

高等学校における教科指導の充実

理 科
《 生物領域 》

「生物基礎」指導資料集

栃木県総合教育センター
平成24年 3 月

ま え が き

21世紀は、新しい知識・情報・技術が、政治・経済・文化をはじめ社会のあらゆる領域での活動の基盤として飛躍的に重要性を増す、いわゆる「知識基盤社会」の時代であると言われています。そのような時代を生きるために、確かな学力、豊かな心、健やかな体の調和を重視する「生きる力」をはぐくむことがますます重要になっています。他方、各種の国際的な調査では、我が国の児童生徒について、思考力・判断力・表現力等、知識・技能の活用、学習意欲、学習習慣・生活習慣などに課題があると分析されました。このような状況を踏まえて、平成20年1月の中央教育審議会の答申を受け、平成21年3月に高等学校学習指導要領が告示されました。

この新しい学習指導要領は、高等学校では平成25年度入学生から年次進行で実施されます。総則の一部、総合的な学習の時間及び特別活動においては、平成22年度から先行して実施されています。また、数学、理科及び理数の各教科・科目については、平成24年度入学生から年次進行により先行して実施されます。各学校においては、新しい学習指導要領の理念をどのように実現していくのか、具体的な検討を進めていることと思います。

栃木県総合教育センターでは、基礎・基本の確実な定着を図る教科指導の在り方について研究するとともに、その成果を普及することで生徒の学力の向上に資することを目的に、平成17年度から「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」を行ってきました。今年度は、昨年度に引き続き、「今回の学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、各教科に求められている課題の解決を図るための教科指導の在り方を探る」ことに重点を置き、国語科、地理歴史科、理科、保健体育科、商業科で調査研究に取り組みました。本冊子はその成果をまとめたものであり、教科指導を充実させる一助として、御活用いただければ幸いです。

最後に、調査研究を進めるに当たり、御協力いただきました研究協力委員の方々に深く感謝申し上げます。

平成24年3月

栃木県総合教育センター所長

瓦 井 千 尋

「生物基礎」指導資料集

目 次

1 本調査研究の背景	1
(1) 学習指導要領改訂の基本的な考え方	
(2) 教育内容の主な改善事項	
(3) 学習評価の基本的な考え方	
(4) 高等学校理科（生物領域）における改訂内容について	
(5) 「生物基礎」年間学習指導・実験観察計画について	
(6) 「生物基礎」学習評価について	
2 指導上の留意点と授業事例	9
(1) 生物と遺伝子	9
事例Ⅰ 生物の共通性と多様性	1 1
思考学習：分類の考え方	
実験：どんな生物だろうか？	
（イシクラゲ（原核生物）・ワカメ（原生生物）・コカナダモ（植物））	
事例Ⅱ 遺伝情報とDNA	2 1
実験：組換え遺伝子の導入による遺伝情報の発現	
(2) 生物の体内環境の維持	3 3
事例Ⅲ 腎臓の働き	3 5
思考学習：浄水器の構造と機能	
解剖実験：腎臓の構造と機能	
思考学習：腎臓の尿生成	
事例Ⅳ 体内環境の維持の仕組み	4 5
実験：ホルモンの作用による呼吸数の変化	
思考学習：鱗の色素胞の変化の仕組み	
課題研究：アドレナリンの作用について	
(3) 生物の多様性と生態系	5 4
事例Ⅴ 植生の多様性	5 6
観察：植物の生活形	
思考学習：陸上植物の多様性と分布	

※本資料は、栃木県総合教育センターのホームページ「とちぎ学びの杜」内、「調査研究」と「教材研究のひろば」のコーナーにも掲載しています。

（「とちぎ学びの杜」 <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>）

1 本調査研究の背景

今年度の「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」は、平成21年告示の高等学校学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、各教科に求められている課題の解決を図るための教科指導の在り方を探ることに重点を置き、国語科、地理歴史科、理科、保健体育科、商業科で実施するものである。

各教科で調査研究した内容を次章以降に提示するに当たり、まず、平成21年告示の高等学校学習指導要領改訂の基本的な考え方、教育内容の主な改善事項及び学習評価の基本的な考え方について整理する。

（１）学習指導要領改訂の基本的な考え方

平成21年告示の高等学校学習指導要領の改訂では、21世紀を生きる子どもたちの教育の充実を図るため、「生きる力」をはぐくむという教育課程の基準全体の見直しを図った。今回の改善の方向性は、平成20年1月の中央教育審議会答申「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」に示されている。答申では、以下の①～⑦を基本的な考え方として、各学校段階や各教科等にわたる学習指導要領の改善の方向性が示された。

- ① 改正教育基本法等を踏まえた学習指導要領改訂
- ② 「生きる力」という理念の共有
- ③ 基礎的・基本的な知識・技能の習得
- ④ 思考力・判断力・表現力等の育成
- ⑤ 確かな学力を確立するために必要な授業時数の確保
- ⑥ 学習意欲の向上や学習習慣の確立
- ⑦ 豊かな心や健やかな体の育成のための指導の充実

具体的には、①については、教育基本法が約60年振りに改正され、21世紀を切り拓く心豊か^{ひら}でたくましい日本人の育成を目指すという観点から、これからの教育の新しい理念が定められたことや、学校教育法において教育基本法改正を受けて、新たに義務教育の目標が規定されるとともに、各学校段階の目的・目標規定が改正されたことを十分に踏まえた学習指導要領改訂であることを求めた。③については、読み・書き・計算などの基礎的・基本的な知識・技能は、例えば、小学校低・中学年では体験的な理解や繰り返し学習を重視するなど、発達の段階に応じて徹底して習得させ、学習の基盤を構築していくことが大切との提言がなされた。この基盤の上に、④の思考力・判断力・表現力等をはぐくむために、観察・実験、レポートの作成、論述など、知識・技能の活用を図る学習活動を発達の段階に応じて充実させるとともに、これらの学習活動の基盤となる言語に関する能力の育成のために、小学校低・中学年の国語科において音読・暗唱、漢字の読み書きなど基本的な力を定着させた上で、各教科等において、記録、要約、説明、論述といった学習活動に取り組む必要があると指摘した。また、⑦の豊かな心や健やかな体の育成のための指導の充実については、徳育や体育の充実のほか、国語をはじめとする言語に関する能力の重視や体験活動の充実により、他者、社会、自然・環境とかかわる中で、これらとともに生きる自分への自信をもたせる必要があるとの提言がなされた。

また、高等学校の教育課程の枠組みについては、高校生の興味・関心や進路等の多様性を踏まえ、必要最低限の知識・技能と教養を確保するという「共通性」と、学校の裁量や生徒の選択の幅の拡大という「多様性」とのバランスに配慮して改善を図る必要があることが示された。

（２）教育内容の主な改善事項

平成21年告示の高等学校学習指導要領における教育内容の主な改善事項は次のとおりである。

- 言語活動の充実
 - ・国語をはじめ各教科等で批評、論述、討論などの学習を充実した。
- 理数教育の充実
 - ・遺伝など、近年の新しい科学的知見等を踏まえ内容を充実し、統計に関する内容を数学Ⅰに導入した。
 - ・日常生活や社会との関連を重視した改善を図った。
 - ・数学Ⅰに〔課題学習〕を導入したり、科目「理科課題研究」を新設したりするなど、知識・技能を活用する学習や探究する学習を重視した。
- 伝統や文化に関する教育の充実
 - ・歴史教育（世界史における日本史の扱い、文化の学習を充実）、宗教に関する学習を充実した。
 - ・古典（国語）、武道（保健体育）、伝統音楽（芸術「音楽」）、美術文化（芸術「美術」）、衣食住の歴史や文化（家庭）に関する学習を充実した。
- 道德教育の充実
 - ・学校の教育活動全体を通じて行う道德教育について、その全体計画を作成することを新たに規定した。
 - ・現代社会や特別活動において人間としての在り方生き方に関する学習を充実した。
- 体験活動の充実
 - ・ボランティア活動などの社会奉仕、就業体験を充実するとともに、職業教育において、産業現場等における長期間の実習を取り入れることを明記した。
- 外国語教育の充実
 - ・指導する単語数を増加するとともに、授業を実際のコミュニケーションの場とするという観点から、授業は英語で指導することを基本とするなどの改善を図った。
- 職業に関する教科・科目の改善
 - ・職業人としての規範意識や倫理観、技術の進展や環境等への配慮、地域産業を担う人材の育成等、各種産業で求められる知識・技術等を身に付けさせる観点から科目構成や内容を改善した。

（３）学習評価の基本的な考え方

現在、高等学校においては、学習状況を分析的にとらえる観点別学習状況の評価と総括的にとらえる評定とを、学習指導要領に定める目標に準拠した評価として実施している。小・中学校において観点別学習状況の評価が定着していることから、高等学校段階においても、学習評価の前提となる指導と評価の計画や、観点に対応した生徒一人一人の学習状況を生徒や保護者に適切に伝えていくなど、学習評価の一層の改善が求められている。

このようなことから、高等学校においても、学校教育法や平成21年告示の高等学校学習指導要領を踏まえ、基礎的・基本的な知識・技能に加え、思考力・判断力・表現力等、主体的に学習に取り組む態度に関する観点についても評価を行うなど、観点別学習状況の評価の実施を推進し、きめの細かい学習指導と生徒一人一人の学習の確実な定着を図っていく必要がある。なお、高等学校における教科・科目の評価の観点は、小・中学校との連続性に配慮しつつ、平成21年告示の高等学校学習指導要領の趣旨を踏まえ、生徒の実態に合わせて設定することが適当である。

また、学習評価は、生徒の学習状況を検証し、結果の面から教育水準の維持向上を保障する機能を有するものである。したがって、学校が地域や生徒の実態を踏まえて設定した観点別学習状況の評価

規準や評価方法等を明示するとともに、それらに基づき学校において適切な評価を行うことなどにより、高等学校教育の質の保障を図るものである。

平成21年告示の高等学校学習指導要領における評価の観点は、以下の囲みのように整理される。「知識・理解」及び「技能」については、教科の特性に応じ、知識と技能に関する観点が分けて示されていることもある。また、「思考・判断・表現」については、各教科の目標や内容を踏まえ、当該教科において育成すべき能力にふさわしい名称とし、位置付けられている。

●「関心・意欲・態度」

各教科が対象としている学習内容に関心をもち、自ら課題に取り組もうとする意欲や態度を児童生徒が身に付けているかどうかを評価するもの。評価に当たっては、各教科が対象としている学習内容に対する児童生徒の取組状況を通じて評価することが基本であり、例えば、授業中の挙手や発言の回数といった表面的な状況のみに着目することにならないよう留意する必要がある。

●「思考・判断・表現」

各教科の知識・技能を活用して課題を解決すること等のために必要な思考力・判断力・表現力等を児童生徒が身に付けているかどうかを評価するもの。従来の「思考・判断」に「表現」が加えられた。これは、この観点に係る学習評価を言語活動を中心とした表現に係る活動や児童生徒の作品等と一体的に行うことを明確に示したためである。

このため、この観点を評価するに当たっては、単に文章、表や図に整理して記録するという表面的な現象を評価するものではなく、例えば、自ら取り組む課題を多面的に考察しているか、観察・実験の分析や解釈を通じ規則性を見いだしているかなど、基礎的・基本的な知識・技能を活用しつつ、各教科の内容等に即して思考・判断したことを、記録、要約、説明、論述、討論といった言語活動等を通じて評価するものであることに留意する必要がある。

●「技能」

各教科において習得すべき技能を児童生徒が身に付けているかどうかを評価するもの。基本的には、従来の「技能・表現」で評価している内容は引き続き「技能」で評価する。

今回、各教科の内容に即して思考・判断したことを、その内容を表現する活動と一体的に評価する観点として「思考・判断・表現」が設定されたことから、当該観点における「表現」との混同を避けるため、評価の観点の名称が「技能・表現」から「技能」に改められた。

●「知識・理解」

各教科において習得すべき知識や重要な概念等を児童生徒が理解しているかどうかを評価するもの。従来の「知識・理解」の趣旨を踏まえた評価を引き続き行う。

また、評価の在り方については、「高等学校学習指導要領界説 総則編」で、次のように述べられている。

〈第3章 5 (12) 指導の評価と改善(第1章第5款の5の(12))〉

基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図るとともに、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等を育成し、学習意欲を高めるための指導を行うためには、評価の在り方が大切である。いわゆる評価のための評価に終わることなく、生徒一人一人の学習の成立を促すための評価という視点を一層重視することによって、教師が自らの指導を振り返り、指導の改善に生かしていくことが特に大切である。

評価に当たっては、生徒の実態に応じた多様な学習を促すことを通して、主体的な学習の仕方が身に付くように配慮するとともに、生徒の学習意欲を喚起するようにすることが大切である。その際には、学習の成果だけでなく、学習の過程を一層重視する必要がある。特に、他者との比較ではなく生徒一人一人の持つよい点や可能性などの多様な側面、進歩の様子などを把握し、学年や学期にわたって生徒がどれだけ成長したかという視点を大切にすることが重要である。また、生徒が自らの学習過程を振り返り、新たな自分の目標や課題をもって学習を進めていけるような評価を行うことが大切である。

学習評価においては、生徒のよい点や進捗の状況などを積極的に評価するとともに、指導の過程や成果を評価し、教師が自らの指導の改善を行い、生徒の学習意欲の向上に生かすようにすることが大切である。そのためにも、「関心・意欲・態度」、「思考・判断・表現」、「技能」、「知識・理解」の4観点の趣旨を踏まえ、適切に評価を進めていくことが求められる。

（４）高等学校理科（生物領域）における改訂内容について

平成21年3月に新しい高等学校学習指導要領が告示され、理科については他教科に先立って平成24年度入学生から年次進行により実施することとなった。今回の改訂に関しては、高校生物に関係した基本方針や具体的事項として、平成20年1月の中央教育審議会答申の中で、以下の3点が挙げられている。

- ① 生命科学などの科学の急速な進展に伴って変化した内容については、実社会・実生活との関連や、高等学校と大学の接続を円滑にする観点から見直しを図る。
- ② 科学技術の進展の中で、理数教育の国際的な通用性が一層問われている。
- ③ 理科の学習において基礎的な知識・技能は、実生活における活用や論理的な思考力の基盤として重要な意味をもっている。

さらに、今回の改訂の前提として、以下の2点が挙げられている。

- ④ 現行指導要領の各科目の履修状況は、「生物I」が高校生の80%近いのに対して、「生物II」は20%に満たない状況である。
- ⑤ 「物理・化学・生物・地学のうち3領域以上を学び、基礎的な科学的素養を幅広く養い、科学に対する関心をもち続ける態度を育てる」ために、現課程「生物I」が標準単位数3単位であったのに対して、新課程「生物基礎」は2単位とする。

以上の5点を踏まえ、新学習指導要領では、以下の考え方が重視されて改訂がなされた。

- (a) 最近20～30年の進展で明らかになった生物学の基礎的・基本的な事項を取り入れる。
- (b) 健康、食物、環境等に関わる実生活に有益な生物学の基礎的な事項を取り入れる。
- (c) 大学との接続や国際的な通用性を重視して、内容・用語の変更、削除、追加を行う。
- (d) 「生物基礎」と「生物」の履修者割合が大きく異なることを踏まえ、一連の内容でも、必要な場合は特に基礎的な部分は「生物基礎」（＝Science for All）に入れ、さらに詳しい部分は「生物」（＝Science for interested students）に置くように分ける。
- (e) 内容の追加がある中で生徒の学習負担増を抑えるため、これまで教えられてきた内容でもそれほど基礎的でない部分、古い知見となっている部分、相対的に優先順位の低い部分は削除する。特に「生物基礎」については、これまでの「生物I」と関わらずに、内容を厳選する。
- (f) 基礎的な知識・技能の定着を図るために、各項目および各内容は孤立して扱うのではなく、できるだけ相互に関連付けをしながら扱う。
- (g) 小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化が図られる中で、小・中学校の理科については今までより充実が図られた。それに伴い、「生物基礎」「生物」で扱う内容と、中学校で扱う内容との重複を避ける。

-
- ・本冊子においては、以降、平成11年3月に告示された学習指導要領を「現行の学習指導要領」、平成21年3月に告示された学習指導要領を「新学習指導要領」として記す。
 - ・本冊子に掲載した単元等に付してある評価規準は、新学習指導要領における教科・科目を想定して、参考として掲載したものである。

以上の経緯から設定された高校生物のコンセプト及び各科目の概要は、次のようにまとめられる。

＜新課程の高校生物のコンセプト＞

- ・ 進化に基づく生物の共通性と多様性という視点を導入
- ・ 近年の生命科学の急速な進展に対応 → 生命現象の仕組みや相互概念の関係を扱う。
- ・ ミクロレベルからマクロレベルまでの領域を学ぶように構成

＜生物基礎（2単位）の概要＞

大項目名	階層レベル	主な内容	科学的リテラシー
(1)生物と遺伝子	細胞・分子レベル	細胞小器官、DNA、代謝	現代生物学の基礎
(2)生物の体内環境の維持	個体レベル	自律神経、ホルモン、免疫	健康
(3)生物の多様性と生態系	生態系レベル	植生、遷移、物質循環、保全	環境

＜生物（4単位）の概要＞

大項目名	主な内容	研究が進んでいる内容
(1)生命現象と物質	細胞と分子、代謝、遺伝情報の発現	生体膜、細胞骨格
(2)生殖と発生	有性生殖、動物・植物の発生	植物の器官分化の過程
(3)生物の環境応答	動物の反応と行動 植物の環境応答	神経行動学 光受容体
(4)生態と環境	個体群と生物群集、生態系	様々なレベルでの多様性
(5)生物の進化と系統	生物の進化の仕組み、生物の系統	分子進化の中立説、ドメイン

【参考資料】

「平成21年改訂学習指導要領および解説における主な変更点について」 2009年11月
首都大学東京 松浦克美 （高等学校学習指導要領解説理科編作成協力者）

このような状況から、本調査研究では、大多数の高校生が履修すると想定される「生物基礎」を対象科目として、以下の2点を念頭に関係資料を収集し、授業展開事例を作成した。

- ・ 生物を専門とする教員については、従来の指導方針・計画を見直し、高校卒業時まで広く身に付けさせたい科学的リテラシーの視点から授業を再構成して、新しい生物学を体系的に指導するために役立つ内容を盛り込む。
- ・ 生物を専門としない教員が、「生物基礎」の授業を担当する場合に参考資料として役立つ基礎的な内容を盛り込む。

（５）「生物基礎」年間学習指導・実験観察計画について

新学習指導要領で示された内容は多岐にわたり、標準2単位（70時間）という限られた時間の中で、どこまで深く指導内容を扱い、求められている力をどのように身に付けさせるかが大きな課題である。また、観察・実験で用いる生物試料によっては、季節の制約や地域の実態などに応じて対策が必要である。学校内外の生物の状態、施設・設備の実情なども踏まえて、新学習指導要領に示された配列通りではなく、順序を変更して学習指導をしていくことも考えられる。そのため、各学校においては、単元の配列順序、学習進度を綿密に計画し、実施する観察・実験を年間指導計画に組み込む必要がある。また、生徒にそれらをシラバス等で提示して、主体的な学習活動を促すことが求められる。

新学習指導要領解説などを基に作成した計画の一例を次の表に示す。

大項目	中項目	小項目	指導事例	配当時間	実験・観察等	話題・参考
			季節や地域の実態などに応じて生物の素材を選び、生物や生物現象に対する興味・関心を高めさせるように配慮する。	2	- 顕微鏡観察の基本操作 - マイクロメーターによる測定	
(1) 生物と遺伝子	ア 生物の特性	(f) 多様性の共通性	原核生物の観察の例としては、食品中の乳酸菌や枯草菌、校舎の陰の湿った場所などで採取できるネンジュモなど身近な生物を利用することが考えられる。	7	- 原核生物と真核生物の観察（イシクラゲ、ネンジュモ、乳酸菌／オオカナダモ） - オオカナダモの葉の細胞の観察（表裏の違い） - 単細胞生物と多細胞生物の観察（ゾウリムシ、ボルボックス、ヒト、ツバキ）	- 原形質成分組成 - 身近な原核生物（水前寺海苔、大腸菌、納豆菌） - 細胞分画法 - 動物植物組織・器官
		(g) エネルギー	光合成によって光エネルギーを用いて有機物がつくられ、呼吸によって有機物からエネルギーが取り出されることを扱う。その際、生じたATPが、光合成の反応など生命活動に広く利用されること、光合成や呼吸の反応が酵素の触媒作用によって進むことにも触れる。また、ミトコンドリアと葉緑体が、原核生物に由来することにも触れる。	6	- カタラーゼの性質 - 葉緑体と光合成	- 酵素特性 - ATPで衛生管理 - 呼吸基質の推定（RQ） - 光合成・呼吸の仕組み（ツンベルグ管、デヒドロゲナーゼ）
	イ 遺伝子とその働き	(f) DNA情報	DNAの構造については、DNAが塩基の相補性に依存して二重らせん構造をもつこと、塩基の配列が遺伝情報となることを扱う。その際、DNAの二重らせん構造は、糖、リン酸の繰り返しからなる基本骨格2本が、それぞれの基本骨格から突き出した塩基の相補性によって向かい合っており、それぞれが模式的に示すことが考えられる。遺伝子とゲノムの関係については、個々の遺伝子はゲノムを構成するDNAのごく一部であることに触れる。	3	- DNAの抽出（プロッコリー、ヒト） - DNA模型の製作	- 遺伝物質の解明史 - 遺伝子組み換え、PCR、作物品種改良、医療
		(g) 遺伝情報	細胞周期の間にDNAの複製が行われ、分裂期にDNAが等しく分配され、結果としてDNAが質、量ともにどの細胞でも同じになることを扱う。	2	分裂期と細胞周期の観察（タマネギ・ニンニク根端）	- DNAと染色体 - 分裂する細胞、しない細胞 - 細胞周期
		(h) 遺伝情報	転写と翻訳の概要については、DNAの塩基配列からmRNAの塩基配列へ、mRNAの塩基配列からアミノ酸の配列へという情報の流れを扱う。また、タンパク質が、酵素として働くなどして、生命現象を支えていることについても触れる。すべての遺伝子が常に発現しているわけではないことについては、個体を構成する細胞は遺伝的に同一だが、例えば、個体の部位に応じて発現している遺伝子が異なることなどに触れる。	3	DNAとRNAの染め分けによる転写の観察（ユスリカ唾液腺染色体バブ）	- 生命現象とタンパク質 - 発生過程とバブ
	ウ 関する物と探究活動		「ア生物の特性」については、植物体の花や果実などが特徴的な色をもっていることに注目して、これらの器官を構成する細胞ないしは細胞内部のどのような違いに基づくものかについて探究することが考えられる。顕微鏡観察により、液胞の色の違い、色素体の色の違いなど、いろいろな相違点を見いだすことができる。	4	- 花や果実の色（細胞小器官色素とpH、薄層クロマトグラフィー） - 細胞周期の各期に要する時間の推測（ミズヒラタムシ） - 様々な生物の葉緑体	現在も見られる細胞内共生（ハテナ（鞭毛虫類））
(2) 生物の体内環境の維持	ア 生物の体内環境	(f) 体内環境	腎臓の働きによって体液中の塩類などの濃度が保たれることや肝臓で様々な物質の合成・分解・貯蔵が行われて体液の成分が保たれることなどを取り上げることが考えられる。血液凝固については、失血を防ぎ体液の量を保つことによって、体内環境を保つことにかかわっていることに触れる。	8	- 腎臓の構造と働き（ブタ解剖実験） - 血液の観察（アジ、カエル、ニワトリ、ネズミ） - ヒトの心臓（図解、心拍音） - 血球と塩類濃度（ネズミ、ブタ、ウサギなど）	- 細胞の膜の働き（選択的透過性、受動輸送、能動輸送、浸透） - 酸素のヘモグロビンへの結合 - 血液凝固の仕組み - 腎臓による尿生成と老廃物の濃縮
		(g) 維持環境	血糖濃度が、自律神経の働きやホルモンの作用により一定の範囲に保たれていることを取り上げる。さらに、身近な疾患の例として、インスリンの分泌不足により糖尿病が発症することなどに触れる。	6	- ホルモンによる魚の心拍数の変化 - すい臓とランゲルハンス島の観察	- ホルモンの発見史 - 血糖濃度の変化とインスリンの効果 - ホルモンによる体脂肪量の調節

		(イ) 免疫	免疫にかかわる細胞については、主にマクロファージとリンパ球を取り上げ、抗原抗体反応などの免疫現象における働きを扱う。その際、例えば、異物の侵入を阻止する皮膚の役割、臓器の移植の際に起こる拒絶反応、また、免疫の応用として麻疹やインフルエンザなどの予防接種や血清療法に触れることも考えられる。 また、身近な疾患の例に触れる際には、花粉症やエイズなどを取り上げることが考えられる。	5	白血球の観察（ブタ血液＋納豆菌、バッタの白血球の食作用の観察）	- ABO式血液型 - インフルエンザ - 花粉症の仕組み - 自己と非自己の認識（皮膚移植実験）
	イ 関生す物るの探体究内活動動境に		「ア生物の体内環境」については、体液中の塩類の濃度が調節されている意味は何かという疑問を出発点として、血液の状態に対する塩濃度の影響について探究することが考えられる。 市販されている動物の血液などを材料にして、塩濃度を変化させると、溶血などの現象を観察することができる。	2	- 運動による体温、心拍数、呼吸数への影響(ヒト) - ゾウリムシの細胞内の濃度調節 - 交感神経の働き	
(3) 生物の多様性と生態系	ア 植生の多様性と分布	(イ) 植生と遷移	遷移については、火山噴火などの後の裸地が始まり、草原を経て森林に至るモデル的過程を扱うことが考えられる。その際、遷移の進み方は必ずしもモデルどおりではないことに留意する。 植生の成り立ちに光や土壌などが関係することについては、例えば、森林内の光環境と植物の光に対する特性に注目したり、土壌の発達段階に注目したりして、遷移に伴う植生の変化をとらえるようにすることが考えられる。 また、植物の環境形成作用に触れる際には、植物体の枯死体や落葉落枝によって土壌が形成されることなどを例とすることが考えられる。	10	- 学校周辺の植生調査 - 森林の階層構造と環境（土壌水分計、照度計） - 遷移と土壌養分	- 地衣類 - 湖沼から始まる遷移 - 火山溶岩上での植生の遷移
		(イ) 気候とバイオーム	陸上には植物を基盤とした様々なバイオームが成立していることを扱う。気温と降水量に対する適応については、バイオームの構成要素である生物種をいくつか取り上げて、その場所の気温や降水量に適合していることを扱う。 日本のバイオームについては、主として気温の違いによって幾つかのバイオームが成立していることを扱う。 なお、「群系」という用語が「植物群系」と同義に用いられることが多いので、ここでは「群系」を含む用語である「生物群系」を避けて「バイオーム」を用いることとした。		身近な照葉樹と夏緑樹の葉の比較	- マングローブ林 - 暖かさの指数を求める(Warmth Index) - 世界のバイオーム(データ分析)
	イ 生態系とその保全	(イ) 生物生態系と環境との保全	光エネルギーが生産者により化学エネルギーに変換されて生態系内に入り、そのエネルギーが様々な生物に利用され、最終的には熱エネルギーとなって生態系外へ放出されることを扱う。 窒素循環については、生物の遺体や排出物などに含まれる有機窒素化合物が分解者の働きにより無機化され、生じた無機窒素化合物が生産者に吸収されることを扱う。窒素固定や脱窒について取り上げることも考えられる。	10	分解者による落葉の有機物の分解	- 生態系での物質の移動に人間生活が与える影響 - エネルギーの流れ - カロリーベース
		(イ) 生態系と環境との保全	生態系のバランスについては、生態系は常に変動しているが、変動の幅は一定の範囲内に保たれていることを扱う。また、人間の活動による影響については、外来生物の移入や森林の乱伐などによって生態系が攪乱され、生物の多様性に変化がみられた例について、科学的なデータや根拠を示して生態系の保全の重要性を理解させることが考えられる。	10	- 水生生物を指標とする河川の水質評価 - アサリの水質浄化作用	- 熱帯多雨林の生物多様性 - 小笠原諸島の外来生物問題 - ヒトデ除去実験
	ウ に生関物すのる多探体究生活と動生態系		「イ 生態系とその保全」については、人為的に移入された生物が生態系にどのような影響を与えるのかを具体的に探究するため、オオクチバスなどの外来魚の生態、それらの移入前後の在来魚の種数や個体数などを文献や資料で調査することが考えられる。調査結果に基づいて、外来魚の生態が在来魚の種数や個体数にどのように影響を与えたのかなどについて探究することが考えられる。	2	外来生物による日本の生物多様性への影響	- 生物多様性国家戦略 - 生物多様性とちぎ戦略
				70		

(6)「生物基礎」学習評価について

学習指導要領では、「生物基礎」の目標として、

日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象への関心を高め、
目的意識をもって観察、実験などを行い、
生物学的に探究する能力と態度を育てるとともに、
生物学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、
科学的な見方や考え方を養う。

と定められていることから、評価の観点の趣旨は次の表のようにすることができる。

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
趣 旨	日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象について関心をもち、意欲的に探究しようとするとともに、生物の共通性と多様性を意識するなど、科学的な見方や考え方を身に付けている。	生物や生物現象の中に問題を見だし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物や生物現象に関する観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、自然の事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。	生物や生物現象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。

