

[1] 研究目的

これまでに、化学物質の環境リスクの概念を簡便かつ体感的に修得できる環境教育教材の開発と教育実践を目的とし、平成28年度に採択された助成事業に基づき、ハツカダイコンを用いた種子の発芽実験とアルテミアを用いた動物卵の孵化実験教材を開発した。この教材を用いて、小学校5年生に対して環境問題について考察する児童実験を伴う授業を実施した。そこで、環境問題を知る上で必要な考え方である量的関連性を体感的に得させることができることを明らかにした。当該プロジェクト終了後も研究を重ね、国際的な環境評価試験法である藻類生長阻害試験法を確立し実施、開発した教材と比較検討を重ね、その科学的妥当性を得るとともに水環境中にしばしば検出される抗菌薬の毒性評価を行った(日本生物教育学会、日本科学教育学会で発表)。

一方で、児童・生徒・学生の受動的な学習態度が指摘されている。報告者は中等教育・高等教育現場で多くの授業を担当してきたが、生徒・学生の受動的な学習態度の傾向が強くなることを実感していた。その要因は多様と思われるが、教材に関して、既存の知識を定着させ試験の成績を向上させることが事実上の目標になる傾向が強く、生徒・学生の興味関心を引き出す要素が乏しいと考えられる。授業に積極的に取り組ませる一つの方法として、児童・生徒・学生の探究心を沸き立たせるような教材を利用することが好ましいと考えられている(市川伸一「学力低下問題と学習意欲」2002年)。さらに、自分自身の手で行った実験結果をまとめて結論を導くような教材は、思考力・問題解決能力を育ませやすいと考えられる。すなわち、我々が多くの教育上の課題を克服できるような環境教育教材を開発し、それを利用して教育実践を行うことは、環境問題を幅広く捉えるとともに、児童・生徒が自ら目的・意思を持って必要なことをとことん考察するような深い学習を行えるとともに、問題解決能力を身につけられるようになるモデルになると期待できる。

そこで、本研究では、先行研究の植物種子の環境影響実験を発展させ、植物培養細胞も利用して、化学物質として人類が生産し近年大量に利用されている医薬品である抗菌薬の環境影響を評価できる実験系を確立する。さらに、それを利用した環境科学に対して多角的に考察できる環境教育教材の開発と、実際に高等学校の授業で実践することを目的とした。ところが、本研究助成決定後の数ヶ月後から、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の全世界規模のパンデミックがおこり、研究活動、教育活動において、制約を受けることとなった。本研究助成申請時に計画していた公立の中等教育機関での教育実践が実施不可能となり、代替え実施校の模索等にも時間を要することになった。しかしながら、当初の目的に比較的近い形での教材開発、教育実践を行えることになった。

[2] 研究の内容・方法

2.1 概要

化学物質として抗菌薬(抗生物質)を選び、その環境影響を観察する環境教育教材を開発し、高等学校の探究科学(生物)の授業で実践を行った。

2.2 抗菌薬の環境影響観察実験教材の開発

(1) 植物種子を利用した抗菌薬の発芽・生長への影響を観察する教材の開発

平成28年度の貴財団から受けた助成を基にした研究で開発した種子発芽観察器具を利用して、ハツカダイコン種子への抗菌薬の発芽・生長抑制を観察した。利用した抗菌薬は、14種の抗生物質で、その作用機序は大きく下記の4種に分類される(表1参照)。

表1 抗生物質によるハツカダイコン種子の発芽生育状況

細胞壁合成阻害作用(4種)、タンパク質合成阻害作用(6種)、細胞膜機能障害作用(2種)、核酸合成阻害作用(2種)。基本的に作用機序の相違で、植物種子の発芽・生長に対する影響の差違が観察された。なお、目的でも述べたが、ここで利用している種子発芽観察器具による発芽生長の観察は、国際的な環境評価試験法(OECDテストガイドライン)と比較してその科学的妥当性が得られており、これら抗菌薬の環境影響を検討する際の参考になると考えられる。抗菌薬に注目した

