



# 三大栄養素の代謝

日本大学短期大学部 食物栄養学科

篠原 啓子



# contents

## CHAPTER 1

三大栄養素の特徴

## CHAPTER 2

エネルギー源と  
血糖維持

## CHAPTER 3

三大栄養素の代謝  
(概要)

## CHAPTER 4

解糖系とTCA回路

## CHAPTER 1

# 三大栄養素の特徴

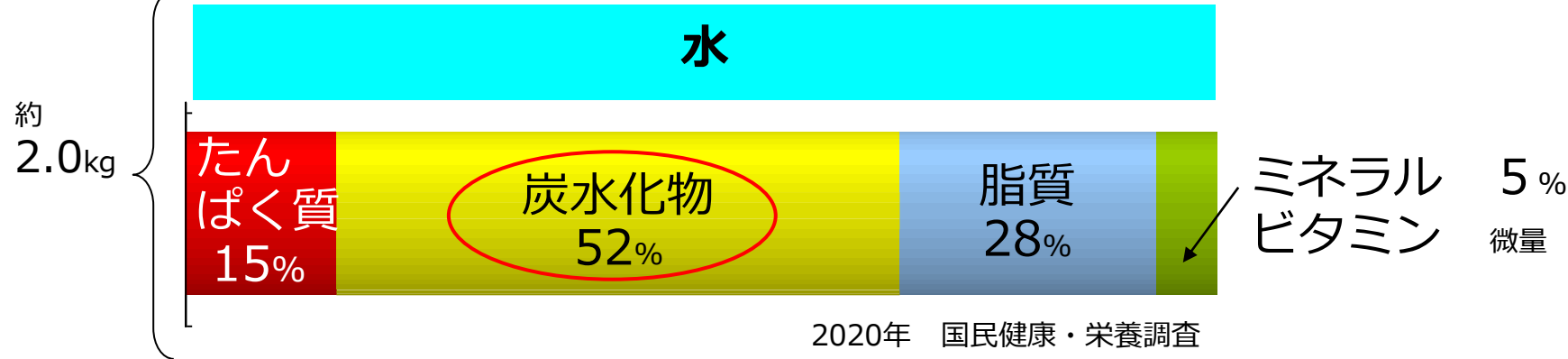
- You are What you eat.
- 栄養学の視点から食べ物や人体の構成をみると
- 三大栄養素の特徴

私たちの体は食べ物からできている

You are What you eat.



【食事の組成】



【からだの組成】

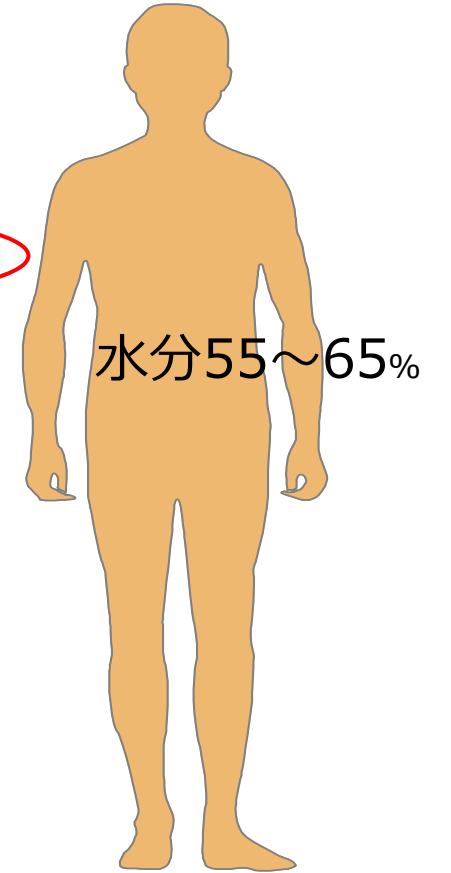
タンパク質 14~19%

糖 質 1%以下

脂 肪 10~25%

ミネラル 5~6%

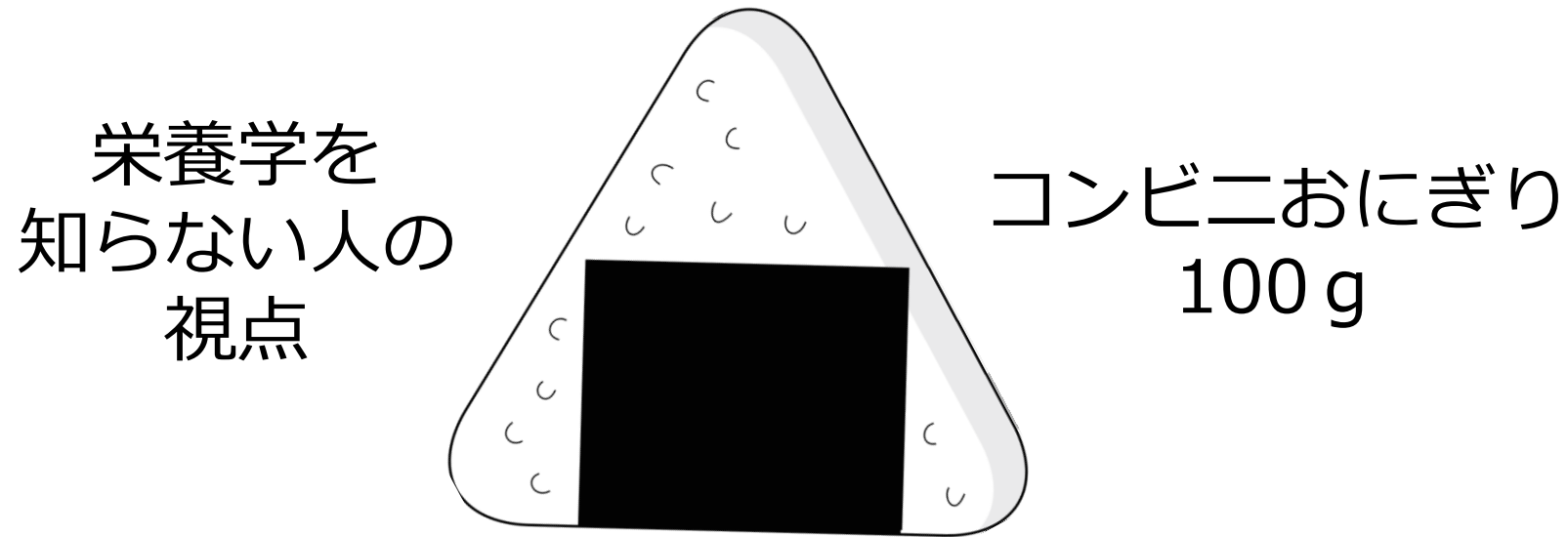
ビタミン 0.002%



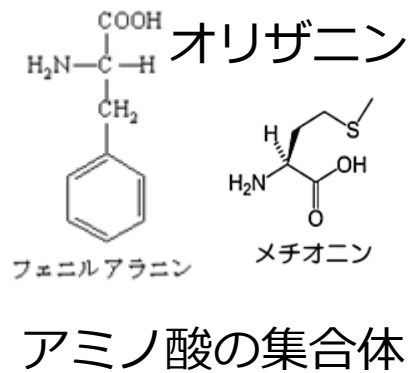
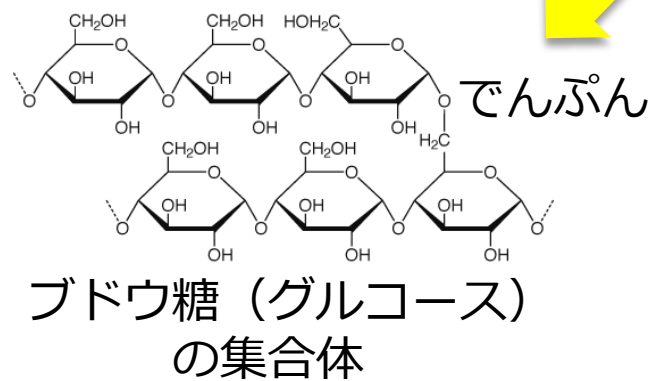
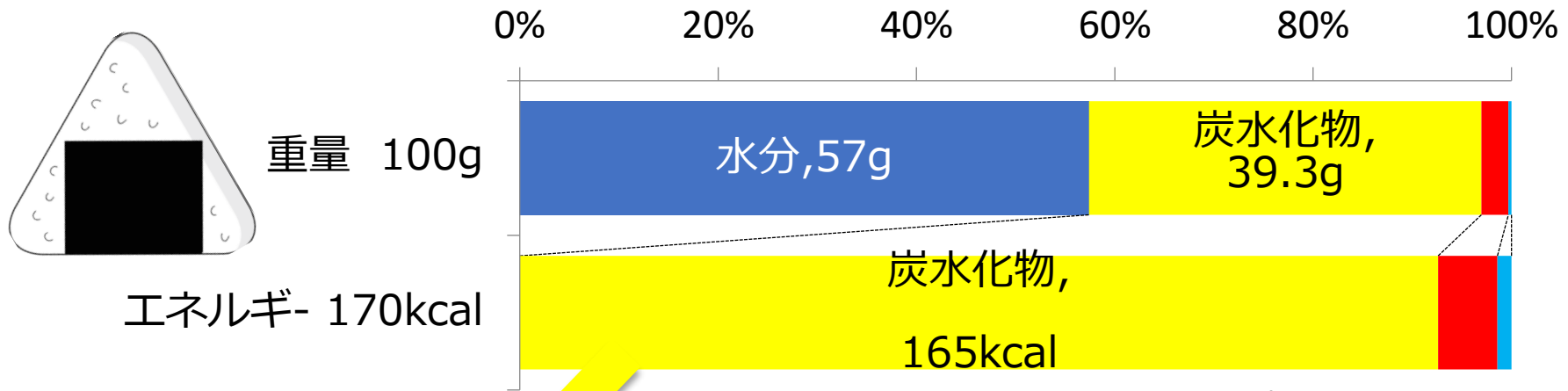
炭水化物は、植物が光合成によって作り出すもの

栄養素は共通言語. けれど構成割合は違う

# What is this ?

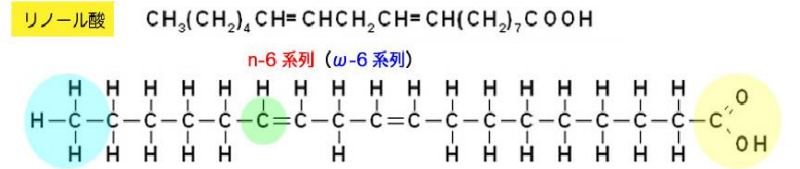
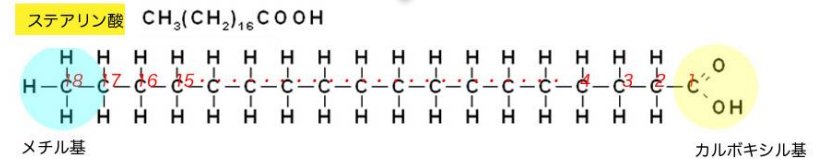


栄養学がわかると・・・  
実はこういうものでできています



たんぱく質 2.7g (11kcal)

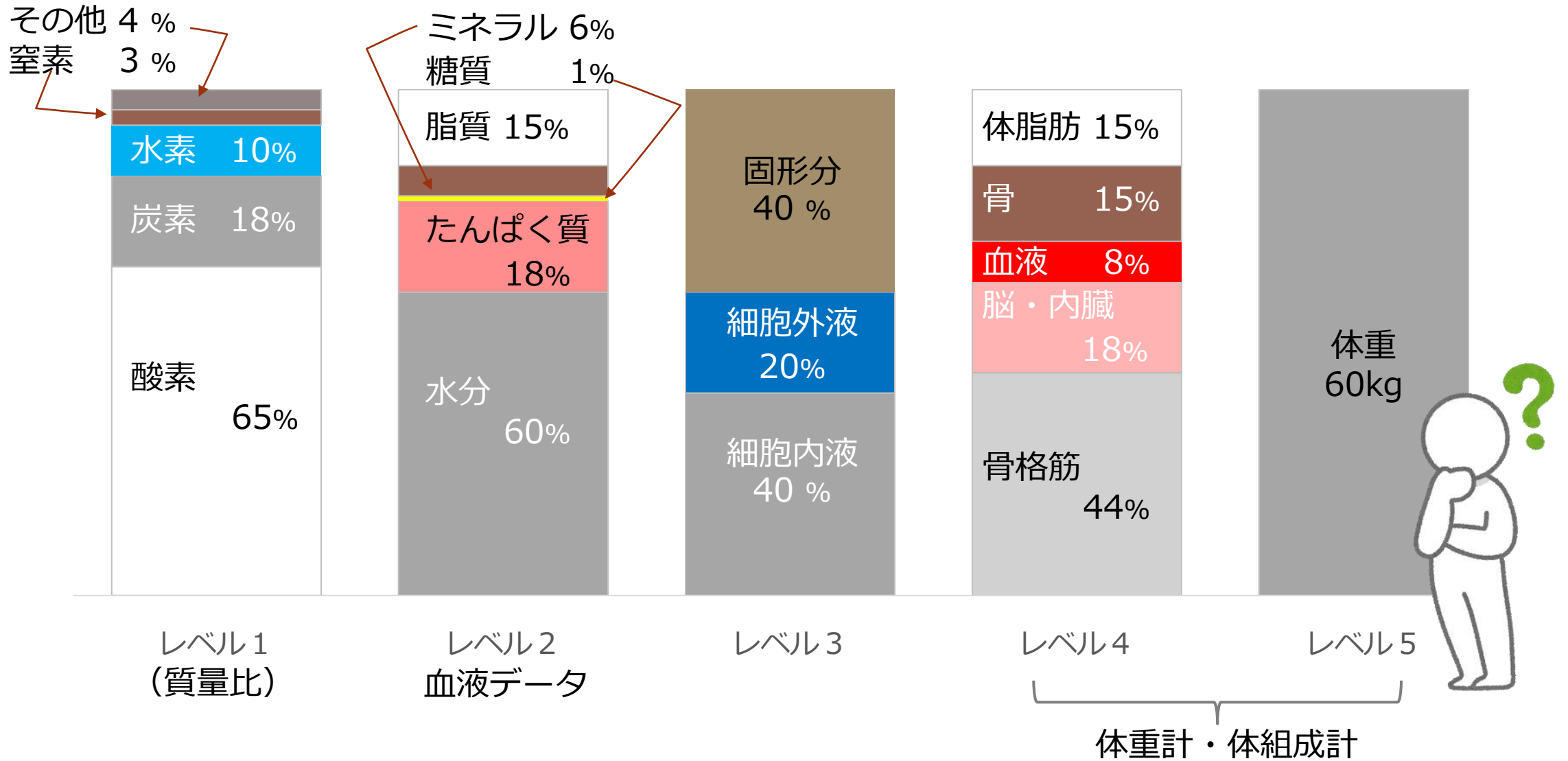
脂質 0.3g (3kcal)