以上の事項を踏まえ、「生物基礎」の内容（１）～（３）のそれぞれについて、新学習指導要領での位置付けと評価規準例をまとめるとともに、実際の取組について指導計画を立て、研究協力委員の所属校において授業を実践し、事例Ⅰ～Ⅴとして示した。なお、各事例内のワークシート中に記載された「**太斜字体**」は、生徒の記述・発表活動の例を示している。

2 指導上の留意点と授業事例

〔1〕生物と遺伝子

1. 新学習指導要領での位置付け

生物と遺伝子について観察，実験などを通して探究し，細胞の働き及びDNAの構造と機能の概要を理解させ，生物についての共通性と多様性の視点を身に付けさせる。

ア 生物の特徴

(ア) 生物の共通性と多様性 →事例Ⅰ

生物は多様でありながら共通性をもっていることを理解すること。

(イ) 細胞とエネルギー

生命活動に必要なエネルギーと代謝について理解すること。

(内容の構成及び取扱い)

(ア)については，生物が共通性を保ちながら進化し多様化してきたこと，その共通性は起源の共有に由来することを扱うこと。その際，原核生物と真核生物の観察を行うこと。(イ)については，呼吸と光合成の概要を扱うこと。その際，酵素の触媒作用やATPの役割，ミトコンドリアと葉緑体の起源にも触れること。

イ 遺伝子とその働き

(ア) 遺伝情報とDNA

遺伝情報を担う物質としてのDNAの特徴について理解すること。

(イ) 遺伝情報の分配

DNAが複製され分配されることにより，遺伝情報が伝えられることを理解すること。

(ウ) 遺伝情報とタンパク質の合成 →事例Ⅱ

DNAの情報に基づいてタンパク質が合成されることを理解すること。

(内容の構成及び取扱い)

(ア)については，DNAの二重らせん構造と塩基の相補性を扱うこと。また，遺伝子とゲノムとの関係に触れること。(イ)については，細胞周期と関連付けて扱うこと。(ウ)については，転写と翻訳の概要を扱うこと。その際，タンパク質の生命現象における重要性にも触れること。また，すべての遺伝子が常に発現しているわけではないことにも触れること。

ウ 生物と遺伝子に関する探究活動

生物と遺伝子に関する探究活動を行い，学習内容の理解を深めるとともに，生物学的に探究する能力を高めること。

2. 学習評価について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	生物と遺伝子に関する事象について関心をもち、意欲的に探究しようとするとともに、科学的な見方や考え方を身に付けている。	生物と遺伝子に関する事象の中に問題を見だし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物と遺伝子に関する事象について、観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、科学的に探究する技能を身に付けている。	生物と遺伝子に関する事象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方 法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

3. 本単元における事例

事例Ⅰ：生物の共通性と多様性

現存する多様な生物には共通性があり、その共通性は共通の起源をもつことに由来することを理解させることをねらいとし、原核生物と真核生物の観察を行う。その姿は多様であっても、どれも細胞が基本単位であること、細胞の構造の比較により生物が分類できることを取り上げる。原核生物の試料の例としては、食品中の乳酸菌や枯草菌など考えられるが、本事例では、校舎の陰の湿った場所などで採取できるイシクラゲ（ネンジュモ）を利用することで、「共生説」「窒素固定」「生物の進化と地球環境の変化」についても探究的に学ばせられることを紹介する。

事例Ⅱ：遺伝情報とDNA

DNAの構造については、DNAが塩基の相補性に依存して二重らせん構造をもつこと、塩基の配列が遺伝情報となることを扱う。遺伝子とゲノムの関係については、個々の遺伝子はゲノムを構成するDNAのごく一部であることに触れる。

転写と翻訳の概要については、DNAの塩基配列からmRNAの塩基配列へ、mRNAの塩基配列からアミノ酸の配列へという情報の流れを扱う。また、タンパク質が、酵素として働くなどして、生命現象を支えていることについても触れる。

これらを踏まえて、DNAの抽出実験、DNA分子モデルの作製、パフの観察などが考えられるが、本事例では、組換え遺伝子の導入による形質転換実験を題材として、遺伝子の発現の仕組みを学ばせる。

なお、遺伝子を扱った技術の原理は、「生物」（4単位）の**（1）生命現象と物質 ウ遺伝情報の発現（ウ）バイオテクノロジー**で詳しく学ぶので、「生物基礎」で本事例を実施する際には、先端技術を用いた実験に触れることで生物工学に関心をもたせるとともに、遺伝子組換えによる形質転換、遺伝子の発現について理解させることを目標とする。

事例Ⅰ 生物の共通性と多様性

1. 授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
1	思考学習： 分類の考え方 【資料】 P. 15～18	歴史的な経緯をたどりながら、分類の考え方を理解させ、細胞の構造の比較が重要であることに気付かせる。	○生物学の学習への導入編として、既知の試料を取り上げ、思考過程を通じた関心喚起をねらいとしている。 ○マーギュリスらが提唱する五界説までを主に考えさせるが、現代の分類体系においては3ドメイン説が主体となってきたことも踏まえておく。 (→「生物」(標準4単位) (5)生物の進化と系統 イ生物の系統)
2	実験： 細胞の構造の比較 【資料】 P. 19～20	未知の試料(イシクラゲ・ワカメ・コカナダモ)を観察させ、細胞の構造の比較から、分類上の位置付けを考察させる。	○細胞の構造の共通性と多様性を実感させる。 ○観察結果(大きさの比較)とともに、独自のDNAをもつことを提示し、葉緑体の細胞内共生説に言及する。
	課題研究 【資料】 P. 20	イシクラゲに関連する学習項目を提示し、資料学習を通して発展的な内容へつなげさせる。	○「窒素固定」・「休眠」に着目し、生息環境との関係を考察させる。(→大単元 (3)イ(7)生態系と物質循環) ○「生物の進化と地球環境の変化」に着目し、光合成による酸素放出が大気の組成変化をもたらし、地質時代における地層形成への影響、紫外線照射量の変化による生物進化などに触れる。 (→「生物」(標準4単位) (5)生物の進化と系統 ア(7)生命の起源と生物の変遷) ○扱われる内容の断片的な理解に留めないためにも、教材試料を取り上げることによって内容を関連させ、生物現象を総合的に理解させる。

2. 教材試料について

(1) イシクラゲ (*Nostoc commune*) の分類上の位置付け

原核生物のラン藻(藍藻: blue-green algae) 類、ネンジュモ属 (*Nostoc* 属) の一種である。

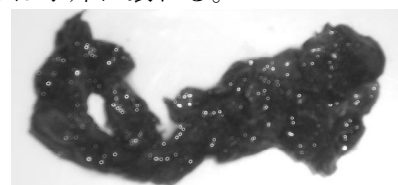
「blue-green algae」は、細胞の構造が細菌と類似しているため、生物学分野では国際的にほとんど「cyanobacteria」で置き換えられており、その訳としては「シアノバクテリア」が一般的である。学習指導要領の改訂にあたっては、国際標準・大学教育の基礎生物学に準じて内容・用語を見直していることから、本事例では「シアノバクテリア」を用いる。

(2) 野外での生育状況

イシクラゲは、日本全国の住宅街の空き地、田の畔や校庭の端の方の土壌、芝生の表面やコンクリート上などに、肉眼的な大きさのコロニーを作って生育している。雨の後など藻体が湿っているときは寒天のような感触があり、色は黒味がかった緑色から褐色である。乾燥した時(休眠

状態)は黒色の乾燥ワカメのような薄い皮膜状を示し、手で揉めば小片に壊れる。

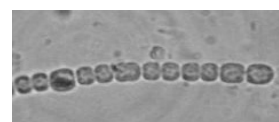
世界中に広く分布し、南極の湿土上やコケ群落上にも生育している。こうした他の植物が生育しにくい環境とイシクラゲの生理を関連させて考察させることも考えられる。



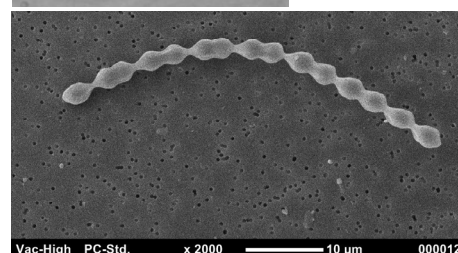
イシクラゲの群体

(3) イシクラゲの細胞の構造から考察できること

① イシクラゲをスライドガラス上で柄付き針などで細かくほぐし、顕微鏡で観察すると、寒天質の基質の中に多数の球形から樽型の細胞が数珠のようにならんでいる。この形から *Nostoc* 属はネンジュモ(念珠藻)と称されている。細胞内には核の他、ミトコンドリア、葉緑体など細胞小器はなく、原核生物であることが分かる。1,000倍程度での顕微鏡観察で、細胞内は貯蔵物質の顆粒が認められることがあるが、細胞小器官ではない。



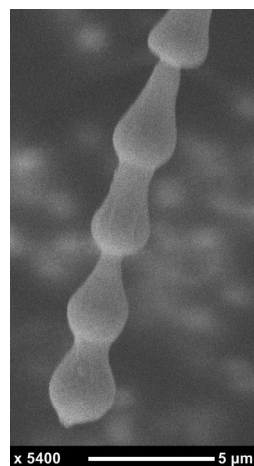
(×400)



球形細胞の糸状体 (×2000)

② 細胞内に光合成色素(クロロフィル a、フィコシアニン、フィコエリトリン)や炭酸同化を行う酵素が存在しており、細胞自体が葉緑体の機能をもっている。光合成の結果、緑色植物などと同様に酸素を発生させる。

③ 数珠のように並んでいる糸状体の中に、透明感があり、一回り他の細胞より大きく細胞壁の厚い細胞がある。これを異質細胞(heterocyst)といい、空気中の窒素をアンモニアに換える窒素固定が行われている。この細胞の中では酸素発生を伴う反応系がないことが知られている。窒素固定酵素(ニトロゲナーゼ)は酸素によって不可逆的に活性を失うことが知られており、窒素固定を行う細胞が、酸素から保護されるよう特殊化している。空中窒素を固定できるのは原核生物に限られており、シアノバクテリアの他、マメ科植物に共生する根粒菌やアゾトバクターなどの細菌類が知られている。



樽型細胞の糸状体

(4) イシクラゲの細胞と植物の細胞を比較して考察できること

イシクラゲの細胞の大きさ(3~6 μm)とカナダモの葉緑体の大きさ(長径3~10 μm)を測定すると、ほぼ等しいことが分かる。単細胞性のシアノバクテリアにも、陸上植物の葉緑体の大きさとほぼ同じ大きさの種類が存在している。このことから、シアノバクテリアは真核生物の葉緑体の元となった生物であると考えられている。その他の根拠として、葉緑体にはそれが独立した原核生物であったことを推察させる次のような特徴が知られている。

- 葉緑体には、核とは異なる独自の葉緑体DNAが含まれている。
- 真核生物の細胞内にある葉緑体は、細胞分裂に同調して自ら分裂して娘細胞に伝えられる。
- 原核生物の細菌と同様のリボソームが含まれている。
- 細菌の抗生物質は、葉緑体にも同様の作用を示す。

真核生物の祖先が単細胞性のシアノバクテリアを取り込み、消化せずに共生させた結果が現在の葉緑体と考えるのが細胞内共生説であり、現在は強く支持されている。

(5) イシクラゲを題材とした発展的学習 ～生物の進化と地球環境の変化～

イシクラゲが属しているシアノバクテリアは地球上で最初に酸素発生型の光合成を行った生物であり、地球上に約30億年前に出現したと考えられている。(イシクラゲの属するネンジュモ科の生物には窒素固定を行う異質細胞があるが、これと考えられる細胞をもつシアノバクテリアの化石が、約19億年前の北アメリカのガンフrint層より見つかった。)

シアノバクテリアが出現する以前の光合成細菌は、二酸化炭素と硫化水素 (H_2S) などを用いて炭水化物を同化し、その副産物として硫黄などを沈積していた。シアノバクテリアは光合成の原料として硫化水素に代わって水 (H_2O) を利用するようになり、その結果、光合成の副産物として酸素を発生した。

酸素発生型の光合成生物が現れるまでは地球上には酸素分子 (O_2) はほとんど存在しなかったが、約27億年前に酸素発生型の光合成生物が出現すると、その光合成によって酸素は大気中に蓄積され、次第に酸素濃度が高くなっていった。

光合成生物が産出した分子状の酸素は、大気中に蓄積される前に、まず海洋を酸化させ、大量の鉄を沈殿させた。それが層を成し、現在産出している縞状鉄鉱石になった。

現在の酸素濃度の 1/100 (0.2%) になったとき、発酵(無気呼吸)を行っていた生物から酸素呼吸を行う生物が進化により生じて、効率良くエネルギーを利用できるようになった。また、大気中の酸素濃度の増加に伴って、太陽からの紫外線は水面下数cmのところに制限され、生物が海全体や他の水域まで自由に広がることができた。時代としては生物の爆発的な進化したカンブリア紀初期(約5.7億年前)に当たる。

さらに大気中の酸素濃度が増し、現在の酸素濃度の 1/10 (2%) になったとき、紫外線をカットするオゾン層が成層圏に形成され、生物は陸上に進出できるようになった。この時期は、初めて陸上生物の化石が産出する4.2億年前のシルル紀後期に当たる。

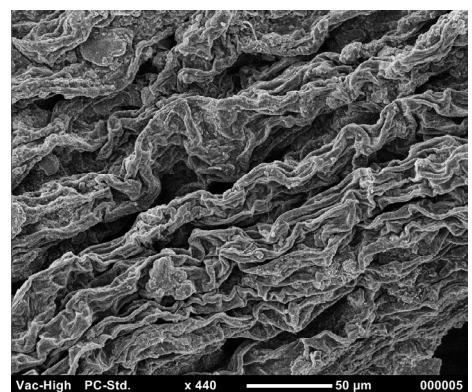
シアノバクテリアは、真核生物が現れる以前は、唯一の酸素発生型光合成生物であり、地球環境や生物の進化に重要な役割を果たした生物である。(真核生物の出現は化石の記録から約14億年前とされている。)

(6) イシクラゲを題材とした発展的学習 ～休眠と生息環境～

イシクラゲは休眠孢子(アキネート *akinete*) を分化せず、乾燥状態で無代謝状態となって生命を維持する能力(クリプトビオシス *cryptobiosis* : 「隠された生命活動」の意)を示すことが知られている。100年以上乾燥状態で保存されていた標本を培養液に浸すと増殖し始めたという報告がある。乾燥したイシクラゲのコロニーにはトレハロースという糖が蓄積しており、細胞外多糖とともに極限的な乾燥耐性に深く関わっていると考えられている。

クリプトビオシスを行なう生物として、クマムシ(緩歩動物門)、ワムシ(輪形動物門)、ネムリユスリカ(節足動物門)が挙げられる。いずれも乾燥状態になるにつれて、体内にトレハロースを蓄積している。その作用は、分子の運動を制限する状態を維持するためにガラス化して組織を保持するという説と、水の代わりに入り込む水置換説があるが、それらの作用が複合的に関与しているとも考えられている。

アルテミアやミジンコなどでは、耐久卵がクリプトビオシスに当たる。これらの動物では生息環境の水が無くなると親は死滅し、卵のみが乾燥に耐えて生存する。ミジンコでは、環境条件の



休眠状態のイシクラゲの表面

良い時期には単為発生によって繁殖し、条件が悪くなると雄が生じて交尾により卵を産むが、この卵のみが耐久卵になる。

3. 単元の学習評価例について

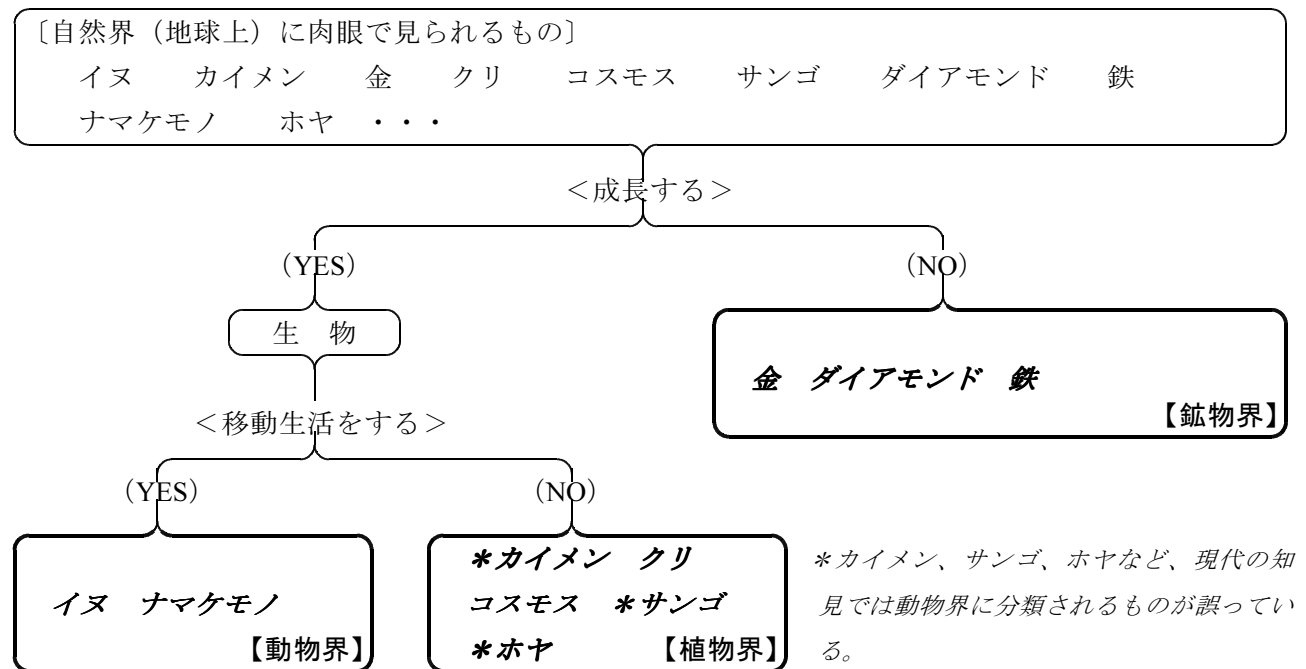
観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価基準	○日常生活との関連を図りながら身近な生物やその生息環境に関心をもっている。 ○生物の共通性と多様性について関心を持ち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○生物や生物現象の中に、多様であっても共通の性質や構造があることを見いだしている。 ○探究する過程を通して、事象を科学的に考察している。 ○予想や結果、導き出した考えを文章やスケッチで的確に表現している。	○顕微鏡での観察に適したプレパラートを作製している。 ○顕微鏡の基本操作を習得している。 ○作製したプレパラートを検鏡し、細胞や細胞小器官の大きさを測定している。 ○実験の過程や結果を的確に記録、整理し、自然の事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。	○生物が、起源の共有に由来する共通性を保ちながら進化したことを理解し、その知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

4. 参考資料

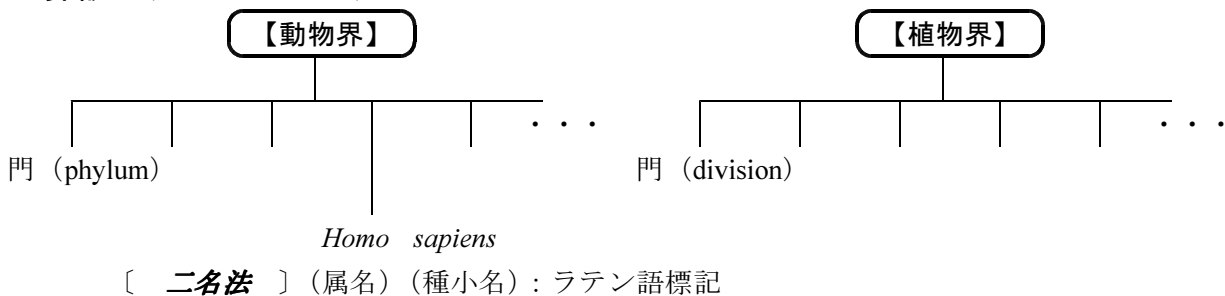
- ・原核生物ネンジュモの一種「イシクラゲ」の教材化 2005.12
平成16年度日産科学振興財団 理科・環境教育助成金報告書
島根大学教育学部自然環境教育講座（生物学担当） 大谷修司
<http://physics.edu.shimane-u.ac.jp/energy/picture/Nostoc.pdf>
- ・界（分類学）
[http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%95%8C_\(%E5%88%86%E9%A1%9E%E5%AD%A6\)](http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%95%8C_(%E5%88%86%E9%A1%9E%E5%AD%A6))

分類の考え方

博物学での三界（～18世紀）

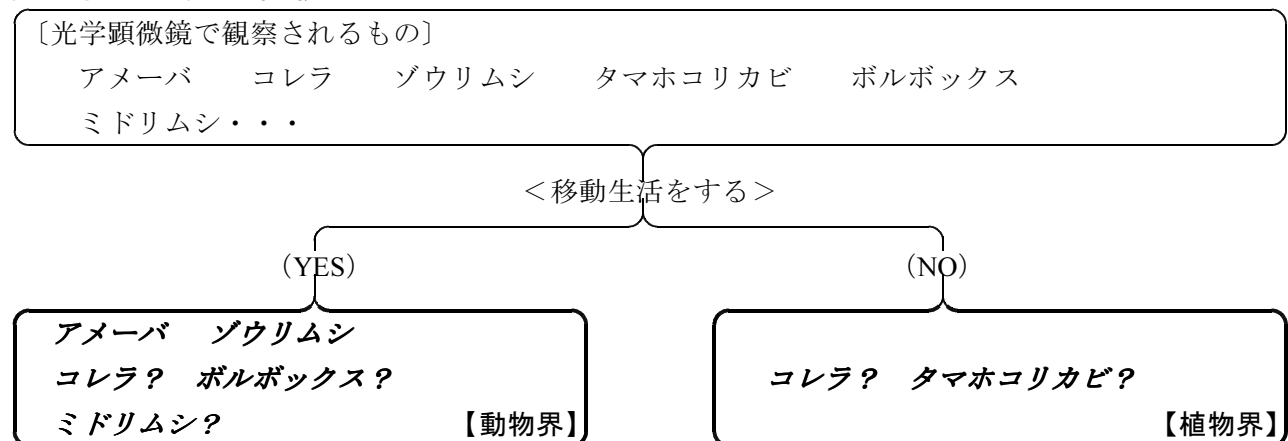


二界説（1735 C. v. Linné）



微生物の知見の蓄積（～19世紀）

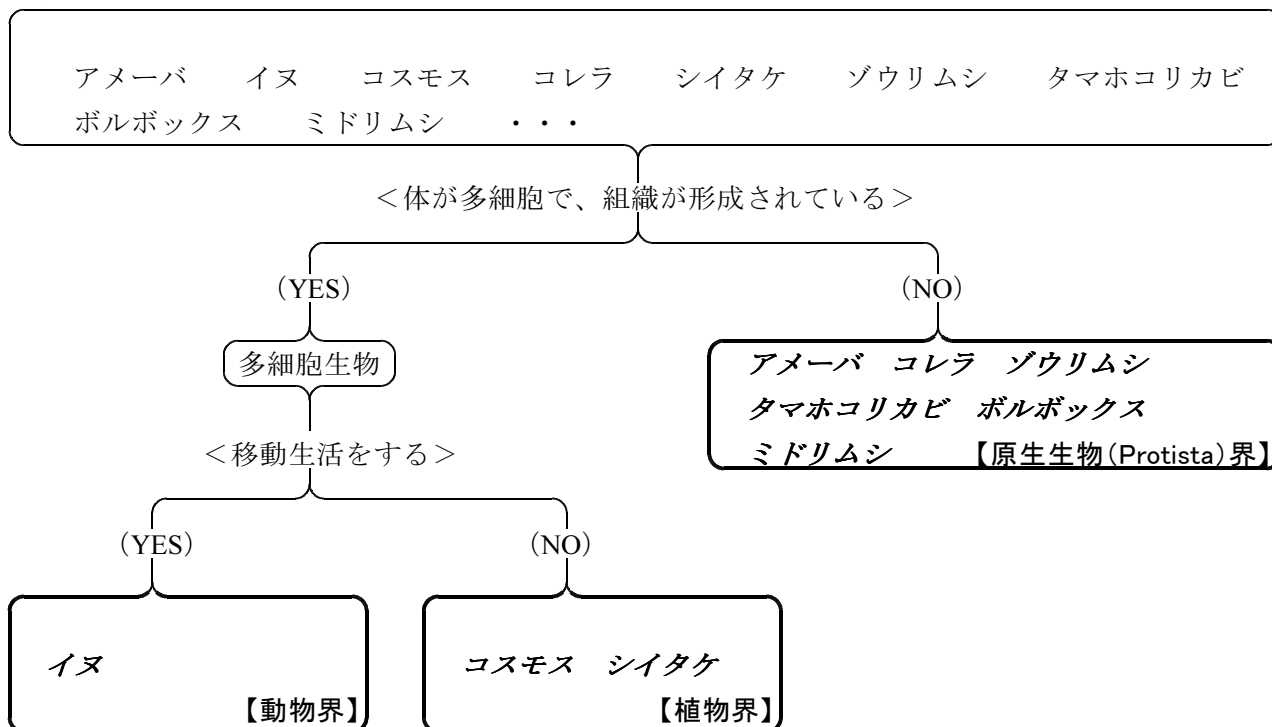
（※R. Hooke 「ミクログラフィア」 (1665) ～）



*着目する形質によって、多数の種が双方に属することになった。

顕微鏡が発明されたことなどにより、二界説では説明が不十分であることが分かった。

三界説 (1878年 E. H. P. A. Haeckel)

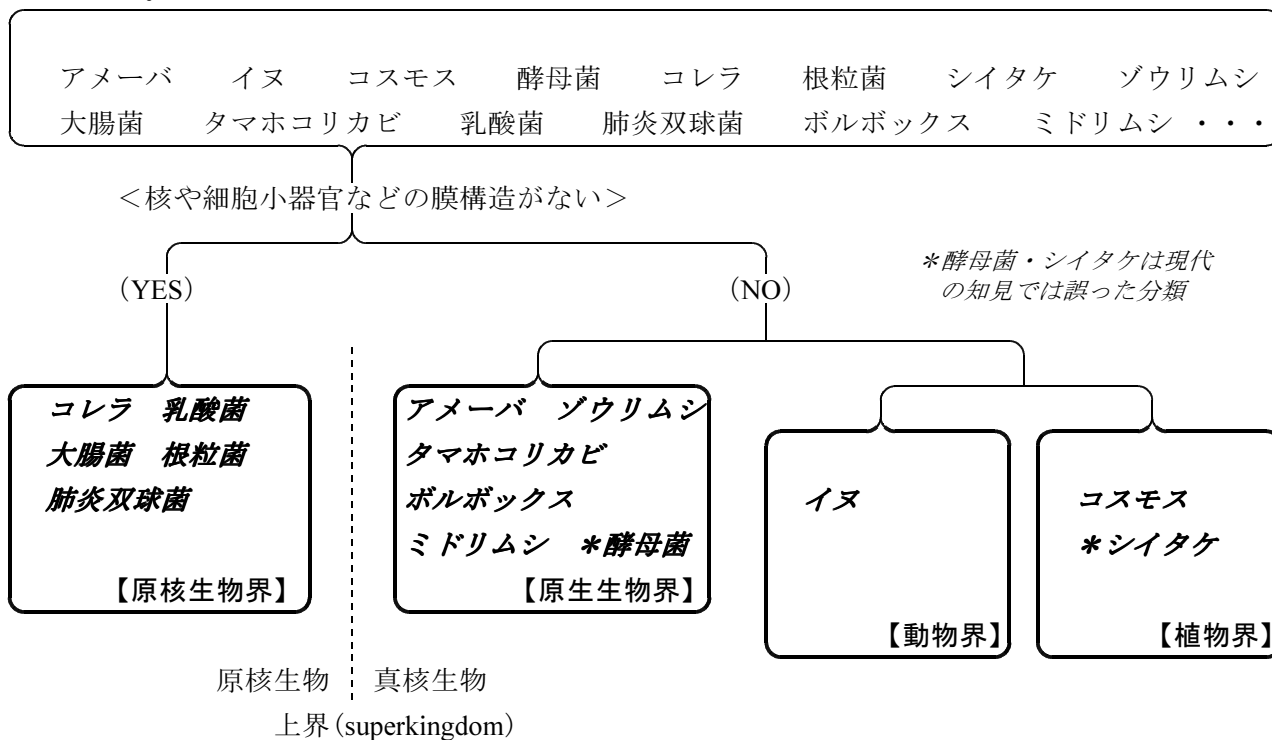


四界説 (1938年 H. Copeland)

