

動物生体機構学

久米新一

京都大学大学院農学研究科

生体機構学分野とは？

哺乳動物の生理機能を解明する —細胞から個体レベルまで—

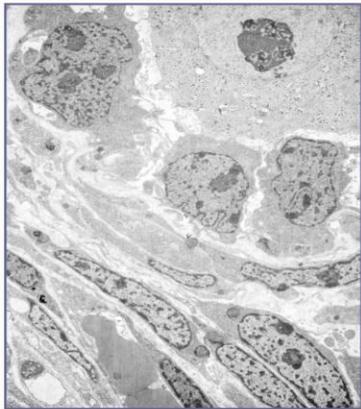
細胞から個体までのすべてのレベルで、生体の機能はそれ自体の性質だけでなく周囲の環境との相互作用により変化します。特に近年は地球温暖化や環境汚染等、ヒトを含めた動物に対する環境の影響が問題になっています。このような動物の生理機能を支えるシステムを研究しています。

細胞レベルの解析

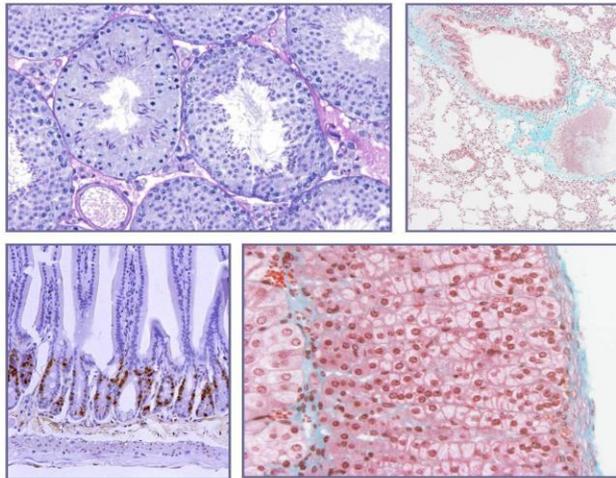
組織の機能と形態の解析

生体の機能の解析

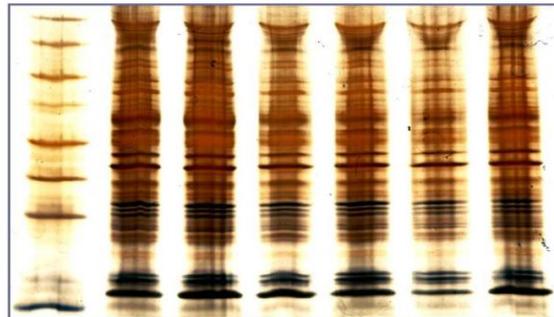
電子顕微鏡観察



各種の染色法と光学顕微鏡観察



組織から抽出したタンパクの電気泳動



ウシの生理機能の解明



帯広のフィールド研究 --アルファルファ導入と放牧



冬の帯広：-18℃ 大規模農家



乳牛：900頭
肉牛：7,000頭
出荷乳量：6,000t



「若草のカマンベール」 --酪農の多様化・差別化



- 高野牧場の放牧牛の牛乳で製造したカマンベールチーズ(50頭規模)

生体機構学

動物の各器官、組織、細胞の働きを中心に、動物の生理・解剖学の基礎と、家畜の生理機能の特性を学ぶ

- 食物と摂取、消化、呼吸、血液による運搬と循環、腎機能(排泄)、筋肉と運動、神経・免疫・内分泌の働きなどによる恒常性維持
- 環境に対する適応: 動物の構造と基本的な物理学、化学が必要
- 基礎的な学問と現在の環境問題等を考えることが必要

生命現象の基本原理

- 物質論：生命現象の基本となる物質の同定（主にタンパク質）
- エネルギー論：物質の体内移動を可能にするエネルギー変換
- 生体情報論：生体への刺激の受容とその中枢への伝達、生体機能の調節（神経系、内分泌系、免疫系）

動物の生体機構

- **細胞** (生体膜、核、細胞小器官:ミトコンドリアなど): 遺伝子の発現、エネルギー生成
- **組織** (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): 器官のなかで特有な働きとかたちを持った細胞が集まり、全体で特有の機能と構造を持つ細胞集団
- **器官** (呼吸器、循環器、消化器、泌尿器、運動器、生殖器などがある): 体内で特別な働きをする構造の名称

細胞・組織・器官の生理

- 生命現象の基本原理である物質論、エネルギー論、生体情報論はヒトでも動物でも細胞では基本的に同様である



- 細胞生理の理解を深めることの重要性
- 動物の体を構成する各要素(細胞、組織、器官)の形態と機能

家畜・動物を取り巻く状況

- 畜産物の安全・安心に対する消費者の意識の高まり(BSE・口蹄疫などの発生)
- 人口増加(アジアの増加が顕著)に対する畜産物需要の急増
- 地球温暖化、環境汚染など、家畜・動物をとりまく環境の急変
- 家畜・ペット・野生動物と人間の関係
- 実験動物の医学・薬学分野への応用



動物生体機構学からの対応

恒常性維持 (ホメオスタシス)

- ・動物は常に変動する外界からの情報を受け取り、それに適切に対応しながら体内の環境を常に一定の範囲内に維持して生存している。
- ・動物生理学は、恒常性を維持する機構の解明を主題とする19世紀のクロード・ベルナールに始まり、キャノンがその考え方を発展させた。

動物の恒常性(ホメオスタシス)

- 動物は外部環境の大きな変化に対して、内部環境(血圧、pH、体温、血糖値など)の変化を小さくする機構(ホメオスタシス)がある
- 恒常性維持のために、肝臓・腎臓などの臓器が重要な働きをし、その働きは自律神経系・内分泌系などによって調節されている



細胞、組織、器官などの恒常性維持
(生理学・解剖学・分子生物学による説明)