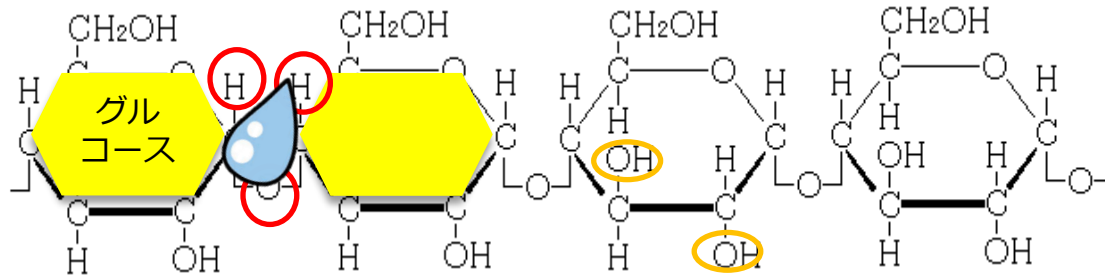
栄養学の視点で見ると

# ヒトの体組成を観察する5つの視点

(60kg 体脂肪率15%とした場合)

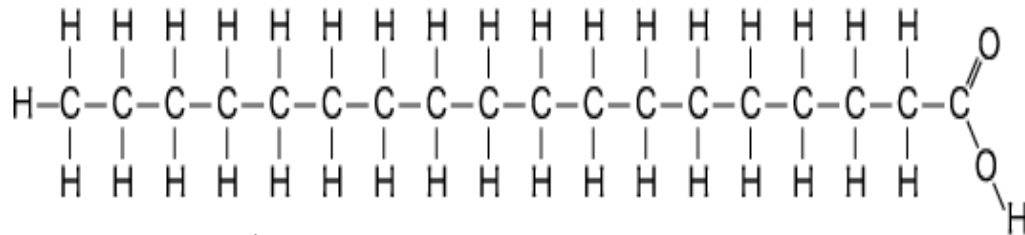


# 三大栄養素を構成する元素の構造



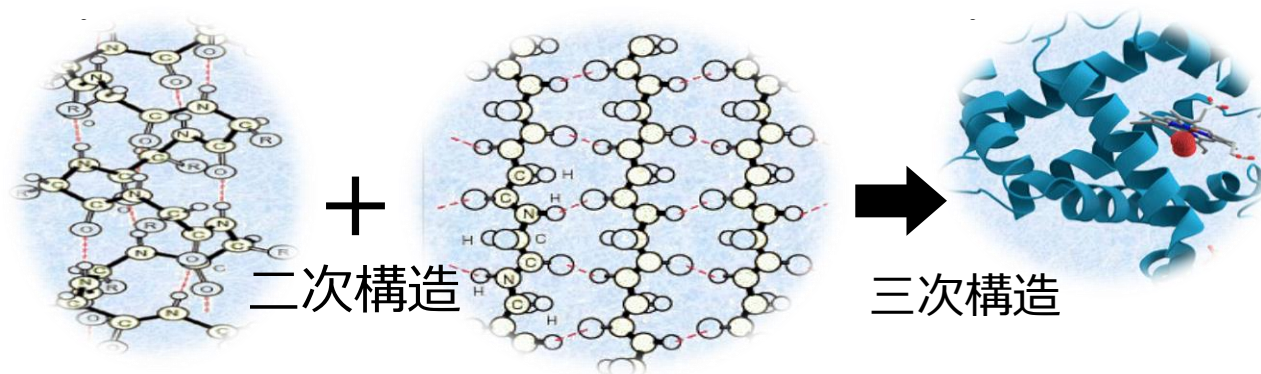
でんぷん (グルコースの重合体)

- グルコースは構造上 -OH (水酸基) が多く水になじみやすい。→炭水化物 (含水炭素) という
- グリコーゲンとしての貯蔵には限界がある。  
→筋肉に水が多い理由。  
減量の初期は水が抜けただけ!



ステアリン酸

- “C”と“H”ががちり結合している  
→脂肪は簡単に水に溶けにくい



たんぱく質 構造模型例

- 非常に複雑な構造  
→DNAにはタンパク質の設計図しか組み込まれていない



# 三大栄養素を構成する元素の組成

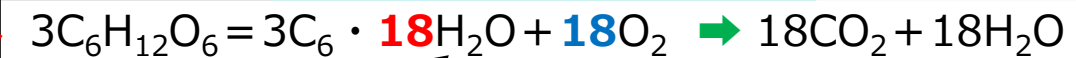
炭水化物と脂肪は、同じ構成素でできている。  
水素分子が多いとエネルギーがたくさん作れる

Fat 9 Kcal/g → 余分は中性脂肪へ合成

ブドウ糖 (分子量180) × 3分子



炭水化物  
1g = 4 kcal  
グリコーゲン  
(肝臓・筋肉)

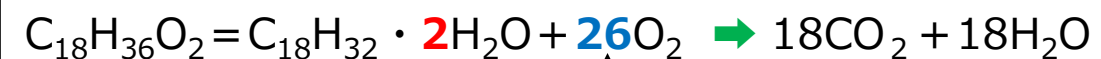


水が多い! → 水に溶けやすい (すぐエネルギーになる)

ステアリン酸 (分子量284) × 1分子



脂肪  
1g = 9 kcal  
中性脂肪



燃焼するには酸素がたくさん必要! → ダイエットには運動が不可欠



たんぱく質  
1g = 4 kcal  
筋肉

Nを含むので体内で完全燃焼できない (直接エネルギー源にはならない)。  
肝臓で尿素になり腎臓から尿素として排泄  
過剰のたんぱく質摂取は腎臓の負担になる

熱量素

## CHAPTER 2

# エネルギー源と血糖維持

- 体にある3つの貯蔵エネルギー
- 組織の主なエネルギー源
- 血糖を維持するためのシステム

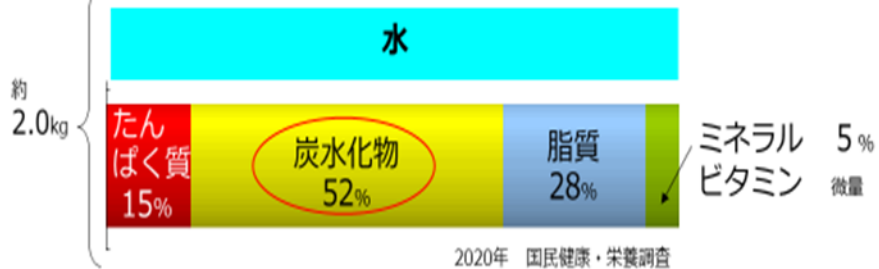
# 体にある3つの貯蔵エネルギー

私たちの体は食べ物からできている

You are What you eat.



【食事の組成】



栄養素は共通言語. けれど構成割合は違う

【からだの組成】

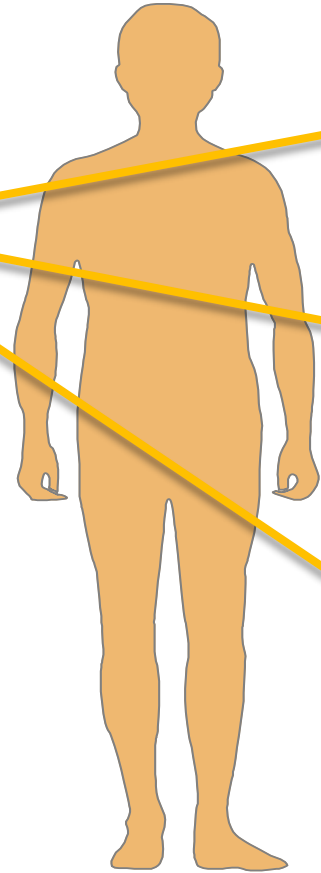
タンパク質 14~19 %

糖 質 1 % 以下

脂 肪 10~25 %

ミネラル 5~6 %

ビタミン 0.002%



骨格筋  
(28 kg)

実質量7kgとして  
28,000 kcal

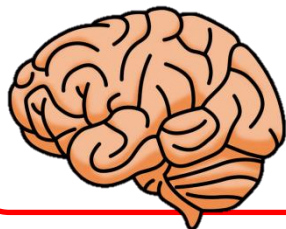
糖質 (肝・筋肉グリコーゲン)  
(345g) 1,380 kcal  
約15時間

体脂肪 (10.5 kg)  
75,600 kcal  
約34日

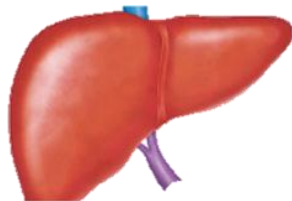
体重70kgの男性 (体脂肪率15%)  
2,200Kcal/日として計算

# 組織の主なエネルギー源

重量は体重の2%だが、エネルギー消費は20%



**グルコース**  
(絶食時はケトン体が代替エネルギー源になる)



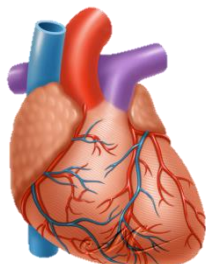
**グリコーゲン (グルコース)**、アミノ酸  
脂肪酸 (ケトン体は使えない)



**グリコーゲン (グルコース)**  
脂肪酸、アミノ酸 (BCAAなど)

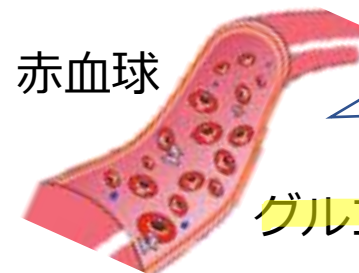
最大の糖の  
取り込み組織

**遊離脂肪酸、  
(グルコース)**



脂肪  
組織

脂肪酸、  
アミノ酸  
**グルコース**



赤血球

**グルコース**

最も多い細胞  
解糖系まで  
しかない

臓器によって使いやすい  
栄養素が決まっている

▶ 共通して使えるのが

**グルコース**

(特に脳、赤血球はグルコースに依存)

ゆえに、炭水化物は  
食事摂取基準でも  
必要量が多い!!