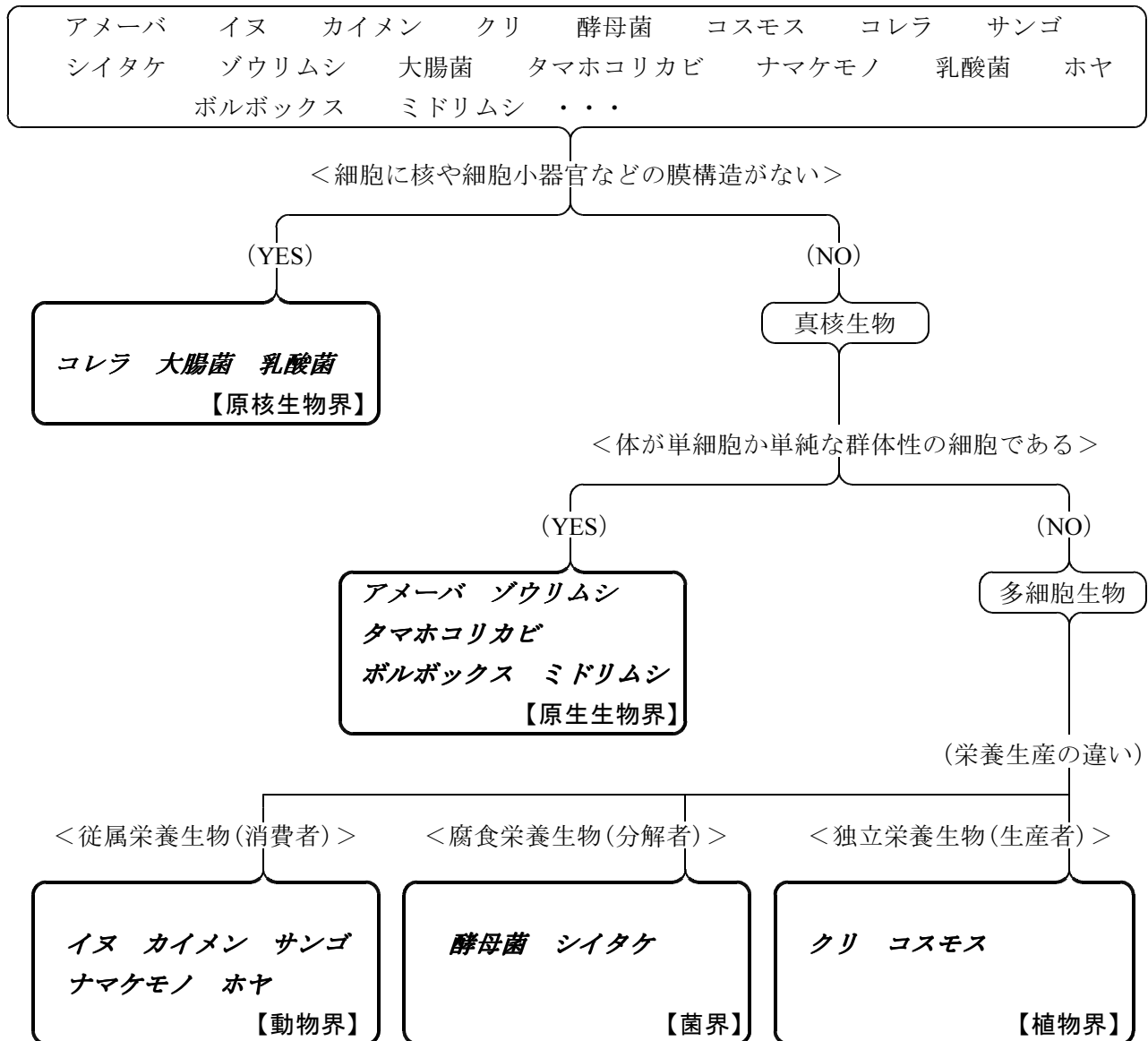
(※1932年 E. Ruska らが電子顕微鏡を発明)

細菌類の細胞構造が、他の生物と根本的に異なっていることが発見される（核や細胞小器官などの膜構造がない）。それらを真核生物と分け、モネラ（Monera）や細菌（Bacteria）と呼び、現在は原核生物界と呼ばれる。

なお、1937年、E. Chatton は、原核生物と真核生物の分類が根本的なものであるとして、生物を原核生物と真核生物の二つの上界(superkingdom) に分けた。この考えが、現在のドメインに発展することとなる。

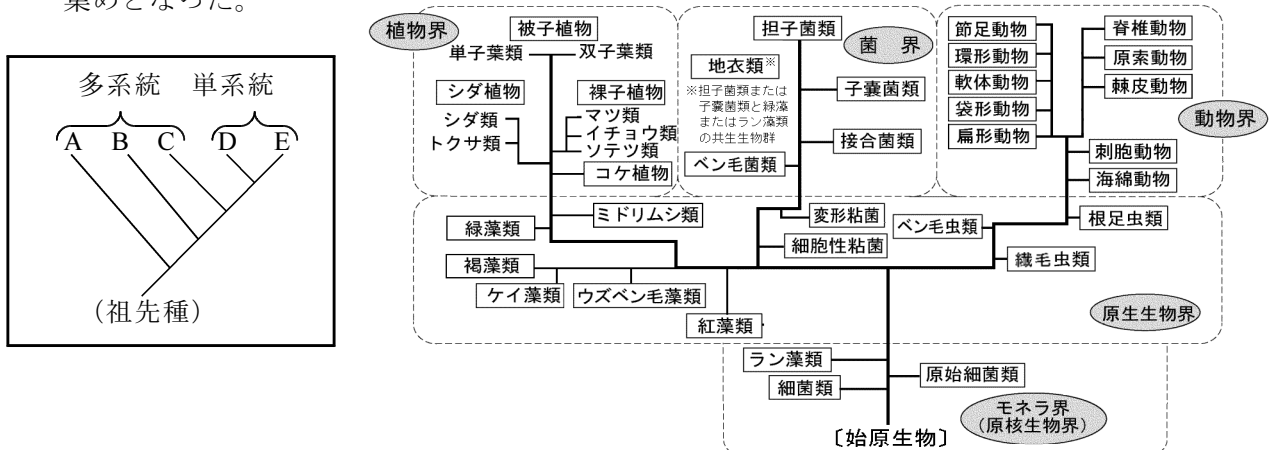


五界説 (1969年 R. H. Whittaker) 栄養生産の違いに基礎を置く一般的な標準分類体系



1980年代：分岐分類学の発展により、動物界・植物界・菌界の単系統性の再評価がなされた。

→それまでの植物からすべての高等藻類、菌類から粘菌類・卵菌類を原生生物界へと移す提案がなされた (1978年 L. Margulis)。ただし、この変更により、原生生物はますます雑多な生物の寄せ集めとなった。



六界説

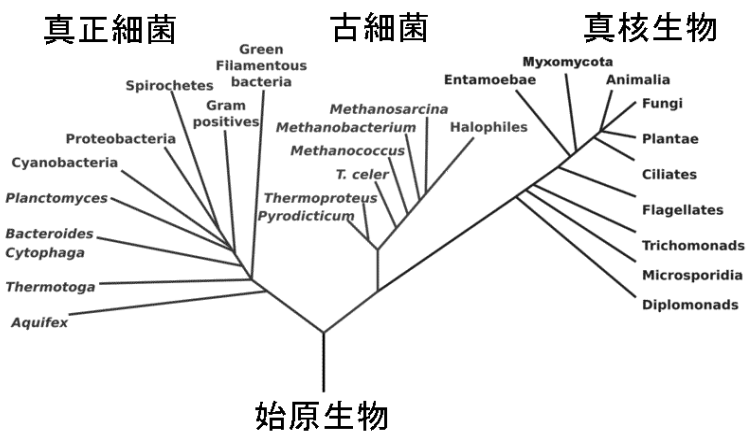
1977年 C. R. Woese は、rRNA の研究を基礎にして、原核生物を真正細菌界と古細菌界に分けた。
(→ 3 ドメイン説)

1984年には Lake らが、好熱古細菌と真核生物が互いに近縁であることを示した。

現在の界・界以上の分類

1990年、C. R. Woese は、真正細菌 (Bacteria) ・ 古細菌 (Archaea) ・ 真核生物 (Eucarya) を三つの基本的な系統とみなし、これらをドメイン (domain : 領域) に格上げした。(superkingdom : 原核生物と真核生物の差が、真核生物内部での植物と動物の差より大きいものと考えられるようになったこと、また古細菌の発見によって原核生物内の多

様性が想像以上に大きいことが分かってきたことによって、界より上のランクを設定した方がよい、との判断が生まれてきたことによる。基礎的なゲノムの進化の違いを反映して行われる。) この3ドメイン説は、従来の2上界説(原核生物界と真核生物界)にかわって、界以上の分類法の標準となっている。



<分類学の主な変遷>

提唱者	リンネ	ヘッケル	コーブランド	ホイタッカー	マーギュリス	ウーズ	ウーズ
年	1735	1878	1938	1969	1978	1977	1990
説	二界説	三界説	四界説	五界説	(分岐分類学)	六界説	3ドメイン説
分類群		原生生物界	モネラ界	モネラ界		真正細菌界	真正細菌
						古細菌界	古細菌
			原生生物界	原生生物界	(高等藻類、粘菌類・卵菌類)	原生生物界	真核生物
	植物界	植物界	植物界	菌界		菌界	
	動物界	動物界	動物界	植物界	(移行)	植物界	
			動物界	動物界		動物界	

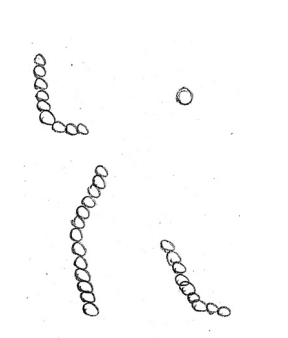
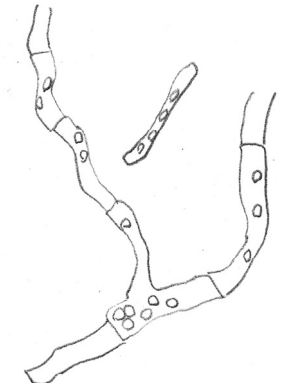
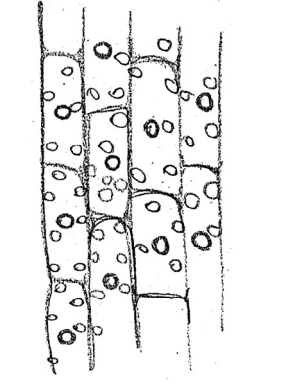
実験

どんな生物だろうか？

【目的】 未知の生物の細胞を比較し、生物の共通性と多様性を調べ、分類する。

【試料】 未知の生物3種類（A、B、C）の細胞（*今回はイシクラゲ・ワカメ・コカナダモを用いた。）

【準備】 光学顕微鏡、スライドガラス、カバーガラス、ピンセット、柄付き針、ろ紙、
マイクロメーター（15×40のとき、2.5μm/1目盛とする）、酢酸オルセイン溶液

予想	試料	A (イシクラゲ)	B (ワカメ)	C (コカナダモ)
1	生物名は何だろうか。	のり？ コケ？ 藻類 ワカメ？ イシクラゲ	ワカメ	水草？ オオカナダモ クロモ
2	どのような生物群に属しているだろうか。	植物 コケ 藻類	植物	植物
3	生息場所はどこだろうか。	港の堤防 海 岩場 水たまり 日陰 沼	岩場 海	川 水槽 沼 用水路
観察	これらの生物を知るために、細胞の様子を調べる。 (試料の小片をスライドガラスに置き、柄付き針とピンセットでよくほぐす。カバーガラスをかけ、その上から軽く押さえながら左右に動かして広げ、検鏡する。)			
1	細胞の配列の仕方	 青緑色で球形の細胞		
2	細胞の形			
3	細胞の色			
4	細胞の大きさ (マイクロメーター使用)	長径 3～6 μm	長辺 60～140 μm	長辺 82.5～125 μm
5	細胞小器官の様子・大きさ	葉緑体は見られない	葉緑体は長径が約 3～10 μm	葉緑体は長径が約 3～10 μm
6	酢酸オルセイン液に対する反応	核は見られない	核が見られる	核が見られる
考察	観察結果を基に、次の項目を考える。			
1	これらの生物の共通点は何か。	細胞膜で覆われている。 細胞が丸い。		
2	相違点から、どの生物群に属するか。	原核生物界 藍色植物門 (シアノバクテリア) 藍藻綱 ネンジュモ目 ネンジュモ科 イシクラゲ	原生生物界 不等毛植物門 褐藻綱 コンブ目 チガイソ科 ワカメ	植物界 被子植物門 単子葉植物綱 トチカガミ目 トチカガミ科 コカナダモ

【まとめ】() にあてはまる語句を記入せよ。

試料A (原核生物・イシクラゲ) の細胞は長径 (**3~6**) μm 、試料C (真核生物・コカナダモ) の葉緑体の大きさは長径 (**3~10**) μm なので、(**ほぼ等しい**) 大きさである。

また、

- ・植物の葉緑体には核とは異なる独自の葉緑体DNAが含まれている。
- ・真核生物の細胞内にある葉緑体は、細胞分裂に同調して自ら分裂して娘細胞に伝えられる。

これらから、真核生物の祖先が単細胞性のシアノバクテリアを取り込み、消化せずに共生させた結果が現在の葉緑体と考えられる。これを (**細胞内共生説**) という (1970年 L. Margulis)。

<葉緑体・ミトコンドリアの由来(細胞共生説)>

ミトコンドリアは、(**好気性細菌**) が、原始的な細胞の内部に入り込んで (**共生**) することで生じた。植物の葉緑体は、(**シアノバクテリア**) が、原始的な (**真核生物**) に (**共生**) することで生じたと考えられている。

【発展】課題研究

1. 次の事柄について調べ、それらからイシクラゲと生息環境との関係を考察する。

(1) 窒素固定

本種は窒素固定を行う異質細胞を有しており、空中窒素固定 ($\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_4^+$) を行っている。窒素固定に必要な酵素ニトロゲナーゼは、酸素があると失活する。異質細胞には酸素発生を伴う反応系が無いことが知られている。

窒素固定能は、原核生物の細菌類とシアノバクテリアに限られている。マメ科の植物は共生細菌の窒素固定による。これらは、窒素固定作用により獲得した NH_4^+ を材料として窒素同化できることから、窒素成分の乏しいやせた土壌などの環境下でも生育できる。

(2) 休眠

乾燥したイシクラゲのコロニーにはトレハロースという糖が蓄積しており、細胞外多糖とともに極限的な乾燥耐性に深く関わっていると考えられている。このはたらきにより、乾燥状態で無代謝状態となって生命を維持することで、降雨時と晴天時を繰り返す環境下でも生息できる。

2. 光合成細菌とシアノバクテリアの光合成を比較する。特に光合成の結果、グルコース(ブドウ糖)以外で生成されるものに注目する。

シアノバクテリアは緑色植物と同様に酸素発生をともなう光合成を行う。

シアノバクテリアより先に地球に現れた光合成細菌(紅色硫黄細菌など)は酸素を発生せず、硫黄等を蓄積する。

3. シアノバクテリアが地球に現われなかったら、どんな地球になったか考えてみる。

シアノバクテリア類は27億年程度前には地球上に出現した。これは酸素発生をする最初の光合成生物であり、その結果、地球大気中の酸素濃度が増加したこと、地層中に鉄鉱石の層が形成されたこと、生物の酸素呼吸が始まったこと、オゾン層が形成され陸上生物が進化したことなど、地球環境と生物の進化に大きな影響を与えた。

シアノバクテリアが地球に現われなかったら、現在の地球環境と生物は存在せず、嫌気的な生物のみが生息することが考えられる。

事例Ⅱ 遺伝情報とDNA

1. 授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
*1	既習内容の確認 【資料】P. 23～25 実験の目的・操作内容の理解 【資料】P. 26～28 実験： 組換え遺伝子の導入	遺伝情報を担う物質としてのDNAの特徴、DNAの情報に基づいて合成されるタンパク質の働きについて理解させる。 本実験において確かめる学習内容、遺伝子の導入に関する実験操作の目的、注意事項について理解させる。 プラスミドを用いて、大腸菌に LacZ、GFP 遺伝子を導入し、その形質を予想・確認することで、遺伝子の発現の仕組みを理解させる。	○ミクロ（分子レベル）からマクロ（表現型レベル）まで、順に階層を追うことで、学習内容の統合化を図るとともに、取り組む実験がどの内容を確認するものであるかを理解させる。 ○DNAの二重らせん構造と塩基の相補性、遺伝子とゲノムとの関係、転写と翻訳の概要、タンパク質の生命現象における重要性、すべての遺伝子が常に発現しているわけではないことにも触れる。 ○「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（平成15年法律第97号）最終改正：平成19年3月30日法律第8号」に基づいた規則に従い、実験を行う必要がある。学校長の許可、P1レベル#の拡散防止措置、実験室の掲示、衛生面での準備、試料の取り扱い（培養設備・加熱殺菌廃棄など）について配慮する。
*2	組換え遺伝子の導入による遺伝子発現 【資料】P. 29～30		
*3	結果のまとめと考察 【資料】P. 31～32	予想と結果の比較をさせ、遺伝情報の発現の仕組みを理解させる。	○生徒の衛生面での配慮、試料の加熱殺菌廃棄に留意する。

*実験の所要時間を考慮すると、2時限連続展開が望ましい。

※試料を24時間以上培養して、直径1mm以上のコロニーが形成されてから結果を確認する。

なお、中学校理科第2分野では、**(5) 生命の連続性** で、

- ・遺伝子の本体がDNAであること
- ・遺伝子に変化が起きて形質が変化することがあること
- ・体細胞分裂の過程で染色体が複製されること

について学習している。

P1レベル：拡散防止措置の内容

	施設等について満たすべき事項
1	実験室が、通常の生物の実験室としての構造及び設備を有すること。

	遺伝子組換え実験の実施に当たり遵守すべき事項
1	遺伝子組換え生物等を含む廃棄物（廃液を含む。）については、廃棄の前に遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。
2	遺伝子組換え生物等が付着した設備、機器及び器具については、廃棄又は再使用（あらかじめ洗浄を行う場合にあつては、当該洗浄）の前に遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。

3	実験台については、実験を行った日における実験の終了後、及び遺伝子組換え生物等が付着したときは直ちに、遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。
4	実験室の扉については、閉じておくこと（実験室に出入りするときに除く）。
5	実験室の窓等については、昆虫等の侵入を防ぐため、閉じておく等の必要な措置を講ずること。
6	すべての操作において、エアロゾルの発生を最小限にとどめること。
7	実験室以外の場所で遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講じようとするときなど、実験の過程において遺伝子組換え生物等を実験室から持ち出すときは、遺伝子組換え生物等の漏出や、拡散が起こらない構造の容器に入れること。
8	遺伝子組換え生物等が付着し、又は感染することを防止するため、遺伝子組換え生物等の取扱い後における手洗い等必要な措置を講ずること。
9	実験の内容を知らない者が、みだりに実験室に立ち入らないための措置を講ずること。

2. 教材試料について

本実験では、「遺伝子組換え実験キット Standard Version」（島津理化社製）を用いた。1キット当たり、5セット（1班4名で20名分）入りで、¥14,800であった。

本キットで使用する宿主（大腸菌：E. coli JM109）は、毒性がなく自然環境下での生存能力も低い E. coli K12株由来である。また、遺伝子を導入するベクターはプラスミドで、タンパク質をコードする遺伝子として、Green Fluorescent Protein (GFP)・Galactosidase の2種類が含まれている。なお、これらには、抗生物質耐性をコードする遺伝子として ampicillin 耐性遺伝子が含まれている。

3. 単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	○遺伝情報とDNA、タンパク質の合成について関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○DNAの構造が遺伝情報を担い得る特徴をもつこと、及びDNAの塩基配列からmRNAの塩基配列、アミノ酸へという情報の流れについて探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを表現している。 ○予想や結果、導き出した考えを文章やスケッチで的確に表現している。	○遺伝情報とDNA、タンパク質の合成についての実験を行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。 ○微生物の培養に関する基本操作を習得するとともに、事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。	○遺伝情報を担う物質としてのDNAの特徴について理解し、知識を身に付けている。 ○DNAの情報に基づいてタンパク質が合成されることを理解し、知識を身に付けている。
方 法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

4. 参考資料

- ・「遺伝子組換え実験キット Standard Version」取扱説明書 島津理化社
- ・「生命倫理・安全に対する取組」

文部科学省 ライフサイエンスの広場 <http://www.lifescience.mext.go.jp/bioethics/index.html>

拡散防止措置チェックリスト <http://www.lifescience.mext.go.jp/bioethics/kakusan.html>

- ・ラクトースオペロン <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A9%E3%82%AF%E3%83%88%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%82%AA%E3%83%9A%E3%83%AD%E3%83%B3>

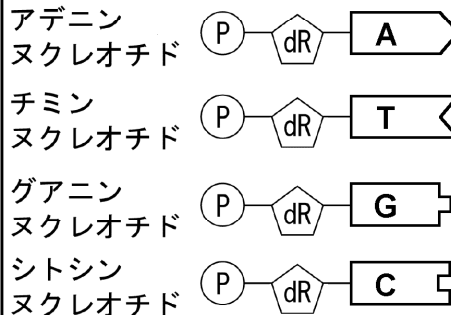
DNA～遺伝子～タンパク質～表現型

I. DNAの基本ユニット：ヌクレオチド



P : [リン酸]
 dR : [デオキシリボース]
 B : [塩基]

4種類のヌクレオチド



B (塩基) →

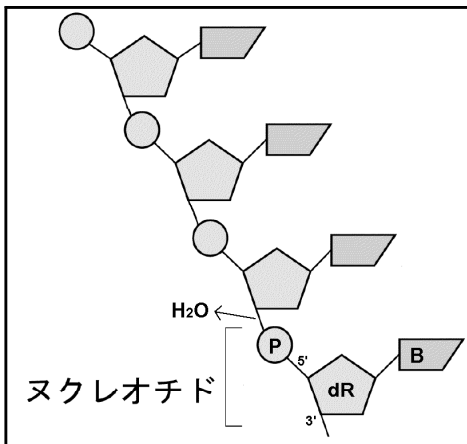
A : [アデニン]

T : [チミン]

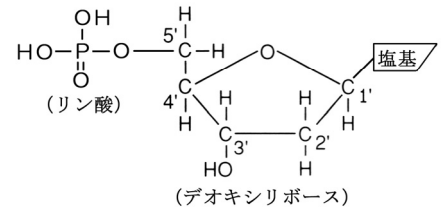
G : [グアニン]

C : [シトシン]

II. ヌクレオチド鎖の形成

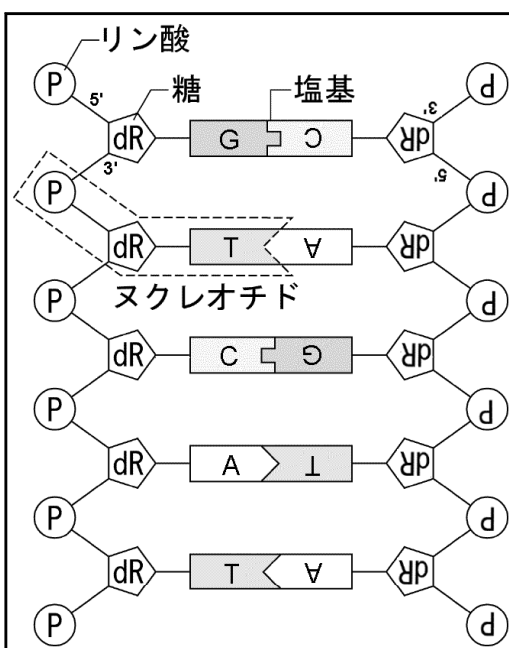


一つのヌクレオチドのリン酸と、別のヌクレオチドのデオキシリボースの3'末端との間で脱水縮合反応（共有結合による付加反応）が起き、それが多数連なることで一本鎖が形成される。



4種類の塩基の配列が、遺伝暗号としての情報を持っている。

III. 二重鎖の形成



(鋳型鎖) (コーディング鎖)

2本のヌクレオチド鎖が、塩基同士で向かい合い、弱い〔水素結合〕によりつながっている。

塩基同士は特定の組み合わせのみで結合している。

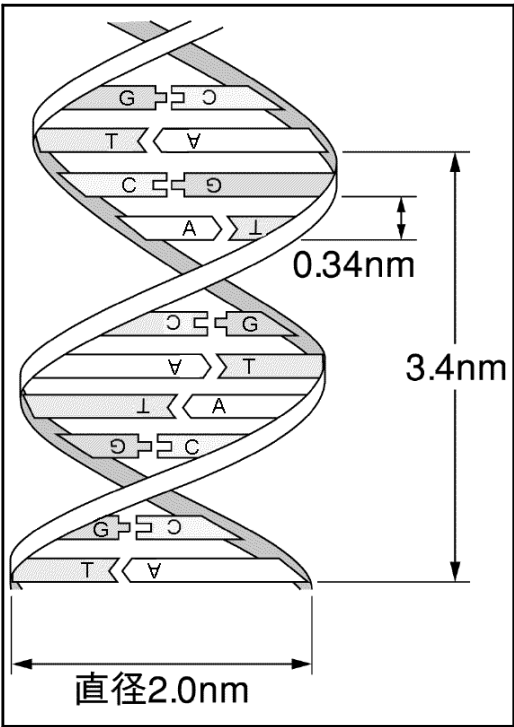
A = [T] G ≡ [C]

C ≡ [G] T = [A]

遺伝暗号としての情報を持っているDNA鎖を鋳型鎖（アンチセンス鎖）、もう一方のDNA鎖をコーディング鎖（センス鎖）という。

IV. 二重らせんの形成

2本鎖が右ねじの向きにねじれて、立体的に安定的な構造をつくる。
10塩基対で1回転する（1ピッチ）。

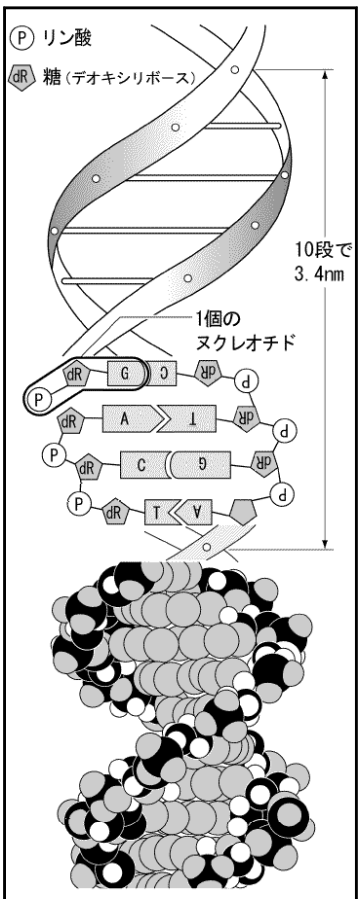


【実習】→モデルを作製して、
構造を立体的に理解する。

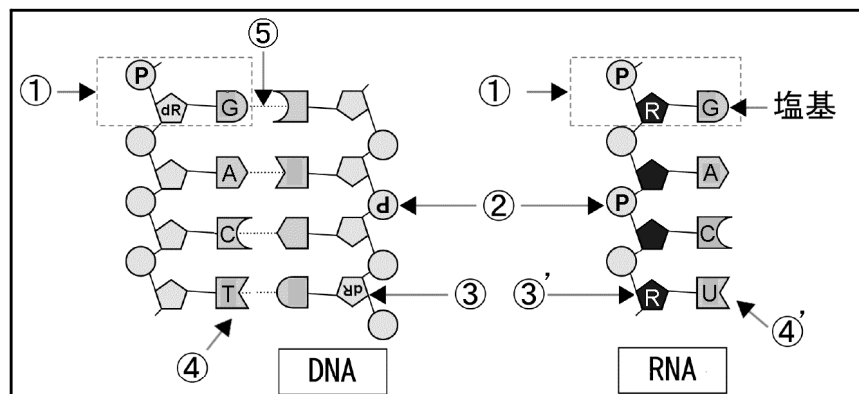
<帯モデル>

<ヌクレオチドモデル>

<空間充填分子モデル>

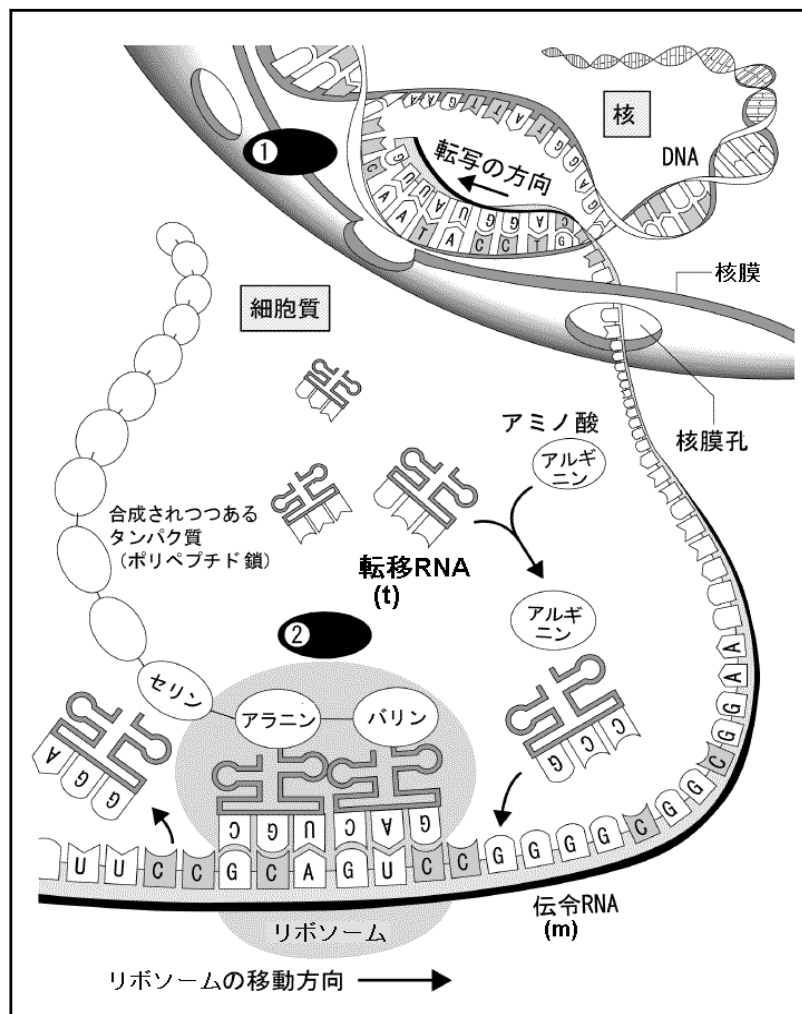


V. DNAとRNAの分子の比較



共通点	基本ユニット	① : [ヌクレオチド]	
	P	② : [リン酸]	
	ヌクレオチド鎖の形成	[脱水縮合] 反応	
相違点	糖	③ : [デオキシリボース]	③' : [リボース]
		<chem>OC[C@H]1O[C@@H](O)[C@H](O)[C@@H]1O</chem> ③ Deoxyribose	<chem>OC[C@H]1O[C@@H](O)[C@H](O)[C@@H]1O</chem> ③' Ribose
	塩基	④ : [チミン]	④' : [ウラシル]
ヌクレオチド鎖の構造		[二重らせん構造]	[一本鎖]
		⑤ : [水素結合]	

