

1S1 生命科学 I シケプリ

2016 年度入学理 2,3-4 組、生命科学 I のシケ対の者です。このシケプリは、基本的には生物未履修者を対象に、教科書を軸に試験範囲をまとめなおしているもので、教科書を見なくても試験範囲が「おおよそ」理解でき、ちゃんと読み込めば単位がとれること、を目標に作っています。なので、生物既習者には冗長な点があるかもしれません。そういった場合は、シケプリを活用せず、他の科目の勉強時間に充てるといいのではないかと思います。また、当方は生物既習ですので、前述の目標を達成できるよう気を遣ってはいるつもりですが、未履修者の方々には説明が不十分と思われる点があるかもしれません。その点ご理解頂ければと思います。

ちなみに黒太字は教科書でも黒太字になっているなどするところで、赤太字はその中でも特に（個人的見解で）重要な部分です。

…まあ、ちゃんと読み込めば単位がとれるとか偉そうなことを書きましたが、あくまで目標ですし、シケプリはサポート教材ですのでそこまであてにしないで下さい、お願いします。個人の解釈が入ってしまっている可能性もあるので…

第 I 部 生命科学の基本概念

1 章 生物の基本概念と基本構造

1.生物の多様性と共通性

(イントロダクション的な感じなのでそんな読まなくてもいいです)

- ・生命科学=自然(物質)科学によって生物を説明することを試みる分野

- ↳自然の心理を見つけ出す合法的な方法

- ・現在約 180 万種が認識され、実際には 1000 万～1 億ほどの種が存在すると言われる**多様性**をもつ生物だが、多くの**共通性**もある。

- ↳この多様性は、**38 億年前**に**原核生物**が誕生し、**10 億年前**に**多細胞生物**が誕生し…という世代交代していく進化の歴史の中で生じた

・生物のサイズ

(特に上のほうとか正直種によるとは思うんだけど、まあプリントに載ってるので一応ざっくり書いておきます)



・バイオナノマシーン=固有の構造を持ちながら大きな自由度を持つ

↳nm サイズなので熱の揺らぎが効いてくる

・進化に関する生命の2つの考え方

- ・**生氣論**…生命が物理・化学を超越した何かにより進化したという考え方(目的論的)
例)定向進化説(=生命は本来持つ目的によって進化する)
- ・**機械論**…生命を物理・化学法則にしたがう要素からなると理解する考え方(因果律)
例)ダーウィン進化論(=自然選択で残ったものが生き残る)

では次項で生物の一番大きな「共通性」と言える生物の定義から見ていきましょう。

2.生命の基本的属性

☆生物の定義←すごく大事なので覚えてください。

- ①**細胞膜**に包まれた**細胞**を**基本単位**とする
- ②自分と同じ形の生物を生む**自己増殖**能力を持つ
- ③**DNA**を介して生命活動に必要な情報を**遺伝**させる
- ④呼吸や光合成などのように外界の物質からエネルギーや体を作る**代謝**を行う
- ⑤**環境変化に応答**し外界と異なる内部環境を保つ**恒常性**がある

…現在の生物学の世界では、ヒトの**ゲノム**(=生物が生存に必要な遺伝子1セット、例えばヒトではこれが2セットあります)の塩基配列はすでに解読されているので各遺伝子ではなく遺伝子セット全体を対象としたり、種間のゲノム比較を行ったりするような**ゲノミクス**というアプローチへ移行してきている。

3.生命を構成する物質

- ・生物の多くは**7割が水**できている
←脂質を除き生体分子は極性分子なので親和性が高い
- ・それぞれの成分の詳しい働きは後々やりますが構成成分は下記(教科書 P20 表 1-1 より)
水 70%
タンパク質 16%
他の高分子(核酸・多糖) 10%
無機イオン 1%
低分子の糖質 1% ...etc

4.細胞=細胞膜に包まれた生物の基本単位(2.①の復習)

・細胞膜…動物細胞などでは細胞の一番外側の構造体。**選択的透過性**を持ち(物質ごとに透過性が違う)、細胞外との物質のやり取りや刺激の受容、他細胞との接着などをする。

Cf.ATPを使わない**拡散**による輸送が細胞内では頻繁に起こる(細胞が小さいほど効果的)

Cf.植物細胞や多くの細菌では、その外側に細胞壁(=炭水化物でできた細胞の形を支持する構造体)などをもつ。植物細胞の細胞膜の外側の空間は特に**アポプラスト**という。

・遺伝情報…すべての生物がDNAの形で持つ。遺伝情報はA,T,G,Cという4種の**塩基**を持つそれぞれの**ヌクレオチド**の配列で決まる。この遺伝子配列がタンパク質をコードしており、DNAからRNAに**転写**、RNAからタンパク質に**翻訳**される一連の流れを**遺伝子発現**という。

5.原核生物と真核生物

・原核生物

…DNA を包む**核膜**を持たない(=つまり核がないように見える)、**細胞内小器官**をもたない
=原核生物内に存在するのは、丸出しの DNA と、それを翻訳(=前項にあるように DNA から転写された RNA をタンパク質に変換する過程のこと)する過程で必要なリボソーム程度

・真核生物

…DNA を包む**核膜**があるだけでなく**細胞内小器官**もある

←原核生物に原核生物が取り込まれて1つの生物になったと考えられている(=細胞内共生)

Ex.ミトコンドリアや葉緑体(元々それぞれ好気性細菌、原始シアノバクテリアで、それが原始の真核生物に取り込まれたと考えられている)

※好気性細菌…酸素を利用して代謝する細菌

6.単細胞生物・多細胞生物にみられる階層性

…生命には組織化に**階層性**があり、**重層構造**を成している。そして、下位レベルで見られない現象が上位レベルで見られるという創発特性がある。

・例えば多細胞生物の場合…

生体分子<細胞内小器官など<細胞<**組織**<**器官**<**個体**<生物個体群など<生態系

7.種概念

生物学的概念では、「生殖可能な子孫を残すことができる」個体をまとめて「種」とよぶ

8.生物の系統と分類

…かつては生物を動物、植物、菌、原生生物、モネラとわかる**5界説**が主流だった

⇔リボソーム RNA の**分子系統解析**により、真核生物、細菌、古細菌という**3ドメイン**に分けるやり方が主流になりつつある

9.進化

DNA 複製時のエラーである**突然変異**が遺伝され、自然選択に対して有利に働けば、それが進化につながりうる→多様性に繋がる

2章 生命の増殖と恒常性

1.細胞の増殖

- ・細胞増殖

…細胞分裂(=DNAを含む細胞の全成分を2倍にして2分する過程)による Cf.生物の定義②

↳先に染色体が2極(※1)に分かれてから細胞質(※2)分裂が起こる

細胞分裂の1サイクルを細胞周期という

※1:卵細胞の極体(※3)を生ずる側を動物極、反対側を植物極という

※2:細胞膜の内側の領域のうち、核の外の領域

※3:卵細胞が生じる過程(=減数分裂)で生じる小さな細胞。退化して消える。

- ・原核細胞の分裂

(㊦原核細胞=核膜を持たない細胞)

…原核細胞のDNAは環状、複製が終わるとori(複製起点)からDNAが細胞の両端に移動

→その後、細胞質も二分される Cf.原核生物の大腸菌の規模は $1\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}$

…細胞周期は外部環境で変化・開始シグナルも外部因子

- ・真核細胞の分裂=有糸(体細胞)分裂と減数分裂

*有糸分裂:細胞数を増やす真核生物の一般的な細胞分裂機構

…原核生物と違い、分裂は環境条件が良くても絶え間なく行われるわけではない。

また、核膜・線状の染色体が存在し、DNAの複製・核分裂後に細胞質分裂が起こる。

- ・有糸分裂の細胞周期

間期のS期(=DNA合成期):DNAを含むクロマチンや中心体(動物細胞と一部の植物細胞に存在する構造体)が2倍に複製。

M期(M期はさらに細分化した時期を考えられるので以下そのように記す)

前期:クロマチンが凝縮して、染色体として見えるようになる。

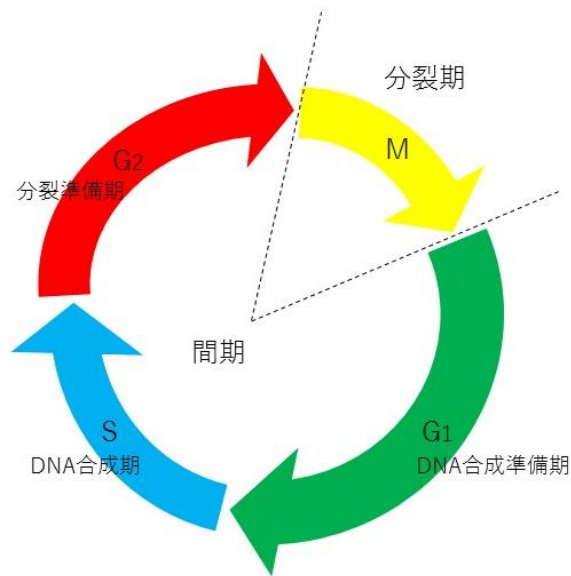
前中期:核膜崩壊が起こり、(中心体があるあるものでは)中心体を起点にして紡錘体が形成され始める。

