

[1] 研究目的

1. はじめに

概要: 子どもたちの環境問題への気づきの促進、問題解決能力や主体性を育むことが可能でありかつ簡便な実験教材の開発、および、それを利用した小学校での教育実践を目的とした。

1. 1 研究の背景と問題の所在

我々の身近にある化学物質は、生活に様々な恩恵をもたらすものの、使い次第では逆に我々の生活を脅かすものになりうる。

都市化、情報化の進展、利便性の向上などにより、生活環境からリアリティを奪うなどが起こっている。そのためか、子どもが身の回りの環境変化を感じ取るような感覚が劣化してきていることが指摘されており、さらに進むと、人間と自然の共存関係を崩すことにつながる可能性がある。それを避けるためには、子どもたちの豊かな成長、発達には、子どもたちの多くの実体験、例えば、身近な自然に直接親しむこと、あるいは、自然に近い実物に触れる機会を増やすことが必要であると考えられ、それらが、子どもたちの感性や想像力、創造力を育むことにもつながると思われる。

また、年を追うごとに危機感が強まる様々な環境問題に直面しながらも、それに対する明確な解決策を見出せていない。もともと環境問題は複合的であり、自然科学、環境、経済、社会の様々な要因が相互的に関連しあいながら拡大しつつある。

国連より持続可能な発展のための教育 (Education for Sustainable development: ESD) が掲げられ、わが国でも平成18年教育基本法改正、平成19年学校教育法改正により、環境教育は「生命を尊び自然を大切に、環境保全に寄与する態度を養うこと」とし、地球環境の変化を具体的に感じさせる、主体的な活動として環境問題に取り組ませることが教育目標に明記されている。小学校の授業では、総合学習はじめ、理科、社会、家庭などの科目で環境問題が扱われており、教科書にも多くの記述がなされている。しかし、現実の授業においては、単に教科書を読ませるだけであったり、一部の熱心な教員が体験学習を実施する程度にとどまっており、具体的な取り組み策は未だ模索中であり、より実践的な教材や教育プログラムの構築が望まれている。

1. 2 研究の目的

個々の児童・生徒が環境問題を直感的に感じとれ、かつ、校内での実施可能な環境教育教材が存在すれば、より多くの教育現場で実感を伴った環境教育を施すことができるようになると考えられる。すなわち、子どもたちが環境問題に目を向けやすくなる教材、主体的に問題解決できるような能力を育むことに適した教材を準備すると共に、小学校等の教員が特殊な研修を受けなくても実施可能な授業案を考案することが、環境教育を推進していく上で効果的であると考えられる。

複合的な環境問題に取り組むには、環境問題に関連する知識を蓄えると共に、問題となる課題を見つけ、客観的に分析していく能力などを育むことも必要である。小学生がその体験を積んでいく際、実際にものを扱う理科の実験教材の活用はとても有効であると考えられる。すなわち、目の前で起こる実験結果を自分自身の手で解析し考察を加える「体験を通じた学習」を行うことで、個々人が環境問題に関する洞察を深め、知識や技能を定着させやすくなる。

本研究では、具体的なテーマとして水環境に注目した。水環境は、水道水や排水(下水)など比較的身近に感じやすい環境問題の素材である。また、小学校5年で扱われている「発芽と成長」の発芽の実験は水耕栽培として行っており、身近な化学物質の影響を観察・考察する学習を導入しやすいと考えられる。今回は、化学物質の中で、金属イオンの代表として銅(Ⅱ)イオンと、我々が身近で利用している製品の代表として中性洗剤を取り上げた。両者が種子の発芽・発根、及び、動物卵の孵化に及ぼす影響を観察し、環境問題を考察することができる実験教材の開発と、それを小学校5年生の授業として実施する授業指導案を考案し、実際に小学校で実践することを目的とした。

[2] 研究の内容・方法

2. 研究の内容(方法・結果)

