

# 組織

久米新一

京都大学大学院農学研究科

# 動物の組織

- 組織は形態的・機能的・発生的根拠に基づいて、ほぼ同形・同大で働きも似通った細胞と周囲の細胞外マトリックスの集団から構成されている
- 細胞は細胞外マトリックスを介して結合し、あるいは互いに結合している
- 上皮組織, 支持組織(結合組織、血液・リンパ液、骨・軟骨組織), 筋組織, 神経組織の4つの基本的組織がある

# 動物の各組織

- **上皮組織**: 体表, 体腔(タイコウ)の表面, 管腔(カンコウ)器官の内面などをおおっている細胞層を上皮, その細胞を上皮細胞という.
- **支持組織(結合組織)**: 細胞, 組織, 器官を結合して, それらの形, 位置を保持したり, 支えている組織である.
- **筋組織**: 刺激に反応して収縮する筋細胞で構成される
- **神経組織**: 生体内外の環境の変化を情報としてとらえ, 反応する神経細胞とこれを支える指示細胞で構成されている.

# 上皮組織と非上皮組織

- **上皮組織**: 外界に直接面した細胞層で、皮膚、呼吸器(肺、気管など)、消化管(胃、腸など)、泌尿器(尿管など)などの表面である。血管、リンパ管などの内面を覆う組織は内皮と呼ばれる。上皮では細胞が相互に密着して、体内と体外を分ける働きがある。
- **非上皮組織**: 外界に直接は接しない上皮の内側が真の体内で、非上皮細胞群で構成されている。細胞同士が離れていて、間質の占める割合が多い。

## 上皮組織 (epithelial tissue) -1

皮膚、肺、胃、腸、血管などの表面を上皮組織がおおい、損傷や感染から体を守っている。細胞間物質がなく、細胞がつまっている。細胞の配列によって重層と単層、細胞の形によって円柱・立方・扁平・移行などに分けられる。

通常、上皮組織と上皮がおおっている細胞が接する面には基底膜という膜がある。上皮細胞そのものには血管はなく、上皮の下にある組織の毛細血管から酸素と栄養が供給される。

# 上皮組織 (epithelial tissue) -2

細胞の配列によって重層と単層、細胞の形によって円柱・立方・扁平・移行などに分けられる。

- ◆ **単層扁平上皮**: 扁平細胞が1層に並ぶ。血管内皮
- ◆ **重層扁平上皮**: 皮膚、食道、腔の内表面にみられ、扁平鱗片状細胞のうすい層でできている。
- ◆ **単層円柱上皮**: 胃から肛門までの消化器系内側をおおう。細胞は直立し、栄養素の吸収を調節したり、杯細胞から粘液を分泌したりする。上皮が内部にのびて汗腺や胃の分泌腺などの腺となる。外部に発達すると毛髪や爪などになる。
- ◆ 他に、**立方上皮**、**移行上皮**がある。

## 単層円柱上皮:

体表面や体腔内壁を保護する細胞の層を上皮細胞という。空腸粘膜では、単層円柱上皮が壁面をおおい、絨毛という小突起が密集している。

## 扁平上皮細胞:

薄い扁平上皮細胞が1層にならんだ単層扁平上皮。細胞境界部分が黒い網目模様になっており、それぞれに大きな核がある。

## 上皮組織 (epithelial tissue) -3

機能によって、被蓋(保護)上皮、吸収上皮、感覚上皮、呼吸上皮などがある。

◆ **被蓋上皮** : 皮膚や食道は重層扁平上皮である。

◆ **吸収上皮** : 胃や腸は単層円柱上皮である。

◆ **腺上皮** : 外分泌腺は単層立方上皮細胞で、大きな核をもち、輪郭がはっきりしていて、顆粒状の細胞質にとんでいる。

◆ **呼吸上皮** : 肺の上皮は単層扁平上皮であるが、気管の上皮は多列円柱上皮で線毛が生えていて、ほこりやごみが肺の中まではいらないよう外へおいだす働きをしている。



