

神經

久米新一

京都大学大学院農学研究科

# 神経

- 動物が環境に適応して反応したり、体全体が調和して動けるのは神経の働きによる。
- 神経は感覚器から中枢への情報伝達、情報処理、中枢から効果器への情報伝達などを行う。
- 刺激により興奮し、興奮を伝える神経細胞（ニューロン）と神経細胞に栄養などを供給し、神経細胞を支える細胞（支持細胞）の集団を神経組織という

# 神経組織

- ・神経系をつくる組織。体のある部分からほかの部分に情報をつたえる。神経組織は、神経細胞（ニューロン）と神経系の支持組織であるグリア細胞が含まれる。
- ・神経細胞は1つの細胞体と、複数の木の枝のような短い突起（樹状突起）、1本の長い軸索（軸索突起）と神経終末をもつ。樹状突起はあるニューロンを別のニューロンにつないでいる。
- ・軸索はインパルスを器官につたえたり、感覚器官からのインパルスをあつめたりする。

# 神経：細胞特異的・局所的

---

■ 神経系の情報処理機能：神経細胞はシナプスを介してネットワークを形成し、シナプスにおける神経伝達物質とその受容体で情報処理する（交感神経：ノルアドレナリン、副交感神経：アセチルコリン）

■ 神経と筋の働き（機能的分化）

# 神経細胞（ニューロン）の構造

- 細胞体：神経細胞の核を含み、活動を維持する働き
- 軸索：細胞の興奮を他の細胞に伝える（長さ1mm-1m）
- 樹状突起：他の神経細胞からの情報を受けとる
- 脊椎動物は巨大な軸索をもたないが、運動神経の伝導速度は非常に速い：軸索はミエリンという薄い鞘（支持細胞からなる）で包まれている

# 神経系

- 神経細胞は複雑なネットワークを作り、受容器(情報を受け取る装置)と効果器(反応する装置)がある
- 中枢神経系(脳と脊髄:信号を統合し、命令を伝える)と末梢神経系(中枢外の神経と神経節で、自律神経系と体性神経系)で構成
- 自律神経系は交感神経系と副交感神経系で構成され、体性神経系は感覚神経、運動神経で構成

# 中枢神経系

- 大脳: 情報を処理する中枢(記憶、判断など)
- 間脳: 視床は感覚神経の中継、視床下部は自律神経の中枢(体温、血圧など)
- 中脳: 姿勢を保つ中枢(眼球運動など)
- 小脳: 運動調節、体の平衡維持の中枢
- 延髄: 呼吸運動、心拍数などの調節の中枢
- 脊髄: 脳と体の連絡路、脊髄反射の中枢

# 自律神経系

- 不随意器官に分布して、呼吸・消化・吸収・循環・分布・繁殖などの生命維持の機能を調節
- 自律神経系は脳脊髄内に中枢をもち、末梢遠心性の自律神経線維には2つのニューロン(節前線維と節後線維)のリレーで末梢に達する
- 自律神経系には交感神経(胸から腰の脊髄からでている神経)と副交感神経(中脳・延髄・脊髄最下部からでている神経)があり、この2つの拮抗作用により器官の機能が調節されている

# 交感神経と副交感神経

- 交感神経の末端からはノルアドレナリンが放出され、副交感神経の末端ではアセチルコリンが放出される
- 交感神経は動物が活発な興奮状態や身体活動を高める場合に活発化し、逆に副交感神経は休息中や安眠中に活発化する。
- 自律神経系は内臓・血管などに直接作用するケースと、内分泌系と協同して血糖値などを維持するケースがある

# 神経細胞

- 無極細胞：突起を欠くもので、発生過程の細胞
- 単極細胞：1本の神経突起の細胞
- 双極細胞：神経突起と樹状突起が1本ずつある細胞
- 偽単極細胞：突起が1本であるが、その先で神経突起と樹状突起に分かれる細胞
- 多極細胞：3本以上の突起がある細胞で、中枢神経系では大部分が多極細胞