動物生体機構学

外部環境

動物・家畜の内部環境
(牛・豚・鶏)

環境の
変化

動物生理学
動物解剖学
分子生物学

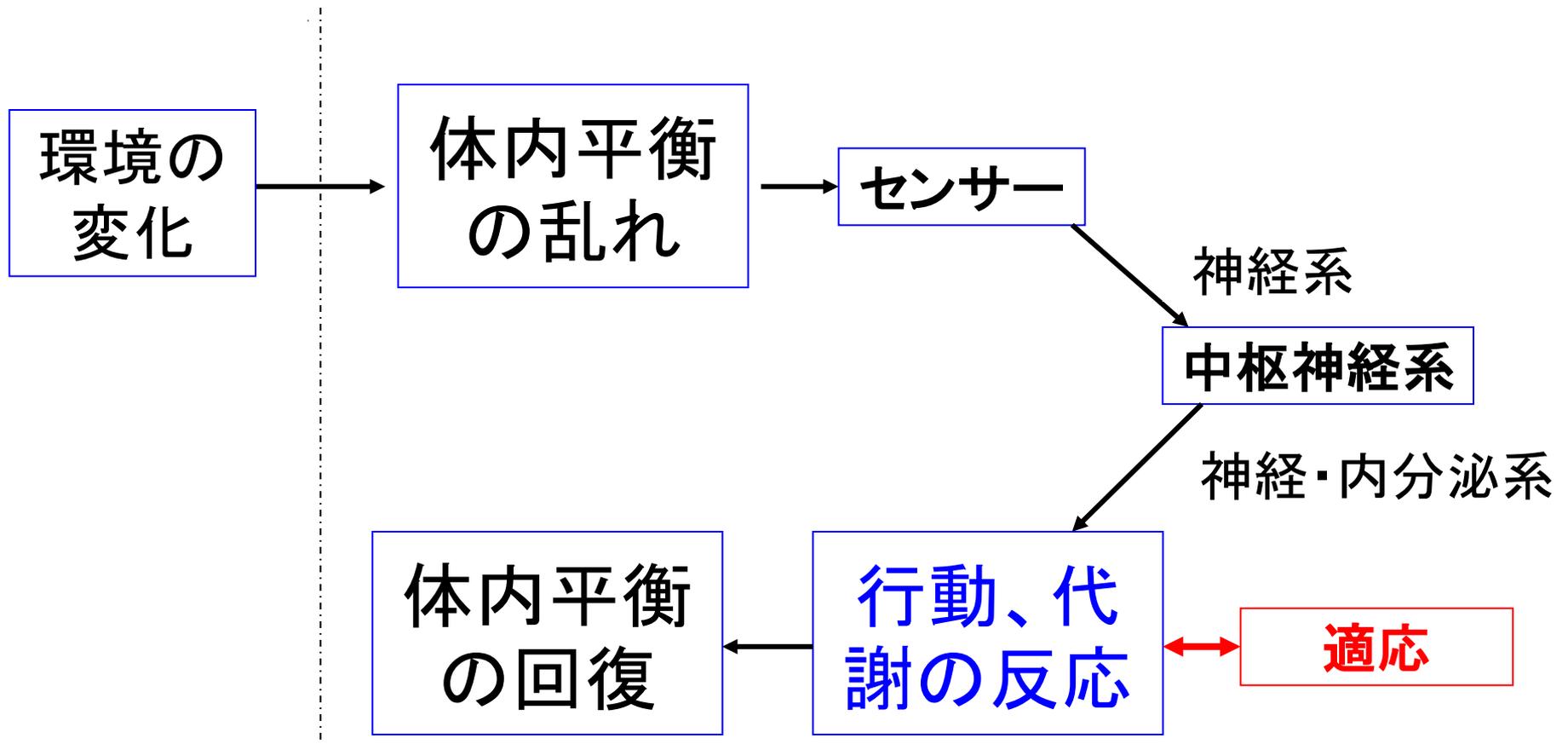
適応

神経・内分泌
免疫系

- ・遺伝子発現
(mRNA測定)
- ・免疫染色

図、環境変化に対する動物の適応

環境—動物



環境変化に対する適応

- 適応 (adaptation) の重要性

外部環境の変化に対して、神経系・内分泌系・免疫系などの機能を高めて、内部環境の変化を最小限にする



情報伝達と生体機能の調節

家畜生産とホメオレシス

- 家畜は乳・肉・卵などの生産性を高めるために、栄養素を生産のために優先的に分配する機構(ホメオレシス: Homeorhesis)が発達した
- 家畜の高度な生産性を理解するために、その生産を支えている各種器官や組織の構造と機能を、鶏、豚、乳牛・肉牛を研究する



外部環境の影響を受けやすく、生産性の低下につながる(生理学・解剖学・分子生物学の応用)

牛乳の放射能汚染

- 食品の安全性評価と風評被害防止

- 核実験(中国): 1964年10月に核実験開始

日本の牛乳中の ^{137}Cs は1965年にピークになり、その後数年間に急減し、1970年以降は漸減した

- チェルノブイリの原発事故

1986年4月26日(日本から8000km)

放射性物質の測定:

^{131}I : 半減期8日、 ^{137}Cs : 半減期30年

牧草(◆)と牛乳(◆)中の¹³¹I

原発事故(4/26)

測定:熊本(5/3開始)

・検出日

牧草(5/6)、牛乳(5/8)