概要: 一般の小学校でも準備が可能な環境教育実験教材を2種類開発した(2.1)。さらに、それらを利用した小学校5年生を対象とする授業案指導案を準備し、2校の小学校で出張授業を行った(2.2)。

2.1 環境教育実験教材の開発

種々の化学物質の環境影響を容易に観察できる実験教材として、植物種子の発芽・発根(2.1.1)、動物卵の孵化と初期成長(2.1.3)の2種類の実験教材を開発した。開発にあたっては、容易に入手可能な材料を用いること、小学生でも物質の有無や濃度差の比較観察がしやすいこと、特殊な機材を用いず一般学校環境下で実施できることに留意した。

2.1.1 種子の発芽・発根観察器具の開発

ビニールコートされた針金(太さ1.2 mm)を25 cmごとに裁断し、直径11 mm程度で三周まき(図1上)、14 mm程度に丸く裁断したポリエチレン製の防虫シート(図1下)を挟み込み、種子受けメッシュとした。これにハツカダイコンの種子を3粒載せ(図2)、試験管にセットし、栽培液(KNOP液: KNO_3 0.20 g/L, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.80 g/L, KH_2PO_4 0.20 g/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.20 g/L, pH 5.2)を加えた(図3)。この観察器具を、日中、日の当たる場所に数日おいたところ、2~3日後に発芽、発根が見られ、その後、茎および根の生長が観察された。これを基本の発芽・発根の観察器具とした。室温は15~25℃程度であった。

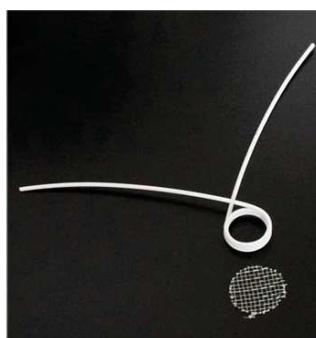


図1



図2



図3

2.1.2 化学物質による種子の発芽・発根への影響

KNOP液に、0.05, 0.1, 0.5, 1, 2 ppmとなるよう銅(II)イオン(塩化銅(II)、以下銅イオン)を加えた観察器具を準備し、発芽・発根の様子を観察した。対照(コントロール)はKNOP液のみとした。その結果、銅イオンの濃度依存的な発芽・発根の抑制が観察され、0.5 ppm以上で明らかな発根の抑制が(図4赤枠)、1 ppm以上で明らかな茎の生長の抑制が観察された(図4青枠)。1 ppmは厚生労働省の定める水道水質基準値の値であり、毎日飲用しても人体に影響が及ばない濃度とされている。それ以下の濃度においても、茎の生長および発根が抑制される様子が観察できた。

続いて、食器洗浄用の中性洗剤(商品名:チャーミーグリーン)を10, 100, 300, 1000, 10000 ppmとなるようKNOP液に加え観察した。対照(コントロール)はKNOP液のみとした。その結果、濃度依存的な抑制が観察され、特に100 ppmで茎の生長と発根に明らかな阻害が見られた(図5紫枠)。100 ppmは家庭での食器洗浄の排水に概ね値する濃度である。

図4



図5



2.1.3 アルテミア卵の孵化観察器具の開発

小型の海産性節足動物であるアルテミアは、その卵が乾燥状態で扱えることから取り扱いが容易であり、なおかつ安価で入手も容易であることから選択した。これを15 mLのアクリル製のサンプル瓶に等量となるよう加え、人工海水(NaCl 23.93 g/L, Na₂SO₄, 4.01 g/L, KCl 0.68 g/L, NaHCO₃ 0.20 g/L, KBr 0.10 g/L, MgCl₂・6H₂O 10.83 g/L, CaCl₂ 1.15 g/L, pH8.2)を満たし、室温(約20°C)で静置したところ、2日後に孵化し幼生が遊泳することを確認した。

