

# 肉を食べた～い！ 微生物との戦いと葛藤

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター  
兼) 大学院農学研究院 応用食品科学研究室

若松 純一

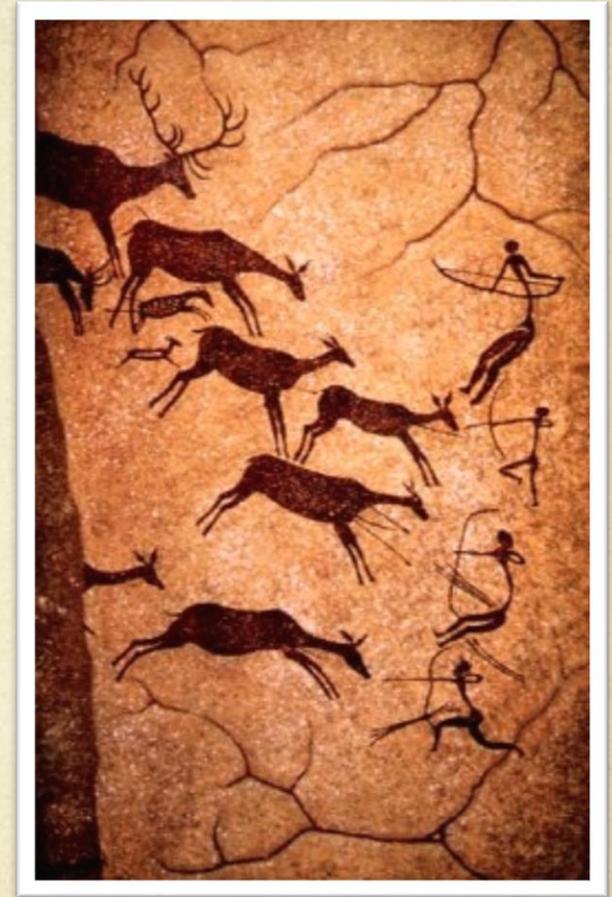
# 食糧確保

- 現代は飽食の時代
  - 多くの先進国では、容易に食料を入手可能
  - 好き嫌いや、栄養素を考えながら取捨選択可能
- 昔は、常に食料を入手できない



# 肉類

- 長所
  - 入手に地理的制約が少ない
    - 魚介類は海・川などが近くにならない
    - 動物種を限らなければ、ほとんどの陸上で入手可能
  - 高タンパク質・高エネルギー
    - 少量で栄養素とエネルギーを充足
- 短所
  - 腐敗しやすい
  - いつでも入手できるとは限らない