VI. 遺伝子のはたらき



【セントラルドグマ】

DNAの〔塩基配列〕

遺伝情報

↓ ①:〔転写〕

mRNAの塩基配列

三組暗号（トリプレット）

アミノ酸指定（コドン）

↓

tRNAの塩基配列

（アンチコドン）

+

指定されたアミノ酸を運搬

↓ ②:〔翻訳〕

リボソーム内でアミノ酸が

ペプチド結合

↓

タンパク質の独自の立体構造を形成

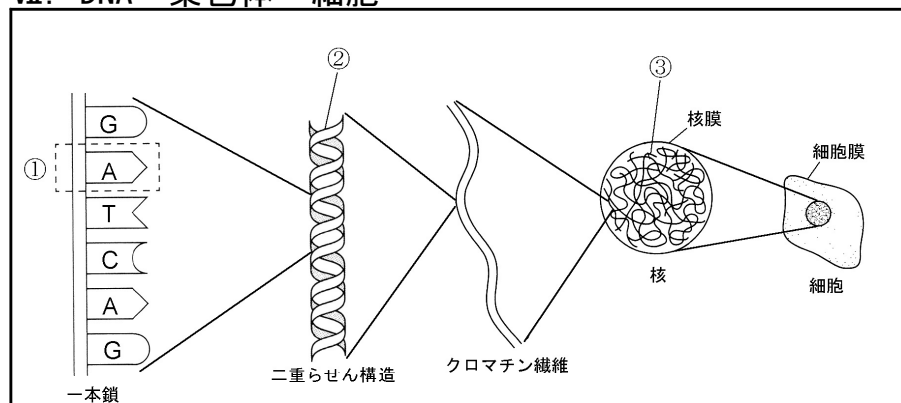
↓

生成されたタンパク質がもつ機能が

働く〔発現〕

実験→ユスリカの唾腺染色体を検鏡し、
パフの形成（転写）の様子を観察する。

VII. DNA～染色体～細胞



実験→細胞からDNAを抽出する
過程における操作の意味を、構
造や成分の性質と関連させて理
解する。

①:〔ヌクレオチド〕

②:〔DNA〕…リン酸がーに帯電している。〔→15%食塩水で塩析→エタノールに不溶〕

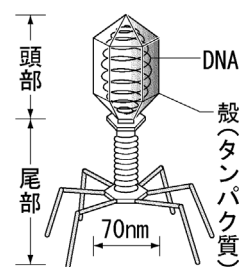
クロマチン繊維…DNA分子がヒストン（タンパク質）に巻き付き、さらに折りたたまれて形成さ
れた構造物〔→タンパク質分解酵素（0.3%トリプシン水溶液）で分解処理〕

③:〔染色体〕…クロマチン繊維が、ループ状・コイル状に折りたたまれて凝集した構造物

核膜・細胞膜…主にリン脂質とタンパク質によって形成されている生体膜〔→界面活性剤で破壊〕

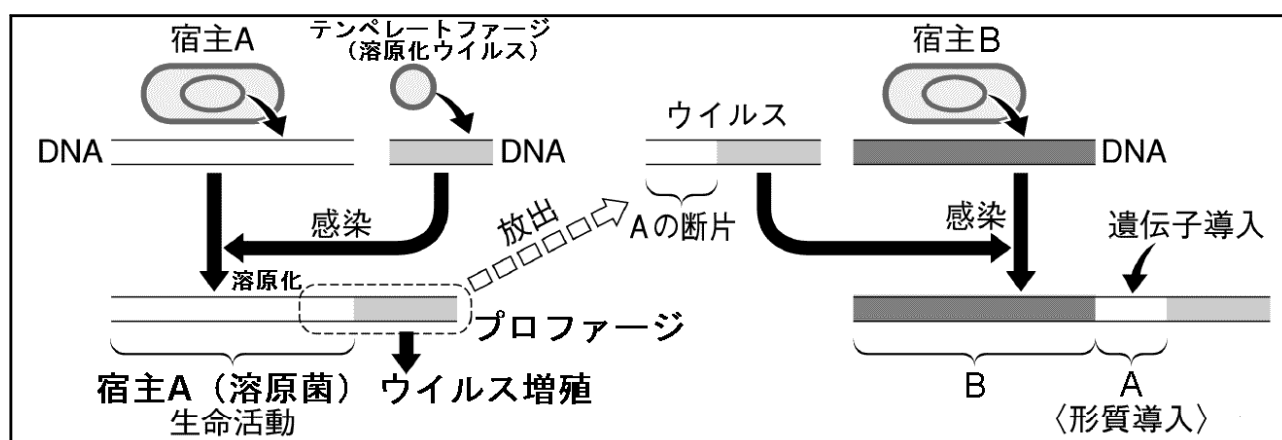
VIII. 遺伝子組換え

バクテリオファージ bacteriophage：細菌に感染するウイルスの総称。タンパク質の外殻に遺伝情報を担う核酸（主に二本鎖DNA）を持っている。バクテリオファージ（＝以降、ファージという）が感染し増殖すると、細菌は溶菌という現象を起こして死ぬ。この現象によってまるで細菌が食べ尽くされるかのように消えてしまうため、これにちなんで「細菌（bacteria）を食べるもの（phagos：ギリシア語）」を表す名が付けられた。自らは遺伝子しか持たず、宿主細胞の形質発現の機構を使って増殖する。このウイルスと放射性同位体（ ^{35}S または ^{32}P ）を用いて遺伝物質がDNAであることを示した A. D. Hershey と M. Chase の実験（1952年）が、遺伝子の本体がDNAであることを初めて証明した。



テンプレートファージ（temperate：穏健な）の場合、感染しても一部の細菌を除いて増殖が起こらず、部分的にしか溶菌を起こさない。このとき、ファージの増殖が起こらない細菌の内部では、ファージはゲノムDNAとして（プロファージと呼ばれる）安定した状態で保存されており、細菌が分裂する際も子孫に伝達されていく。この現象は「**溶原化**」と呼ばれ、プロファージを保有する細菌を溶原菌と呼ぶ。プロファージのゲノムは溶原菌のゲノムに組み込まれたり、あるいはプラスミドとして宿主のゲノムとは独立して細胞内に存在する。テンプレートファージの例としては、大腸菌に感染するラムダファージがよく知られ研究されている。

テンプレートファージを利用して宿主の細菌に任意の遺伝子を導入する技術も開発された。この技術は形質導入と呼ばれ、ラムダファージによる大腸菌への形質導入が、分子生物学分野で繁用されている。



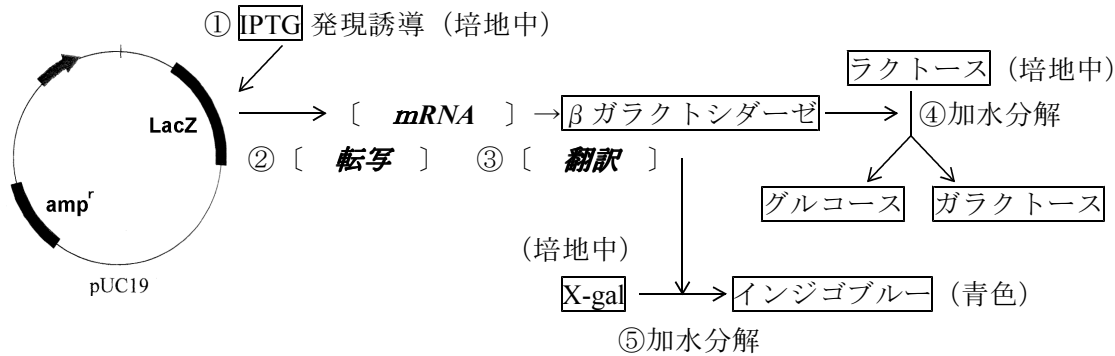
プラスミド plasmid：細胞内で複製され、娘細胞に分配される染色体以外のDNA分子の総称。細菌や酵母の細胞質内に存在し、染色体のDNAとは独立して自律的に複製を行う。一般に環状二本鎖構造をとる。遺伝子工学分野においては、遺伝子組換えの際に多く用いられる。様々な改変がなされた数kbp*のプラスミドが多く作られており、研究用キットとして市販されている。

大腸菌を用いた遺伝子クローニングでは、まずプラスミドを取り出し、次いで制限酵素で切断し、切断部位に増幅しようとするDNA断片（プラスミドと同じ制限酵素で切り出したもの）をDNAリガーゼで結合させる。この組換えプラスミドを大腸菌に導入し、大腸菌の大量培養により組み換えDNAを増幅する。

* kbp：DNAの長さの単位。二本鎖の場合 bp（＝base pair[塩基対]）で表す（1kbp=1000bp）。

● 本実験（組換え遺伝子導入による遺伝情報の発現）で取り扱う領域の確認

LacZ遺伝子（約3 kbp）：発現により、培地中のラクトースを分解する酵素 β ガラクトシダーゼを生成する。培地中に X-gal（5-bromo-4-chloro-3-indolyl-beta-D-galactoside）があると、青色に発色することで、発現を確認できる。



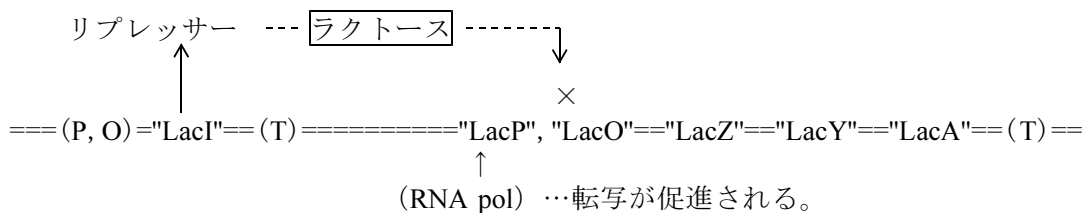
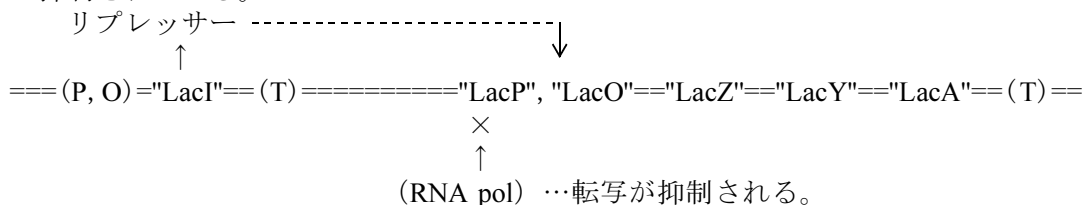
① IPTG 発現誘導について

＜大腸菌のラクトースオペロン＞

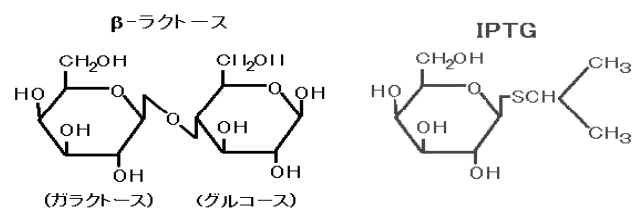
大腸菌においては、LacI（リプレッサーの構造遺伝子）に続いて、調節領域である LacP（プロモーター配列）、LacO（オペレーター配列）の二つと、構造遺伝子領域である LacZ、LacY、LacA の三つが並んでいる。

=== (P, O) = "LacI" = (T) ===== "LacP", "LacO" = "LacZ" = "LacY" = "LacA" = (T) ==

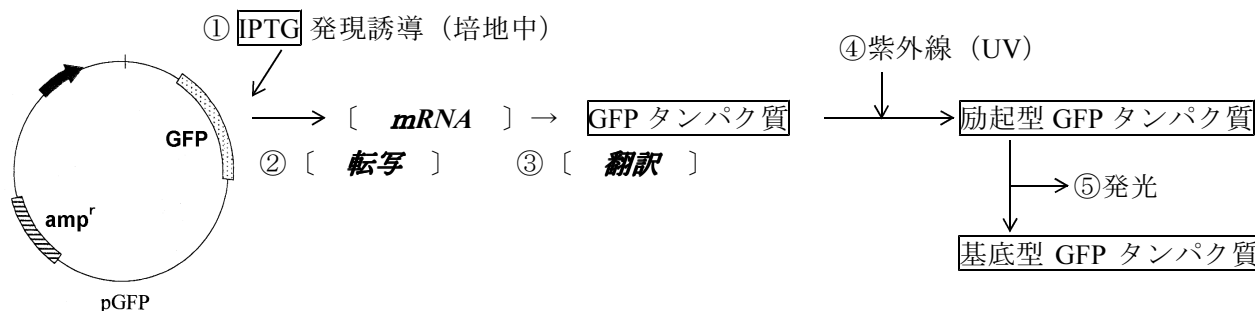
LacI は常時発現しており、一定の速度でリプレッサータンパク質を生産している。このリプレッサータンパク質は、DNA 上の Lac オペレーターとの親和性が高く、通常この領域を認識して結合している。リプレッサーがオペレーターに結合した状態にあるときは、RNA ポリメラーゼのプロモーター領域への結合が阻害され、以降に続く LacZ、LacY、LacA の構造遺伝子の mRNA への転写が抑制されている。



リプレッサータンパク質は、アロラクトース（細胞内でラクトースが異性化したもの）などの誘導物質と結合すると高次構造が変化し、不活性型となってオペレーターから解離する（あるいは結合できなくなる）。リプレッサータンパク質がオペレーターから解離すると、RNA ポリメラーゼによる LacZ、LacY、LacA の構造遺伝子の mRNA への転写が可能になる。こうした調節因子（今回は LacI）の働きを変える因子（本実験では IPTG）をインデューサーという。



GFP遺伝子：発現により緑色蛍光タンパク質*を生成する。紫外線照射により蛍光を発することで、発現を確認できる。



* 緑色蛍光タンパク質 (Green Fluorescent Protein, GFP)

オワンクラゲ (*Aequorea victoria*) がもつ分子量約27kDa*の蛍光タンパク質である。1960年代に下村 脩によって、カルシウムイオンで発光するタンパク質イクオリンとその光を受けて緑色に光る GFP が発見・分離精製された。

GFP は励起光を当てると単体でも発光する。下村によるその発見から30余年を経た1990年代、GFP 遺伝子の同定・クローニングに成功し、M. Chalfie、R. Y. Tsien らのグループが、異種細胞への GFP 遺伝子導入・発現に成功した (2008年に、下村、M. Chalfie 及び R. Y. Tsien はノーベル化学賞を共同受賞)。

GFP の発色は基質を必要としないことや単体で機能するなどの特徴から、また、発色団形成に酵素反応が必要でないこと、異種細胞への発現方法が確立したことなどから1990年代にレポーター遺伝子として広く普及した。

アンピシリン (Ampicillin)：細菌類の細胞壁合成阻害剤。細菌類の細胞壁成分であるペプチドグリカンの架橋合成が阻害される。(動物細胞や植物細胞にはもともとペプチドグリカン層がないためアンピシリンは作用しない。) 架橋形成の阻害自体は細菌にとって毒性がないが、ペプチドグリカンの架橋阻害により細胞増殖の度にペプチドグリカンが薄くなる。そのため、細胞壁による細胞の機械的強度が低くなり、細胞外液が薄い場合、浸透圧によって水が細胞内に流れ込み、溶菌が起きる。結果として数回分裂すると細菌は死ぬことになる。

アンピシリン耐性遺伝子 (amp^r) は β -ラクタマーゼという酵素をコードしているマーカー遺伝子。この酵素を持つ細菌はアンピシリンを加水分解できるため、アンピシリンを含んだ培地でも生育が可能となる。

一般に形質転換を行う際には、目的の遺伝子とアンピシリン耐性遺伝子を含んだプラスミドを大腸菌へ入れる。プラスミドが入らなかった大腸菌はアンピシリンによって死ぬため、プラスミドが入った大腸菌、すなわち目的の遺伝子が入った大腸菌のみが選択できる。

※Da：統一原子質量単位 (dalton、記号 Da)

微小な質量を表す単位で、静止して基底状態にある自由な炭素12 (^{12}C) 原子の質量の1/12と定義されている (1 kDa=1000Da)。質量を統一原子質量単位で表した数値は、その分子からなる純物質 1 mol (アボガドロ定数個の分子) の質量をグラムで表した数値に等しい。

実験

組換え遺伝子の導入による遺伝情報の発現

【目的】大腸菌に、外界から遺伝子を導入し、遺伝子が働く仕組みについて理解する。

【材料】病原性のない安全な大腸菌（*E. coli* JM109株）、遺伝子組換え実験キット

【用語の確認】

形質転換：外来 DNA が微生物等によって取り込まれて（ **遺伝子の組換え** ）や細胞の（ **表現型** ）の変化を起こす遺伝現象。

amp：アンピシリンの略。大腸菌を殺す（ **抗生物質** ）。

プラスミド：多くの細菌に寄生する（ **染色体外遺伝子** ）。2 本鎖の（ **環状 DNA** ）分子。

・本実験で、プラスミドに導入した遺伝子は、アンピシリン耐性遺伝子および蛍光タンパク質（GFP）遺伝子またはβガラクトシダーゼ（LacZ）遺伝子である。

IPTG*：GFP 遺伝子、LacZ 遺伝子の（ **発現** ）を調節する物質。

*イソプロピル-β-チオガラクトピラノシド（Isopropyl β-D-1-thiogalactopyranoside）は、ラクトースオペロンの転写を誘導する。ラクトースリプレッサーに結合してその働きを阻害し、ラクトースを分解するβ-ガラクトシダーゼの発現を誘導する。クローニング（遺伝子の増殖）においては、LacZ 遺伝子の部分に目的の遺伝子が導入され、IPTG はその遺伝子の発現を誘導することになる。

X-gal：βガラクトシダーゼにより分解され、（ **青** ）色を示す物質。

【方法】

〈前日の準備〉

（１）ループを使用して大腸菌プレートからコロニーを一つ釣菌し、スタータープレート 2 枚に画線した（→写真）。プレートの蓋が下になるように37℃のインキュベータ内に1日間静置し、直径1 mm のコロニーが生育するまで大腸菌を培養する。本実験には増殖中の大腸菌を使用する。

（２）IPTG（赤キャップ）とX-gal（青キャップ）は、それぞれ溶解液を粉末が入ったチューブへ全量加え、攪拌して溶解する。実験当日まで4℃で保存しておく。



《当日の実験》 ◎班員で協力して、すべての操作はできるだけ素早く行う。

→**考察1**～**考察7**で、各実験操作にはどのような意味があるのか、【結果と考察】で考えてみよう。

（１）チューブ2本（ピンク・白）（カルシウムイオンを含む形質転換用溶液250 μL 入）をチューブラックに挿し、氷上に置く。→**考察1**

（２）大腸菌を、プレートからそれぞれ新しいループを使用して直径1 mm のコロニーを力をいれすぎないようにして釣菌し、両方のチューブにそれぞれ加える。大腸菌が細かく分散するように、よく溶液と混ぜる。→**考察2**

【参考】・本実験では、「遺伝子組み換え実験キット Standard Version」（島津理化社製）を用いた。

- (3) 氷上に5分間静置する。→**考察3**
- (4) 組換えを起こすチューブ（ピンクだけ）にプラスミド溶液50 μ Lを、よく振り落してから新しいピペットを使用して全量加えて混ぜる。
- (5) チューブ（ピンク・白）をチューブラックに挿した状態で、氷上に10分間静置する。→**考察4**
- (6) チューブ（ピンク・白）を42℃に設定したお湯に1分間浸し、直ちに氷上に戻して2分間静置する。チューブラックに挿した状態で操作する。この操作をヒートショックという。→**考察5**
- ※ここでの一連の操作（冷やす・温める・冷やす）はできるだけ素早く行う。
- (7) SOC 培地（緑色キャップ）を新しいピペットを使用して、260 μ L（130 μ L $\times$ 2回）ずつ両方のチューブに加えて混ぜる。→**考察6**
- ※ピペットの先端に大腸菌溶液がつかないように注意する。
- (8) 37℃のインキュベーターで10分間静置する。→**考察7**
- (9) LB/amp プレート1枚（プレート④）に、X-gal（青キャップ）とIPTG（赤キャップ）をそれぞれ65 μ Lずつ加え、コンラージ棒を使用して培地全体に広げる。
- (10) 新しいピペットを使用して、下記のようにそれぞれの大腸菌混合液をそれぞれ①～④のプレートへ130 μ Lずつ植菌する。

白チューブ：組換えなし	ピンクチューブ：組換え「あり」
① LBプレート	③ LB/amp プレート
② LB/amp プレート	④ LB/amp プレート（X-gal と IPTG を加えた）

※間違えないように、蓋にマジックで、名称（①～④）等を記しておく。

大腸菌がチューブの底に沈んでいるので、よく混ぜてからピペットで計り取る。

- (11) それぞれ新しいコンラージ棒を使用して、プレート全体に大腸菌混合液を広げる。強くやりすぎると培地が壊れてしまうので注意する。
- (12) プレートを逆さまにして、37℃のインキュベーターで24時間以上静置して培養する。直径1 mm 以上のコロニーが生育するまで大腸菌を培養する。

【結果と考察】

I. (1)～(8)の各操作にはどのような意味があるのか、空欄に適する語を入れよ。

考察1：低温下の組換え操作で、大腸菌の形質転換反応を（**安定的**）に起こさせるため。

考察2：大腸菌を細かく分散し、(4)で加えるプラスミドとの（**接触率**）を高める。

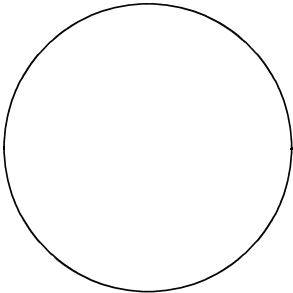
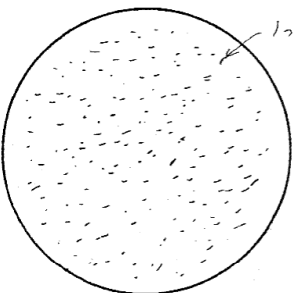
考察3と4：大腸菌の細胞膜（負の電荷）をカルシウムイオン（正の電荷）によって（**中和**）させる。(4)で加えるプラスミド（負の電荷）と細胞膜との（**反発力**）を弱め、大腸菌がプラスミドを取り込みやすくする。

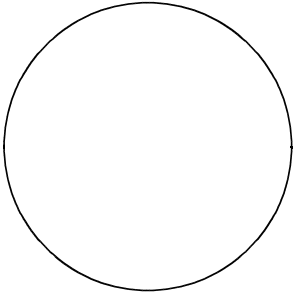
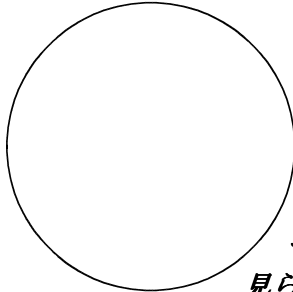
考察5：温度の変化が（**急激**）なほど、大腸菌がプラスミドを取り込みやすくなる。（**形質転換の効率が上がる**）。

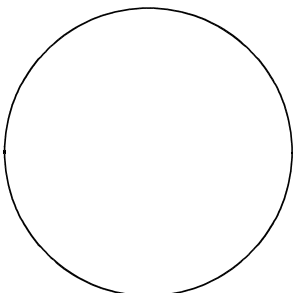
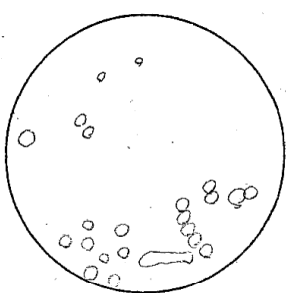
考察6：SOC 培地はヒートショックによって細胞膜などにダメージを受けた大腸菌を（**回復・安定化**）させる。

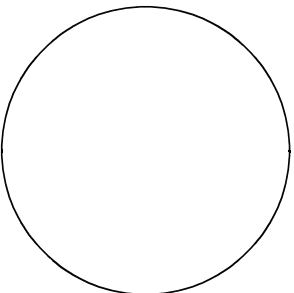
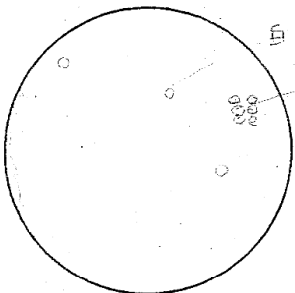
考察7：大腸菌に導入されたアンピシリン耐性遺伝子が（**発現**）し始め、アンピシリン入り培地でも大腸菌が（**生育**）できるようにさせる。

II. (10) の各プレートの〔予想〕と【結果】を図示し、各項目を記入せよ。

① アンピシリン (-)、プラスミド (-)	
〔予想〕 コロニーの 様子 	【結果】 コロニーの 様子 
・大腸菌のコロニーの色や数は？ 白い 増える	・大腸菌のコロニーの色や数は？ 抗生物質を添加していないので、多くの大腸菌が生育した。
・UV を照射した時の変化は？ 光らない	・UV を照射した時の変化は？ 蛍光タンパク質は、発現していないので、光らない。→遺伝子が組換えしていないため。
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ 変化なし	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ βガラクトシダーゼは発現していないので、コロニーは白い。→組換えしていないため。

② アンピシリン (+)、プラスミド (-)	
〔予想〕 コロニーの 様子 	【結果】 コロニーの 様子 
・大腸菌のコロニーの色や数は？ 白い 少ない、減っている	・大腸菌のコロニーの色や数は？ 抗生物質耐性がないので、大腸菌の生育が阻害される。→遺伝子が組換えしていないため。
・UV を照射した時の変化は？ 光らない	・UV を照射した時の変化は？ 光らない。
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ 変化しない	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ 色は変化しない。

③ アンピシリン (+)、プラスミド (+)	
〔予想〕 コロニーの様子 	【結果】 コロニーの様子 
・大腸菌のコロニーの色や数は？ 白い、黄色い 増える	・大腸菌のコロニーの色や数は？ 抗生物質耐性をもち、大腸菌が生育できる。 →遺伝子が組換えしているため。
・UV を照射した時の変化は？ 青い 光らない	・UV を照射した時の変化は？ IPTG が無いため、GFP 遺伝子はあるが、光らない。
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ 変化なし	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ IPTG が無いため、LacZ 遺伝子はあるが、色は変化しない。

④ アンピシリン (+)、プラスミド (+)、IPTG (+)、X-gal (+)	
〔予想〕 コロニーの様子 	【結果】 コロニーの様子 
・大腸菌のコロニーの色や数は？ 黄色い、青い 多い	・大腸菌のコロニーの色や数は？ 青または白のコロニーがいくつか生育した。 →遺伝子が組換えしているため。
・UV を照射した時の変化は？ 青い、緑色 光る	・UV を照射した時の変化は？ IPTG があるため、GFP 遺伝子が発現して黄緑色に光る。
・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ 青い	・コロニー周辺の寒天培地の色の変化は？ IPTG があるため、LacZ 遺伝子が発現して X-gal が分解され青く発色する。

〔 2 〕 生物の体内環境の維持

1. 学習指導要領での位置付け

生物の体内環境の維持について観察、実験などを通して探究し、生物には体内環境を維持する仕組みがあることを理解させ、体内環境の維持と健康との関係について認識させる。

ア 生物の体内環境

(ア) 体内環境

→事例Ⅲ

体内環境が保たれていることを理解すること。

(イ) 体内環境の維持の仕組み

→事例Ⅳ

体内環境の維持に自律神経とホルモンがかかわっていることを理解すること。

(ウ) 免疫

免疫とそれにかかわる細胞の働きについて理解すること。

(内容の取扱い)