# 脳はエネルギーを 貯蔵するシステムを持たない

脳の働きを維持するために  
最低必要な糖質量 120g/日

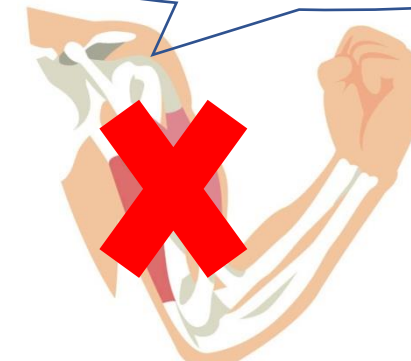


脳へのエネルギー供給

血液中のグルコースは  
 $5g \div 120g \times 1440分$   
= 約1時間分しかない

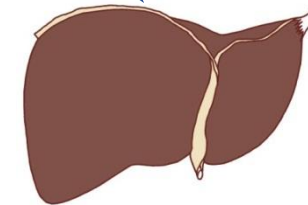
血糖 (100mg/dl)  
として約 5g

筋肉収縮のエネルギー源



筋肉のグリコーゲン  
280g

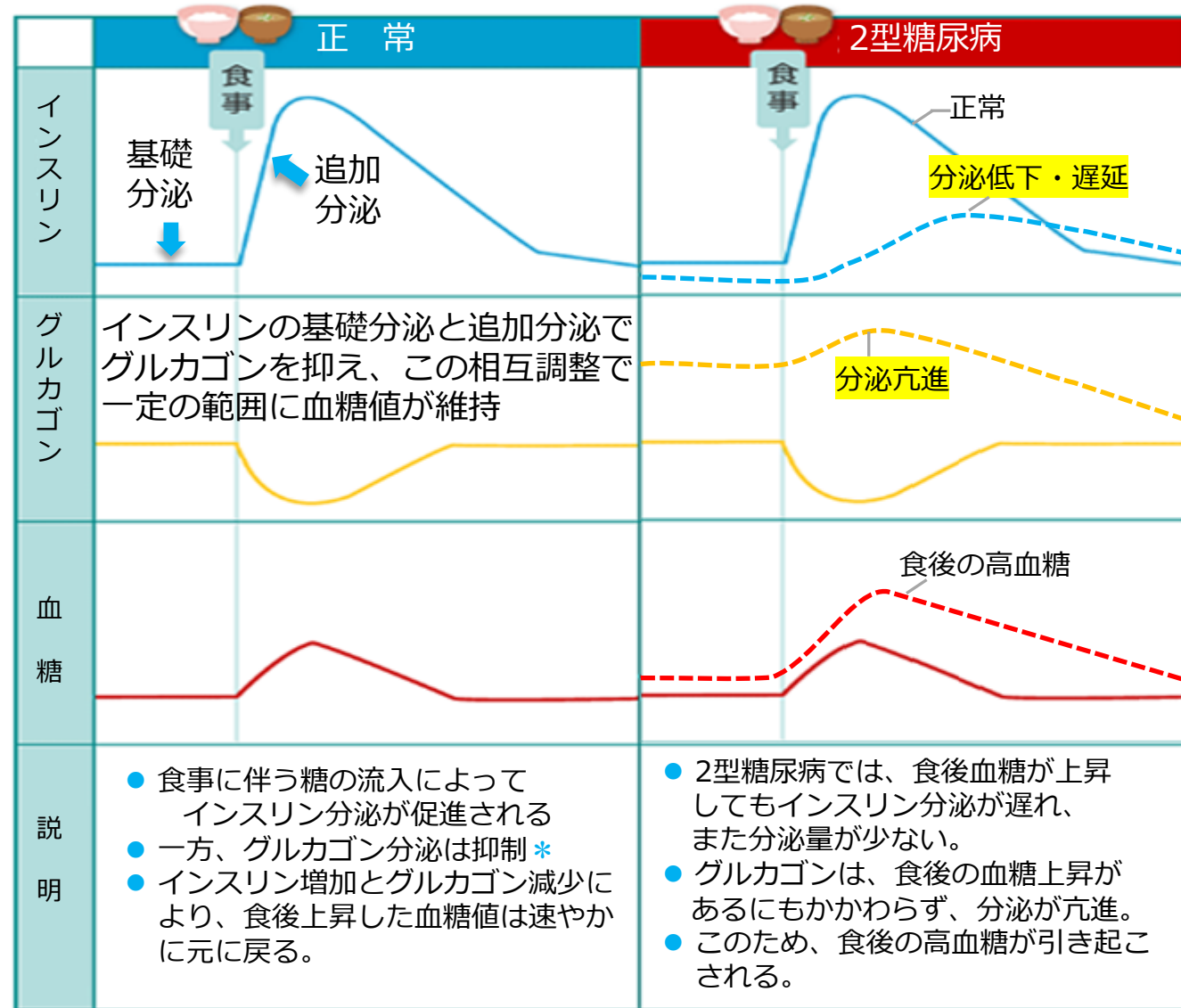
血糖値の維持



肝臓のグリコーゲン  
50~60g

糖新生：糖以外のもの（ピルビン酸、アミノ酸、乳酸、プロピオン酸、グリセロール）からグルコースをつくること

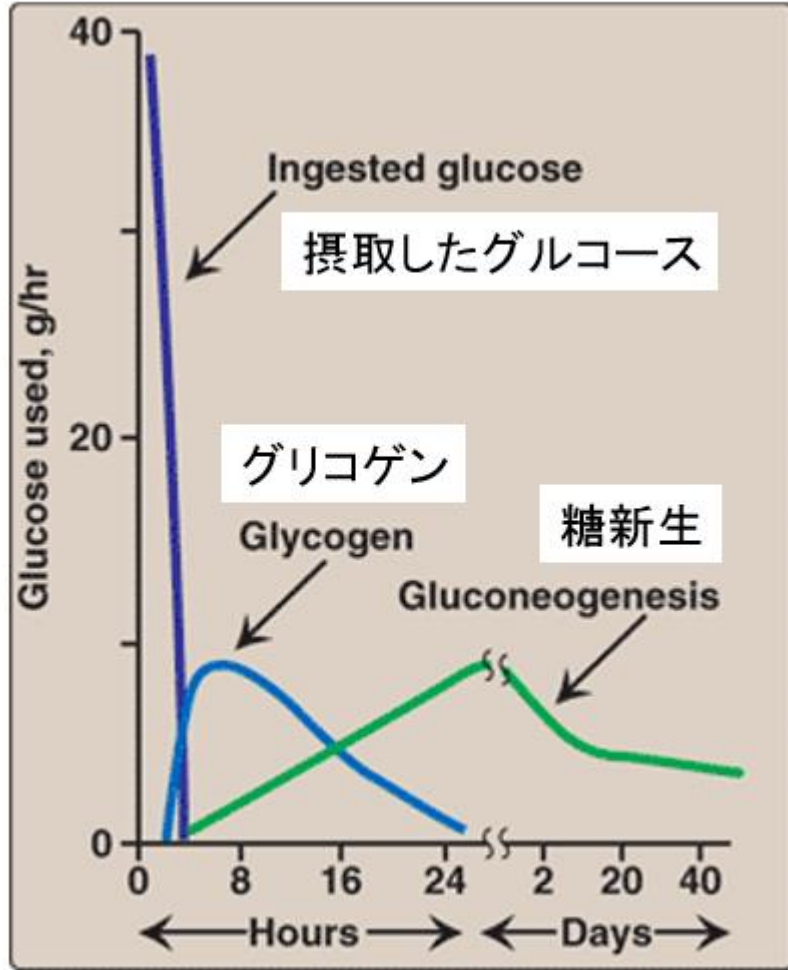
## インスリンとグルカゴンの分泌パターンの図



\* 健常者では食後のグルカゴン分泌は食事の組成によって反応性に差があるが抑制される傾向にある。

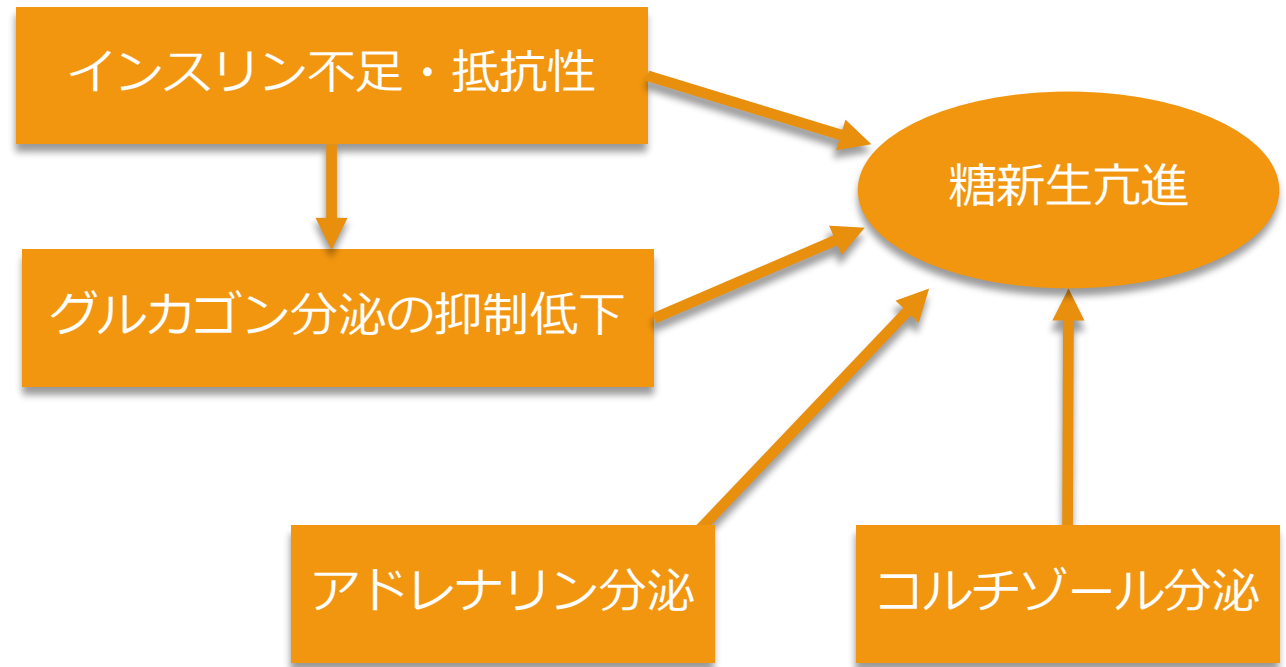
血糖値を一定内に保つメカニズム

100gのグルコースを摂取した後、  
血糖がどこから来たかを調べた結果



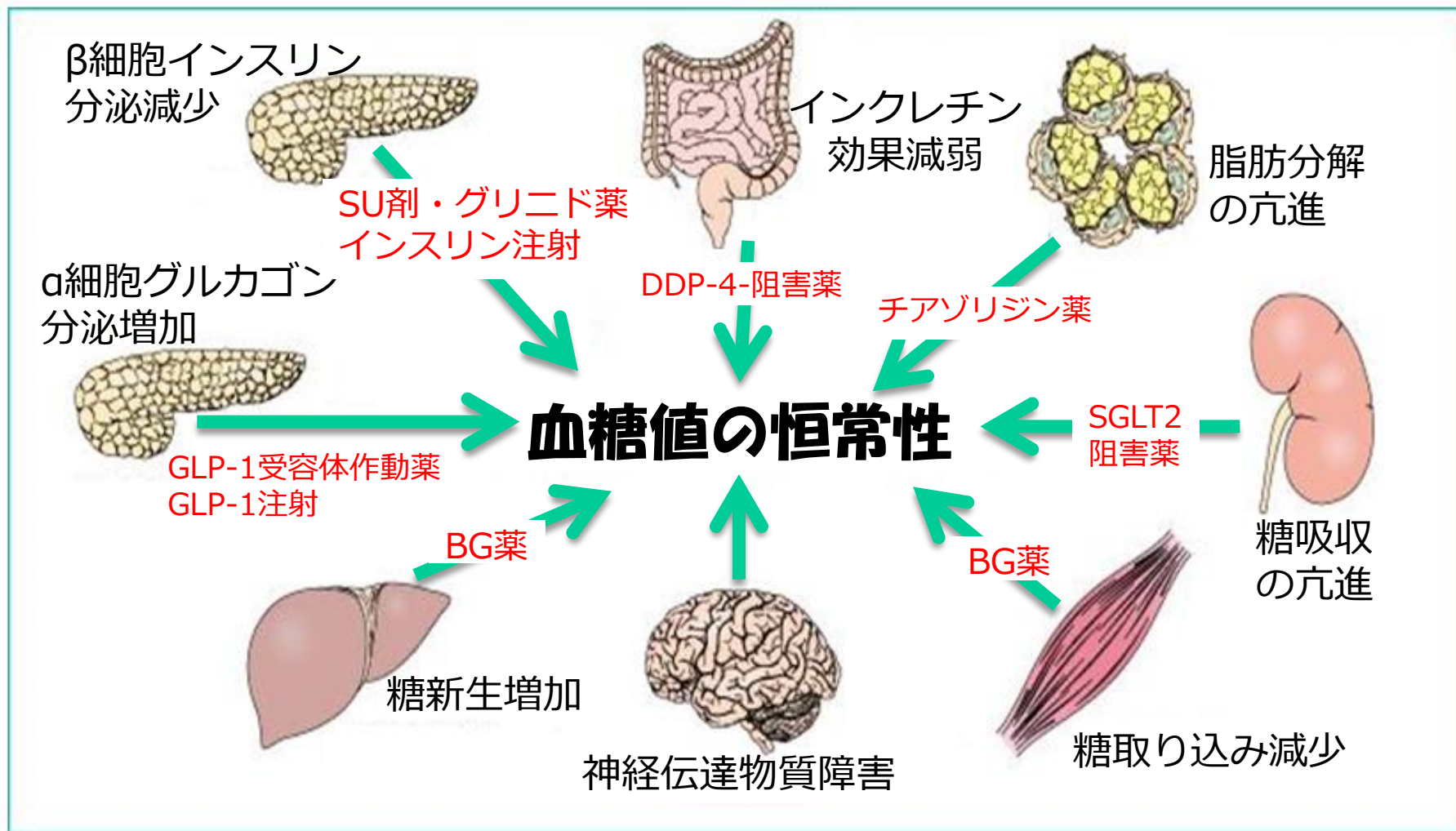
イラストレーテッド生化学 図24. 10

- 通常、食後3時間くらいから糖新生が  
はじまっている



血糖管理のためには、  
糖新生のコントロールも重要

# 血糖値を維持するシステム



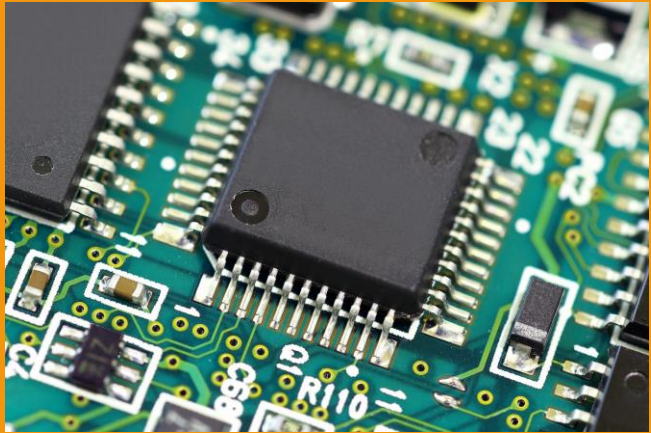
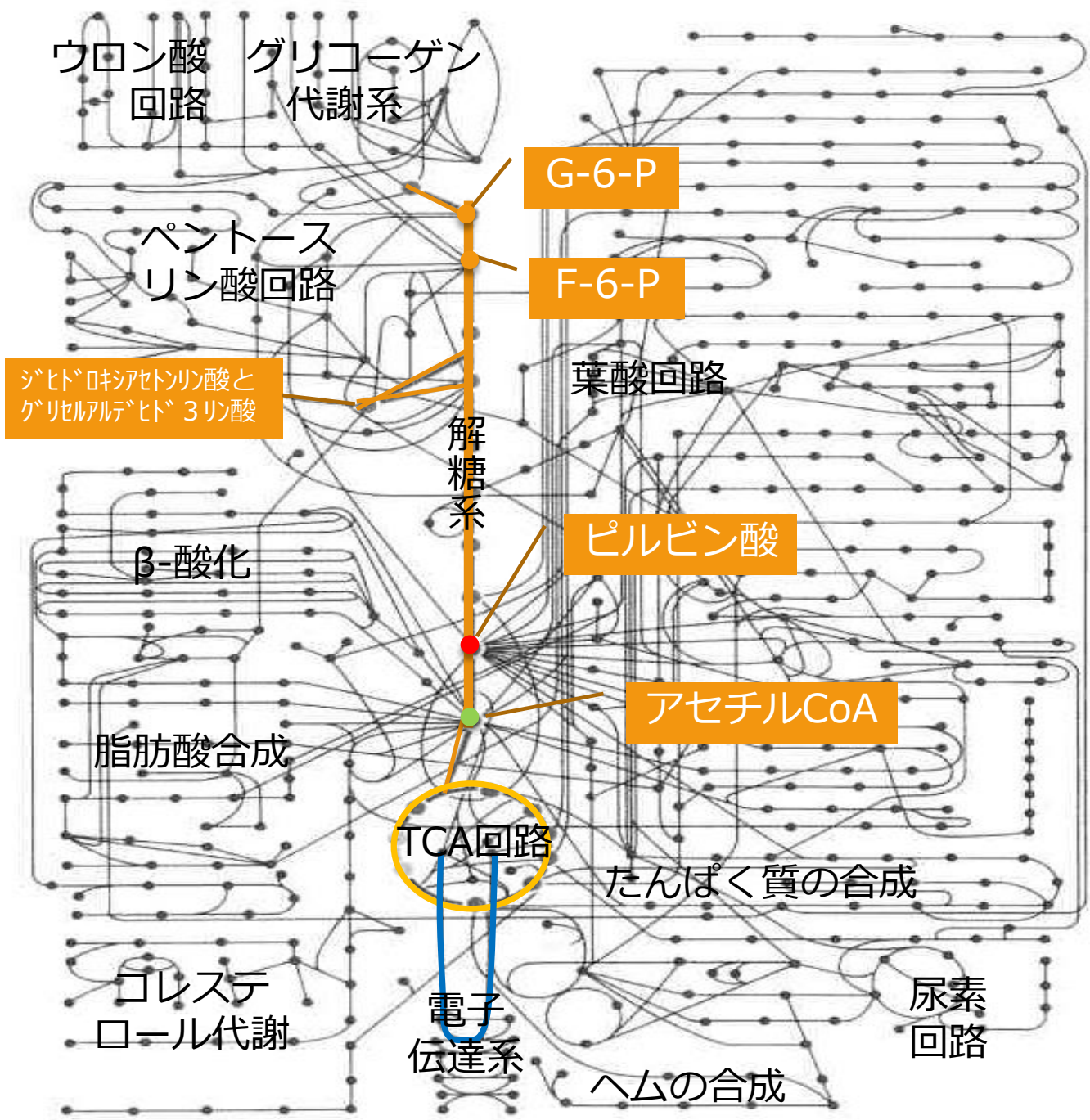