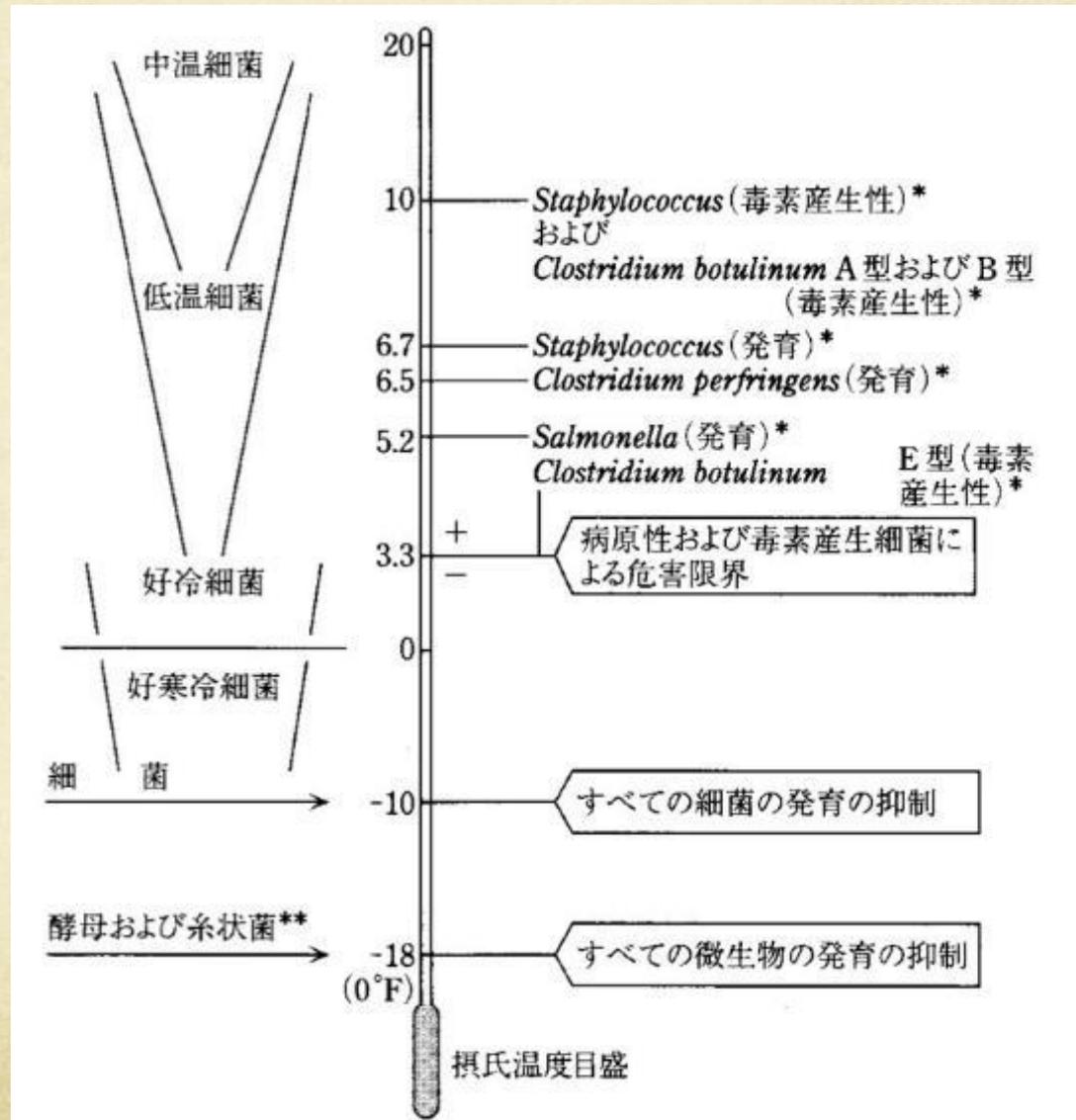
狩猟・採集 → 飼養 → 家畜化

一万数千年前のスペインの洞窟壁画

# 加工技術による食肉の保蔵

ヨーロッパの食肉製品の歴史

# 食品汚染微生物の発育に及ぼす温度の影響



# 伝統的な保蔵技術

乾燥	微生物が利用しうる水分を少なくして腐敗を防止
塩蔵	食塩を加えて、水分活性の低下、浸透圧の増加を起こして微生物の生育を抑制
糖蔵	糖類を加えて、水分活性の低下、浸透圧の増加を起こして微生物の生育を抑制
燻煙	乾燥と同時に、燻煙成分を食品に賦与して、微生物の生育阻止と油脂の変敗防止
高温処理	加熱により微生物を死滅
低温処理	食品内の各種化学反応や酵素反応の抑制と微生物の生育阻止

# 食肉製品による保蔵？

- 食肉製品とは
  - 肉製品、食肉加工品ともいう
  - 食肉に加熱（蒸煮、湯煮）、乾燥、燻煙などの処理、およびこれらの処理を組み合わせ、大きく品質変化が施されたものをいう
  - ベーコン、ハム、ソーセージ、ハンバーグ、ミートボールなどの総称

「食肉用語事典」より



「要冷蔵」と書いてあり、  
保蔵食品とは言えないのでは？

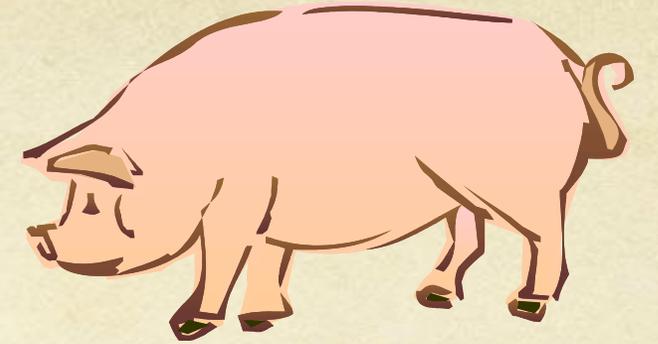


# 食肉製品を大別すると、

- 「料理・調理食品」として
  - 現在わが国で販売されている大部分
  - 冷蔵・冷凍などの保蔵手段がないと日持ちしない
    - 冷蔵・冷凍技術はたかが数十年
    - 昔なら、と畜直後の贅沢品、富裕層向け食品
- 「保存食品」として
  - 安定的食糧確保として、保蔵法を組み合わせることで備蓄
  - 高タンパク質・高脂肪の保存食品

- ソーセージ
  - ホメロスの叙事詩「オデッセイア」（紀元前7世紀）に記載
- サラミ
  - 3000年前のエーゲ海に存在していた「サラミス」という都市名に由来
- ハム
  - 古代ローマ時代やギリシャ時代にも数多く記載
  - ゴール（フランス）のハムは有名
- ベーコン
  - 紀元前のデンマークの海賊達の航海用の食料としての塩漬け豚肉が起源
  - その後偶然に湿った薪で燻したところ、風味と保存性が良くなり、今のベーコンの原型になる
  - 豚肉の燻製品とよばれていたが、イギリスの政治家・随筆家のフランシスコ・ベーコンが船舶用食料として、大量に作らせたことから、ベーコンという名前に（?）