2.1.4 化学物質によるアルテミア卵の孵化への影響

人工海水に2.1.2と同様に銅(II)イオンまたは中性洗剤をそれぞれ加え、3日後にアルテミア卵の孵化・遊泳の様子を観察した。その結果、濃度依存的な遊泳個体数の減少が観察され、銅イオンにおいては1 ppm以上の濃度(図6上赤枠)、中性洗剤においては100 ppm以上の濃度(図6下赤枠)で孵化の抑制、すなわち孵化する時期の遅延と孵化率の低下が見られた。銅イオンについてはその後の経過を14日後まで観察し、0, 0.1 ppmの低用量では速やかに孵化後、遊泳個体数が減少する一方、1, 10 ppmの中用量では遊泳個体は認められるものの孵化がより遅れること、100 ppmではさらに遅れることが見いだされた(図7)。なお遊泳速度についても検討しており、0 ppmでは4.08±0.59 mm/sである一方、100 ppmでは1.97±1.12 mm/sと半減しており、孵化の遅れに加えて遊泳そのものにも影響していた。

化学物質によるアルテミア卵の孵化、遊泳への影響

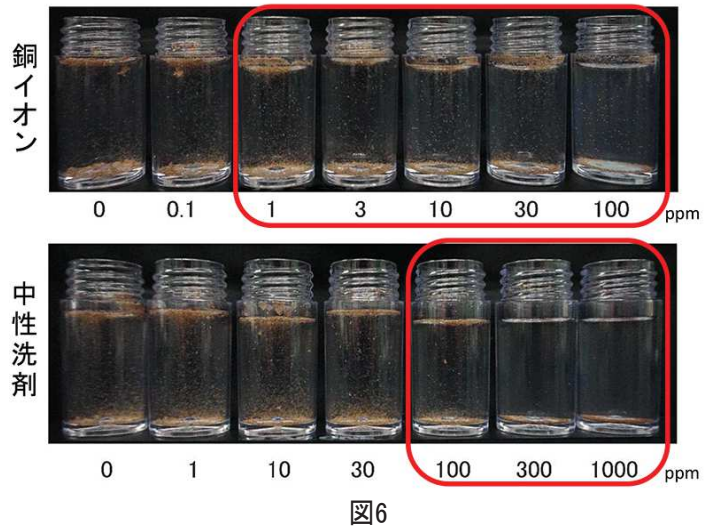


図6

銅イオンによる遊泳個体数の変化

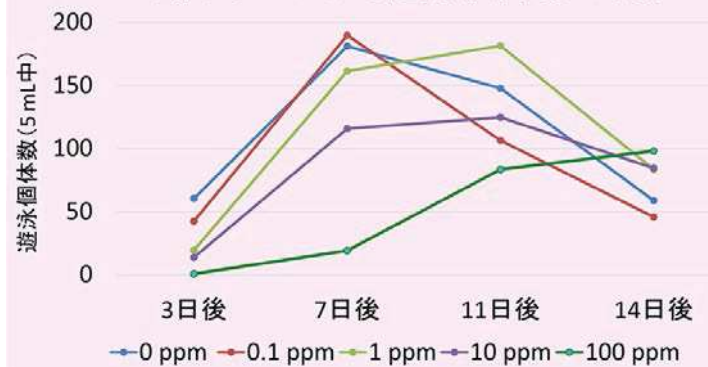


図7

2.1.5 化学物質の環境リスクを観察する環境教育教材

植物種子の発芽・発根、動物卵の孵化の教材開発と予備的検討を行った結果、小学校等の一般環境下で容易に観察可能であること、化学物質の投与による影響が明らかであることが示された。そこで、今回開発したハツカダイコンの発芽・発根観察器具、アルテミア卵の孵化観察器具を小学校での教育実践に利用することとした。

