

## 第 17 回自然科学研究機構シンポジウム

### 記憶の脳科学 – 私達はどのようにして覚え忘れていくのか –

2014 年 9 月 23 日 (火・祝日) 9 : 50~17 : 40

@ 学術総合センター (一橋講堂)

要旨集

[http://www.nins.jp/public\\_information/sympo17.php#sympo03](http://www.nins.jp/public_information/sympo17.php#sympo03)

高校生記者による取材記事

[http://www.nins.jp/public\\_information/hsreport/sympo17.php](http://www.nins.jp/public_information/hsreport/sympo17.php)

講演者への質問とその回答

[http://www.nins.jp/public\\_information/QandA/QandA17.php](http://www.nins.jp/public_information/QandA/QandA17.php)

【連載】 記憶の脳科学

[http://news.mynavi.jp/series/nins\\_kioku/menu.html](http://news.mynavi.jp/series/nins_kioku/menu.html)

## 記憶とは何か

### 岩田誠(東京女子医科大学)

#### ●真実は事実よりも強い

真実は、本人が思い込んでいること。

真実と事実が対立した時には、真実をとるしかない。

#### ●説得よりも納得

目的があって出て行く。

徘徊は、何の目的もなくということだから、あまり使いたくない。

孫の様子を見に行きたい、というような動機。

## 記憶を人為的に創り出す

### 井ノ口馨(富山大学)

#### ●記憶はどのように脳に蓄えられるのか

#### ●記憶を人為的に創り出す

#### ●記憶痕跡

古代エジプト・・・心臓に記憶、精神活動

アリストテレス・・・心臓

デカルト・・・脳

#### ●ペンフィールドの実験

重度のてんかん患者

命に関わる発作が起きる危険性があると、側頭葉を取り除く手術を行う。

そこを電気刺激すると、かつて体験した記憶が蘇った。

#### ●HM

有名な患者さん。

海馬の切除手術。

てんかんは完全に治ったが、新しいことを覚えられない。

ただし、昔の聞くはよく覚えている。

#### ●記憶はどのように脳に蓄えられているのか

ヘブのセル・アセンブリ仮説

ある体験の記憶の時に、たまたま活動した神経細胞のパターンが符号化されているのだろう。

その同じセットが活動すると、その記憶が想起されるのだろう。

計算機は何度やっても答えは同じ。

でも、脳は違う。

応答性は変化する。

## ●シナプス可塑性

通常はシナプスの信号の強さは一定。

ただし、2つの細胞が同時に活動すると、長期的に増強する。

経験に応じて、同じ経験に対して異なる出力をする。

シナプス結合の強さの変化として、神経細胞集団に活動パターン保持される。

これが記憶のメカニズム。

## ●仮説の証明

### ①相関関係

学習・記憶に伴って、

想起時に学習時に同じ神経細胞が活動することがわかった。

### ②阻害:必要条件

学習時に活動した神経細胞集団除去すると、記憶が失われる。

### ③模倣:十分条件

光遺伝学を用いる。

チャンネルロドプシン

人為的に特定の神経細胞を活性化することができる。

マウスに恐怖条件付け。

弱い電気ショックを与える。マウスにとっては恐怖の体験。

このときに活動した細胞にチャンネルロドプシンを導入。

これらの神経細胞群を活動させると、マウスはすくみ反応を起こした。

これで、2012年にセル・アセンブリ仮説は実証された。

細胞集団によって、それぞれの記憶が符号化されている！

何がわかったら、記憶を完全に理解したことになるのか？

→完全に人工的な方法で記憶を創り出すことができれば。

映画 トータルリコール

記憶が上書きされる。

### ●パブロフの犬

ベルの音を聞くだけで唾液が出る。

ベルの音とエサという二つの記憶が連合する。

### ●記憶情報の連合を理解することは重要である

新規情報と旧情報との相互作用。

一つ一つの個別の体験が連合することにより、新しい知識を獲得する。

P T S D

サリン=危険

しかし、人混みなど、本来連合していなかったものが連合してしまう。

### ●記憶が連合するときに何が起きているのか？

まだ何もわかっていない。

ここにチャレンジしようという試み。

### ●行った実験

丸い箱にマウスを入れる。