# 食肉製品



- 主な原料肉は
  - ほとんど豚肉
- 豚の家畜化
  - ユーラシア大陸 11000年前
  - ヨーロッパ 4500年前
- 古代ギリシャ人、古代ゲルマン人、ローマ人などは好んで豚肉を食べていた





# 各家畜の特徴



## ○ 牛

- 草類だけで飼養可能  
干草でも可 → 越冬可
- 乳生産量多い
- 役畜として農耕・運搬など
- × 少産 (1回に1頭程度)
- × 成長遅い  
(食べごろまで数年)

## ○ 豚

- 多産  
(1回10頭程度)
  - 成長早い  
(6~10ヶ月)
- 産肉能は優れている

× 雑食性で、草類だけで飼育不可

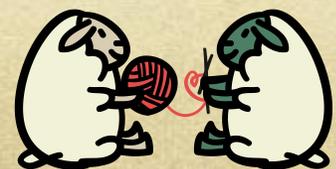
↓  
越冬不可

↓  
保存技術の開発  
食肉製品の発展



## ○ 羊・山羊

- 草類だけで飼養可能
- 毛・乳の生産
- × 少産 (1回(年)に1頭程度)



# 昔のヨーロッパの豚飼育サイクル

- 春 出産 or 子豚購入
- 春～初秋 草や残飯を与え、排泄物は肥料
- 秋 ナラやカシの森林に放牧
  - ✓ かつてヨーロッパは広大な広葉樹林
  - ✓ 木の実を食べて肥育
- 初冬 全頭または繁殖豚を除いてと畜
  - ✓ 冬～夏の食料として貯蔵 → **食肉製品**



万聖節（11月1日）以降

# 自家と畜

- 昔のヨーロッパの農家では冬の恒例行事
- 家族（親族）揃って、早朝から丸一日かけて
- 冬場の食糧確保が目的であるから、余すところなく利用する

# 豚の利用例（ドイツ）

家畜の体組織を余すところなく利用

- 筋肉
  - もも肉 → ハム
  - ばら → シュペック（ベーコン）
  - その他 → ソーセージ
- 消化管（胃、小腸、大腸）、膀胱 → ケーシング
- 血液 → ブラッドソーセージ
- 肝臓 → レバーソーセージ
- 心臓、舌 → ブラッドソーセージ用
- 脂肪 → ソーセージ、シュペック（塩漬け脂肪）
- 頭肉 → プレスコプフ、プレスサック
- 皮 → 食用、革用
- 骨 → ゼラチン採取用、犬用（?）
- 脳、腎臓 → 調理用

# ヨーロッパの食は美食？

- フランス料理、イタリア料理、スペイン料理 etc.
- ヨーロッパの食肉製品
  - ドイツのソーセージ (*Wurst*)
  - イタリアやスペインの生ハム (*Prosciutto, Jamón*)
  - イタリアのサラミ (*Salame*)
  - フランスのパテ (*Pâté*)、テリーヌ (*Terrine*)

