

## 呼吸について

地球誕生時の大気には今より少ない酸素濃度しか存在していなかった。しかし、植物のような光合成を行うものが出現したことで大気には徐々に酸素が蓄積された。

本来、酸素は強い酸化力を持つ毒性の強い気体である。しかし、一部の生物は酸素を利用した酸化過程で大きなエネルギーを利用するようになり、酸素を利用した代謝のできる生物は細胞内のミトコンドリアにより炭水化物を酸化し、最終産物として二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) と水を排出した。

ちなみに、青酸 (シアン化水素酸) はミトコンドリアの電子伝達系を阻害するため、好氣的な生物にとって猛毒である。

## 細胞呼吸の代謝系

呼吸代謝には大きく分けて以下の 3 つの代謝が関わる。糖類はこれらの代謝系によって二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) および水にまで分解され、その過程で ATP が生産される。

### ● 解糖系

細胞質基質で行われる酸素を使わない糖の酸化過程。

### ● TCA回路

ピルビン酸などから変換されたアセチル CoA を二酸化炭素に分解する酸化過程。

真核生物ではミトコンドリア基質で、原核生物では細胞膜近辺で行われる。

### ● 酸化的リン酸化

NADH等の水素受容体を酸化し、酸素に電子を伝えて水を生成する過程を「電子伝達系」と呼ぶ。それと共役してATP合成酵素によりATPが生成する。

真核生物ではミトコンドリア内膜で、原核生物では細胞膜で行われる。

高校の生物では「酸化的リン酸化」という言葉を用いず、ATP合成酵素反応全体を含めて「電子伝達系」と呼んでいる。

なお、脂肪酸などの有機酸の酸化においては、解糖系の代わりにβ酸化 (大部分の反応がミトコンドリア基質で行われる) がかわる。

## TCA回路とは

Wikipedia 他 参照

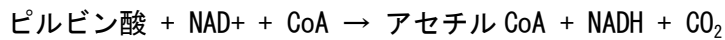
クエン酸回路とも言い、好氣的代謝に関する最も重要な生化学反応回路であり、酸素呼吸を行う生物全般に見られる。1937年にドイツの化学者ハンス・クレブスが発見し、この功績により1953年にノーベル生理学・医学賞を受賞している。

解糖や脂肪酸のβ酸化によって生成するアセチル CoA がこの回路に組み込まれ、酸化されることによって、電子伝達系で用いられるNADHなどが生じ、効率の良いエネルギー生産を可能にしている。またアミノ酸などの生合成の前駆体も供給する。

クエン酸回路の呼称は高等学校の生物学でよく用いられるが、大学以降では TCA 回路、TCA サイクル (tricarboxylic acid cycle) と呼ばれることが多い。その他に、トリカルボン酸回路、クレブス回路 (Krebs cycle) などと呼ばれる場合もある。