## ルーメン乳頭

- ・粘膜上皮(厚さ約0.05mm)は重層扁平上皮で、最外層は角質化する。
- ・固有層は弾性繊維が多く含まれ、乳頭がよく発達し、絨毛(乳頭)突起がある。

# ルーメン壁からの吸収

- ・ルーメンは重層扁平上皮でできているため、ほとんど吸収されないと考えられていた。
- ルーメン上皮の血液側とルーメン側には約30mVの電位差があり、血液側が高く、吸収に影響する
- ルーメンと血液の物質移動には電荷の有無、ルーメン上皮との親和性、通過分子の形態、動物の生理状態などが影響



VFA、水、窒素化合物(アンモニア、硝酸など)、ミネラル(Na、K、Mgなど)などを吸収

## 上皮組織 (epithelial tissue) -4

上皮細胞には、特定の物質を合成し、排出する分泌の機能があり、この細胞を腺細胞、合成された物質を分泌物という

◆**外分泌腺**: 分泌物が器官の腔や体表にでるもの。上皮細胞層の中に腺細胞がある(**杯細胞**)、上部から深部に腺細胞がくぼみを作って配列(**胃腺・腸腺**)、腺細胞が集塊を作り、分泌物が導管からでる(**食道、唾液腺、肝臓、膵臓**など)。

◆**内分泌腺**: 分泌物が血管中に入り全身を循環するもので、腺を内分泌腺、分泌物がホルモンである

# 腺細胞：腺体と導管で構成

**腺体**：分泌物を生産・放出する腺細胞の集まりで、終末部・主部と呼ばれる

**導管**：分泌物を運ぶ管

## 外分泌の腺細胞：

漿液細胞：タンパク質性分泌物

粘液細胞：ムチンが主体

脂腺細胞：脂肪滴

水・電解質を分泌する細胞

胃の壁細胞：塩酸分泌

# 結合組織

- 動物の体がしなやかに動くのは、結合組織が関係している。
- 結合組織は組織と組織の間にあって、それらを支えたり、結合したりして、組織や器官に強さやしなやかさを与える役割と組織の細胞に水や養分を供給したり、物質を貯えたりする働きがある。
- 結合組織のまわり(細胞外マトリックス)にはその細胞が分泌した物質、コラーゲンなどがある

## 結合組織 (connective/sustentacular tissue)

体の部分をささえたり結合させたりする組織で、**線維性結合組織、弾性組織、脂肪組織、軟骨、骨**などがある。発生学的には中胚葉から生じる。レースの網目状の細網組織は、さまざまな器官に分布して機能をささえる。また、骨や象牙質のように緻密で固いものもある。上皮とちがって支持組織の細胞どうしははなれていて、その間には細胞間物質が豊富にある。

細胞間をうめる**細胞外マトリックス**は液状・半固形状・固形状だったりする。腱や靭帯は白色の線維性結合組織からなり、椎間円板や動脈の血管壁や気管の弾性成分などは黄色の弾性結合組織からできている。

# 細胞外マトリックス

細胞外環境は細胞外マトリックスと呼ばれる高分子群で満たされている:細胞の接着、軟骨・皮膚などの物理的特性、細胞間のシグナル伝達などの機能がある

**構成分子:**コラーゲン(膠原繊維の主要な繊維で、体全体のタンパク質の約25%を占める)、糖タンパク質(フィブロネクチン、ラミニン)、プロテオグリカンなど

- **細胞外マトリックスと細胞の接着:**インテグリンなどの細胞膜貫通型タンパク質

# コラーゲン

**コラーゲン**: 体の中で最も多いタンパク質

- 動物の結合組織の引っ張り強度を高めているのはコラーゲンであり、約20種類のコラーゲン遺伝子が組織に応じたコラーゲンを作成する
- コラーゲンは骨、腱、皮膚などの主要タンパク質であり、全タンパク質の25%を占めるが長さ数 $\mu\text{m}$ のコラーゲン原繊維が集まってコラーゲン繊維を形成する
- 基底膜(上皮細胞の外側を覆う)、骨細胞(コラーゲンとリン酸カルシウム)で重要