中世のヨーロッパは戦争と凶作による、慢性的な飢えや病気に苦しめられており、美食とは程遠い

# 広く定着する食とは？

- 贅を尽くした料理
  - 満漢全席
  - 各国の宮廷料理・宮中料理
  - 貴族階級料理



一部の特権階級の人たちの食事であり、  
大多数の庶民が食べるものではない

# ヨーロッパの畜産は必然により発達！

## ○ ヨーロッパの気候

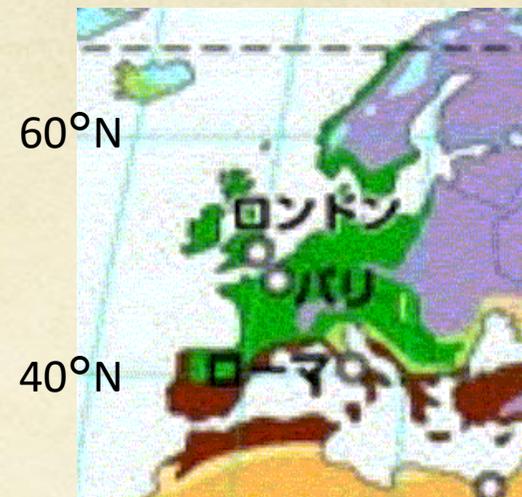
### ○ 高緯度の割には温暖

#### ○ 西岸海洋性気候

○ 夏は冷涼・少雨

#### ○ 地中海性気候

○ 夏は高温・乾燥



## ○ 植物の繁茂には不適

○ 連作不可、三圃制農業が19世紀頃まで主流

○ 穀物は貴重 → 備蓄できないし、パンも主食になりにくい

→ ヨーロッパは食糧生産性が低い

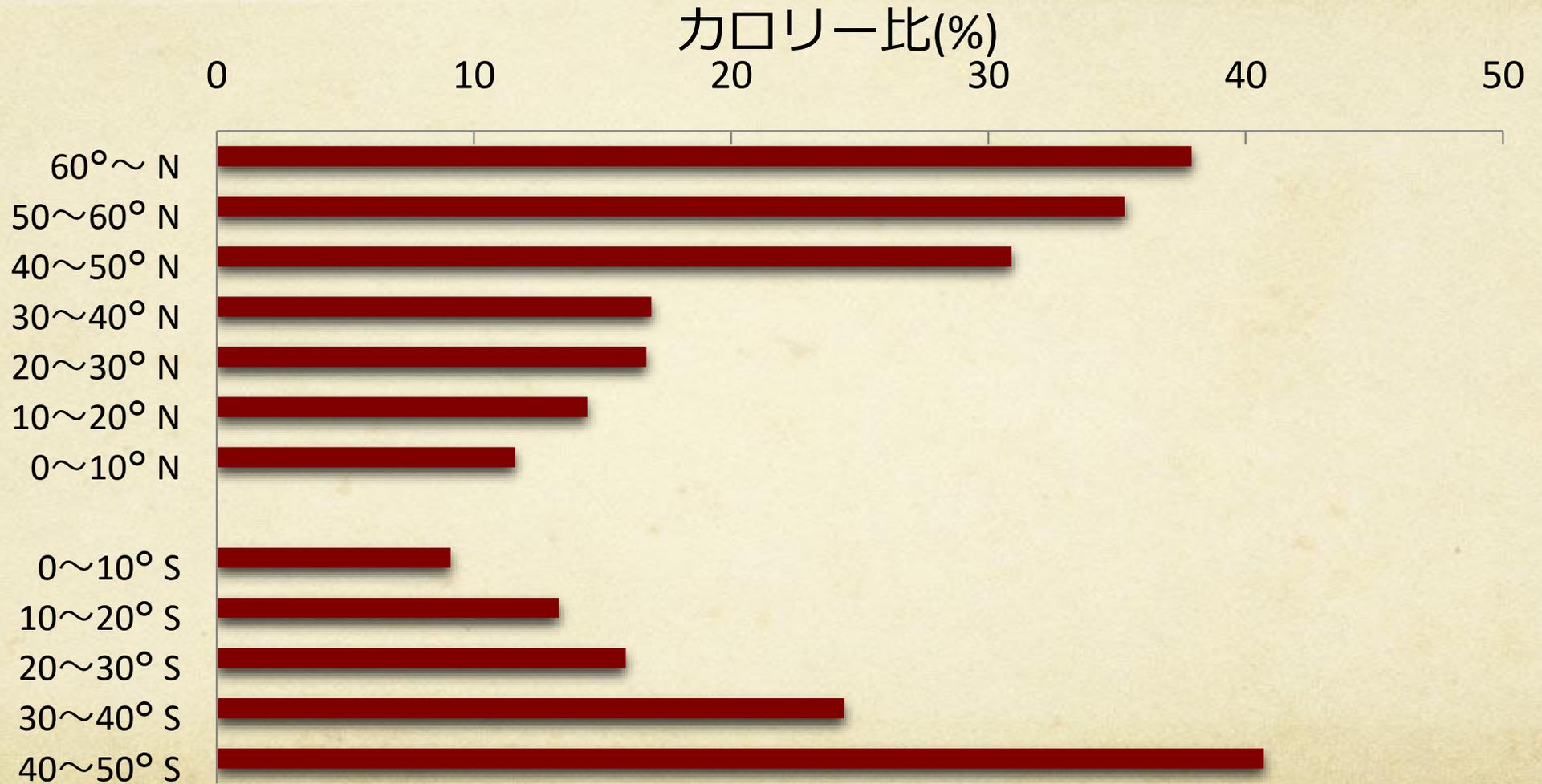
ジャガイモ、トウモロコシはアメリカ大陸原産

(新大陸発見以降普及)

