

基本的にはスライドの板書をそのまま写しています。授業中の説明の補足的な内容の文章は灰色で表示しました。また、参照する講義資料の番号はスライドそのものの番号で表記しています。(講義資料：スライドに載せた図や写真のみ、先生がアップして下さいました。講義用 WWW サーバ>石金認知脳>講義資料 パス「CognitiveBrainScience」)

板書だけでは意味が分からない部分も多いかもしれないので、後ほど概要の説明っぽいシケプリを作成したいと思います。試験はノート持ち込み可でスライドの図も印刷して貼り付けして良いそうなので、これらを参考に各自で分かりやすいノートを作成してください。

□脳の基本的な役割

- ・外界の情報や体内の情報を集めて適切な行動や反応をとれるように処理する。
外の世界や体の変化に対して常に適応的に進化して、脳を最適化してきた。

視覚と視覚系

視界の特性

□眼で外界を見ている...

「見え」に問題が無ければあまり深く考えない。

□いわゆる「視神経」が切れたら？

視知覚と脳の働きとの関係は？

□しばしば人間の眼はカメラに喩えられることがある。(余談.FUJI「人の眼に近い」カメラの開発)

角膜・水晶体→レンズ

網膜→フィルム、CCD

□でも、網膜の先はどうなっているのか？

例えば、網膜は平面なので投影された3次元の外界は2次元の像になる。

※我々は立体的に外界を知覚している(片目でも!)…なぜ？

□人間が物を見る仕組みはカメラがフィルムに像をそのまま映すのとは違う。網膜はハジ

マリ　オワリじゃない

□「見るメカニズム」の処理結果が我々の知覚に反映される

→むしろ網膜からの情報をもとに脳が作りだす。

□視知覚の特性を知ることにより、脳の「見るメカニズム」に「視覚系」による映像情報の処理法を垣間見ることができる。

※ダルマチュア犬の例（スライド6 参照）

□視覚系における情報の流れ（求心性）

- ・ 抹消側から中枢側への処理の流れ
- ・ 視覚系の場合

網膜→……………→前頭葉　　※逆もある　脳からのフィードバック→注意を向ける領域へ

□視覚系における情報の流れ（遠心性）

- ・ 中枢側から抹消側の情報処理に対して変調（修飾）を行う情報処理　など

□知覚においてはその情報処理の神経メカニズムが全て分かっているわけではないので完全に対応させることはできないが、

・ 眼に情報が投影されて高次処理へ（ボトムアップ型処理）

・ 高次の処理過程→低次の情報処理過程を修飾（トップダウン型処理）

例…スライド6～10

ダルマチュア犬　老婆と若い女　アヒルとウサギ　THE CAT　おじさんと女性

□視覚の特性　図と地

- ・ 外界を見ているとき、背景（地）から物体（図）を抽出している。
- ・ これを「図地分離」という
- ・ 図は形を持つが、地は形を持たない。
- ・ 図と地の境界は輪郭で、地は図の背景にも広がる。（←実際の物理空間において大体正しく、この認識により自然界での生存率が上がるから？）
- ・ 図は地より前に見える。

参照　スライド11、12　図と地の逆転

□図になりやすい領域の条件

- ・取り囲まれた領域
- ・面積の小さい領域
- ・対象形の領域
- ・等しい幅の領域
- ・垂直、水平方向に伸びている領域

□「図になりやすさ」が拮抗していると図と地が反転する。

□両方を同時に図として知覚することはできない。

例…スライド13～15

ルビンの壺 ヒヨコ LIFE

閉じた領域や対称性をもつ領域は図として認識されやすいため、このようなトリックが成立する

□主観的輪郭

- ・通常は輪郭がないと図（形）は知覚されないが…

参照 スライド16～18

13：カニツツアの三角形。中心が明るく見えて無いはずの三角形が見える。

14：その正方形板

15：中心の赤丸が小さく、右が大きく見える。物理空間でこのような図形は中心の白い三角形が手前にあるはずなので中心の赤丸が手前に右が奥にあるように見え、トップダウン処理で主観的な大きさが補正されている。

□大きさの恒常性

- ・物体の大きさは観察距離が変わってもそのものの大きさが変わるわけではなく、網膜像の大きさが変わるだけである。

→しかし生き残るためには実際の大きさが大切

・対象物の実際の大きさをなるべく情報として知っておくために、網膜像の大きさだけでなく距離（奥行き）の手がかりからその知覚される大きさを補正することが知られている。

（敵から逃げるため。敵は本当は大きいとあらかじめ知っておく）

参照 スライド19 後ろの丸が大きく見える

- ・視覚は断片的な図柄からありうる形を復元する機能を持っている。

□視覚の特性 奥行き知覚

- ・我々は外界を立体的（3次元）に見ている。
- ・しかしながら、眼に入った外界の光情報は網膜に投影されると2次元像になってしまう。
→ということは…視覚系は2次元像として網膜に投影された情報から3次元の視覚像を再構築している。

例…スライド20～22 かの有名なエッシャーのだまし絵

□だまし絵（不可能図形）について

- ・ローカルな（局所的な）奥行きは矛盾していないが、グローバルな（大域的な）奥行きが矛盾している。

参照 スライド23

□ボトムアップ型処理とトップダウン型処理について

■ボトムアップ型処理

- ・網膜に外界の像が投影されてから知覚される（知覚的に気付かれる）までの視覚情報処理過程における情報処理の型

- ・網膜に投影された外界の情報をデータとしてとらえ、データ駆動型処理と呼ぶこともある。

低次→高次の流れ

■トップダウン型処理

- ・データ駆動型処理の進む中で、外界の像について可能な解釈についての知識、知覚に限らない認知システム内において、なにかについての「概念化」が事物の知覚に対して促進的に働く場合、トップダウン型処理（概念駆動型処理）という。

■ボトムアップ、トップダウンの双方が機能している。

トップダウンによって知覚が促進される。→このことが適応的な行動に貢献している

□立体視（奥行き視覚）

■奥行きの手がかり 単眼視による手がかりと両眼視による手がかり

- ・単眼視による奥行きの手がかり

網膜像の大きさ（肌理の勾配など） 形態（重なりなど） 運動視差 調節（水晶体の厚みを変える筋肉の感覚） 陰影、かすみ（大気遠近法。遠くのものはかすむ） 色相（赤・橙＝進出色 青・すみれ＝後退色）

