

脳に関する常識クイズ (正解は赤字)

1/36

(常識と思っていても間違っているのはいくつですか?)

01 最後に脳細胞が生まれるのは?

- a) 生まれるとき b) 6才 c) 18~23才 **d) 老年期**

02 記憶力が衰え始めるのは? **a) 30代** b) 40代 c) 50代 d) 60代

03 私たちは脳をどれくらい使っている?

- a) 10% b) 睡眠中は5%、起きてるとき20% **c) 100%** d) その人の知能によって違う

04 アインシュタインの脳は普通の人の脳と比べて

- a) 大きかった **b) 同じ大きさ** c) しわが多かった d) 普通の人に無い部分があった

05 以下の中で脳に取って一番難しい事は?

- a) 暗算で割り算をする **b) 写真を見る** c) チェスをする d) 眠る

06 以下の中で脳細胞を殺してしまうのは何?

- a) 晩酌にビール3本飲む b) マリファナ c) LSD d) すべて **e) どれも正しい**

07 脳トシで効果があるのは?

- a) 認知症の人の症状の改善 b) 若い人がやると記憶力増大 c) 老人がやると記憶力増大
d) 脳の機能全体が鍛えられる **どれも正しい**

全学教育科目：理系教養 「自然環境と人間」

第1シリーズ 「脳」 6話

-その3： 記憶と学習のメカニズム-

あなたは本当に天才になりたいですか?

コンピュータのような脳が欲しいですか?

- ・天才の脳とサヴァン症候群
- ・脳の記憶容量
- ・神経細胞の構造と機能
- ・シナプス伝達と脳の可塑性
- ・記憶の種類
- ・サヴァンの脳の特徴と形成メカニズム
- ・男女の脳の違い

* 脳とコンピュータの原理的な違い三たび

澤田 誠

環境医学研究所 脳機能分野

2/36

記憶の性質を理解するためのテスト

3/36

下に並べた言葉を眺めてください。
特に意識して覚える必要はありません。



天才の脳とサヴァン症候群

4/36



サヴァン症候群

百科事典を丸暗記、ビデオデッキのような記憶、天才的な作曲能力、動物の気持ちがわかる能力

半数は自閉症

超人的能力はすべての脳にある
天才と脳の障害が共存
サヴァンを調べると脳の働きがわかる

天才の脳とサヴァン症候群

5/36

サヴァン症候群：savantとは仏語で「賢人」の意。知的障害や自閉性障害のある者のうち、ごく特定の分野に限って、常人には及びもつかない能力を発揮する者の症状を指す。狭義のサヴァン症候群は極めて少なく、全世界で数十名程度しかいない

脳の器質因説

自閉性障害の特異な認知能力説

ただし自閉性障害のある者の全てがこのような能力を持っているわけではない。
自閉症と同様、男女比は男性が女性の数倍である。

能力の例

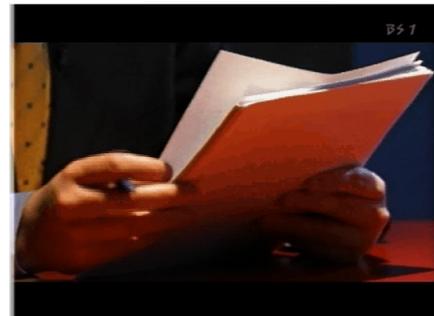
- * 特定の日の曜日を言える (カレンダー計算)。
- * 航空写真を少し見ただけで、細部にわたるまで描き起すことができる。映像記憶。
- * 楽譜は全く読めないが、1度聞いただけの曲を最後まで間違えずにピアノで弾く
- * 書籍や電話帳、円周率などを暗唱できる。
- * 芸術性の非常に高い作品 (絵画、彫刻など) を作るすることができる
- * 並外れた暗算をすることができる。

この他にも様々な能力 (特に記憶に関するもの) がみられるが、対象物が変わると全く出来なくなってしまうケースがある (航空写真なら描き起すことができるが、風景だとできない、特定の高度な計算ができるが通常の計算は、1桁の足し算でも出来ないなど)。

後天的なサヴァン症候群

6/36

一般の人がある日突然に天才になってしまった
オランダ・セレルの場合



脳の記憶容量

7/36
17.5テラバイトの記憶容量とは
文字（漢字）にすると9兆文字分
400字詰め原稿用紙：約225億枚分
新聞：300万年分弱
電話帳：約140万冊分
オーディオCD：約25000枚分
DVD：約3723枚分