→ 動物性食品に依存せざるをえない

→ 家畜の排泄物は重要な肥料

# 緯度別の動物食の依存度



# ヨーロッパの伝統的食肉製品

## ◇ ヨーロッパの気候

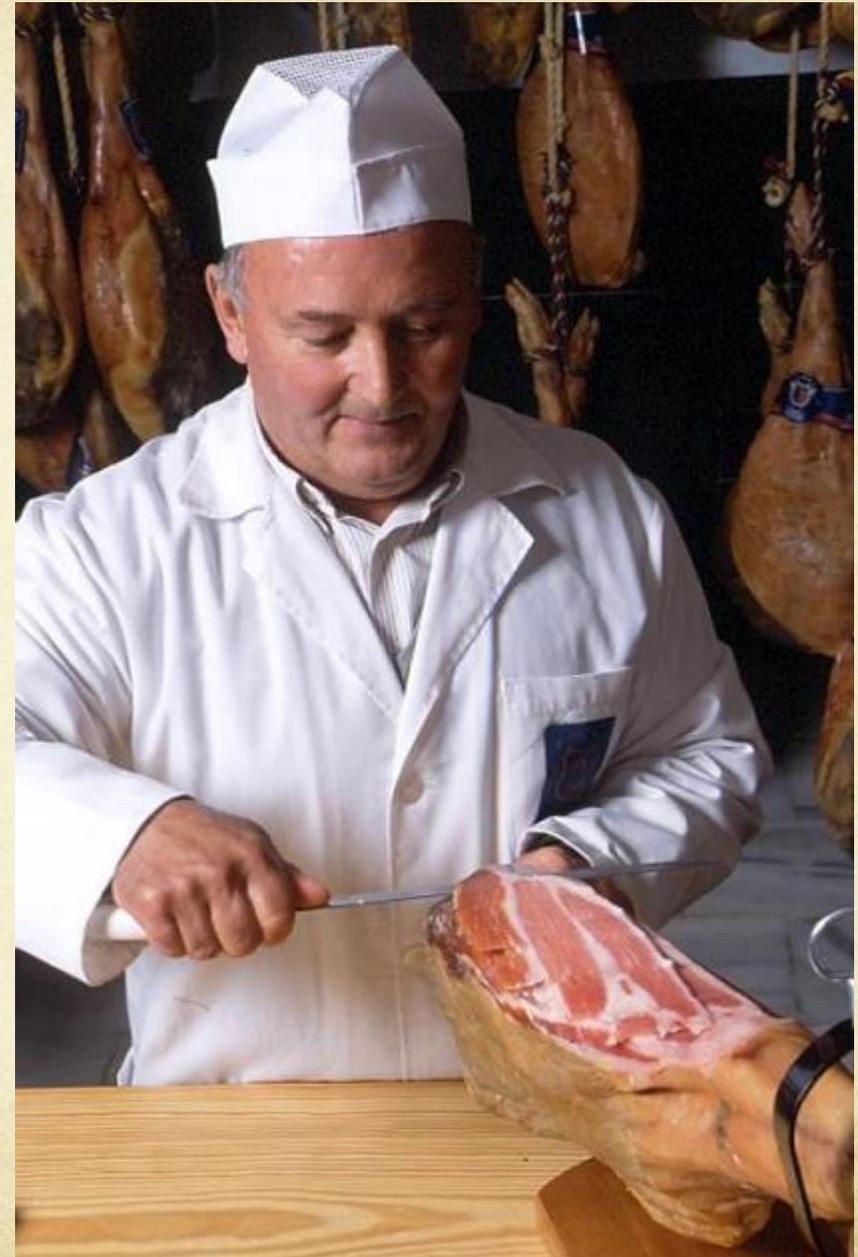
- ◇ 西岸海洋性気候 (Oceanic climate)
  - ◇ 夏はさほど暑くならず比較的涼しい
  - ◇ 冬は緯度の割に寒くない
  - ◇ 雨量はやや少なめで、年較差が少ない
- ◇ 地中海性気候 (Mediterranean climate)
  - ◇ 夏は高温・乾燥
  - ◇ 冬は緯度の割に寒くない
  - ◇ 最多雨月は冬



北ヨーロッパ型	地中海型
湿塩漬 燻煙する	乾塩漬 燻煙しない カビ・酵母発酵製品が多い 長期熟成品が多い
塩蔵・乾燥・燻煙	塩蔵・乾燥

# Jamón Serrano

- スペインの生ハム
- 「Serrano」とはスペイン語で「山の、山地の」という意味
- 名産地
  - ウェルヴァ (Huelva)
  - ハブーゴ (Jabugo)
  - エストレマドゥーラ (Extremadura)
    - デヘサ (Dehesa)
  - テルエル (Teruel)
  - ギフエロ (Guijuelo)
  - トレヴェエレス (Trevélez)



# Jamón Serranoの製造工程

1. 原料豚
2. と畜・解体・整形
3. 血絞り
4. 塩漬
  - ✓ 乾塩漬（塩と肉を交互に積み重ねる）
  - ✓ 5日間静置
5. 乾燥・熟成
  - ✓ 熟成時期により、風通しの異なる部屋を変える程度
  - ✓ 1～2年程度
6. 製品



# 食肉の保蔵成功？

- 高タンパク質・高エネルギーであるが、腐敗しやすい動物の体組織
- 塩蔵・乾燥・燻煙等で保蔵に成功？

でも、  
塩分濃度が高いと塩辛い！  
たくさん食べれない！  
乾燥し過ぎると、かたい！

・ イタリア産生ハム	5.6%
・ イタリアンサラミ	4.4%
・ 海水	3.5%

人は、食料を確保できれば、  
もっと美味しい製品は食べられないのか!?!、となる  
→ 様々な種類の食肉製品が開発される

# 食肉製品を大別すると、

- 「料理・調理食品」として

- 現在わが国で販売されている大部分
- 冷蔵・冷凍などの保蔵手段がないと日持ちしない
  - 冷蔵・冷凍技術はたかが数十年
  - と畜直後の贅沢品、富裕層向け食品