## 結合組織 (connective/sustentacular tissue)

**線維性結合組織・脂肪組織**: 線維の束の不規則な網が細胞を結合し、血管や神経などをささえている。

**腎臓の脂肪組織**: 器官をささえるクッションの働きをする。

**皮下脂肪組織**: 余分なエネルギーをたくわえて必要時に使う。

**弾性組織**: 靭帯、気管、動脈壁にみられ、伸縮する。

**骨組織・軟骨組織**: コラーゲンを分泌していた線維芽細胞が、軟骨をつくり、軟骨のなかには骨芽細胞の作用を受けて石灰化して骨になるものもある。

**リンパ組織・血管系**: 発生学的に結合組織といえる。

**神経膠(にかわ)質**: 中枢神経系の支持組織をつくる結合組織の一種である。

# 結合組織の細胞

- **繊維芽細胞**: 皮膚、腱などの結合組織の基本的な細胞で各種繊維を形成し、コラーゲンなどの細胞外マトリックス成分を分泌する
- **細網細胞**: 細胞相互が突起で結び、網を形成.
- **脂肪細胞**: 細胞質に多量の脂肪を貯蔵
- **色素細胞**: メラニン色素を持つ細胞で、伸縮性に富む
- それ以外に、**大食細胞**(マクロファージ)、**肥満細胞**、**形質細胞**(抗体産生)、**血球**(赤血球、白血球など)がある.

# 細胞間質

間質：膠原繊維、細網繊維、弾性繊維で構成

- **繊維性結合組織**：繊維が豊富な結合組織で、疎性結合組織（皮下組織など）と密性結合組織（腱、靭帯など）がある
- **脂肪組織**：脂肪細胞が集合した結合組織（皮下脂肪）
- **細網組織**：細網細胞を細網繊維で支えている組織（リンパ節、脾臓、骨髄など）

# 脂肪組織 (adipose tissue)

- ・円形で大型の脂肪細胞が集合してできる脂肪組織は、過剰な脂質を貯蔵し、必要に応じてエネルギーに変換する場である。
- ・皮下組織や腸間膜などにみられ、断熱や器官保護の役割もになっている。厚い皮下脂肪を形成して寒冷の気候に適応する。