・最高値

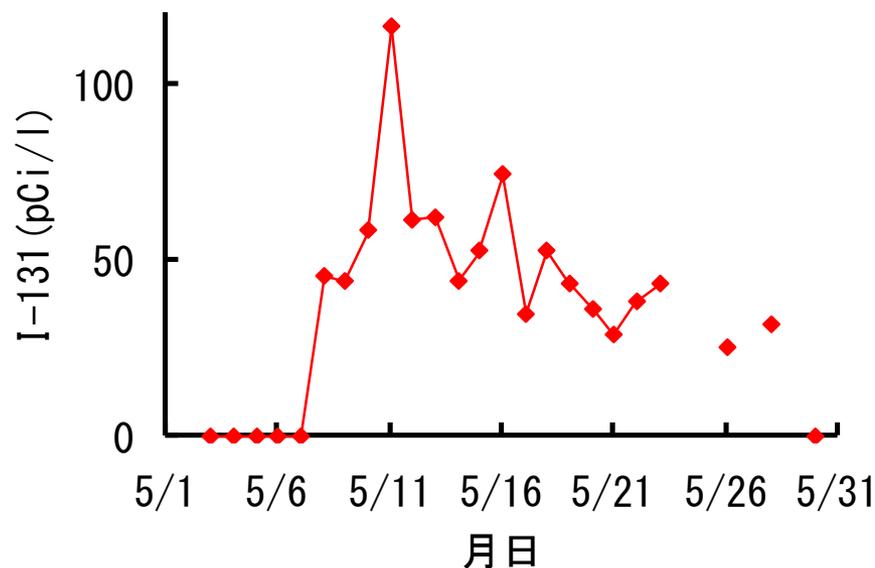
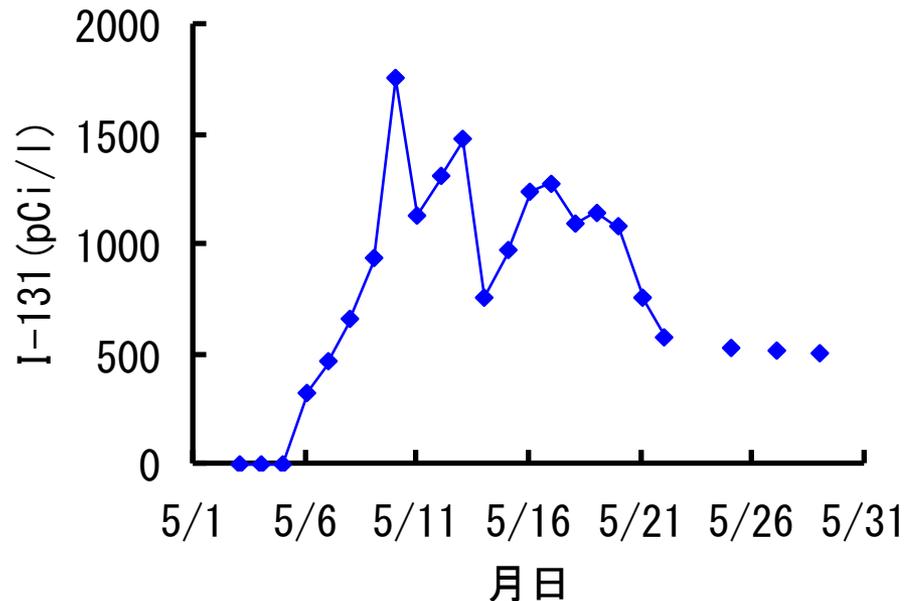
・牧草(5/10)

1764pCi/kg(65.3ベクレル)

・牛乳(5/11)

116.5pCi/l(4.3ベクレル)

・1キュリー=370億ベクレル



平成23年の牛乳の放射能汚染

- ・牛乳中の ^{131}I 暫定規制値：300ベクレル/kg
 - 牛乳中の放射性Cs基準値：50ベクレル/kg
 - 乳児用食品のCs基準値：50ベクレル/kg
- ・福島県(3/19)の牛乳：最高値
 - ^{131}I (5200ベクレル/kg;17倍)
 - ^{137}Cs (420ベクレル/kg;約2倍)
- ・栃木県(4/3)の牛乳(日畜会報、2012)
 - ^{131}I (1179ベクレル/kg)、 $^{137+134}\text{Cs}$ (1155ベクレル/kg)
- ・イナワラの放射能汚染

気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第4次評価報告書(2007年)

--ノーベル平和賞受賞

- 1906-2005年世界の平均気温は 0.74°C 上昇
- 主要な温室効果ガスである二酸化炭素濃度は産業革命以前の約1.4倍、メタンは約2.5倍になり、地球温暖化は人間活動による温室効果ガス排出による可能性が高い
- 21世紀末の平均気温の予測:
省資源で環境に配慮した循環型社会では約 1.8°C ($1.1-2.9^{\circ}\text{C}$) 上昇、化石燃料に依存した高度経済成長では約 4°C ($2.4-6.4^{\circ}\text{C}$) 上昇

環境に対する適応と日本人の生活

- 旧石器時代(1万年以前)大型動物

狩猟(投げ槍)と移動生活:マンモス・ヘラジカ(北海道)、ナウマン象・オオツノジカ(本州以南)