・両眼視による奥行き手がかり

両眼視差、輻輳（ふくそう 知覚を見るときは眼が鼻側に開店する）

■網膜像の大きさ

・肌理の勾配

一材質が同じなら同じ細かさの肌理がある

一肌理は手前にあれば荒くなり、遠くになれば細かく密になる（肌理の勾配）

参照 スライド24、25

線遠近法

参照 スライド25、26

・強化遠近法

参照 スライド28、29 千葉県の例のテーマパーク

近くのを極端に大きく、遠くを極端に小さく設計することにより、人工的に強化された遠近感で見る者に壮大さを感じさせる。

■形態（重なり具合）

参照 スライド30 交点で輪郭が滑らかに続くほうが手前に見える（T-junction）

■形態2

参照 スライド31 見る角度によって立体的に見えたり平面的に見えたり。

■運動視差

・観察者が動く場合、近くの物は速く、遠くの物は遅く動く。

参照 スライド32、33（33は動画でした。車から見た風景で遠くの土手が遅く近くの木々が速く動いて見える）

■調節

・遠近調節の際の筋肉調節の知覚。

参照 スライド34

□両眼立体視

■両眼視差

- ・ある物を見た場合、観察者の左右の眼は位置がズレているので、網膜像も少しズレる。ズレの大きさは奥行きに依存している。

- ・参照 スライド35～40 ランダムドットによる立体視
35：三角形 36：いろいろ積み重なってる？ 37：星
両眼視差だけが存在する。

■輻輳の調節

- ・近くのものを見る場合は両眼が寄る。

参照 スライド40

□錯視（幾何学的錯視）

- ・物理的に存在しない、もしくは物理的な画像とは異なるものを見ること
- ・通常、錯視は意識されない

錯視現象から視覚系の処理の仕方が推定できるので、錯視の研究は重要とされている。

- ・例

スライド41 ミュラーリヤー錯視（中心の黒い線と左の黒い線は長さ同じ）

→錯視は実際の風景と相関が高いことが知られている。

スライド42 ポグゲンドルフの錯視（直線の始まりと終わりがズレて見える）

スライド43 ポンゾの錯視（上の線が長く見える）

このあたりの錯視は検索かけたらかなりたくさん出るので、一度調べてみてください。

□錯視図形は知覚の誤りか？という問題

- ・錯視はモノを見る処理を解明する手掛かりを与えてくれる。
- ・錯視により視覚系のメカニズムを探る研究が盛んである。

□運動視

■滝の錯視（運動検出器を用いた仮説）

スライド44は動画でした。ネットで類似の良い動画を発見したのでURLを貼り付けます、面白いのでぜひ見てみて下さい。

<http://blogs.yahoo.co.jp/gacyapon100/42641050.html>

滝の錯視はそういう動画の下向きの動きのみのバージョン。それを踏まえて…

参考スライド45

・滝を見る前

特定の方向に反応選択性を持つ（＝特定の方向の動きにのみ選択的に反応する）運動検出器群が知覚システム内にあり、自発的な活動で静止していても一定の出力を示す。

・滝を見る（順応中）

下方向の検出器が強く反応するが…徐々に出力は弱くなる（※生物の感覚器等は同じ刺激を続けて受けると順応する場合があります）

・滝を見た後

下方向の検出器の出力が弱くなる

→ベクトル和が上向きに。

結果として静止しているものを見ても上方向の運動が見える。

このようなモデルを運動残効という。

脳内の運動検出器細胞をこのモデルに当てはめると運動知覚とうまく対応（相関）する。

が、まだ仮説の段階である。

■運動検出細胞は網膜から存在する。

例：下方向選択性細胞

■運動残効の例

- ・電車に乗っていて止まったときにホームを見ると動いているように見える。
- ・赤信号で止まると横に停車している車がバックしているように見える。
- ・高速道路で長時間運転した後、一般道に出ると40km/hが遅く感じる……

■ バイオロジカルモーション

人の主要な関節部に光る点を取りつけて暗室内で観察する。

スライド46も動画でした。例によってバイオロジカルモーションで検索すればいくらでも動画やGIFが出てきます。

スライド47は人の顔の表情変化。

- ・ 静止時には光点の集まりが見られるだけ。
- ・ いったん動き出すと明らかに人を知覚できる。
- ・ さまざまな行動を区別できる。
- ・ 対象が動物などでも可能

この現象は形の知覚が網膜上のそれぞ必ずしも結びついておらず、運動光点の関係の中にそれが保存されていることを示す。

■ 線運動錯視

参照 スライド48（動画）、49

- ・ 線分を提示する直前に線分のどちらかの端に近い位置に先行刺激（明滅）を提示すると、線分がそちら側から描かれたように見える。
- ・ 線分の描かれ方において見える時間順序は物理的なものではなく、観察者に体験において生じている主観的なもの。

この錯視は、先行刺激の提示によってその付近の視覚処理が促進される（処理時間が短くなる）ためと考えられている。（注意が引き付けられて反応が敏感に）

- ・ 先行刺激の提示がなければ線分刺激の各部位の情報は同時に処理される。
- ・ 先行刺激が提示された場合は、実際に一方の端点から線分が描かれた時と同様に、線分の方の端点の情報が脳内の運動検出器に速く到達するために線運動錯視が生じると考えられている。