# 神経線維（軸索と被膜）

神経線維には鞘で被覆されているものが多い。

鞘には髄鞘（髄）と神経鞘（鞘）があり、神経線維は2種の鞘の有無によって次のように分類される（髄鞘は支持細胞から発達）

- 有鞘有髄線維：運動神経、感覚神経の線維  
髄鞘は絶縁体の役割があり、伝導が非常に早い（70-120m/秒）
- 有鞘無髄神経線維：自律神経の線維
- 無鞘有髄神経線維：中枢神経系白質の線維
- 無鞘無髄神経線維：中枢の灰白質の線維  
伝導が遅い（2-3m/秒）

# 支持細胞（グリア細胞）

神経細胞を物理的・機能的に支えていて、神経膠細胞、シュワン細胞などがある

- 神経膠(シクエイウ)細胞：突起があり、神経細胞を支え（髄鞘を構成）、血管と神経細胞間の物質移動などにも関係している
- 神経鞘：シュワン細胞が細胞質を含んだまま線維を包んでいるもの
- 髄鞘(ズイショウ)：シュワン細胞が著しく進展しながら、線維を何重にも巻いているもの

# 神経細胞の機能

- **シナプス伝達の機能**: 神経細胞の軸索終末に達した活動電位を次の神経細胞に伝える (シナプス前膜の伝達物質放出機構とシナプス後膜の化学的感受性)
- **伝導の機能**: 活動電位を発生して、電氣的パルスとなった情報を伝える (膜の電氣的興奮性) が、イオンに対する選択的透過性と膜内外のイオン濃度分布の相違に基づいている。活動電位は神経細胞以外に、筋、心筋、内分泌腺などでもえられ、伝導速度は非常に早い。

# 静止膜電位と活動電位

- 静止時の神経膜はカリウムイオンに対して選択的透過性をもつが、ナトリウムと塩素に対しては低い：細胞内のカリウムイオンが細胞外にでると膜の外側に正の電荷を与える
- 活動電位：細胞内の負の電位と細胞外の高いナトリウム濃度がナトリウムを内側に動かす：NaとKの透過性を選択的に変化させることによって-75mVから+55mVの間に変化する
- 神経の興奮：刺激による活動電位の発生
- リガンド依存性チャネル（神経終末シナプス）と電位依存性チャネル（軸索）

# シナプス

- シナプス：神経細胞間および神経細胞と効果器細胞間の接合部を示し、シナプスの最も重要な特徴は一方方向の弁として機能することである
- 神経系は多数の神経細胞を有する神経回路網であり、他の神経細胞への情報伝達は神経軸索突起から相手の樹状突起や細胞体になされる
- 情報を送る側のニューロン（神経線維）をシナプス前ニューロン、受ける側のニューロンをシナプス後ニューロンと呼ぶ

# シナプス

- 神経系ではどの軸索も伝導の向きは常に決まっていて、神経幹のなかではある軸索が一方方向に伝導すると、別の軸索は反対方向に伝導する
- 筋肉を収縮させるように刺激するインパルスは中枢神経から筋肉へ伝達され、同時に筋肉からの感覚情報はほかの軸索によって中枢神経系へ運ばれる
- シナプスの信号伝達には化学シナプス意外に、電気シナプス(ギャップ結合)がある

# ニューロンによる情報伝達

- 感覚ニューロン: 感覚器で受容した刺激(音、におい、光など)を神経を通じて脳に伝える
- 感覚の種類: 視覚、聴覚、嗅覚、味覚、温覚、冷覚、痛覚、触覚など
- **感覚器**が刺激を感じ、電気信号が感覚ニューロンを伝わって脳や脊髄の中樞神経の介在ニューロンに伝わり、中枢から発した電気信号が運動ニューロンに伝わり、筋肉(**効果器**)などに伝達される

# 感覚細胞

- 感覚細胞：外界の変化に対し、鋭敏に反応する細胞で、視覚、聴覚、味覚、嗅覚、触覚などを感知している。感覚細胞は外界に接する場、皮膚に隣接して存在する
- 眼球の視細胞、内耳の有毛細胞、舌の味細胞、鼻腔の臭細胞、皮膚の知覚細胞などがある
- 感覚細胞における発生順序：光（刺激）→眼（感覚器官）→網膜細胞（感覚細胞）→視神経（神経伝達）→視覚領（中枢神経系）