その箱のことは一ヶ月くらい覚えている。

四角い箱に入ったらすぐに電気ショックを与えてすぐに出す。

2つの記憶が連合するときに、両者に反応して活動する記憶痕跡細胞の数が増えてくる！

記憶 A と記憶 B を別々に埋め込む。

その後、A でも B でも記憶痕跡細胞となっている細胞を活動させ、連合させることができるのではないかな？

丸い箱、四角い箱に入れた後に、両方で記憶痕跡細胞となっている海馬と扁桃体の神経細胞にチャンネルロドプシンを発現させる。

これで 2 つの記憶を人工的に連合できれば、丸い箱に入れたときにも、すくみ反応が見られるのではないかな？

→うまくいった

つまり、人工的に連合させた、記憶を創り出した、ということ。

これは、通常の連合記憶と同じ分子メカニズムであることがわかった。

また、恐怖の体験は汎化する。

四角い部屋は怖い、丸い部屋は怖くない。

直後は区別できているが、一ヶ月後くらいでは、丸い箱も怖くなってしまふ。

このしくみも、人工的な連合でも見られた！

### ●3つのポイント

独立した2つの記憶を完全に人工的に連合させることは可能。

2つの記憶で活動する記憶痕跡細胞を活動させることで記憶は連合する。

人工的に連合させた記憶は、通常の連合学習の記憶と同じ。

### ●若い人へのメッセージ

脳科学は、物理学でいえば、15～16世紀といったところ。ガリレオ、ニュートン以前。

脳科学のガリレオ、ニュートンは近い将来に現れるかも？

# 見る、憶える、思い出す～大脳皮質ネットワークにおける知覚と記憶の神経メ

## カニズム

### 平林敏行(東京大学)

#### ●大脳における外界の分散型内部表現

外から入ってきた情報は、様々に分解されて、様々な領域で処理し、統合している。

今日は、もののかたちを処理するところの話。

#### ●腹側路と背側路

背側路・・・空間情報に関する処理

腹側路・・・ものの内容に関する処理

#### ●腹側路

ある患者さん。

色、テクスチャー、細かいものはわかる。

しかし、ものの形状がわからない。輪郭が溶けてしまったような状態。

線画を模写することができない。これを視覚失認という。

記憶に頼ってリンゴやヨットを書くことはある程度できる。

ものを見せると、つかんだりできる。背側路は大丈夫だから。

#### ●下部側頭葉

物体知覚を司る。

複雑な形に応答。

オレンジに反応して消しゴムに反応しないようなニューロンは、そのものが、どこでどのくらいの大きさで見えていても同じようにはたらく。

個々のニューロンは個々の物体に最適に応答するのではなく、部分的な特徴に最適に応答。

サルは、顔とものを区別可能。

顔に応答するニューロンを特定する。

その後、そのニューロンに軽い電気刺激を与える。

すると、ものを見ても、顔だと思う率が上がった。

### ●物・概念の長期記憶表象

トラックという概念を思い出すと、近い概念はつられて活性化する。  
近い概念ほど密接に関係。

### ●対連合記憶課題

サルがレバーを引くと、見たことのない絵が出てくる。  
2つ見た後に、両方同時に出てきたら、どちらかを叩くとエサがもらえるようにづる。  
すると、いくつかの絵のパターンを学習することができる。

12個の対を学習させて見ると・・・

### ●神経回路の理解へ

ニューロン間情報伝達の解析

ある物体の想起時に活動するニューロンは、学習時に活動していたニューロンは。

### ●因果性解析

グランジャー因果性解析。もともと経済学で使われていた指標。  
時系列Y値の予測に、Yの過去値だけでなくXも導入した方がよく予測できるとすれば、  
XはYに影響を及ぼしていることが言える。

思い出すときに、CH→PRへの情報の流れがあることがわかった。  
別のPRをさらに活性化させているのでは??  
これも確認できた。

### ●記憶想起のしくみ

手がかり刺激により、CHニューロンが活性化。  
その後、CHはPRを活性化。  
さらに、別なPRを活性化。

### ●ボトムアップとトップダウン

ボトムアップ・・・実際の視覚経験による主観的画像  
トップダウン・・・記憶から想起した主観的画像



## 近年のコンピュータ将棋の進歩と機械学習

### 佐藤佳州(パナソニック株式会社)

#### ●コンピュータ将棋とは

研究としては、人工知能の一分野。  
近年、プロ棋士との対局が大きな注目を集める。  
電王戦。

#### ●なぜコンピュータ将棋が強くなったのか？

- ①詰め将棋の絶対的な性能  
大事な場面で絶対に間違えない。
- ②読みの進歩  
探索技術の進歩、有力な手ほど深く読む
- ③局面の評価能力の向上  
機械学習の成功  
評価関数