2.2 小学校5年生での環境教育の実践

概要: 小学校5年理科で「植物の発芽・成長」「動物の誕生」を学習した後に、今回開発した2種類の教材を利用して、化学物質が植物の発芽や動物卵の孵化に与える影響を観察する実験を含む授業を行った。

2.2.1 授業案の概要

3回分の授業(1回45分)として、授業案を作成した。

- ・1回目: 実験結果の予想と発芽実験の実験操作(種子のセットアップ)

7~8日後に2, 3回目の授業で行った。その間の期間に遊泳しているアルテミアの数を観察させた。

- ・2回目: 実験結果の観察・計測: 茎と根の長さの計測、化学物質の濃度と生長との関係を表すグラフの作成。
- ・3回目: 実験結果の考察: 実験結果から、化学物質の植物・動物に対する影響の様子を個人、班、学級で考察。

2.2.2 出張授業の実際

福島県内のA小学校(5学年3学級81名、2017年9月下旬に実施)、B小学校(5学年2学級44名、2017年11月下旬に実施)の5学級で各3回授業実践を行った。授業の指導は、本研究代表者の和田が行った。

(1) 出張授業前の学習状況

理科の授業の担当教員(学級担任)により、「植物の発芽・成長」「動物の誕生」の単元の学習を行った。植物の発芽・成長の単元では、種子の発芽の条件を探求する児童実験をいずれの学校でも1学期(5月頃)に行っていた。

(2) 1回目の授業 実験結果の予想、発芽・発根実験の操作

(2-a) 実験結果(化学物質の発芽への影響)の予想:「種子の発芽実験をするときに中性洗剤を加えるとどのようになると予想できるか」という課題を提示した。このとき、1学期に行った種子の発芽実験のことを思い出させ、それに、追加の条件として中性洗剤を加えた場合を考えさせた。最初に、一人一人考え、次に班で話し合っ実験結果を予想させ、ワークシートに記録させた。その後、学級内で各班の意見を共有した。

[結果]ワークシートの記載内容を確認したところ、ほとんどの児童が、化学物質の有無のみで発芽や発根が起こるか否かを検討していた。しかし、全体で数名の児童が、「濃度が低いときは影響が出ないが、濃度が濃いときに影響が出る」という主旨の意見を記録していた。

(2-b)実験操作:発芽・発根実験は、個々の児童の担当試料において溶液を注入し、1つの試料(濃度)につき種子3粒を観察器具に載せた。対照(コントロール)も含め銅イオンと中性洗剤において、それぞれ濃度が異なる5本の試験管1組ずつを班ごとに準備し、日の当たる室温(20~25℃程度)の状況で栽培した。アルテミア卵の孵化実験は、授業時間の都合上大学教員が準備をした。

(3) アルテミア卵の孵化の観察

1日おきに、孵化して遊泳しているアルテミアの数を5段階(×、△、○、◎、◎◎)で、相対的に評価させた。

[結果]児童のアルテミアの遊泳数の観察記録の一例を図8に示す。銅イオンの濃度が濃いほど、遊泳数(孵化数)が減少すること、孵化する時期が遅くなっている様子が観察できた。

濃度	0 ppm 白(無上)	0.1 ppm 淡	0.5 ppm 薄	1 ppm 濃	5 ppm 最	気付いたこと
30日(0)	×	×	×	×	×	なし
1日(1)	×	×	×	×	×	なし
4日(4)	○	○	△	△	△	真ん中に集まっている
6日(6)	◎	◎	◎	◎	△	前より増えている
8日(8)	◎◎	◎◎	◎	△	△	たくさん泳ぎ回っていた
11日(11)	◎◎	◎◎	◎◎	◎	×	泳いでいる数が増えた

泳いでいる数: 少ない ← (×, △, ○, ◎, ◎◎) → 多い

図8

(4) 2回目の授業:結果の計測・グラフ作成

2-a)発芽・発根の結果計測:各試料で3本のハツカダイコンの茎と根の長さをラミネート加工した方眼紙を利用して計測し(図9)、その結果を表に書き込み、それぞれ平均値を求めさせた。