中期:姉妹染色体(※4)が赤道面(=分裂する面)で整列

後期:染色分体が分離、紡錘体両極に引っ張られる

終期:紡錘体消滅、核膜形成、細胞質分裂(動物細胞では細胞膜の陥入、植物細胞では分裂面にしきりとなる細胞壁の元になるフラグモプラストの形成が起こる)

※4:複製元の染色体と複製された染色体の、遺伝的に同一な染色体のセット



* 減数分裂：生殖系列細胞を作るための細胞分裂機構

↳次世代に遺伝情報を伝えるための細胞群(配偶子)⇔cf.体細胞

…通常の細胞分裂では遺伝的に同一の細胞が2つ生じる

⇔減数分裂では配偶子が4つ生じる(2回の分裂を1セットとみなすため)

・減数分裂の過程

☆有糸分裂と大きく異なるのは、最終的なDNA量が通常の細胞の半分になるという点、

第一分裂時の対合によって核相(次項参照)が半分になるという点なので、そこに注意

第一分裂：核相が半分になる過程、2細胞になる

前期：複製されたクロマチンの凝縮

前中期：相同染色体(※5)同士が対合(この状態の染色体を二価染色体という)

乗り換え(※6)が起こる(接着領域=キアズマ)

中期：紡錘体中央に染色体が並ぶ

後期：相同染色体の分離(姉妹染色体はくっついたまま)

終期：いったん核膜ができる、2細胞に

第二分裂：第一分裂に引き続いて起こる。つまりここではDNA量は倍加されていない

前期：クロマチンの凝縮

中期：紡錘体の中央に染色体が並ぶ

後期：姉妹染色体の分離

終期：核膜形成、第一分裂で生じた各2細胞から2細胞ができるので、配偶子は4つ

※5:外形の等しいペアになる染色体のセット。ヒトの常染色体には1番から22番まで

番号が振られている(残り 2 本は**性染色体**)が、これには両親それぞれ由来のものが一本ずつあって、この同じ番号のものが相同染色体に該当する。

※6:相同染色体同士が交差して一部が入れ替わること。これにより遺伝子の組み換えが起こり、4 配偶子の遺伝子が異なるものになる

→体細胞分裂で生じる 2 細胞が遺伝的に同一であることで保たれていた頑健性は下がる代わりに遺伝的に**多様**になる

2.有性生殖と無性生殖

・核相

何組の染色体のセットがあるかということ。染色体の 1 セット(=**ゲノム**)を通例 **n** と表す。

2n を複相、その細胞を**二倍体**、**n** を単相、その細胞を**一倍体**などという。

例.ヒトの体細胞は $2n=46$ の複相

↳ $2n=46$ は形式的な表し方なので、 $n=23$ などと解かないでください

ヒトの配偶子である卵・精子は $n=23$ の単相←減数分裂による

・**有性生殖**：異なる個体に由来する細胞の融合による生殖

…通常の細胞が融合すると DNA 量が二倍になり、不都合が生じる

→減数分裂による配偶子を用いる

・卵と精子のように二種類の配偶子の形がはっきりと異なる**異形配偶**と配偶子が区別できない**同型配偶**がある

※有性生殖では遺伝的多様性の面で有利に働く(自分の持っていない生存に有利な遺伝子を相手が補ってくれるかもしれない)

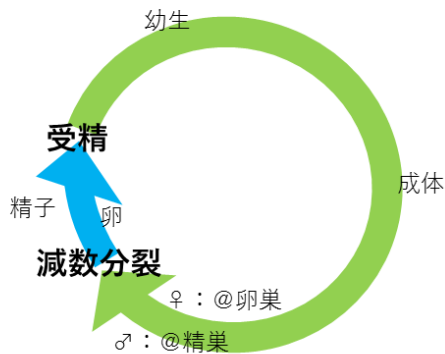
・**無性生殖**：細胞の分裂による増殖(=親の細胞と子の細胞が遺伝的に同一)

例.単為生殖,栄養生殖

3.生物の生活環

☆**生活環**=生物の成長や生殖で核相が移り変わることを含め、生活史を環状で表したもの

・二倍体が優勢な生物 例.ヒト,カエル,種子植物(=被子植物+裸子植物)



←このように二倍体が優勢な生物では
2n の世代(黄緑色)で体を作るが、n の
世代(水色)は配偶子のごくわずかな期
間でしかない

- ・二倍体・一倍体がどちらもある生物 例.シダ植物,出芽酵母

シダ植物:通常見える二倍体(胞子体)から生じた胞子が発芽して一倍体の配偶体ができる

↳前葉体(※7)

→配偶体の造卵器・造精器から生じた配偶子が受精して二倍体に戻る世代交代

出芽酵母:栄養条件が悪くなると接合型(≒性別)の違う配偶子が接合して二倍体を作る

※7:シダ植物の一倍体の世代。ハート形の葉みたいな姿をしてる。

- ・一倍体が優勢な生物 例.コケ植物

4.胚発生による多細胞の形成

↳1個の受精卵→繰り返し細胞分裂(受精卵の初期の細胞分裂=卵割)→多細胞体、の過程
…多細胞体では様々な器官や組織に分化していく形態形成が起こる

5.外部環境と内部環境の恒常性

- ・外部環境:生物体の外 例.空気,温度
- ・内部環境:生物体内の細胞を取り巻く環境 例.血液,組織液

↳これを一定に維持することで生体が一定に保たれる(=恒常性(ホメオスタシス))

…維持には神経系(即時的),内分泌系(遅延性だが効果が持続),免疫系(生体防御鵜)が不可欠

6.恒常性のしくみ

- ・外部環境の変化を体液が緩衝するように働く

↳細胞内液

- ・細胞外液…細胞を浸す細胞間液と体内を循環する脈管内液

3章 個体—環境相互作用

1.生物圏と環境への適応

↳地球上で生物が生息している領域

- ・環境形成作用：生物が生活することで環境条件を変えていく働き
- ・自然選択：その時の環境で生存に有利な生物が不利な生物に対して繁殖すること
- ・適応：自然選択で選ばれた遺伝的性質が環境に適合していること
…特に、いくつもの形質がセットとなって適応していることを**適応戦略**という
- ・**r-選択種**：気候・餌量の変動が激しい幼少期の生存率が低い環境に適応した生物
卵をたくさん産む戦略をとっている種(少卵多産型)
- ・**K-選択種**：環境条件が安定しており、餌・棲み場所の争いが激しい環境に適応した生物
一匹の子供を確実に育てる戦略をとっている種(大卵少産型)

※上2つの項の **r** と **K** はロジスティック方程式の内的増加率(**r**)と環境収容力(**K**)に由来

※ロジスティック方程式： $dx/dt=r(1-N/K)N$ (N:個体数,t:時間,r:内的増加率,K:環境収容力)

- ・環境応答(順化)：環境になるべく適応した形質を発現すること
※適応は遺伝子レベルで環境に合わせるが、環境応答は表現型(形質)の可塑性による
 - ・(正の)光屈性：植物などが光の方向に向かって体を成長させていく性質
 - ・(正の)光走性：藻類の細胞などが光のほうに集まる性質

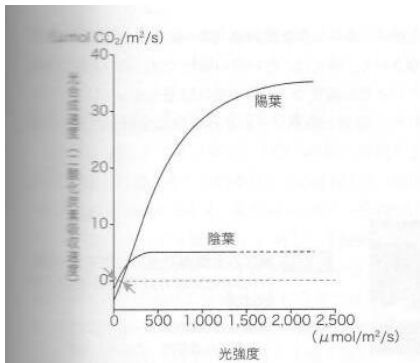
2.生態系の構造と動態

- ・生態系=生物群集+無機的环境(=生物をとりまく環境)
- ・食物網：複雑な網目状被食と物質循環の関係
 - *主な構成員
 - ・生産者：光合成によって無機物から有機物を合成する
 - ・一次消費者：生産者を食べる植物食動物
 - ・二次消費者：植物食動物を食べる肉食動物
 - ・高次消費者：さらに上の段階の消費者
 - ・分解者：生物の遺骸や排出物を分解,生産者が利用できる無機物に還元

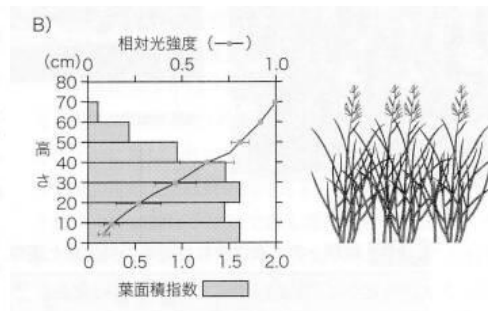
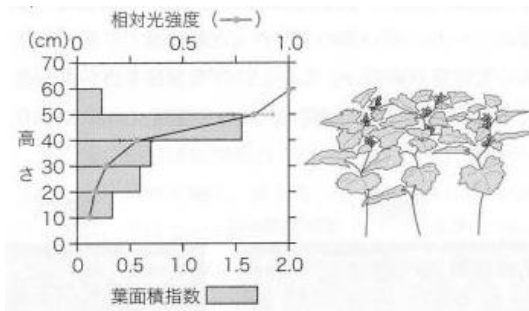
↳by デトリタス食者

- ・生態ピラミッド：単位期間に利用するエネルギーを各栄養段階(※1)でまとめたもの
…**10%の法則**(上の栄養段階に取り込まれるエネルギーは10~15%程度にすぎない)が成立
※1：生産者、一次消費者、二次消費者…の被食・捕食のある段階。
高次消費者ほど上の栄養段階。
- ・総(一次)生産：生産者の光合成により獲得された有機物の量