- 縄文時代(1万年前~)温暖化

定住生活と狩猟・漁猟:シカ、イノシシ(弓矢)、サケ・貝などの魚介類(貝塚)、トングリ・クリなどの木の实

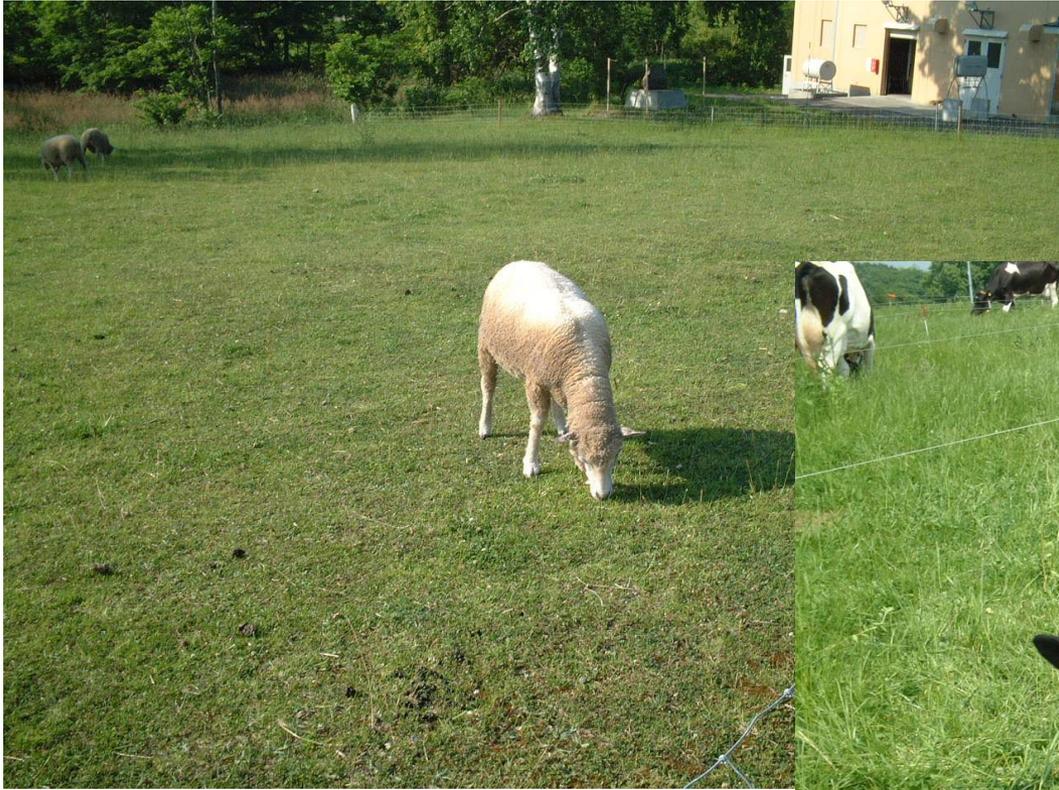
- 寒冷化(雑穀・稲作)

弥生時代の開始(紀元前1000年頃~)

動物の家畜化

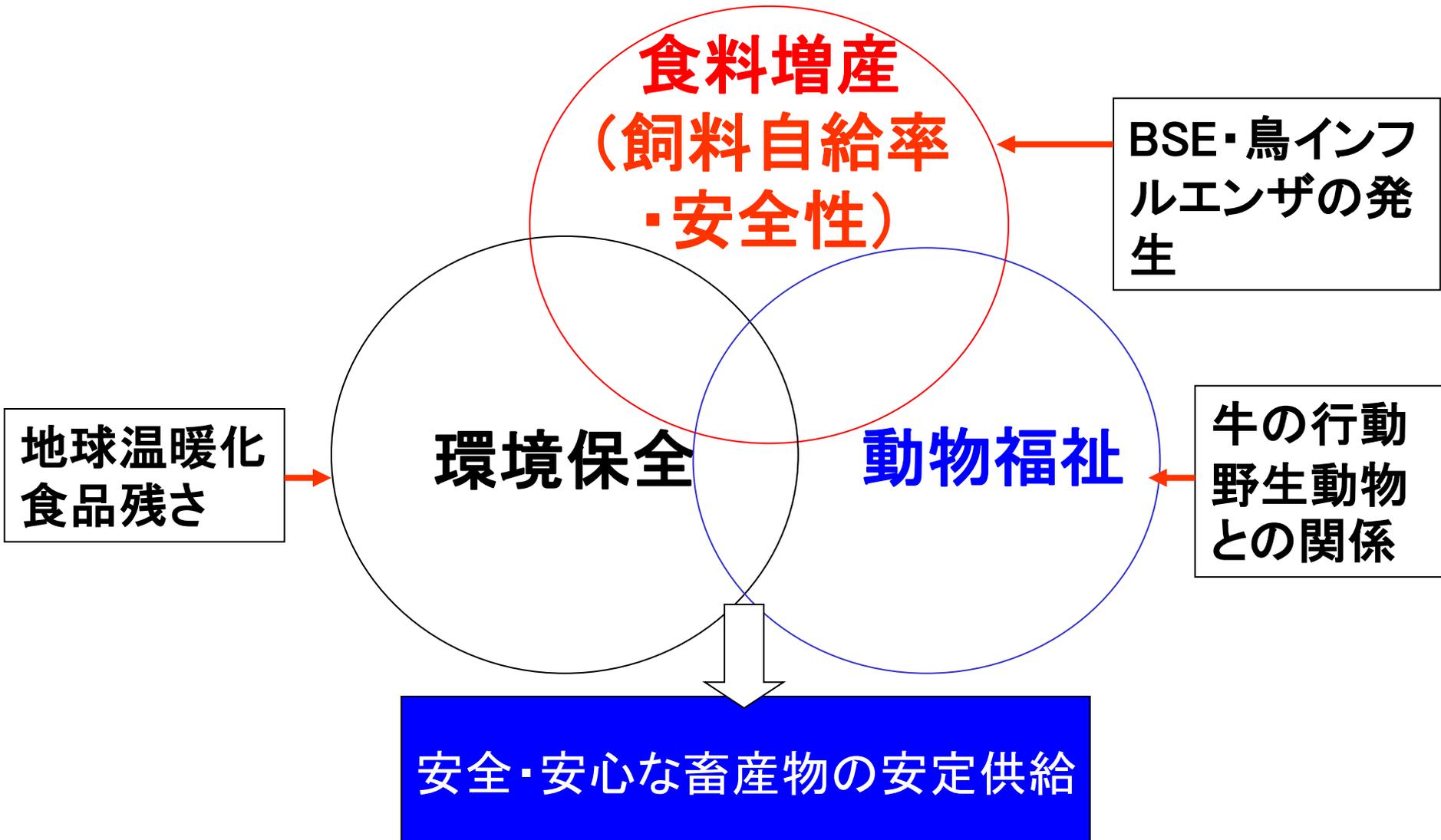
- 農耕の開始より早い時期(1万-5千年前)
中央アジアや西アジアを中心にして、野生のヤギ、ヒツジ、イヌ、などを家畜化
- 農耕開始後(5千年前～)
ウシ(原牛)、ブタ(ヨーロッパ野猪とアジア野猪)、ニワトリ(東南アジアの赤色野鶏)、ウマなどを家畜化
- 日本への移住: イヌ・ウマ(縄文時代後期)、ニワトリ・ウシ(弥生時代)など