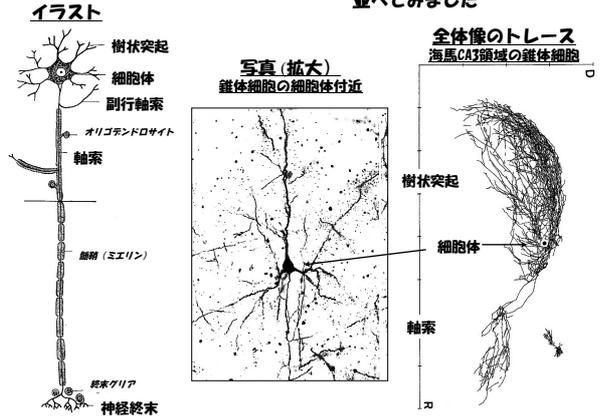
神経細胞ひとつが「素子」とすると、それぞれがシナプス結合することによって演算が行なわれる。
単純化すると大脳皮質による記憶は、一つのシナプスが情報を伝えるか伝えないか（つまり1か0か）によりデータを記録する現象と考えられる。そうするとシナプス1個が1ビットとなるので、

人間の脳皮質には神経細胞が約「140億 = 140×10^{12} 」あり、
シナプス結合は細胞一個に付き平均で10,000とすると、

$$140 \times 10^{12} \times 10,000 = 140 \times 10^{12} \text{ ビット}$$

つまり 17.5 テラバイト (1バイト=8ビット)

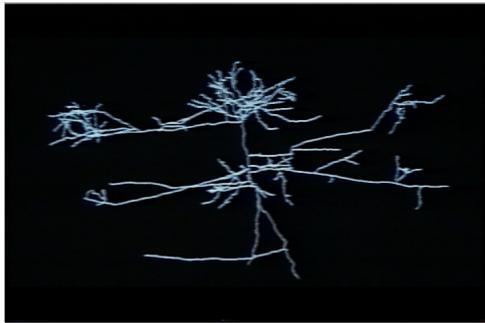
神経細胞の形 わかりやすいように同じ方向に並べてみました 8/36



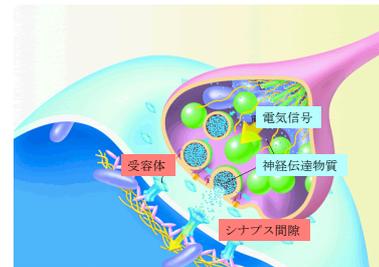
神経の形とシナプス 9/36

シナプスでは化学物質によって信号を伝える

軸索の末端は、こぶ状に膨らんだ形をしており、「シナプス」と呼ばれる。シナプスは次の神経細胞と密着しているのではなく、数万分の1mmほどのすき間「シナプス間隙」がある。



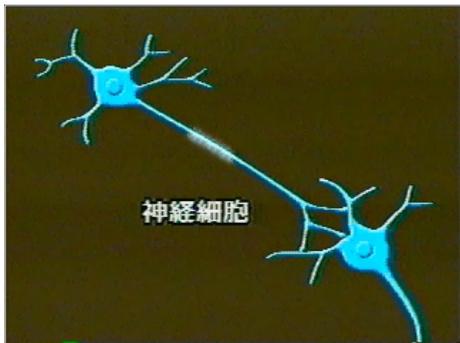
シナプス 10/36



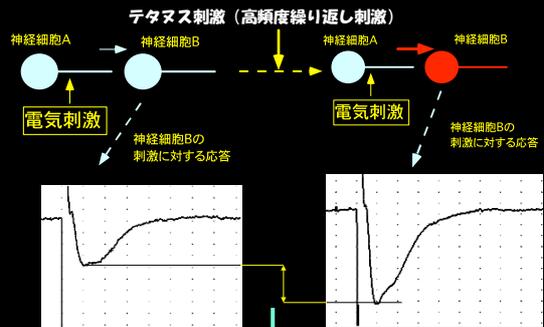
シナプスでは、電気信号を化学物質の信号に変えて次の神経細胞に情報を伝達している。

電気信号が伝わってくると、シナプスにある小胞から「神経伝達物質」という化学物質が、シナプス間隙に分泌される。神経伝達物質が、次の神経細胞の細胞膜にある受容体に結合すると、電気信号が生じて情報が伝達される。シナプス間隙の伝達にかかる時間は、0.1~0.2ミリ秒ほどである。
神経伝達物質はアセチルコリン、ノルアドレナリン、ドーパミンなど、現在までに数十種類が発見されている。