- 「保存食品」として

- 安定的食糧確保として、保蔵法を組み合わせる備蓄
- 高タンパク質・高脂肪の保存食品

塩蔵による保蔵効果  
5%は必要

# Weißwurst



- バイエルン州の伝統的なソーセージ
- 白く出来上がるように、肉色の淡い仔牛肉や豚肉を使用

ヴァイスヴルストは  
教会の正午の鐘を聞くことを許されない！

早朝に準備して、朝食と昼食の間のスナックとするのが  
伝統的な食べ方である

**食中毒の再発!**

# ボツリヌス菌と食肉製品



- ボツリヌス菌は土の中に芽胞の形で広く存在する偏性嫌気性菌
- 通常加熱では死滅しない
- 語源はラテン語の*botulus* (腸詰、ソーセージ) であり、19世紀のヨーロッパでソーセージやハムを食べた人の間によく起こる食中毒であったためこの名がついた
- ボツリヌス菌が作り出す毒素は毒性が非常に強く、致死量は成人男性に対してA型毒素を吸入させた場合、0.7~0.9  $\mu\text{g}$ と考えられており、ボツリヌス毒素1gの殺傷力は約100万人とも言われる

# 保蔵技術

乾燥

微生物が利用しうる水分を少なくして腐敗を防止

塩蔵

食塩を加えて、水分活性の低下、すなわち浸透圧の増加を起こして微生物の生育を抑制

糖蔵

糖類を加えて、水分活性の低下、すなわち浸透圧の増加を起こして微生物の生育を抑制

燻煙

乾燥と同時に、燻煙成分を食品に賦与して、微生物の生育阻止と油脂の変敗防止

高温処理

加熱により微生物を死滅

低温処理

食品内の各種化学反応や酵素反応の抑制と、微生物の生育阻止

CA貯蔵

貯蔵雰囲気温度や湿度、ガス組成等を制御して、各種化学反応や酵素反応の制御や、微生物の生育阻止

放射線照射

主にガンマ線照射による殺菌、殺虫、発芽・発根の抑制、熟度制御

包装

機械的外力、外的・生物的環境からの保護

化学物質

合成・天然化学物質による微生物制御、酸化防止など

# 硝石

- 「硝酸カリウム」のこと
- 硝石は12世紀以降、西ヨーロッパでは**生薬**として使用
- 医学書Nicolas Lemery（初版は1687）では、  
「硝石は**食欲を増進**し、刺激剤および消散剤である。  
**渴きを消し、利尿剤**となり、**腐敗に抵抗**し、**血液の熱を静め**、  
腎臓および膀胱から**結石**を追い出す」
- さわやかな味と、後味として苦味があり、良質のビールに類似していることから、19世紀の高尚な婦人たちは飲み物を「硝酸塩添加の砂糖」で味付けしていた。  
彼女たちは砂糖50 gに硝酸カリウム 5 gと数滴のレモン油を加えていた。

# 食肉製品に硝石を用いると、

- 食中毒が激減
- 色調が改善
  - 非加熱食肉製品の色調は安定
  - 加熱食肉製品の色は桃赤色
- 風味が改善 などなど

劇的に効果あり

塩蔵（塩漬け）

硝石を加えて塩漬け（塩せき）

Salting

Curing

# 硝酸カリウム ( $\text{KNO}_3$ )

- 現在の食肉製品にも世界中で広く使用
- 我が国でも食品添加物「発色剤」として
  - それ自体は色を持たないが、肉類の色を鮮やかに見せるために添加される食品添加物
  - 硝酸カリウム以外の許可品目
    - 硝酸ナトリウム ( $\text{NaNO}_3$ )
    - 亜硝酸ナトリウム ( $\text{NaNO}_2$ )
- 欧州では、ハムやソーセージに添加される発色剤は、発色作用よりも、ボツリヌス菌の繁殖を抑える目的で使用

硝酸還元菌の作用により、硝酸塩から生じた亜硝酸塩の作用であることが解明（1891）

発色剤とは称せず、硝酸塩・亜硝酸塩と物質名で表示

# 発色剤による保存性の向上

- 硝酸塩は塩漬中に混在する硝酸還元菌により亜硝酸イオンを生成
- 亜硝酸イオンは有害微生物の増殖抑制
  - 特に致死率の高いボツリヌス菌 (*Cl. botulinum*)