地球温暖化：牛のゲップから、 なぜメタンが発生するのか？



ルーメン微生物(細菌、プロトゾア)による繊維の消化：牛と微生物の共存

21世紀の家畜生産 (生産、福祉と環境の調和)



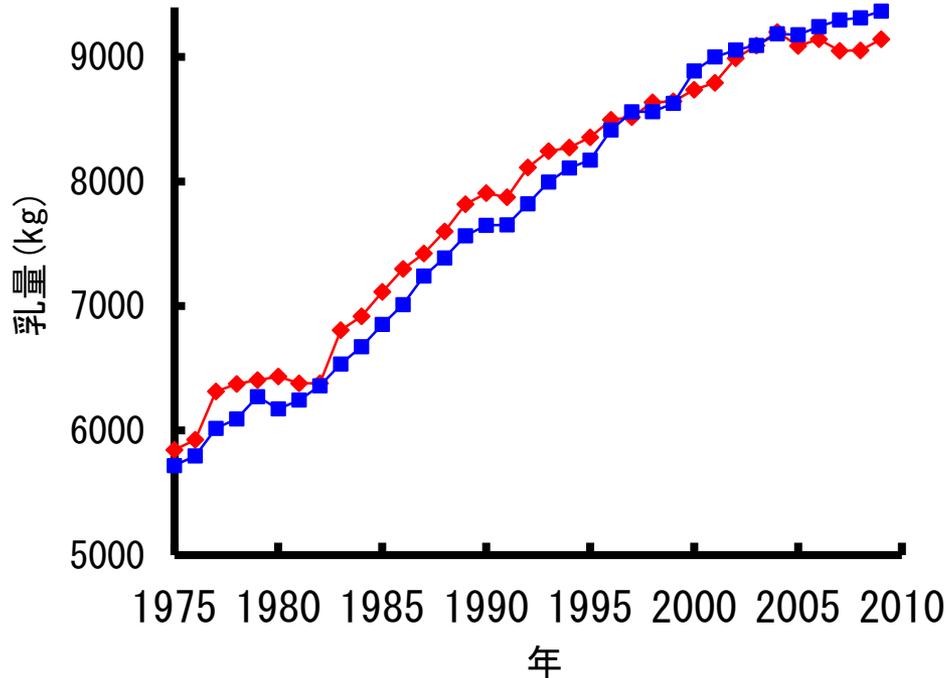
家畜福祉（アニマル・ウェルフェア） 農用動物福祉委員会（英国、1968）

- 飢えと渇きからの解放
- 不快からの解放
- 痛み、損傷と疾病からの解放
- 正常な行動を発現できる自由
- 恐怖と苦悩からの解放

鶏と家畜福祉

- バタリーケージにおける飼育（産卵成績が良く、施設の利用効率が低い）
 - 面積が狭く、自由な行動ができない
- 断嘴（群飼における尻突き等の防止）
 - 断嘴による苦痛
- 絶食による強制換羽（絶食・絶水による一斉休産・換羽で産卵率や卵質を回復）
 - 強制的絶食によるストレス

図、乳量増加と乳牛の生体機能 (牛群検定: 北海道(◆)と都府県(■))



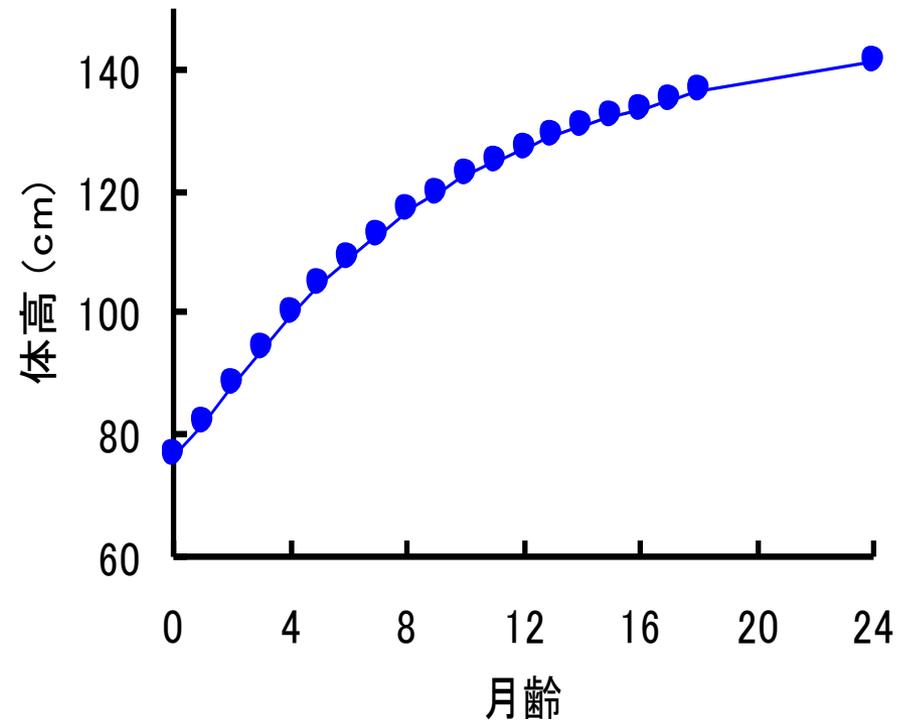
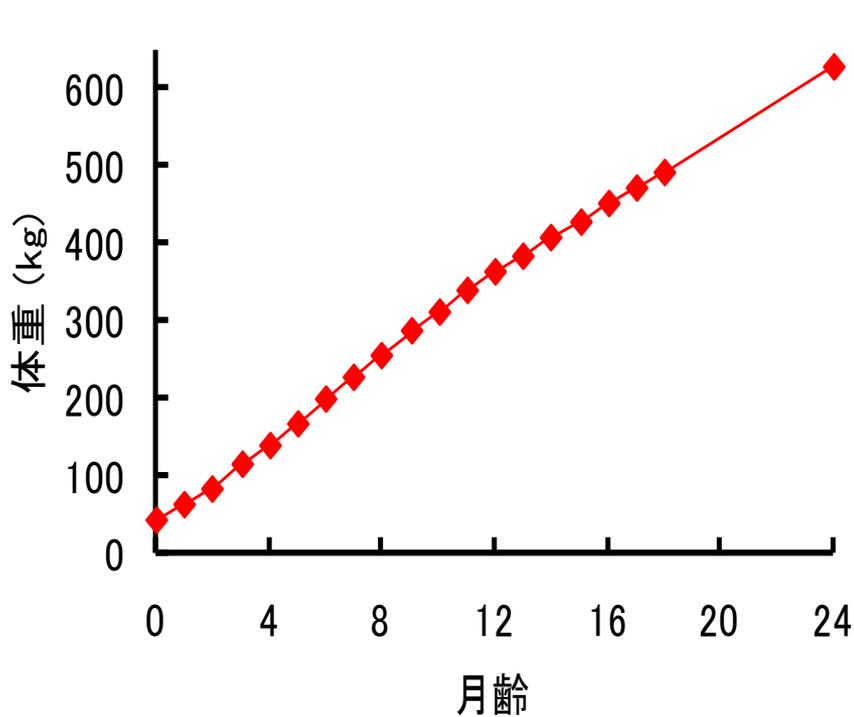
乳牛: 摂取した栄養素を
乳生産に優先的に利用する

- 乳牛の乳量が急増したが、**遺伝子・細胞・組織・器官の何が変わったか?** (体内代謝が活発になり、酸素消費量・血流量が増加)
- 動物の細胞(約60兆)は1年で90%以上入れ替わるが、**生体機能に変化は生じるか?**



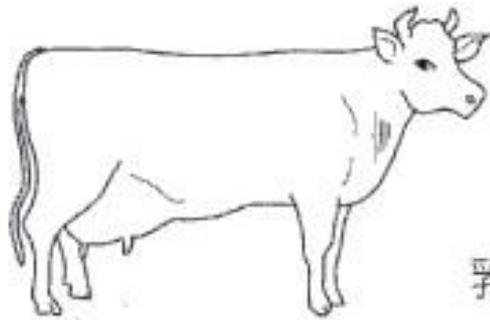
- **後継牛の遺伝的能力は今の牛より高い(栄養管理の改善が常に必要)**

乳牛の発育：21ヶ月齢で分娩可能

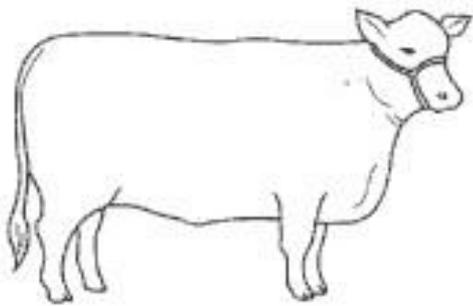


成長期には骨 > 筋肉 > 脂肪の順に成長

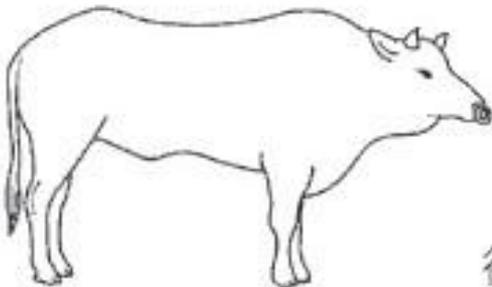
牛の体型



乳用型

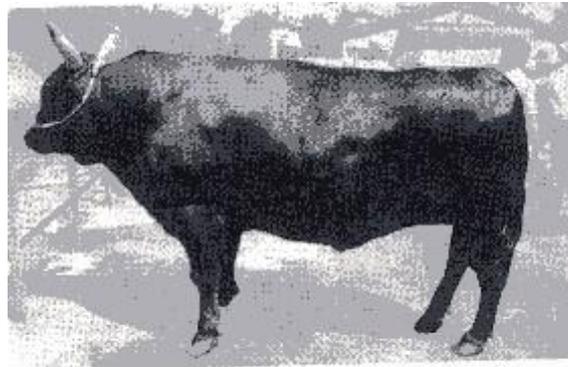
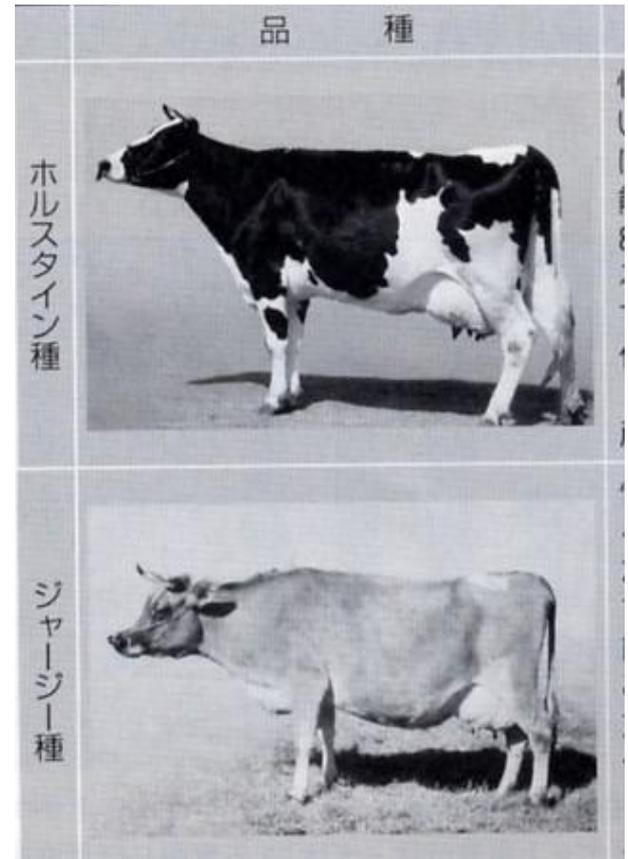