#### ●コンピュータ将棋のアルゴリズム

人間の場合は、読みと大局観で指し手を決定。  
  
コンピュータであれば、探索と評価関数。  
何でもかんでも読む  
→制限時間までで読めた局面について、評価関数によって評価。

#### ●コンピュータの考え方の特徴

探索  
読み抜けが少ないが、無駄が多い。  
1秒間に数百万局面読むのに負けることがある。  
評価関数  
正確な評価関数をつくるのが困難。

探索では、よさそうな手を深く探索したい

評価関数では、局面の優劣を正確に数値化したい  
→棋譜を利用した機械学習

### ●将棋における機械学習

プロの棋譜をたくさん記憶することではない。  
単に記憶しただけでは、棋譜と完全に一致する局面でしか知識を活用できない。

人間は、指し手の意味の解釈などの無意識的に行える。  
コンピュータにも指し手の意味を獲得させたい=機械学習

### ●評価関数の学習

従来は、数千以上のパラメータを手作業で調整。  
これでは厳しい。

2006年、ボナンザが機械学習に成功  
→飛躍的な機能向上

評価関数の機械学習は、「人間の真似」

### ●指し手の比較による学習

棋譜中で指した手がさされなかった手よりも数値が上回るように数値を調整する  
これで機械学習可能

### ●評価関数学習の効果

自然な序盤、中盤の指し手がかのうに  
評価できる項目の数が格段に増加  
将棋が強くない開発者でも強いプログラムの開発が可能に

### ●機械学習の工夫

より有用な知識を獲得するにはどうしたらよいか？  
現在の機械学習は、人間の真似が目的。  
強くなるために学習しているわけではない。  
評価関数は、人間の大局観の域に達しているわけではない。

- ①どのような棋譜が学習に有用か？
- ②進行度に応じた評価値の調整
- ③複数の学習方法との組み合わせ

## ●コンピュータ将棋の今後の展望

人間に勝利するというわかりやすい目標が達成されようとしている

### ①強さを追い求める方向性

人間の棋譜によらずに強いプログラムを作れないか？

必勝の手順は存在するか？

### ②人間との関わりを重視する方向性

詰め将棋の作成

コンピュータが人間に教える

## 記憶と脳指紋

### 柿木隆介(自然科学研究機構)

#### ●脳指紋

脳波を使った嘘発見器

脳には必ず記憶が残っている＝脳指紋

それを脳波で検出する。

犯人にしか知り得ない情報を見せたときの脳の反応を見る。

アメリカでは脳指紋はかなり使われている。

日本ではまだあまり広がっていない。

脳波の P300 という成分を利用。

海馬が主要な発生源。

P300 反応は、20 歳くらいで最も早く、歳を取ると遅くなる。

認知症では、P300 の反応が遅くなる。知能指数との強い相関がある。

#### ●実験

擬似犯人に、犯行に関係のある写真を事前に覚えてもらう。

それを覚えていない無実の擬似容疑者にも写真を 10 枚見せる。

うち、1 枚は犯行に関係のあるもの。

このとき、擬似犯人に犯行に関係のある写真を見せたときにだけ P300 が検出された。

このとき、擬似犯人に心の中で積極肯定、積極否定、考えない、のそれぞれのパターンを試したが、いずれのときも、関係のある写真にだけ P300 が検出された。

日本は間接証拠をあまり重視しない。

無実の被疑者を作ってしまう可能性。

「新・科捜研の女」で何度も脳指紋が取り上げられている。

#### ●倫理的問題

人の心の中を覗く。これはいいのか？

アメリカでは、テロリストの仲間を調べたりするのに使っている。

## ワーキングメモリ～脳のメモ帳

### 苧坂満里子(大阪大学)

#### ●記憶

一度どれくらい覚えられる？

小学校の遠足で行った場所は？

この二種類は異なる記憶。

数字はどのくらい覚えられる？

→ $7 \pm 2$  くらい、1956年

短期記憶

一時記憶。

リハーサルにより保持可能。

小学校の遠足はどこに行った？

長期記憶

時間の制約を受けない。

#### ●行動しながら記憶する

処理(計算)+保持

ex)繰り上がりの計算

会話しながら記憶する

言葉の意味を追いながら理解していく

etc...

