

生物

山形県立長井高校 熊坂 克 まこと

リアルな経験こそが主体的な思考を生み、 生物の共通性や構造の理解につながる

私が考える中核的な概念

生物を理解するための概念は「多様性と共通性、構造と機能」



くまさか・まさひろ
同校に赴任して4年目。探究推進課長。理科（生物）。

学校概要

- ◎ 設立 1920（大正9）年
- ◎ 形態 全日制／普通科（一般コース、探究コース）／共学
- ◎ 生徒数 1学年約160人
- ◎ 2024年度卒業生進路実績 国公立大は、北海道教育大、岩手大、山形大、福島大、東京学芸大、金沢大、山形県立保健医療大などに65人が合格。私立大は、東北学院大、東北公益文科大、駒澤大、中央大、東海大、日本大、法政大、明治大、早稲田などに延べ193人が合格。

生物学における中核的な概念は「多様性と共通性」だと、私は考えています。生物は驚くほど多様ですが、すべての生物は細胞を基本単位とし、外界と内界を隔てる細胞膜があり、遺伝子の複製によって子孫を残すという共通の性質を持っています。多様性と共通性は生物の普遍性であり、その概念を持つことで、たとえ未知の生物に出合ったとしても、その生命現象の背景にある仕組みを深く理解することが可能になります。

「構造と機能」も生物の中核的な概念だと、私は考えています。分子レベルでのフィードバック作用や細胞レベルでのホメオスタシス（恒常性）といった個体内の仕組みにとどまらず、自然界におい

る生物とそれを取り巻く環境との相互作用である生態系も1つのシステムと言えます。構造と機能は生物のあらゆる階層に貫かれているのです。

授業デザインの観点・工夫

経験と情動を伴う実験だからこそ、予想と異なる結果への考察が深まる

生徒が生物の中核的な概念を深く理解できるように、私が何よりも重視しているのが実験です。昨今、教科書が厚くなり、授業進度の確保も容易ではありませんが、内容を精選することで実験の時間を優先的に確保しています。

実験は実験者の手技や環境要因によって結果にばらつきが生じるため、予想通りの結果にならないことがよくあります。ただ、その失敗こそが重要で、生徒は悔しさから、うまくいかなかった要因

を主体的に追究していきます。その過程で、新たな知識を獲得し、思考を深めていき、それが中核的な概念の理解につながるからです。

実験を通じて、普段は目には見えない生命現象を具体的にイメージすることも実験の利点です。例えば、大腸菌を培養すると1日でプレートいっぱいが増殖しますが、それも生徒は実験で初めて目にします。教科書に書かれていない生命現象を実際に見ることによって好奇心が刺激され、自ら疑問を追究するようになっていきます。

実験は時間がかかり、失敗によって問いと答えまでの距離が長くなりますが、経験と情動を伴って獲得した知識・技能や深めた考えは定着しやすく、それが中核的な概念の理解を深めていきます。さらに、実験と演習を往還すれば、生物の本質的な理解がより確かなものになり、結果的に効率よく、効果的に資質・能力

お勧めの分掌

管理職

教務担当

進路担当

担任

「中核的な概念」の理解が深まる 授業デザイン

単元の概要

【対象】 2・3年生（同一学年に対する2か年継続カリキュラム） 【教科・科目】 理科・生物

【単元】 遺伝子組換え実験

【単元目標】 遺伝子組換え（2年次）、及び遺伝子解析（3年次）の一連の実験を通して、遺伝情報の普遍性と操作可能性を理解する。習得した知識・技能を活用して、実験結果を論理的に予測・考察する探究的な態度を身につける。

●本単元で理解してほしい中核的な概念 遺伝情報の普遍性と、その操作による形質の制御（生物種が異なってもDNAの仕組みは共通であり、それを操作・分析することで生命現象を理解・活用できる）

●中核的な概念の理解を通して育成したい資質・能力 【知識・技能】 マイクロピペットなどの専門機器を自在に扱い、分子レベルの操作を正確に行う高度な実験技能 【思考・判断・表現】 DNA配列データと制限酵素の特性から、実験結果（バンドパターン）を論理的に予測し、実証する力 【主体的に学習に取り組む態度】 実験の失敗や誤差に対し、その原因を科学的な根拠に基づいて粘り強く究明しようとする研究者的な態度