□ 顔の知覚と認知

顔はその社会的重要性や認識の卓越性から、認識過程が他の視覚パターンと異なり特殊なのではないかと考えられてきた。

■ 自然光は上からくるため出っ張りで光が遮断される。

しかし顔の場合は出っ張っているように見える傾向が強く、光源の方位が変化したと（知覚内で）

仮定されてしまう。

参照 スライド50（回転するマスクの動画）、51（静止させた表裏）

スライド52 顔でない場合は出っ張りが変化したように見える。

■サッチャー錯視

参照 スライド53、54

- ・正立顔知覚

顔の各パーツやそれらの相対的位置などが統合され、知覚パフォーマンスが高い。

- ・上下反転顔知覚

顔の各パーツの知覚と相対的位置などの全体的な統合の処理が浅く、知覚パフォーマンスが低い。

このため、正立だと明らかに違う顔も反転させると違いが曖昧になって見える。

■モナリザのモザイク

参照 スライド55

- ・眼や口などの部分の特徴を読み取るのは難しい。が、すぐにモナリザと分かる。

- ・細部が見えていなくても人物が同定可能→部分的な情報がなくても全体的な情報のみでも顔の認識が可能。

ただし、双子などで似ていて弁別が難しい場合には部分的な情報が必要になる。

余談. 相貌失認という病気があるそうです。こういった顔知覚の機能が失われ、他人の顔が分からなくなるんだとか。

■化粧による錯視効果

参照 スライド56

□魅力研究について

■性的二型（雌雄の性差）と魅力

- ・よりオスらしい、よりメスらしい形質は異性により選ばれることで進化してきたのか？

実験的な検討

オスが長い尾をもつ鳥で、実験的に尾を継ぎ足して長くしたオスの交尾成功率を調べたところ、高くなった。

→長い角や派手な羽根のような特殊な形質（本来は生存に不利！）の維持はその個体の健康さ、

寄生性病原体に対する抵抗性を誇示しており、それがメスへの魅力となると考えられる。

■人間ではどうか？

- ・平均的な顔と、より男性的な、或いはより女性的な顔のどちらが魅力的か？

ワイヤーフレームモデルによる技術により平均顔、超男性顔、超女性顔を作成することで検討。

ワイヤーフレームモデルについては後述。

■顔の各部位が魅力に及ぼす影響

異性からみた顔全体の魅力得点と顔の各器官の大きさ・相互距離との関係

- ・男女とも目が大きいことが魅力度に影響
- ・女性では以下の項目が魅力度と正の相関を持つ。

大きな目 →子どもっぽい

小さい鼻 →〃

短いあご →〃

広い両眼感覚 →〃

細い頬 →大人っぽい

■平均性と性差

- ・魅力を規定する要因として「平均性」がある。
- ・複数の顔写真を重ね焼きすると不思議と端正な顔ができる。

形態の平均性はその個体が保持している有害な突然変異の少なさを表しているから、とする説が提唱された。(突然変異は世代ごとに少しずつ蓄積していくので形態が平均的であるほど蓄積量が少ないと考えられる…ということだと思います)

ただし、写真の重ね焼きは輪郭がぼやけてしまう。

■コンピュータを使って顔写真を合成する実験

- ・合成した枚数が多ければ多いほど魅力度がアップ。

平均顔はもとの写真の平均値より魅力が高い。

ただし、もとの写真の中には平均顔より魅力度の高いものもある。

→「平均化された顔は魅力的である。しかし非常に魅力的な顔は平均的でない。」

■ワイヤーフレームモデル

参照 スライド57

- ・顔の各部位にワイヤーの頂点を合わせる。

例えば、男女顔の差分（各点のズレのベクトル）を男の顔の各頂点の座標に加えることで、超男顔を作成することができる。

- ・スライド58 ワイヤフレームモデルにより作成された顔

これらの顔の魅力度を男女別で調査したところ、

→男性から見た女性……超女性寄りが魅力的

→女性から見た男性……中性寄りが魅力的

という結果になった。

■赤ん坊のかわいらしさについて

- ・人であるか動物であるかにかかわらず、赤ん坊はカワイイという感情を引き起こす。

■赤ん坊の東部は体に比例して大きい。

- ・「赤ん坊性」は頭が相対的に大きいほど強く感じる。

- ・また、実際の赤ん坊より頭の大きさが誇張されたものの方が好まれる。

→この傾向は女性において早期に発現する。

□色覚

「色とは電磁波における可視光帯域の波長に対応する」と習った。

が、認知脳科学では少し違う話になってきます。

■網膜に写された電磁波の波長が同じでも、場合によって異なって色が知覚される場合がある。

・3種類の錐体（赤、青、緑）が色彩視の始まりだが、それらの波長感度特性だけでは色彩視の特性は説明できない。

- ・この講義で「色」とは知覚されたもののことを示す。

神経細胞のことに触れると

視覚系ではある段階から波長選択細胞だけでなく、色選択性細胞が存在することが分かっている。

（物理的な波長でなく知覚された色に対する選択性を持つ細胞、ということ）

■順応と補色

- ・補色は互いに拮抗の関係にある

- ・ある色に順応すると、その後刺激として色が提示されなくても補色が見える

参照 スライド 5 9 ～ 6 1

参照 http://www.johnsadowski.com/big_spanish_castle.html

- ・これは視覚神経メカニズム内の拮抗のバランスが崩れたためである。

赤と緑の波長感度数が近く、緑の中の赤（果実）がはっきりと分かる。

■色の恒常性

- ・照明光が変わっても色は同じに見える傾向。

参照 スライド 6 2 ～ 6 5

■ヒトの眼球の構造

参照 スライド 6 6

■ヒト水晶体における加齢変性

参照 スライド 6 7

加齢によって細胞が死に、水晶体は黄ばんでいくが、見える色は変わらない。

■サングラス（色眼鏡）の着用

黄色のサングラスをかけると視覚世界は黄色くなるが…

時間の経過とともにかける前と同じ色世界に近くなる。

ここから生物的な細胞や神経のお話が延々と続きます。とりあえず少しでも生物っぽい知識が出てきたら説明するようにしました。理解できている方は飛ばしてください。

視覚（視覚系の仕組み）

□物を見る仕組み

参照 スライド68

- ・中心窩...網膜が最も薄くなっていて特別な機能を果たす。

- ・V1（視覚野）

各眼の右視野が左脳の V1 に、左氏がが右脳の V1 に映される。眼ごとに左右の脳に分かれるわけではない！あくまで各眼における左右視野で分けられる。

□眼球と網膜

- ・網膜以外の組織は光学系
- ・網膜は視細胞で光を受容、光化学反応で細胞の興奮に変換。

細胞の（膜の）興奮は、網膜内神経回路網による時空間的情報処理を得る。

最後に情報を受ける神経節細胞は軸索が視神経となり、乳頭から眼球を突き抜けて外側膝状体を介して後頭部の第一次視覚皮質に光情報を送る。神経節細胞の出力は活動電位という全か無かのデジタル的電気パルスの時系列情報に変換されている。

↑何言ってるか分かんないと思いますが...俺も分かりませんが...

一応噛み砕いてみると、まず網膜には視細胞という光情報（映像）を感知する細胞（※1）があります。視細胞は光を受け取って興奮し、細胞膜の反応で脳へと続く神経細胞に興奮を伝達します。網膜内のどの細胞が興奮しているのかという情報の総合によって、時空間的な情報の処理が行われます。

これまた網膜の内側に存在する神経節細胞が情報を受け取り、軸索（※2）がいわゆる視神経となって眼球を突き抜けて、外側膝状体という脳の一部を介して第一次視覚皮質という場所に映像情報が届けられます。

