

# 乳酸菌が持つ酵素とチーズ熟成の仕組み

## 1. 熟成チーズにおける乳酸菌の役割

モッツアレラやフェタのようなフレッシュチーズは熟成を行いませんが、セミハード・ハードチーズは熟成によって風味と食感が形成されます。この熟成の中心的役割を担うのが乳酸菌が持つタンパク質分解酵素（プロテアーゼ・ペプチダーゼ）です。

## 2. タンパク分解の流れ（全体像）

熟成は以下の流れで進みます。

- ① カゼイン → 大きなペプチド  
プロテアーゼ（Prt）が分解
- ② 大きなペプチド → 中ペプチド  
エンドペプチダーゼ（PepO / PepF）が分解
- ③ 中ペプチド → アミノ酸  
アミノペプチダーゼ群（PepN / PepC / PepX / PepE など）が分解
- ④ アミノ酸 → 風味化合物  
ナッツ香・ブロス香・旨味・甘味などを生成

## 3. 分解速度によるチーズの性格の違い

分解が速い菌を含む場合

- ・ 熟成が速い
  - ・ 旨味が強い
  - ・ 柔らかくなる
  - ・ 苦味が出にくい（Pepが強い場合）
  - ・ 表面から溶ける
- ➡ ウォッシュ、モンドール、ラクレット向き

分解が穏やかな菌を含む場合

- ・ タイトな組織
  - ・ 弾力が残る
  - ・ 熟成がゆっくり
- ➡ ゴーダ、チェダー向き

## 4. Prt 系（カゼインを直接分解する酵素）

Prtはすべて CEP（Cell Envelope Proteinase：細胞壁結合型セリンプロテアーゼ）です。CEPとは乳酸菌の細胞壁に存在する酵素で、カゼインミセルを直接分解する熟成の要です。熟成の約80%はこの直接分解で決まるとも言われます。

主なPrtの種類

名称	正体	作用	分解力	チーズへの影響
PrtH	Lb. helveticus型CEP	κ-カゼイン複合体も分解	★★★★★★	UHT乳・酸凝固でも効く、溶ける
PrtP	CEP（Cell Envelope Proteinase）	αs1, βカゼインを外側から切る	★★★★★	熟成加速・軟化・旨味爆増
PrtS	thermophilus特有	βカゼイン分解に特化	★★★★★	モッツアレラ・ラクレットの伸び改善

## 分解力ランキング

1. PrtH
2. PrtP
3. PrtS
4. PrtR
5. Prt-（持たない）

## 5. Prt+ と Prt- の違い

### Prt+（プロテアーゼ陽性）

カゼインを直接分解できる菌

- ・ 熟成が速い
- ・ 強い酸生成
- ・ 軟化が強い
- ・ 苦味ペプチドも生成しやすい
- ・ ハード・長期熟成向き

代表例：

- ・ *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*
- ・ *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*
- ・ *Lactobacillus helveticus*
- ・ *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

### Prt-（プロテアーゼ陰性）

カゼインを直接分解できない菌

- ・ 他菌が作ったペプチドを利用
- ・ 酸生成は穏やか
- ・ タンパク分解は弱い
- ・ 香り生成が主役
- ・ 組織を壊さない

代表例：

- ・ *Leuconostoc*
- ・ *Lactococcus lactis* biovar *diacetylactis*
- ・ 表面菌（Geo, Breviなど）

## チーズ性格とPrt比率

チーズ	Prt+ / Prt- 比率
チェダー	Prt+ ほぼ100%
ゴーダ	Prt+ 70 / Prt- 30
ラクレット	Prt+ 50 / Prt- 50
モンドール	Prt+ 30 / Prt- 70
カマンベール	Prt+ 20 / Prt- 80

## 6. Pep 系（旨味を作る酵素群）

名称	役割	効果
PepO	中ペプチド分解	苦味除去
PepF	疎水性ペプチド分解	苦味軽減
PepN	末端切断	アミノ酸増加・甘味
PepC	PepN補助	コク・丸み
PepX	プロリン特化	ウォッシュ系旨味源
PepE	グルタミン酸系	ナッツ香・ブロス香

※ ブロス香＝熟成由来の複雑でポジティブな旨味香

Pepが強い菌ほど

- ・ 苦味が出にくい
- ・ 旨味が強い

## 7. UHT乳でLb. helveticusを加えると溶ける理由

Lactobacillus helveticus の PrtH がκ-カゼイン複合体を分解し、さらにPep群がペプチドをアミノ酸に分解することで表面が滑らかなクリーム状に変化します。

## 8. ウォッシュで溶けやすい理由

ウォッシュでは表面pHが上昇します。CEPは中性～弱アルカリ側で活性が高まり、表面から内部へ向かって分解が進みます。

➡ これがモンドールやウォッシュで起こる「表面溶解」の正体です。

## 9. まとめると

- ・ Prt = カゼインを壊す
- ・ Pep = 旨味を作る
- ・ CEP = 熟成の要
- ・ PrtHは溶解型
- ・ Prt-は締まり型

重要な点は

チーズの質感はレンネットや水分よりもどのプロテアーゼを持つ菌を使うかでほぼ決まる。