほとんどは、高次機能を持つ連合野で、特別な課題を行わせると、破壊や刺激の効果がはっきり現れることがわかっている。

## 現代に復活する神話

- ・この迷信は、ヒトの脳活動をfMRIなどで測定する脳機能イメージングの研究により、復活している
- ・例：文章を見ているときの脳活動の画像から、点を見ているときの画像を引き算すると、文章を見ているときに増えた活動だけ残り、その部分だけ活動しているように見えるが、ほとんどの場合、血流が数%増加しただけで、その部分だけ活動しているのではない。

## 2 研究者の責任

## 血流増大の誤った解釈

- ・脳機能イメージングはデータの正しい見方をすれば魅力的な研究方法である。一般的にある部位の血流がより増大していると、その部位がより働いていると解釈される。
- ・一時期、世界的に流行した「脳トレ」の根拠は、単純計算、漢字演習、音読を繰り返すと高次機能に関わる前頭葉の血流が増大するという結果だった。関連するゲーム機やドリルが売れたが、大規模調査の結果、認知機能向上や認知症予防効果はなかった。

## 機能が向上すると血流量が減る

- ・脳の機能が向上すると、血流が増大する範囲が狭くなり、血流量が減る。  
(例：筋電義手の訓練、英語の習得)  
これは、より少ないニューロン集団による機能の実現を意味し、理にかなっている。

## 社会問題に対する独断的な解説

- ・2000年前後に有識者や専門家が小・中学校での校内暴力の原因は「ゲーム脳」といい、コンピュータゲームを毎日何時間もやると前頭葉の機能が低下し、注意力散漫により衝動性が増し、暴力的になるという理論であるが、根拠は示されていない。

## 食べ物は脳に直接作用しない

- ・暴力や犯罪などの問題を特定の栄養素不足と関係づける解説も多い。  
例：現代の子どもは脳の信号伝達に必要なカルシウムが不足し、イライラしていると15年ほど前のテレビ番組での医師の解説があったが、食費や大気から血液中に入った物質のほとんどは、脳に直接影響をおよぼすことはない。

## 3 急速に解明されているのか？

- ・脳はすでにわかっているという誤解は多い。現在、生きている脳については、ニューロンとシナプスの動作さえ、十分解明されてはいない。

→★私の卒業研究中（1968年）のエピソードをある研究歴の報告の中に記載した。  
『この頃、脳についてもっと知りたいと思い、指導教員の紹介で医学部のY助手に話を聞きに行き、私のほうから勉強した内容をいろいろ説明したところ、  
「まだ脳についてはほとんど何もわかっていないのですよ」とたしなめられてしまった。  
なんともお恥ずかしい次第である』

## 論文数が増加すれば解明されるのか？

- ・2014年の調査では、脳科学の論文は年間30万本以上出版されている。  
内容的には、脳内の物質に関する分子生物学的研究が多い。
- ・しかし、生きて働いている脳の動作については説明できない。  
例：出勤時、到着駅で、少し時間があるから近くのコンビニでおやつを買っていこうと

したときの、外界の認識、状況判断、行動選択の脳の活動は分っているのだろうか？

・脳科学の有用な応用である、精神疾患や認知症の原因と治療法は分ってきたのだろうか？

→★私の修論では、研究室にかかってきた電話に自分が出るべきか否かの判断について、その思考過程を想定して、思考モデルを検討した。

### 『1. 5 思考とは何か』

#### (1) 内観による考察

はじめに、次のような日常的な思考過程を考えてみよう。

「私は今、研究室で、机に向かって熱心に本を読んでいる。

突然、電話のベルが鳴る。

約4 m離れた電話のところに行き、受話器を取る。」

このわずか数秒の間に、私は何を考えたであろうか。・・・』

<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/shuuron.htm>

### 「ザ・ブレイン」を観る

・筆者は脳科学の入門講義にTV番組の「ザ・ブレインー知られざる脳の世界」を使う。驚くべきことに、この1985年制作の番組内容が現在でも教材として通用する。

→★筆者のこの気持ちはよくわかる。私も1968年の卒業研究で調査して引用した内容と55年後に発行された本書の「ニューロンと神経回路の構造」などの記述との重複には驚いている。この間、実験手法は飛躍的に進歩したが、脳の働きの謎は深まるばかり。

### ゴリラの生態を知るために

・これまでの脳科学の問題は、多要因の相互作用からなる動的な構造体を、個々の要因が独立して働く静的で機械的な構造体として理解しようとしたことかもしれない。

・たとえばアフリカの深い森に棲むゴリラの生態を知りたいとしよう。そのためにすべてのゴリラを麻酔薬で眠らせれば調査可能であるが、生態がわかるわけではない。ゴリラをニューロンに、その集団を脳に置き換えれば同様の方法をとってきたのかも。