作用機序/構造分類	主な物質(一般名)	根基生長	葉緑素合成
細胞壁合成阻害	β-ラクタム系 ペニシリン系: ベンジルペニシリン	◎	◎
	セファム系: セファロチン		
	ホスホマイシン ホスホマイシン		
	グリコペプチド系 バンコマイシン		
タンパク質合成阻害	アミノグリコシド系 ストレプトマイシン カナマイシン	△~×	△
	マクロライド系 クラリスロマイシン エリスロマイシン		△~×
	テトラサイクリン系 テトラサイクリン		
	クロラムフェニコール系 クロラムフェニコール		
細胞膜機能障害	ポリペプチド系 ポリミキシン、コリスチン	△~×	◎~○
核酸合成阻害	RNAポリメラーゼ阻害 リファンピシン	◎~○	◎~○
	DNAジャイレース阻害 ノルフロキサシン	△~×	△~×

理由は、酪農分野でも多用されるなど環境拡散が指摘され始めているためである。

(2) 植物培養細胞を利用した環境影響観察実験教材の開発

生態系への影響を考察する上で、植物の中で種子植物と対極的な藻類に対する化学物質の環境影響を観察できる教材を開発した。藻類として、種々の研究がなされている緑藻のムレミカツキモを材料とした。これに対して、(1)で挙げた抗菌薬の中で、4種の作用機序の中から選択し、それぞれ生長(増殖)抑制効果を検討した。その結果、基本的に植物種子の発芽・生長の抑制と類似していた。

(3) 高等学校での環境教育教材の開発 探究活動の方法

抗菌薬の環境影響観察教材として、(1)と(2)で開発した実験教材を高等学校の授業で利用できるように改良した。(1)の植物種子発芽・生長の観察においては、植物に曝露する化学物質を抗菌薬にすることとした。後述するが、抗菌薬の選択は、生徒の実験計画にしたがうものとした。(2)の緑藻の生長抑制を観察するには、無菌条件下での培養が必要となる。そのため、無菌培養できるディスポの培養フラスコ等の器具で培養できることを確認した。

続いて、高等学校での授業の指導案を作成した。高等学校の新指導要領でも重視されている探究活動に準ずる授業を行うこととした。すなわち、結果が簡単に予想できない課題を解明するために、実施する生徒が主体的に実験計画を立て、実験を実施し、その結果を考察し、課題を解明していく研究活動に類するものである。

本来は、生徒に課題の下調べから行わせる方が好ましいが、限られた授業時間内で効率よく実施するためには、ある程度の方向性を持って導くことが必要となる。今回は、「抗菌薬(抗生物質)が植物に及ぼす影響をクラス全体で解明する」ことを探究活動の目的とし、緑藻と種子植物を実験材料として班ごとに目標を分担して実験を行っていき、最後に全体の結果をまとめ、考察するというものとした。

[2] 研究の内容・方法(続き)

(4) 高等学校での教育実践

コロナ禍の影響で、教育実践を行った学校においても、授業時間の確保がなかなかできず、令和3(2021)年1月、2月を中心に実施することができた。

東京都内の私立の高等学校で、1年生の理系選抜クラス、理数探究(生物選択者15名、4班に分かれて実験)の授業として、下記の通り5回にわたり実施した。

回数	授業内容	詳細	実施時期
1	研究計画	研究テーマの講義、班ごとの実験計画の立案	令和2年12月
2	実験1	無菌操作の習熟、栽培液調製、栽培開始	令和3年1月
3	実験2	生長結果の計測、結果解析	令和3年1月
4	考察・発表準備	班ごとに結果の考察、発表準備	令和3年1月
5	発表・討論	実験結果の発表、ガラスでの総合討論	令和3年2月

第1回：化学物質の環境影響観察実験の方法、抗菌薬(抗生物質)の働きを講義した。続いて、クラス全体の目的として「抗菌薬の植物への影響を検討する」であることを提示し、班ごとに各班の実験目標と実験方法を計画させた。各班の目的は次のようになった