インスリン分泌と血糖値という「結果」から食事指導を考えることには限界がある



## CHAPTER 3

# 三大栄養素の代謝(概要)

- 代謝マップ
- ATPのおさらい
- 栄養素の代謝をお金にたとえてみると



典型的な動物細胞における代謝経路

「ブラウン生化学」化学同人 P9 図1.7 2019

※ 図内の代謝系は推測です



グルコース

解糖系

- ・糖質を体内で利用しやすい形（ピルビン酸）に分解して、エネルギーを得る過程
- ・脂質合成に必要なNADPHや核酸合成に必要な5炭糖の生成にも関係する側鎖を有す

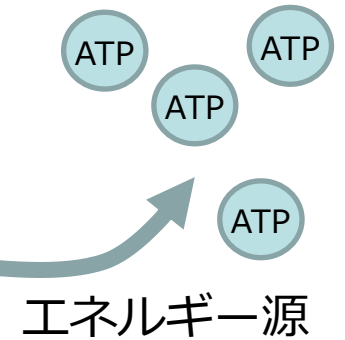
ピルビン酸

- ・電子伝達系を動かすためのHイオンを運ぶ還元力（NADH・FADH<sub>2</sub>）を取り出す。
- ・アミノ酸代謝、尿素回路、糖新生、脂質代謝など、他の経路を仲立ちする三大栄養素の代謝の分岐点

TCA回路  
(クエン酸回路)

- ・解糖系やTCA回路で生じた水素を酸素と化合させてたくさんのATPを産生する

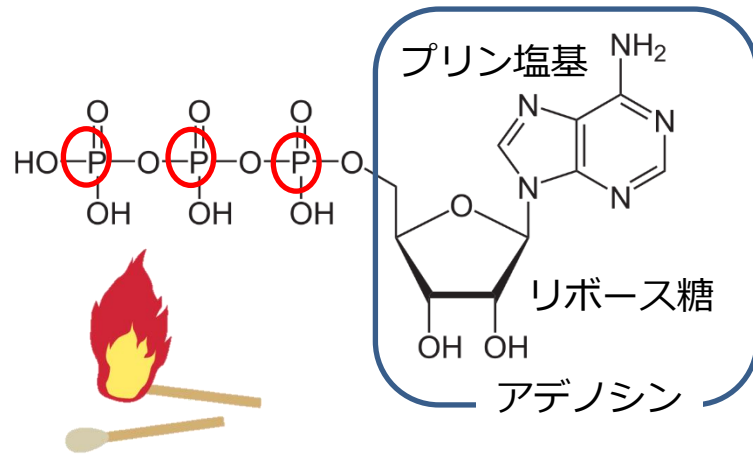
電子伝達系



# 三大栄養素がつくりだすエネルギーの正体は？

アデノシン 3リン酸

Adenosine Tri-Phosphate

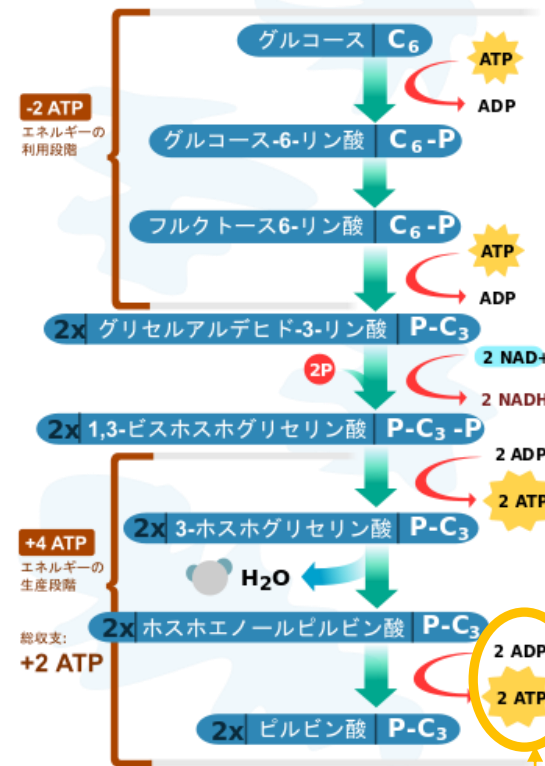


生物が生きていくために必要なエネルギーは、ATPの化学エネルギーに変換されてから、いろいろな生命活動のエネルギーとして利用される。

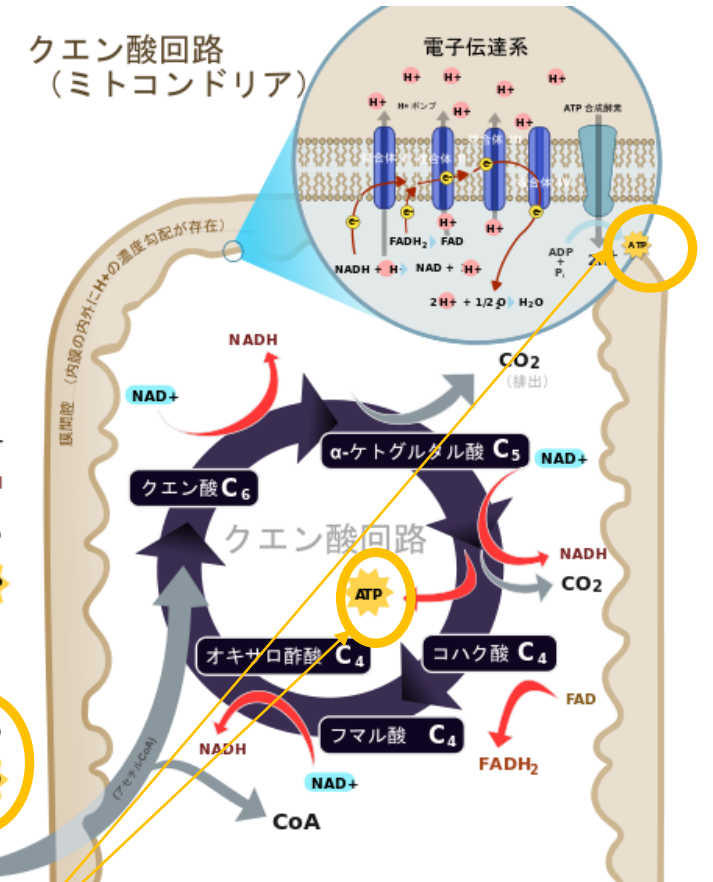
ATPの働き

- 筋収縮、体温維持 神経活動
- 核酸 (DNA、RNA)、タンパク質、脂質の合成
- 細胞内のイオンバランスを維持するポンプ機能 (能動輸送、膜消化)

解糖系 (細胞質基質)



クエン酸回路 (ミトコンドリア)