### 統制しなかったからノーベル賞を受賞

・研究対象を観察して重要な要因を検討するためには「統制条件」を設ける必要がある。  
例：朝食で味噌汁を飲む人は長寿だったので「味噌が寿命を延ばす」と結論するためにはご飯や和食という要因を外した統制条件として味噌汁とパンの場合、味噌汁だけの場合、水だけの場合などを調べることになる。

・脳科学の例：2014年にノーベル医学生理学賞を受賞したオキープの場所細胞の発見：1970年代初頭、迷路の中を自由に動いていたラットの海馬から特定の場所に来るたびに決まったニューロンが発火することに気がついた。しかも発火するニューロンは場所ごとに異なっていた。そこで、海馬では場所を認識する地図が作られていると考えた。

・この結論には「実験条件が統制されていない」という批判があった。実験室内には

照明や窓やドアなどがあり、さまざまな感覚情報が入っていた。

#### 4 脳は手強い

- ・脳は細かい部位ごとに役割分担しているという機能局在論が支配的だった。  
しかし、脳はわかりやすくは作られていない。

#### 単なる役割分担の集合ではない

- ・ほぼすべての機能それぞれを脳の特定の部位が担当していることを機能局在と呼ぶ。  
その部位や領域を脳の表面や内部に細かく描いた図を脳の機能地図と呼ぶ。  
しかし、有名な機能局在である言語野の、発話担当のブローカ野と言語理解担当のウェルニッケ野でさえ、両者の境界は不明確で、共に発話と言語理解に関わっている。

→★脳は「手強い」からこそ、脳の機能地図を理解の手助けにしていると思う。  
大事なのは、脳の機能地図では説明できないことがあると承知で利用することかな。

#### ある日の脳地図は次の日にはもはや確かではない

- ・機能局在が明確と思われている一次運動野は脳の最終的な出力部位であり、個々のニューロンは人体の特定の筋肉とつながり制御している。しかし、100年前の実験で、サル的一次運動野の同じ一点に電気信号を与えても日により動く筋肉が異なる報告あり。
- ・近年、一次運動野の筋肉でロボットアーム等の機械を動かすシステム（ブレインーマシンインターフェイス）の研究により、以下のような報告がある。
  - \*身体を動かしていた一次運動野のニューロンで機械を動かすようにすると、それらのニューロンで機械だけが動くようになった
  - \*筋肉とつながっていない一次運動野のニューロンも、その発火で電気刺激装置を動かし、身体の筋肉を電気刺激して動かすようにすると、筋肉を直接動かせるようになった
- ・一次運動野といえども、そこにあるニューロンの機能は容易に変化し、他の部位との境界も不確かなものとわかる。

→★スポーツ選手の話で、練習を休むと元の状態に戻るのが大変というのはこのこと？  
数年間乗らなかった自転車にすぐ乗れてしまうのはこの逆の話だが。  
記憶と忘却の関係も多様かも。

#### 脳部位とニューロンの多能性

- ・同じ行動、記憶、感覚などが、常に同じニューロンの発火から生じるわけではなく、また、同じニューロンが発火しても、同じ行動、記憶、感覚が生じるわけでもない。
- ・個々の部位と脳全体の関係を、また個々のニューロンとニューロン全体の関係を、それぞれ絶妙に調整しながら、また必要に応じて柔軟に変化させながら脳は働いている。

#### わかりやすいデータには要注意

- ある研究者の実験で、ネコの眼に特定の傾きを持つ線分を映すと、一次視覚野のニューロンが発火し、どの傾きの線分に発火するかは、ニューロンごとに異なっていた。また、同じ傾きに発火するニューロンは集団を結成し、集団ごとに一時視覚野内に配列されていた。この結果、一次視覚野は、視覚刺激が持つ輪郭という特徴を抽出する装置であると考えた。この成果でノーベル医学生理学賞を受賞した。
- しかし、この実験は、ネコに麻酔をかけ眠らせて実験した結果、非常にわかりやすいデータが得られたのである。このような統制が脳の本来の働きと異なるデータを出した可能性は高い。

### 順番通りに働くとは限らない

- 視覚認識は、一次視覚野から視覚連合野に至る、以下のような一連のプロセスで作られる：
  - ① 視覚刺激の検出
  - ② 「見えた」という意識
  - ③ わかったという認識
- しかし、筆者の研究室での、ラットの「見えた」という意識（気づき）を調べる視覚刺激検出課題の実験結果はそうではなかった。