#### ●ワーキングメモリ

処理と保持を支える記憶システム

1986年、バッドレーとヒッチ

音韻ループ、電話番号を憶えるなど短期記憶

中央実行系

エピソードバッファ

短期記憶、長期記憶を制御するのが中央実行系。  
短期記憶は音韻ループによって制御される。  
長期記憶はエピソードバッファーによって調節される。

### ●中央実行系の注意制御

注意をうまく、処理と保持に分配する。

### ●ワーキングメモリ容量を測定する

処理と保持のトレードオフ

日本語リーディングスパンテスト

リスニングスパンテスト

### ●ワーキングメモリの個人差

測定結果と読解力に強い相関が見られる。

単に数字を覚えたりするだけの短期記憶との相関はあまり見られなかった。

RST では、覚えるべきものと覚えるべきでないものがある。

RST では、ターゲット語によく視線がいつている。

高得点群はターゲット語に視線がいつているが、低得点群ではターゲット後に視線がいつていない。

また、高得点群では方略を適応している。

方略を適用し、それが有効かどうかモニタリングを行っている。

高得点群は、自己モニタリングがうまい、ということ。

DLPFC は、トップダウンで注意を保持

ACC は、コンフリクトの制御

### ●ワーキングメモリの老化

買い物忘れ

名前忘れ

何のために2階に上がったのか？

電話をしたのに要件を忘れる

→処理と保持同時に行うワーキングメモリの低下なのでは？

RST のスコアは低下している。

高齢者の RST エラー

覚えなくてもよい語を覚えてしまう。

全文を覚えてしまう。

など

### ●幼児のワーキングメモリ

LST で 1 文だと、単語だけを取り出して言えるけれど、2 文になると全文再生が見られる。

何かだけに注意を向けるのがまだ苦手。

### ●ワーキングメモリの訓練

覚える単語を絵に描かせる。

### ●情動とワーキングメモリ

ポジティブな文章

ネガティブな文章

で調べてみる。

## 健忘症と認知症

### 森悦朗(東北大学)

陳述記憶・・・エピソード記憶、意味記憶

非陳述記憶・・・手続き記憶、プライミング、条件反射

臨床で問題になるのは、エピソード記憶

この障害のことを健忘という。

過去のことを忘れる＝逆行性健忘

新たに覚えることができない＝前向性健忘

通常は、両方が生じる。

逆行性健忘のみは稀。

前向性健忘のみで逆行性健忘が目立たないことも多い。

### ●ヒトの記憶システム

①海馬を含む側頭葉内側部

症例 HM

手術前 10 年間の逆行性健忘

強い前向性健忘

辺縁系回路

- ・内側辺縁系回路
- ・基底外側辺縁系回路

海馬損傷

単純ヘルペス脳炎、脳挫傷、アルツハイマー病

→強い記憶障害

②視床内側部

症例 NA

おもちゃの剣がささって損傷。

事故前 2 年間の逆行性健忘

ほぼ完全な前向性健忘



視覚性記憶より言語性記憶に強い障害

ウェルニッケ・コルサコフ症候群

酒飲みに多い。酒を飲むとビタミン B1 を消費。食べ物を食べないとビタミン B1 が不足する。

③前脳基底部

くも膜下出血

④脳梁膨大部後方領域

地誌的見当識、特殊な記憶障害

### ●一過性の健忘

- ・外傷後健忘
  - ・一過性健忘
  - ・薬剤性健忘
- 飲酒、睡眠薬
- ・解離性健忘

## パネルディスカッション

### ●立花隆先生

一週間前の臨死体験の NHK スペシャル

作る過程が複雑だった。

あそこに出てくる様々なレポート的なものを全て真実と考えているかによって各場面によって異なる。

例えば、臨死体験者の医者証言は信用していない。

臨死体験の前に医療現場でミスをしている。それは紹介していない。

そこそこ有名だけれども、彼が自分のオフィスという場所に行っても、その人を知らないといわれた。

ある程度撮影が始まったところで止めようと言ったが、色々話を聞いてみると、相当怪しいけれども、ものすごく怪しいというわけでもなさそう。

利根川進さんのフォールスメモリーの話。

見て面白いドラマチックな実験、研究をする人。

嘘の記憶を埋め込む実験。

これは検察の無理な取り調べじゃないか、という声。まさにその通りだと思う。

ここからわかるのは、人の記憶というのは、非常にあやふやであるということ。

自分が2歳の子供がでてきて臨死体験を語る場面。

あそこに嘘があるか？

あの VTR 自体は嘘ではない。

しかし、放送された映像の半分以上は家族が撮影した映像。