学習、記憶のメカニズム 長期増強 11/36



シナプスの可塑性について 12/36



応答の増大 = 神経の可塑性

学習と脳の可塑性

学習が起こったときには神経細胞の中ではどのような変化が生じるのか



繰り返し情報が入力するとCAMキナーゼIIという酵素が活性化されその酵素の作用でカルシウムチャンネルが開きやすくなる
⇒ 弱い入力でも神経細胞が興奮しやすくなる

ひとつのシナプスの情報処理量は10ビット程度

ひとつのシナプスは信号を伝える、伝えないだけの情報処理だけでなく、情報量の多い、高級な情報処理をしている。いろいろな種類のパルス変調処理により、1か0かの信号処理(1ビット)の10倍程度の情報量をもつ。

- ・単位時間当たりの情報量による識別：パルス密度変調
シナプス可塑性にかかわる学習のメカニズムに関連
- ・ひとつの信号の持続時間による識別：パルス幅変調
モノアミンやペプチド性伝達物質による(情動)修飾

大脳新皮質のカラム構造での情報処理

- ・関連して発火するシナプスの時差による信号識別 : パルス位相変調
- ・関連して発火するシナプスの位置関係による情報処理 : パルス位置変調

したがって**脳全体の記憶容量は17.5テラ以上**ということになる。
しかし細胞の数が決まっている以上、その容量は有限である。

記憶の分類：持続時間による分類

感覚記憶：バッファメモリーのようなもので、目から入った情報がほぼそのままイメージ通りに記憶される。

通常は最大1～2秒で消えるが、プロのカメラマンや画家などには、この記憶を長時間維持できる人がいる。

一方、記憶容量は一度に4つの情報刺激までと言われている(人間の五感は、一度に4つの情報刺激までを処理できるため、感覚できる情報刺激として4単位が記憶される)。

例えばランダムに文字が書かれている紙を見せられた時、4文字までは一瞬で見て感覚記憶として記憶できる。しかし、5文字以上になると一度には処理できず「視線の移動」が行われ、感覚記憶のデータは短期記憶にかかわる神経ネットワークに移動する。その後、情報の抽出と編集がおこなわれる。

記憶の分類：持続時間による分類

短期記憶：数秒～数分間の記憶。コンピュータのレジスタのようなもので感覚記憶の中から「意識」が意味を感じ取ったものが格納される。訓練によりやや長く保持できるようになる。暗算や筆算の繰り上がりなどは短期記憶で処理される。

短期記憶の容量は「意味的にまとまって記憶できる単位」で平均7個程度と言われている。若干の個人差があり、少ない人は5単位、多い人は9単位もある。

長期記憶：継続的に持続される記憶。短期記憶の中から特に記憶しておくべきと判断されたものが格納される。コンピュータなら主記憶。

それぞれの記憶の特徴

* 記憶の編集について

=人間の目は「見えた通りには見ていない」という事実
英米圏で行われた実験によれば「BLACK」のような文字が普通の文章の中に出てくると、多くの人がちゃんと「BLACK」と読んでいる。つまり、人間が感覚記憶(みたままの情報)から短期記憶(意味をもった情報)へ転送する際のデータ編集の段階で、見慣れないものは見慣れたものに強制的にアジャストされる機能がある。場合によっては見えているものが知覚されないこともある。

* 前頭連合野にあるワーキングメモリという機能

ワーキングメモリは短期記憶の一種だが、際だった特徴としては「行動のために使われる記憶である」という点がある。目や耳から入ってくる多くの情報のうち、現在の自分にとって意味のある情報だけをフィルタして抜き出す「選択的注意」というのがその主たる役割である。

それぞれの記憶の特徴

* コンピュータの場合はバッファやレジスタの記憶は次の情報がくると置き換わって消えていくが、人間の記憶は「忘れた」あともしばらくは残っている。そのため記憶はしばしば「引き出し」に例えられる。