(ア)については、体液の成分とその濃度調節を扱うこと。また、血液凝固にも触れること。

(イ)については、血糖濃度の調節機構を取り上げること。その際、身近な疾患の例（インスリンの分泌不足により糖尿病が発症することなど）にも触れること。

(ウ)については、身近な疾患の例にも触れること。

イ 生物の体内環境の維持に関する探究活動

生物の体内環境の維持に関する探究活動を行い、学習内容の理解を深めるとともに、生物学的に探究する能力を高めること。

なお、中学校理科第2分野では、**(3) 動物の生活と生物の変遷** で、

- ・循環系とその働き
 - ・血液の成分とその働き
 - ・腎臓と肝臓の働きについての概要（不要となった物質を排出する仕組みがあること）
 - ・神経系の働き（外界からの刺激が受け入れられ、神経系を介して反応が起こること）
- について学習している。

2. 学習評価について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	生物の体内環境の維持に関する事象について関心をもち、意欲的に探究しようとするとともに、科学的な見方や考え方を身に付けている。	生物の体内環境の維持に関する事象の中に問題を見だし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物の体内環境の維持に関する事象について、観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、科学的に探究する技能を身に付けている。	生物の体内環境の維持に関する事象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

3. 本単元における事例

事例Ⅲ：腎臓の働き

生物の体内環境が保たれていることを理解させる例として、腎臓の働きによって体液中の塩類などの濃度が保たれることを取り上げる。

まず、日常生活で見られる例として、家庭用浄水器の構造を提示し、浄水の仕組みと構造上の課題を考察させる。これと腎臓の塩類濃度調節の仕組みを対比させることで、腎臓の構造の巧妙さに気付かせる。

次に、体験に基づく知識の総合化を目的に、腎臓を実際に解剖し、その構造を理解させるとともに、ミクロのレベルでの血液ろ過の仕組みを観察させる。試料としては、人とほぼ同じ大きさ・形・構造をもち、入手の容易なブタの腎臓を用いる。なお、生命尊重の態度を育てること及び本単元の目標に迫るため、以下のような方策を取る必要がある。

- ・学習指導計画に指導の内容及び安全への配慮事項を明記し、管理職の承認を得る。
- ・事前に保護者に対し、指導の目標や内容、期待できる効果などを具体的に説明し、同意を得るような配慮をする。
- ・解剖に対する嫌悪感などの反応が強く、生命倫理の面で問題があるという考えも多いので、本単元の学習で生徒にどんな力をつけさせたいのか、生徒の実態をもとに説明し、学習計画（シラバス）を示しながら生徒・保護者の了解を得る。
- ・事前に、生徒に解剖実習の意義・目的を十分理解させ、無益な殺生にはならないよう指導する。
- ・衛生面での不安を払拭するため、衛生用品を準備し、場に合わせた身支度や手洗いの励行、机上の整理等について事前指導を徹底させ、実習中も絶えずチェックする。
- ・授業当日は、実習を無理強いしないこと、参加できない生徒には別室を開放して別の学習課題を用意するなどの対応を取る。

参考文献：「生物教育における生命尊重についての指導観と指導法に関する調査研究」

平成20年3月国立教育政策研究所

事例Ⅳ：体内環境の維持の仕組み

動物の体液の濃度が自律神経系とホルモンの作用により調節されている仕組みを理解させることをねらいとし、血中酸素濃度が、自律神経の働きやホルモンの作用により一定の範囲に保たれていることを取り上げる。

入手や飼育、観察が容易なメダカを試料とし、外界からの刺激に対して反応が変化する様子を観察し、その仕組みを考察することで、理解を深めさせる。

事例Ⅲ 腎臓の働き

1. 授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
* 1	思考学習： 浄水器の構造と機能 【資料】 P. 37～38	単元の導入として、浸透・透析の原理を確認させ、その応用としての浄水の仕組みを学習する。これにより、溶液中の成分を分離する仕組みを理解させるとともにその問題点を考察させ、腎臓の構造と機能の巧妙さに気付かせる。さらに、次の実験の目的を明確にして、腎臓の構造と機能への関心を高める。	「生物基礎」では、浸透現象、細胞膜の性質などについて詳細には学んでいない。浸透現象に関する身近な例を取り上げ、分子・細胞レベルでの現象に関心を向ける。
* 2	解剖実験： 腎臓の構造と機能 【資料】 P. 39～41	ヒトとほぼ同じ大きさ・形・構造をもち、入手の容易なブタの腎臓を用いて、実際に解剖させ、その構造を理解させるとともに、ミクロのレベルでの血液ろ過の仕組みを観察させる。	生命尊重の態度を育て、単元の目標を達成するため、生徒への事前指導、職員・保護者の理解と協力を得るよう配慮する。
3	思考学習： 腎臓の尿生成 【資料】 P. 42～44	実験データの読み取りと活用により、腎臓の働きによって体液中の塩類などの濃度が保たれる仕組みの素晴らしさを理解させ、自分の生命・健康の大切さに目を向けさせる。	学習順序について、自律神経系やホルモンによる調節の学習が、腎臓の単元の後の場合、それらの学習後のまとめとして取り上げる。

* 1～2時限は、思考・観察に要する時間を考慮すると、連続授業が望ましい。

2. 教材試料について

(1) ブタの腎臓は、食肉店あるいは食肉衛生検査所（食肉市場）から入手できる（1個40～100円程度）。（食肉店では、「豚まめ」といい、野菜炒め・煮物・串焼き用の食材として扱っている。）食肉店では入荷数に限りがあるので、多数を発注する場合は、実習予定日時を考慮し、数週間前から確保を依頼しておく（冷凍庫で長期保存が可能）。解体の際に傷などがつきやすいので、解剖実習に用いることを前提に、腎臓本体になるべくメスの入っていない、輸尿管や腎動脈、腎静脈がついているものを依頼する。なお、教材関連会社から購入することも可能である（1個800円程度＋冷蔵宅配料）。

(2) 腎臓で血液をろ過した原尿は1日当たり約180Lにもなる。その生成量を実験結果から計算上得ただけでは実感がわきにくいので、その体積を視覚的に現すモデルを提示するとよい（ドラム缶1本分、灯油缶10本分といった例示もできる）。本事例では、2LのPETボトル3×5本（30L分）を布テープでまとめ、これを3セットで腎臓1個分の原尿量（90L分）とし、6セットで1日の原尿量（180L）とした（→右図）。作製に当たっては、2LのPETボトルの収集を生徒に呼びかけることで、必要数の多さからも腎臓の働きのごさを実感させられる。



1日の原尿量モデル

3. 単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	○日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象について関心をもち、意欲的に探究しようとする。 ○体内環境の維持の仕組みについて関心をもち、意欲的に探究しようとする。	○日常生活の中に問題を見だし、生物の体内環境が保たれていることを探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ○予想や結果を文章やスケッチで的確に記述している。 ○得られたデータから論理的に思考し、考察した内容を論述している。	○腎臓の働きについての観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。 ○顕微鏡での観察に適したプレパラートを作製している。 ○作製したプレパラートを検鏡し、腎臓の構造を観察している。	○腎臓の働きにより、体内環境が保たれていることについて、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方 法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

4. 参考資料

- ・「ロハスの思考」 福岡伸一著 ソトコト新書
- ・「ブタ腎臓の解剖と組織の観察」 清泉女学院中学高等学校 飯島 和重
http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/rik_005.pdf
http://www.keirinkan.com/kori/kori_biology/kori_biology_n1/contents/bi-n1/t-bu/5-t-6.htm
- ・「生物解剖実験あれこれ」 内山裕之
<http://homepage2.nifty.com/hirouchi/sub03.html>
- ・「腎臓」
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%85%8E%E8%87%93>

浄水器の構造と機能

浸透と透析

ある膜を隔てて、濃度の異なる二つの溶液が接すると、その膜が一部の粒子を透過させるとき、その性質を〔 **半透性** : semipermeability〕といい、それを示す膜を〔 **半透膜** : semipermeable membrane〕という。半透膜を介して粒子が移動するとき、溶媒の粒子が移動する場合を〔 **浸透** : osmosis〕といい、溶質の粒子が移動する場合を〔 **透析** : dialysis〕と呼ぶ。生体膜など、物質を選別的に移動させる能力を持つ場合以外は、規模の差はあるものの、浸透と透析は同時に進行する。

限外ろ過

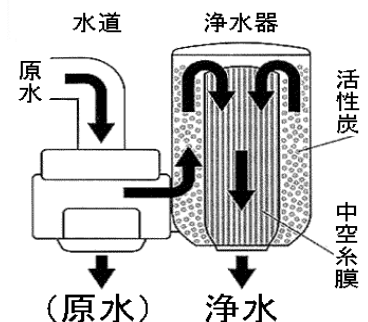
フィルターの孔径を分子サイズに近づけたろ過は〔 **限外ろ過** : Ultrafiltration〕と呼ばれ、巨大分子を除去することができる。この例としては中空糸膜を使った家庭用浄水器等が挙げられる。また、生物の腎臓では糸球体において血液が限外ろ過されて尿(原尿)が生成されており、人工透析では失われた糸球体機能の代わりを人工透析装置の中空糸膜が補っている。長さ30cmほどの筒に、中空糸の細い管が約1万本束になって入っており、この中に血液を通す。

浄水の仕組み

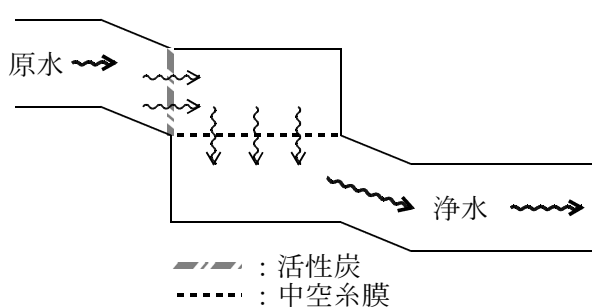
浄水器は、水道の蛇口から出た水をろ過材でろ過することにより水道水中の濁り、赤錆び、残留塩素、一般細菌などを取り除き、使用されるろ過材によって性能が決まる。

以前は、ろ過材として〔 **活性炭** 〕だけが使われていた。これは、原料のヤシ殻等を焼いて活性化し、吸着能力を高めた特殊な炭で、表面に無数の隙間がある。ここにカルキ臭、カビ臭などの元になる様々な物質や残留塩素を吸着して除去する。一方、塩素が除去され活性炭に吸着した有機物に一般細菌が繁殖する心配がある。

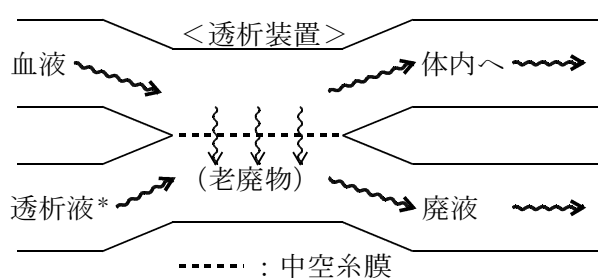
この細菌の問題を解決するために登場したのが、〔 **中空糸膜** 〕である。これは、中が空洞になっている糸状の繊維で、空洞の周りの壁面には一般細菌より小さい微細な穴が無数にあいている。これを束ねて両端を固定し円筒型の容器に入れたものが中空糸膜のカートリッジで、この容器に水を通すと穴より大きい濁り、赤錆び、一般細菌等は膜の表面で遮られ、これらが取り除かれた水が空洞の中を流れて流れる。(体に必要なカルシウムやマグネシウムなどのミネラル分は、イオン化して水に溶けているためそのまま膜を通過する。) 現在では、活性炭とこの中空糸膜の双方を組み合わせて使っているものが浄水器の主流になっている。



浄水器の仕組み



人工透析の仕組み



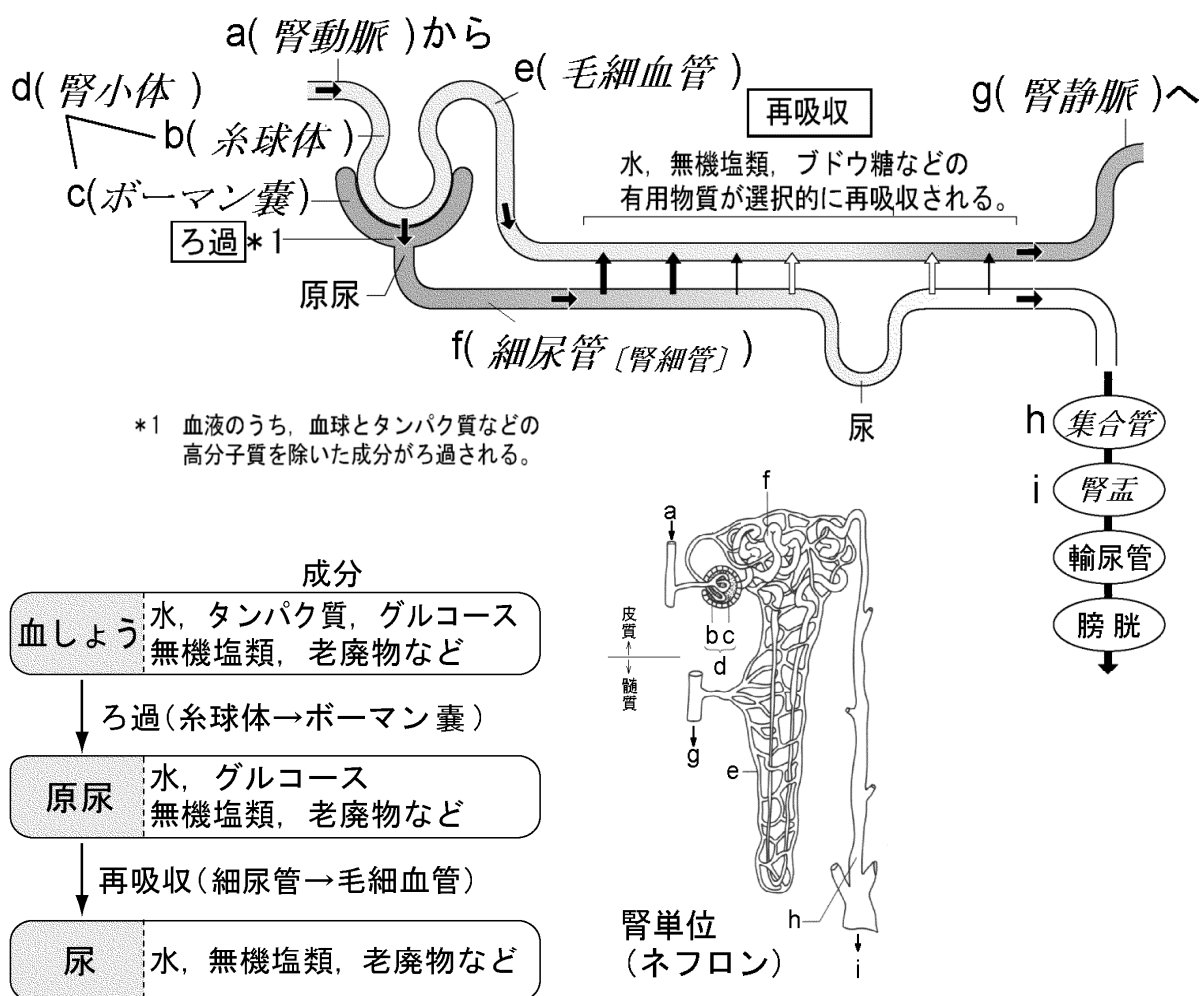
*透析液：血液中の主な成分物質が、血液とほぼ同じ濃度で含まれる水溶液

Q：これらの仕組みの課題は何か。

A：活性炭内部や中空糸膜の表面にゴミが徐々に蓄積し、そのキャパシティを越えると、もはや浄水器・透析装置としての用をなさなくなる（目詰まり）。そのため、これらの膜やろ過材を定期的に交換する必要がある。

→腎臓はこのような方式ではない。腎臓は一度、汚れた血液を全部捨ててしまい、その後、必要な栄養分や無機塩類を選択的に再回収する。ここで再回収されなかったものは尿となって排泄される。このようなシステムを用いればシステム内部にゴミが蓄積する心配がない。

〔腎臓の構造と機能〕



腎臓の構造と機能

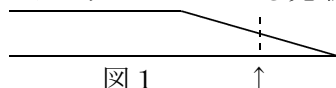
【目標】 ヒトの腎臓によく似たブタの腎臓を観察することにより、腎臓の構造とその尿生成の仕組みについて理解を深める。

【準備】 メス(調理用ナイフ)、解剖ハサミ、ピンセット、柄付針、止血鉗子(コッヘル鉗子)、注射器、先端を切断した注射針(または分注用ノズル=先端がとがっていない針)、注射針処理容器、剃刀、厚紙、解剖皿、はかり、スライドガラス、カバーガラス、顕微鏡、墨汁、エオシン、ブタの腎臓(冷凍庫で長期保存が可能)、消毒用アルコール
*感染予防のため、薄手のゴム手袋をする。

【準備上の留意点】

(1) ブタの腎臓は、食肉店あるいは食肉衛生検査所(食肉市場)から入手する(1個40~100円程度)。(食肉店では、「豚まめ」といい、野菜炒め・煮物・串焼き用の食材として扱っている。)

(2) 注射針は、ペンチで刃のついている先端部を切り取る(→図1)。



(3) 切片作製器：剃刀2枚の間に厚紙(またはプラスチック板)を挟んで、両面テープで貼り合わせて作る(厚紙の厚さで切片の厚さが変わる。剃刀は新品を使う。使用後、エーテルアルコール(ジエチルエーテル1：メタノール1)に浸して表面についた脂肪を取ると切れ味が保てる)。

【方法】

(1) 腎臓を覆っている漿膜を除く。

膜に少しハサミを入れた後、指を入れて、くるっと剥く(→図2)。そのまま、力を入れて引っ張ると、漿膜と腎門(管の出入りする腎臓の少し凹んでいるところ)付近の脂肪の一部が除去できる。



図2

(2) ハサミとピンセットで脂肪組織などを取り除き、腎門に3本の管を見つける(→図3)。

※漿膜と脂肪の除去に時間を要するので、1時限で観察を終えるときは、事前に処理をしておく。

輸尿管…白く最も太い。脂肪組織がまわりについている場合がある。

腎動脈…管の断面が円くしっかりしている。腎門に入る前に二つに分岐する(→図4)。

(食肉市場で、分岐より腎門側にメスが入ってしまっている時は、腎門付近に腎動脈が2本見えることがある。)



図3

腎静脈…極めて薄く、自力で丸い形を保つことができず、ぺったりとつぶれている。血液が残っていることが多い。また、腎動脈とぴったりくっついてることが多い。

- 各管を見つけたら、その入口を止血鉗子でつまむように挟んでおくといふ。

(3) 外形及び3本の管を観察、スケッチした後、重さを量る。

〔 **約150** g 〕

(4) 腎動脈から墨汁を注入する。

- ① 市販の墨汁を5倍程度に稀釈し、10mLの注射器にとる。
- ② 腎動脈に注射針を挿入し、腎門前で分岐して2本になっている腎動脈のうちの1本に注射針を進ませ、その血管を注射針ごと止血鉗子で留める。
- ③ 墨汁を静かに注入し、腎臓の皮質が黒く染まってきたら、墨汁の注入を止める（→図5）。

（食肉市場でメスが入っていて、墨汁が漏れる場合でも、ある程度は墨汁を注入してみる。あるいは切断面より先に動脈の入口を見つけ、そこから墨汁を注入する。）

*間違って腎静脈に注入しても、静脈には逆流を防ぐ弁があるため、墨汁は入らない。



図4



図5

(5) 腎盂の内側が切り開かれるように、腎門の反対側の縁に沿ってメスを入れて縦断面を作る（→図6）。皮質はメスが容易に入っていくが、腎杯にメスが達するあたりから、抵抗感がある。腎杯から腎盂の壁は、固くしっかりしていることが分かる。腎盂の内側の滑らかな壁が現れにくいときは、途中から腎盂の内側に解剖ハサミを挿入して切り開くといふ。

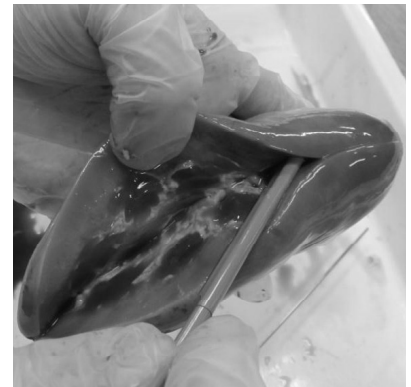


図6

(6) 腎盂が現れたら、二つに切り離さないで、縦断面を観察する（→図7）。墨汁を注入した動脈の支配領域の皮質部分が黒く染まり、もう一方の動脈の支配領域は、通常の断面の様子を表している。主にこの後者の領域で、皮質部分（黄色味を帯びた桃色）と髄質部分（赤紫色）を区別する。いくつかのつながった形の髄質の先端部を腎乳頭といい、これを腎杯が取り巻いて、尿を受け、腎盂に尿が集まる。腎盂に集まった尿は、腎盂の腎門側の孔から輸尿管に導かれる。このつながりを理解するために、その孔から、ピンセットなどを挿し込む。初めに見つけた輸尿管につながっているのが分かる。腎盂が分からない場合は、逆に輸尿管の方からピンセットなどを挿し込むと腎盂に出てくる。

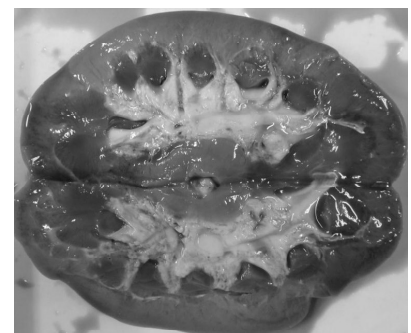


図7

(7) 墨汁が注入されて黒くなっている皮質を解剖皿のマットの上に置く。これを押さえ、皮質の外側の面に直角方向に切片作製器を何度か往復させながら、下のマットに刃が入るくらいまで最後まで

しっかり切る（→図8）。求める切片は、剃刀と剃刀のわずかな隙間に入っている。柄付針で2枚の剃刀の間を探ると、切片が付いてくるので、スライドガラスの上に広げる。カバーガラスをかけて検鏡する。注入した墨汁によって、血管の走行がわかる。輸入細動脈から糸球体に血管がつながり、再び同じ側から血管が出て、輸出細動脈になり、さらにそれが毛細血管として広がっている様子が観察される。



図8

＊(4)～(7)は、腎臓を切開して、腎盂と輸尿管、腎動脈・腎静脈を確認してから、墨汁を注入してもよい。

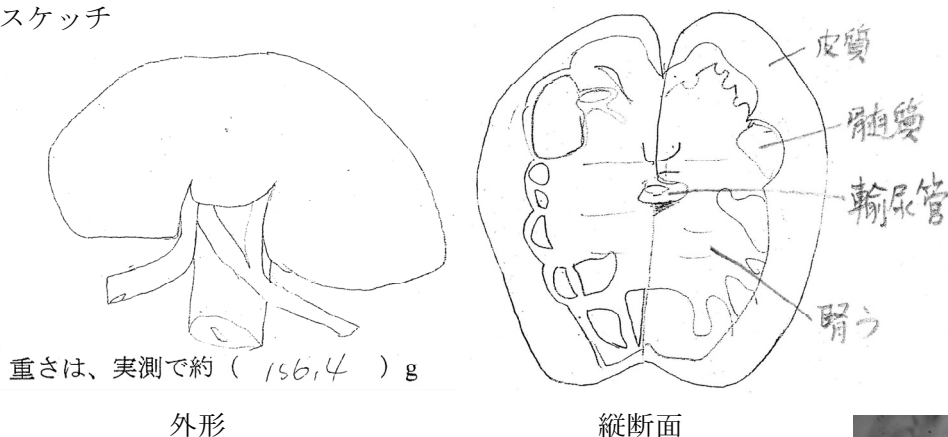
【結果と考察】

(1)ブタの腎臓の外形は、豆形をしている。重さは、実測で（ **約150** ）gで、ヒトの約130gに近い。内部構造もヒトのものによく似ている。

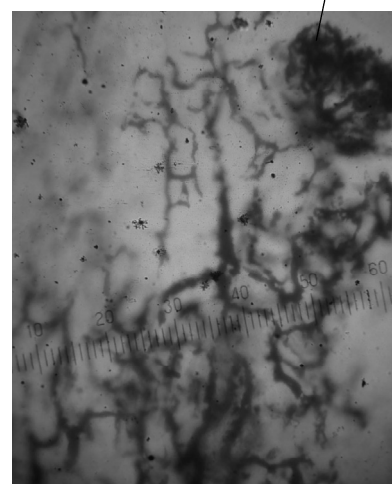
(2)腎臓には、腎動脈・腎静脈・輸尿管の3本の管があることから、腎臓の機能を考える。

血液が腎動脈から腎臓に入り、腎静脈へ出てくる間に、血液中の不要なものが尿となって、輸尿管から出てくる。

(3)スケッチ



糸球体



(4)切片の検鏡で、皮質に見える黒い球体は、毛細血管が玉になった糸球体と考えられる。糸球体では、ボーマン囊に原尿が濾し出され、そこに続く細尿管に分布する毛細血管に必要なものが再吸収される。この顕微鏡像では、糸球体から出た血管が枝分かれしているが、これが細尿管に分布する毛細血管であると考え、理解できる。すなわち、糸球体及びそれに続く毛細血管は、ネフロンでの血管の分布の様子を表している（→図9）。なお、エオシンで染色すると、ボーマン囊や細尿管を見ることができる。

(5)糸球体及びそれを包むボーマン囊を含む腎小体は、皮質にある。

図9

【発展】皮質の部分、目の大きさを細かくしながら金網でろ過していくと、夥しい数の糸球体を得られることから、腎臓にはたくさんの糸球体、ひいてはそれだけの数の腎単位（ネフロン）があり、その集合として、腎臓の機能が営まれていることを知ることができる。

思考学習

腎臓の尿生成

1. 空欄に適する語を入れよ。

＜塩類濃度等の調節＞

血液は、腎臓の皮質内の糸球体を通過する際に、血球や（ **タンパク質** ）などを除く血漿成分が（ **血圧** ）によって（ **ボーマンのう** ）へろ過され、原尿が生成される。これが（ **細尿管（腎細管）** ）や集合管を通過する間に、水やグルコース、無機塩類などの再吸収が起こる。このとき、血液の浸透圧（塩類等の濃度）を一定に保つために、水や無機塩類の再吸収量がホルモンの働きによって調節されている。例えば、ナトリウムイオンの再吸収は、（ **副腎皮質** ）から分泌される（ **鉱質コルチコイド** ）によって、また、集合管での水の再吸収は、（ **脳下垂体後葉** ）から分泌される（ **バソプレシン** ）によって促進されている。

＜老廃物の排出＞

体内の（ **タンパク質** ）の異化（分解）によって生成されたアンモニアは、（ **肝臓** ）で毒性の少ない（ **尿素** ）に変換される。これは血流で腎臓へ送り込まれて、（ **糸球体** ）でろ過された後、尿生成の過程で濃縮して排出される。

2. 右の表は、健康な人の血漿・原尿・尿の成分の濃度を測定した結果を示したものである。

（1）グルコースが尿中に排出されない理由を説明せよ。

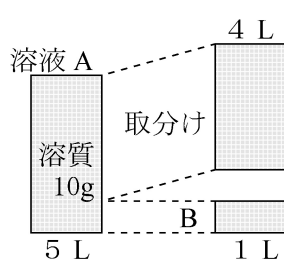
グルコースは、**細尿管（腎細管）** からこれを取り巻く**毛細血管**へ（一定濃度までは）全て再吸収されるから。

成分	血漿	原尿	尿
タンパク質	80000	0	0
グルコース	1000	1000	0
Na ⁺	3000	3000	3400
K ⁺	170	170	1470
Ca ²⁺	100	100	140
クレアチニン	10	10	750
尿素	300	300	20000

クレアチニン：筋肉へのエネルギーの供給源であるクレアチンリン酸の代謝産物

（2）尿素の濃縮率はいくらか。

〔考え方の例〕



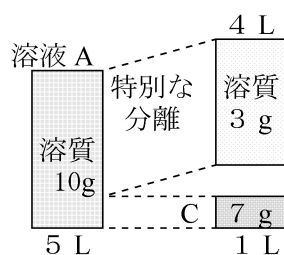
例えば、仮に左の図で考えた場合、

溶液 A の濃度 = $10\text{g} \div 5\text{L} = 2\text{g/L}$ (=2000 mg/L)

(質量%濃度 = $10\text{g} \div 5000\text{g} \times 100 = 0.2\%$)

溶液 B の濃度は、溶液 A と同じ (→濃縮率 1)

($10\text{g} \times 1/5 \div 1\text{L} = 2\text{g/L}$)



溶液 C の濃度 = $7\text{g} \div 1\text{L} = 7\text{g/L}$

溶液 C の濃度は、溶液 A の 3.5 倍 (→濃縮率 3.5)

($7\text{g/L} \div 2\text{g/L} = 3.5$)

∴尿素の濃縮率 = 尿中の濃度 (mg/L) ÷ 血漿中の濃度 (mg/L)
= $20000 \div 300 = 66.6\cdots = \text{約}67\text{倍}$

（3）尿素以外で、濃縮率の最も高い成分は何か。

Na⁺…1.13倍 K⁺…8.6倍 Ca²⁺…1.4倍 クレアチニン…75倍 ∴クレアチニン

(主に筋肉で作られて血中に入り、糸球体でろ過された後、殆ど再吸収されず尿中に排出される。)