- ・純(一次)生産=総生産-生産者の呼吸量
- ・光-光合成曲線：光の強さと光合成量の関係を表したグラフ



- ・光飽和：この曲線が水平になってる、光強度をあげても光合成速度が上がらない状態
- ・光補償点：光合成速度と呼吸速度の差し引きがちょうどゼロになる光の強さ
=見かけの光合成速度がゼロ
- ・葉面積指数：一定の土地面積の上に存在するすべての葉の面積の割合
- ・生産構造図：高さごとの葉面積指数の棒グラフと光の強さの折れ線グラフを合わせた図
…高い層に葉が多い**広葉型**と細い葉が斜めに生え、低い層に葉が多い**イネ科型**がある



- ・葉の種類(同一植物内に両方つく。各場所の光の強さでどちらかが違う。)
- ・陽葉：強い光の下で育った厚い葉。光飽和での光合成速度,呼吸速度,光補償点が高い
- ・陰葉：弱い光の下で育った薄い葉。光飽和での光合成速度,呼吸速度,光補償点が低い
- ・バイオマス：単位面積当たりの現存量(生物体の重量)

第Ⅱ部 生命現象のしくみ—遺伝,膜構造,代謝を中心に

4章 タンパク質と酵素

- ・ヒトの構成元素：**O,C,H,N**(核酸・タンパク質) 99% ←生命の化学現象は主に有機化学
S(タンパク質(システイン・メチオニンを含む)),P(核酸(リン酸を含む))

⇨Cf.地殻の構成元素：O,Si,Al,Fe

※なぜCが生物に使われている？…軽い、酸素化合物作りやすい、反応速度が大きい etc...

- ・ヒトの構成分子
 - ・水分子…電氣的に**中性**,O と H の**電気陰性度**が異なる**極性分子**,**水素結合**を作る
 - ・生体内の**反応場**は**水溶液**であり、溶媒として非常に重要
 - ・**比熱が高い**(=温まりにくく冷めにくい)ので緩衝作用として役立ち、環境も**安定**
 - ・水分子同士の**凝集力・表面張力**が強く、**重力に抗して**水を運べる
 - ・氷は水より密度が小さく、水の上に浮くので、海や湖沼は完全凍結しにくい
 - ・**親水性 Hydrophilic**：水に溶けやすい性質←イオン性分子・極性分子の電化作用
 - ・**疎水性 Hydrophobic**：水に溶けにくい性質,非極性結合が優勢な分子(炭化水素など)
 - ・脂質：**水に溶けない(非極性)**分子の総称→協会になりうるので生体膜を成す
 - ・糖質：単糖,二糖,オリゴ糖類,多糖類,糖タンパク質(血液型※1)など
 - ※1:血液型ごとに赤血球の細胞膜の糖鎖が異なる(=**抗原**※2 となる)
 - ※2:免疫などで働く生物の持つ**抗体**が働きかける特定の物質

1. タンパク質

↳生体内では量が多いだけでなくほとんどの細胞機能を司るので重要

- ・基本単位：**アミノ酸**
 - …生体内のタンパク質を構成するアミノ酸は**L型アミノ酸**(※3),**αアミノ酸**(※4)で**20種**。
塩基性基と酸性基を両方持つ**両性電解質**で、水溶性が高い
また、側鎖の種類によっていくつかに分類できる
塩基性側鎖アミノ酸：リシン,アルギニン,ヒスチジン
酸性側鎖アミノ酸：アスパラギン酸,グルタミン酸
非荷電極性側鎖アミノ酸：チロシン,アスパラギン,グルタミン,セリン,スレオニン
 - ※3:**D型**と**光学異性体**の関係。人の大脳の遊離型セリンの20%はD型など例外もある
 - ※4:アミノ基とカルボキシ基が同じ炭素に結合したアミノ酸。
- ・**ペプチド結合**：2つのαアミノ酸間での脱水縮合=タンパク質はアミノ酸の**重合体**

(アミノ酸 2 つでジペプチド, 3 つでトリペプチド, 数個でオリゴペプチド,
数百~数千でポリペプチド(=タンパク質))

…ペプチド鎖の末端の、自由なアミノ基,カルボキシ基が残っている方を各々**アミノ末端**
(**N 末端**),**カルボキシ末端(C 末端)**という

・タンパク質の構造

- ・ **一次構造** : アミノ酸のつながり・配列
- ・ **二次構造** : ペプチド鎖が空間的に折りたたまれた一定の構造
 - ・ α ヘリックス : N-H が同じペプチド鎖の 4 つ離れたペプチド結合の C=O と **水素結合**
 - ・ β シート : シート内の隣り合った鎖の間で **水素結合**
- ・ **三次構造** : 二次構造をなすペプチド鎖が作るより整然とした 3 次元の空間的構造
- ・ **四次構造** : 三次構造のペプチド鎖が複数集まって一定の会合状態になった構造

…二次構造~四次構造は、総称して**立体構造**と呼ばれる(←タンパク質で最重要!)

↳水素結合,ファンデルワールス力などの**弱い結合**による

・生体内の反応に重要な 4 つの非共有結合(弱い化学結合,形と機能を決める)

- ・ 水素結合
- ・ イオン結合
(部分的でも)完全に**荷電**した基間の結合,水分子等と**相互作用**で溶液中では非常に弱い
- ・ ファンデルワールス引力
1pN×nm より弱く 25°C溶液内で簡単に切れる,近づけすぎると**強く反発**する
- ・ 疎水結合
水中の水素結合からの反発により疎水基に**見かけ引力**が生じる

2.生物の生き様を決める様々な酵素

・ 酵素の分類…大まかに 6 種類に分けられる

- ① 酸化還元酵素(オキシドレダクターゼ)
- ② 転移酵素(トランスフェラーゼ)
- ③ 加水分解酵素(ヒドロラーゼ)
- ④ 付加脱離酵素(リアーゼ)
- ⑤ 異性化酵素(イソメラーゼ)
- ⑥ 連結酵素(リガーゼ)

・ **代謝** : 生体内での**物質・エネルギー**変換,一連の生化学反応 by **酵素**

↳仕事をする/変化をもたらす能力

…保存された位置エネルギーと運動エネルギーは**相互変換**可能

…酵素による反応なので、アミノ酸 1 つ違って**構造**が少し変わると**機能**にも大きな違い
例.お酒の代謝 ※未成年飲酒 ダメ、絶対。は勿論、遺伝的に飲めない人もいるという話

本来はエタノール→アセトアルデヒド→酢酸、と分解される
(それぞれアルコール脱水素酵素(ADH),アセトアルデヒド脱水素酵素(ALDH)が働く)

⇔ALDH2(ALDHのうちアルコール分解に主に関与する酵素)を構成する517個の
アミノ酸のうちの487番目のたった1つが**グルタミン酸**から**リシン**に変異すると
エタノールから生成された生体にとって有毒なアセトアルデヒドが分解できない
…これがホモ接合体(※5)だとお酒が全然飲めない。ヘテロ接合体(※6)も弱い。

※5:遺伝子対の両方が同じ遺伝子型の個体。

※6:遺伝子対の双方の遺伝子型が異なる対立遺伝子となっている個体。

Cf.ADHの遺伝子が不完全でエタノールすら分解できない、最も下戸タイプもある

・代謝の種類

・同化反応:単純な分子+エネルギー→複雑な分子 …秩序・複雑さ↑,エネルギー入力
例.光合成(二酸化炭素・水から炭水化物合成,化学結合にエネルギー蓄積)

・異化反応:複雑な分子→単純な分子+エネルギー …無秩序↑,エネルギー放出
例.呼吸(炭水化物を二酸化炭素・水に分解,生じたエネルギーを利用)

・熱力学の法則:生命にも適用される (ここは化熱のシケ対さんの方がきっと詳しい…)

・熱力学第一法則:閉じた系の中のエネルギーの総量は(変換しても)変化しない(保存則)

・熱力学第二法則:変換後、仕事に使えるエネルギー量は減少する

自由エネルギーは減少し無秩序さ(エントロピー)は増大する(不可逆)

総エネルギー = 利用可能なエネルギー + 利用不能なエネルギー
エンタルピー(H) 自由エネルギー(G) エントロピー(S)

$H=G+TS$

自由エネルギー変化(ΔG)= $G(\text{産物})-G(\text{反応物})=\Delta H-T\Delta S$ (生命ではT一定)

・同化反応: $G(\text{産物}) > G(\text{反応物})$ なので $\Delta G > 0$ (吸エルゴン反応,放っておいたら進まない)

・異化反応: $G(\text{産物}) < G(\text{反応物})$ なので $\Delta G < 0$ (発エルゴン反応,自由エネルギー放出)

3.酵素の基本的性質

↳生体触媒(反応物を互いに近づけ**活性化エネルギー**を下げる,平衡には影響なし)

…化学反応速度や**エネルギー障壁**の制御を行う

・反応物は酵素の**活性部位(活性中心)**と結合できる**基質**のみ(=基質特異性)←鍵と鍵穴の関係

・特定の反応の触媒をする(=反応特異性)

・酵素自身はタンパク質だが、反応にタンパク質以外の低分子(**補因子**)の助けが要ることも

・酵素と基質は一度結合して**酵素-基質複合体**になった後、酵素が分離して生成物になる

↳基質の空間配置の制御,基質を不安定な遷移状態にするひずみ,一時的な化学基付与 etc.