忘れたというのは情報をしまった記憶の入った引き出しが開かなくなっている状態であり、何かの拍子に引き出しが開くと、それが出てきて「思い出す」ことになる。

皆さんからの質問

- * 記憶を増大させる方法は？
- * 記憶力の高い人と低い人の脳の差は？

何かを思い出したいときのやり方として有効な方法として「関連することを考える(連想記憶)」というものがある。

これによって脳細胞のその付近のニューロ・ネットワークが活性化され、思い出せる確率が高くなる。

記憶の性質を理解するためのテスト2

以下の質問に教えてください。

記憶の特徴

知覚情報（感覚記憶）を丸ごと保持すると情報量は膨大化する

第1段階

記憶の編集や関連づけによる情報の抽出
不要と判断された情報に関しては無意識に
フィルターをかけて排除、または重み付け

第2段階

頭の中での再編集

いろいろな情報を自分の中
で関連づけして保持

第3段階

連想という高度な情報処理が可能
(コンピューターにはまだ不可能)

保持する情報量の軽減 連想記憶

情報の類型化がなぜ必要か？ = 自然界で生存するためには必須の要件

記憶 = 過去の「生存にかかわる状況」を好ましいか好ましくないかの
重みをつけて記憶として格納し、似たような状況があった
ときに即座に対応して判断できるようにするために必要

大脳辺縁系と記憶

情動の脳である大脳辺縁系の記憶

断片的で短絡的（ある情報に対してある特定の情動という対応関係）
高度な状況判断ができない；複雑な処理過程を極端に省いてしまう

非常に素早い処理が可能

非常に細かいところまで記憶

生命の大原則に関するものが多い

個体の生存維持にかかわる

たとえば、海で溺れてしまった場合、海水に浸かっている全身の感触、塩辛い海水の味、ざらざらした太陽の光、潮の香り、顔に当たる海風の感触、波の音、船の汽笛、けいれんした足の痛み、海藻が足からみつく感触、海水が肺に入り込んだときの息苦しさ、耳を満たすゴゴゴという音、咳き込んだときののどの痛み、海水を大量に飲んだための胃のむかつきなどの情報を、バラバラのまま大脳辺縁系が取り込みます。

そして、それぞれの情報が、バラバラのまま、水難事故に関する一連の情報として、グループ化されます。さらに、そのグループの要素すべてに、「恐ろしい、痛い、苦しい」といった、水難事故に遭ったときの強い情動が結びついて記憶されます。

情動と結びついた一連の記憶のまとまりを、コンプレックスと呼ぶ。

五感の情報の認識よりも先に情動発生処理が終わる

= 記憶や学習過程にも大脳辺縁系の判断は非常に重要

情報処理フィルター



海馬、扁桃核による無意識の情報処理 = 情報処理フィルター

・情動による重み付け = 記憶を呼び起こすためのインデックス

・マインドセット：常に過去の情報を元に仮想空間を構築

その中で情報を比較して生存のために判断対応する

記憶の意味

このような情報の類型化 = 自然界で生存するためには必須の要件

外的情報において完全に同じ状況など存在しえない

= 各状況をすべて保持すると不必要な情報が膨大化

情報を特徴抽出によって簡略化したようなものとして保持

生存するための判断を下す材料として利用

= ヒトの持つ記憶の意味

元々コンピュータのように情報をそのままの形で保持するだけに脳が使

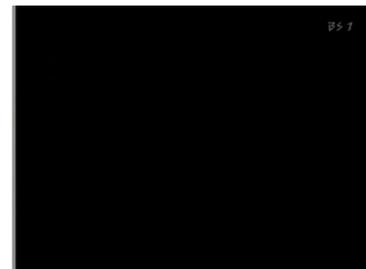
われるのではない（つまり情報の蓄積が目的ではない！）

自然界で生存するために必要な作業として知覚した情報を保持し、判断

の材料として利用するために記憶という作業を行っている

暗記物の勉強なんかをしているとついコンピューターみたいな脳み
そがほしいなどと考えてしまいますが、単純記憶にはまねできない
ような高度な処理を行った結果が人間の記憶と忘却そして錯誤なの
だから悲観することではないですね。

キム・ピーク



記憶の天才ですが、一人では社会生活をする事ができない。これは
大脳辺縁系の中の脳梁という部分が生まれつき無いことに原因がある。

情動のフィルターがうまく働かない

= 記憶のインデックスがすべてについてしまう

(不要な情報も取り込んでしまう！)

ではどうして脳梁がなくなったのでしょうか？

サヴェンのヒトの脳はどのようにしてできるのか？

25/36



サヴェンのヒトの脳の形成の特殊性は、胎生期に精巣から分泌されたテストステロン（アンドロゲン・シャワー）の異常分布による神経構造や回路の形成変化によるものだと考えられている。この調節はもともと脳の性差発現にかかわっている。