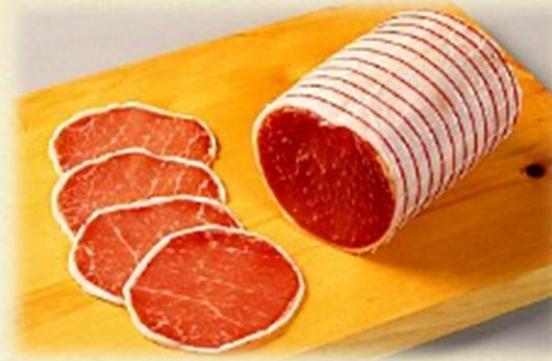
# 発色剤による肉色の固定（発色）



劣化



塩漬



加熱



加熱



# 好ましい風味の付与と不快臭の抑制

## ○ 好ましい風味

- 原料肉を発色剤とともに塩漬すると、  
食肉製品独特の好ましいフレーバー  
「塩漬フレーバー（Cured meat flavor）」が発現

## ○ 不快臭 (Warmed-over flavor (WOF))

- 遊離した $\text{Fe}^{3+}$ が脂質の酸化を触媒して酸化臭を発生
- 発色剤が肉中の $\text{Fe}^{3+}$ の遊離を抑制

# 発酵食肉製品とスターターカルチャー

- 有用微生物を用いて、有害微生物の増殖を抑制
- 主な作用
  - 酸産生によるpH低下
  - 呈味・芳香成分の産生
  - 乾燥促進



# ヨーロッパでは食肉と食肉製品は分けて売られる



美味しいお肉を求めて!?

# 動物

生

と畜・と鳥

死

## 熟成 (aging)

牛：死後24時間  
豚：死後12時間  
鶏：死後2時間

牛：10~14日  
豚：3~7日  
鶏：1~2日

死後硬直

解硬

筋肉

死後筋肉

食肉

収縮・弛緩



# 熟成の効果

1. やわらかくなる
  - 死後硬直が緩まる
  - 構造が壊される

	生鮮香気	加熱香気
と畜直後	乳酸様 血液臭	肉様香気 弱い
熟成後	上記臭気が減少	肉様香気 強い

2. 美味しくなる
  - タンパク質などが壊され、呈味成分が出てくる
  - うまみの相乗効果
3. 良い香りになる
  - 様々な成分が分解・合成されて香気成分を発生や矯臭

食肉中の内在酵素や付着微生物の作用

# 熟成

枝肉のまま懸吊

- 収容効率が高い
- 輸送が容易
- 微生物の2次汚染が低い

冷却に時間を要する

中心まで冷却するのに、  
牛で2日、豚で1日必要

切り分けて冷却!?

- 微生物付着のリスク増大
- 歩留まり低下
- 寒冷短縮の発生

と畜場を集約してコスト削減したいが、  
巨大な熟成庫が必要

アメリカ中西部の平均

牛 4,000~5,000頭/日/と畜場

日本（牛） 全国で5,000頭強/日

- 電気刺激
- 温と体除骨
- 真空包装&箱詰

流通中に解硬!





- ✓ 巨大な熟成庫が不要
- ✓ 微生物汚染のリスクなく、長い賞味期限
- ✓ 高い歩留まり
- ✓ 空間・時間を有効利用

## サプライヤー：

- コスト削減、低価格化成功、競争力アップ
- 廃棄率削減、環境負荷低減

## 消費者：

- 低価格化うれしい
- でも、昔の方が美味しかった...

# 美味しいお肉には酸素や微生物が必要？

## 食肉の香り

- 生鮮香気（生肉の香り）
- 加熱香気
  - ボイル肉香気
  - ロースト肉香気
  - 動物種特異臭
  - その他

## 食肉の香り成分 (揮発性成分)

牛肉	約900種
豚肉	約400種
羊肉	約300種

## 生牛肉熟成香

- サシの入った肉を**酸素存在下**で熟成すると**甘いミルク臭**が発生

## 和牛香

- 好ましい脂っぽくコクのある甘い香り（口中香）
- 生牛肉熟成香と同様の成分が関与しているが、微生物は関与しない

美味しいお肉にするには  
真空包装は不適？

# 美味しいお肉を求めて!?

## ドライエイジング (Dry-aging ; 乾燥熟成)

- 塊の部分肉を、包装しないで、風を当てながら低温で長期間乾燥させながら熟成を行う
- 北米のステーキハウスを中心に発祥
  - 水分蒸発による呈味成分の濃縮
  - やわらかい食感
  - ナッツ様の香り
- 表面にカビなどの微生物の付着
- 表面を切り落として、内部を食べる



<http://shop.lafrieda.com/dry-aged-usda-prime-black-angus-porterhouse-steak.html>