- ・細胞壁合成阻害の4種の抗菌薬による緑藻の生長に対する影響を比較
- ・異なる作用機序の抗菌薬各1種による緑藻の生長に対する影響を比較
- ・タンパク質合成阻害の2種の抗菌薬による緑藻と種子植物の生長に対する影響を比較
- ・細胞膜機能障害の2種の抗菌薬による緑藻と種子植物の生長に対する影響を比較

第2回：無菌操作の基礎技能を身につけた後、抗菌薬の希釈など試薬を調製し、液体培地による緑藻の培養および、種子発芽観察器具を利用したハツカダイコンの水耕栽培を開始した。

第3回：一週間の栽培(培養)後の、緑藻の細胞数の計測、種子植物の生長観察および葉緑素量の測定を行った。なお、緑藻は予想に反して細胞の増殖量が少なかったため葉緑素量の計測は省略した。

第4回：実験結果を基に、実験結果をグラフ作成、考察し、発表のためのパワーポイント資料を作成した。

第5回：各班の実験結果を発表後、クラスで共有した実験結果から、抗菌薬の環境影響をクラス内で討論した。



[3] 結論・考察

3.1 結論

本研究により、近年環境拡散が指摘されつつある抗菌薬を利用した化学物質の環境影響を観察する実験教材を利用して、環境問題を考察する生徒主体の探究活動を含む環境教育を高等学校の授業として実施できる環境教育教材を開発することができたと考えられる。

この教材の特徴は、特別な機器類を必要とせず、また、植物の生長や緑藻の細胞数の増加など、生体への影響を目視でも観察でき、環境影響を実感しやすくなっている。その結果、大変説得力のある生徒の発表ができていように見受けられた。また、ある程度制限があるものの、生徒自身が自分らの目標を設定し、それに合わせた実験を計画し結果を解析して考察することで、まさに、自分事として環境問題を捉えやすくなるもので、まさに肌で感じる環境教育を行うことができた。

3.2 考察

生徒が行った実験結果は、研究室で行った結果とほぼ同等のものが得られ、教室レベルでも、実践可能であることがわかった。しかしながら、第5回目の総合討論について検討を要する事例が見られた。授業実施者の狙いとして、抗菌薬の植物生長抑制の観察結果から、生態系、さらには、地球全体の環境問題へと話が展開されることを期待していたが、生徒間では、抗菌薬の作用機序と植物生長抑制の話に注目が集まり、授業実施者が半ば誘導的に、地球規模の話へと道筋を作らざるを得ない状況になった。総合討論の時間を十分に取れなかったのではあるが、生徒の視野をさらに広げるための働きかけの工夫をする必要があると考えられる。

ところで、抗菌薬は、食料の増産を目的とする家畜の成長促進のためにも多用されている。とくに、発展途上国においては、医療目的より酪農分野での使用量が多く、そのため環境拡散も起こりやすいことが指摘されている。最近、SDGsという言葉が浸透してきた。抗生物質利用による環境影響を考察することは、SDGsにおいてゴール6(安全な水とトイレを世界中に(6.3))、ゴール14(海の豊かさを守ろう(14.1))、ゴール15(陸の豊かさも守ろう(15.1))を理解することにつながる。主体的に実験に取り組む本教材は、食糧問題と関連する環境問題を検討するSDGs教育として、将来自分らの手で環境問題を解決していこうとする意識を向上させる上でも大変有効であると考えられる。

高等学校新指導要領において理数探究の充実がうたわれており、高等学校の教員間でもその対応に苦慮している声を耳にするようになった。本研究で開発した環境教育教材は、限られた時間で行える探究活動に適した教材であると考えられる。環境科学に関連する探究活動の実施を検討している学校や、SDGs教育との融合を検討している学校などで採用するのに適したものであると考えられる。

今後は、地球環境に影響を与えている抗菌薬以外の化学物質の影響を検討する教材の開発とともに、SDGsと結びつく、環境教育教材の開発を行っていきたい。