# 脂肪のエネルギー

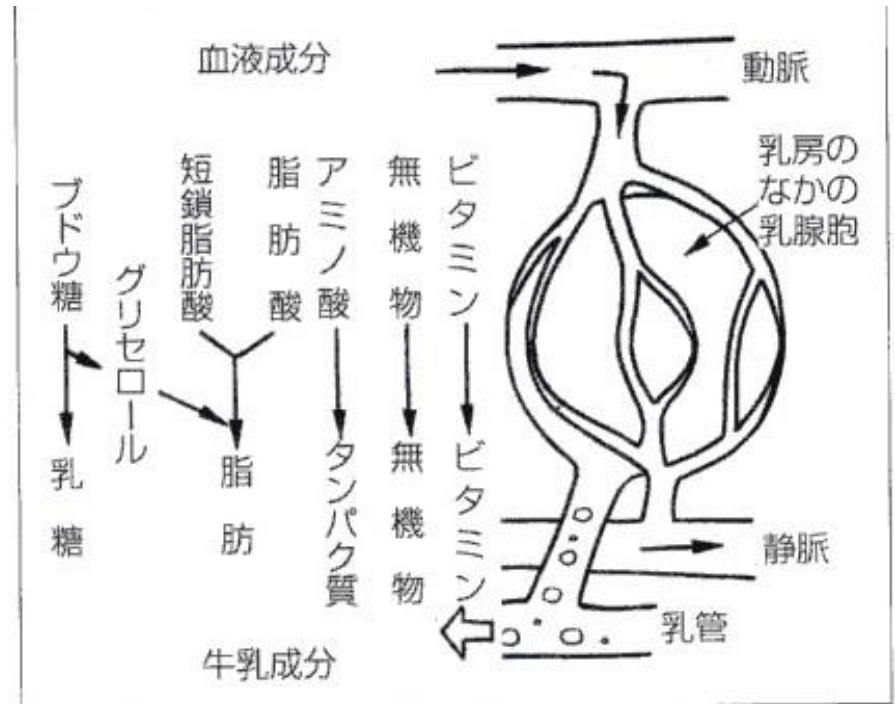
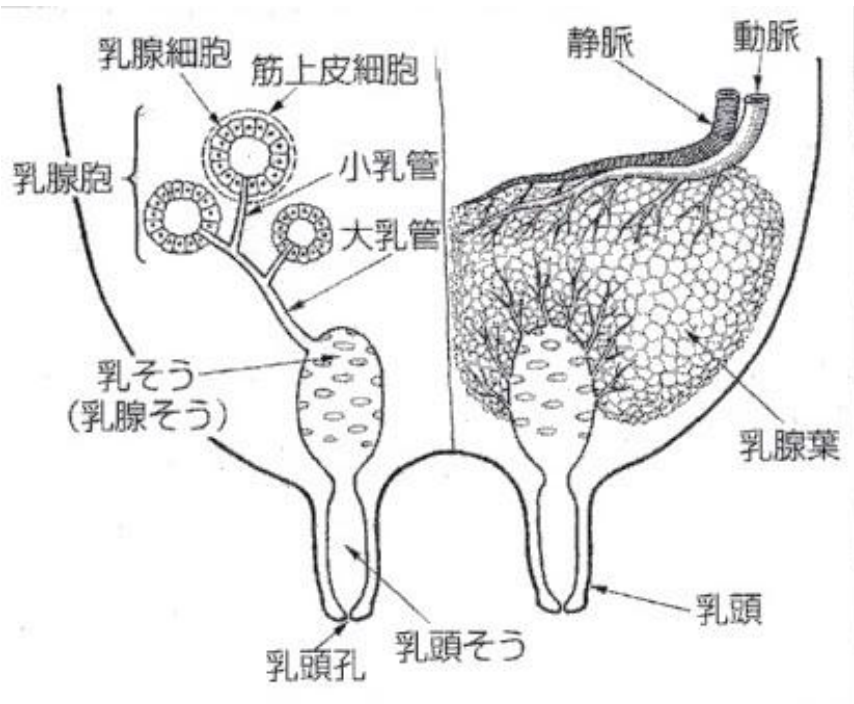
- 栄養素の発熱によって得られる発熱量：  
脂肪 (9.4kcal/g) は炭水化物 (4.2kcal/g) とタンパク質 (4.3kcal/g) よりも2倍以上の発熱量
- ↓
- 脂肪は長期のエネルギー貯蔵に適している (エネルギーを脂肪で蓄えると、体重増加が少ない)
  - グリコーゲン (炭水化物のエネルギー貯蔵物質: ブドウ糖の重合体): 炭水化物の代謝は非常に早くエネルギーを供給でき、運動時など酸素がなくてもエネルギーを供給できる

## 脂肪細胞の主な分泌物（内分泌とも関係する）

分泌物	作用
レプチン	エネルギー摂取量の調節
腫瘍壊死因子 (TNF) $\alpha$	インスリン抵抗性
補体系因子	免疫系の活性化
アンジオテンジノーゲン	アンジオテンシン II の前駆体 (血圧調節)
脂肪前駆細胞増殖因子	脂肪細胞数の増加
リポタンパク質リパーゼ	脂肪酸の取り込み