### 反応系

クエン酸回路はアセチル CoA が反応系に組み込まれることで始まる。  
それに先立って、解糖系で生成したピルビン酸は以下の式でアセチル CoA となる。

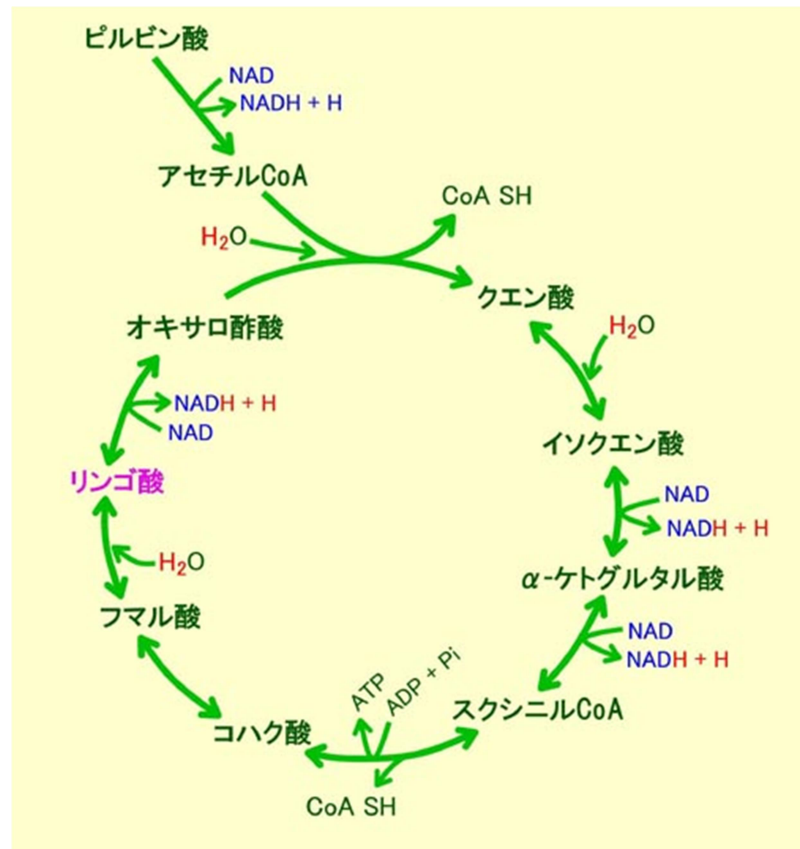


この反応はピルビン酸デヒドロゲナーゼ複合体により触媒される。  
また、脂肪酸のβ酸化でも脂肪酸アシル CoA からアセチル CoA が生じる。

クエン酸回路の反応は

1. オキサロ酢酸
2. クエン酸 (アコニット酸)
3. イソクエン酸
4. α-ケトグルタル酸
5. スクシニル CoA
6. コハク酸
7. フマル酸
8. リンゴ酸

(奥井朝子不倫で覚える。)



### TCA回路とNADH, FADH<sub>2</sub>

クエン酸回路以降の代謝回路は最終生成物のATPを生み出すために分子酸素 (O<sub>2</sub>) を必要とする。従って、クエン酸回路とその後の電子伝達系は共に「好氣的」な代謝回路である。

(「回路；サイクル」＝生成物が再び出発物質に使われる閉じた代謝経路。)

クエン酸回路の最も重要な目的は「NADH, FADH<sub>2</sub>などの還元力の強い(電子をいっぱい持った)化合物を大量に調製すること」である。この目的のために、アセチルCoAとしてクエン酸回路に注入された2個の炭素原子 (CH<sub>3</sub>CO) は完全に二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) に酸化されてしまう。作成されたNADH, FADH<sub>2</sub>は電子伝達系で最終的にATPに変換される。

## T C A回路の目的および存在意義

1. アセチル-CoA のアセチル基を酸化し、2 分子の CO<sub>2</sub> に変換する
2. 水素を還元型の補酵素の形 (3 NADH<sub>2</sub>+と FADH<sub>2</sub>) で捕捉する
3. アミノ酸代謝、尿素回路、糖新生など多くの他の経路の仲立ちをする〔代謝の交差点〕ということになる。

解糖と異なり、T C A回路ではA T Pは作られないという点に注意すること。ここで生成した還元型の補酵素は、次の酸化的リン酸化においてはじめてA T Pに変えられる。

## T C A回路の場所

真核生物の場合、クエン酸回路の反応を担う酵素群はミトコンドリアの基質または内膜上に存在している。

同様に、解糖系によって得られたピルビン酸もミトコンドリア内でアセチルCoAへ変換される。



## ミトコンドリアの電子伝達系とATP合成酵素

### 酸化的リン酸化

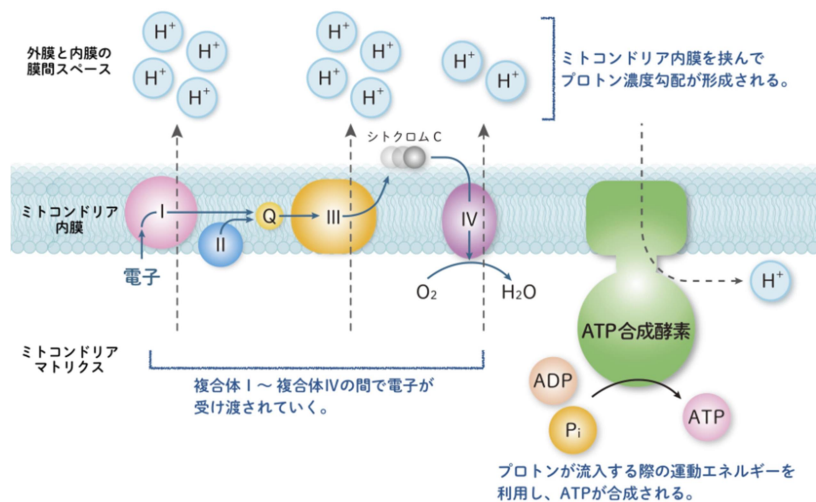
酸化的リン酸化とは、電子伝達系に共役して起こる一連のリン酸化 (A T P合成) 反応を指す。