男女の脳の違い

26/36

脳の性差

Sタイプ 「システム脳」

: 普遍的志向であり空間操作に長ける傾向＝男性に多い「男脳」

Eタイプ 「共感脳」

: 個人的志向で言語操作に長ける傾向＝女性に多い「女脳」

(注意) あくまで統計的な傾向についての話で、このような傾向とは異なる性質を示す個人もそれなりの割合で存在するので、安易に個人の性質を決め付けることはできない

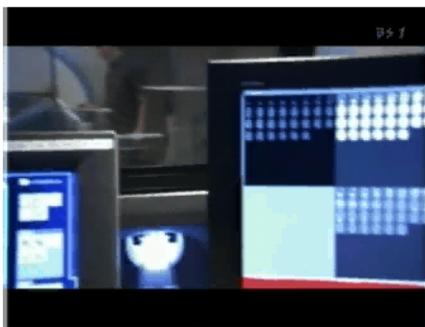
これに生物学的な意味があるか？

構造的な違いによるものかどうか？



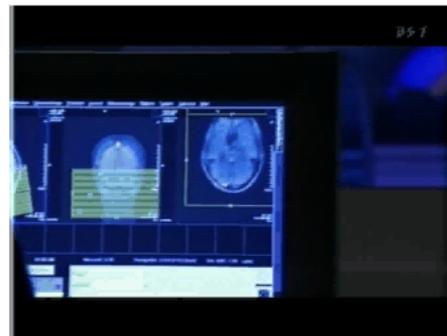
復讐の共感の分析

27/36



男女の脳の違い

28/36



男女の脳の違い

29/36

脳の解剖学的性差

*脳の大きさの違い：男性の脳の方が平均重量で1割ほど大きい。

ただし脳の大きさは知能の指標とならないため、知能の高さとは無関係である。

また、脳の大きさには個人差がある。

*左右の大脳半球を連絡する約2億本の神経線維の大きな束である脳梁は、女脳は中央に膨らみのある形状、男脳は棒状になっていて、その断面の面積を比べると、女脳のほうが(全脳との比率では)女性の方が大きい

ただし脳の容積は男性の方が大きく、脳梁容積の絶対値も男性の方が大きい
脳梁によって左右の脳の間で情報交換が行われている
左脳は主に言語能力を担当し、右脳は主に感覚的な能力を担当している
脳梁膨大部は、視覚情報や言語情報の処理に関わる大脳半球間を連絡する神経線維からなっている

- ・大脳辺縁皮質の情動反応に関連している部分は、男性より女性のほうが大きい。
- ・扁桃体は、女性より男性のほうが大きい。
- ・前頭皮質部分は、男性より女性のほうが大きい。
- ・空間的知覚に関連する頭頂皮質の部分は、女性より男性のほうが大きい。

男女の脳の違い

30/36

脳の性差は脳の個体発生の途上で、妊娠90日前後に決まる。脳の性分化の臨界期と呼ばれるこの時期には男性胎児の精巣のアンドロゲン分泌が盛んで(アンドロゲン・シャワーとよばれる)、アンドロゲンが神経細胞の生存や排除、軸索の伸展や樹状突起におけるシナプス形成を調節することにより、男性型の脳が形成される。アンドロゲン作用がない場合には女性型の脳が完成する。

脳・脊髄の初期発生では成熟個体で見られる数の2倍以上(部位によっては10倍ともいわれる)の神経細胞が発生し、機能が定着した神経細胞だけが生存する。(残りは死滅して排除される＝多く作っておいていないもの、機能しないものを捨てる)

胎生期に精巣から分泌されたアンドロゲン(テストステロン)はある特定の神経細胞群には毒性を持っていて、その毒性による神経構造や回路の選択的排除による調節の結果アンドロゲンの量の差とその時期の違いによって脳に残る神経細胞の違いができる。

この調節によって形成される脳の機能部位の構造や回路の違いは性ホルモンや性周期を調節する部位ばかりでない。

論理空間認知能力は男性の方が優れ、逆に言語能力は女性の方が高くしゃべるのに適しているなど機能的な差が現れる部位に関連した構造のちがいが形成される。

31/36

男女の脳の違い

脳の構造や容積と、機能の関連は明らかでないものの、このような脳構造の違いが男女の微細な認知過程や機能の差に関係していると推測する人もいる。

- ・脳梁膨大部の大きさが違いが空間認知や言語情報処理の優位性に関与する可能性
- ・脳梁膨大部は、視覚情報や言語情報の処理に関わる大脳半球間を連絡する神経線維で構成
- ・空間認知能力は男性の方が優れ、逆に言語能力は女性の方が高く、しゃべるのに適している
- ・ブローカー野を含む大脳皮質の前頭前野の特定の領域の働きは男性と女性では異なり、言語の脳内処理において男性では左脳のみが活動を示すが、女性は左右両方が活動していることが確認されている。(Shaywitz et al. 1995)