2-b)グラフ作成:銅イオンまたは、洗剤の濃度を横軸に、茎または根の長さの平均値を縦軸としてグラフを書かせた(図10)。

[結果]誤差が大きめであったが、ほぼ全ての班で、濃度依存的に茎と根の生長が抑制されていることが明らかになった。



図9

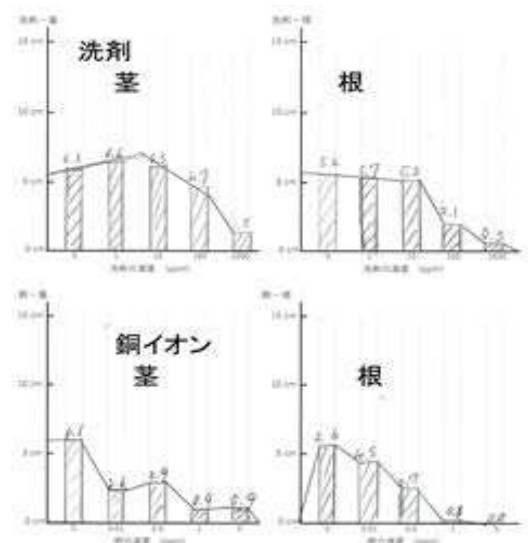


図10

(5) 3回目の授業:考察 (2回目の授業と連続で行った)

銅イオン、洗剤の濃度と茎、根の長さの関係を表すグラフ、アルテミアの遊泳数の観察記録をもとに、化学物質が発芽、発根、生長、あるいは、アルテミアの孵化にどのような影響を与えるかを考察させた。最初に個人の考えを記録させ、続いて班で話し合った結果をワークシートに記録させた。その後、班ごとに意見を発表させ、クラス全員で意見を共有した。

[結果]ワークシートの記録を確認したところ、8割程度の児童が個人の考えとして、濃度依存的に化学物質の影響を受けるという主旨の意見を記録していた。しかし、班の話し合いで濃度依存の話が出ていたにもかかわらず、最終的な個人の考えとして、濃度依存のことに触れずに物質の有無のみで動植物への影響のあるなしを判断している児童も多少見られた。

(6) 児童へのアンケート調査

一連の授業の前後で、学習一般と理科実験に関するアンケート調査を行った。その中で、『実験は何のために行うか』という質問で、8つの項目に関し4段階で評価させたところ、「自分の予想を確かめるため」という項目は、男女とも「そう思う」と回答した人数が増加した。興味深かった点は、「勉強を楽しむため」という項目で、男子は、「そう思う」と回答した人数が増加したが、女子は逆に減少していたことである。

[3] 結論・考察

3. 結論・考察

今回の研究により、次のことが明らかになった。

- 1) 初等教育機関から大学などの高等教育機関、あるいは社会教育機関においても簡便かつ効果的に利用可能な化学物質が生物体(生態)に及ぼす影響を観察できる環境教育教材を開発することができた。
- 2) 今回開発した教材は小学校5年生の児童においても有用性が高く、身近な環境に意識を向けるきっかけを与え、また、量の概念など基本的な科学的な考え方を示すのに適した教材であると考えられる。
- 3) 今回開発した教材は教育目的のほか、簡易的な化学物質の環境負荷の調査に応用できる可能性がある。
- 4) 今回開発した教材を広く普及させるには、丁寧なマニュアルや実験キット等を準備する必要があると思われる。