図：好気呼吸の概略図 wikipedia

ATPを使って物質のやり取りをしているゆえにATPは「**生体のエネルギー通貨**」とも言われる。

# ATP1gの通貨価値は？



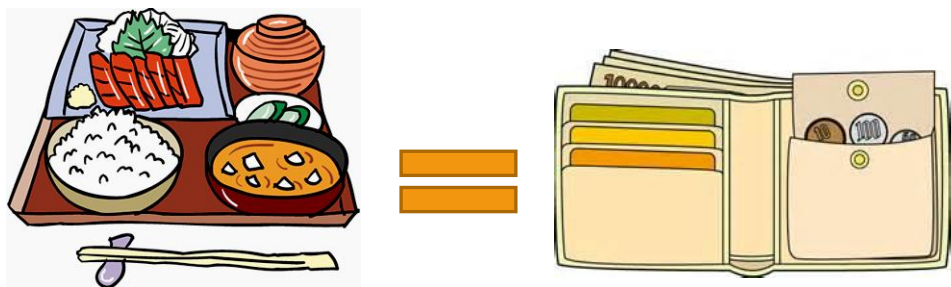
1日に2,000Kcalの場合  
14万2,857枚必要

ATP 1 g を燃やしてできるエネルギーは0.014kcalと小さい。

ゆえにATPの形でからだに貯蔵しておくことはできない。

そのためグリコーゲンや脂肪として効率よく蓄えるシステムになっている。

# 栄養素の代謝をお金にたとえてみると

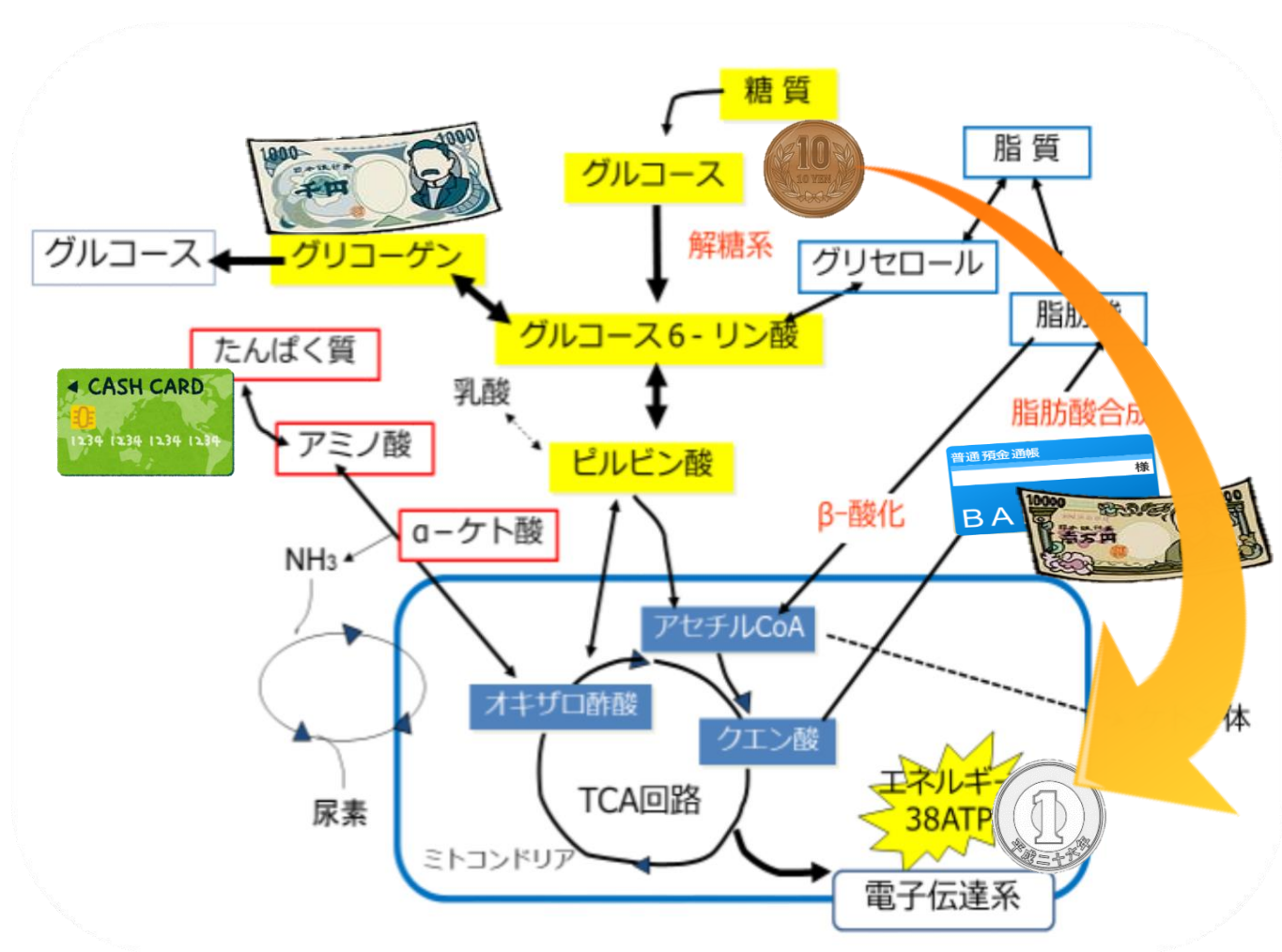


炭水化物 (糖質)

グルコース  グリコーゲン 

脂質   血中脂質  体脂肪

タンパク質   骨格筋  ATP



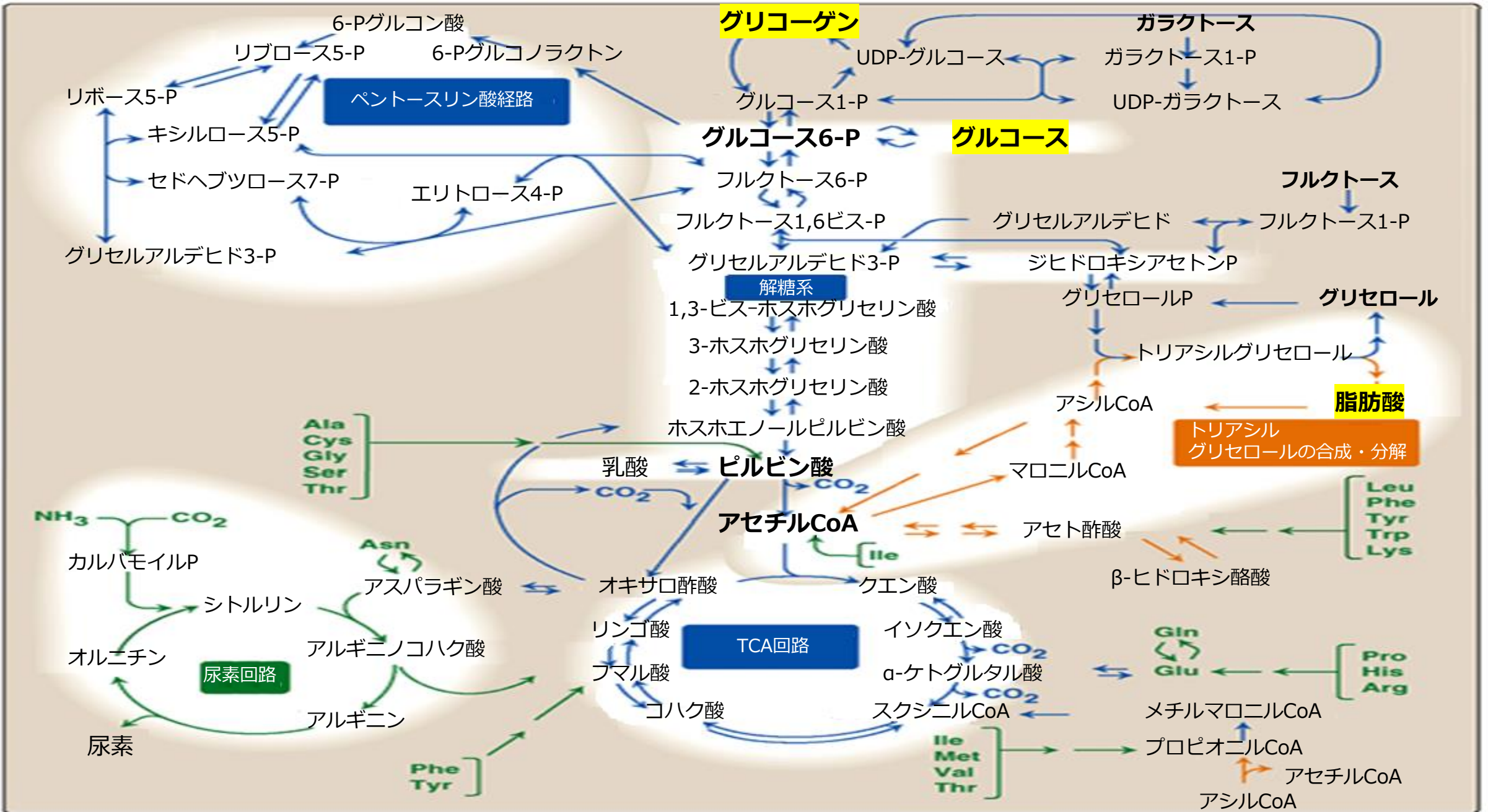
三大栄養素はすべてATPをつくる材料になるが、

- 栄養素の特徴により燃え方やその速さ (両替の過程=消化吸収) に違いがある。
- また、効率の良い貯蔵 (貯金) のしかたがある。
- 炭水化物 (糖) は最も効率よくエネルギーに使える

## CHAPTER 4

# 解糖系とTCA回路

- 解糖系の3つの律速酵素
- 果糖の過剰摂取で中性脂肪が増えるわけ
- 解糖系の復習
- 邪魔なアミノ基をはずす (アミノ基転移反応+酸化的脱アミノ反応)
- TCA回路の復習

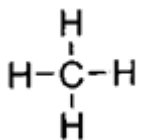


「イラストレイテッド生化学」 p.112 図8.2,2008,丸善

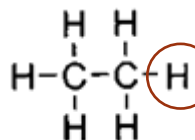


# 糖とアルコールと脂肪は親戚？

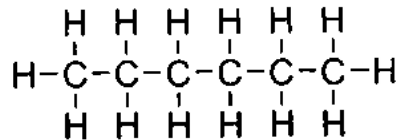
炭化水素 CとHでできた化合物 ( $C_nH_{2n+2}$ )



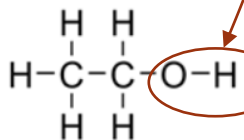
メタン  $CH_4$



エタン  $C_2H_6$

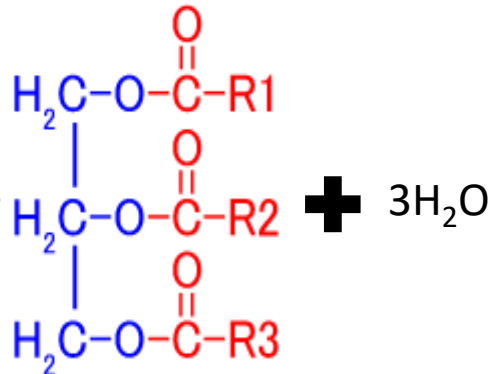
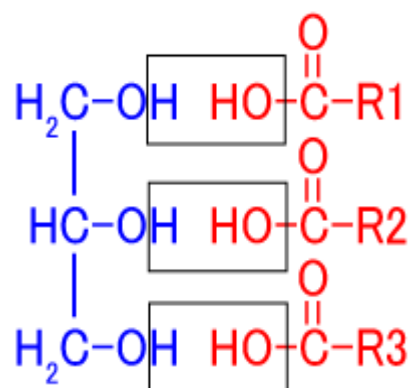


ヘキサン  $C_6H_{14}$



エタノール  $C_2H_5OH$

グリセリン + 脂肪酸



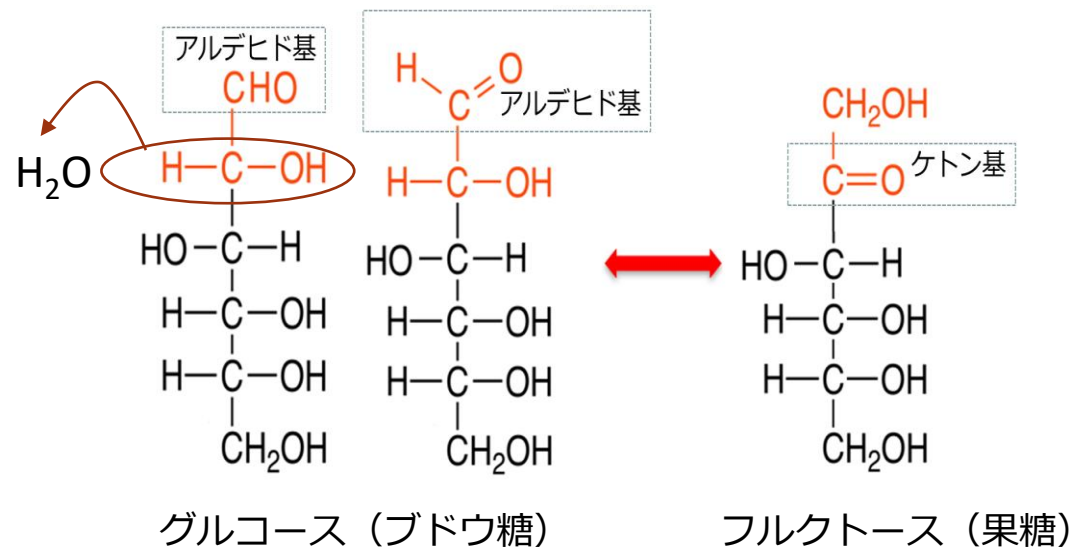
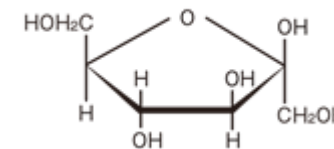
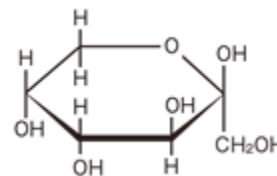
エステル結合

単純脂質 (中性脂肪)