神経細胞の活動電位：閾値を超えた刺激に対しては興奮して1を、それ以下では興奮せず0を示します。この情報が時系列的に整理されるようです。

※1 色を感知する錐体細胞と形を感知する桿体細胞の2種類。

※2 神経細胞の仕組みを詳しく書くとそれだけで長くなっちゃうので割愛。軸索は神経細胞のしっぽみたいなもんです、ここから情報を次の神経細胞に伝えます。

□眼球の発生

参照 スライド69

眼球は皮膚や脳由来の部分から発生すると考えてください。

□錐体・桿体の分布

参照 スライド71

視界の中心となる部分には錐体が多く集中しています。

スライド72 桿体と錐体

□眼底の構造

視神経円板 参照 スライド70

ミュラー細胞

□錐体

錐体には3種類あり、それぞれ反応する波長の特性が異なる。

赤錐体は名前と反して感度ピークは緑に近く（緑の波長にもっとも反応する）、波長上の赤の裾野で赤ははじめて見える

参照 スライド79、80

□中心窩の錐体

参照 スライド81

中心窩には青錐体はほとんどなく、赤錐体・緑錐体がそれぞれかたまりながら配置されている

□アカゲザル網膜中心窩を囲む血管

参照 スライド82

血管はある程度の厚みのある層の中に張り巡らされているが、中心窩に近づくにつれて血管の層は薄くなっていく。

□他の動物の色彩視

カメなどは視細胞に油滴があり、これがフィルターの役割を果たしている。

参照 スライド 8 3

□視覚系

■視細胞以降は神経細胞とそれらからなる神経回路網

よって、これよりしばらく

- ・神経細胞の構造と機能
- ・シナプス伝達

について説明していく。

□神経細胞の構造

- ・細胞の形態 は千差万別、機能とも関係

■神経細胞（ニューロン）の細胞体

参照 スライド 8 4

- ・樹状突起：細胞体から分岐して伸び、情報を受け取る
- ・細胞体：入力が加算（興奮性 or 抑制性入力）され最終的に活動電位を発生するかしないかが決定
- ・軸索：活動電位は軸索を伝達し、終末部から神経伝達物質が放出され、次の神経細胞に情報を送る。

補足説明

感覚器（この場合視覚系の視細胞など）からの情報が電氣的刺激として神経細胞に伝わり、閾値を越えると活動電位が発生し軸索に伝わり……という仕組み。

□シナプスの構造

参照 スライド 8 5

軸索から伝わった刺激は神経細胞末端のシナプスという接合部に伝わり、化学物質を放出

することで次の神経細胞に刺激を伝達する。

□シナプス伝達

- ・ **20-30nm ギャップ** (次の神経細胞との間隙) 電気信号は末端でとなりに信号を伝達
- ・ 電気シグナルは伝達物質で隣に伝えられる (ただし「電気シナプス」もあり、この場合は「化学シナプス」という)
- ・ 終末ボタン：軸索末端の膨らんだ部分

参照 スライド 8 6

□神経物質の開口放出

■参照 スライド 8 7、8 8

小胞分泌：細胞から物質が放出されることはこの形式が多い。分泌物質が包まれている膜と細胞膜が同じもので、融合して外に放出する

補足

細胞膜にはイオンなどを流出入される連絡通路みたいなものが多数存在。それ以外の部分は基本的には水しか通さない。

■参照 スライド 8 9、9 0

カルシウムイオンの細胞内への流入が伝達物質放出の引き金に。

■放出後、伝達の再取り込み

参照 スライド 9 1

トランスポーターを介して伝達物質を再取り込みする。

□電気シナプスとは？ (ギャップジャンクション：シナプス間隙を膜タンパクでつないでいる)

いくつかのタンパク質から構成される筒状の膜タンパク

2つの細胞を姦通しており、開閉によりイオンを通して電気信号を伝える。

イオンの出入りが非対称な **hemi-gap junction** もある。

参照 スライド 9 2～9 5

■電気シナプスの特徴

- ・ 化学シナプスより伝達速度は速い

- ・多くの場合双方向性を持つ

→極めて正確な細胞群の同期活動に関与する場合がある

- ・タンパク質で細胞同士が結合している

→実験で、分子量の小さい色素を細胞内に注入すると電気シナプスを介して他の細胞を可視化することが可能

□シナプス伝達

シナプス後（ポストシナプス）に到達した伝達物質は膜上に発現している神経伝達物質の受容体に結合している。

この受容体は大きく分けてイオンチャネル直結型と代謝型の2種

ここでは代表的な伝達物質であるグルタミン酸を例に説明。

イオンチャネル受容体にグルタミン酸が結合するとイオンチャネルが開き、細胞内電位が上昇。

代謝型グルタミン酸レセプタにグルタミン酸が結合すると、GTP 結合タンパクなどのセカンドメッセンジャー系を介して細胞の膜電位変化が生じる。

グリア細胞；シナプス間の伝達物質の早期分解・除去などに。

参照 スライド96

□シナプス入力による膜電位の変化

参照 スライド97

- ・興奮性の入力があった場合、EPSP（興奮性シナプス後電位）が生じる。
- ・抑制性の入力があった場合、IPSP（抑制性シナプス後電位）が生じる。

■シナプス後電位発生中のイオンの働き

参照 スライド98

- ・Na⁺の流入は脱分極（EPSP）を引き起こす。
- ・K⁺の流出は過分極（IPSP）を引き起こす。
- ・Cl⁻の流入は過分極（IPSP）を引き起こす。
- ・Ca²⁺の流入は酵素を活性化する。

■EPSP と IPSP

参照 スライド99、100

興奮性シナプスはグルタミン酸などの興奮性神経伝達物質を含み、この神経伝達物質がシ

ナプス後膜に達すると脱分極を起こし EPSP が発生。これは上記のようにナトリウムやカルシウムイオンチャネルの働きによる。

GABA やグリシンなどを含むシナプスは抑制性シナプス。これらの神経伝達物質の放出でマイナスイオンである Cl^- が流入し、過分極が生じ、IPSP が生じる。

これらのシナプス後電位のひとつひとつは活動電位（アクションポテンシャル）を起こすほど強くない。神経細胞に活動電位が起こるかどうかはその細胞に多く接続した多くのシナプスの EPSP と IPSP が活動電位の閾値を越えるかどうかで決定される。これを加重という。

□細胞内外のイオンの相対濃度とイオンに働く力

スライド 101

細胞内では K^+ 、細胞外では Cl^- と Na^+ の濃度が高く、浸透圧が生じているがイオンチャネル以外の場所を通過することはできない。

□イオンチャネル

参照 スライド 102、103

膜電位依存性イオンチャネルは膜電位の上昇により開確立が上昇する（例外あり）

ナトリウムチャネルは一度開ききるとしばらく反応しない時期が続く（絶対不応期）

□膜電位発生時における各成分の挙動

参照 スライド 104

補足

このあたりの話は複雑なので、必要だと思ったらここだけでもスライドをコピーして貼り付けてください。

以降、視覚系の話に戻る。

□視細胞は「暗さ」で活性 「光」で抑制

植物等も同じで、暗さで活性を得ます。

□水平細胞

参照 スライド106、107

横に広がって樹状突起を伸ばし、視細胞から入力を受ける。電気シナプスでたがいに結合して空間加重を行う。光の順応水準で結合度合いが変化。暗いときに強くなり、空間加重で感度を上げ、明るいときは弱く、空間分解能が良くなる。