# 乳腺の構造と牛乳の合成

- ・ 乳腺からの乳の分泌は開口分泌ではなく、アポクリン分泌で、細胞から盛り上がった突起ができてちぎれ落ちる分泌であり、細胞質の成分も放出される



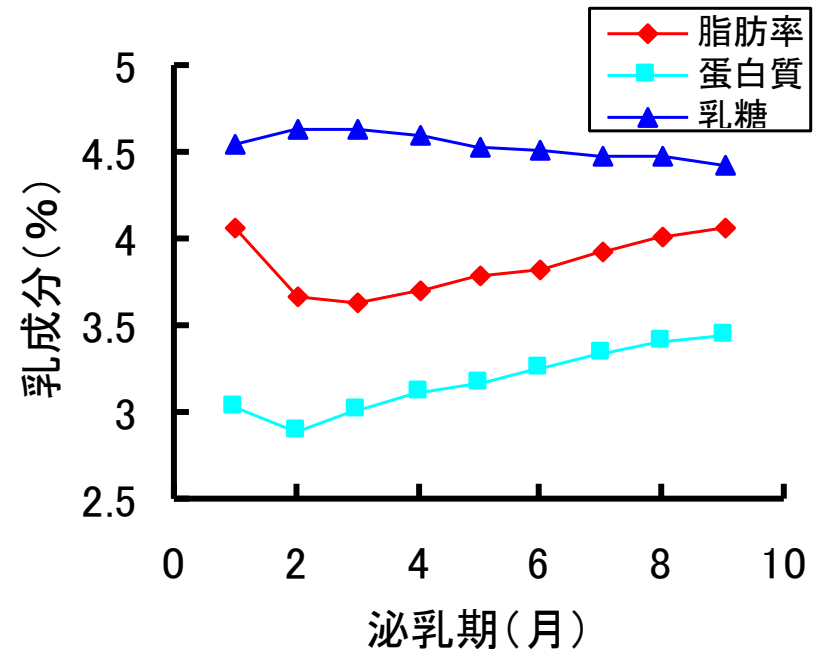
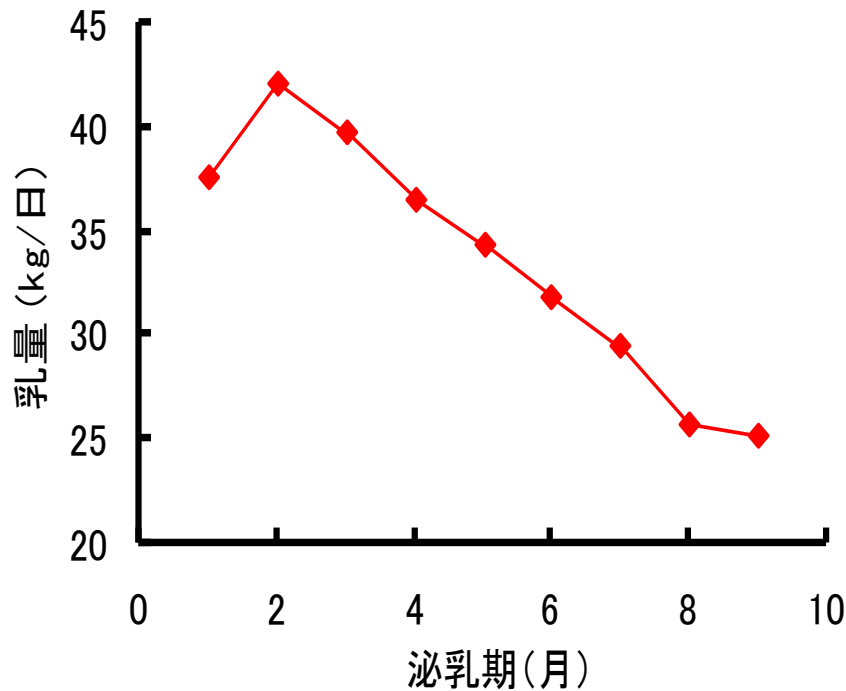
乳腺の収縮はオキシトシンが作用:Ca