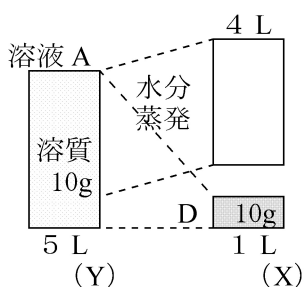
3. 1日当たりの原尿量（糸球体でのろ過量）と、血漿から尿に排出される尿素の割合を求めるため、
2. の被験者にイヌリン*を静脈注射し、血漿中の濃度が安定してから、血漿中及び尿中のイヌリンと尿素の濃度を測定した（イヌリンクリアランス）。右の表はそれぞれの濃度を示したものである。なお、この人が1日に排出した尿は1.5Lであったとする。

	(mg/L)		
成分	血漿	原尿	尿
イヌリン	1000	1000	120000
尿素	300	300	20000

*イヌリン：様々な植物によって作られる多糖類の一種で、果糖の重合体である。キク科の植物は球根に栄養源を貯蔵するための手段として利用している。ヒトの体内では合成も分解もされず、糸球体からろ過され、再吸収も追加分泌もされないため、腎機能の測定を行う指標物質として使用される。

- (1) 1日の原尿量はいくらか。

〔考え方の例〕



例えば、仮に左の図で考えた場合、

$$\text{溶液Dの濃度} = 10\text{g} \div 1\text{L} = 10\text{ g/L}$$

溶液Dの濃度は、溶液Aの濃度の5倍（濃縮率）

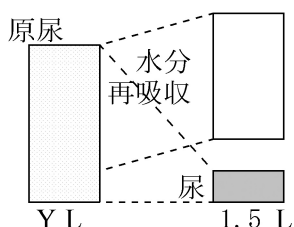
$$(10 \div 2 = 5)$$

溶液Dの体積は、溶液Aの体積の1/5

逆数の関係

溶液Aの体積をY、溶液Dの体積をX、濃縮率をnとすると、

$$Y = n \cdot X \text{ の関係が成り立つ。}$$



イヌリン濃度
1000mg/L 120000mg/L

$$\begin{aligned} \text{イヌリンの濃縮率} &= 120000\text{mg/L} \div 1000\text{mg/L} \\ &= 120 \quad (\rightarrow n) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore 1 \text{ 日の原尿量 (Y)} &= 120 \times 1.5 \text{ L/日} \\ &= 180 \text{ L/日} \end{aligned}$$

※ なお、この180L/日を可視化するモデルとしては、2L PETボトル90本分となる。（右図参照）



- (2) 血漿から尿に排出される尿素の割合を求める。

- ① 1日にろ過される原尿中の尿素量はいくらか。

$$300 \text{ mg/L} \times 180 \text{ L/日} = 54000 \text{ mg/日} = 54 \text{ g/日}$$

$$\therefore 54\text{g}$$

- ② 1日に排出される尿中の尿素量はいくらか。

$$20000 \text{ mg/L} \times 1.5 \text{ L/日} = 30000 \text{ mg/日} = 30 \text{ g/日}$$

$$\therefore 30\text{g} \quad (= 1 \text{ 日に生成される尿素量に等しいと考えられる。})$$

- ③ 尿素の排出した割合はいくらか。

$$30 \text{ g} \div 54 \text{ g} \times 100 = 55.5\cdots = \text{約}56\% \quad \therefore 56\%$$

（※老廃物である尿素は、本来100%排出したいが、細尿管などから水分・無機塩類などとともに約44%も再吸収してしまっている。そのため、生成した尿素が体内にたまらないように、血液は腎臓で繰り返しろ過していると考えられる。）

【発展課題】

4. 1日当たり腎臓に流入する血液量を求めるため、パラアミノ馬尿酸（PAH）*を静脈注射し、血漿中の濃度が安定してから、血漿中及び尿中のパラアミノ馬尿酸と尿素の濃度を測定した。右の表はそれぞれの濃度を示したものである。

(mg/L)		
成分	血漿	尿
パラアミノ馬尿酸	30	18900

なお、この1日で排出された尿は1.5L、PAHは腎臓の排出領域からその90%が血液中から排出され、このときのヘマトクリット値（血液における細胞成分が占める容積の割合）は40%であったとする。

*パラアミノ馬尿酸（PAH）：体内で合成も分解もされない有機酸の一種で、糸球体よりろ過されるが、さらに糸球体を通じた血液からも近位細尿管で排出され、再吸収はされない。そのため、健常者では、血中濃度が5 mg/dL以下のときはPAH-クリアランスは腎臓の血漿流量の90%とよく一致し、同時に近位細尿管の機能を示すものとされている。

(1) 1日当たりのPAHの排出量はいくらか。

$$18900 \text{ mg/L} \times 1.5 \text{ L/日} = 28350 \text{ mg/日} \\ \therefore 28350 \text{ mg/日}$$

(2) 血漿中のPAHの量はいくらか。

$$\text{血漿中の PAH の90\%が尿中に排出されることから、} \\ 28350 \text{ mg/日} \div 0.9 = 31500 \text{ mg/日} \quad \therefore 31500 \text{ mg/日}$$

(3) (2) の量のPAHを含む血漿の体積はいくらか。

$$\text{血漿 1 L 当たり PAH が 30mg 含まれるので、31500 mg を含む血漿の体積は、} \\ 31500 \text{ mg/日} \times 1000 \div 30 = 1050000 \text{ mg/日} = 1050 \text{ L/日} \quad \therefore 1050 \text{ L/日}$$

(4) 1日当たり腎臓に流入する血液の体積はいくらか。

$$\text{血液中の細胞成分が40\%ということは、血漿の割合が60\%となるので、} \\ 1050 \text{ L/日} \div 0.6 = 1750 \text{ L/日} \quad \therefore 1750 \text{ L/日}$$

(5) ヒトの全身に含まれる血液量は、体重のおよそ1/13（男性で約8%、女性で約7%）といわれている。血液の体積を求めよ。ただし、血液の比重1.05とする。

$$60 \text{ kg} \times 1/13 = 4.615 \cdots = \text{約} 4.62 \text{ kg} \\ 4.62 \text{ kg} \div 1.05 \text{ kg/L} = 4.4 \text{ L} \quad \therefore 4.4 \text{ L}$$

【まとめ】上記の問題から分かったことを記述しよう。

ヒトの腎臓では、体液の恒常性のために、1日当たり約1750 Lの血液が流入し、約180Lの原尿がろ過された後、細尿管などでの再吸収により成分の濃縮・調整がなされ、約1.5Lの尿として排出している。つまり、1日に約400回（ $1750 \div 4.4 = 397.72 \cdots$ ）も全身の血液が腎臓に流入して、老廃物の排出や水分・塩類の調節をしていることになり、このことから、腎臓の働きの素晴らしさが分かる。

もし、腎臓の機能が落ちたときは、体内の老廃物の排出が不完全となり、健康への影響が大きいことが分かる。

事例Ⅳ 体内環境の維持の仕組み

1. 授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
1	導入実験： ホルモンの作用による呼吸数の変化 【資料】P. 47	メダカにアドレナリンを投与し、呼吸数の変化を観察させることで、ホルモンの作用により調節されている仕組みに関心をもたせる。	○生体を扱うことから、試料の状態を把握し、無益な殺生とならないように配慮する。 ○衛生面での配慮として、実験後の手洗い等を指導する。
2	思考学習： 鱗の色素胞の変化の仕組み 【資料】P. 48～51	カリウムイオンやノルアドレナリンが及ぼす鱗色素胞の変化に関する実験資料を提示し、自律神経系と内分泌系による調節と反応の関係について気付かせ、その仕組みの理解を深めさせる。	○資料の読解に時間を要するので、適宜補足説明し、それぞれの段階で実験の目的を明確に把握できるよう指導する。
3	課題研究： 気管支拡張剤の働き 【資料】P. 52～53	経皮吸収型気管支拡張剤を題材に、ホルモンの受容体と作用についての課題研究に取り組むことで、体液の濃度が自律神経系と内分泌系の作用により調節されている仕組みを理解させるとともに、ヒトの健康について関心を高めさせる。	○調査に要する時間を確保するとともに、調査事項を学習事項と関連させることで、思考力・表現力の育成を図る。

2. 教材試料について

メダカ：生徒は、小学校理科において「生物には雌雄があること」を学ぶ試料として接しているが、野生状態で目にするのはほとんどなく、今では身近な生物と言い難い状況である。本実験では、入手・飼育の容易さから、一般に販売されているヒメダカを試料とした。事前指導において、メダカの品種開発や野生種に着目した環境保全、遺伝子レベルでの生物多様性などについての資料を提示し、試料を通して広い視野で学習内容への関心を高めさせる工夫をした。

思考学習においては、鱗の色素胞に対する各種薬物の作用を確かめる実験結果を基に、黒色素胞と白色色素胞の色素顆粒運動調節の仕組みを解明することを求めている。そのため、試料としては色素胞を多く持つクロメダカを取り上げている。

アドレナリン：呼吸数や心拍数の増加を促す作用をもつホルモン剤として、市販されている（例：¥3980/g（関東化学株式会社製））。2%程度の水溶液として飼育水中に滴下する。

劇薬・処方せん医薬品であり、気管支喘息および百日咳に基づく気管支痙攣の緩解、各種疾患もしくは状態に伴う急性低血圧またはショック時の補助治療、心停止の補助治療のために、医師等の処方せんにより使用することとされており、取り扱いに注意する。

また、アドレナリンの自己注射薬（エピペン）は、ハチ毒、食物、薬物などのアレルギーでアナフィラキシーになった重い傷病者に対して用いる治療薬でもある。傷病者は事前に病院で医師よりエピペンを処方されており、本人が適切に使用できるように指導されている。

経皮吸収型気管支拡張剤：本事例では、風邪や喘息の治療薬として処方される塩酸ツロブテロールの貼り付け剤（商品例：ホクナリンテープ（0.5、1、2mg））を取り上げた。

3. 学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	○日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象、自己の健康管理について関心をもち、意欲的に探究しようとする。 ○体内環境の維持の仕組みについて関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○観察・実験結果から問題を見だし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを表現している。 ○動物の体内環境が自律神経系と内分泌系の作用により調節されている仕組みを考察し、導き出した考えを的確に表現している。	○体内環境の維持の仕組みについての観察、実験を行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。 ○実験の目的を達成することのできる条件設定をし、試料を作製している。 ○作製した試料を観察し、データを収集・解析している。	○体内環境の維持に自律神経系と内分泌系が関わっていることを、ヒトの健康と関連させて理解し、知識を身に付けている。
方 法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

4. 参考資料

- ・アドレナリン注0.1%シリンジ「テルモ」 テルモ株式会社
<http://www.terumo.co.jp/medical/di/data/adrenaline/adrenaline.pdf>
- ・「消防機関における自己注射が可能なアドレナリン（エピネフリン）製剤の取扱いに関する検討会」 報告書 平成21年8月17日 総務省消防庁
http://www.fdma.go.jp/pdf/2009/0817/02_houkokusyo.pdf
- ・国際生物学オリンピック日本大会（JBO）2011広島 実験試験問題冊子
<http://www.jbo-info.jp/index.html>
- ・ツロブテロール
<http://www.okusuri110.com/dwm/sen/sen22/sen2259707.html>
- ・Qlife お薬検索－久光製薬－ツロブテロールテープ0.5mg
<http://www.qlife.jp/meds/rx9696.html>
- ・ホクナリンテープ
<http://kusuridukuri.cho-chin.com/drugs/075hokunalin.html>

実験

ホルモンの作用による呼吸数の変化

【目的】 ホルモンがメダカの呼吸数にどのような影響を与えるか調べ、ホルモンが働く仕組みを考察する。

【材料】 メダカ、チャック付きビニル袋、酸素の出る石（過酸化カルシウム CaO_2 ）、100mLビーカー
2%アドレナリン水溶液、

【方法】

① メダカが十分に入る大きさのチャック付きビニル袋に、飼育水と酸素の出る石、メダカを入れる。これを一つのセットとする。袋に A、B と書いておく。

水温を15℃に保ったビーカーの中に以下の A と B の 2 セットをそれぞれ、5 分間入れておく。

- A：水温15℃でアドレナリンを加えないセット
- B：水温15℃で、後ほどアドレナリンを加えるセット

② 1 回目は、アドレナリンを加えずに、A セット、B セットをそのままの状態を観察する。ビーカーの横から、呼吸数（回/30秒）を 2 回、測定する。→【結果 1 回目】

③ B セットだけに 2%アドレナリン水溶液（点眼びん）をビニル袋内に 5 滴、滴下し、3 分間待つ。②と同様に、メダカの呼吸数（回/30秒）を測定する。→【結果 2 回目】

④ 結果の 1 回目と 2 回目を比較して変化率を求め、どのようなことが分かるのか考察する。

【結果】

班	個体	【結果 1 回目】 (回/30秒)		平 均 (a)	【結果 2 回目※】 (回/30秒)		平 均 (b)	変化率 (b/a)
1	A	83	68	75.5	79	78	78.5	1.04
	B	76	75	75.5	93	89	91.0	1.21
2	A	107	97	102.0	118	105	111.5	1.09
	B	134	110	122.0	154	150	152.0	1.25

(※ B セットにアドレナリンを加えた後の測定)

【考察】

水中に滴下したアドレナリンは、表皮または鰓から取り込まれ、(血液によって呼吸器官まで運ばれ、) 鰓蓋の運動を促進して、呼吸数が増加したと考えられる。

【まとめ】

アドレナリンは、(副腎髄質) から分泌されるホルモンの一種であり、(血液) によって (標的器官) まで運ばれる。標的器官の細胞は (アドレナリン受容体) を持っている。

器官によって作用が異なり、心臓に対しては心拍数を (増やす) 作用や (収縮) の強さを増す作用、肝臓に対してはグリコーゲンを (分解) して血糖値を (上げる) 作用などがある。

鱗の色素胞の変化の仕組み

魚類は、周囲の環境や個体の緊張状態などに応じて体色が変化する。これは、体表に存在する色素をもった細胞（色素胞）中の色素顆粒が収縮・拡散することで起こる。色素胞は色素の色によって大別され、例えば、メダカの鱗には、メラニン顆粒をもち黒色に見える黒色素胞、カロチノイド顆粒をもち黄色に見える黄色素胞、また、グアニン顆粒をもち光を反射して白く見える白色素胞がある。野生メダカの場合、頭部から背びれにかけての背部周辺に黒色素胞と黄色素胞が網目状に集中しており、白色素胞は腹部を中心に分布している。

【実験 1】（個体レベル）

体色に差がない 2 匹のメダカを用意し、黒い容器と白い容器にそれぞれ入れてしばらく置き、体色を変化させる。黒い容器のメダカを白い容器に移し、体色変化をする様子を観察する。

〔結果〕 2 匹の体色の差がなくなる時間を測定すると、体色の白化は 1 ～ 2 分で起きる。

Q. 1 明るいところで体表が白色化する利点はどうのようなものが考えられるか。

A. 1 **保護色となって外敵から見つかりにくくなる。**

【実験 2】（器官～細胞レベル）

明るい所で体が白色化する仕組みを解明するために、メダカを氷冷麻酔し、先鋭ピンセットで背中から鱗を抜き取る。それを生理的塩類溶液に浸し、透過照明を用いて顕微鏡で観察すると、放射状の突起をもつ黒色素胞と、その周辺にある黄色素胞が見える。色素顆粒は、細胞内に均質に拡散した状態（拡散状態）にある。一方、同じ鱗を落射照明を用いて観察すると、白色素胞が見え、黒色素胞や黄色素胞とは逆に、色素顆粒が細胞の中心部に集まっている。（なお、ほとんどの白色素胞は黒色素胞と上下に重なって存在するため、鱗を黒色素胞の側から観察した場合は白色素胞を観察できないことがある。白色素胞を観察できないときは、色素胞が載っていない鱗の透明部分を先細ピンセットでつまんで、鱗を裏返して白色素胞を確認する。色画用紙を下に敷くと白色素胞を観察しやすくなる。）

次に、カバーガラスの縁に等張カリウム液を滴下し、反対側からろ紙で鱗を浸している溶液を吸い取り、等張カリウム液を導き入れて色素胞の様子を観察する。

〔結果〕 黒色素胞と黄色素胞では細胞の突起が収縮して円形へと変化する。この反応は、色素顆粒が細胞の中心部へ集まる色素顆粒凝集反応であり、細胞の輪郭は変化しない。一方、同じ鱗を落射照明を用いて観察すると、白色素胞は、色素顆粒拡散反応が引き起こされて色素顆粒が細胞内へ均質に拡散するため、突起をもった白色素胞の輪郭を観察できる。

Q. 2 ここまでの実験からメダカの体表が白色化する仕組みについて考えられることは何か。

- A. 2 ①生理的塩類溶液から等張カリウム液に置き換えると、 K^+ が直接鱗の色素細胞に作用し、黒色素顆粒は急速に凝集する。また、白色素胞は、色素顆粒が拡散する。または
- ②（直接観察することはできないが、色素胞の周辺には色素胞神経の神経終末が密に分布している。）黒色素胞と黄色素胞は、 K^+ によって色素胞神経が興奮して神経終末から神経伝達物質が色素胞の周りに放出されると、黒・黄色素顆粒は急速に凝集する。また、白色素胞は、色素顆粒が拡散する。

【実験 3】（分子レベル）

A. 2 の①・②の真偽を確かめるため、メダカから鱗を摘出し、生理食塩水に浸して18℃で15時間程度静置させ、この鱗を用いて次の（1）、（2）の実験を行った。

（1）実験 2 と同様に、鱗を浸している液を等張カリウム液に置き換えた。

【結果】黒色素顆粒は凝集せず、色素顆粒が拡散しなかった。

（2）神経伝達物質が黒色素胞と白色素胞に作用するかどうかを調べるため、鱗を浸している液に、自律神経系の神経伝達物質であるノルアドレナリンとアセチルコリンの水溶液をそれぞれ滴下した。

【結果】ノルアドレナリンを滴下した場合、黒色素胞では速やかな色素顆粒の凝集反応が起こり、やや遅れて白色素胞の色素顆粒拡散反応が起きた。これに対して、アセチルコリンを滴下した場合はこのような反応は見られなかった。

Q. 3 この実験から分かることは何か。

- A. 3 （1）で黒色素顆粒は凝集せず、（2）で黒色素顆粒は凝集したことから、色素胞の反応は、 K^+ が直接鱗の色素細胞に作用しているのではなく、（ K^+ によって脱分極して）色素胞神経が興奮して神経終末から神経伝達物質が色素胞の周りに放出されることで色素胞が反応することが分かる。（この実験で用いる鱗は、メダカから摘出した後、生理食塩水に浸して18℃で15時間程度、静置させたことで、鱗に残った色素胞神経の終末は働かなくなっていると考えられる。したがって、この実験で用いた鱗の色素胞に対する各試薬の作用は、神経を介した間接的なものではなく、色素胞に対する直接作用と考えることができる。）
- （2）で、黒色素胞・白色素胞ともに反応を起こすのはノルアドレナリンの場合であることから、メダカの体の白色化において、どちらの細胞も反応を引き起こすのは（ノルアドレナリンを分泌する）交感神経であると考えられる。

【実験 4】（神経伝達物質受容体）

ノルアドレナリンは、黒色素胞にある受容体 R_1 、白色素胞にある受容体 R_2 と結合して作用する。一方、受容体阻害剤は、特定のタイプの受容体と特異的に結合し、神経伝達物質の作用を阻害する。つまり、ある神経伝達物質の作用がどの阻害剤で阻害されるかを調べれば、その神経伝達物質が結合

する受容体のタイプを判定することができる。4種類の受容体阻害剤をそれぞれ滴下した鱗にノルアドレナリンを加えて反応を観察した。なお、4種類の受容体阻害剤の物質名や作用、結合する受容体のタイプは次のとおりである。

アトロピン：心筋にあるムスカリン性受容体に作用させると副交感神経の刺激によって生ずる心拍動抑制が起こらなくなる。

ツボクラリン：骨格筋の神経筋接合部にあるコリン性受容体に作用させると、運動神経を刺激しても筋収縮が起こらなくなる。

フェントラミン：消化管に分布する血管にあるアドレナリン性 α 受容体と結合し、神経刺激による血管収縮反応を抑制する。

プロプラノロール：肝臓にあるアドレナリン性 β 受容体と結合し、アドレナリンの刺激によるグリコゲン分解を抑制する。

〔結果〕フェントラミンを滴下した場合、黒色素胞の凝集が見られず、プロプラノロールを滴下した場合、白色素胞で拡散が見られなかった。

Q. 4

自律神経系による各器官の機能調節では、交感神経と副交感神経が拮抗的に働くことが知られている。例えば、心臓では交感神経が働くとノルアドレナリンが放出され、心臓にある受容体と結合して拍動数を増加させる。一方、副交感神経が働くとアセチルコリンが放出され、受容体と結合して拍動数を減少させる。メダカの色素胞では、神経が興奮すると黒色素胞と白色素胞で逆の反応が起こる。実験結果から、「この反応は交感神経と副交感神経による調節の結果である」と考えられるか。考えられる場合はその理由を、考えられない場合はなぜ色素胞に逆の反応を引き起こすことができるのか、実験結果を踏まえて簡潔に述べよ。

A. 4 **実験3より、アセチルコリンが作用しないので交感神経と副交感神経による拮抗的な調節があるとは考えられない。一方、実験4より、黒色素胞はアドレナリン性 α 受容体を持ち、白色素胞はアドレナリン性 β 受容体をもつと考えられる。二つの色素胞がそれぞれ異なる受容体をもつため、一つの神経伝達物質（ノルアドレナリン）により黒色素胞には顆粒凝集反応を引き起こし、白色素胞には顆粒拡散反応を引き起こすことができると考えられる。**

【実験5】

脳下垂体などから分泌されたホルモンが血流によって鱗にある毛細血管へ運ばれ、色素胞に作用するかどうかを確かめるため、次の実験（1）、（2）を行った。

- （1）脳下垂体から放出される、色素顆粒運動の調節にかかわると考えられる二つのホルモン、MSHとMCHの、黒色素胞と白色素胞に対する作用を調べる実験を行った。（この実験では、入手が容易なヒト α -MSHとヒトMCHを用いているが、メダカ色素胞に対する作用は確認している。）

〔結果〕MSHは白色素胞の顆粒拡散反応を引き起こすが、黒色素胞には効果が見られなかった。一方、MCHは黒色素胞の顆粒凝集反応を引き起こし、白色素胞には効果がなかった。

- （2）脳下垂体由来のMSHとMCHはペプチドホルモンである。黒色素胞や白色素胞に作用するとき、「神経伝達物質の受容体と結合して色素顆粒の運動を引き起こす」という可能性が考えられ

る。そこで、実験4で用いた4種類の神経伝達物質受容体の阻害剤を滴下して、MSH と MCH の黒・白色素胞に対する作用が阻害されるかどうかを調べた。

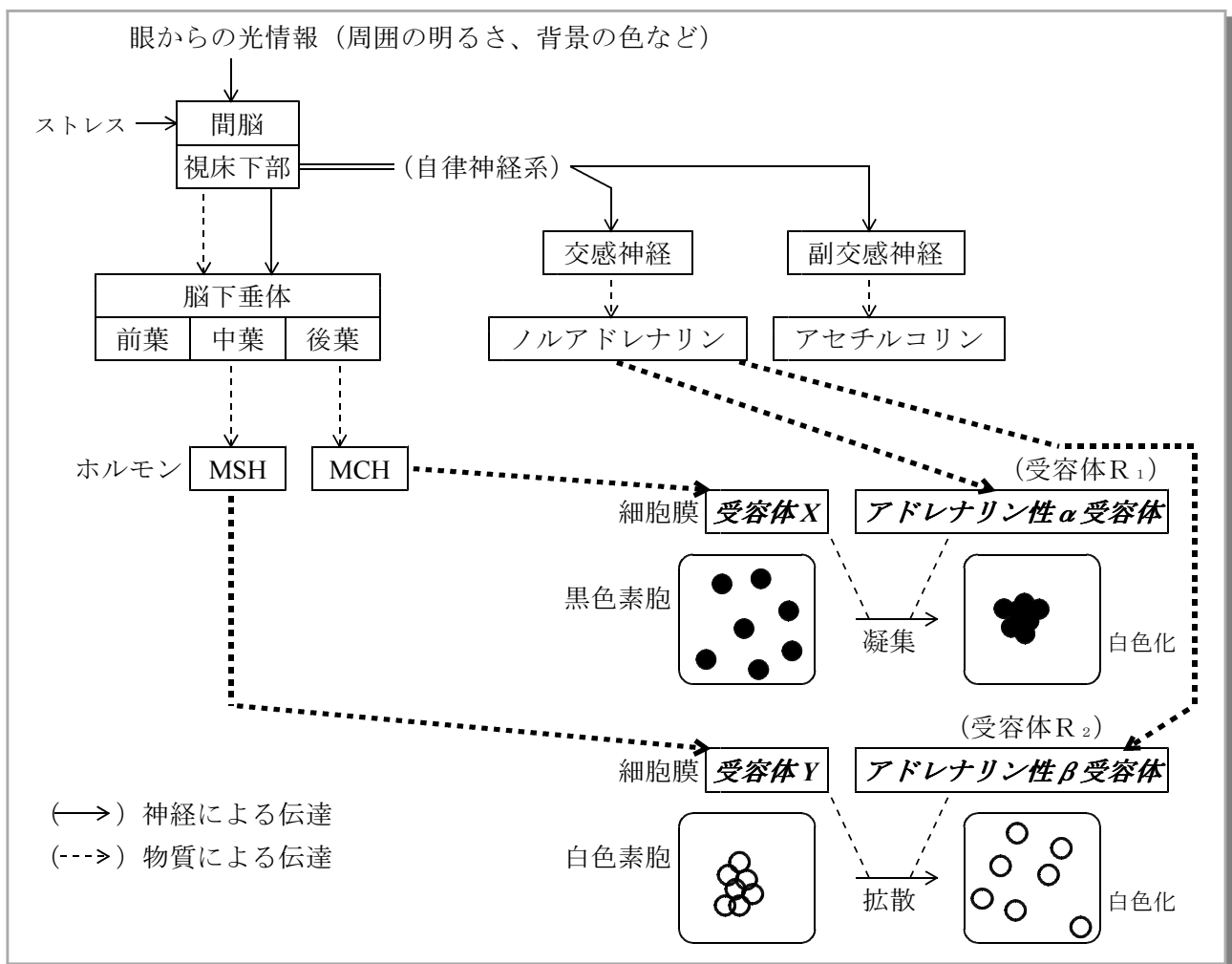
【結果】 実験4のどの阻害剤を滴下しても阻害されなかった。

Q. 5 この実験から分かったことは何か。

A. 5 (1) から、黒色素胞にはMCH、白色素胞にはMSH が作用することが分かる。
 (2) から、黒色素胞や白色素胞には、それぞれMCH と MSH に対して、神経伝達物質受容体とは別の受容体 (X、Y) が存在することが分かる。

【まとめ】

以上の実験結果を基に、次の図の空欄に適する語を入れ、伝達経路を矢印線で記入せよ。



課題研究

Q. 1 アドレナリンや関連するホルモンについて、その特徴と作用を調べてみよう。

※ 下波線部 は「生物基礎」で学ぶ内容

アドレナリンは、間脳視床下部で情報を感知した時はたらく交感神経の刺激により副腎髄質から分泌されるホルモンで、ノルアドレナリンを始めとする*カテコールアミン類の一種である。標的器官・標的細胞ごとに異なる種類のアドレナリン受容体(Adrenergic receptor)をもつことが分かっている。これは、主に心筋や平滑筋に存在し、脳や脂肪細胞にもある。

・アドレナリン受容体

$\alpha 1$ ($\alpha 1A$, $\alpha 1B$, $\alpha 1D$): 血管収縮、瞳孔散大、立毛、前立腺収縮などに関与

$\alpha 2$ ($\alpha 2A$, $\alpha 2B$, $\alpha 2C$): 血小板凝集、脂肪分解抑制のほか様々な神経系作用に関与

$\beta 1$: 心臓に主に存在し、心収縮力増大、子宮平滑筋弛緩、脂肪分解活性化に関与

$\beta 2$: 気管支や血管、心臓のペースメーカー(洞房結節)部位にも存在し、気管支平滑筋の拡張、血管平滑筋の拡張(筋肉と肝臓)、子宮の平滑筋等、各種平滑筋を弛緩させ、及び糖代謝の活性化に関与

$\beta 3$: 脂肪組織、消化管、肝臓や骨格筋に存在する他、アドレナリン作動性神経のシナプス後膜にもその存在が予想されている。基礎代謝に影響を与えているとも言われている。