炭水化物

$C1$ 個に水 $H_2O$ の分子が1個ついた化合物  $(CH_2O)_n$   
主に植物によってつくられエネルギー源となるもの

- 糖：アルデヒド基 (-CHO) またはケトン基 (>C=O)を有する多価アルコール

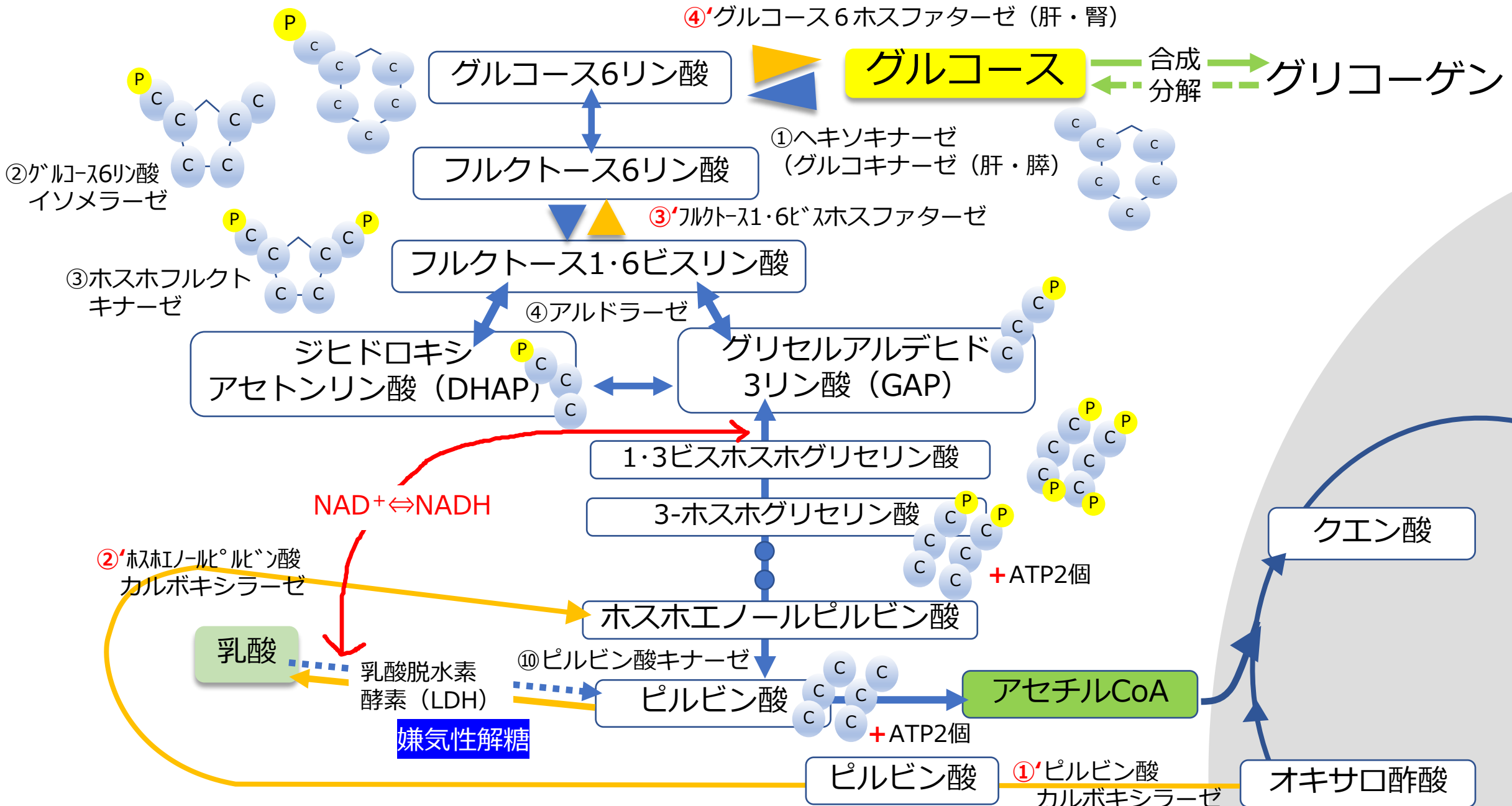


④' グルコース6ホスファターゼ (肝・腎)

グルコース

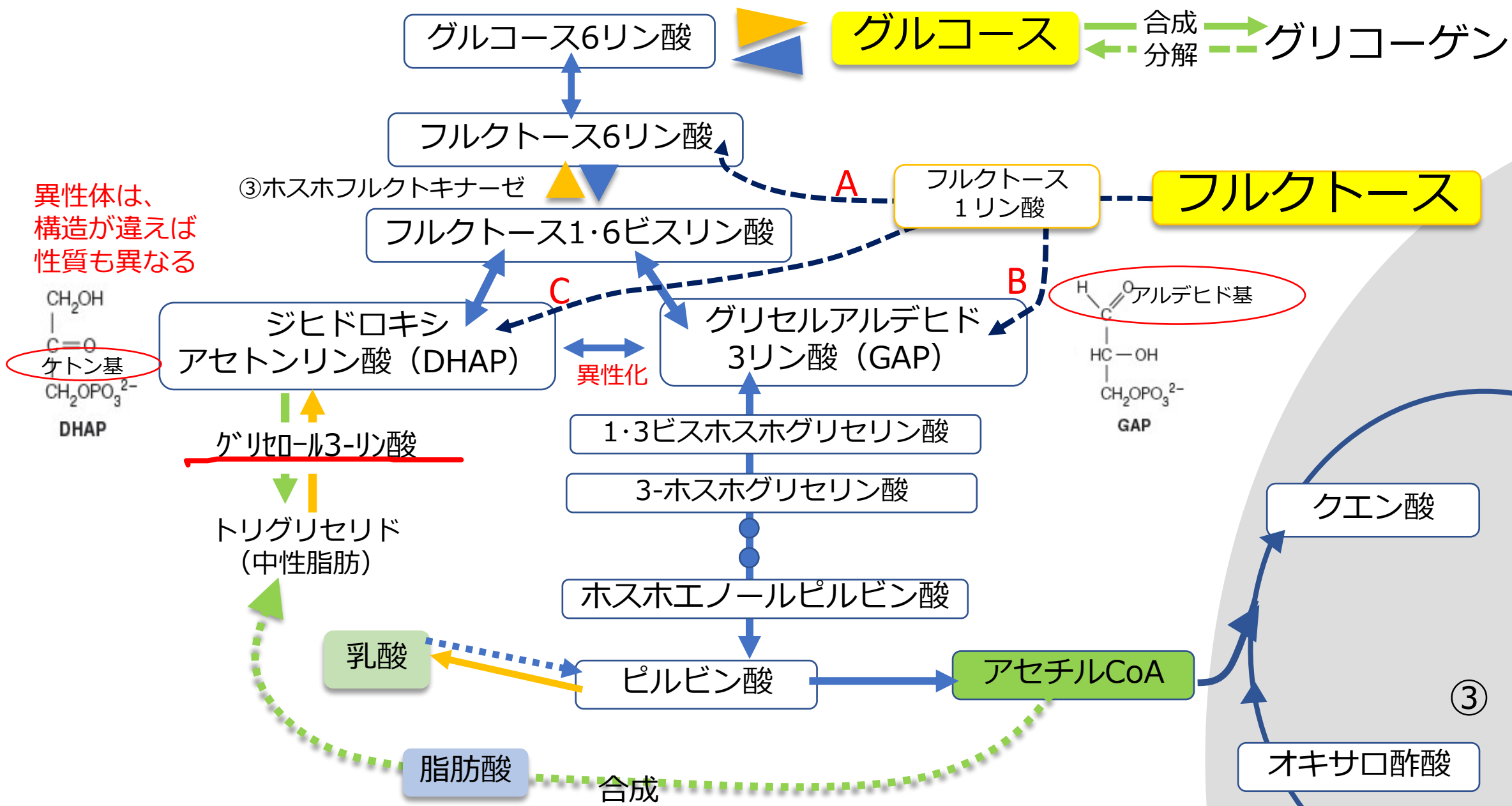
合成  
分解

グリコーゲン

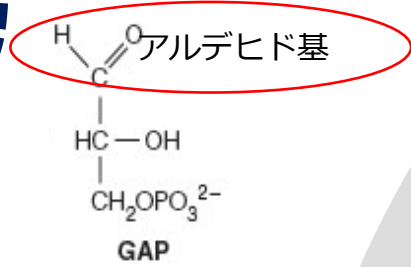
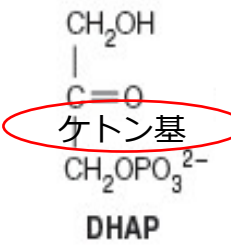