細胞内で起こる呼吸に関連した現象で、A T Pを産生する回路の一つである。

好気性生物における、エネルギーを産生するための代謝の頂点といわれ、糖質、脂質、アミノ酸などの代謝がこの反応に収束する。

反応の概要は、NADHやF A D Hといった補酵素の酸化と、それによる酸素分子 (O<sub>2</sub>) の水分子 (H<sub>2</sub>O) への還元である。

ミトコンドリアの内膜とマトリックスに生じた水素イオンの濃度勾配のエネルギーを使って、A T P合成酵素によってADPをリン酸化してA T P (高エネルギー化合物) ができる。



## 呼吸によるA T P生成量

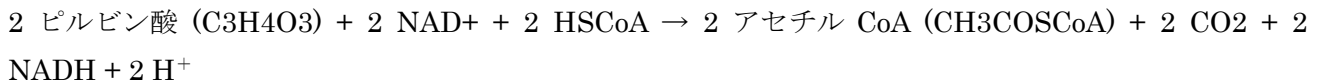
以下にグルコース 1 分子を代表として、ミトコンドリアを有する真核生物の細胞呼吸における物質の収支を示す。

●解糖系（10段階の酵素反応より成る）

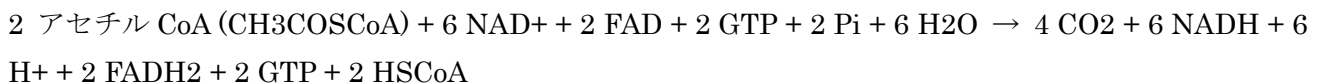
グルコース + 2 NAD<sup>+</sup> + 2 ADP + 2 Pi → 2 ピルビン酸 (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) + 2 NADH + 2 ATP + 2 H<sup>+</sup>  
ピルビン酸から乳酸・エタノールへと発酵する過程も解糖系に含むのが普通である。

●A T P回路

ピルビン酸脱炭酸反応



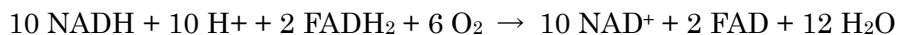
狭義のA T P回路（10段階の酵素反応より成る）



スクシニル CoA 合成酵素を通じて GTP からは当量の ATP が合成される。

●酸化的リン酸化

電子伝達系（4種類の呼吸鎖複合体による3段階の酸化還元反応が関与する）

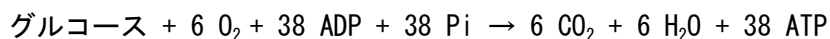


ATP 合成酵素による ATP 合成反応



NADH からは約3当量、FADH<sub>2</sub>からは約2当量の ATP が合成されるとされてきた。

以上の反応をすべてまとめると



すなわち、グルコース1分子から生成されるA T Pは理論的には38個となる。

T C A回路に関する酵素

- 1 クエン酸シンターゼ
- 2,3 アコニターゼ
- 4 イソクエン酸デヒドロゲナーゼ
- 5 2-オキシグルタル酸デヒドロゲナーゼ複合体
- 6 スクシニル CoA シンテターゼ
- 7 コハク酸デヒドロゲナーゼ
- 8 フマル酸ヒドラターゼ
- 9 リンゴ酸デヒドロゲナーゼ

## ビタミンについて

Wikipedia 参照

ビタミンは、生物の生存・生育に必要な栄養素のうち、その生物の体内で十分な量を合成できない炭水化物・タンパク質・脂質以外の有機化合物の総称である（なお栄養素のうち無機物はミネラルである）。生物種によってビタミンとして働く物質は異なる。たとえばアスコルビン酸はヒトにはビタミン（ビタミン C）だが、多くの生物にはビタミンではない。ヒトのビタミンは 13 種が認められている。

ビタミンは機能で分類され、物質名ではない。たとえばビタミン A はレチナール、レチノールなどからなる。ビタミンはほとんどの場合、生体内で十分量合成することができないので、主に食料から摂取される（一部は腸内細菌から供給される）。ビタミンが不足すると、疾病や成長障害が起こる（ビタミン欠乏症）。日本では厚生労働省が日本人の食事摂取基準によって各ビタミンの指標を定めている。

## ビタミンの例

アスコルビン酸（いわゆるビタミン C）は、コラーゲンの生成などの水素運搬体を必要とする多くの代謝経路に必須で、動物の生存に欠かせない生理活性物質である。ほとんどの哺乳類にとって体内で合成されて必要をまかなう物質でありビタミンではないが、ヒトはこれを合成する代謝経路を持っておらず、体外から食物としての摂取が生存上必須となっておりビタミンに定義される。