肉用型

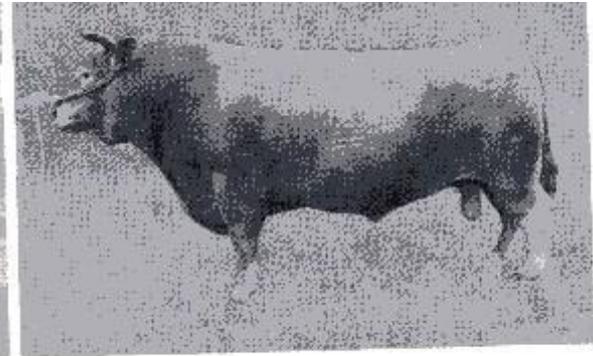


役用型

弥生時代にアジア大陸から持ち込まれ、役用として利用。奈良時代には蘇(乳製品)を製造した



黒毛和種 (雄)



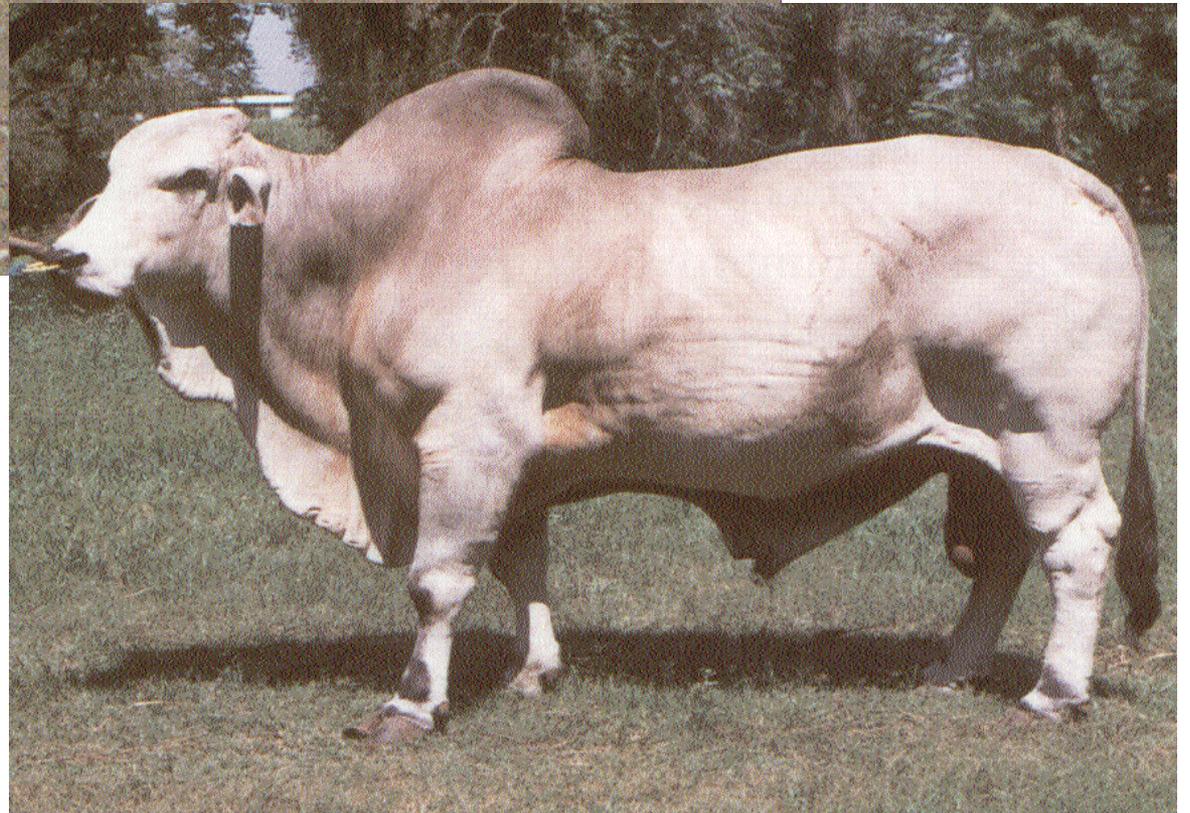
褐毛和種 (熊本系, 雄)

黒毛和種の 放牧(大田)



ホルスタイン種乳牛の放牧





南米のネロー
レ種の放牧
(インド系)