①-⑩は解糖系の酵素

①'-④'は糖新生の酵素

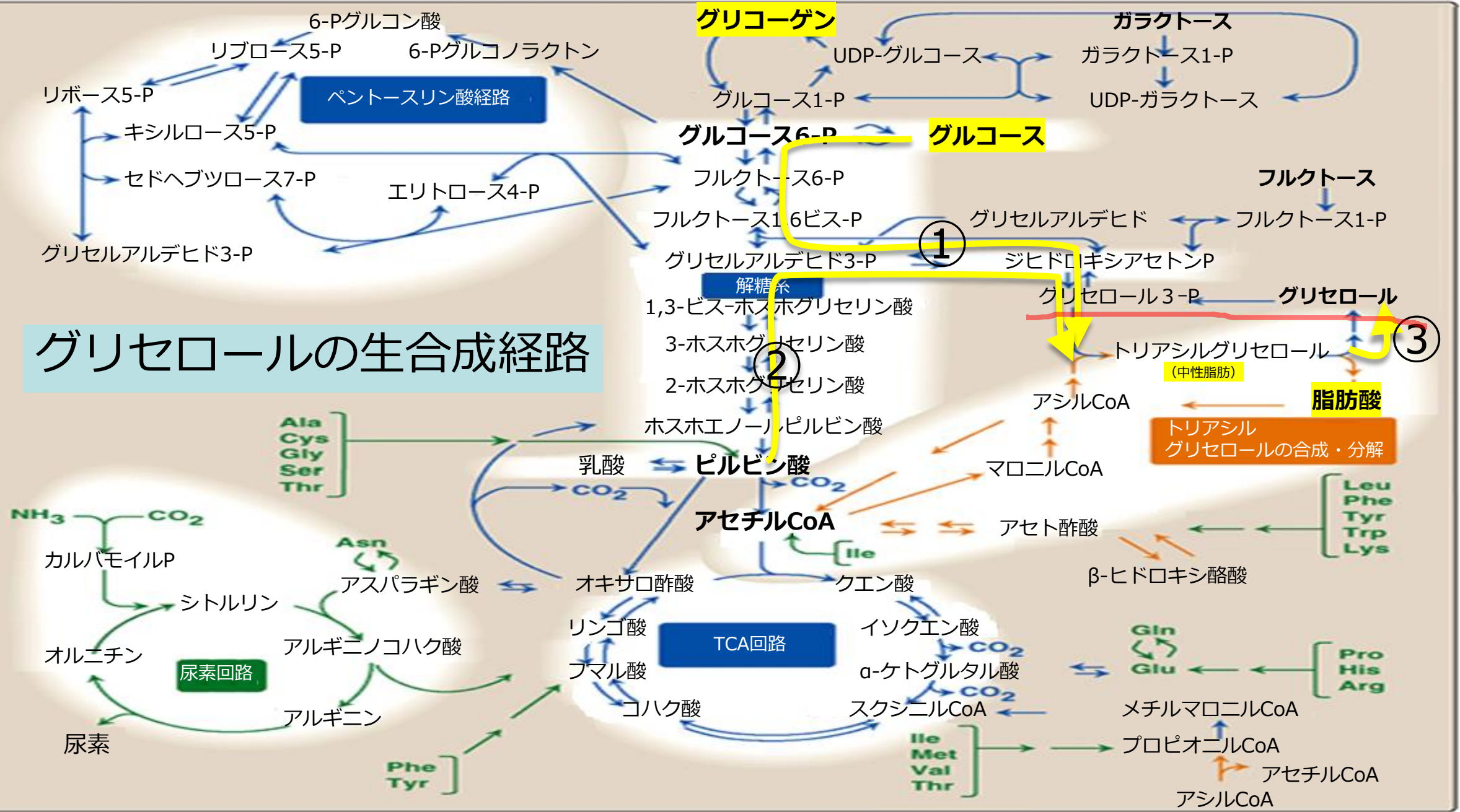


異性体は、  
構造が違えば  
性質も異なる



③

# グリセロールの生合成経路

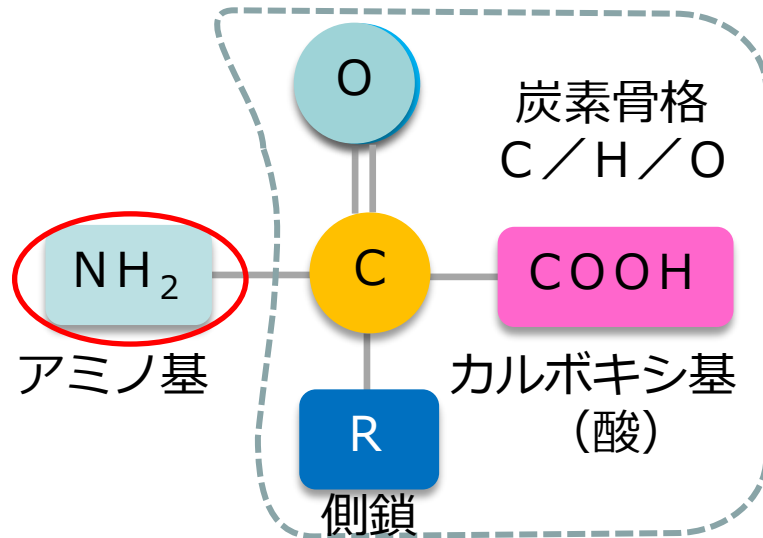


# アミノ酸代謝

邪魔な

とりあえずアミノ基を外してみるとどうなる？

アミノ酸の基本構造



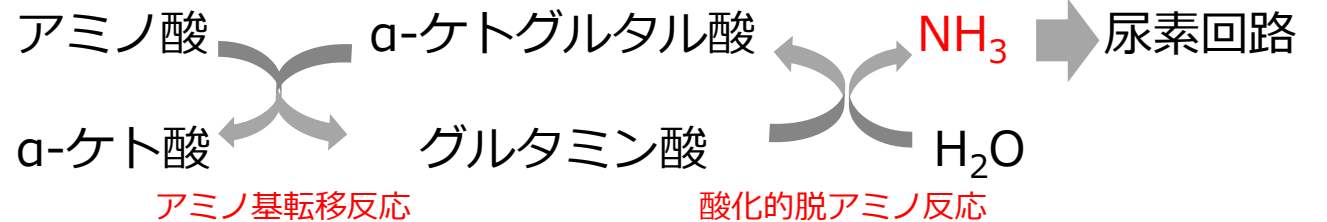
## $\alpha$ -ケト酸

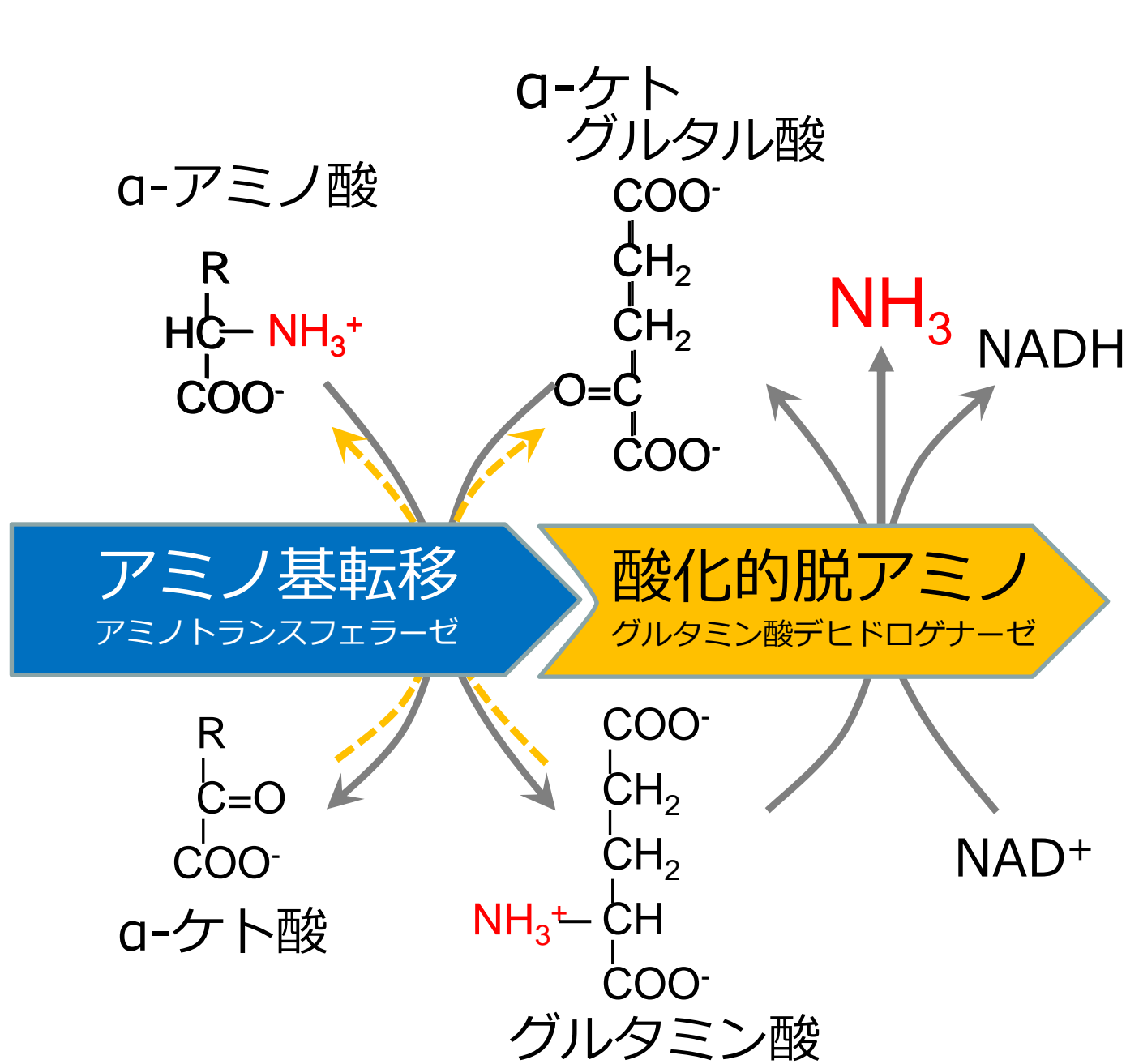
(ケトン基とカルボキシル基をもつ)

$\text{NH}_3$

## アンモニア

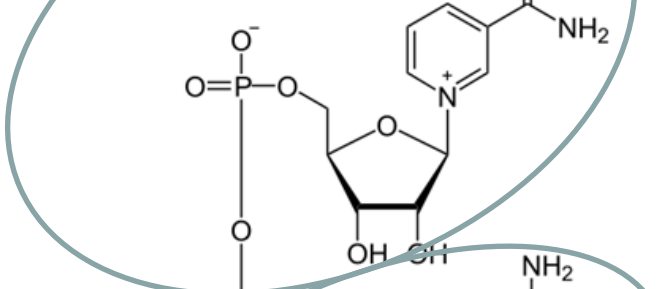
神経毒なので尿素回路で処理





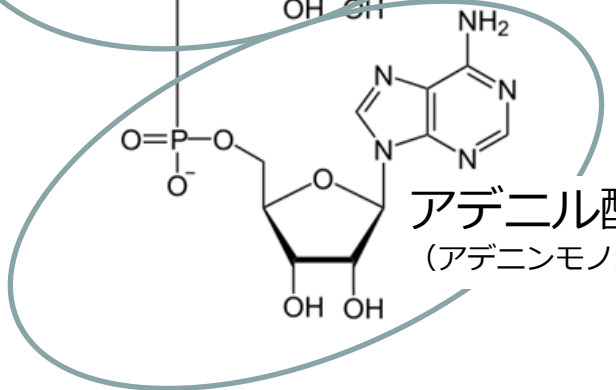
**ニコチン酸**

(ニコチンアミドモノヌクレオチド)



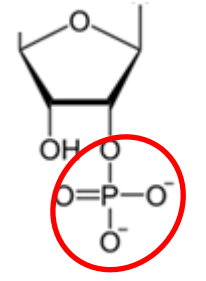
**アデニル酸**

(アデニンモノヌクレオチド)



**NADH** (ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド)  
エネルギー代謝に働く

**NADPH**  
(ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリリン酸)  
脂質代謝に働く



# アミノ基転移反応のまとめ

アミノ基転移酵素（アミノトランスフェラーゼ）には  
ビタミン**B<sub>6</sub>**（ピリドキサルリン酸）が補酵素として必要

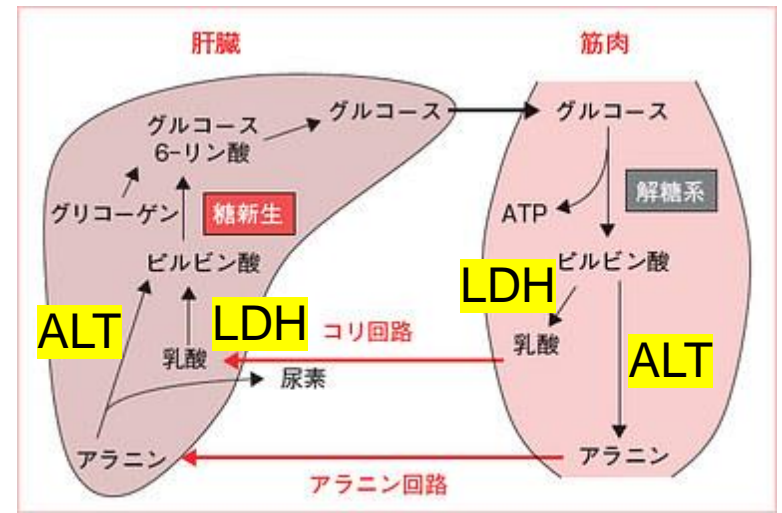
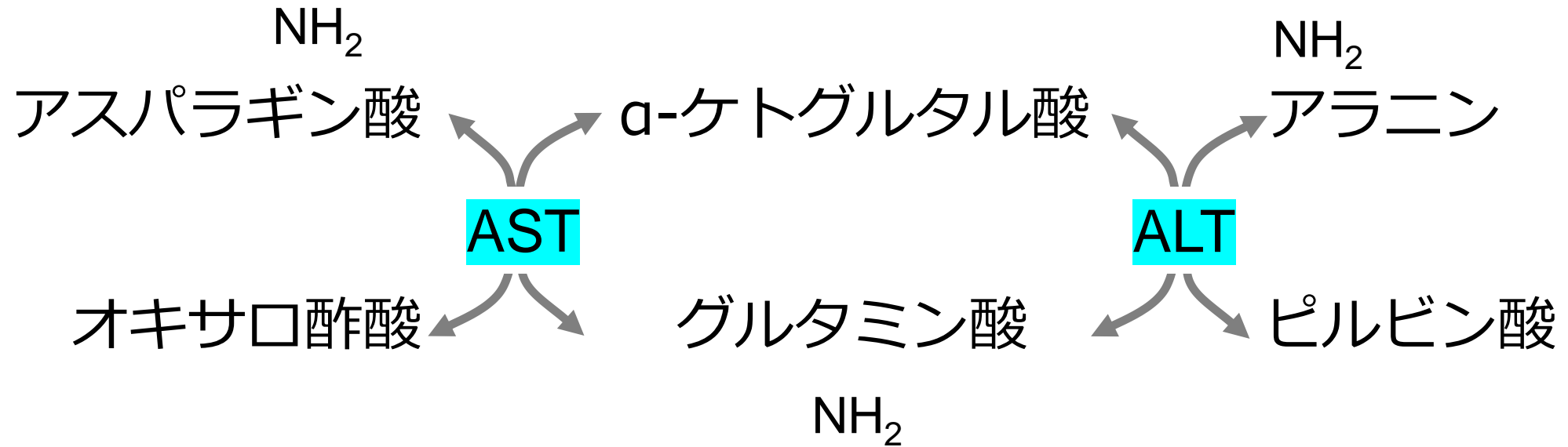


図4 糖新生系



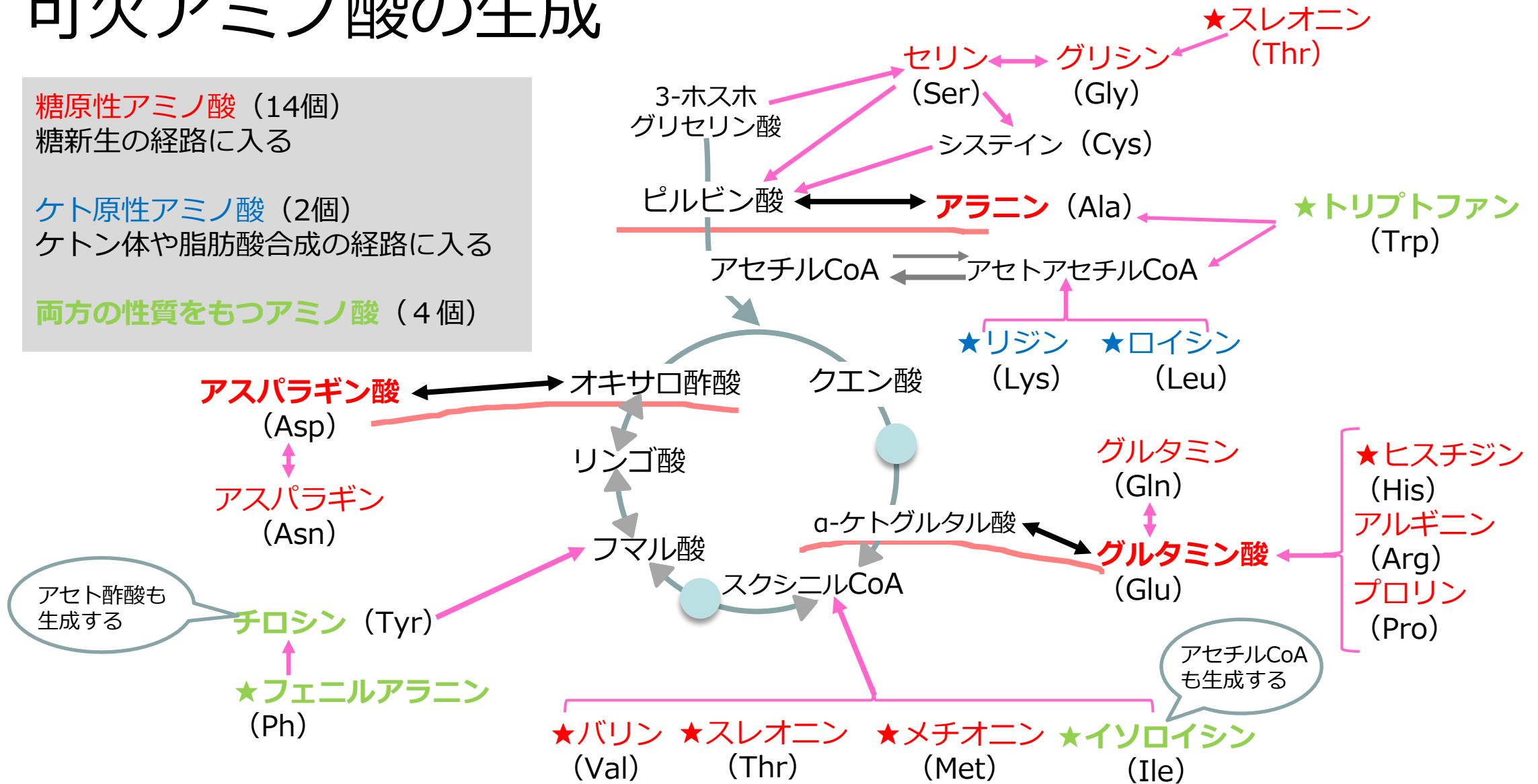
アミノ基転移反応によって窒素はグルタミン酸に集められ、  
グルタミン酸は酸化脱アミノ反応に移る