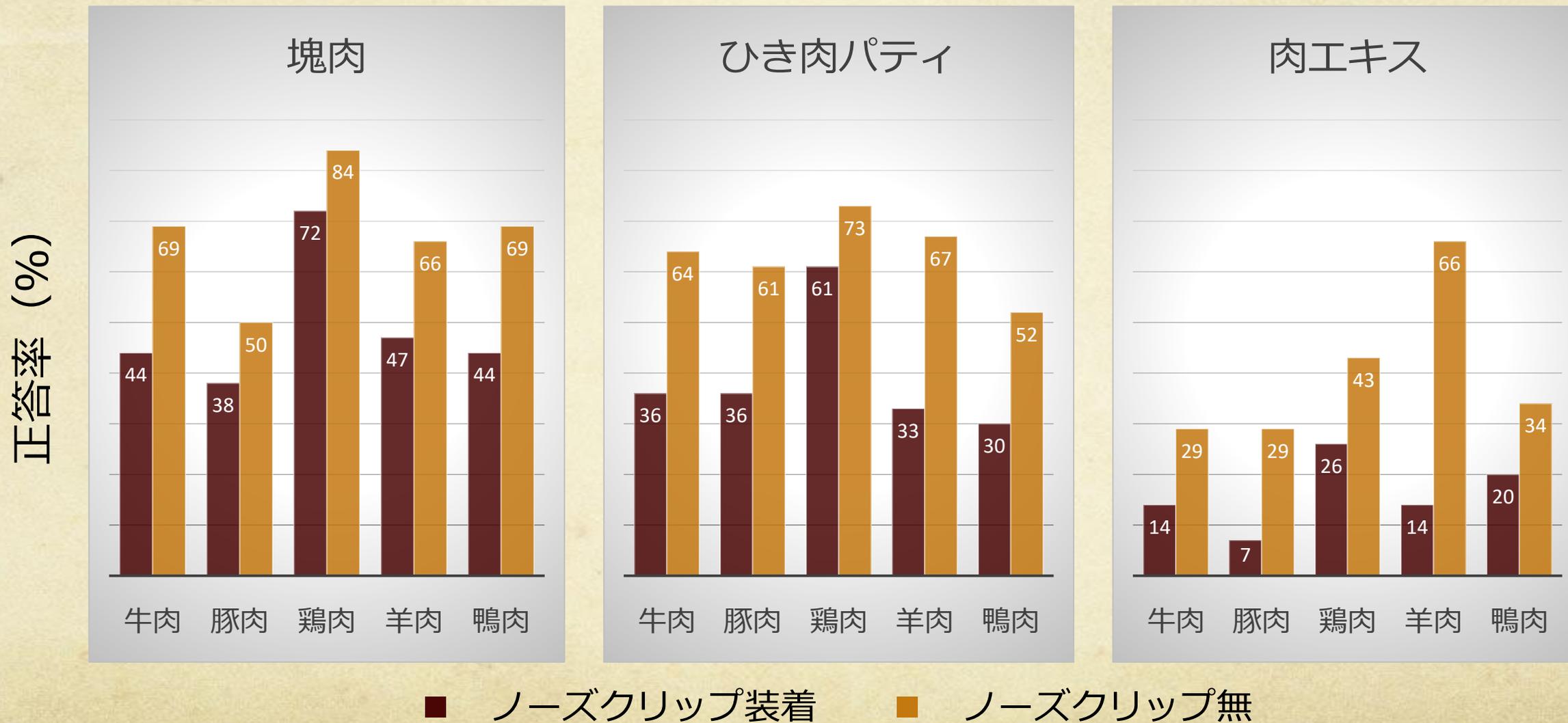
# 微生物を利用したドライエイジング

- 長期間の熟成中に表面に微生物が付着増殖
  - 微生物は、菌体外に酵素を分泌して分解し、吸収・利用する
- 表面に付着・増殖した「微生物」が出す「酵素」や「代謝産物」が、ドライエイジング肉の「やわらかさ」や「美味しさ」、「香り」に影響を及ぼしている？
- 「カビ」や「酵母」の効果が研究されてきた
  - ある種のアオカビやケカビなどはナッツ様香に寄与

## 重要要因

- 低温増殖性
- 風味の醸成能力
- 適度な分解能
- 加工の利便性

# 肉の美味しさは味より香り？



# 日本型ドライエイジングに向けて

- 基準・規格が未整備（例：微生物の噴霧は加工に当たるか？）
- 安全性確保と歩留まり



- 可食部の廃棄少ない
- 脊髄（BSE特定部位）
- 規格外のカット法



- 可食部の廃棄多い
- 除骨時の微生物汚染のリスク

- ステーキ以外の利用

# 言い方について

- |                |               |                      |
|----------------|---------------|----------------------|
| ○ 熟成する         | age (v)       | エイジ                  |
| ○ 熟成 (すること)    | aging (n)     | エイジング                |
| ○ 熟成した～        | aged (adj)    | エイジド                 |
| ○ 乾燥熟成する       | dry-age (v)   |                      |
| ○ 乾燥熟成 (すること)  | dry-aging (n) |                      |
| ○ 乾燥熟成 (した) 牛肉 | dry-aged beef | ドライ <u>エイジド</u> ビーフ  |
|                | 文法的には×        | ドライ <u>エイジング</u> ビーフ |

肉はすべて「熟成」するので、  
「乾燥熟成肉」を「熟成肉」というのもおかしい