・**誘導適合**:酵素タンパク質との相互作用による**構造変化**で新たな機能があること

例.キモトリプシンは活性中心のセリンが立体的に近接したアスパラギン酸とヒスチジンにより働く(**触媒3つ組**)

- ・アレニウスの式により、分子が持つエネルギーと無関係に衝突が起こる頻度 A を用いて、
 $k = Ae^{-E_a/RT}$ (k :速度定数, E_a :活性化エネルギー)
- ・酵素反応速度論：反応初速度 V は $[S]$ を高めるとあるライン(=飽和現象)までは上昇する
 ↳ **ミカエリス・メンテンの式**
 $\cdots E+S \rightarrow ES, E+S \leftarrow ES, ES \rightarrow E+P$ の順に各反応の速度定数を k_1, k_{-1}, k_2 とすると
 $V = V_{\max} / \{1 + K_m / [S]\}$ (ミカエリス定数 $K_m = (k_{-1} + k_2) / k_1$)
 \cdots 拮抗阻害剤(=基質に似た構造で活性部位に結合し基質と酵素の結合を妨げる物質)が含まれるとき見かけの K_m は大きくなるが V_{\max} は変わらない
 (K_m は V が $V_{\max}/2$ の時の基質濃度)
 \cdots (出るかどうかわからないけど練習問題 1 の予想解答を最後に載せておきます)

4. 酵素活性の調整例

- ・ **アロステリック調節**
 \cdots 活性部位と異なる部位(**アロステリック部位**)にエフェクター(代謝物質など)が結合して、酵素の立体構造が変異し、その活性が可逆的に調節されること
 ↳ 反応調節は正方向のものも負方向のものもある。
 可逆的調節なので最終産物を一定に保てる。
- ⇔ リン酸化による調節
 \cdots アロステリック調節より永続的なので反応のオン/オフを保つのに向く

【参考】

練習問題 1

中間状態が 2 つある場合の P の生成速度 v を示せ。

予想解答(あくまで個人の解釈で作ったものなので鵜呑みはしないでください)

まず生成速度 v は、 $v = k_3[EP]$ (\cdots ①)と表せる。

酵素の合計量は常に一定なので、

$$[E]_{\text{total}} = [E] + [ES] + [EP] \quad \cdots$$
②

ここで中間体 $[ES]$ と $[EP]$ の経時的変化量はほぼ 0 と定常状態であることを仮定すれば、

(↑未知数 $[ES]$ と $[EP]$ を消す方向に式変形を行う)

$$d[ES]/dt = k_1[E][S] - k_{-1}[ES] - k_2[ES] + k_2[EP] = 0 \quad \cdots$$
③

$$d[EP]/dt = k_2[ES] - k_{-2}[EP] - k_3[EP] = 0 \quad \cdots$$
④

$$\text{④より } [ES] = (k_{-2} + k_3)[EP] / k_2 \quad \cdots$$
⑤

$$\text{③より } k_1[E][S] = (k_{-1} + k_2)[ES] - k_2[EP]$$

$$= \{(k_{-1} + k_2)(k_{-2} + k_3) / k_2 - k_2\} [EP]$$

$$=(k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3)[EP]/k_2 \text{ なので、}$$

$$[EP]=k_1k_2[E][S]/(k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3) \dots \textcircled{6}$$

ここで、②に⑤と⑥を代入して、

$$[E]_{\text{total}}=[E]+[ES]+[EP]$$

$$=[E]+(k_2+k_3)[EP]/k_2+[EP] (\because \textcircled{5})$$

$$=[E]+\{(k_2+k_3)/k_2+1\}[EP]$$

$$=[E]+\{(k_2+k_2+k_3)/k_2\}\{k_1k_2[E][S]/(k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3)\} (\because \textcircled{6})$$

$$=[E]+k_1(k_2+k_2+k_3)[E][S]/(k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3)$$

$$=\{1+k_1(k_2+k_2+k_3)[S]/(k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3)\}[E]$$

$$\text{よって、} [E]=(k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3)[E]_{\text{total}}/\{k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3+k_1(k_2+k_2+k_3)[S]\} \dots \textcircled{7}$$

ここで、①に⑥と⑦を代入して、

$$v=k_3[EP]=k_1k_2k_3[E][S]/(k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3)$$

$$=k_1k_2k_3[S][E]_{\text{total}}/\{k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3+k_1(k_2+k_2+k_3)[S]\}$$

$$\text{よって、求める値は、} v=k_1k_2k_3[S][E]_{\text{total}}/\{k_1k_2+k_1k_3+k_2k_3+k_1(k_2+k_2+k_3)[S]\}$$

5 章 核酸の構造と DNA の複製

1. 遺伝情報の伝達と発現

DNA=遺伝情報を含む(遺伝情報は生物の構造や機能に関する設計図のようなもの)

→次代に**複製**して伝える**遺伝**と、実際に遺伝情報の情報を再現する**発現**の2つの役割がある

2. 細胞増殖と DNA 複製

- 細胞増殖：単細胞生物では直接的に子孫を残すことになる

多細胞生物でも最初は1細胞の受精卵なので発生過程で必須

…親細胞が2分裂して娘細胞×2になるとき全ての部品が複製され、2分される。

⇨ほかの部品は正確に2等分せずともよいがDNAは2等分する必要がある

3. 核酸

- 構造単位：**ヌクレオチド**

ヌクレオチドの構成物質

- 塩基
 - プリン…アデニン, グアニン
 - ピリミジン…シトシン, チミジン, ウラシル

塩基, 五炭糖の
化合物
=ヌクレオチド

- ・五炭糖
 - ・リボース…リボヌクレオチド(RNA)の五炭糖
 - ・2-デオキシリボース…リボースの2'位の水酸基が還元
デオキシリボヌクレオチド(DNA)の五炭糖
- ・リン酸…1~3個くらい結合,体内のものは5'位に多く結合
…例えばアデニンのヌクレオチドはリン酸1個,2個,3個の順に AMP,ADP,ATP
※なお、塩基を特定しない場合は NMP,dNTP などと表す(d はデオキシ~の意)
- ・核酸←天然のポリヌクレオチド鎖
- …ヌクレオチドが5'位のリン酸基と3'位のヒドロキシ基でホスホジエステル結合したものの5'位にリン酸基を持つ端を**5'末端(方向)**、3'位にヒドロキシ基をもつ端を**3'末端(方向)**構成するヌクレオチドの五炭糖で DNA と RNA を区別する
遺伝暗号=塩基配列(左から5'末端→3'末端の順に書く)
- ・DNAの二本鎖構造…**B型**と呼ばれる構造
 - A,Tの間で2本,C,Gの間で3本の水素結合による**塩基対**を作る
 - └片方が決まればもう一方の塩基配列が決まる(=互いに**相補鎖**)
 - 向かいあう DNA の方向は逆向き(=逆平行)
 - 直径約2nmの**右巻き二重らせん**,約10塩基で1回転(=3.4nm)
 - らせんは偏っているので大きな溝(**主溝**)と小さな溝(**副溝**)がある
- ・RNAの一本鎖構造…自らの鎖の間で塩基対を形成して部分的に二本鎖構造
DNAの構造と異なり溝の大きさにはあまり違いがない
 - └2'位にヒドロキシ基が存在するから(加水分解されやすく不安定)
 DNAと二本鎖になるときも**逆平行**

4.DNA複製のしくみ

- ・ $[dNMP]_n + dNTP \rightarrow [dNMP]_{n+1} + PP_i$ (PP_i はピロリン酸, $n > 5$) by **DNAポリメラーゼ** —☆
- ・**半保存的複製** by メセルソン&スタール
- …DNA2本鎖が解離し各々が**鋳型鎖(親鎖)**となって相補的な娘鎖が複製される仕組み
Cf.これは NH_4^+ のNを ^{15}N に置き換えた親のDNAを ^{14}N による NH_4^+ で培養した後、塩化セシウム溶液に入れて遠心分離した時の密度勾配で子孫のDNAの重さを調べた実験による。(2本鎖とも ^{14}N のものを軽いDNA、双方 ^{15}N のものを重いDNAとした時、最初の親のDNAの鋳型を一方に含む2つのDNAだけ中間の重さになり、他の子孫のDNAは全て軽いDNAに分類されたことで示された。)
- ・DNA2本鎖が部分的に解離(byDNAヘリカーゼ)した**複製フォーク**の複製点で行われる
- ・DNAポリメラーゼは☆よりモノマーのNMPとNTPを結合させることができない
(DNAポリメラーゼの基質は $[dNMP]_n$ ($n > 5$)とdNTP)
⇒DNA鎖の合成の最初の $[dNMP]_n$ はプライマーゼにより合成されたRNAプライマーに

代替される

→RNAプライマーはDNA断片と隣り合うと

- ①ヌクレアーゼによって取り除かれる
- ②DNA修復ポリメラーゼによってその部分がDNAに置き換えられる
- ③DNAリガーゼによってDNA断片が繋ぎ合わされる