以下に詳しく述べる

☆1: 今回開発した環境教育教材は、化学物質が生物に及ぼす影響を具体的に目の当たりにすることが可能である。理科の授業で植物種子の発芽、動物の発生を学習した後の小学校5・6年の児童には、既知の学習事項を踏まえられるため、具体的なイメージをつかむ考察も可能となる。すなわち、生物体さらには生態系に対して、化学物質がどのような影響を及ぼす可能性があるかを検討しやすくなる。われわれ人間がより利便性の高い生活を送るために化学物質を利用しており、その弊害で過去には環境汚染が進んだが、それを克服するために種々の工夫をしてきたことも説明することにより、総合的に環境問題を捉えることができるようになると思われる。

また、中学、高校、大学と知識背景が広がるにしたがって、化学物質のバリエーションを多角的に捉えることも可能となるため、様々な方向性を持った教材の利用が可能となる。例えば、高校生などには、種々の金属イオンの影響を他の環境要因や生体の要因と比較したり、医療系の学生には、医薬品の影響を観察することも可能な教材でもある

☆2:今回実施した小学校5年生に対する教育実践より、化学物質の影響を考えると、実験前は、物質の有無だけで判断した児童がほとんどであったが、実験後は、8割以上の児童が濃度差によって影響に差が生じると検討することができるようになったことがわかった。今回の実験では、直接濃度差を持って観察させたため濃度差の気づきが多くなったと可能性も否定はできない。しかし、現実に関今回の実験と一連の授業を通じて、化学物質の影響を検討するとき、濃度の考慮も必要な条件の一つであるということ、より明確に捉えられるようになったと考えることができる。

☆3:現在、指定された工業化学物質や農薬に関してはOECDガイドラインに基づく生態毒性試験が課せられている。植物プランクトンの代表として藻類、動物プランクトンの代表としてオオミジンコがその対象となっている。今回の実験系は植物種子や動物卵を扱い、また極めて簡便に行えることから、妥当性の検証を十分に行う必要があるものの種々の化学物質の生態毒性のスクリーニングに有用である可能性がある。

この研究報告の追加として、現在、今回開発した実験系を用いて医薬品の影響を検討している。抗生物質や消炎鎮痛剤といった検出頻度の高い医薬品において、ppmオーダーの比較的低濃度領域においても種子の発芽・発根や、アルテミア卵の孵化に影響を及ぼすこと、また、特に植物の生育に対しては薬理機序ごとに類似した影響を示すことが見いだされている。今後は、公共用水でも検出されるようになった医薬品も含めた種々の化学物質の環境負荷の検討も行いながら、環境教育、広くは環境科学の啓蒙活動に役立つよう研究を進めていきたい。

☆4:今回開発した教材は、比較的容易に準備活用できるものであると思われる。しかし、理科実験などに習熟していない小学校の教員などには、敷居が高いと感じてしまう可能性がある。理科実験が不得手の教員でも簡単に活用できるような親切・丁寧なマニュアルや事前準備が容易になるような実験キット等を準備できれば、より多くの児童・生徒が環境科学を身近な問題として受け取ることができる環境教育を受けることができるようになると思われる。

4. 成果報告

今回の事業の成果報告を下記の通り行った。

4.1 学会等の発表

- 1) 種子の発芽・発根への化学物質の影響を観察できる環境教育教材の開発と教育実践；和田重雄・庭野純・熊本隆之・堀江均、平成29年度第3回日本科学教育学会研究会、2017年12月（宮城）
- 2) 種子の発芽・動物卵の孵化への化学物質の影響を観察できる生物教材の開発と教育実践；庭野純・堀江均・熊本隆之・和田重雄、日本生物教育学会第102回全国大会、2018年1月（熊本）
- 3) 生態毒性を簡易的に観察できる教材の開発と環境教育の実践；熊本隆之・庭野純・堀江均・和田重雄、第52回日本水環境学会年会、2018年3月（北海道）

4.2 研究論文

- 1) 種子の発芽・発根への化学物質の影響を観察できる環境教育教材の開発と教育実践；和田重雄・庭野純・熊本隆之・堀江均、日本科学教育学会研究会研究報告 Vol. 32, No. 3, P. 51-56, (2017)