*カテコールアミン (Catecholamine): 受容体に直接作動する代表的な物質であり、カテコールとアミンを有する化学物質である。

多くの神経伝達物質等及び関連薬物の基本骨格になっている。

「チロシン→ドーパ→①ドーパミン→②ノルアドレナリン→③アドレナリン」の順で合成される(右図参照)。

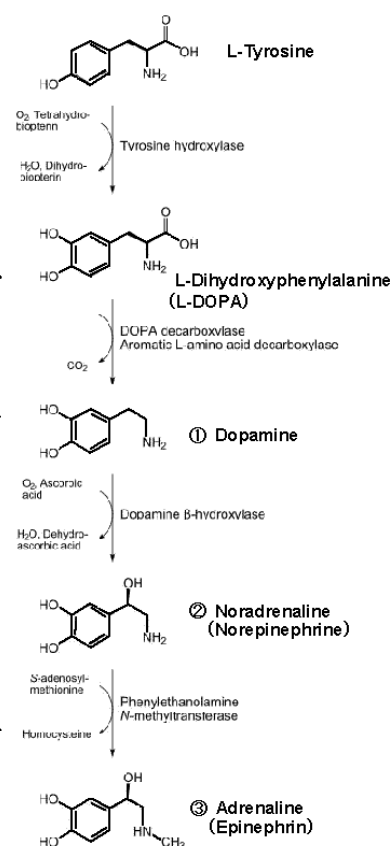
・カテコールアミンの体内での動向の例

心配事があったり、強い恐怖を感じるといったストレスが原因で、カテコールアミンは増える。体に起きた反応とカテコールアミンの動向を調べた実験(ゲームの勝敗にスリルを感じさせる設定をした実験)では、血液中にカテコールアミンが通常量の2倍以上の量になっていた。

・カテコールアミンの作用のメリットとデメリット

カテコールアミンは、心臓をドキドキさせたり、瞬発力を発揮するときに必要なホルモンで、よく知られるものに「火事場の馬鹿力」がある。カテコールアミンの作用で血管を収縮させ、手足の筋肉に大量の血液を送り、すごい力を発揮させる。

しかし、血小板を凝固させる働きがあり、脳梗塞や心筋梗塞の原因にもなっている。



①ドーパミン: α 、 β 受容体のほか、ドーパミンに特異的なD1・2受容体に対しても作動する。

D1受容体は腎臓など内蔵血管の平滑筋に分布しており、cAMP濃度を上昇させて筋を弛緩させることから、内蔵血流増加および利尿作用をもつ。したがって、血圧上昇作動がある一方で、乏尿や脈圧・脈拍数の変化などの悪影響が出現しにくいことから他のカテコールアミンよりも副作用が弱く、とくに中用量ドーパミンは昇圧剤として汎用される。

②ノルアドレナリン： α および $\beta 1$ 受容体には作動するが、 $\beta 2$ 受容体への作動は弱い。従って、昇圧作用が強いことから、急性低血圧やショック時の昇圧剤として、皮下注射あるいは静脈内持続投与により使用される。

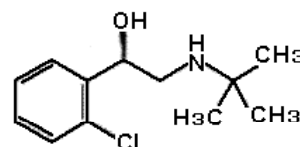
③アドレナリン：各受容体に等しく作用し、強心、昇圧、気管支拡張、散瞳、血糖上昇の各作用を発揮する。臨床的には、心停止時に用いたり、アナフィラキシーショック・敗血症に対する血管収縮薬や、気管支喘息発作時の気管支拡張・痙攣抑制薬として用いられる。

Q. 2 風邪をひいて咳が出たとき、医師から処方された薬剤の中に、2 cm角程度のテープ剤があった。薬剤説明書には、「適応：気管支喘息、急性気管支炎、慢性気管支炎、肺気腫。説明：主成分が塩酸ツロブテロールで、交感神経刺激作用のある気管支拡張剤です。体に直接張り付けて使います（経皮吸収型気管支拡張剤）。喘息以外の気管支炎などでも処方する種類のお薬です。」とあった。この薬剤の特徴と作用機構を調べてみよう。

※ 下波線部 は「生物基礎」で学ぶ内容

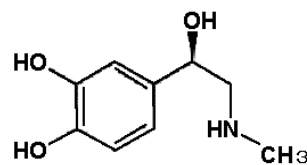
風邪をひいて咳が出た時や喘息の発作の時には、気管支が腫れたり気管支の筋肉が収縮し、気道が狭くなって空気が通りにくく呼吸が苦しくなる。そこで、発作を抑えたり、特に就寝時に予防するには、気管支の筋肉を弛緩して拡張させる必要がある。

経皮吸収剤の場合、シールに薬剤をしみ込ませてあり、薬剤は非常にゆっくりと吸収される。ツロブテロールの場合、上腕や胸・背部の皮膚にテープを貼付けると、皮膚の角質層から脂質を通して数時間かけて吸収され、薬剤がゆっくりと毛細血管中の血液に入り、目的の組織（気管支）に届く。



塩酸ツロブテロール

次に、気管支平滑筋にあるアドレナリン $\beta 2$ 受容体というタンパク質に結合し、活性化させる。この受容体は、筋肉を弛緩させるためのシグナルを細胞内に送るタンパク質なので、気管支の筋肉は拡張する。その結果、発作がおさまる（予防できる）。



アドレナリン

ツロブテロールの血液内の濃度は約24時間一定に保たれ、この間の効果は持続する。そのため、一日に一回（3歳未満には0.5mg、3～9歳未満には1mg、9歳以上には2mg）貼付けるだけで、発作を抑制することができる。テープの作用時間が24時間と長いことから、寝ている間の喘息発作の抑制が可能となる。一般に、活動状態では交感神経の働きが優位に、リラックスした状態では主に副交感神経の働きが優位となる。就寝時は副交感神経が働くことで気管支が収縮し、呼吸の機能は夜から朝にかけて低下（モーニングディップ）するため、呼吸機能が低下する早朝に喘息の発作が起きやすくなる。テープは、このような早朝発作を抑えることができる。

また経皮吸収剤は、薬を口から飲むことができない患者、例えば小さい子供への投与に使うことができる。

〔 3 〕 生物の多様性と生態系

1. 学習指導要領での位置付け

生物の多様性と生態系について観察、実験などを通して探究し、生態系の成り立ちを理解させ、その保全の重要性について認識させる。

ア 植生の多様性と分布 → 事例Ⅴ

(ア) 植生と遷移

陸上には様々な植生がみられ、植生は長期的に移り変わっていくことを理解すること。

(イ) 気候とバイオーム

気温と降水量の違いによって様々なバイオームが成立していることを理解すること。

(内容の取扱い)

(ア)については、植生の成り立ちには光や土壌などが関係することを扱うこと。また、植物の環境形成作用にも触れること。(イ)については、気温と降水量に対する適応に関連付けて扱うこと。また、日本のバイオームも扱うこと。

イ 生態系とその保全

(ア) 生態系と物質循環

生態系では、物質が循環するとともにエネルギーが移動することを理解すること。

(イ) 生態系のバランスと保全

生態系のバランスについて理解し、生態系の保全の重要性を認識すること。

(内容の取扱い)

(ア)の物質の「循環」については、窒素の循環も扱うこと。(イ)については、人間の活動によって生態系が攪乱され、生物の多様性が損なわれることがあることを扱うこと。

ウ 生物の多様性と生態系に関する探究活動

生物の多様性と生態系に関する探究活動を行い、学習内容の理解を深めるとともに、生物学的に探究する能力を高めること。

なお、中学校理科第2分野では、(7) 自然と人間で、

- ・ 自然界のつり合い
- ・ 炭素循環について
- ・ 自然界では生物がつり合いを保って生活していること
- ・ 様々な要因が自然界のつり合いに影響していること

について学習している。

2. 学習評価について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	生物の多様性と生態系に関する事象について関心をもち、意欲的に探究しようとするとともに、科学的な見方や考え方を身に付けている。	生物の多様性と生態系に関する事象の中に問題を見だし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物の多様性と生態系に関する事象について、観察、実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、科学的に探究する技能を身に付けている。	生物の多様性と生態系に関する事象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けている。
方 法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

3. 本単元における事例

事例Ⅴ：植生の多様性

陸上に見られる草原や森林など様々な植生は、生育環境と密接に関連付いていることや、それらは不変でなく長期的に移り変わっていくことについて理解させるとともに、その多様性や保全の重要性を認識させることを目標としている。

そのために、まず、身近な植物の年間の変遷を観察させることで植生への関心を高め、植物の生活形を中心に学習内容の着眼点を意識させる。

次に、発問と提示資料の読解により得た知見を基に展開する学習活動を通じて、思考力・判断力・表現力を育成し、陸上植物の多様性と分布について様々な視点から理解を深める。

事例Ⅴ 植生の多様性

1. 授業展開例

時限	学習内容	活動とねらい	指導上の留意点
1 (春～夏)	観察： 植物の生活形 【資料】P. 58～61	単元の導入として、学校構内または近隣の公園、里山、河川敷など、身近な植物の観察を通して、植生への関心を高めさせるとともに、生育環境に適応した形態と生活様式を見いださせる。	○現地の事前視察により、フィールドワークを行う際の安全面での配慮事項を想定しておく。 ○特定の樹木・草本類を継続して観察させ、季節変化に伴う形態の変遷から生活形を意識させる。
2 (晩秋～冬)			
3	思考学習： 陸上植物の多様性と分布 【資料】P. 62～71	発問と提示資料の読解により、環境要因と植生との関係を理解させ、その植物がもつ形態・生理機構から生存戦略を考察させる。	○実感を伴った理解につながるように、植物の標本、画像などを提示する。
4		前時に導いた知見を基に、世界のバイオーム、日本のバイオーム、植物の遷移に関する理解を深めさせる。	

2. 教材試料について

現地の事前視察で植生を確認し、観察させたい常緑広葉樹（クスノキ、ツバキなど）・落葉広葉樹（カエデ、イチョウなど）・針葉樹（アカマツ、スギなど）・草本類など、後の学習で実例として取り上げる種を特定しておくといよい。

授業中の観察では、1時限で観察が終了するように、観察ルートや個体を指定しておいても良い。

フィールドワークにおいては、用箋ばさみ（クリップファイル）、構内平面図、デジタルカメラ、植物図鑑などが班ごとに必要となる。

3. 単元の学習評価例について

観点	関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
評価 規 準	○植生と遷移について 関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。 ○気候とバイオームについて関心をもち、意欲的にそれらを探究しようとする。	○陸上に見られる草原や森林など様々な植生は、生育環境と密接に関連付いていることや、それらは不変でなく長期的に移り変わっていくことを考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ○気温と降水量の違いによって、地球上では様々なバイオームが成立していることを、得られたデータから論理的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	○植生と遷移についての観察、実験、資料調べなどを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。 ○気候とバイオームについての観察、実験、資料調べなどを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。	○陸上には様々な植生がみられ、植生は長期的に移り変わっていくことを理解し、知識を身に付けている。 ○気温と降水量の違いによって様々なバイオームが成立していることを理解し、知識を身に付けている。 ○生態系について理解し、知識を身に付けるとともに、生態系の保全の重要性について認識している。
方 法	・ワークシート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・ノート	・ワークシート ・ノート ・課題レポート ・テスト	・実験レポート ・行動観察 ・学習振り返りシート ・テスト	・ワークシート ・テスト ・課題レポート ・学習振り返りシート

4. 参考資料

- ・「植物生理生態学授業ノート ― 1枚の葉から日本の森林へー」
「生態学を学ぶための34の断章」 東京大学大学院理学系研究科日光植物園 舘野 正樹
- ・「イタヤカエデはなぜ自ら幹を枯らすのか 樹木の個性と生き残り戦略」
渡辺 一夫 著 築地書館
- ・「原寸図鑑 葉っぱでおぼえる樹木」 濱野 周泰 監修 柏書房 2005年9月
- ・「原寸図鑑 葉っぱでおぼえる樹木2」 濱野 周泰+石井 英美 監修 柏書房 2007年3月
- ・「写真で見る植物用語」 岩瀬 徹・大野 啓一 著 全国農村教育協会
- ・「絵でわかる植物の世界」 大場 秀章 監修 清水 晶子 著 講談社サイエンティフィク
- ・「校庭の樹木百選」 馬籠 章子 教諭 栃木県立佐野女子高等学校100年誌
- ・「校庭の樹木100選」 馬籠 章子 教諭
栃木県立佐野女子高等学校 平成18年度研究紀要 「美可母」第40号
- ・雨温図
<http://nocs.myvnc.com/study/uonzujp.htm>
- ・雨温図作成フリーソフト
<http://nocs.myvnc.com/study/uonzu.htm>

観察

植物の生活形

【目的】身近な植物の観察を通して、生育環境に適応した形態と生活様式を見いだす。

【準備】学校構内の平面図（または地域の地図）、植物図鑑、筆記用具、デジタルカメラ

【時期】（１）春～夏期

（２）晩秋～冬期

【内容】

（１）春～夏期：樹木・草本類を観察し、その生育場所を地図中に記入（広葉樹は○印・針葉樹は△印・草本類は□）し、識別番号を振る。その際、外観を撮影しておく。また、その種名や特徴、その植物にまつわるエピソードなどを調べて記録する。

〔観察ポイント〕樹形、樹高、胸高直径、葉のつき方、葉形、葉の厚み、葉の表面、花、日当たり

※関心喚起：学校樹（シンボルツリー・最大樹）を知ろう。

樹種名、樹高、特徴、植樹年、校樹制定の由来、エピソードなどをまとめる。

（２）晩秋～冬期：（１）で作成した植生図・資料を基に、各植物が変化した様子を観察する。その際、落葉していたら、図中の印を塗りつぶす（落葉広葉樹：●、落葉針葉樹：▲、草本類：■）。

〔観察ポイント〕休眠芽の様子、種子の形（風散布型／動物散布型／重力散布型）、地表の明るさ、地表の湿度

【結果】（→ P. 59～61）

【考察】

①常緑樹が冬季をしのぐ仕組みを挙げよ。

広葉樹では、葉の表面にクチクラを形成して、冷気や乾燥から葉を守っている。

針葉樹では、葉を細くして表面積を少なくして、冷気や乾燥から葉を守っている。 など

②落葉樹が冬季に落葉する意義を挙げよ。

表面積を減らして、冷気や乾燥から葉を守っている。 など

③草本類の冬季の形態・生活様式を挙げよ。

枯れて種子で越冬する（一年生草本）。／地上部を枯らして地中部（根・地下茎）だけで越冬する。／根生葉が地表にへばりついて越冬する（ロゼット型）。／地表の明るい晩秋から早春に葉を広げて光合成する。 など

構内植生図

- ：常緑広葉樹
△：常緑針葉樹
□：常緑草本
- ：落葉広葉樹
▲：落葉針葉樹
■：落葉草本

観覧順序1

- 1 イチヨウ
2 シダレザクラ
3 カイツカイイブキ
4 トウカンツツジ
5 シラカシ
6 スダジイ
7 コノチガシワ
8 ササノカ
9 クロマツ
10 トチノキ
11 バシヨウ
12 ムクロシ
13 キンモクセイ
14 ホオノキ

観覧順序2

- 15 ハクチョウゲ
16 ヒイラギ
17 エンジュ
18 ツバキ

観覧順序3

- 19 サワラ
20 ソメイヨシノ
21 ハナモモ

観覧順序4

- 31 ヒメライラック
32 ビラカンサ
33 サツキ
34 フジ
35 コナラ
36 ヤマボウシ
37 タノキ
38 シデコブシ
39 シラカバ
40 ハウチワカエデ
41 ヤツデ
42 ハクモクレン
43 アオキ
44 アセビ
45 ムクゲ
46 シロロ
47 ユキヤナギ
48 シヤクナギ
49 シャリンバイ
50 オモイガワザクラ
51 サンシュユ
52 タイサンボク
53 クルメツツジ
54 ヒノキ
55 ヤエヤマブキ
56 シラハギ
57 ミヤギノハギ

観覧順序5

- 58 サカキ
59 シチダンカ
60 キンシバイ

観覧順序6

- 61 ノウゼンカズラ
62 クレマチス
63 キミガヨラン
64 オオムラサキ
65 アオキ
66 ナツツバキ

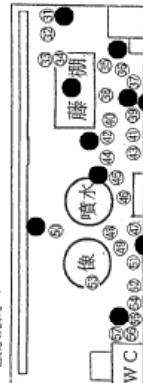
観覧順序7

- 97 コブシ
98 チリメンカエデ
99 ヒコクヒバ
100 ラカンマキ

観覧順序8

- 91 ジンチヨウゲ
92 キヨウチクツウ
93 ムラサキシキブ
94 チヤ
95 ミツバアケビ
96 トウカエデ

観覧順序9



観覧順序10

- 83 ナンテン
84 ウメモドキ
85 ガクアジサイ
86 チャボシバ
87 ヒイラキナンテン
88 ハリモミ
89 オオモミジ
90 ゲクケイジュ

観覧順序11

- 75 ヒムロ
76 コウヨウザン
77 ツタ
78 ケヤキ
79 サンゴジュ
80 カイノキ
81 サルスベリ
82 チャンチン

観覧順序12

- 69 カナメモチ
70 カヤ
71 オトメツバキ
72 キンギョバツバキ
73 タラヨウ
74 クチナシ

観覧順序13

- 67 イロハモミジ
68 モチノキ

観覧順序14

- 30 バラ

観覧順序15

- 24 ライラック
25 ヒマヤスギ
26 イヌツゲ
27 モツコク
28 ハイビヤクシン
29 ハナミズキ

観覧順序16

- 22 シダレモモ
23 クスノキ

<植生調査表>

番号	和名 科名・学名	分類	冬季	幹(茎)	葉	花	種子・果実	環境
10	トチノキ (栃、橡)	広葉樹	落葉	高さ25m、太さも1mを超えるものがない。	葉柄は長く、その先に倒卵形の小葉5～7枚を掌状につけ(掌状複葉)、全体の長さは50cmにもなる。	5～6月頃、一斉に葉の間から穂状の花序をつける。個々の花と花びらはさほど大きくないが、白～薄い紅色で雄しべが伸び、全体としてはぎやかで目立つ姿である。	9～10月に丸い果実が熟すと厚い果皮が割れて少数の種子を落とす。種子は大きさ、艶、形ともに、クリのどんがりになる。落下後、動物散布。	水気を好み、適度に湿気のある肥沃な土壌で育つ。山中では谷筋に良く見られる。
トチノキ科 <i>Aesculus hippocastanum</i> <i>turbinata</i>		栃木県の県木。近縁種でヨーロッパ産のセイヨウトチノキ (<i>Aesculus hippocastanum</i>) が、フランス語名「マロニエ : marronnier」としてよく知られている。巨木になるものが多いので、昔はくり抜いて臼を作るのにも使われた。デンプンやタンパク質を多く含有する種子は栃の実として渋抜きして食用になる。山村ではヒエやドングリと共に主食の大きな一角を成し、常食しない地域でも飢饉の際の食料(飢救作物)として重宝された。						
11	バショウ (芭蕉)	草本	温帯	高さは2～3mで、木部は未発達	1～1.5mで幅50cm程の大きな葉をつける。	夏から秋にかけて形成される。	種子が大きく多く、小さいバナナ状の果実も綿のようでタンニン分を多く含む種株もあるため、その多くは食用には不適である。	熱帯を中心に分布しているが耐寒性に富み、関東地方以南では露地植えも可能である。
バショウ科 <i>Musa basjoo</i>		琉球諸島では、昔から葉鞘の繊維で芭蕉布を織り、衣料などに利用していた。						
18	ツバキ (椿)	広葉樹	常緑	生長すると樹高15mほどになる。	光沢のある厚い葉をつける。	雄しべは筒状で、子房には毛がない。花卉が個々に散るのではなく萼と雌しべだけを木に残して丸ごと落ちる。	秋に油分を多く含む、2～3cm程の球形の実をつける。(種子から椿油をとる。)落下後、動物散布される。	耐陰性が強く、森林中の亜高木層を成す。
ツバキ科 <i>Camellia japonica</i>		和名は、厚葉樹(あつばき)、または艶葉樹(つやばき)が訛った物とされている。木質は固く緻密、かつ均質で木目は余り目立たない。摩耗に強くて摩り減らない等の特徴から工芸品、細工もの等に使われる。代表的な用途は印材や将棋の駒である。日本酒の醸造には木灰が必要で、ツバキの木灰が最高とされている。また、アルミニウムを多く含むことから古くは媒染剤にも用いられた。						

番号	和名 科名・学名	分類	冬季	幹(茎)	葉	花	種子・果実	環境
25	ヒマラヤスギ	針葉樹	常緑	成長すると、高さ20～30mの高木になる。	針のような形で2.5～5cm程の長さで、細長く厚さは1mm程である。	雄花の松かさは4～6cmで、秋に花粉を放出する。雌花の松かさは樽形で、7～13cmの長さで5～9cmの幅がある。	球果(松ぼっくり)は大きく、縦10cm、横8cmほどの大きさになる。成熟(12か月)すると崩壊し、翼状の種子を落とす。	日当たりの良い場所
マツ科 <i>Cedrus deodura</i>		明治初期に日本へ導入された。落下した球果の先端はバラの花のように美しく、ドライフラワーに利用される。校庭南東隅の6本は創立60周年記念樹である。						
39	シラカンバ (白樺)	広葉樹	落葉	樹皮が白く、薄く剥れる。20～30mになる。	三角形で、側脈が5～8対。早春に開葉し、秋に黄色く色づく。	花期は春で、雄花序は垂れ下がり、雌花序は短枝の先に直立する。自家不和合性が強く、遺伝子の多様性をもたせている。	風媒花で、翼のついた軽く小さな種子を大量に作る。風散布。	開けた明るい場所や倒木によるギャップ、山火事の跡などに定着する先駆種である。
カバノキ科 <i>Betula platyphylla</i>		幹に「へ」の字の形の落枝痕が目立つ。生長が速い代わりに、寿命が短く70年ほどであり、時間経過とともに遷移の段階で後期の樹種にとって代わられる。春、芽吹く頃、幹に傷を付けると、大量の樹液が吹き出す。これは、人工甘味料キシリトールの原料になる。						

<本校のシンボルツリー>

番号	和名 科名・学名	分類	冬季	幹(茎)	葉	花	種子	環境
23	クスノキ (樟、楠)	広葉樹	常緑	周囲10m以上の巨樹になる個体も珍しくない。	厚みとつやが有り、先の尖った楕円形。4月末から5月上旬にかけて大量に落葉する。	5～6月頃、淡黄緑色の小さな花が咲く。	鳥散布	日当たりの良い場所
クスノキ科 <i>Cinnamomum camphora</i>		各部全体から樟脳の香りがする。樟脳とはクスノキの枝葉を蒸留して得られる無色透明の固体のことで、防虫剤や医薬品等に使用される。カンフル注射のカンフルはこの樟脳を指しており、“camphora”という種名にもなっている。「臭し(くすし)」あるいは「葉(樟脳)の木」が語源とする説もある。またそのことや防虫効果から元来虫除け(魔除け:アジア圏では古来から虫(蟲)は寄生虫や病原菌などの病魔を媒介すると考えられていた)に使われたくす玉(楠玉)の語源であるという説もある。虫害や腐敗に強いと、古来から船の材料として重宝されていた。「トトロの木」						
エピソード		樹齢は100年近いと思われる。本校校舎からの遠望が野菜のパセリに似ているところから、いつからか「パセリの木」と呼ばれ、昭和54年度学校祭を「葉聖里祭」と名付けて以来、本校のシンボルとして多くの先輩からも慕われてきた。						

陸上植物の多様性と分布

生物は、形態・食性・行動様式などが生息する環境に適応している。そのため、環境の異なる地域には構成種の異なる生物集団が生息し、それらの生物集団を〔 **バイオーム** 〕（生物群系）という。

陸上では、主に生産者である植物が光合成によって有機物を作り、消費者である動物などがこの有機物を利用して生活している。また、植物は動物の生息場所となることも多い。従って、陸上のバイオームは植生の違いを基にして考えていくとよい。

Q1. 陸上の植物が生育するのに必要な主な環境要因として、どのようなものが考えられるだろうか。

A1. (1) **光**：光合成の反応に用いられるエネルギー

→葉の細胞中の葉緑体で吸収される。

(2) **水**：光合成の反応に用いられる材料となる物質

→根の表皮細胞で吸収され、道管を通じて葉へ送られる。

(3) **温度**：光合成の反応では酵素の働きが必要であり、その反応速度は温度に影響される。

→植物体の表面で受容される。

(4) **炭素成分**（大気中の二酸化炭素）：光合成の反応に用いられる材料となる物質

→葉の気孔から入り、葉肉細胞（柵状組織・海綿状組織）で吸収される。

(5) **窒素成分**（土壌中の肥料＝アンモニウムイオン、硝酸イオンなど）：核酸（DNA・RNA）

やタンパク質、ATP などに含まれ、それらの合成（窒素同化）に用いられるアミノ酸の材料となる物質。光合成の反応に必要な酵素（ルビスコ：RuBP carboxylase など）はタンパク質を主成分とし、光合成能力は葉の窒素含量に比例する。

→根の表皮細胞で水とともに吸収され、道管を通じて葉へ送られる。

これらのうち、不十分なもの（限定要因）があると生育に影響を及ぼす。その地域の環境要因に適応した形質・植生が形成されると考えられる。

ここで、生物と環境の間の相互作用を考える生態学（ecology*）を扱うために、経済学（economics／経済 economy：社会が生産活動を調整するシステム）の考え方を見てみよう。

（生態学の名そのものは、ドイツのヘッケル E. H. P. A. Haeckel が1866年に手紙の中で使用した Ökologie が最初であるとされる。これは、自然界の生物の生存のための活動を、古代ギリシアの市民の家政機関であるオイコスにたとえて、オイコスを成立させる論理を究明する学問を意味する。この点で、生態学は同じオイコスを語源とする経済学との共通性も大きい。）

*広義には生態学的な知見を反映しようとする文化的・社会的・経済的な思想や活動の一部または全部を指す言葉として使われる。（Ecology movement や Political ecology などに相当する。）

コスト-ベネフィット：生産活動に必要なとなる資源・エネルギー（cost：原価）を投資（investment）する量と、生産活動によって獲得する資源・エネルギー（benefit：利益）量のこと。活動を維持・継続するためには、設置費用・導入費用（initial cost）と運用費用（running cost）を合わせた総費用（total cost）が、獲得する利益を下回らなくてはならない。

＜生物での例＞ **コスト**：植物が成長するために消費するエネルギー

ベネフィット：植物が光合成で獲得するエネルギー

メリット-デメリット：そのものが併せてもつ価値（merit）と欠点（demerit）のこと。

＜生物での例＞

- ・樹高（草丈）について：メリット＝茎を高く生長させることで、他の個体より光を多く受けて光合成量を増やせる。／デメリット＝背の高い個体は、強風を受けて倒れやすい。
- ・種子の重さについて：メリット＝種子を軽く小さくした方が、散布する際、遠くへ行きやすいために繁殖域が広がる。／デメリット＝軽く小さい種子は、栄養分が少なく、生存率（成長度）が小さい。

トレードオフ trade-off：一方を追求すれば他方を犠牲にせざるを得ないという二律背反の状態・関係のこと。これがある状況では、具体的な選択肢の長所（merit）と短所（demerit）をすべて考慮したうえで決定を行うことが求められる。

＜生物での例＞植物が種子を作る場合、数が多い方が子孫を残す確率が大いと考えられる。

他方で、種子は大きい方が生存率（成長度）は大きくなると考えられる。しかし、利用できるエネルギーには限りがある以上、種子を大きくすれば数を多くするのは困難になる。

「その環境下で結果として得られる子の数が最大になるように種子の大きさと数が決められる」というような考えをとることを最適化モデルという。また、繁殖戦略における一つの考え方として、数を犠牲にして大きい種子を作って生存率を上げる戦略と、小さくても多数の種子を作って生き残りを図る戦略の二つの方向が存在するという説がある。

植物の環境要因に対する戦略を考えてみよう。

温暖で水分に不足しない環境が樹木にとっては理想的であり、年間を通じてこの条件が保たれていればそこには（**常緑樹林**：evergreen forest）が成立する。一方この条件が保てない時期が存在する場合、樹木はこれに対応しなければならなくなる。このとき、もっとも問題になるのが（**葉**）をどうするかである。葉は、樹木にとっては光合成を行うことで栄養を作る大切な部分であり、長持ちさせたい。しかし、葉は薄くて突出しており、乾燥や冷気に弱い構造でもある。

乾季や冬季がそれほどひどくなければ、樹木は葉を捨てずに切り抜ける。その代わりに、葉を小さく厚く、クチクラ層を発達させるなど、乾燥や冷気に耐久性をもたせる。

しかし、それでも耐えられない程度の地域では、樹木は厳しい時期に葉を捨て、好適な期間だけ葉を広げた方が有利である。このような戦略をとる樹木を（**落葉樹**：deciduous trees）という。この戦略では、毎年葉を作っては捨てるために、一定の資源の消費を負担しなければならない。その代わり、条件のよい時期だけ葉を持てばよいので、葉は薄くてやや広いものが作れる。

つまり樹木は、乾季や冬季といった葉の維持が困難な時期に一旦は葉を捨てて好適な時期に改めて葉を生産するか、葉を維持することで新しい葉を作るコストを省くかを、適応戦略として選んでいると見ることができる。