という三段階の過程を経てDNA鎖の一部へと成り替わる

・合成は5'→3'方向にのみ進行する

…逆平行であることを考えると片方の鎖では3'→5'方向に合成が進まなければならないはずなので辻褄が合わない…。

⇔2本のDNAで異なる複製を行っている！

・リーディング鎖

…鋳型鎖の3'→5'に向かい合うようにして5'→3'方向に作られるDNA鎖。

合成の方向が複製フォークの進行方向と同じなので連続的に重合が進む。

・ラギング鎖

…複製フォークの進行方向はこの鎖の合成の向きからすると3'→5'でおかしい…。

⇒5'→3'方向で合成した断片を繋いで全体としては5'→3'で合成(=不連続複製)

↳岡崎フラグメント(細菌で1000~2000,真核生物で100~400ヌクレオチド)

…岡崎フラグメント毎に出来るRNAプライマーは①~③でDNAに

・その他DNA複製に関わるタンパク質

・一本鎖結合タンパク(SSB) : 1本鎖構造の維持

・DNAクランプ(Sliding Clamp) : DNAポリメラーゼとDNAの結合を制御する留め金

…リーディング鎖では結合し続けるが、ラギング鎖では前のRNAプライマーに出会うたび離れる

・DNAトポイソメラーゼ : 複製時のDNAよじれ問題の解消

I型 : 一方だけ切断してねじれ解消

II型 : 二本鎖切断(別名DNAジャイレース)

・原核生物は複製開始点(ori)から複製終了点(ter)までの1つの単位たるレプリコンは1つ

⇔生物では複数個所で複製が始まる(=マルチレプリコン)

・例えば大腸菌ではDNA合成中に複製開始点から次の合成が始まることもある

⇔哺乳類ではDNA合成がすべて終了したうえ分裂も終わってないと次の合成はされない

=S期再複製禁止

Cf.末端複製問題

DNA鎖中のRNAプライマーはDNAに置き換わるが5'末端のRNAプライマーは？

→基本置き換わらない

=つまりこの領域は細胞分裂ごとに短くなる …寿命と関係？

↳ **テロメア**：5'末端にある短い塩基配列単位の繰り返しになった領域
(例えば哺乳類なら 5'-(TTAGGG)_n-3'の繰り返し)

…遺伝のための生殖細胞や幹細胞などではこの反復配列を伸ばす**テロメラーゼ**がある
(テロメラーゼにはテロメアの鋳型 RNA が含まれる)

6章 遺伝子の構造

1. 遺伝子と DNA

- ・ **遺伝子**=**翻訳領域**+転写調節領域+翻訳されず機能する RNA(**ncRNA**)をコードする領域
 - ↳ タンパク質のアミノ酸の配列情報を規定している領域(ヒトでは 1.3%だけ)
エキソンに含まれる
 - ⇔ **イントロン**: 転写はされるがスプライシングで排除され翻訳されない領域

⇔ それ以外の領域は反復配列が多い

- ・ **染色体(クロマチン)**=DNA+**ヒストン**(タンパク質)
- ・ **ゲノム**：ある生物が持つ生存に必要な遺伝情報の 1 セット
 - …**染色体ゲノム**と**染色体外ゲノム**がある
 - ↳ 原核生物のプラスミド(※1)や真核生物のミトコンドリア等を含む
 - ※1: 原核生物内に存在する染色体ゲノムとは別の環状 DNA

2. クロマチン

↳ 一本の長い DNA が**タンパク質**のヒストン八量体に巻き付いた**ヌクレオソーム**構造
…普段はこのように染色体としてコンパクトにしまわれ、転写のときには一部が広がる

3. 遺伝子の損傷と修復

- ・ 損傷の原因: 熱, **酵素**反応, **電離放射線**(>紫外線), 環境物質(**活性酸素**, **亜硝酸**など)などの作用
 - ↳ このようなミスは 10^9 塩基対に一回程度の割合で起こる
 - ・ 遺伝子に変異が起こると何がまずい?
 - 生殖細胞：子孫に伝わり、影響 例. 鎌状赤血球貧血症
 - 体細胞：個体の健康に影響
 - Cf. ガンの発生確率が年齢に対して指数関数的に上昇するのは細胞分裂を経験した回数が多い細胞ほど変異を蓄積しているため
 - ・ 修復機構 by **DNA ポリメラーゼ** ← 構成は $1/10^7$ 程度の確率で働く
- …5'→3'の**重合活性の合成**と 3'→5'の**エキソスクレアーゼ**活性(塩基対のない基切断)の**校正**

7章 遺伝子の発現

1. セントラルドグマ

└分子生物学における遺伝情報が DNA→mRNA→タンパク質の順で流れるという概念

*復習

- ・ **転写** : DNA を鋳型として mRNA が合成されること
- ・ **翻訳** : mRNA を鋳型としてタンパク質が合成されること
- ・ **遺伝暗号** ← 具体的には mRNA の塩基配列の 3 つをセットにした **コドン** で表される
Cf. なんで塩基 3 つ?
 - …塩基は 4 種類あるので 2 つセットだと 4^2 で 16 通りしか暗号化できない。これは生体内で用いるアミノ酸 20 種類より少ない。 4^3 だと 20 種のアミノ酸すべてを表せるから。
 - …各種のアミノ酸を指定する機能のほか、AUG はメチオニンの暗号であると同時に **開始コドン** としてタンパク質の合成開始点を司る機能、UAA, UAG, UGA には **終止コドン** としてタンパク質の合成終了点を司る機能がある。
- ・ DNA の **センス鎖** = 二本鎖 DNA のうち mRNA の鋳型になる鎖に対する相補鎖
 - └ T を U に置き換えれば mRNA と塩基配列が等しいほうの鎖
- ・ RNA の種類
 - ・ **mRNA** : タンパク質の情報を転写し、リボソームに運んでタンパク質に変換。少ない。
 - ・ **rRNA** : 95% 程の RNA はこれに該当。タンパク質とともに **リボソーム** を成す。
 - ・ **tRNA** : 5% 程の RNA はこれに該当。アミノ酸と結合してアミノ酸をリボソームへ運ぶ。

2. 転写のしくみ

- ・ $[NMP]_n + NTP \rightarrow [NMP]_{n+1} + ppi (n > 1 \leftarrow \text{DNA より小分子でおk!})$ by **RNA ポリメラーゼ**
 - ・ RNA ポリメラーゼの機能
 - ・ 二重らせんを一時的に解く
 - ・ DNA を鋳型として RNA 分子をホスホジエステル結合させる
 - ・ 転写開始領域上流に **プロモーター** という領域 ← RNA ポリメラーゼの結合位置と向き決定
 - …真核生物では **基本転写因子** が認識する **TATA ボックス** 等の塩基配列もある
 - **ヘリカーゼ** で 2 本鎖が解離, RNA ポリメラーゼが **キナーゼ** でリン酸化等の後伸長期
 - 原核生物では **σ 因子** が RNA ポリメラーゼに結合, 特定のプロモーターに結合させる
 - └ タンパク質, RNA ポリメラーゼがプロモーターから離れると解離
- ⇔ 転写終了を指示する塩基配列は **ターミネーター**

3. 転写後の修飾 = mRNA プロセッシング

…真核生物において転写でできた mRNA 前駆体の pre-mRNA が mRNA になる過程

- ・ **キャップ構造** : mRNA の 5' 末端の、7-メチルグアノシンが付加されている構造
- ・ **ポリ A 付加シグナル配列** : pre-mRNA の 3' 末端近傍にある配列で、20 塩基程度下流に A (アデニル酸) を付加する

- ・ **スプライシング** : **イントロン** (非翻訳領域) を除いて **エキソン** (翻訳領域) のみを繋げる

…エキソンの組み合わせ次第で複数種の mRNA を 1 遺伝子から合成可能

= 選択的スプライシング

* エキソンにもいくつか種類がある

- ・ 恒常的エキソン : 常に mRNA に含まれる
- ・ 選択的エキソン : 組織や時期特異的

→ これらの mRNA プロセッシングを受けた mRNA は **核膜孔** を通って核外のリボソームへ

↳ スプライシング完了を示すタンパク質が核膜孔複合体の EJC で識別される

4. タンパク質合成の材料と場

- ・ **tRNA** : アミノ酸と結合してアミノ酸をリボソームに運ぶ役割 (1. セントラルドグマより)
= アミノ酸とコドンをつなげるアダプター分子 (約 80 塩基)

↳ コドンと相補的な塩基対を形成する部分 : アンチコドン

- ・ **アミノアシル tRNA 合成酵素**

…各アミノ酸を対応するアンチコドンを持った tRNA に **共有結合** させる

- ・ **リボソーム** … **大サブユニット + 小サブユニット + rRNA** (前者 2 つでタンパク質の四次構造)
 - ・ **小サブユニット** : tRNA と mRNA のコドンを正確に対応させる
 - ・ **大サブユニット** : アミノ酸間にペプチド結合を形成してポリペプチド鎖を作る

5. 翻訳のしくみ

↳ * 復習 **翻訳** = リボソーム上で mRNA からタンパク質が合成されること

- ① 開始因子によってリボソームの大小サブユニットが解離する。
- ② 小サブユニットは mRNA と Met-tRNA と結合、Met-tRNA が結合した小サブユニットは mRNA 上を翻訳開始点 (開始コドンの AUG) まで 5' → 3' 方向に移動する。
- ③ 大サブユニットが結合して翻訳開始複合体 (リボソーム) となる。
- ④ リボソームの、tRNA が結合できる 3 つの部分それぞれ E 部位、P 部位、A 部位とすると、最初の Met-tRNA は P 部位に結合している。ここで A 部位に新しい tRNA が結合する。
- ⑤ P 部位においてアミノ酸と tRNA の間のエステル結合が切断される。
- ⑥ P 部位で tRNA との結合が切れたアミノ酸が A 部位のアミノ酸との間に **ペプチド結合**