# 乳腺上皮細胞の特性

- ・ 乳腺上皮細胞は細胞膜から乳成分の前駆物質を取り込み、細胞内で乳成分を合成して乳腺胞腔内に外分泌する細胞であり、妊娠、分娩、泌乳に伴って増殖、分化、退行を繰り返す唯一の組織である
- ・ **乳腺細胞のアポトーシス** : 乾乳期に多くの乳腺上皮細胞はアポトーシスにより除去される。乳腺退行には成長ホルモン、プロラクチンなどが関与しているが、メカニズムはまだ不明である



# 牛乳中の浸透圧



- ・乳量増加は乳糖の増加がもっとも重要: 浸透圧の関係(乳糖が多いと乳腺への水の移行が増加する)
- ・腸で乳糖が分解されないと水が増え、下痢症状となる

# 乳房炎

- 乳房炎：起炎性微生物（ウイルス、細菌、真菌など）による乳房感染とそれに伴う炎症や痛みを特徴とする。
- 乳腺の免疫系：1) 乳には免疫グロブリン、ラクトフェリン、リゾチームなどの免疫関連成分が含まれ、2) 乳腺組織は粘液（リゾチーム、ムチンなど）を含む粘膜上皮層で保護され、3) 乳を生成する上皮組織には殺菌作用を有する好中球、マクロファージや抗体を分泌するリンパ球が存在する

# 乳房炎と牛乳

- 乳房炎になると、乳腺の細胞だけでなく、白血球（特に、好中球）の数（体細胞数）が増える：体内に侵入した有害細菌を殺傷するため
- **牛乳中の体細胞数（数万/ml）**：乳房炎で体細胞数（細菌数も）が増加すると牛乳は出荷停止になる：血液が乳中に移行するため、乳成分も変わる（ナトリウムの増加など）
- 乳房炎は乳牛の最大の淘汰要因になる（治療等で完治しないケースが多いため）

# 哺乳類の乳汁成分

	成分 (%)				エネルギー (kJ/g)
	水	脂肪	蛋白質	糖分	
ウシ	87.3	3.7	3.3	4.8	3.3
ヒト	87.6	3.8	1.2	7.0	3.3
アザラシ	45.3	42.7	10.5	0	41

哺乳類の雌は授乳によって大量の水を失う  
：濃縮された乳汁で水分損失を補う（アザラシ、  
クジラなど）

(Nielsen, 1997)

# 家畜の授乳行動

- 授乳姿勢：牛、馬、羊は母子ともに起立して、豚は母畜が横臥して授乳する
- 子畜は乳房を激しく突くことがある—乳量が少ないときに多く、オキシトシン分泌の効果もある
- 馬、羊は1時間に1回程度（1日に24回程度）授乳するが、牛は1日に1－3回しか授乳しない。豚は一斉に短時間に授乳する（1時間に1回程度と多い）

# 豚の授乳



# 表、6日齡の子牛の糞と血漿成分

	正常	下痢気味	下痢
例数	39	9	4
糞（乾物当たり）			
DM, %	26.6a	18.4b	12.9c
Na, mg/dl	0.38c	0.64b	1.30a
K, mg/dl	0.47b	0.55b	0.85a
血漿			
Na, mg/dl	321.3b	318.7b	360.0a
K, mg/dl	20.0b	22.0a	23.6a

# 家畜の生産性と細胞生物学的アプローチ

- ・ **脂肪細胞からの情報**: 核内受容体を介した脂肪細胞分化、グルコーストランスポーターによる脂肪酸合成経路
- ・ **筋芽細胞からの情報**: 筋芽細胞の分化による変化
- ・ **乳腺細胞からの情報**: 乳タンパク質の転写因子  
↓  
肉質改善(脂肪交雑)、乳質改善など、生産性と関係する分子生物学的研究の進展