□双極細胞

参照 スライド108～110

オン型とオフ型に分けられる（受容体が異なる）。

神経節細胞は内網状のオン層から光のオン情報を受け取り、オフ層から光のオフ情報を受け取る。

□神経情報表現：頻度の法則

参照 スライド111

刺激の強度は軸索の発火頻度（反応頻度）で表現。活動電位の大きさ自体は常に一定……とされているが、例外もあり。

□受容野

感覚系の神経細胞が刺激を受けとる担当領域。

視覚系の場合、視野内の担当領域。

- ・細胞から電気活動を記録
- ・視野内に小さな光刺激を提示し、細胞が活動する領域をマップする。
- ・光刺激の提示に対して神経細胞の発火頻度が上昇したり、低下したりする領域を受容野とする。（受容野以外の場所に刺激を提示しても反応はない）

参考 http://ohzawa-lab.bpe.es.osaka-u.ac.jp/ohzawa-lab/rf/rf_j.htm

いろんな説明を読んでも分りやすいかもしれません。受容野の概念はこの授業で必須だそうなので、必ず理解してください。

□典型的な網膜神経節細胞の受容野

参照 スライド 112、113

中心周辺拮抗型の受容野を持つ。ただし中心の入力が優勢である。

スライド 112：ある細胞の受容野全体に光刺激を一定時間提示した場合の細胞の各部分の発火頻度を見ている。オフに反応する部位は光が無いときでなく暗くなったとき発火。全体としては中心が優勢となって発火頻度が決まる。

□マカクザルの色対立型受容野

二重色対立型受容野

参照 スライド 114

どれもオン中心型の細胞。例えば一番左のものだと、中心部の黄色照射と周辺部の青照射は同じく細胞を興奮させる。

補色によって照らされると発火頻度減少。

参照 スライド 116

■順応

参照 スライド 117

黄色の波長光に照らされると、黄 ON 型の細胞は発火頻度上昇。黄 OFF 青 ON 型は発火頻度低下。

↓順応

グレースケール光に変化すると、黄 ON 型は発火頻度低下。青 ON は脱抑制により発火頻度上昇。

■色対立型受容野もある。(二重ではない)

周辺部は波長選択性を持たず、中心部のみ持つ。例えば黄 ON だと中心部に黄が照らされると興奮、OFF になると抑制。青だとその逆。

また、波長に選択性のない細胞もある。

□色覚には錐体由来の 3 原色過程と色対立型受容野由来の反対色過程が併存している。

□側抑制

ある細胞の活動は近接する細胞を抑制するが多い。

この働きを「側抑制」といい、感覚情報処理に非常に重要な働きを持っている。

視覚の場合、輪郭の抽出（もしくは強調）に重要。

スライド 1 1 8

光強度を数値で表記。

側抑制がない場合……スライド 1 1 9、1 2 0

受容器から脳への出力はそのままの値。

スライド 1 2 1 左、1 2 2

側抑制により隣の受容器からの入力を $\times 1/2$ (0.5) して抑制する場合

輪郭は強調されるが、抑制しすぎて光強度 5 の部分も 1 0 の部分も 0 に補正されてしまい差がなくなってしまう。

スライド 1 2 1 右、1 2 3

側抑制により隣の受容器からの入力を $\times 0.2$ して抑制する場合

補正值がちょうどよく、輪郭を強調しながらも光強度 5 の部分を 3、1 0 の部分を 6 にし差を保っている。

□実際に強調された輪郭

参照 スライド 1 2 4、1 2 5

同じ色の帯でも、左端が暗く右端が明るく見える。

□側抑制の仕組み

ON 中心型の細胞の場合（スライド 1 2 6）

参照 スライド 1 2 7

輪郭の境界線付近に並んでいる各細胞の受容野を示しているが、ちょうど輪郭の部分にあたる場所では周辺部の光強度が弱くなり部分的な抑制が解除されているところがある。

（実際には受容野は折り重なるように存在しているはずなので、暗い側の部分でも同様に周辺部が明るい側にはみ出している細胞があるはずです）

ここから視覚系の脳の分野に移ります。

□外側膝状体（網膜から直接入力）

視覚情報はここを経由して脳の多方面に行く。

参照 スライド 1 2 8

□第一次視覚野 (V1) のレチノトピー

V1 では視野内での相対的位置関係が保たれている（視野内の情報が無秩序に分散していくわけではないということ）。このような視覚刺激に対応した神経細胞の空間的構造をレチノトピーという。

参照 スライド 1 2 9、1 3 0

中心の情報が多く、周辺は少ない。

□V1 のレチノトピー（マカクザル）

参照 スライド 1 3 1、1 3 2

放射性同位体で標識したデオキシグルコースを注入し、視覚刺激（点滅）を提示して活動依存的に V1 までの投射関係を可視化した（順行性にシナプスを越えさせて代謝活性が高い細胞に取り込ませた）。実験後、皮膚をフィルムに貼り付けて画像化

□第一次視覚皮質の細胞の受容野

参照 スライド 1 3 3

ある方位の線分だけに応答する。

実験しているのはネコの第一次視覚皮質方位選択性細胞。ここでは輪郭を抽出していると考えられる。

□受容野のマッピング

実際に刺激を提示していきながら細胞の興奮や抑制を確認し、受容野をマッピングする。

参照 スライド 1 3 4 運動方向選択性細胞

□第一次視覚皮質の細胞の受容野

受容野は同心円型をした外側膝状体の細胞からの選択的結合により形成されるという仮説がある。

参照 スライド 1 3 6

これによりちょうど線分が ON 刺激となることが出来るようになる、という可能性の示唆。

□第一次視覚皮質のカラム構造

カラム構造とは同じ特性を持つ細胞が並んでいる構造のこと。

参照 スライド 1 3 7

方位選択性細胞の集団が配列している。

選択性は連続的に変化するように配列

ブロップ領域は波長選択性細胞がある。(スライド 1 3 8)

ブロップ……チトクロームオキシターゼ（ミトコンドリアがよく染色される）で染色される領域

□発達の話

ヒトの場合、V1 のシナプス密度は生後 2 ヶ月齢から急速に増加し始め、8 ヶ月齢でピークに達しその後減少

- ・まず、とにかく多数のシナプスが機能的意義とは無関係に形成され、その後、機能的に不要なシナプスだけが消え、重要なシナプスが残る（「刈り込み」という）
- ・この過程にはその時期（臨界期）の視覚的経験が影響する。