2歳児のときの記憶を4歳児が語ったとしても、あまり信じられないというのが普通。

しかし、他にも似たような事例の報告がある。

常識的には客観的な事実とは言えないだろう。

### ●井ノ口先生

※トラウマ記憶への治療に対して応用可能なのでは？

→フォールスメモリーを埋め込むのは可能。

怖い部屋だけど、メスがいるからいい部屋だという風に思わせることは可能。

PTSD など、恐怖の記憶は、ある場所やものが恐怖体験と結びついていたとして、それをいい体験と結びつけるといことはできるのではないか？

マウスなんかではできているし、原理的にはできると思う。

※記憶を埋め込むのではなく、忘れさせること可能か？

→これは、もっと前にできている。

普通、繰り返すと記憶は強化される。

しかし、同時に思い出すときに不安定になる。その後、強く固定していく。記憶の再固定化。

この分子レベル、回路レベルでのメカニズムはよくわかっている。

これを応用するとうまくいくだろう。

### ●平林先生

※顔ニューロンの知覚。小さい子供が色々なものを顔に見えてしまう現象と関係あるか？

→関係ある。

知覚一般にトップダウンは重要。

ものが顔に見えやすいという心霊写真なんかのメカニズムはトップダウン。

### ●佐藤先生

※コンピュータ囲碁は？

研究はされているが、将棋の評価関数みたいなものはない。

機械学習はしている。けっこう強くなっている。

個人的な見解としては、10年くらいのうちには、人間のトップ棋士破るのでは？

※コンピュータ将棋の開発には、すごく性能のよいPCが必要なのでは？

家庭用のデスクトップPCでも開発可能。

### ●柿木先生

※脳指紋はどこまで信頼できるのか？

条件と個人差による。

10年前のもので反応が出なかったとしても、だからといって見たことがないと結論づけることはできない。

※デジャブという現象はあるが、脳指紋は出るのか？

→体験そのものではないと言われている。そう思っているだけということでは。

見たことがないけど、という前提がないといけなけれども、小さい頃に見たことを忘れ

ていたり、記憶にはっきり残っていない場合もあり得る。

デジャブの反対のジャメヴという現象もあるが、この場合に脳指紋は使えそう。

※動物でも脳指紋はあるのか？

サルやマウスでも、知っているものを見せると P300 は出る。

すごく高度なこと見えるけど、生存にとって重要なものであった可能性。

## ● 苧坂先生

※どこまでが限界？

カーネギーメロン大学では、6 文条件でできる人がいなかった。

だから、5 文条件までを調べている。

3 文くらいが平均。

最近では、高得点者がいなくなったいる。

高得点者は読書が効率的。

でも、低得点者でも戻り読みをするなど、時間をかければ問題ない。

※ワーキングメモリの鍛え方は？

日常生活で十分なのは、普段からワーキングメモリを使っている。

## ● 森先生

※認知症の初期で脳トレをするといいいことがあるか？

脳トレ効果はほとんどないだろう。

ゲームはうまくなるだろうけれど、汎化は起きないだろう。

軽い認知症の人なら、ゲームより旅行とかより刺激的なことをお勧めしている。

世間で言われている脳にいいということは、科学的に証明しようがない。

そういう実験ができないから。

例えば、指を細かく動かすといいい、ということを実証しようと思ったら、大規模に長期的に調べて差があるかどうかを見る必要があるだろう。

また、脳の活動が上がることは、実際どのくらいいいのかはわからない。

## ●立花先生

※記憶は脳にしか存在しないのか？

→陳述記憶は脳だろう。

人間の持っている記憶の大部分はからだで覚える記憶。

脳科学の大問題は、人間の意識はどこでどう保持されているのか、ということ。

これから、脳科学はとても面白い時代だ。

今までわからなかったことどんどんわかるようになってきた。

※何がわかれば、記憶というものを理解したことになるか？

柿木先生

世にも奇妙な物語で、記憶を売って生きる人の話があった。

でも、お金は手に入っても、幸せにならないだろう。

楽しい記憶をたくさん持てることが、幸せなことだ。

立花先生

フランスの「失われた時を求めて」という小説。

匂いがきっかけになって様々な記憶が想起され、壮大な話になる。

とてつもない脳の中で何がどのように行われて、どのように記憶が蓄積し、それがほどけて出てくるのか。それがわからなければ、記憶がわかったことにはならない。