計算するとき活動する脳の部位の違い

32/36

記憶の意味：どんな目的で「記憶」という機能があるのか

情報の類型化＝自然界で生存するためには必須の要件

外的情報において完全に同じ状況など存在しえない
＝各状況をすべて保持すると不必要な情報が膨大化

情報を特徴抽出によって簡略化したものとして保持

生存するための判断を下す材料として利用
＝ヒトの持つ記憶の意味

元々コンピュータのように情報をそのままの形で保持するだけに脳が使われるのではない（つまり蓄積が目的ではない）
自然界で生存するために必要な作業として知覚した情報を保持し、判断の材料として利用するために記憶という作業を行っている

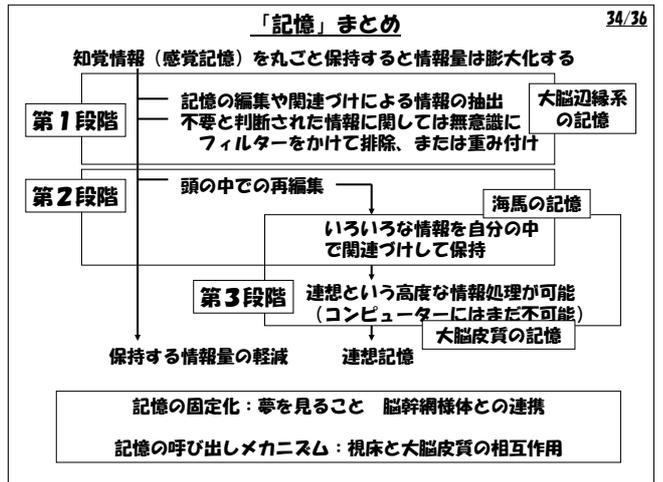
というわけで、脳は記憶できる能力を持っているけれど、それは辞書を丸暗記するためにあるのではなく、生きるために過去の状況を「意識」という仮想空間の中で再現するために用いる情報である！

とすると、各個人の意識の中での現実とは他人の現実と一致するわけではない！
現実がマトリックスだったとしてもやはり区別の仕様がいないですね。

33/36

「現実とは何か？」 「それは脳が解釈する電気信号に過ぎない」

(映画「マトリックス」より：自分の信じてきた世界の記憶が構造品であったことを知らされた主人公のネオは、自己存在の足場を失って不安・恐怖・不信・否認といった様々な感情の起伏の中で高熱し、受け入れざるを得ない現実を前にして嘔吐する。



35/36

前回のアンケートより

難しかったですか？ - Yes : 2回目 32.8% (39人/119人)

1回目 38.6% (49人/127人)

・良かった・・・：7人
・ちょうど良い・・・：3人

→ 広い教室で温度調節が難しいです。できるだけあわせますが、我慢できない場合は講義中に指摘してください

希望するテーマ

- ・自閉症 (2人) ----- 本日説明しました
- ・神経伝達の仕組み ----- 本日説明しました
- ・ご忘れ、テジャグ、思い込み、洗脳 -- 本日すこし説明しました
- ・精神疾患関連 (3人) ----- 6回目でやる予定です
- ・夢に関すること (3人) ----- 4回目で説明します

36/36

講義2回目の気になる意見

- ・無意識と意思決定について
 - * 他人の意思をコントロールする方法？
 - * リモコンマウスが自分の意思で動いていることを確かめる方法？
 - * 無意識の記憶はどこに蓄えられるか？辺縁系だけ？
- ・マインドセット、情報処理フィルター、アイデンティティについて
 - * 情報処理フィルターの個人の違いはどうして生じる？
 - * 服の好みの違い？ 笑いのツボのちがいは？
 - * 魚、爬虫類にアイデンティティはあるか？
- ・記憶関連
 - * 暗記のうまい下手の差は能力の差？/記憶力を増大する方法は？
 - * 勉強するためのモチベーションをあげる方法
- ・先週の「脳のようなシステムを作るとコンピュータにも意識を作れるのでは？」が気になる
- ・人の脳の進化は今後も続いていくのか？
- ・脳が無い動物の判断はどうやって行われているか？