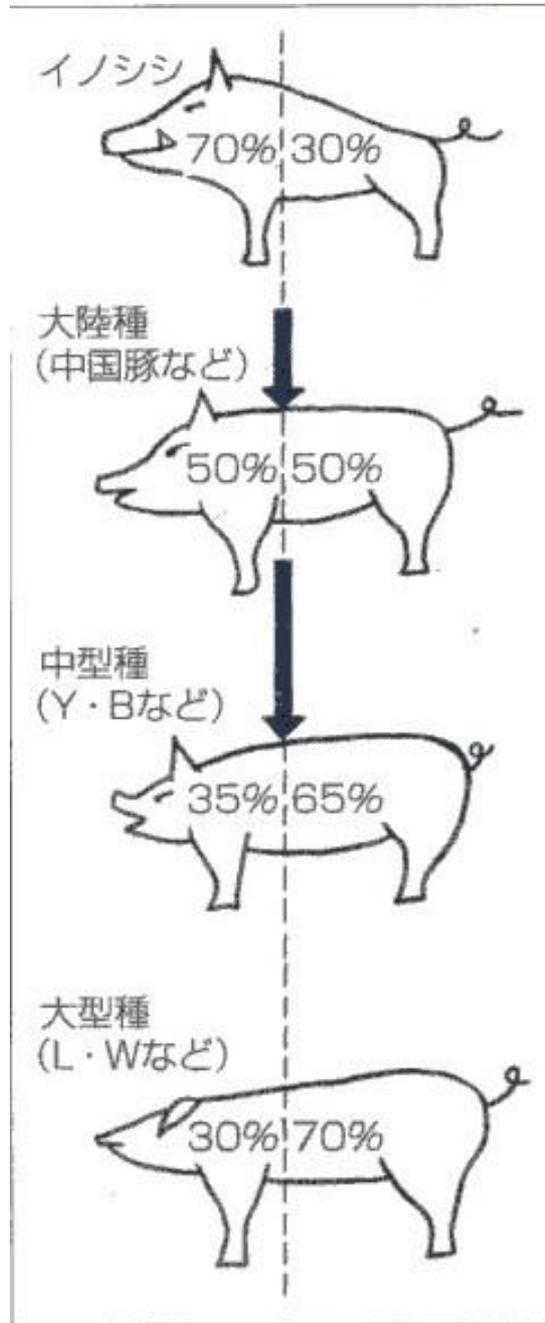


沖繩



ブタの 体型

675年に天武天皇が殺生禁断令を出し、肉食が禁止されたため、わが国では明治までブタはほとんど飼われなかった(沖縄では飼養)



| 品 種 | |
|----------|--|
| ランドレース種 | |
| ハンプシャー種 | |
| 大ヨークシャー種 | |
| デュロック種 | |
| パークシャー種 | |
| 中ヨークシャー種 | |

アグー豚 (沖縄)



アグー豚の 雑種





めん羊

サフォーク種(肉用)
とコリデール種(羊毛用)





山羊の搾乳



日本ザーネン種と
在来種

鶏の品種

江戸時代に改良が進み、しゃも、ちゃぼ、長尾鶏などの品種が生まれ、闘鶏用・愛玩用などとして飼育された

内部環境と外部環境

- 動物は体内の細胞が直接外界と接しているのではなく、血液・組織液・リンパ液などの体液に囲まれている: 体液は細胞に一定の内部環境を提供している
- 体液は細胞が直接接している環境、すなわち内部環境であり、温度や湿度などの動物をとりまく環境(外部環境)の変化から動物を守っている

表、体液の区分

| | 体重に 対する% | 総水分に 対する% |
|--------------------|-------------|--------------|
| 細胞内液 | 41 | 63 |
| 細胞外液 | 24 | 37 |
| 間質液 | 18 | 27 |
| 血漿 | 4 | 7 |
| 細胞通過液 ^a | 2 | 3 |
| 計 | 65 | 100 |

a) 脳脊髄液、消化液、関節腔液など

内部環境の恒常性維持 (体液のしくみと働き)

- 内部環境としての体液：原始の生物は海水中で物質交換をしたが、陸にあがると体の中に海水環境をもちこんで細胞外液とし、細胞外の環境を生存に適するように維持している
- 体液調節（循環血液量、血漿浸透圧、酸塩基平衡など）のしくみは、水と電解質の出納を調和することで維持されている
- 体液は生命を維持するために重要な役割をはたしている（浸透圧は血漿と等張）

細胞内液と外液のイオン組成 (mM)

| 陽・陰イオン | 細胞内液 | 細胞外液 |
|--------|------|------|
|--------|------|------|

| | | |
|-----------------|------|-----|
| Na ⁺ | 5-15 | 145 |
|-----------------|------|-----|

| | | |
|----------------|-----|---|
| K ⁺ | 140 | 5 |
|----------------|-----|---|

| | | |
|------------------|------------------|-----|
| Ca ²⁺ | 10 ⁻⁴ | 1-2 |
|------------------|------------------|-----|

| | | |
|------------------|-----|-----|
| Mg ²⁺ | 0.5 | 1-2 |
|------------------|-----|-----|

| | | |
|----------------|--------------------|--------------------|
| H ⁺ | 7x10 ⁻⁵ | 4x10 ⁻⁵ |
|----------------|--------------------|--------------------|

| | | |
|------|-------|-------|
| (pH) | (7.2) | (7.4) |
|------|-------|-------|

| | | |
|-----------------|------|-----|
| Cl ⁻ | 5-30 | 110 |
|-----------------|------|-----|

| | | |
|-------------------------------|----|----|
| HCO ₃ ⁻ | 10 | 30 |
|-------------------------------|----|----|

細胞と細胞膜

- 細胞内環境と細胞外環境のホメオスタシスは細胞の働きによって保たれているが、両者間には大きな相違がある
- 細胞内外は形質膜で区切られ、物質輸送や情報伝達をしているが、それを取り巻く環境が異なっている
- 細胞内外の電解質の相違により、酸塩基平衡、浸透圧などの調節がなされている