■2年次（2024年度）：基礎・概念構築

| 時数 | 学習目標 | 授業内容 |
|----|---|---|
| 1 | 【導入・技能】 微量な液体を扱う重要性を理解し、基本操作を習得する。 | マイクロピペット操作と実験の基礎 • μL単位の溶液を正確に扱う技能を習得する。• 実験精度の重要性を学ぶ。 |
| 2 | 【DNAの切断と結合】 制限酵素とリガーゼの働きを理解し、DNAを「切って」「つなぐ」操作の原理を学ぶ。 | プラスミドの切断と組換えDNAの作成 • 2種類のプラスミド(pKAN-R, pARA)を制限酵素(BamHI, HindIII)で切断する。• 切断したDNA断片をDNAリガーゼを用いて結合し、目的の組換えプラスミド(pARA-R)を作製する。 |
| 3 | 【確認】 電気泳動の原理を理解し、目に見えないDNA分子のサイズや形状を確認する方法を学ぶ。 | ゲル電気泳動によるDNAの確認 • 前時に作製したサンプルをアガロースゲルで電気泳動させる。• DNAマーカーと比較し、制限酵素による切断が正しく行われたか、目的の組換えプラスミドができていないかをバンドパターンから推測する。 |
| 4 | 【導入】 形質転換（トランスフォーメーション）の原理を理解し、外部DNAが大腸菌の形質を変える現象を体験する。 | 大腸菌へのプラスミド導入（形質転換） • 作製した組換えプラスミドを大腸菌に導入（ヒートショック法）する。• 抗生物質（アンピシリン）を含む培地プレートに塗布し、プラスミドを取り込んだ菌だけを選抜する準備を行う。 |
| 6 | 【精製】 タンパク質の性質を利用した分離・精製技術（クロマトグラフィー）を理解する。 | 目的タンパク質（RFP）の精製 • 赤くなった大腸菌からタンパク質を抽出し、カラムクロマトグラフィーを用いてRFPのみを分離・精製する。• 純度の高いタンパク質を得る喜びと、医薬品製造などへの応用を感嘆する。 |
| 7 | 【発展】 本単元の学びを統合し、バイオテクノロジー技術の社会的な意義や課題について考える。 | 全体の振り返りとキャリア教育 • 一連の実験を通して得られた「中核的な概念」（遺伝情報の普遍性と操作可能性）を再確認する。• それが医療や農業でどのように活用されているかを知り、将来のキャリアや倫理的課題について議論する。 |

■3年次（2025年度）：応用・探究（2年次の経験を基に、より高度な予測・考察を行う）

| 時数 | 学習目標 | 授業内容 |
|----|-----------------------------------|--|
| 8 | 【増幅】 PCR法の原理を理解し、微量DNAを増幅させる。 | PCR法によるDNA増幅 • 微量のDNAサンプルをPCR法を用いて増幅させる。• 温度変化によるDNA複製の仕組みを理解する。 |
| 9 | 【予測・切断】 塩基配列情報から実験結果を論理的に予測する。 | 制限酵素処理とバンドパターンの予測 • 2種類の制限酵素(EaeI, PstI)でDNAを切断する。• 【探究】 配布されたDNA配列データを読み解き、どこで切断され、どのような長さのバンドが現れるかを事前に計算・予測する。 |
| 11 | 【統合】 2年間の学びを総括し、科学技術の社会実装について考える。 | 全体の振り返りとキャリア教育 • 基礎（操作による形質転換）から応用（分析・予測）への学びのつながりを確認する。• バイオテクノロジーの社会における活用と倫理について議論する。 |

※学校資料を基に編集部で作成。

を高められるのです。そのような考えの下、遺伝子の単元では、2学年にわたる遺伝子組換え実験を実施しました。同単元の中核的な概念を「遺伝情報の普遍性と、その操作による形質の制御」と捉え、2年次（2024年度）は大腸菌を用いた形質転換と目的タンパク質の発現・精製に、3年次（25年度）は制限酵素断片長多型（RFLP）による遺伝子解析に取り組む実験を行いました。いずれも高校では用意しにくい機器や試薬を要しますが、東京大学大学院農学生命科学研究科が無償提供する「ABEプログラム（*）」によって実施することができました。

2年次の実験は、2種類のプラスミドを切断して結合させた遺伝子組換えプラスミドを大腸菌に導入して形質転換を行い、本来は蛍光を発しない大腸菌が新たな遺伝子を得て蛍光を発する形質を獲得したかどうかを観察しました（P.3写真）。結果は、蛍光を発するコロニーが全くないものからプレート全体が蛍光を発するものまで様々でした。「蛍光を発するもの」と結果を期待していた生徒は、なぜ失敗したのか、ピペティングの精度か、温度の影響かなどと要因を追究し、その過程で遺伝子の構造や機能への理解を深めていました。

そのように遺伝子の基礎概念を理解し

* アメリカの Education Development Center の指導と技術支援を受けて、アメリカのアムジェン財団が資金を提供する国際的なプログラム。日本では東京大学と連携し、全国の中学・高校に無償でプログラムを提供している。詳細は右記のウェブサイトを参照。https://amgenbiotechexperience.net/jp/ja