# 感覚細胞と刺激

- 刺激が来る方向は重要であり、動物は刺激源へ移動したり、それから逃げたりする：方向探知に最も優れているのは視覚である
  1. 感覚器官が方向性をもつ：刺激源の方向へ向くことと避けること
  2. 1対の感覚器から得られる情報を比較する：音による方向の情報
  3. 信号が空間と時間軸で比較される

# 感覚情報の伝達と選別

- 感覚器官は外部信号を受容細胞の膜電位変化、受容器電位に変換する機能がある: **活動電位は閾値(ある一定の強さ)を超えると発生し、情報となる**
- 情報は、軸索内活動電位頻度の変化が刺激強度の指標として使われ、周波数変調型信号として伝達される
- 受容器細胞には自発的活動を示すものがあり、それらは刺激がなくても活動電位や神経インパルスが発生する: 自発的活動が受容器の感度を上昇させる効果がある

# 感覚情報の基本原理

1. 感覚器官は外部刺激が受容器電位を発生する場所で変換器として働く
2. 情報は感覚神経で活動電位として伝わる
3. すべての感覚神経内で活動電位は同じ性質と大きさをもつ
4. 活動電位の大きさは刺激強度に影響されない(全か無かの法則)
5. 刺激強度は活動電位の周波数変調として符号化される

# 情報の選別と処理

- 感覚器官が受容できる全情報が中枢神経に伝達すると信号は非常に大きくなり、制御できなくなる：大量の取捨選択の作業と処理が感覚ニューロンで始まる
- 選択回路は受け取った情報のなかで選択した部分だけを次に伝え、いくつかの段階を経て処理を行い、高次レベルへ伝達される情報に改良を加える

# 眼

視細胞(網膜):

錐体(スタイ)細胞:色の区別(赤・青・緑)

桿体(カンタイ)細胞:明暗の区別(色素として  
ロドプシンを含む)

網膜(retina):

色素上皮細胞:生体色素のメラニンを含んだ  
顆粒がある(赤・青・緑の光を吸収する)

光感受細胞:光を感じる細胞(赤感受性、青  
感受性、緑感受性の3種類)

# 視覚による情報処理

- 網膜：視細胞による光子の吸収と膜電位の変化—複雑な神経層への電位変化の伝達—処理された情報の神経節細胞への伝達
- 脳内の膝状体（網膜の受容野に対応）：視神経と脳内視覚領との間のシナプス結合形成
- 脳内視覚領：単純細胞（明暗を持つ線に対応）による相当量の情報除去と特別な情報の伝達—複雑細胞が多数の単純細胞から情報を受け取り、脳の他の領域へ伝達し、体全体の機能を統合する

# 味覚と嗅覚（化学感覚）

- 化学感覚器は脊椎動物と節足動物（昆虫）で発達している：味は動物の口と接触する物質、  
においては距離の離れた物質に適用できる
- 感知される化学物質は拡散または媒体の動きに依存し、感覚器に達する（動物があたりを見回るなどが必要で、光や音に比べると情報伝達は遅い）
- 化学反応による重要な情報（警戒や警告の手段）：食物や交尾相手をみつけることと、敵の位置を知ること

# 家畜の嗜好性

- ・ 味覚：甘み、酸味、辛味、苦味だけでなく、食物の舌触りが味における重要になる
- ・ 家畜では食物に対する嗜好性がある：牛は草よりも穀物を好む→穀物を先に食べるとルーメンアシドーシスなどの疾病が発生するため、混合飼料（草と穀物を混ぜて給与）にすることが好ましい
- ・ 家畜の嗜好性を調べるためには、カフェテリア試験などがある