■実験

臨界期の子ネコを縦縞ばかりの環境におく。

参照 スライド 1 3 9

各線分は記録された細胞の最適方位を示す（線分の数だけ細胞を多く記録している）

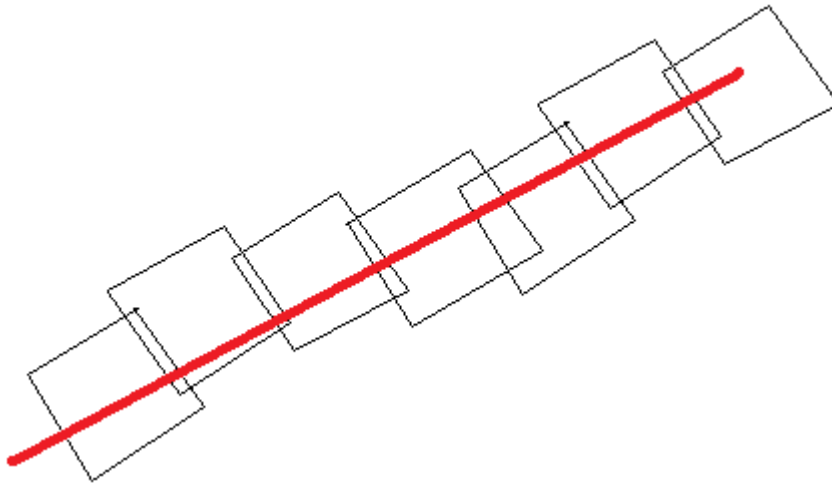
このことから、水平方向に近い線分に反応する細胞が無いことが分かる。

□V1 内の水平結合

参照 スライド 1 4 0

この水平結合は同一方位選択性細胞間にあるため、連続した線分の連続性の知覚に関与することが示唆されている。

↓



小さな四角はそれぞれ単一細胞の受容野を示している。

長い線分は各受容野により分断されるが、水平結合を介して同一方向選択性細胞群の同期活動が生じ、大きな受容野を持つ高次な皮質での形態情報処理を促進することが示唆されている。

これが上記の連続性の知覚の意味。

□V1 の細胞の受容野特性（まとめ）

- ・ 方位選択性 ・ 運動方向選択性 ・ 波長選択性

□第二次視覚野（V2）の受容野特性

V1 と比べて受容野が大きい。（多くの視細胞やそれを束ねる神経節細胞の情報をまとめているため）

より抽象化された刺激選択性を持つ。

- ・ 輪郭線の折れ曲がり検出
- ・ 主観的輪郭を抽出

■輪郭線の折れ曲がり検出

V2 の 2/3 層より記録した細胞のうち 36%が 60° ～ 150° の折れ曲がり刺激を最適刺激としていた。

■主観的輪郭

第二次視覚野には物理的には存在していない主観的輪郭に対して活動する神経細胞がある。

参照 スライド141

線分の方は違うが反応する神経細胞は同じ。

□盲点

参照 スライド142、143

「盲点の存在が意識されない」とあるが……そもそも固めでも普段は盲点は意識されていない？

参照 スライド144

左目を閉じて右目で盲点を確認すると黒点は消える。消えたところは背景色になってしまっている？ 逆に左目で盲点を確認すると「線分の途切れ」が消えて、線分が繋がっているように見える。これが盲点が意識されていないということ。盲点の補完。

□盲点補完のモデル（仮説）

参照 スライド145

盲点領域を受容野とする細胞が周囲を受容野とする細胞から情報を受けて補完されるらしい。

V1の細胞の活動レベルで補完に対応する現象が確認される

参照 スライド146

□V1以降の経路

参照 スライド147

動きや空間の情報を処理する背側視覚経路→頭頂連合野へ

色や形の情報を処理する腹側視覚経路→側頭連合野へ

ただし、結合問題は分かっていない。

□背側経路

- ・MT野

網膜上の運動に対して反応

- MST 野

外界に対する相対的な運動に対して反応

□MT、MST の機能

MT：物体のある程度局所的な運動処理

運動方向や速さに選択性を持つニューロンがある。

MST：物体の大域的な運動処理

MST ニューロンの受容野は視野全体に広がるものまであり、回転、縮れ、拡大など複雑な運動に選択性を持つ。

□カップにお茶をそそぐとき…

参照 スライド 148

MT/MST に障害のある患者だと、水面が上がってくるのが分からない。

□MT ニューロンの運動方向選択性（右移動に選択性がある場合）

参照 スライド 149

さまざまな「右移動」に反応する。

□ニューサムの運動刺激

参照 スライド 150

運動方向判断課題をサルにやらせながら特定の運動方向選択性を持つ細胞群を電気刺激すると、サルの知覚判断はその選択性に近い方までシフトする。（上方向の細胞群を刺激すると上方向に近い運動刺激が完全に上方向に知覚されていく）

□腹側経路

V4→側頭連合野

色や形態の情報処理

- V4 野

色近くは網膜に投影された光の波長と必ずしも一致しない。

同じ物体（例えば赤の色紙）は照明光が変わっても赤く見える（しかし網膜に投影され

た波長は違う)

これを色の恒常性という。参照 スライド152～157

- ・V4野には「色の恒常性」に対応するニューロンがある。

波長にでなく、知覚される色に選択性を持つニューロン。

ただし、傾き 長方形の長さ 幅 選択性を持つニューロンもある。

ニューロン活動と、“注意”（している分野）との関連が強い。

□側頭連合野

形態に関する情報処理を行っている。

□V4野の機能

V4野の機能に関する実験

- ・色選択性ニューロンでは照明光によらず同じ色紙に反応する
- ・V4野の破壊で色の恒常性が障害される

□視覚系の発達

■赤ちゃんの視覚系

- ・変化や動き→生まれてすぐ反応できる
- ・色の識別→3～4ヶ月
- ・奥行き→6ヶ月
- ・視力→0.04～0.07

■赤ちゃんの視覚の調べ方

- ・「選好注視」

赤ちゃんの前に二つのものを置くとどちらかをよく（長い時間）見る。

このことを利用し赤ちゃん視覚を調べられる。

参照 スライド159

赤ちゃんは「物見高い」 無地よりも柄が好き

動いているものやチカチカしているもの、複雑なパターンが好き

参照 スライド160

奥行き知覚の調べ方 “視覚断崖” アクリル板と市松模様

■年齢と視野の変化

参照 スライド161

子どもは大人に比べて視野が狭い。12歳でも大人とかなりの違いがある

途中からスライド番号が切り替わります。以降、第 1 2 回分や第 1 3 回分を参照してください。

聴覚系

□耳の構造

耳は小さな骨と膜と液で満たされたらせん状の管。

耳に到達した音波は複雑に組み合わされた膜や骨を過ぎる。

膜や骨によって音波は液が詰まった空洞内で圧力変化に変換される。

圧力の変化は一枚の膜にうねりを起こす。

うねりが膜に生えている毛を振動させる。

参照 スライド 1 6 4 ～ 1 6 9

耳の構造は大雑把に覚えておくか、スライドを貼り付けておきましょう。

- ・音の高さによって（基底膜の）うねる（感じる）場所が決まっている。

基底膜は入り口が狭く硬く、奥に進むにつれて太く柔らかい。

参照 スライド 1 7 0

- ・毛が振動して脳に音情報が伝わる。毛同士はつながっている。

有毛細胞は陽イオンがチャンネルを介して流入することで脱分極する。

参照 スライド 1 7 1 ～ 1 7 4

- ・スライド 1 7 5

担当周波数帯域の音の強度が聴神経の発火頻度に反映される。ここでも頻度の法則が保たれる。

□聴覚の特性

音の高さによって感度が違う。

- ・同じ音の大きさ（物理的な）でも高さによって大きく感じたり小さく感じたりする。
- ・可聴域の存在（大体 20～20000Hz と言われている）
- ・あまり低い音や高い音は聞こえない。