またカロテノイド（ビタミン A）は、全ての生物の細胞内の代謝経路において重要な役割を果たす。植物界生物は、自らの代謝経路において合成することによってカロテノイドを自給しており、それらにとってはビタミンではないが、全ての後生動物（動物界から原生動物を除いた生物）はこの代謝経路を喪失しており、他の生物を捕食することによって摂取するため、カロテノイドはビタミンである。

## ビタミンの機能

ビタミンの多くは、生体内において酵素がその活性を発揮するために必要な補酵素として機能する。したがってビタミン欠乏症に陥ると、ビタミン類を補酵素として利用する酵素が関与する代謝系の機能不全症状が現れてくる。

## ビタミン欠乏症のゴロあわせ、覚え方

A する夜	A : ビタミン A	夜 : 夜盲症			
なんか来るでー	なんか : 骨軟化症	来る : くる病	でー : ビタミン D		
いーケツ、良いケツ	いーケツ : ビタミン E 欠乏	良いケツ : 溶血性貧血			
出血 K 向	出血 K 向 : 出血傾向	K : ビタミン K			
敏腕駆け出しウェルカム	敏腕 : ビタミン B1	駆け出し : 脚気	ウェルカム : ウェルニッケ脳症		
ブツブツ内閣	ブツブツ : ビタミン B2	内 : 口内炎	閣 : 口角炎		
髭にペラペラビーサン	ひ : 皮膚炎	げ : 下痢	に : 認知症	ペラペラ : ペラグラ	ビーサン : ◎ビタミン B3
住人は凶悪ハンター	住人 : ビタミン B12	凶 : 巨赤芽球性貧血	悪 : 悪性貧血	ハンター : ハンター舌炎	
ビシッと、正解は米 !	ビシッ : ビタミン C 欠乏症	正解 : 成人は壊血病	米 : 子供はメラーバーロー病		

## ビタミンの一覧

ヒトのビタミンは13種類。ビタミンは脂溶性ビタミンと水溶性ビタミンに分類される。

### 脂溶性ビタミン

ビタミンA: レチノール、 $\beta$ -カロテン、 $\alpha$ -カロテン、 $\beta$ -クリプトキサンチンなど

ビタミンD: エルゴカルシフェロール、コレカルシフェロール

ビタミンE: トコフェロール、トコトリエノール

ビタミンK: フィロキノン、メナキノンの2つのナフトキノン誘導体

### 水溶性ビタミン

ビタミンB群    ビタミンB1: **チアミン**

                  ビタミンB2: **リボフラビン**。ビタミンGともいう。

                  ビタミンB3: **ナイアシン**。ビタミンPPともいう。

                  ビタミンB5: **パントテン酸**

                  ビタミンB6: ピリドキサール、ピリドキサミン、**ピリドキシン**

                  ビタミンB7: **ビオチン**。ビタミンBw、ビタミンHともいう。

                  ビタミンB9: **葉酸**。ビタミンBc、ビタミンMともいう。

                  ビタミンB12: **シアノコバラミン**、メチルコバラミン、ヒドロキソコバラミン

ビタミンC        **アスコルビン酸**

### ビタミン様物質

以下には過去に誤ってビタミンと考えられた物質を挙げるが、俗にビタミン様物質と呼ばれているものはこれらに限らない。

ビタミンB4: **アデニン**

ビタミンB10: **葉酸を含む混合物**

ビタミンB13: **オロト酸**

ビタミンB15: **パンガミン酸**

ビタミンB17: **アミグダリン**

ビタミンBP: **コリン**

ビタミンBX: **パラアミノ安息香酸**

ビタミンI: **米糠の抽出物**。

ビタミンL1: **アントラニル酸**

ビタミンN: **チオクト酸 ( $\alpha$ -リポ酸)**

ビタミンP: **フラボノイド (ポリフェノール)**

ビタミンS: **サリチル酸**

ビタミンU: **キャベジン**

ビタミンB8: **エルガデニル酸**

ビタミンB11: **葉酸類似化合物**

ビタミンB14: **葉酸・リポ酸などの混合物**。

ビタミンB16: **現在欠番**

ビタミンBH: **イノシトール**

ビタミンBT: **カルニチン**

ビタミンF: **リノール酸などの必須脂肪酸**

ビタミンJ: **カテコール、フラビンまたはコリン**

ビタミンL2: **アデニルチオメチルペントース**

ビタミンO: **カルニチンと同物質**

ビタミンQ: **ユビキノン**

ビタミンT: **テゴチン**

ビタミンV: **ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド**