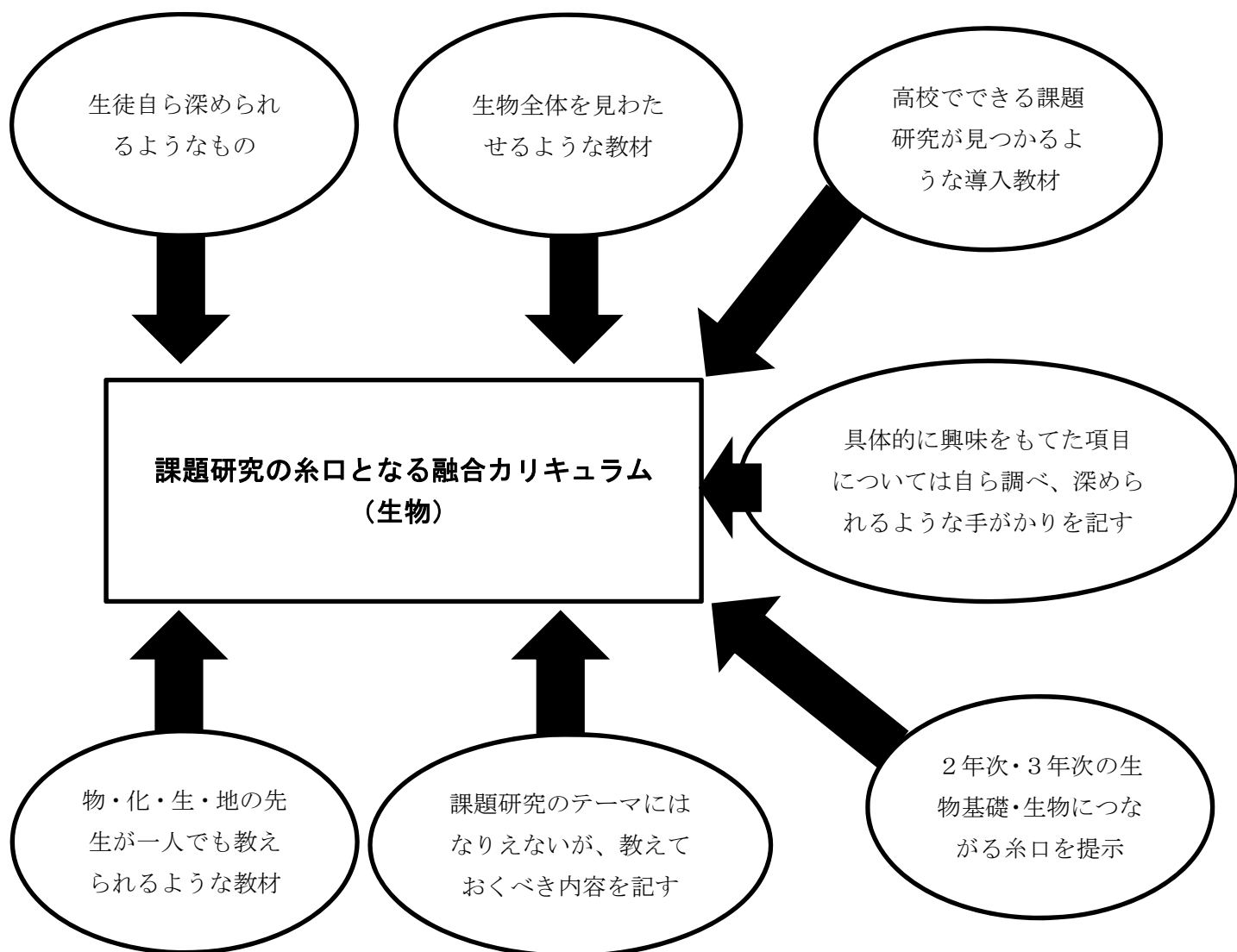


科学探究基礎

【微生物学編】



- 新1年生を対象とする。
- 生徒が学びたいことを、自分で選択して学べる教材を心がける。
- 理科4分野のうち、教師が授業で取り扱った分野以外にも、興味・関心のある分野が出てきたら、生徒自身が学びを深めることができるように、HPに各教材をアップして、いつでも閲覧できるようにしておく。
- 課題研究は、生徒自身の選択と生徒自身の発案が元になっているので、生徒自身がどう動くか、行動するかが大切。もし失敗したとしても、次につながる思考ができればよい。もしくは、大学で学びたいことにつなげることも可能。
- 今回の新しい教材は、知識を使って課題研究につながるような糸口のための教材。ただ知識を並べるだけではダメ。文章の書き方ではなく、テーマの配置をきちんと考えて、生徒が次のページを読みたくなるような工夫をする。

『微生物の世界』

〈目次〉

- (1) 人体に存在する細菌で、チーズが作れるか否か！！！！
- (2) 世界で最も人間を死に至らしめる生物の正体は……！？
- (3) ラピュタを手放した人類の本当のわけは微生物にあり……！？

(1) 人体に存在する細菌で、チーズが作れるか否か!!!

この衝撃的なテーマの答えを得るためには、まず微生物のことを知って、発酵のしくみを解明していく必要があります！学び終えた後に、自分だったらどう考えるかを常に意識しながら読み進めていってください。

〈ステップ①〉

ヒトのからだをつくっている細胞の数を、あなたは知っているでしょうか？その数は、37兆個だといわれています。数を数えるときに『兆』という単位を、実際に用いることは稀ですよ。そのため、想像しにくいかもしれませんが、莫大な数になります。その1つ1つにきちんと役割があり、生命を維持するために、日々はたらいています。しかし、人体に存在する微生物の量は、ヒトのからだをつくる細胞の数を超越しており、約100兆個いると考えられています。そんな微生物の中には、特殊なはたらきで、私たちの生活を支えてくれているものもいます。その一つが、あなたの身近にある発酵食品です。自分の好きな発酵食品を思い浮かべながら、下の表を見てみてください。

〈発酵食品と微生物一覧〉

発酵食品	製造に関する微生物
ワイン・パン	酵母菌（菌類）
ヨーグルト・納豆	乳酸菌・納豆菌（細菌類）
甘酒 鯉節	コウジカビ（菌類） 鯉節カビ（コウジカビの仲間：菌類）
焼酎・みりん	コウジカビ（菌類）
カマンベールチーズ	アオカビ（菌類）＋乳酸菌（細菌類）
漬物 食酢	乳酸菌（細菌類） 酢酸菌（細菌類）
醤油・日本酒 味噌	ニホンコウジカビ（菌類） コウジカビ＋酵母菌（菌類）＋乳酸菌（細菌類）

ステップ①：中学レベル

ステップ②：生物基礎レベル

ステップ③：専門生物レベル

ステップ④：超高校レベル

〈ステップ②〉

あなたの好きな発酵食品が一覧の中に入っていたでしょうか？

発酵食品の製造に利用される微生物には多くの種類がありますが、大きく分類すると**細菌類、菌類（カビ・酵母・キノコ）**です。それぞれ独自の働きをもっており、その働きを巧みに利用することによって、さまざまな食品が作られています。また、上の表のように、食品の種類によっては、数種類の微生物のはたらきを組み合わせて利用しているものもあります。

こんなにも多くの発酵食品に関与する微生物たち、実は、そのからだにも特徴があります。

生物には、細胞内に核があり、核の中に遺伝子であるDNA（染色体を構成）を保管しているものと、DNA はあっても核の構造を作らずDNAがむき出しで細胞内にあるものがあります。その2つの生物たちを次のように表現します。

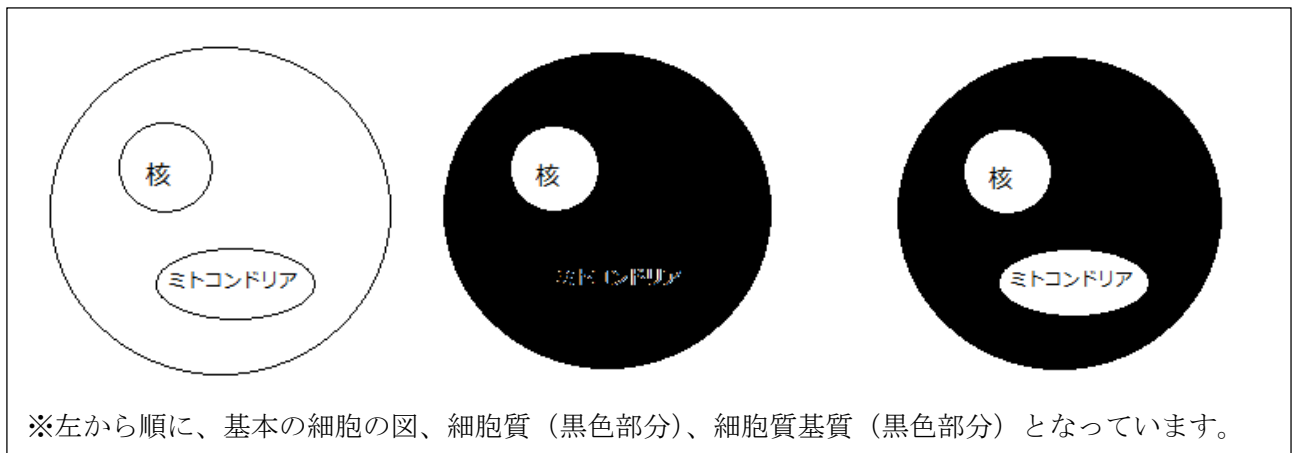
【ポイント】

- ◆原核生物…細胞質基質中に染色体（DNA）が存在するが、核をもたない生物。
- ◆真核生物…核が存在し、その内部にDNAが存在する生物。

原核生物の染色体（DNA）のある場所である『細胞質基質』について、イメージ図とともに押さえていきましょう。

- ① 細胞質…細胞の内部から核を除いた部分で、細胞膜を最外層とする部分のこと。
- ② 細胞質基質…細胞小器官の間をうめる、粘性のある液状の部分のこと。

〈細胞質と細胞質基質の違いについて〉



原核生物のDNA（染色体）が細胞のどの部分に存在しているか確認できましたか？

では次に、下の表で、原核生物、真核生物に分類される微生物を紹介します。

〈原核生物、真核生物に分類される微生物一覧〉

原核生物	細菌類（大腸菌、乳酸菌、納豆菌、結核菌、硝酸菌、亜硝酸菌など） シアノバクテリア（ネンジュモ アナベナ など）
真核生物	菌類（酵母菌、アオカビ コウジカビ 菌根菌などカビの仲間 シイタケ、エノキダケ、マツタケなどのキノコの仲間）

私たちが微生物と呼ぶものには、前ページで学習した細菌類と菌類以外にウイルスもあります。それでは、細菌類・菌類・ウイルスには、どのような微生物が例として知られているのか、まとめていきましょう。

〈細菌類・菌類・ウイルス類に分類される微生物たち〉

(ステップ④)

	細菌名	食品名など
役に立つ細菌類	<ul style="list-style-type: none"> ・乳酸菌（ヤクルト菌・ビフィズス菌） ・納豆菌 ・酢酸菌 	ヤクルト ヨーグルト 納豆 食酢
	細菌名	病名
病気に関与する細菌類	<ul style="list-style-type: none"> ・ライ菌 ・炭疽菌 ・チフス菌（サルモネラ菌の一種） ・結核菌 ・コレラ菌 ・ジフテリア菌 ・破傷風菌 ・ペスト菌 ・赤痢菌 ・百日咳菌 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンセン病 ・炭疽症 ・腸チフス ・結核 ・コレラ ・ジフテリア ・破傷風 ・ペスト ・赤痢 ・百日咳

	菌名	食品名など
役に立つ菌類	<ul style="list-style-type: none"> ・酵母菌 ・アオカビ（ペニシリウム） ・カワキコウジカビ ・コウジカビ 	パン ビール チーズ 抗生物質（ペニシリン） 鰹節 日本酒など
	菌名	病名
病気に関与する菌類	白癬菌 ニューモシスチス・イロベチイ	疥癬 ニューモシスチス肺炎（カリニ肺炎）

※病気によって、関わる微生物が異なっていることを認識しよう！

ウイルスは、生物か非生物かは、学者によって意見が分かれます。

<ステップ②>

ここで、生物の持つ6つの共通点を確認しておきます。

- ①体は、細胞が基本単位となっている。
- ②生体内の化学反応（代謝）によって生じるエネルギーを生命活動に用いる。
- ③子孫を残す活動（生殖）によって増殖する。その際、遺伝情報であるDNAが子に受け継がれる。
- ④外部環境が変化しても体内の環境を一定に保とうとする性質（恒常性）を持つ。
- ⑤外界から受ける刺激を受容し、さまざまな反応を示す。
- ⑥遺伝情報の多様化をもとに進化する。

ウイルスは、この6つの要素を自分自身ではできません。他の生物の細胞内に寄生してこれら6つのことを行っています。そこで、生物だと考えないとする意見があるのです。そして、他の生物の細胞に寄生することから様々な病気の原因になっています。

<ステップ④>

ウイルス	ウイルス名	病名
	<ul style="list-style-type: none">・コロナウイルス・ノロウイルス・風しんウイルス・ヒト免疫不全ウイルス・ロタウイルス・インフルエンザウイルス・B型肝炎ウイルス・水痘帯状疱疹ウイルス・狂犬病ウイルス・ライノウイルス・A型・E型肝炎ウイルス	<ul style="list-style-type: none">・風邪 肺炎・感染性胃腸炎・風しん・後天性免疫不全症候群（エイズ）・小児急性胃腸炎・インフルエンザ・B型肝炎・水痘（水疱瘡）、帯状疱疹・狂犬病・風邪を引き起こす原因ウイルスの半数を占める。・A型肝炎（魚介類）・E型肝炎（ジビエ料理）

では、ウイルスは、人の役にはたたないのかということそうではありません。遺伝子工学ではよく活用されています。

アオカビが分泌するペニシリンは細菌の繁殖を抑えることから最初に発見された抗生物質です。抗生物質は病原体となる細菌類を攻撃できる特効薬ですが、そのしくみは、細菌の細胞壁やタンパク質を合成することを阻害し、増殖を抑え死滅させます。しかし、細胞を持たないウイルスには効きません。

【ワンポイント】

ウイルスは、大きさや仕組みが細菌と異なるため、抗生物質が効かない。

微生物の分類、いろいろなパターンがあって複雑ですが、おもしろいところでもあるので、頭に置いてみてくださいね！

Q どんな微生物が、どのような発酵食品に関与しているか、考えてみましょう。

《フレイクタイム》

ヒトの大腸では、100種類以上の嫌気性細菌が有機物の分解を行っていることが知られています。その中には、腸内の環境を守る役割を果たしている有用な細菌も存在しています。この腸内に存在している細菌を活性化することで、ダイエット効果もあると言われていますね。

夜に食べると腸内環境を整えてくれるという納豆は、納豆菌によってつくられます。納豆のもつネバネバ成分の正体は、グルタミン酸と呼ばれるアミノ酸がたくさん結合したポリグルタミン酸です。ポリグルタミン酸は、保水力が高く、重量の5000倍の水を保持できるという特徴があることから、医薬品や健康食品に用いられています。また、水中の不純物に対する凝集作用があることから、水質浄化にも利用されることもあります。

このように、発酵食品をつくること以外にも、微生物が活躍して、ヒトの生活を支えてくれている場面がたくさんあります。みんなの身近な微生物の中で、発酵食品をつくる以外の働きを担っている微生物をピックアップして、どんな働きがあり、どのような場面で活躍しているのか、自分なりの考えをまとめてみよう!!!

〈ステップ③〉

それでは、ステップ②で紹介した微生物たちの発酵食品製造時に有効にはたらく能力についてみていきましょう。この特殊な能力がなければ、普段口にしている美味しい発酵食品は存在しないことになってしまいます。

微生物のもつ特殊な能力は、**発酵**といいます。発酵は、**代謝**という大きな枠組みの中の一部です。代謝の中には、微生物の行う発酵の他にも、呼吸と燃焼という現象も含まれるので、この3つの現象について、違いを確認していきましょう。

〈発酵・呼吸・燃焼の特徴〉

発光・呼吸・燃焼の説明

模式図

上の図でも確認できるように、発酵と呼吸・燃焼の大きな違いは、酸素を使わずに、元あった物質を他の物質に変えることができる点です。

【ポイント】

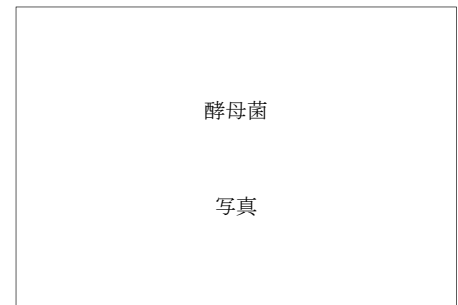
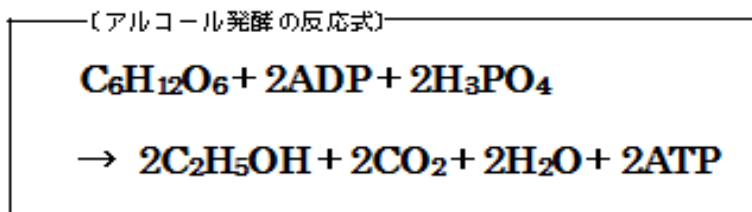
◆発酵…微生物が、酸素を消費せずに炭水化物を分解すること。

〈ステップ③〉

いよいよ、発酵のしくみを具体的に見ていきます！今回は、主に、酵母菌と乳酸菌の発酵について、調査していきましょう。

エントリーNo. 1 酵母菌

酵母菌は、発酵食品に用いられる有名な微生物です。また、食品をつくることに限らず、遺伝子工学の分野でも、主要な研究対象となっています。そんな酵母菌は、酸素の供給が十分でない環境では、グルコース（炭水化物）をエタノールと二酸化炭素に分解していきます。この反応経路のことを、**アルコール発酵**といいます。



〔アルコール発酵の実験〕

〔目的〕

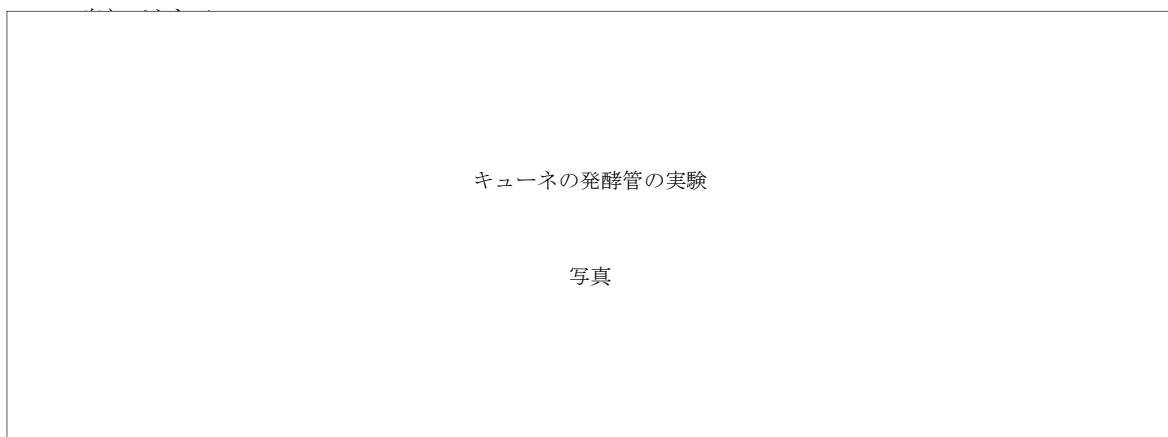
酵母がグルコースをエタノールと二酸化炭素に分解する様子を観察する。

〔準備するもの〕

乾燥パン酵母、5%グルコース水溶液、キューネ発酵管、4%水酸化ナトリウム水溶液、ヨウ素ヨウ化カリウム溶液、60℃のお湯、綿栓

〔実験手順〕

- (1) 10gのパン酵母を35℃のグルコース水溶液100mLに入れ、攪拌して10分程度放置する。酵母液から気泡が発生してきたら、キューネ発酵管の盲管部に隙間なく注入する。
- (2) 盲管部の上部にたまる気体の体積を1～2分間隔で記録していく。
※計測中は装置が35℃に保たれるように注意する。
- (3) 盲管部に存在している酵母液量は時間とともに減少する。気体の発生量を一定時間ごとに測定する。これを酵母液量1mLあたりの発生量に換算してグラフにする。
- (4) 発生量が10mL程度になったら、開口部より少量の水酸化ナトリウム水溶液を注入し、開口部を親指でふさぎ、ゆるやかに攪拌する。しばらくすると気体が消失し、親指の腹が吸引される。
- (5) (4)の観察後、反応液に1mLのヨウ素ヨウ化カリウム溶液を添加し、60℃のお湯につけながら5分間攪拌する。エタノールができていれば、液が黄色に変化し、消毒薬臭（ヨードホル



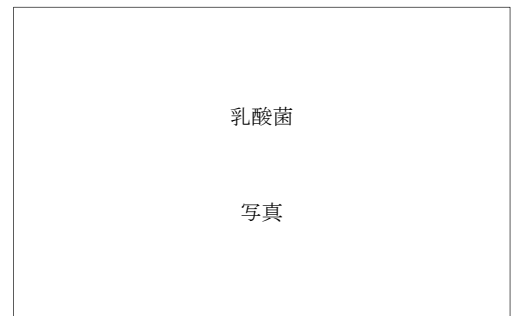
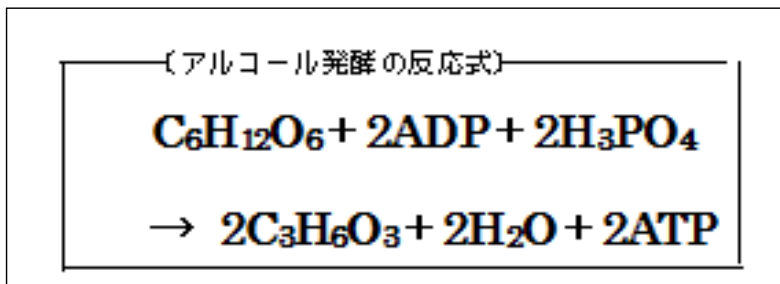
《ブレイクタイム》

パスツールは、酸素のない条件下で盛んな酵母菌の発酵が、酸素のある条件下では抑制されていることを発見しました。これは、酸素が存在すると呼吸が活発になって発酵が抑制される現象であり、**パスツール効果**と呼ばれています。細胞は、酸素の有無によって代謝経路を変え、生きていくためのエネルギーを効率よく得ていると考えられますね。パスツール効果は、酵母菌に限らず、動物細胞などでもみられます。

酸素のない条件下で培養した酵母菌の細胞内には、ミトコンドリアがあまり発達していませんが、酸素のある条件下で培養した酵母菌には、ミトコンドリアが多くみられるようになるのも特徴的です。

エントリーNo. 2 乳酸菌

乳酸菌は、酸素のない条件下で行われる代謝で、乳酸をつくる細菌のことです。その代謝経路は、**乳酸発酵**と呼ばれ、さまざまな発酵食品をつくる時に活躍するとともに、乳酸菌は、ほかの微生物と共生あるいは拮抗することによって、ヒトの腸内環境を整える手助けをしてくれています。



Q 「もし、あなたがパンをつくるときに、パン酵母菌ではなく、その代用品として、乳酸菌を使うとすると、どのようなパンができあがると考えられますか？」今までみてきた、酵母菌と乳酸菌のはたらきの違いに着目して、考察してみてください。

〈アルコール発酵と乳酸発酵の反応経路のまとめ〉



〈ステップ④〉

ステップ③までの過程で、発酵に関与する微生物の特殊な能力をみてきました。ここでは、課題研究の実践につながる、微生物の培養方法について、ケースごとに具体的に示していきます。

簡易型菌株培養法

・より簡単に微生物を培養したいときに、有効な手だてを紹介します。

※微生物が培養していることを目視で確認したいときは、寒天培地に含まれているデンプンが分解されているかどうかを確認すれば、一目瞭然です。

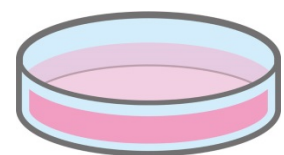
【準備】

培養したい菌体、寒天、ドライイースト、片栗粉、ヨウ素入りのうがい薬、蓋つきの容器、計量カップ、爪楊枝、かき混ぜ棒、水

【手順】

- (1) 寒天培地の溶液をつくる。
 - ・500 mLの水に、寒天5 g、片栗粉2.5 gを加えて作った溶液を弱火で加熱していく。焦がさないように注意して、溶液が透明になるまでかき混ぜる。
- (2) 寒天培地を蓋のついた容器に注ぐ。
 - ・(1)で作成した溶液を厚さ1~2 cmを目安に容器内に注ぐ。その後、常温で自然に固まるまで放置する。溶液が固まったら、1時間ほど容器を逆さにし、余分な水分を取り除く。
- (3) 培養したい菌体（微生物）を寒天培地に植え付ける。
 - ・爪楊枝の先に、菌体を少量つけ、寒天培地の中央に軽くこすりつける。培養したい菌体の数だけ培地を作成する。
- (4) 寒天培地で培養する。
 - ・(3)のあと、容器に蓋をし、ラベルをはる。衝撃を与えないように、30~37℃の室温で1~2日、それ以下の室温で3~5日培養する。
- (5) 微生物の増殖を観察する。
 - ・うがい薬の原液を水で10倍ほどにうすめた溶液を作る。その溶液を寒天培地の表面全体が浸る程度に注ぎ、寒天培地の表面がどのように変化をしたかを確認する。

※育てる温度環境や栄養分などの条件によって、増えやすい微生物は違ってくるので、培養したい菌体の性質をきちんと見極めて実験することがポイントとなります！



ここまでで、いろいろな情報があなたの中に、蓄積されたはずですよ。その上で「人体に存在する細菌で、チーズが作れるか否か!!!」というテーマ、あなたならどう考えますか？

(2) 世界で最も人間を死に至らしめる生物の正体は……！？

私たちは、生まれた瞬間に、寿命がもうすでに決まっているといわれています。何事もなく、無事に生まれ持った寿命をまっとうできたとして、その寿命のことを生理的寿命といいます。しかし、人間の中には、その生理的寿命をまっとうすることなく、死を迎える人がいることもめずらしくありません。では、生理的寿命をまっとうできない人は、何が原因で死を迎えるのでしょうか？それと同時に、人間を最も死に至らしめる生物がいるならば、その正体は何だと考えられるのでしょうか？ここでは、『世界で最も人間を死に至らしめる生物の正体は……！？』を、解説するために必要な知識を身につけていきましょう！

〈ステップ①〉

人間が、生理的寿命をまっとうすることなく死を迎えてしまう原因の1つを「病気」として、考えていくことにしましょう。

Q 日常生活において、ヒトに病気を引き起こしてしまう病原性のある細菌やウイルスを思い浮かべてみよう。

あなたの頭の中には、どのような病原性をもつ菌が思い浮かんだのでしょうか？地球の誕生は、今から約46億年前と考えられており、微生物の誕生は、35億年前の最古の化石で確認されています。病原性をもつ菌の多くを占める微生物は、人類の誕生の遙か昔から過酷な条件下で生存してきたのだともいわれています。また、生物はウイルスによって進化したというタイトルの本もあることから、私たちヒトの生活に、微生物は深く関わっていることが容易に想像できることでしょう。

病原性をもつ微生物は、細菌、ウイルスなどに分類され、多くの種類があるとともに、動物やヒトが影響を受けるしくみもさまざまです。その1つ1つを考えていくことは、新たな発見を伴う可能性を秘めているといっても過言ではありません。

〈身近に存在する病原性をもつ細菌やウイルス〉

	細菌類			ウイルス
	マイコプラズマ	リケッチア	クラミジア	
細胞の構造	あり	あり	あり	なし
核酸	DNA+RNA	DNA+RNA	DNA+RNA	どちらか片方
増殖方法	分裂や出芽	分裂や出芽	分裂や出芽	一段階増殖
単独で培養可能かどうか	可能	不可能	不可能	不可能
エネルギーの生産が可能かどうか	可能	可能	不可能	不可能

※一段階増殖とは…1つの粒子が、感染した宿主細胞内で一気に数を増やして放出する増え方のこと。

※DNAとは…遺伝情報であり、形質を現すために必要不可欠な物質のこと。

※RNAとは…正式名称を、リボ核酸といい、遺伝情報の一種である。

〈ステップ②〉

上の表にあるようなものも含め、私たちのからだは、ウイルス、細菌などと常に接触しています。これらの中には、体内に侵入し、体内環境を乱してしまう病原体と呼ばれる異物も存在しています。私たちのからだは、その病原体の侵入を防いだり、侵入してきた病原体を排除する**生体防御**というシステムがあります。病原体を排除することで、からだを守る防御反応は、**免疫**と呼ばれています。

この生体防御には、3種類のシステムがあり、段階的に病原体を排除しようとはたらいてくれています。その3つのシステムが、①物理的・化学的防御 ②自然免疫 ③獲得（適応）免疫となります。

【ポイント】

☆ヒトの体内環境を守る3つの砦☆

- (1) 物理的・化学的防御…異物（病原体）が体内に侵入するのを防ぐ。
- (2) 自然免疫…体内に侵入してしまった異物（病原体）を排除する。
- (3) 獲得（適応）免疫…体内に侵入してしまった異物（病原体）を排除する。

〈ステップ③〉

からだを守る3つの砦について理解を深めるためには、からだにとって異物であり、病気を引き起こしてしまう可能性のある病原体を体内のどんな細胞が排除してくれているのかをおさえる必要があります。

免疫には、マクロファージ、好中球、リンパ球、樹状細胞など、多くの白血球が関与しています。これらの細胞たちは、体内に侵入してきた病原体を食べて分解し、排除することから**食細胞**とも呼ばれています。リンパ球には、**T細胞**、**B細胞**、**NK細胞（ナチュラルキラー細胞）**、**ヘルパーT細胞**、**キラーT細胞**などに分けられており、それぞれの細胞で役割を分担し、病原体の排除を行っています。

〈血液中における、有形成分一覧〉

有形成分	大きさと数	形成と破壊	主な働きや特徴・寿命
赤血球	・直径7～8 μm ・450万～500万個	骨髄で形成、ひ臓・肝臓で破壊	・酸素の運搬 ・寿命は約120日
白血球	・7～15 μm ・6000～8000個	骨髄で形成、ひ臓で破壊	・寿命は3～21日
リンパ球 (T細胞・B細胞・NK細胞)	・7～9 μm ・1200～2000個	骨髄・胸腺・ひ臓で形成、リンパ節・ひ臓で増殖	B細胞は抗体産生、T細胞とNK細胞は直接抗原を処理。
単球	・10～13 μm ・400～600個	骨髄で形成、ひ臓で破壊	・食作用
好中球	・12～15 μm ・4000～6000個		・白血球で最も多い。 ・傷口で食作用を行う。
好酸球	・12～14 μm ・120～400個		・炎症反応の調節（アトピーに関与する）
好塩基球	・8～10 μm ・60～80個		・アレルギーに関与
血小板	・1～5 μm ・20万～30万個		・血液凝固に関与 ・寿命は7～10日

※リンパ球には、寿命が長いものも存在する。

次に、からだを守る3つの砦について、理解を深めていきましょう。

(1) 物理的・化学的防御

皮膚や気管、消化管などの粘膜は、外界と接しており、病原体にさらされている。この部分には、病原体が侵入しにくい構造やしくみがあり、生体防御に役立っています。

汗や皮脂、および胃酸は酸性で、微生物の繁殖を防ぐ効果があるとされています。さらに、涙や唾液、汗には、細菌の細胞壁を分解する酵素であるリゾチームや、皮膚や粘膜上皮には、細菌の細胞膜を破壊するタンパク質であるディフェンシンがあるため、細菌などの繁殖を抑えることができます。

一方、消化管内にはヒトに害を及ぼさない微生物も多く存在していましたね。前回の内容と合わせて確認をしておきましょう。

〈皮膚や粘膜での物理的・化学的防御〉

皮膚や粘膜での物理的・化学的防御

模式図

(2) 自然免疫

第一の砦である、物理的・化学的な防御をすり抜けて、体内に侵入してきた病原菌は、自然免疫によって排除されます。**自然免疫**とは、病原体に共通する特徴を、幅広く認識し、食作用などによって病原体を排除していくしくみです。感染部位に集まった好中球は、食作用によって病原体を取り込み排除していきますが、NK細胞は、ウイルスの侵入した感染細胞を、正常な細胞と区別し、攻撃して破壊することができます。それぞれの細胞が、異なる方法で病原体を排除することで、効率よく体内環境を維持していることがわかります。自然免疫によって、さまざまな細胞がはたらくことで、局部が赤く腫れたり、熱や痛みをもつことを、**炎症**といいます。

一方、病原体を取り込んだ樹状細胞は、リンパ管に入り、リンパ節へと移動して、獲得免疫を誘導しています。

〈自然免疫のしくみ〉

自然免疫のしくみ

模式図

(3) 獲得免疫

体内に侵入する異物には、ウイルスや細菌および、これらの異物がつくる毒素など、非常に多くの種類が確認されています。獲得免疫の攻撃対象となる物質のことを**抗原**といいます。この抗原を排除してくれるものには、免疫細胞だけでなく、**抗体**と呼ばれる体液中のタンパク質があります。抗体は、**免疫グロブリン**というタンパク質でできていて、B細胞が増殖・分化してできた抗体産生細胞によってつくられています。B細胞からつくられた抗体は抗原と結合することで、**抗原抗体複合体**をつくることが知られており、この反応を**抗原抗体反応**といいます。また、1種類の抗原に対しては、1種類の抗体しかはたらけず、この性質を特異性と呼びます。

獲得免疫は、自然免疫で病原体に反応した樹状細胞からヘルパーT細胞が病原体の情報を受け取ることによって始まります。病原体を食作用によって取り込んだ樹状細胞は、細胞内で病原体を分解し、『今からだの中に入ってきた病原体の情報はこれだ!!!』と言わんばかりに、分解して得られた情報を細胞表面に差し出します。この現象を、**抗原提示**といいます。リンパ節では、樹状細胞に提示された抗原を認識したヘルパーT細胞やキラーT細胞が活性化されて増殖します。

第三の砦である獲得免疫は、第一の防御である物理的・化学的防御や、第二の砦である自然免疫よりも多くの細胞がはたらき、複雑な反応が起きており、体内に侵入してきた病原性をもつ菌（微生物）を排除しようとしています。また、獲得免疫が効果を現すには、抗原に特異的なリンパ球がたくさん増殖する必要があるため、一週間以上の時間がかかり、自然免疫より遅れて効果を発揮する。獲得免疫について、さらに理解を深めるために、2つのしくみに分けてみていきましょう。

【ポイント】

獲得免疫は…

(1) 体液性免疫 と (2) 細胞性免疫 に分けられる！

(1) 体液性免疫について

樹状細胞や B 細胞が、病原体を食作用で取り込んで、認識すると、ヘルパー T 細胞への抗原提示が行われます。同じ抗原を取り込んだ B 細胞をヘルパー T 細胞が活性化し、B 細胞が抗体産生細胞（形質細胞）へ分化していきます。ここでポイントになるのは、すべての B 細胞が抗体産生細胞になるのではなく、B 細胞の一部や、ヘルパー T 細胞は**免疫記憶細胞**となって、抗原の情報を保持しておくことで、再び同じ抗原が体内に侵入してきたときに、速やかに抗原を排除できるようなシステムを作っているということです。

抗体産生細胞によってつくられた抗体は、体液によって感染部位へと運ばれて、抗原と特異的に結合する抗原抗体反応を起こします。このようにしてできあがった抗原抗体複合体はマクロファージや好中球の食作用を促進させているとも考えられています。

体液性免疫のしくみ

模式図

(2) 細胞性免疫について

ウイルスや結核菌などの病原体は、体内の細胞に感染すると、その中で増殖していきます。抗体は細胞内に入ることができないので、キラー T 細胞は、このような感染細胞の排除に効果的にはたらいっているといえます。

樹状細胞が食作用によって抗原を取り込み、認識をするとヘルパー T 細胞とキラー T 細胞へ抗原の情報を提示します（抗原提示）。情報を受け取った後、キラー T 細胞は、ヘルパー T 細胞を活性化し、感染細胞を排除する準備にとりかかります。ここでも、体液性免疫と同様、一部のヘルパー T 細胞やキラー T 細胞は免疫記憶細胞となり、再び同じ抗原が体内に侵入してきたときに、速やかに抗原を排除できるようなシステムをつくります。その後、ヘルパー T 細胞によるマクロファージの活性化が起こり、食作用が活発に起こると同時に、キラー T 細胞が感染細胞を攻撃していきます。

細胞性免疫のしくみ

模式図

〈自然免疫と獲得免疫の応答の違い〉

	自然免疫	獲得免疫
排除対象	すべての異物（非特異的）	特定の異物（特異的）
排除の方法	主に食作用	抗原抗体反応もしくはキラーT細胞による感染細胞への直接攻撃
排除の速さ	比較的はやい（数時間程度）	おそい（最初は1週間程度）
排除の力	排除を繰り返しても、変化はない	排除を繰り返すことで、増大する
担当細胞	主に白血球	主にリンパ球
生物例	ほとんどの動物	脊椎動物のみ

以上が、病原性をもつ菌が体内に侵入してきた際に、からだを守る3つの砦（生体防御）の詳しいしくみになります。微生物にも、ヒトの生活を支えてくれるものもいれば、ヒトの体内に侵入して、病気を引き起こしてしまうものもあります。多種多様な微生物によって、私たちの生活は影響を受けていることになりますね。

しかし、微生物に視点を移して考えてみるとどうでしょうか。微生物も生物の一種です。自分の命をまっとうしたいはずです。そのために、快適な環境を選んで命を維持しているにすぎないかもしれませんよね。

いろんな視点で物事を考えてみると、今まで気づかなかったような、新しい発想が見つかるかもしれません。

《フレイクタイム》

病原性をもつ菌の中には、食中毒を引き起こす、サルモネラや大腸菌 O-157 などの細菌がいます。これらは、ヒトや動物の体内だけでなく、条件が揃えば外界でも増殖できるのです。一方、ウイルスなどは、ヒトや動物の細胞に入って、そのエネルギー源と酵素を使うことでしか増殖できず、外界で生存できる期間が限られているのです。

【細菌編】

細菌の中には、ブドウ球菌のように発育に酸素を必要とするものと、破傷風菌のように酸素があると発育できないものがあります。特に、酸素があると発育できないものは、深い傷を負ったときなどに発症しやすいといわれています。また、サルモネラのように感染によって組織を破壊するものと、大腸菌 O-157 や破傷風菌など、毒素を産生するものも発見されています。

1928 年にペニシリンが発見されてから、これまでに多くの抗菌剤が開発されてきました。このおかげで、当初死を待つしかない病でも、完治できるようになったといえます。しかし、その後、大きな問題が生じ、いまだに現在進行形でその問題を抱えていることも否めません。

Q ペニシリンが発見された後、病原性をもつ菌を駆逐できる可能性が見えてきたにも関わらず、いまだに解決できていない、問題点とは何であると考えますか？自由に思考してみてください。

【ウイルス編】

ウイルスは、細菌よりも小さく、顕微鏡で観察できなかったことと、寒天培地で培養ができないことから、その発見は細菌と比較しても 20 数年遅れることとなってしまいました。ウイルスは、細胞への侵入点となる特定の部位をもつ動物種にしか一般的に感染しませんが、狂犬病のようにすべての哺乳動物に感染するウイルスが存在しているのも事実です。

インフルエンザウイルスなどには、一部のウイルスにのみみられる特殊な膜構造が存在します。たとえば、インフルエンザは、その特殊な膜構造があるため、消毒用アルコールで活性を抑えることが可能になっています。

Q ヒト免疫不全ウイルスに対する特效薬が、いまだに開発されていない理由を考えてみてください。

細菌やウイルス以外にも、病原性をもつ菌として寄生虫や真菌などの微生物がいることも知られています。身近な微生物に、興味をもって調べ、自分なりの仮説を立てて物事を考えてみてください。

そして、『世界で最も人間を死に至らしめる生物の正体は……！？』この答えが、今までの学びを通して、あなたの中で見つかったでしょうか？**生理的寿命をまっとうすることなく、人間を死に至らしめてしまう原因が病気であるとするならば、その病気を引き起こす病原体やウイルスを媒介する生物が、実に怪しいですよ…考えてみてください！**



(3) ラピュタを手放した人類の本当のわけは微生物にあり……！？

長年愛されているジブリ映画「天空の城ラピュタ」。その主人公である、かわいらしいヒロインがこんな言葉を発したのを覚えていますか？

『土から離れては生きられないのよ！』

なぜ彼女はこの言葉を発したのか？この單元では、その言葉の意味を深く考えることができるようなくみになっています。考える視点はもちろん、微生物です。このテーマで学んだことを活かして、科学や文明が発展していたにも関わらず、ラピュタを手放したあなたなりの理由を見つけてください。

〈ステップ①〉

私たちが生活する地球上には、多くの微生物が生存しています。その存在場所は、土、水、空、海と幅広く、肉眼では見ることができない微生物たちが協力して、自然環境や地球環境を形作っています。微生物がはたらいている証拠を考えてもらうために、よくこんな問いかけをされることがあります。

「地球上には、さまざまな生物が生きています。すべての生物の命はいつか絶えてしまうのですが、地球上に生物の死骸が残らないのはなぜでしょう？」

あなたなら、この問いかけに対してどのような意見を出すでしょうか。下の図を参考にして、少し考えてみてください。

〈生態ピラミッドの一例〉



【注意】消費者は、有機物を無機物に分解する過程に関わることから、分解者と呼ばれることがある！！

〈ステップ②〉

微生物を含めた生物と、それらを取り巻く環境を物質循環とエネルギーの流れの観点から一つのまとまりとしてみると、これを**生態系**といいます。

生態系の中には、同種・異種の生物からなる**生物的環境**と、温度、光、水、大気、土壌などからなる**非生物的環境**に分けて考えることもできます。この生物的環境と、非生物的環境はお互いに影響を及ぼしあっているのが特徴です。非生物的環境が生物に影響を与えることを**作用**といいます。一方、生物が非生物的環境に影響をあたえることを**環境形成作用**といいます。

生態系において、植物や藻類のように、無機物から有機物をつくりだすことのできる独立栄養生物を**生産者**と呼び、多くの動物のように外界から有機物を取り入れ、それを利用している従属栄養生物は**消費者**と呼ばれています。また、菌類・細菌類のような微生物は有機物を分解して、無機物に変換する能力をもつことから、**分解者**と呼ばれています。

〈生態系における生産者・消費者・分解者の関係性〉

生態系における生産者・消費者・分解者の関係性

模式図

ステップ①での問いかけである、「地球上には、さまざまな生物が生きています。すべての生物の命はいつか絶えてしまうのですが、地球上に生物の死骸が残らないのはなぜでしょう？」この問いを解決するキーワードは、やはり**分解者**のようですね。

生物の死骸はすべて、有機物に分類されます。その有機物を分解者が無機物に変換してくれることによって、その無機物を再び生産者である植物が利用して有機物をつくります。できあがった有機物を消費者が食べて、生き抜き、寿命をまっとうする……という生態系のサイクルが確立されています。

上の図では、物資とエネルギーの流れも描かれています。図から下の問いに対する答えを導いてみましょう。

Q 物質とエネルギーのうち、生態系の中を循環するのはどちらですか？

〈土壌中の微生物のはたらきを確認するための実験〉

【材料】 デンプンを含む寒天培地（オートクレーブ）で滅菌したもの、花壇等の土

【器具】 ペトリ皿、フライパン

【薬品】 ヨウ素溶液

【方法】 (1) 花壇等で採集した土を2つ分け、一方をフライパンでじゅうぶん焼いて冷ます。

(2) 焼いていない方の土と、焼いた土をそれぞれ別々の寒天培地にのせる。両方の培地を室温で数日間置いておく。

(3) 数日後、培地にヨウ素溶液を滴下し、デンプンが分解されているかどうか確かめる。



地球上に存在する微生物の多くは、食物連鎖に大きく関与しているとも考えられます。前ページの内容にもあったように、生物の遺骸や枯死体を分解し、無機物に変換することによって、植物が有機物をつくるための材料として再び活用できるようになっています。

生態系の内部では一定の関係性があるように感じられますね。捕食されるものを被食者といい、捕食するものを捕食者といいます。この両者が、一連の鎖のようにつながっていることを**食物連鎖**といいます。森林では、落ち葉を食べるトビムシやササラダニ、それを食べる肉食性のカブリダニやカニムシなどがみられます。このように、生物の遺骸などからはじまる食物連鎖を**腐食連鎖**と呼びます。一般的な食物連鎖は生きた生物からスタートしていくのも特徴です。

〈食物連鎖の一例〉

食物連鎖の例

模式図

ここまでで、生態ピラミッドと食物連鎖について学んできました。生態ピラミッドでの問いかけ **Q 物質とエネルギーのうち、生態系の中を循環するのはどちらですか？** に対する答えは出ているでしょうか？

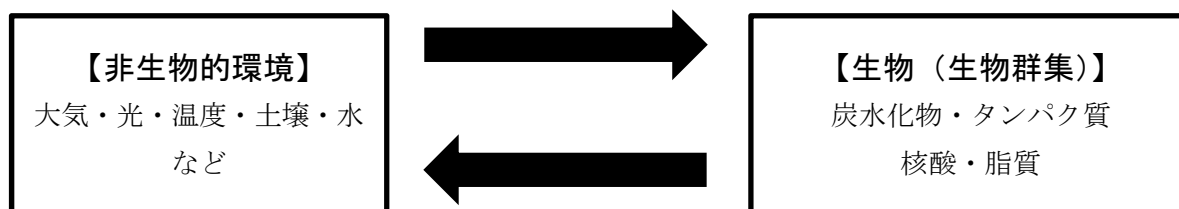
ここでは主に、生態系内の物質循環について、学びを深めていきましょう。生態系内の物質といっても、様々なものがあるので、今回は、炭素と窒素をピックアップしていききたいと思います。

【炭素の循環】

生物体に含まれる炭素 (C) は、タンパク質・炭水化物・脂質・核酸などを構成する重要な元素です。生物体に含まれる炭素は、元々、大気中や水中に含まれていた二酸化炭素 (CO₂) に由来します。

植物や藻類などは、二酸化炭素を吸収して光合成を行い、有機物を合成します。これらの生物は、合成した有機物をからだをつくる成分につくり変えたり、からだの一部に蓄えたりしています。

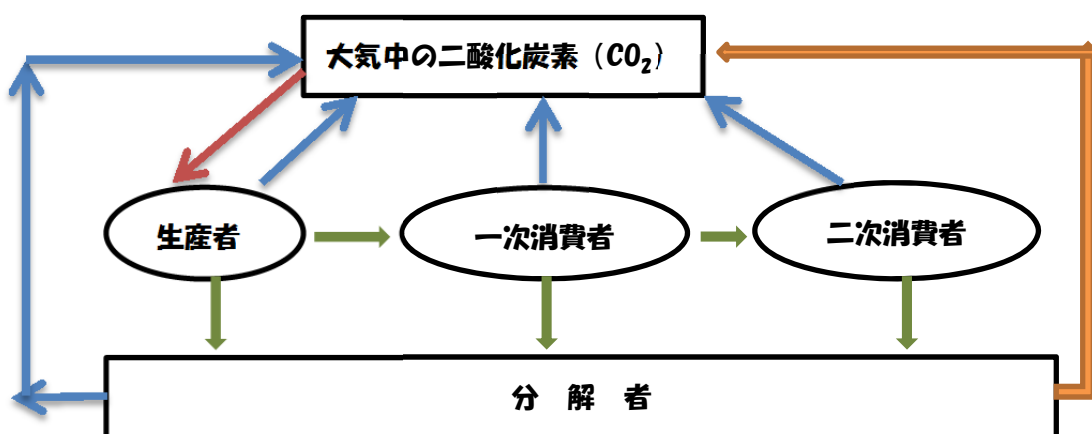
〈生態系の物質循環〉



※生物の体内に含まれる元素を調べてみると…

炭水化物 (C, H, O)、**タンパク質 (C, H, O, N, S)**、**核酸 (C, H, O, N, P)**、**脂質 (C, H, O, P)** と、それぞれに特有の元素が含まれていることがわかりますが、その中でも、炭素 (C) が共通して含まれていることに気づくことができます。このことから、物質は、非生物的環境と生物の間を循環しているのです。

〈炭素 (C) 循環のしくみ〉



図中の、赤の線は光合成、青の線は呼吸、緑の線は有機物の動き、オレンジの線は、長年、土壌中に分解されず残ったもの (化石燃料) を、人間が掘り起こして利用する燃焼を示しています。

炭素は生産者の光合成で非生物的環境から生物へ取り込まれ、生産者、消費者、分解者の呼吸で非生物環境へ戻っていきます。これが炭素循環のしくみなのです。

〈 窒素の循環 〉

窒素は、大気中に約80%含まれている比較的安定している気体です。こんなにもたくさん大気中に含まれているにも関わらず、残念ながら私たち人間は、この気体を直接利用することはできません。しかし、窒素原子（N）は、私たちのからだをつくっているタンパク質や遺伝情報である核酸の中に含まれており、生物にとって必要不可欠な物質だといっても過言ではありません。そんな大切な窒素を、私たちが利用しやすいような物質に変換してくれる微生物たちが、土壌中や水中に存在する、根粒菌、アゾトバクター、クロストリジウムなどの**窒素固定生物（窒素固定細菌）**と呼ばれる微生物たちです。この微生物による、大気中の窒素をアンモニウムイオンに変換する働きを**窒素固定**といいます。この微生物たちの体内には、ニトロゲナーゼという酵素が存在しているため、空気中の窒素をアンモニウムイオンに変換することが可能になっています。

大気中の窒素が、アンモニウムイオンにまで変換されると、植物たちが土壌中のアンモニウムイオンを根から吸い上げ、有機窒素化合物を合成することができます。このしくみを**窒素同化**といいます。有機窒素化合物とは、先ほど例にあげたタンパク質や核酸以外にも、クロロフィルやATP（アデノシン三リン酸）などの物質も含まれるので忘れないようにしておきましょう。また、生物の遺骸や排出物に含まれる有機窒素化合物は、菌類・細菌類のはたらきによってアンモニウムイオンなどの、無機窒素化合物に変えられ、再び土壌に戻っていきます。それを再び植物が利用して有機窒素化合物がつくられるというサイクルになっています。

一方で、土壌中では、アンモニウムイオンを亜硝酸イオンに変換したり、亜硝酸イオンを硝酸イオンに変換する、**硝化**と呼ばれる作業も行われています。この硝化に関わる微生物をそれぞれ、亜硝酸菌、硝酸菌といい、まとめて**硝化細菌（硝化菌）**と表現されたりします。この硝化細菌がつくった亜硝酸イオンや硝酸イオンのほか、土壌中の無機窒素化合物の一部は、**脱窒素細菌**のはたらきによって、窒素（N₂）となり、大気中へ放出されていきます。この作用を**脱窒**といいます。

生態系における窒素の循環

模式図

さて、ここまでで、土壌中の微生物は、生態系の中で、さまざまな反応とさまざまなサイクルを繰り返して、私たちの生活を支えてくれていることがわかってきました。

それでは、最初に立ち戻って考えたときに、

『土から離れては生きられないのよ！』

と、ヒロインが発した言葉の意味と、

『ラピュタを手放した人類の本当のわけは微生物にあり……！？』

このテーマの意味がつながり、あなたなりの意見が見つかったでしょうか。もう一度、よく読んで、知識を身につけ、思考を深めていくとともに、あなたなりの課題とそれに対する答えを模索してみてください。