□音の心理量

たとえばピアノでハ長調の「ド」の鍵盤をたたいたとする。この音を聞くと、
「大きさ」「高さ」「音色」
を感じる。これらは音の感覚的性質をあらわす感覚量（または心理量）。→「音の三要素」
という。
他に、太さ、明るさ、母音性、調性 等

□音の物理量と心理量の対応

物理量	心理量
音圧（振幅）	大きさ
周波数（振動数）	高さ
波形	音色

□音の高さ

物理量→周波数（Hz）

心理量→メル（mel）

周波数が高くなれば感じる高さも高くなるが、物理量と心理量とは単純な比例関係にはならない。心理量はピッチ（pitch）という。

参照 スライド176

1000Hz、40dB の純音（特定の高さだけの音）を聞いたときに感じる高さを 1000 メルとした。

□音楽の音階

・音階は1オクターブ上がるごとに周波数が2倍となる物理量である。

オクターブ隔てた音を同じもしくは類似した音と感じる。これをオクターブ等価という。

・完全5度隔てた音を協和する音として感じる。周波数比は2：3

これらのオクターブ等価や協和の感覚は音の周波数の比を感じる感覚であり、音調性感覚と言われる。

□音の高さの情報

音の高さの情報は

- ・音の周波数（高低）を感知するピッチ感覚
- ・音の周波数比を感知する音調性感覚

という 2 つの次元で処理される。

□オクターブ内に半音へのカテゴリー分け

一般に人間は半音（約 1 : 1.06 の周波数比）よりも細かく音を分ける（カテゴリー分け）ことはできない。

例えば色でも、連続的な波長の刺激を赤、だいだい、黄、黄緑……などのいくつかの離散的なカテゴリーに分けて知覚している。

このことがオクターブ内で 12 個の半音が音楽で利用される基本音高素材になっている由来とされている。

ただしインド、アラブ、ペルシャはたくさんの音高があるが、微小音高は装飾的音高と考えられている。

このような知覚上の制約により、人間はオクターブごとに循環する クロマ (tone chroma) と呼ばれる離散的なカテゴリーを感じる。

クロマとはオクターブ中の相対的な位置を表すものであり、その音らしさ（“C”らしさ“D”らしさ）についての知覚である。

実際に近くする、例えば C4、F#5、G2 などの音高の知覚はピッチ感覚と（音調性感覚由来の）クロマの知覚の 2 つの次元が組み合わされたものになる。

参照 スライド 177

底面でオクターブ内の 12 種のクロマがあらわされ、縦軸でピッチの高低があらわされる。全ての音高はこのらせん上のどこかに位置し、上からみてらせん上に重なる点（例.C1、C2、C3、C4 等）は同じクロマになる。

□絶対音感

- ・基準音無しに正しい音名を言いあてたり、正しい音高を作り出す能力を絶対音感という。
- ・絶対音感が生得的か学習によるかは結論が出ていないが、幼年期の経験と深い関係があると考えられている。明らかにする実験は難しい。

■絶対音感保持者はランダムに音高が変わる音楽でもひとつひとつの音名がわかるため、楽譜に書くことができる。視唱や聴音の課題を遂行する上で有利である。

■一方で不利なことも

例えばあるメロディをハ長調と嬰ハ長調の中間の高さで演奏する場合

「ド」の音は、実際には「ド」と「ド#」のちょうど中間の高さを持つ。絶対音感を手掛かりにするとこのような音名は判断が難しい。したがってメロディの認識に時間がかかったりメロディを誤認したりする。一方、相対音感しか持たないものはメロディ中の音の高さの相対関係の方を手掛かりにするため、ハ長調の場合と同様に認識できる。

絶対音感保持者は、前述のような相対音感を遣った方が有利な場合においても絶対音感を使ってしまふことが示されている。

また、絶対音感保持者は高さの感じが明確な音であれば楽器以外の音でも正しく音名を言い当てることができる。戦時中はこの能力を利用して飛行機の爆音を聞かせ、敵機の機種同定をさせようとする試みがあり、国民学校の音楽の時間に音感教育がなされた。

□音高の群化

人間の情報処理は複数の刺激をバラバラにではなくできるだけ意味のあるまとまり（ゲシュタルト）として知覚しようとする。これを群化もしくは体制化という。

参照 スライド2

音楽を聴くときも群化の法則が影響する。

- ・ 2つの音の流れが別々の場所から聞こえてくる場合（音源の空間的位置の近接）
- ・ 音源が異なっている場合（周波数の近接）
- ・ 音域が同じであっても楽譜の種類が異なる場合（音色の類同）
- ・ それぞれ滑らかに連続している場合（よい連続）

それらは混ざることなく独立した音の流れとして聞こえる。

さまざまな群化の要因が複雑に組み合わせられた結果、オーケストラの多様な音の流れを聞いても主旋律を認知したり、バスの音の流れを認知したり、対旋律を認知できる。

参照 スライド3、4 第13回－1～5

テンポが速くなるほど周波数の群化の傾向が強く働く。

□マガー効果

参照 http://www.youtube.com/watch?v=eD4x_6HBi7E

- ・ 画像は「が」と発音したときのもの

- ・スピーカーからの音声は「ば」
- ・話し言葉を聞き取るとき、人は音だけでなく視覚的な情報も情報として使っている。
- ・この現象はイギリスの心理学者マガークによって発見された。

・「ば」と発音するときには唇がいったん閉じる。一方、「だ」や「が」のときは唇は半開きのまま。

「が」の画像を見せられると、唇が閉じていないので「ば」では有り得ない。

→視覚情報が聴覚に作用し、「だ」や「が」が聞こえる。

・読唇術を習ったわけでもなければこのようなことは普通知らない。それでも脳は知っている。

- ・ノイジーな環境で話を聞き取るときに利用されていることが分かる。

□いろいろな錯聴

参照 スライド5

無い音で構成されたメロディ？

この刺激音からはメロディーが聞こえる。

このデモの刺激音は、CFGAB、CD の7つの音を同時に鳴らしたものであるが、それぞれの音は時間をずらして、ごく短いあいだ取り除き、無音部が埋め込まれたものとなっている。