# 家畜の行動と家畜福祉

- 行動発現の機構とメカニズム

刺激—応答メカニズム：味刺激（味蕾）、光刺激（網膜細胞）などの受容器が刺激に反応し、行動に移る

- **家畜福祉**：家畜の権利を守るために、EUを中心に広がっている。生産性一辺倒ではなく、家畜の心理的欲求に応える「家畜にやさしい飼養管理技術」が求められる

# 家畜化による行動の適応的变化

生活環境の変化：人間による飼料給与・  
管理と外界からの保護、人間との関係

学習能力：家畜は野生種より優れている  
(ダーウィン)

行動の変化：反応閾の低下、群行動の低  
下、縄張り行動の低下、攻撃性の低下

(人間にとって扱いやすい動物：敵対行動  
の低下)

# 家畜の行動と情報伝達系

神経系：神経細胞の電気的信号－軸索（神経繊維）－シナプス－神経伝達物質（化学的信号：アセチルコリン、ノルアドレナリンなど）放出－興奮（電気的信号）

内分泌系：性行動（エストロゲン、アンドロゲンなど）、唾液腺ホルモン－口粘膜などの直接の刺激によっても分泌される



情報伝達との関係は行動からの見直しも必要

# 家畜の摂食行動と情報伝達系

摂食行動：食欲（家畜の生理的要因と飼料側の要因）による動機づけによって発現する

摂食行動発現の神経機構：家畜の食欲—受容器—情報伝達系（神経・内分泌系）—視床下部（満腹中枢・食欲中枢）—摂食行動の発現



乾物摂取量を増加させるための情報伝達系の重要性

# 家畜の学習

学習：経験により動物の行動が適応的に変化する過程（習得行動：学習で獲得した行動）

家畜の飼育：家畜を馴らす（学習させる）ことにより、人間にとって飼いやすくする



家畜行動システムの分子生物学的解明

# 家畜の動機づけ

動機：行動を起こす原因・契機

動機づけ：動物をある行動に駆り立てること  
と--行動の記憶を再生することによって  
起きる

特異的動機づけ：摂食行動や性行動に  
関わる目的指向的行動は、刺激に対し  
て特異的に反応する（牛が草地から決  
まった時間に帰ってくる、決まったスト  
ールに牛が入る）

# 家畜の異常行動と家畜福祉

- 家畜を飼養している環境の変化により、家畜が異常行動を示すことがある
- 動物が心理的に攪乱した場合にとる失宜行動
- 飼養環境や飼養管理法に対する家畜の意識レベルからの評価指標



家畜福祉を推定するための有効な手段

# 家畜の葛藤・異常行動

- 葛藤行動（接近一回避葛藤：接近したいのに回避する状況）：欲求不満（特に摂食時などに変わったものがある場合近づけない）  
自律神経性反応の促進（血圧、呼吸、心拍数の上昇など）、カテコールアミン、コルチコステロイド<sup>®</sup>上昇などのストレス反応
- 豚の尾かじり、哺乳子牛の臍帯吸い、異物（柵など）の摂取など（家畜に害をもたらす）

# 家畜の社会行動

- 家畜は家畜化されてもその種特有の集団を作るが、実際には生産性向上のために行動が著しく制限されている。
- 社会行動：闘争行動、性行動、母性行動、追従行動、縄張り行動など
- 社会体制：順位性（群れのなかに闘争についての強弱がある）、追従性（他の個体に追従する習性があるが、先導者は決まっていない）、家族制（父母家族、母系家族など）

# 家畜の敵対行動と順位

- 絶対的順位型

牛、鶏は採食、休息など、すべてにおいて優先権が強いので、劣位個体を激しく攻撃する—個別飼育が適している

- 相対的順位型

羊・山羊、豚は闘争しながらも優位個体が劣位個体を完全には排除しない—集団飼育が多い

# 牛の敵対行動と個体間距離

## 個体間距離(パーソナル・ディスタンス)

- ・群環境下で各個体は互いにそれ以上近づかない、また近づけない距離がある(この距離を越えると逃げるか、攻撃する)
- ・実際は体と体の距離ではなく、他者を認識する視線が問題



視線をずらすことによって攻撃を避ける(鶏も)

# めん羊の群管理