を成す。

- ⑦ 大サブユニットが 5'→3'方向に 3 塩基分動いて P 部位,A 部位の tRNA がそれぞれ E 部位,P 部位に移動する。
 - ⑧ 小サブユニットも移動する。E 部位にあるアミノ酸の結合していない tRNA が外れる。
 - ⑨ ④～⑧を繰り返す
 - ⑩ 終始コドン(UAA,UAG,UGA)に來ると終結因子が tRNA の代わりに mRNA に結合して、ポリペプチド鎖末端にはアミノ酸の代わりに**水分子**が付加されてカルボキシ基末端。
 - ⑪ リボソームの合成によってできたポリペプチド鎖が**フォールディング**を受けて適当な三次構造をとる。
- ・ **ポリソーム**：複数のリボソームが mRNA でつながったもの

8章 有性生殖と個体の遺伝

1.メンデルの法則と遺伝子

- ・ **遺伝子型**：遺伝子の塩基配列の違い(血液型で言うところの AA,AO,BB,BO,OO,AB)
- ・ **表現型(形質)**：遺伝子の違いにより現れる外見や性質(同例の A 型,B 型,O 型,AB 型)
- ・ **メンデルの法則** (それぞれ当てはまらない例外的状況もあるが大事な遺伝法則)
 - ・ **優性の法則**：ある遺伝子の表現型の現れやすさに差がある時、現れやすい方を**優性遺伝子**と呼ぶ。また、優性遺伝子の**ホモ接合体(※1)**と劣性遺伝子のホモ接合体を交配すると**ヘテロ接合体(※2)**が生まれるが、その形質は優性遺伝子のものである。
=劣性遺伝子が形質として現れるのは劣性ホモ接合体のときのみ
(血液型は A,B が**共優性**(両方の対立遺伝子が発現)で例外的。O は劣性。)
※1:対立遺伝子が同じ遺伝子型の個体。(血液型の AA,BB,OO)
※2:対立遺伝子が異なる遺伝子型の個体。(血液型の AO,BO,AB)
 - ・ **分離の法則**：両親から引き継いだ対立遺伝子はそれぞれ等確率で別の配偶子に入る。
 - ・ **独立の法則**：2つの遺伝子が異なる染色体上にある時、これらは独立に分配される。

2.連鎖と遺伝的組換え

- ・ **染色体説** by サットン(←教科書にもなかったので名前は覚えなくてよいです)
- …遺伝子は染色体上の特定の部分に存在し染色体の挙動とともに遺伝子が分配されること
 - ↳ 実態は**減数分裂**での染色体の振る舞い,モルガンのショウジョウバエの実験で実証
- ・ **ハーディー・ワインベルクの法則**

対立遺伝子 T1 と T2 の遺伝子頻度を $p, q(p+q=1)$ として、自由交配を行うと、T1T1, T1T2, T2T2 の遺伝子頻度は $p^2, 2pq, q^2$ で、遺伝子 T1, T2 の遺伝子頻度は次代でも変わらない。

・さまざまなタイプの**変異**

↳遺伝子に起こる異常

- ・ **変異型**：変異の入っている遺伝子・それを持つ個体 ⇔ **野生型**
- ・ **機能喪失型変異**：変異によりある機能が失われる(多くの変異がこれ)

⇔**機能獲得型変異**：変異によりある機能が生じる

- ・ **ハプロ不全**：変異遺伝子が優性で野生型ホモとヘテロの表現型に差異があるもの
- ・ **伴性遺伝**：性染色体上にある遺伝子の遺伝様式, 表現/遺伝子型の存在比に性差がある。
- ・ **連鎖**：同一染色体上にある遺伝子の組のことを言う。高確率で同じ配偶子に入る。

↳メンデルの法則のうち独立の法則が成り立たないパターン

- ・ **遺伝的組換え**：減数分裂時に相同染色体が交叉して染色体の一部が繋ぎかわり(=乗換え)、同一染色体上の遺伝子の組み合わせが変わる現象。
このときの交叉地点を**キアズマ**という。
- ・ **遺伝学的地図**：遺伝子が近ければ近いほど組換えが起こりにくいことを利用して、導出された組換え頻度を元に遺伝子を直線状に並べたもの。

3. 減数分裂における染色体の挙動と遺伝的組換え

・ 染色体で働く細胞小器官等

- ・ **紡錘体**：**相同染色体**や**姉妹染色体**を適切に分離する装置

↳*復習 対合する(Cf.性染色体は相同な短い領域が存在するので対合可)

…**動原体**が染色体と結合して染色体を引き離す

↳染色体の形を整えて2分できるようにしている。主に働くタンパク質は以下。

- ・ **セントロメア**：動原体に結合する、染色体の中央部。
- ・ **コンデンシン**：1本のDNA分子内で架橋して凝縮
- ・ **コヒーシン**：姉妹染色分体である2分子のDNAを接着
- ・ **中心体**：紡錘体形成の要になる。DNA同様**半保存的複製**で倍加する。

・ 減数分裂の意義…・ **遺伝的多様性**の提供

・ 構造的には同じ染色体間での組換えは危険性が少ない

*復習 減数分裂の過程(シケプリ②の「減数分裂の過程」と同内容です)

☆有糸分裂と大きく異なるのは、最終的なDNA量が通常の細胞の半分になるという点、

第一分裂時の対合によって**核相**が半分になるという点なので、そこに注意

第一分裂：核相が半分になる過程、2細胞になる

前期：複製されたクロマチンの凝縮

前中期：**相同染色体同士が対合**(この状態の染色体を**二価染色体**という)

乗換えが起こる(接着領域=**キアズマ**)

中期：紡錘体中央に染色体が並ぶ

後期：相同染色体の分離(姉妹染色体はくっついたまま)

終期：いったん核膜ができる、**2細胞**に

第二分裂：第一分裂に引き続いて起こる。つまりここでは**DNA量**は倍加されていない

前期：クロマチンの凝縮

中期：紡錘体の中央に染色体が並ぶ

後期：姉妹染色体の分離

終期：核膜形成、第一分裂で生じた各**2細胞**から**2細胞**ができるので、配偶子は**4つ**

4.配偶子の形成

…ヒトにおいて上記の減数分裂が実際どのように行われているかを記す

・卵形成

①受精**5週目**に出現した**始原生殖細胞**が生殖腺に入って体細胞分裂して**卵原細胞**になる

②出生時には卵原細胞が成熟して約**200万個**の**一次卵母細胞**となる

↳出生時から最長数十年、生殖細胞は減数分裂の第一分裂前期でストップしている

③排卵時まで第一分裂が終了し、第二分裂中期まで進行する

↳細胞質が不等分裂し**二次卵母細胞**と小細胞片の第一極体に分かれる

④受精を引き金に減数分裂の残りの過程も進行,第一分裂同様細胞質が不等分裂する

⇒第二極体が生じる=卵は一次卵母細胞**1つ**から**1つ**しか生じない

・精子形成

①**始原生殖細胞**が生殖腺に入り体細胞分裂して**精原細胞**になる

…このときの精原細胞は細胞質が連結した**シンシチウム**という構造をとる

②精原細胞が**一次精母細胞**に成長,減数分裂第一分裂で**二次精母細胞**×**2**に、第二分裂で精細胞×**4**になる

…ここでも細胞質分裂はしないままシンシチウム(遺伝的欠損の顕在化を抑制)

③各精細胞から精子が成熟

5.受精

↳雌性配偶子と雄性配偶子の融合…**一倍体**同士が融合して**二倍体**になる

…種特異的に多受精せず正しく行われるために受精を容易にさせない機構がいくつかある
上同様ヒトを以下例にとる

①雌の生殖管内の重炭酸イオンが中に入ることによって精子は活性化,受精能獲得

②卵の細胞膜を覆う透明帯と精子が結合(種特異的)←③の**先体反応**の引き金

③精子の先体(※3)胞内の加水分解酵素が透明帯を分解して精子の進入を可能にする

- ④卵と精子の細胞膜融合,精子の核が卵内に入る
 ⇨細胞膜融合後卵内の精子突入部の Ca^{2+} 濃度が局所的に上昇→卵発生を活性化
 →表層顆粒から加水分解酵素が分泌されて透明帯の性質を変える=多精拒否
- ⑤精子の核のタンパク質の変換が起こり雄性前核になる
- ⑥精子の中心小体(=中心体の核)由来の正状態により雄性前核と雌性前核が融合
- ※3:精子の頭部の部分名。核より前方にあり、精子内の構造物の中で一番最初に卵に入る。

9章 生体膜と細胞の構造

1.生体膜

└細胞を構成する膜(細胞膜,核膜,ミトコンドリアの内膜・外膜 etc)

- ・基本構造はリン脂質を主要成分とする脂質二重層
 - …細胞膜の外側,内側のリン脂質は各々親水性の頭部が細胞の外側,内側を向いている
 - ⇨細胞膜は疎水性の尾部が親水性の頭部に挟まれた構造になっている
- ・脂質の成分