したがって無音部がメロディを作っていると言える。

このような聴こえが生じるのは、取り除かれた後の部分が浮き出して聴こえるため。

□音楽における聴覚的修復（補完）

モーツァルトのトルコ行進曲の主旋律を繰り返し流して、後半である1つの音階を全てノイズ（白色雑音）に置き換えたデモがありました。

・しかしメロディーは途切れなく聴こえ、メロディーのどの音が雑音に置き換えられているのかを判断することは難しい。

- ・ノイズにより存在しない部分を脳が修復（補完）しているのである。

□音の感覚

参照 スライド6

・2つの短音で示される240msの空虚時間の直前に80msから320msの間で変化する空虚時間を先行させたパターンがいくつか提示される。すなわち、1パターンにおいては、

3つの短音で区切られた2つの隣接する空虚時間が示されている。

- ・先行する空虚時間を 320ms から 80ms の間を 20ms の変化幅で 1 3 段階にわたり次第に短くしてゆくと、それが 180ms になる 8 番目あたりで、後に続く空虚時間が短くなったように感じられる。
- ・この過小評価は時間縮小錯覚と呼ばれている。

□動物による音楽の弁別

音楽を楽しむのは人だけか？

実験で確認してみる。

□メロディの知覚

■ホシムクドリにキーをつつくように訓練する。

連続する4音が上昇してゆく音列が聞こえてきたときだけキーをつつかせる。連続する4音が下降していくときはつつかせない。

この訓練を繰り返すとホシムクドリは上昇と下降の弁別が可能になる。

■実験

訓練に使った音列の相対的な音間関係を保ったまま、音列全体を数音、または数オクターブ以上、上げたり下げたりして音列を作り、ホシムクドリに提示した。

■結果

- ・新しい音列の高さが訓練で用いた範囲内に収まっていた時には間違えずに上昇と下降を弁別した。
- ・新しい音列の高さが訓練で使われなかった新しい初めて聞く範囲内にあると、弁別できなかった。
- ・この現象を周波数範囲の制約という。

□アカゲザルの研究

■訓練

約3秒のメロディ音列を用意する。2つの音列を続けてサルに聞かせて「同じ」か「違う」かを判断させる。

2つの音列が同じであれば右のスピーカーを、違っていれば左を触れさせる。弁別できるまで訓練した。

■結果

- ・音列が1または2オクターブ上がったとき、サルは「同じ」と判断した。
- ・音列が0.5または1.5オクターブ上がったとき、「同じ」という答えは半減。
- ・新しいメロディがオクターブ移動した時だけ「同じ」メロディと判断している。この傾向は調性感が整ったメロディ（童謡など）を聴いたとき強く現れた。
- ・すなわち、アカゲザルに調性感らしきものがある。

これらの実験は動物が人と同じようにメロディを知覚している可能性を示すと同時に、異なって知覚していることも示唆している。

□音楽の知覚

- ・人は音楽を聴いてその種類を区別できる。例えばクラシックの楽曲をジャンルや演奏形態で分ける。では動物は可能か？
 - ・ハトにストラヴィンスキーとバッハの楽曲を聞かせる。
- ストラヴィンスキーが聞こえたら右側のキーを、バッハが聞こえたら左側のキーをつつくように訓練した。

参照 スライド 第13回6

■実験

訓練では一度も聞かせなかったバッハとストラヴィンスキーを聞かせる。

■結果

- ・ハトは一度も聞いたことのないバッハとストラヴィンスキーの楽曲を聞き分けてキーをつついた。
- ・楽器やその他の属性を同一にしても弁別が可能だった。
- ・さらに同時代の音楽を聞かせても弁別できた。

■考察

- ・ハトが人のように「バロック音楽」と「現代音楽」を聞き分けたかどうかは分からない。
 - ・しかしながら、何らかの手がかりを使って楽曲をカテゴライズし、区別したことは事実。
- 動物を使った研究について
- ・音楽 聞き分け可
 - ・人の場合との相同性は不明。
 - ・動物と比較することで音楽聴取の生い立ち（起源）や独自性がわかる。

記憶の脳科学

□「記憶」とは？

記憶の要素

- ・ 記銘 memorization
- ・ 保持 retention
- ・ 再生 recall：想起してその内容を思い出すこと（例.記述試験）
- ・ 再認 recognition：事物を見て、これはすでに見たことがあると判断すること（例.選択式試験）

□情報の流れ

「A」という文字を見た場合

参照 スライド7

1. 視覚の感覚記憶

- ・ 各感覚ごとに独立
- ・ ごく短時間保持される

2. パターン認知（既存の記憶（長期記憶）との照合）

- ・ アルファベットの「A」だと認知

3. 短期記憶（STM）

・ 音響的、視覚的、意味的にコードされ、同一情報を繰り返す「リハーサル」によって比較的長時間保持

- ・ 保持量に限界がある。

4. 長期記憶（LTM）

- ・ 保持量時間ともに大きい。

□短期記憶（STM）

■STMの機能と機構

作業台仮説 参照 スライド8

- ・STMは「作業台」である
- ・この作業台は限られた大きさしかない。
- ・感覚から入ってきた材料（記憶材料）が置かれたり、LTMという倉庫に整理されているある材料を引き出してきて（検索）置く。
- ・乱雑に置かれたら整理する。（再符号化）
- ・台から材料がこぼれおちたり紛れたりする（忘却）
- ・できたもののいくつかはLTMの棚にしまわれる（LTMへの転送）

■記憶範囲

STMにおける保持はその保持量と保持時間によって特定できる。

- ・Ebbinghaus（1885）は無意味音節からなるリストを提示し、保持量と忘却を測定。
リストの項目数が“7”以下であればほぼ1度の学習で完璧に再生されるが、これを超えると誤りが増大し、完全に再生されるまでの学習時間も増大する。
- ・約7項目の限界を記憶範囲という。

Magical number 7 ± 2 ともいう（人によって多少差があるため）

参照 スライド9

□チャンク

- ・文字がランダムに並んでいたら記憶範囲は 7 ± 2 字だが、単語になると飛躍的に増える（ 7 ± 2 語になる）
- ・心理的なまとまりを持った単位をチャンクという。

4 9 2 5 8 4 1 3 8 6 1

0 9 0 2 3 9 3 1 6 9 4

↑チャンク

□系列位置効果とリハーサル

- ・単語リストの自由再生課題を被験者に与えた。
- ・単語提示の間に任意に口頭でリハーサル

参照 スライド10

系列の頭と終わりの再生成績が良い！

初頭効果→LTMに由来 何度もリハーサルしているため。

新近効果→STMに由来 最近の記憶であるため。

□京都大学霊長類研究所のアイとアユム

スライド 1 1