### 単独犯は存在しない

- 1990年発表の筆者の実験：ワーキングメモリ（セット・リセットを繰り返すメモ帳のような記憶）を働かせることで正解する課題をラットに学習させて行った実験の結果、ワーキングメモリの働きに関して、以下のような不思議な結果を得た：
  - \*セロトニン（有）、アセチルコリン（有） → 働く
  - \*セロトニン（有）、アセチルコリン（無） → 働かない
  - \*セロトニン（無）、アセチルコリン（有） → 働く
  - \*セロトニン（無）、アセチルコリン（無） → 働く

→★ワーキングメモリという用語については、以下の関連ブログがある。

【2012.1のブログ】『「ワーキングメモリ」という用語が物忘れの説明に使われていた』

<http://www.1968start.com/M/blog/old.html#1201>

### 脳の機能はアンサンブルで決まる

- 結局、マクロな脳部位のレベルでも、ニューロンのレベルでも、そして神経伝達物質と遺伝子のレベルでも、脳の機能を単独で担うものは存在しない。
- 脳の機能は、多様な部位、多様なニューロン、多様な神経物質、そして多様な遺伝子が相互作用しながら働くアンサンブルによって実現していると考えざるを得ない。

### コラム4 神経経済学、神経犯罪学、神経政治学は有用か？

- 神経経済学では、個人の購買意欲や商品の嗜好を脳の活動部位の違いや活動の強さから

判定しようと試みている。コカ・コーラとペプシコーラの比較で、味の判定テストで負けているコカ・コーラがペプシコーラよりも売れている原因を脳の活動から明らかにしたという研究があるが、内側前頭前野は多岐にわたることと、脳の活動だけが客観的なデータではないという事実から、この結論は間違っているといえる。

- ・ fMRI で測定できる大脳皮質の最小単位は約 1 mm 四方で、その範囲には、10 万個以上のニューロンがあり、樹状突起と軸索の長さの合計は 10 km で、シナプスによる接続部は 10 億程度になるので、その範囲の血流の増加だけで脳の働きがわかるはずがない。
- ・ 脳の活動から、犯罪を予見したり、犯罪の動機を解明したり、あるいは自白の信憑性を判定しようとしている神経犯罪学も同様である。
- ・ 脳の活動から、有権者の意向や候補者の好感度を検知したり、効果的な演説方法を見つけようとする神経政治学も同様である。

## おわりに

- ・ 脳はいい加減な信号伝達をしてまちがえるからこそ柔軟であり、それが人の高次機能を実現し、個性をつくっている。
- ・ 脳の働きに関する本質的な疑問の具体例：
  - (1) 自らから発火できないニューロンがつながりつくりられている脳が、どうして自発的に活動できるのか？
  - (2) ニューロンは集団が同期発火することで信号を伝えているが、同期させているものは何か？
  - (3) 脳内の情報はどのような活動や状態で存在しているのか？
  - (4) 脳の信号伝達に基づく情報処理とは、具体的にどのような活動で行われているのか？

→★ (1) について、  
覚醒時には五感に関連する入力ニューロンがあるが、睡眠時の夢は興味深いかも。大学1年の時の倫理の授業での、夢の中で見ているものは非現実だが、考えていることは現実の自分の考えと同じという話を思い出した。

→★ (2) について、  
別に同期信号が集団のニューロンに送信されているとは考えにくいので、ニューロン間にシナプスのフィードバックループが構成され、集団発火が持続しているのでは。

→★ (3) について、  
脳の働きの基本ともいえる記憶と記憶の想起については、アナログ情報とデジタル情報の仕組みが興味深い。ヒトやモノの記憶について、映像的記憶と名前の記憶のつながりはどうなのか。顔はいつも思いだせるが、名前は思い出せたり思い出せなかったりするが・・・

→★ (4) について、

私の修論（1971年）の思考プロセスのモデル化では、マクロには思考エネルギーの分散と集中の繰り返しととらえ、計算モデルとしては、分散関数と集中関数のフィードバックループで表現し、出力はしきい値関数（言語化関数）で表現した。分散関数はニューラルネットワークで表現したが、当時のコンピュータの計算能力の制限で、ニューロン間の結合を示す行列は10\*10とした。

<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/gakkai7012.html>

→★全体的コメント：

人工知能の研究や実用化の進展も興味深いが、人間の脳の働きに関する興味は尽きない。まだまだ両者を比較するような段階ではない。

以上