- ・脂肪酸：末端にカルボキシ基を持った炭化水素鎖
 - ・飽和脂肪酸：炭化水素鎖部分に二重結合をもたないもの
 - ・不飽和脂肪酸：二重結合をもつもの…この二重結合はシス型
- ・グリセロール：3つのヒドロキシ基

⇒グリセロールに脂肪酸がエステル結合したもの=エステル型グリセロ脂質

- ・脂肪(中性脂肪)：脂肪細胞などに存在する貯蔵脂質
 - ・トリアシルグリセロール：グリセロールの3つのヒドロキシ基すべてに脂肪酸が結合
 - ・グリセロリン脂質：グリセロールに2つの脂肪酸が結合
 - ・グリセロ糖脂質：脂肪酸とグリセロールと糖が結合 例.葉緑体の膜
- ・膜脂質の特徴
 - ・結晶相：温度が低い時の脂質二重層の状態
 - ⇨液晶相：温度上昇するとゲル相を経て転移する状態

2.膜タンパク質

- ・生体膜は基本リン脂質だがこれでは極性分子,親水性分子,巨大生体高分子が透過できない
- ⇒生体膜には物質を透過させるためのタンパク質が組み込まれている
- ・膜貫通タンパク質：物質の通路となっているチャネルや情報伝達分子
- ・表在性膜タンパク質：細胞膜を通過してはいないが一部が細胞膜に埋め込まれている

3.物質の生体膜通過

- ・ **受動輸送**：濃度勾配や電気化学的勾配に沿ってエネルギー的に有利な方向へ進む輸送
 - * 受動輸送で働くタンパク質
 - ・ **チャネルタンパク質**：細胞膜上の通路のようなもの。ATP を用いず単純拡散。
例.各種イオンチャネル(各種イオンの選択的拡散),アクアポリン(水透過チャネル)
 - ・ **トランスポーター**：特定の大型極性分子と選択的に結合し
- ・ **能動輸送**：能動勾配に逆らった選択的な物質輸送←ATP を消費する
 - ・ **一次性能動輸送**：エネルギーを直接輸送し、物質輸送を行う
例.Na⁺/K⁺-ATP アーゼ(ナトリウムポンプ)…Na⁺,K⁺をそれぞれ細胞外,内へ運ぶ
ATP 結合カセット輸送体(ABC 輸送体)…がん細胞で多く発現,様々な物質の輸送
 - ・ **二次性能動輸送**：電気化学的なポテンシャルを利用して二次的に物質輸送を行う
例.小腸上皮細胞における Na⁺イオン依存的な細胞内へのアミノ酸輸送
- ・ 輸送方向による分類
 - ・ **単輸送**：1 種類の分子のみが輸送
 - ・ **対向輸送**：細胞膜の内外で分子を交換するように輸送
 - ・ **共輸送**：同じ方向に 2 種類の分子が輸送(上の二次性能動輸送の例に挙げたものが該当)
- ・ 受容体によるシグナル伝達…細胞外の情報を細胞内に伝達する機構
 - ・ **受容タンパク質**：細胞外の物質と結合してシグナルを細胞内に伝える
例.**G タンパク質共役型受容体**：神経伝達物質やホルモンを受容して細胞内に情報伝達

4.原核細胞に特徴的な構造

…核を持たない=DNA は細胞質に丸出し状態

⇔環状 DNA は核様体と呼ばれる状態で存在、転写,翻訳の場所が分かれていない

- ・ **グラム染色法**：細菌をグラム陽性菌とグラム陰性菌に分類する方法(細胞壁の性質が違う)

5.真核細胞の構造

…膜区画の発達した細胞内小器官がある

- ・ **核**：DNA が中にある。物質のやり取りの通路たる**核膜孔**があり、これらは**核膜孔複合体**と呼ばれる構造を成している。核内には rRNA やリボソームの前駆体が蓄積された**核小体**もある。
- ・ **小胞体**…形態から二種類に分類
 - ・ **粗面小胞体**：膜表面に**リボソーム**が結合、タンパク質合成を行う
 - ・ **滑面小胞体**：リボソームは結合してない,リン脂質合成,グリコーゲン代謝,Ca²⁺調節,細胞内消化などに関与
- ・ **ゴルジ体**：**滑面小胞体**から送られたタンパク質への糖鎖付加→トランスゴルジ網で選別

- ・リソソーム：酸性加水分解酵素を含み、細胞内消化などに関与
- ・ペルオキシソーム：酸化酵素を含む小胞
- ・ミトコンドリア：独自の DNA と二重膜(元々別の生物だった？=細胞内共生(シケプリ①))
 - ↳真核生物は植物も含め持っている
- …呼吸のクエン酸回路、電子伝達系に関与(詳しくはシケプリ⑩)=ATP 合成
- ・色素体(葉緑体,アミロプラスト,白色体など)：上同様独自 DNA と二重膜
 - ・葉緑体の内部構造
 - ・チラコイド：膜に光を受容するクロロフィルなどが存在する扁平な小胞
 - これが密に積み重なったものがグラナ
 - ・ストロマ：細胞で言うところの細胞質基質(タンパク質の存在する液体部分)
- ・液胞：植物で顕著な構造体、養分・二次代謝産物・植物毒素などの貯蔵・分解

※参考

従来の生物に対する考え方

…膜で囲まれた小さな袋、表面張力と浸透圧の関係で形が決まる

⇔最近ではテンセグリティモデルが提唱

テンセグリティ=tension(張力)+integrity(統合)…ゴム紐と木の棒からなるオブジェ

⇔生物ではアクチンフィラメントが張力剤(=ゴム紐)、微小管が木の棒の役割

10 章 代謝と生体エネルギー変換

1. 細胞活動と代謝

↳細胞内における物質・エネルギー変換の生化学的過程 by 酵素 例.呼吸

…生きた細胞では代謝によるエネルギー変換が行われている(死んだ細胞との大きな違い)

=自由エネルギーの高い栄養素を分解して化学結合の中から自由エネルギーを取り出す

→自由エネルギーの高い物質を合成

→自己組織化(=自発的に秩序をもつ)された細胞の形成

2. 生体エネルギーの通貨

↳化学結合にエネルギーを蓄え、運搬する

- ・ATP(アデノシン三リン酸)

$ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi$ (リン酸) ←この反応でリン酸切断時に自由エネルギーが放出

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \left(\frac{[ADP][Pi]}{[ATP]} \right)$$

($\Delta G^0 = -30.5 \text{ kJ/mol}$ だが ΔG は $[ATP][Pi]/[ADP]$ で変化)

…ATP の加水分解で利用できるエネルギーは ATP,ADP,Pi の存在比で決まる

細胞内ではこの存在比を一定に保とうとする機構がある(=恒常性)

*各記号の意味

- G : 自由エネルギー=全系の自由エネルギー
 - ΔG : **自由エネルギー変化**
=ある条件で化学反応を進行させるのに要する自由エネルギー
 - G^0 : **標準自由エネルギー**
=標準条件(1mol25°C)で特定の純物質/mol 生成に要する自由エネルギー/mol
 - ΔG^0 : **標準自由エネルギー変化**
=標準条件で化学反応により生成物 1mol を作る時の標準自由エネルギー変化
 - ΔG^0 : **生物学的標準自由エネルギー変化** … 「 \prime 」は **pH7** を表す -30.5kJ/mol
 - NADH,NADPH
- …還元力を保存。それぞれ呼吸,光合成の代謝経路において働く。

3.基本的な代謝の流れ

- 代謝の 3 段階
 - 物質群内の合成分解：タンパク質ならアミノ酸といった、各々の構成単位への分解
↳ $\Delta G < 0 \Rightarrow$ 単なる加水分解で進行
 - 中間代謝物質を介した変換：より単純な基本代謝物との間での酸化還元を伴う変換
 - 相互変換：基本代謝物の、酸化還元やリン酸化・脱リン酸化による相互変換
- **従属栄養生物**：有機物を他から摂取しないと生きられない。食物連鎖で言う**消費者**。
- **独立栄養生物**：無機物から有機物を作る。食物連鎖で言う**生産者**。

4.糖質

- ↳ グルコース：エネルギー源として重要
- …動物ではグリコーゲン、植物ではデンプンとして貯蔵する
- 分解時の放出される全自由エネルギー量は運搬体分子(生体分子)が運べる量を超える
超えたものは**熱**となって放出される
- ⇔細胞はこれを一気に分解するのではなく自由エネルギーを**小分け**に獲得している
⇒**エネルギー変換効率 UP**

5.ATP 合成のしくみ

- **基質レベルのリン酸化**(下記 6.項参照)
基質-P+ADP→物質+ATP by **キナーゼ** $\Delta G^{0\text{ATP}}$
- * $\Delta G^{0\text{ATP}}$: ATP 合成反応の自由エネルギー変化



$$\Delta G^{\text{ATP}} = \Delta G^{\text{ATP}^0} + RT \ln \left(\frac{[\text{ATP}]}{[\text{ADP}][\text{P}_i]} \right)$$

- ・ 酸化リン酸化(下記 7.項参照)
 - ・ 光リン酸化(次号シケプリ参照)
- } by ATP 合成酵素 ← H⁺の電気化学的勾配
- ↳ 膜電位と pH 勾配
が同方向に働く