Q2. A1.のそれぞれの限定要因は、植物の形質・植生にどのような影響を及ぼすか（自然選択によってどのような性質（生理・形態）が残ってくるか）を考えてみよう。

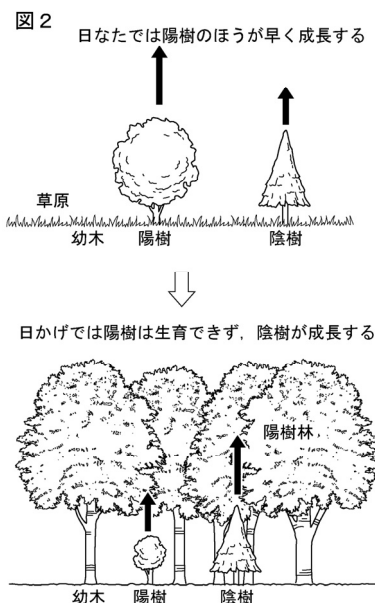
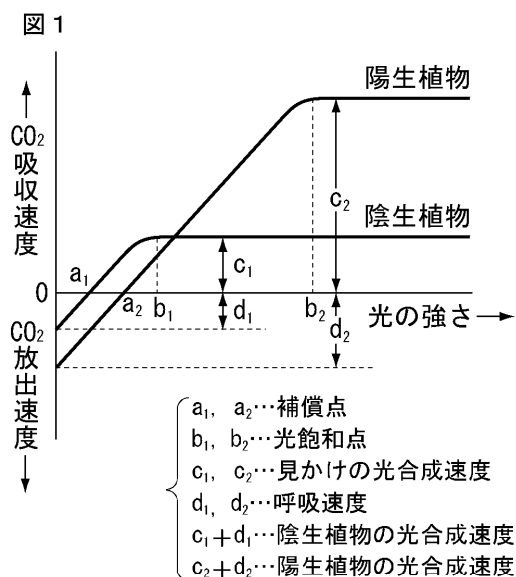
（1）光の強さ

①個体内での光の当たり方の違いについて

強い光の当たる所には、柵状組織を発達させた厚い陽葉が形成されるが、弱い光が当たるところには、薄くて広い陰葉が形成される。

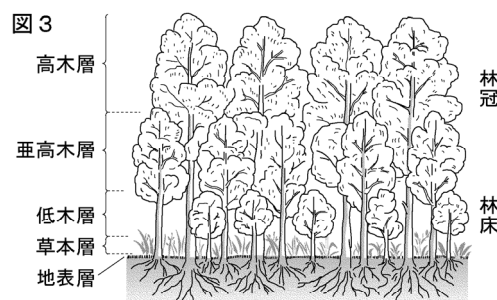
②種間の成長度の違いについて

日なたの光の強い所では、光合成速度が大きい陽生植物（陽樹）が、陰生植物（陰樹）より早く生育する。一方、弱い光の下では、呼吸速度が小さく、光補償点も低い陰生植物（陰樹）が生育できる（→図1、2）。



③群落内での光の強さの違いについて

森林の場合、空間的な住み分けによる階層構造が形成される（→図3）。林床部は光が弱いため、低木層や草本層、地表層は光合成速度・呼吸速度の小さな陰生植物であることが多い。



④季節性での違いについて

落葉樹林において、春から初夏の、葉が出ていないか、あるいはまだ十分に広がっていない期間は林床にかなりの光が入る。これを利用して、春に花を咲かせ、夏まで葉を広げ、あとは地下で過ごす植物（スプリング・エフェメラル Spring ephemeral = 春の儚い命・妖精）がある。
（例：カタクリ、イチリンソウ、フクジュソウ、セツブンソウなど）

（2）降水量

①年間量の違いについて

図4は、年平均気温・年降水量と陸上の主なバイオームとの関係を示したものである。

また、シンガポールの周辺には樹種がきわめて多い熱帯多雨林、カル Катタ（インド）の周辺にはイネ科草本類を主体としたサバナ、カイロ（エジプト）の周辺には砂漠が形成されており、次の図5・6・7は各都市の雨温図である。降水量と植生の関係を考察してみよう。

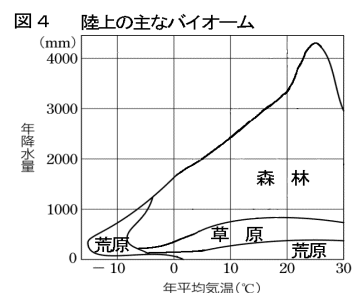


図5 熱帯雨林気候

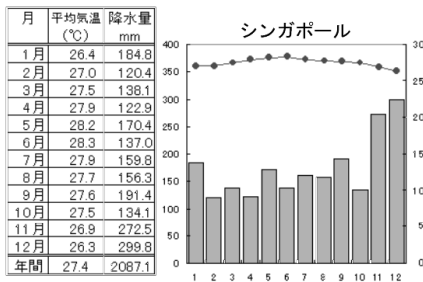


図6 サバナ気候

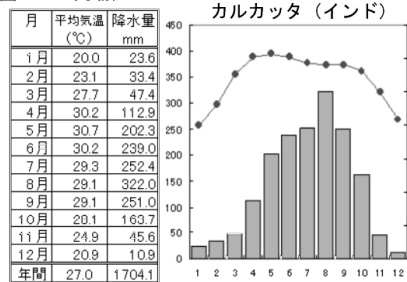
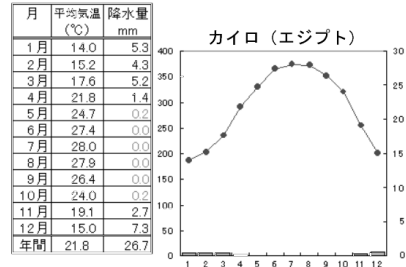


図7 砂漠気候



シンガポールは年間を通して高温で、降水量も多いので、熱帯多雨林が分布する。降水量が十分な場合、太い根を持つ木本類（森林）も生育できるが、カルカッタのように降水量が少ない期間が長い（11月～3月）場合、*細くて表面積の割合が大きい根をもつ草本類でないと生育できない。（→サバナ（熱帯草原）・ステップ（温帯草原））
降水量が極度に少ない場合は、気温に関係なく植生の少ない乾地荒原（砂漠）となる。

*体積は長さの3乗に比例し、表面積は長さの2乗に比例することから、大きなものほどその表面積の割合は小さくなる。

②季節性での違いについて

ローマ（イタリア）の周辺にはコルクガシ・オリーブ・ゲッケイジュなどを主体とした硬葉樹林、マナウス（ブラジル）の周辺には雨緑樹林が形成されている。下の図8・9は、各都市の雨温図である。降水量と植生の関係を考察してみよう。

図8 地中海性気候

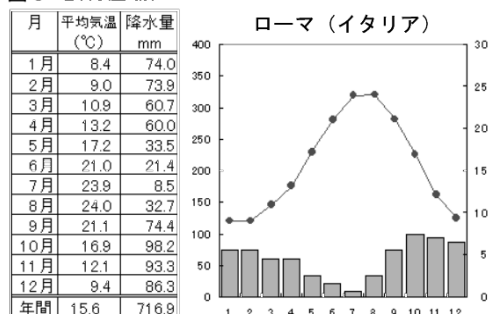
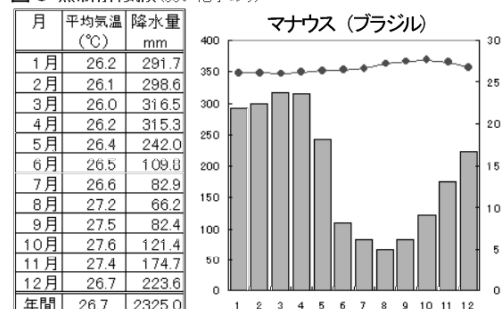


図9 熱帯雨林気候（弱い乾季あり）



降水量が減少する期間は生育が妨げられるため、個体内の水分の損失を防ぐ形質が発達する。
ローマでは夏季に乾燥するため、クチクラ層を発達させて乾燥を防ぐ硬葉樹が広がる。（落葉して新たな葉を形成するコストは、冬季の光合成では取り返せない。）
マナウスは、年間を通して高温だが、降水量が極端に多い雨季と少ない乾季がある。乾季は、蒸散で水分を失いやすいため、乾季に葉を落とす雨緑樹が広がる。（新たな葉を形成するコストより大きな利益が雨季の光合成で得られる。）

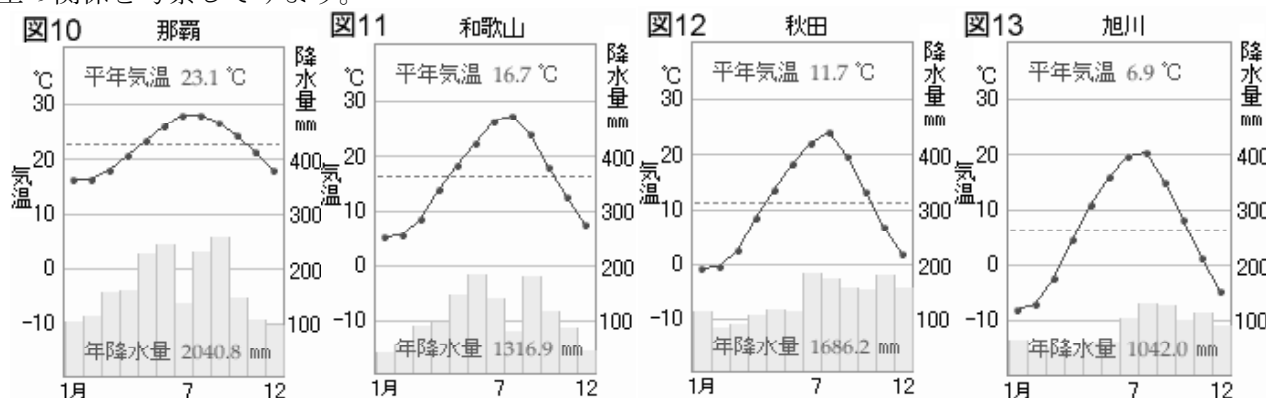
（3）温度

①日本のバイオームについて

日本は南北に長く、暖かさの指数は南から北へと減少するので、緯度によるバイオームの移り変わりを見ることができる。

那覇の周辺にはアコウ・ガジュマルなどの亜熱帯多雨林、和歌山の周辺にはスダジイ・タブノキな

どの照葉樹林、秋田の周辺にはブナ・ミズナラなどの夏緑樹林、旭川の周辺にはエゾマツ・トドマツなどの針葉樹林が形成されている。下の図10・11・12・13は、各都市の雨温図である。気温変化と植生の関係を考察してみよう。



年間を通じて光合成できる条件が保たれていれば、その地域には常緑樹林が成立する（熱帯多雨林・亜熱帯多雨林）。しかし、光合成速度の低下する低温期間の長さの違いで、生育できる植生が異なる。低温期間が短ければ、葉を小さく厚くし、クチクラ層を発達させて乗り切る（照葉樹林）。やや長期にわたるところでは、樹木は低温期に葉を捨て（落葉）、好適な期間だけ葉を広げる（夏緑樹林）。

さらに低温が長期にわたるところでは、新たな葉を形成するコストを夏季に取り返せないで、落葉せず、より耐寒性に優れている小さく厚い葉をもつ（針葉樹）。

②高緯度地方のバイオームについて

モスクワ（ロシア共和国）の周辺にはモミ・トウヒなどの常緑針葉樹林、シベリア中央部のエニセイ川東側ではカラマツ属の落葉針葉樹、シベリア北部の北極圏やバロー（アメリカ合衆国アラスカ州最北部）の周辺には

コケ植物や地衣類が主体のツンドラが形成されている。右の図14・15は、各都市の雨温図である。気温変化と植生の関係を考察してみよう。

図14 亜寒帯(冷帯)湿潤気候

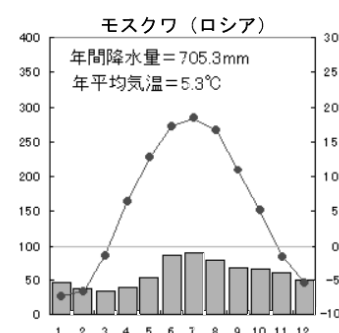
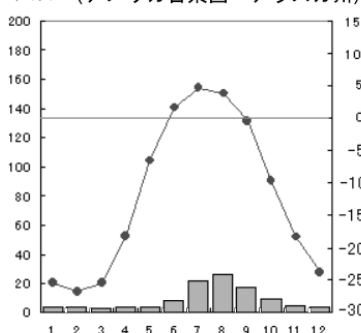


図15 ツンドラ気候

* 気温0℃を図14とそろえて表示

月	平均気温 (°C)	降水量 mm
1月	-25.4	3.1
2月	-26.7	3.1
3月	-25.4	2.4
4月	-18.1	3.1
5月	-6.6	3.2
6月	1.7	8.0
7月	4.7	22.2
8月	3.8	26.4
9月	-0.4	17.5
10月	-9.7	10.0
11月	-18.3	4.1
12月	-23.7	3.2
年間	-12.0	106.3

バロー(アメリカ合衆国・アラスカ州)



モスクワは降水量が少なく寒冷期間も長いため、落葉広葉樹は新たな葉を形成するコストを夏季に取り返せないために生育できない。耐寒性の優れた針状の葉をもつ常緑針葉樹林が成立する。

常緑針葉樹林よりさらに寒い地域には、寒冷対応として落葉する針葉樹種（カラマツなど）が生育できる。落葉針葉樹林は、その面積は小さく、それより寒い地域では森林そのものが成立しなくなる、いわゆる森林限界となる。シベリア北部の北極圏やバローでは、低温で植物の生長可能期間が短いため樹木が生長できず、短い夏に永久凍土の表面付近の土壌が溶け、コケ植物、地衣類や草本類などが生育できる。

③日変化について

高温・乾燥で昼夜の温度差が大きい環境では、昼間の脱水を防ぐために気孔を閉じ、夜間に気孔を開けて二酸化炭素を取り込む種類（CAM 植物：ベンケイソウ型有機酸合成 *Crassulacean Acid Metabolism*）が生息している。

（例：サボテン科、ベンケイソウ科カネノナルキ、カランコエなど、トウダイグサ科）

（４）炭素成分（二酸化炭素）について

現在の大気中の二酸化炭素濃度は約0.04%（389ppm [2010年世界平均]）で、温暖地の光合成速度では十分な濃度である。二酸化炭素の吸収量は、葉の気孔の開閉度で左右され、これは体内の水分量とリンクしている。

高温地では、植物体内で二酸化炭素を濃縮して光合成速度をさらに大きくする仕組みをもつ種類（ C_4 植物：維管束鞘細胞にも発達した葉緑体が存在し、ハッチ-スラック回路をもつ C_4 型光合成を行う。）が生息している（例：トウモロコシ、サトウキビ、ススキなど）。

（５）窒素成分（アンモニウムイオン NH_4^+ 、硝酸イオン NO_3^- など）

①土壤中の肥料成分が不足しているやせた土地（岩石・火山灰地など）について

窒素成分を吸収する根の表面積の割合が大きな草本類が生育できる。（ただし、微生物の攻撃を受けやすく、短命である。〔トレードオフ〕）〔→一次遷移〕

木本類は太い根を形成するため、表面積の割合が小さく、窒素成分の吸収度が小さいため、最大光合成速度も小さくなり、生育しにくい。

②窒素固定について

クロストリジウム（嫌気性細菌）やアゾトバクター（好気性細菌）、マメ科植物の根に共生する根粒菌などは、大気中の窒素（ N_2 ）を取り込んでアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）に換えている〔窒素固定〕。ただし、窒素固定には多大なエネルギーが必要であるため、貧栄養下や一次遷移の初期で有利である。

【発展】ヤシャブシ：大気から窒素固定を行う放線菌を共生しているため、貧栄養の砂礫地に生育している。本種は、晩秋に葉から窒素成分を回収せず（紅葉しない）、初冬にかけて光合成を行う。気温が氷点下になると壊死して落葉する。（温暖地は落葉せずに3月頃に新芽と入れ替わる。）

【まとめ】

世界のバイオームについて

年平均気温・年降水量とバイオームとの関係をグラフに表す。横軸に年平均気温、縦軸に年降水量をとると、上記Q2(2)で考察した内容は、図16中の(2)のように、縦に見ることができる(→図17)。また、上記Q2(3)で考察した内容は、図14中の(3)のように、横に見ることができる(→図18)。

図16

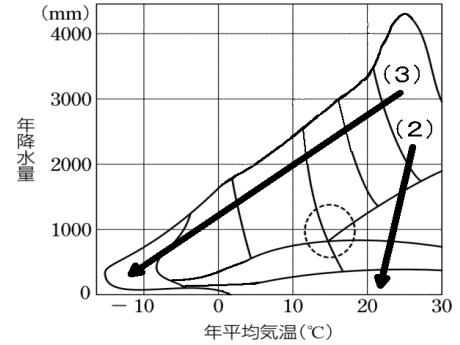


図17

(2) 年降水量とバイオームとの関係

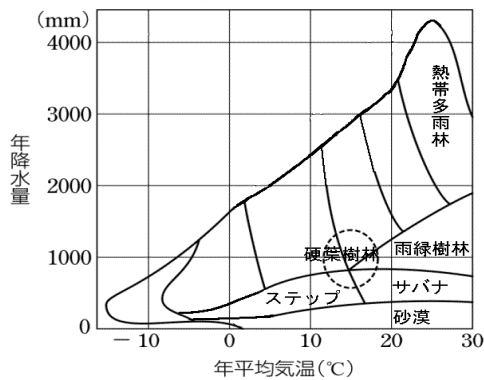
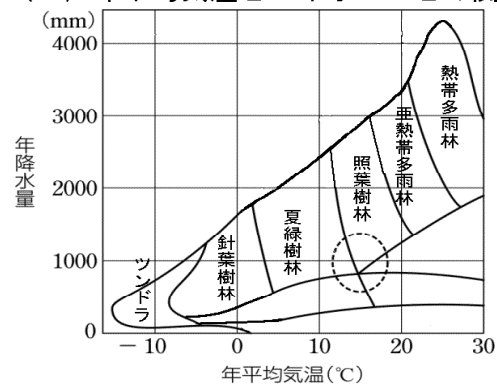


図18

(3) 年平均気温とバイオームとの関係



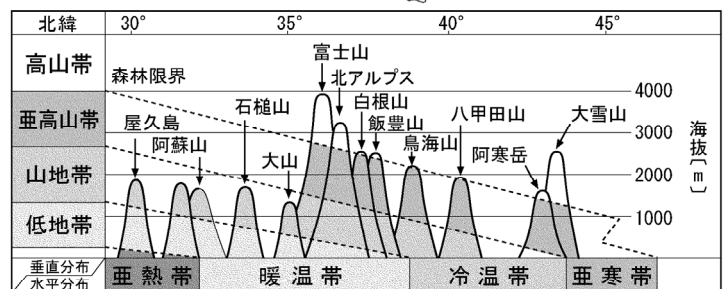
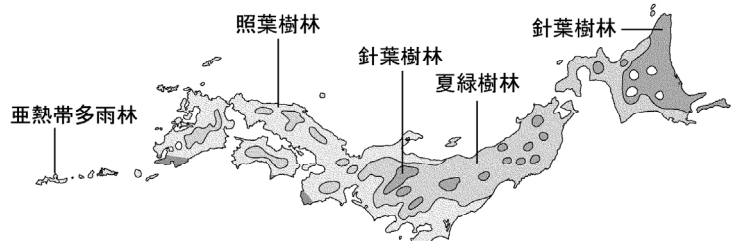
日本のバイオームについて

日本はほぼ全域にわたって降水量が豊かであり、森林が形成される条件を備えている。そのため、気温の違いがバイオームの違いとなる。

緯度と標高の違いにより気候が変化することが分布の違いに結び付く。具体的には、陸上では水平には極側、垂直には標高の高い側でより寒冷になるから、気候に結び付いてはっきりした帯状分布があり、水平分布と垂直分布はよく似た変化を示す(→図19)。

図19

〈水平分布と垂直分布〉

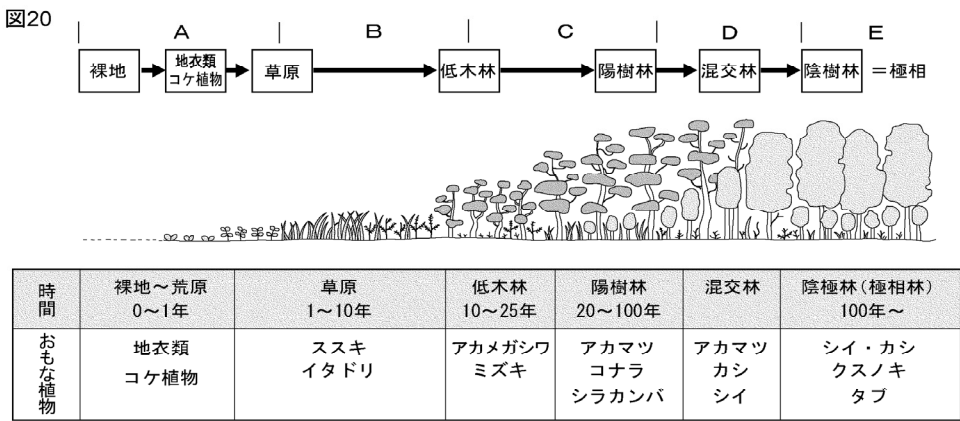


Q3. 日本の主な植物群系について調べ、次の表にまとめよう。

	亜熱帯多雨林	照葉樹林	夏緑樹林	針葉樹林
代表種	アコウ、ガジュマル 木生シダ、ソテツ、 ビロウ	シイ、カシ、ツバキ、 クスノキ、タブノキ	ミズナラ、ブナ、カエ デ、ケヤキ、クリ、	トウヒ、シラビソ、 エゾマツ、トドマツ 日本海側；スギ・ヒ ノキアスナロ(ヒバ)
特徴	熱帯雨林に比べ て、高木層の発達が やや悪く、着生植物 や蔓植物が少ない。 他の群系より種の 多様性が見られる。	葉の表面に厚いクチ クラをもつ常緑広葉樹 (遷移後期種)が主な 樹種である。	落葉広葉樹(先駆種) が優先する。	太平洋側；モミ・ツ ガ・ヒノキ 種数は少なく、純 林を形成することが 多い。
気候区分	亜熱帯	暖温帯	冷温帯	亜寒帯
垂直分布	南西諸島平野部	暖温帯低地帯	暖温帯山地帯～ 冷温帯低地帯	亜高山帯～ 亜寒帯低地帯
冬季	常緑	常緑	落葉	常緑
吸水	道管(被子植物)	道管(被子植物)	道管(被子植物)	仮道管(裸子植物)
コスト	○幹を高く生長させ る。	○葉を厚くする。	○落葉による物質損失 を補うための生長。	○低温・乾燥に耐え る葉を形成する。
ベネフィ ット	○強い光を受けて、 光合成を盛んに行え る。	○強い光を受けて、光 合成を盛んに行える。 ○乾燥・弱い寒冷に適 応している。	○好適期のみ薄い葉を 形成する。 ○秋に窒素成分などを 回収して再利用する。	○葉をある程度更新 せず、長期間光合成 し続けられる。
メリット	○幹の材密度を小さ くして成長度を大き くできる。(例：バル サ)	○厚い葉：物理的スト レス(強風など)や被 食に強く、繰り返し使 用できる。 ○落葉樹の林床で弱光 下でも晩秋や早春に成 長でき、ゆっくり落葉 樹を追い越す。 ○道管：多量の水を供 給でき、光合成量大。 (降水量の半分は蒸散 させている。)	○薄い葉：少ないエネ ルギーで形成でき、夏 季の純生産量が大き く、成長度大。また、 弱光下でも光合成量が 大きく有利である。 ○ギャップ更新では落 葉樹(陽樹)の方が成 長度は大い。 ○幹の材密度を小さく して成長度大(例：キ リ、サクラ、ヤナギ)	○仮道管は、凍結し ても気泡が入りにく く、入っても水柱に 混入しにくい。(寒 冷地適応) ○針葉：葉を立てて 単位面積当たり多く の葉をつけ、純生産 量上げる。
デメリッ ット	○幹の材密度が小さ く、強風などで折れ やすい。	○道管：氷点下で道管内の水分が凍結し、気 泡が発生(エンボリズム)すると、融解後も 残って吸水を阻害し、葉が脱水状態になる。 ○厚い葉：形成にエネ ルギーを要する。	○薄い葉：物理的スト レス(強風など)や被 食に弱く、短命である。	○仮道管：水を通し にくく、成長度は小 さい。 ○針葉：光合成速度 が小さい。
トレード オフ	○幹：高い成長速度 ／材の密度小、菌の 攻撃に弱い	○道管：夏の高い成長 速度／寒冷地での生存	○葉：低コスト長寿命 ○材密度小で成長大 ／菌の攻撃に弱く短命	○仮道管：夏の遅い 成長速度／寒冷地で の生存

Q4. 植物群落の時間的な変化（遷移）について考えてみよう。

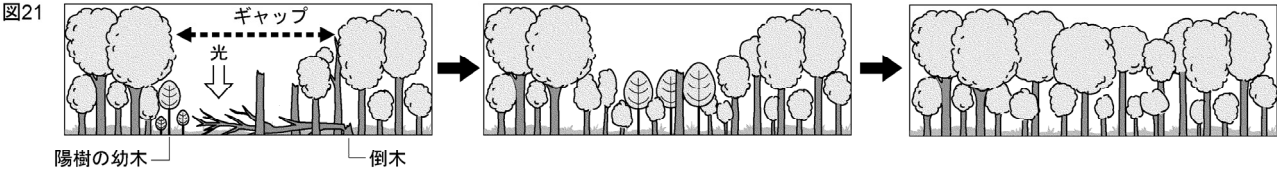
植物群落と環境は相互作用により変化しながら維持されている。図20は、暖温帯において裸地からの植生の変化（一次遷移）の様子をまとめたものである。A～Eの各時期の特徴をまとめた次の表の空欄に適する記述を入れよう。



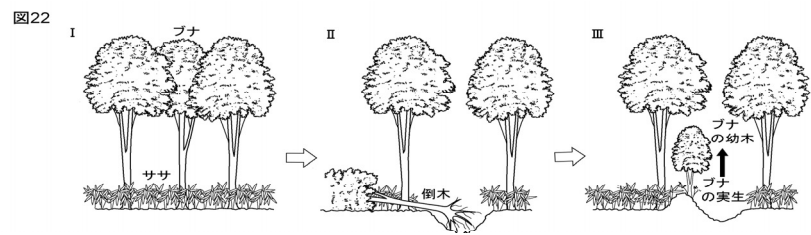
植物群落の一次遷移（暖温帯）

	A	B	C	D	E
(1) 光の強さ	直射日光が当たる。	光をめぐる生長度の差が現れる。	林床がやや暗くなる。	先駆樹種の芽生えは生育できなくなる。	林床がうっそうと暗くなる。
(2) 地表の水分	乾燥しやすい。	保水性が高まる			湿潤になる。
(3) 地表の温度	高温で、変化が激しい。				穏やかで安定している。
(5) 土壌	岩石の風化により、砂礫が形成される。	落葉・落枝が蓄積し、有機物を含んだ土壌が形成される。	土壌微生物による有機物分解量がさらに増加する。	腐植層が発達する。	
植生の変化	生活環が短いコケ類や地衣類、乾燥に強い草本類（先駆植物）がパッチ状に広がる。	草原の中に、生育の早い陽樹（先駆樹種）が広がり、低木林が形成されている。	陽樹が生育して高木林を形成する。	陽樹の高木の下で陰樹（極相樹種）の幼木が生長している。	陰樹（極相樹種）だけでなく、多くの樹種がモザイク状に混じるようにして維持されている。
個体の高さ	低い	高層化			高層で安定
階層構造	1層	多層化			複数層で安定
種子の形態	風散布型	動物散布型・重力散布型			

＊ギャップ更新



【考察】図22は、あるブナ林での変化を示したものである。Ⅰの状態の時期にブナの幼木が生育しなかった理由を記述せよ。



A. ササの下に落ちたブナの種子が発芽しても、林床には補償点以上の強さの光が当たっておらず、生長できなかったと考えられる。

→ブナの幼木は比較的耐陰性が強く、林床に実生の集団を作り、頭上の木が倒れて周囲が明るくなるのを一定期間待つことができる。ただし、林床にササが生い茂っていると、ブナの幼木は育たない。更新されないと、ブナが落葉して林床の明るくなる晩秋や早春に、常緑陰樹（針葉樹）の実生が光合成して成長していき、混合林になっていくと考えられる。

（日本海側；スギ・ヒノキアスナロ（ヒバ） 太平洋側；モミ・ツガ・ヒノキなど）

〔参考〕白神山地：青森県の南西部から秋田県北西部にかけて広がる山地で、人の手が加えられていないブナの原生林からなる地域である。クマゲラ、イヌワシ、クマタカ、シノリガモ、カモシカ、ニホンザル、ヤマネ、ツキノワグマなどが生息する。1993年、日本で最初にユネスコ世界自然遺産に登録された。

最近発見された17世紀の白神山地の植生図によると、ヒノキアスナロ（ヒバ）が生育していたようである。江戸時代（当時の人口約3000万人）、年貢などのため、高級材のヒノキアスナロが伐採されたことにより、現在のような植生になったと考えられる。柔らかく反り曲がったブナ（漢字は「櫛（木に無）」）の木は従来、椎茸栽培以外にはあまり役に立たない木であったために、「木材としては用を無さない」として伐採を免れたと言えるだろう。

◇平成23年度高等学校における教科指導の充実 研究協力委員・研究委員
(理科〔生物領域〕)

研究協力委員

栃木県立佐野女子高等学校

栃木県立佐野東高等学校

教 諭 坂井 広人

研究委員

栃木県総合教育センター 研究調査部 指導主事 滝田 博之

高等学校における教科指導の充実
理 科 《生物領域》
「生物基礎」指導資料集

発 行 平成24年3月
栃木県総合教育センター 研究調査部
〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070
TEL 028-665-7204 FAX 028-665-7303
URL <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>