# 可欠アミノ酸の生成

糖原性アミノ酸 (14個)  
糖新生の経路に入る

ケト原性アミノ酸 (2個)  
ケトン体や脂肪酸合成の経路に入る

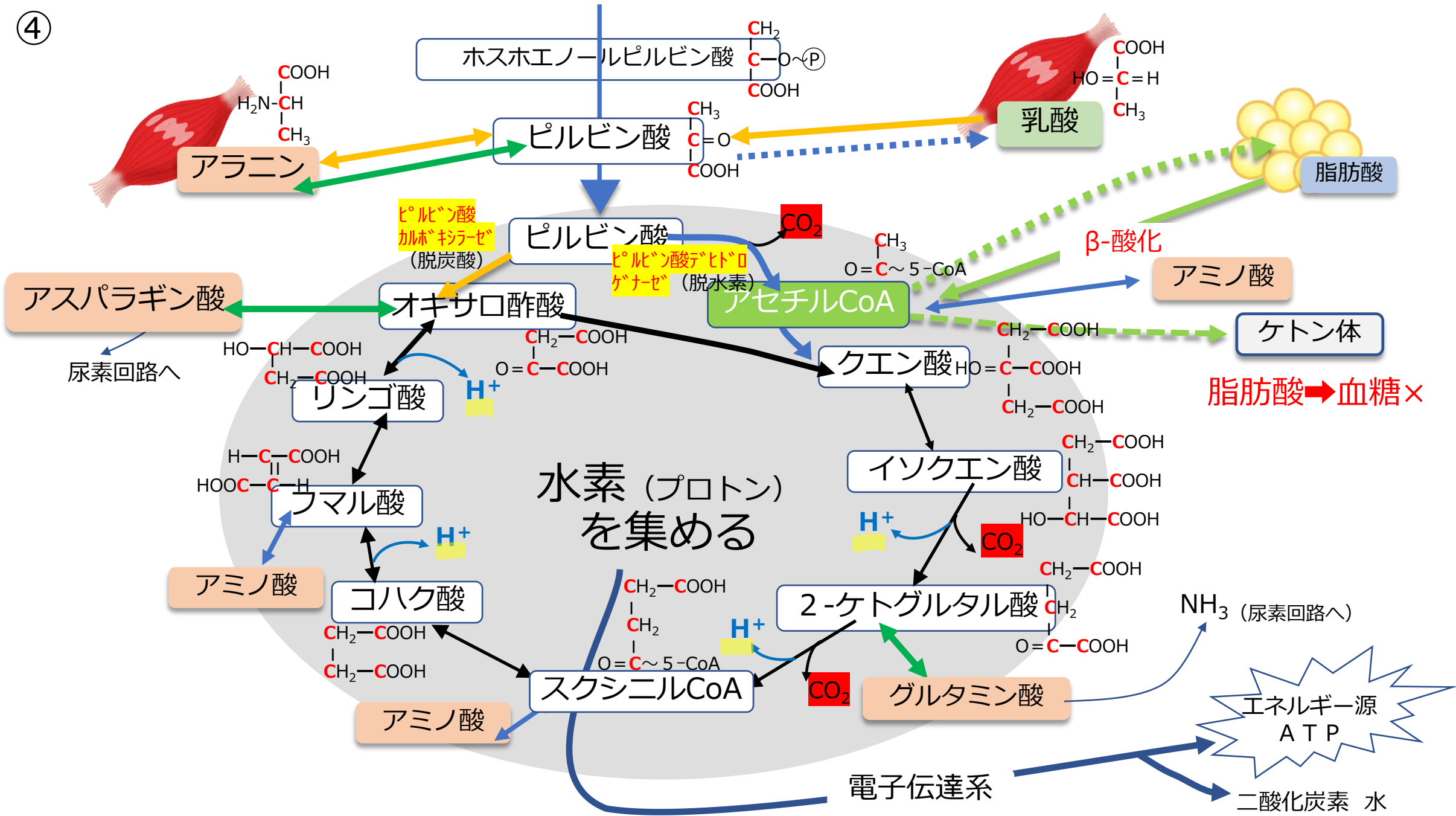
両方の性質をもつアミノ酸 (4個)



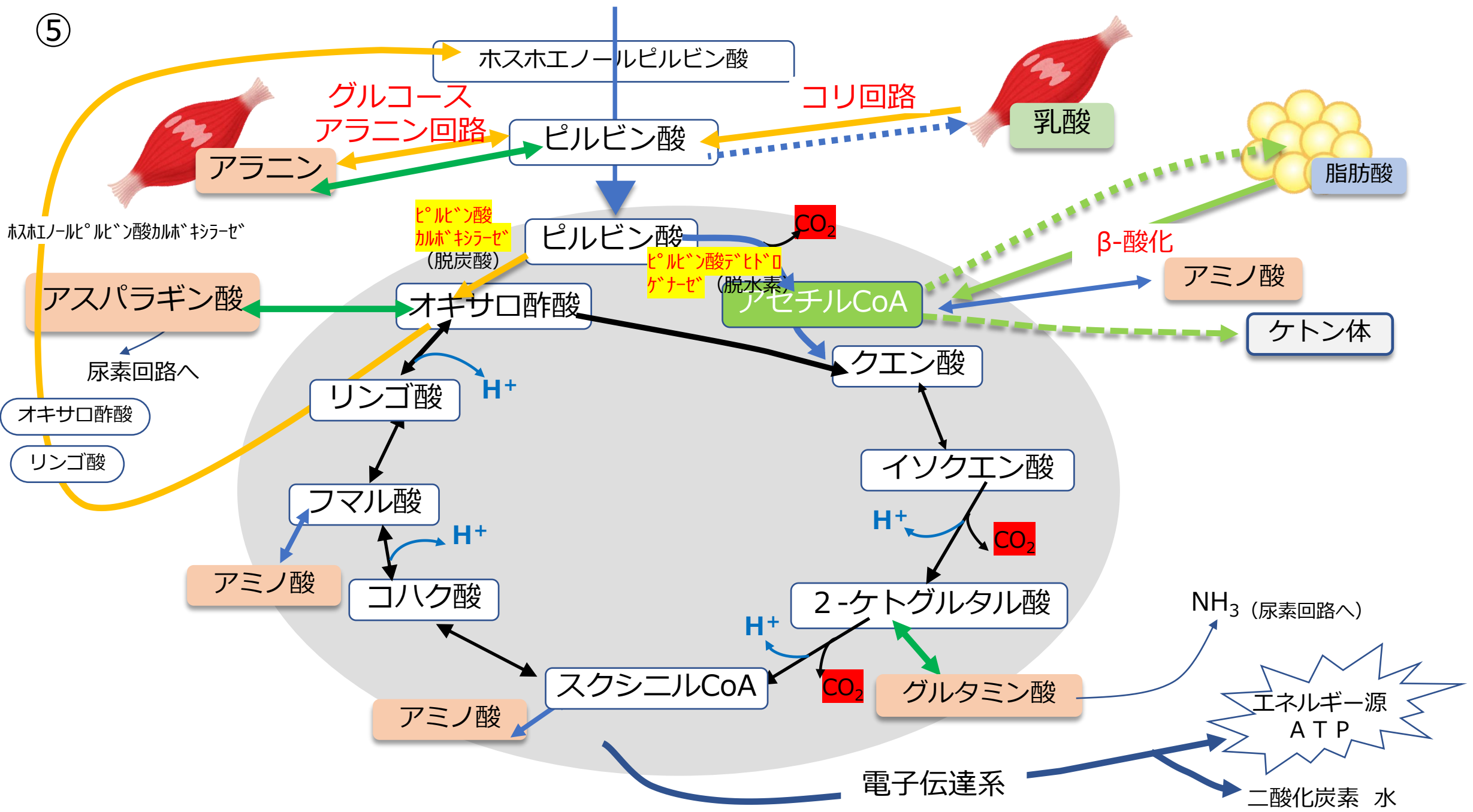
★不可 (必須) 欠アミノ酸



④



⑤



# 体たんぱく質の評価

積極的に病気を治すために必要な代謝がたもたれているか？  
代謝の中心である肝臓のタンパク合成能は？

おまけ

## ■量の評価 TP、Alb、Hb、TC、ChE

脱水がないかBUNと合わせて必ず確認。

食事がとれていて低い場合は、消化ができていいるかどうか考える

## ■質の評価 ALT、AST、LDH

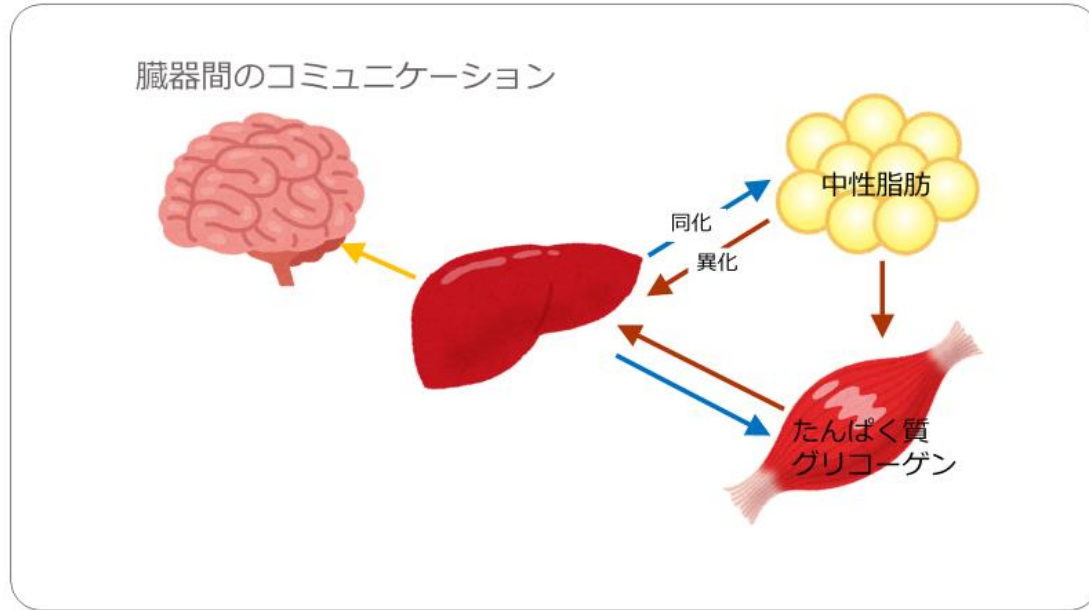
- ① AST $\div$ ALT (20~25ぐらいで、差が2以下が理想的)
- ② AST $>$ ALT (差が3以上) ビタミンB群代謝不足
- ③ AST $<$ ALT 脂肪肝、ウイルス肝炎
- ④ AST $>$ 40 心不全、筋肉障害
- ⑤ AST $\uparrow$  ALT $\downarrow$  ビタミンB群消費 $\uparrow$

AST、ALTは $\uparrow$ でも $\downarrow$ でも  
補給を考える

②+③の状態があれば  
一見①に見えることがある

## ■バランス BUN、Cr、A/G比

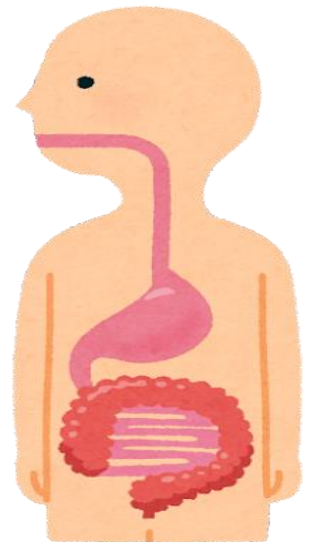
# 終わりに



この調節にホルモン・神経系が  
関与している

- 細胞（たんぱく質）は毎日作り替えられている  
➔同化と異化は同時並行
- 人間は体を動かすことを前提に作られている  
メイン器官：筋肉組織  
バックアップ器官：脂肪組織
- 最も使いやすい栄養素は糖（グルコース）  
外部補給：食べ物  
内部補給：糖新生
- エネルギー代謝の調節  
機能維持：疾病回復、運動時  
機能破綻：糖尿病、脂質異常症

マクロの視点も大事  
（消化吸収・腸内細菌叢）



# 参考資料

- リコピンコットシリーズ イラストレイテッド生化学 [原書4版] , 石崎泰樹/丸山敬監訳,丸善株式会社,2008
- ブラウン生化学,新井洋由監訳,化学同人,2019
- 一目でわかる医科生化学,西澤和久訳,メディカル・サイエンス・インターナショナル,2007
- ポケットアトラス栄養学,北原健/阿部博幸監修,ガイアブックス,2014
- 忙しい人のための代謝学,田中文彦著,羊土社,2020
- 糖尿病はグルカゴンの反乱だった,植田太郎著,星和書店,2019