6.呼吸と発酵：解糖系

↳ 好気呼吸の3段階の最初。嫌気的な生物もこの呼吸は行う。

…酸素を消費せずに ATP を生成する反応

1 グルコース消費で 2 ピルビン酸(嫌気呼吸では乳酸/エタノールに変換)と差引 2ATP 生成
⇒ここでの ATP 合成は **基質レベルのリン酸化**@細胞質基質

7.呼吸：クエン酸回路・呼吸鎖

・ **クエン酸回路**：好気呼吸の3段階の2段階目@ミトコンドリアの基質のマトリックス

…解糖系で生じたピルビン酸 2 分子は NAD が NADH に還元される酸化還元反応に伴ってアセチル CoA に変換された後、二酸化炭素と水素に完全に分解され 2ATP 生成する(反応式には登場しないが嫌気下では進まない)

その後アセチル CoA の水素は 1 つあたり NADH 4 分子と FADH₂ 1 分子に供与され、電子伝達系に至る

・ **呼吸鎖**(電子伝達系)：好気呼吸の3段階の3段階目@ミトコンドリアの内膜クリステ

…クエン酸回路で生じた NADH や FADH₂ の水素が酸素により完全酸化され水分子になる **酸化リン酸化**により、1 グルコースあたり 34ATP を生じる

⇒解糖系,クエン酸回路とも合わせて、好気呼吸では 1 グルコースから **38ATP** 生じる

↳ **化学浸透説**(by ミッチェル(1961))により解明された

H が供与される段階、H⁺の電気化学的勾配が生じる段階各々で ΔG^{red} , ΔG^{H} という生物学的標準自由エネルギー変化

* ΔG^{red} ： **酸化還元反応**の生物学的標準自由エネルギー変化

↳ 酸化反応と還元反応が共役した反応

$$\Delta G^{\text{red}} = -nF \Delta E^0 + RT \ln K$$

ΔE^0 は酸化反応と還元反応各々の標準酸化還元電位の差、n は反応に関与する電子数

* ΔG^{H} ： H⁺の電気化学的勾配

・ 呼吸鎖で働くタンパク質複合体

・ 複合体 I = NADH 脱水素酵素

・ 複合体 II = コハク酸脱水素酵素

・ 複合体 III = シトクロム bc₁ 複合体(ユビキノン・シトクロム c 酸化還元酵素)

・ 複合体 IV = シトクロム c 酸化酵素

- ・**キノン回路**：ユビキノンからシトクロム bc₁ 複合体へ電子が動くとき 1 電子の伝達で水素イオン 2 分子を輸送する仕組み
- ・ATP 合成酵素
 - ・F 型 ATP 合成酵素：膜内在性の F₀ 部分と膜表在性の F₁ 部分に分かれる
 - ↳ 回転するローター部分と回転しない固定子部分
 - …間に H⁺ 輸送用チャンネル様の通り道
 - …F₁ 部分は自力では回転しないが F₀ との結合部のストークの回転のエネルギーで ATP を合成する
 - ・共役因子：除去するとその反応が起きなくなる非酵素部分(F₁ も最初これと思われた)

11 章 光合成

1. 光合成とは

- …光の物理エネルギーを有機物の持つ化学エネルギーとして固定する反応
- ・炭素固定：単純な CO₂ の一部だった C が複雑な糖などに還元されること
 - …食物の糖などを酸化できるようになりエネルギー獲得可能に(シケプリ⑩の呼吸参照)

2. 太陽光

- ・紫外線：波長が 360nm より短い光、N₂ や O₂ などに散乱され、O₃ に吸収される
- ・可視光：波長が 360nm(紫色)～830nm(暗赤色)の光
- ・赤外線：波長が 830nm より長い光、H₂O、CO₂、O₂ に吸収される
- ・太陽定数：大気圏外で太陽に垂直な面が受ける太陽光エネルギー=1370W/m²
 - ⇨このうち地上に到達するのはよく晴れた日でも 1000W/m²
 - そのうち 45%が光合成有効波長(400～700nm)
- ・光(量)子：光のエネルギーを担う粒子 $E = N_0 h c / \lambda$
 - N₀:アボガドロ数 $6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$, h:プランク定数 $6.63 \times 10^{-34}\text{Js}$, c:真空中の光速 3.0×10^8
 - λ:波長⇒波長に反比例

3. 葉緑体

- …葉の葉肉組織の細胞に多く含まれる細胞小器官、光合成の担い手
- ・葉緑体の内部構造
 - ・ストロマ：液相、葉緑体の基質部分
 - ・チラコイド：袋状の膜系
 - ・グラナ：チラコイドが重なった構造

- ・チラコイド膜上の主なタンパク質複合体
 - ・光化学系 II
 - ・シトクロム b₆f
 - ・光化学系 I
 - ・ATP 合成酵素

4.チラコイドで行われる反応

①光吸収と励起状態の移動

- クロロフィル a などの光合成色素が光を吸収する
- 基底状態から第一励起状態に(エネルギーレベルの高い光を吸収して一瞬第二励起状態になった時もすぐ熱としてエネルギーを失って第一励起状態になる)
- 励起状態が近接するクロロフィルに伝播
- 反応中心のクロロフィル a に集まる

②光化学反応

- …クロロフィル a から電子が飛び出し強い酸化力を持つクロロフィル a⁺が生じる反応
- …励起されたことによる

③電子伝達

- …ミトコンドリアでいうところの呼吸鎖にあたる反応経路(シケプリ⑩参照)
- H₂O が光化学系 II でクロロフィル a⁺により O₂ と H⁺に分解され、電子は引き抜かれる
- プラストキノン(下記④参照)を介して電子がシトクロム b₆f 複合体に伝達される
- 光化学 I でクロロフィル a⁺は還元されるが、光化学反応により電子を放出
- 飛び出した電子が NADP⁺を NADPH に還元する

④ATP 合成

- …③のプラストキノンを介した電子授受の際には同時に H⁺の授受も起こる
 - ↳ユビキノンとよく似た分子(シケプリ⑩7.キノン回路参照)
- H⁺がチラコイド内腔に組み込まれる
- 呼吸鎖同様、電気化学ポテンシャル差により H⁺がストロマに流入するのに共役して ATP 合成酵素が働き ATP 合成

5.炭酸固定と光呼吸

※この章と次の章では何回か C_n 化合物(n は自然数)という表現が出てきますが、これは 1 分子中に C 原子を n 個含む分子、の意です。細かい化学式を省略して簡単に C の挙動を追うためにこのような表記を用います。

- ・ **カルビン・ベンソン回路** @ストロマ

①**ルビスコ**(リブローズ 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼの通称)により C5 化合物(ここではリブローズ 1,5-ビスリン酸)に CO₂ を取り込み C3 化合物(ホスホグリセリン酸)が 2 分子できる

②ATP と NADPH により**三炭糖リン酸生成**(うち C1 個分がデンプンやスクロースになる)

③残りの C5 個分はリブローズ 5-リン酸の再生に用いられ、これが最後に ATP によってリン酸化されてリブローズ 1,5-ビスリン酸が再生し、①に戻る

・**光呼吸経路** @ペルオキシソーム、ミトコンドリア

…通常の呼吸と異なる経路だが O₂ を吸収し CO₂ を放出する経路

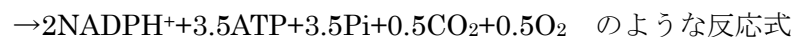
↳ルビスコが CO₂ だけでなく O₂ も基質と出来ることによる

・ルビスコのオキシゲナーゼ反応(O₂ を基質とする方の反応⇔CO₂ を基質とする方はカルボキシラーゼ反応)では C3 化合物(ホスホグリセリン酸)と C2 化合物(ホスホグリコール酸)が生じる

⇔・ホスホグリコール酸はカルビン・ベンソン回路の酵素を阻害するので速やかに代謝されなくてはならない

・カルビン・ベンソン回路でわざわざエネルギーを消費して固定した C を無駄にしない

⇒1 オキシゲナーゼ反応あたりの反応だと



6.C4 植物と CAM 植物

・C3 植物：カルビン・ベンソン回路で直接炭酸同化する一般の植物(イネ,ホウレンソウ等)

・**C4 植物**：C3 植物よりも葉緑体の詰まった維管束鞘細胞が発達し周りに葉肉細胞が密集

…葉肉細胞中で CO₂ はホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼによりオキサロ酢酸(C4)として固定される⇔通常は CO₂ を C3 として固定する(5.)

→リンゴ酸に変換された後維管束鞘細胞に原形質連絡を介して拡散

→維管束鞘細胞の脱炭酸反応で CO₂ をカルビン・ベンソン回路に取り込む

→ルビスコ付近の CO₂ 濃度が高く保たれ光呼吸が阻害(**CO₂濃縮機構**)

…強光・高温・乾燥環境下で特に有利

↳この条件に見合う速度で光合成するとなると高い CO₂ 濃度を要する

例.トウモロコシ,サトウキビ,ススキ,アワ

・**CAM 植物**(ベンケイソウ型有機酸代謝植物)

…C4 で見られた葉肉細胞と維管束鞘細胞における CO₂ の固定が同一細胞内で行われる

夜間に気孔から CO₂ を取り込んで(C4 植物でいう C4 に固定する過程)リンゴ酸を生成し

昼間にそのリンゴ酸からピルビン酸と CO₂ を生じる

…乾燥地に適する(ムダに気孔を開いて水分が奪われるのを防ぐ)
例.ベンケイソウ,サボテン 木に着生するラン科植物にも