お勧めの分掌

管理職

教務担当

進路担当

担任



写真 2年次の実験での電気泳動の様子。この段階で獲得した操作技能や概念理解が、3年次の実験での制限酵素断片長多型 (RFLP) による遺伝子解析における論理的な予測・考察の土台となった。

た上で、3年次は、PCR法で増幅させたDNAを制限酵素処理で切断し、その制限酵素であれば論理上、切断される箇所を予測し、その通りに切断されているかを電気泳動によって出現したバンドを確認する実験を行いました。DNAが切断される箇所の予測は、増幅させたDNAの塩基配列情報(プリントに記載)と、制限酵素が切断する部位を見比べて行いました。ここでも機器の操作や温度管理などの影響によってDNAが理論通りに切断されていなかったり、切断されたDNAが短いためにバンドが現れなかったりしましたが、生徒は2年次の実験経験を生かして失敗の要因を論理的に考察し、遺伝子の概念の理解をより深めました。

実験では考察が重要になるため、実験は4人1組で行い、生徒間で対話することで、新たな気づきがあったり、知識が定着したりと、建設的相互作用が起きるようにしています。2年次は2コマ、3年次は1コマを考察の時間として確保しましたが、実験中も生徒間で常に意見を述べ合い、考察していました。なお、今回の実験は、2年次は夏季休業前の特別時間割中の2日間を使って、3年次は1学期の通常授業で行いました。2年次の実験はまとまった時間で行う必要があるため、授業進度や生徒の様子を勘案して設定しました。

成果と展望

経験が身体化され、科学的リテラシーを獲得

2年間にわたる継続的な実験の最大の成果は、生徒が科学的な根拠に基づいた論理的な分析をできるようになったことです。3年次の実験では、教師の指示がなくても、生徒は実験の手引きを熟読し、操作の一つひとつを慎重かつ丁寧に進めていきました。制限酵素の切断箇所をDNAの塩基配列情報から事前に計算した予測と実験結果とのズレについての考察では、論理的に知識を使いこなしていました。

た。生徒が書いた振り返りの内容も、3年次は失敗の要因を論理的に考察し、次の改善につなげる記述が見られました(図)。それらは、2年次の経験が身体化され、「どのように操作すべきか、どのような機能があるのか」といった概念が形成されていたからだと考えられます。昨今、バーチャル実験が費用や効率の面で有効な教材となっています。しかし、私は現実の実験にこだわりたいと思っています。誰が行っても同じ結果となるバーチャル実験とは異なり、現実の実験は手順通りに行っても、実験者や環境要因などによって結果に違いが生じます。その違いに向き合う過程こそが、中核的な概念の理解につながるからです。

また、実験では、微小なチップの先で遺伝子を扱っていることや、自分の操作が生命現象の書き換えに関与していることに、生徒は緊張感を覚えます。そうした身体感覚を通じて得られた学びは、抽象的な概念を「生きた知識」へと昇華させ、確かな知見として定着していきます。バイオテクノロジーは日々進歩しています。それらを科学的な視点で理解し、利益とリスクを捉える力は、経験や情動を伴う実験を通じて中核的な概念を深めるからこそ養われるものです。新技術を漫然とした不安で遠ざけるのではなく、科学的リテラシーを持って判断できる生徒の育成を目指し、私はこれからも実験を重視した授業を展開していきます。

図 実験の振り返り 生徒の記入例

| 2年次 | 3年次 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1つの列の一部を切り取り、くっつけて、全く違うものが生まれるのは面白かった。 マイクロピペットの操作を練習したが、本番ではやり直しになってしまった。自分たちが培養したのはピンクにならなかったの、どこで失敗したのかを明らかにしたい。 実験を通じて、自分の目でDNAを見たことで制限酵素の仕組みを理解できた。K⁻、K⁺などの「-」「+」は大きな意味を持つことも分かった。 遺伝子組換え技術で危険なウイルスがつくられる可能性がある。カルタヘナ法を順守して実験に臨まなければならないと思った。 | <ul style="list-style-type: none"> 塩基配列の異なる2種類のDNAを使ったことで、異なる電気泳動を見ることができた。DNAの切断箇所の予想は難しかったが、きちんと考えられた。 今回の実験を通じて、似たような遺伝子を見分ける方法として制限酵素を用いることや、そこから分かることを理解できた。 電気泳動の考察が大変だったが、制限酵素で切れる場所や各断片の長さを求める方法が分かった。 2年次よりDNAと制限酵素の知識があり、実験結果の分析が白熱し、みんなで考察を深めていく過程が楽しかった。 ゲルにPCRを入れる際、勢いよく入れて青色が薄くなってしまった。少しゆっくり入れるべきだった。 |

*学校資料を基に編集部で作成。

お勧めの分掌

管理職

教務担当

進路担当

担任