

## 第2章

# 自然と科学

### 第1節 前期

渡 辺 武 志・中 村 忍  
岡 村 明・大 羽 徹  
竹 内 史 央・佐 藤 愛 子

**【抄録】** 自然と科学では、理科や数学などの既存教科の授業だけでは、十分に扱うことができない学際的なテーマについて、多角的・長期的視野に立って深く考える機会を設けた。既存の知識を使って大きなテーマについて考えることで、一つ一つの教科で学んでいる内容が深く関連していることに気づくことができる。前期・後期ともに3つのグループに分けて探求活動を行った。

**【キーワード】** 自然と科学 学際的

#### 1. 目標

「自然と科学」では、日常生活に必要な、科学的な知識や科学的な思考力の基礎を身につけさせることをねらいとしている。前期では、理科（生物）の授業だけで

は、十分に扱えない内容について、数学・美術の教科の特色を生かして、数値・数式を使ってものごとを筋道を立てて考えたり、実体験を通して身近な現象について科学的に考えたりする糸口となるような合同授業を試みることにした。

#### 2. 実践内容

回	岡村（美術）グループ	中村（理科）グループ	渡辺（数学）グループ
1回目 4月15日	オリエンテーション・事前アンケート		
2回目 4月22日	火起しの科学 A組全体	生き物とは何か① B組全体	正多面体 C組全体
3回目 5月20日	火起しの科学 C組全体	生き物とは何か① A組全体	正多面体 B組全体
4回目 5月27日	火起しの科学 B組全体 希望グループ調査	生き物とは何か① C組全体 希望グループ調査	正多面体 A組全体 希望グループ調査
5回目 6月3日	ものの見えるしくみ 「錯視と脳による情報処理、目の発生・進化」		正多面体は 何種類あるか？
6回目 6月10日	錯視の科学 「視覚の恒常性」	生き物とは何か②	黄金比とは？
7回目 6月24日	遠近法の作図と証明 「透視図法の増殖」 (数学合同)	DNAとタンパク質	遠近法の作図と証明 「透視図法と等比数列」 (美術合同)
8回目 7月8日	硬貨と合金 「合金の特性と用途」	進化と大数の法則 (理科と合同授業)	
9回目 7月15日	通信の科学 夏休み課題説明	夏休み課題説明	デカルトと数学 (相加相乗平均)
10回目 9月2日	発表 1	発表 1	発表 1
11回目 9月9日	発表 2	発表 2	発表 2
12回目 9月16日	全体発表		
13回目 9月30日	全体発表・事後アンケート		

(1)全体授業

前期の自然と科学の授業では、美術・理科・数学のグループ別授業に入る前段階として、生徒個々がどのグループの授業に適しているかを判断する機会とするために、それぞれの担当教員がクラス全体に対して授業を行った。数学は、正多面体について、美術の「火おしの科学」では、火が起きる原理と方法を分類し、実体験をさせた。理科分野では「生き物とは何か」というテーマで、命の始まりについて考え、原核生物の細菌も真核生物の多細胞生物も、全てDNAという共通の物質を使って生きていることや進化の過程について概観した。

全体授業を終了したあと、希望調査を行い、1クラス40名を12～14名の3グループに編成した。

(2)2グループ合同授業

1) 中村グループと渡辺グループ

「進化と大数の法則」

DNAは間違いなく同じものをコピーする性質があるが、わずかな確率でDNAに変化が起こることがあり、そのために体を作るタンパク質が変化することがあり、そうなると多くの場合、個体は死滅するが、わずかな確率で新たな形質を獲得し、進化をしてきたと考えられていることなどを紹介した。また、そのわずかな確率でも、非常に長い時間試行を繰り返すと、実現する確率は99.9%“以上”になることを数学的手法の一例をあげて示した。

授業では、進化と確率についてコイン投げの問題を利用し、授業を行った。

コインを1回投げたときに表の確率は  $\frac{1}{2}$  である。

ところが、コインを10回投げたとき、表の出る確率は  $1 - (\frac{1}{2})^{10} = 0.9991 \dots$

となり、コイン投げを繰り返すことによって表が出る確率は99.9%以上になることがわかる。(実際は非常に長い時間試行を繰り返す)

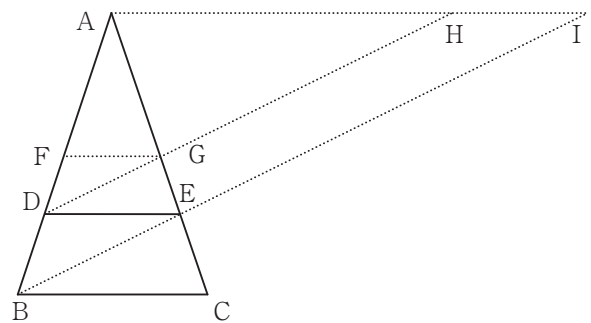
2) 岡村グループと中村グループ

錯視や盲点を体感する作業をいくつか行かせた後、なぜ視野に欠落がないかを考えさせ、「目で見る」から「脳で見る」ということへの理解を深めた。また、目の発生過程を示しながら、外胚葉が陥没して目が作られることから視神経が網膜を貫く理由を示し、プラナリアの目は眼杯の状態であることなども紹介しながら、われわれの目の構造から像を認識する仕組みについて理解を深めた。

3) 渡辺グループと岡村グループ

数学グループとの合同授業は「遠近法」を取り上げ、透視図法において、同じ形のものが奥に向かっ

て、縮小して増殖する作図法を体験したあと、数学的な証明を行った。美術、理科との合同授業では、授業を作る教員がともに、初めての組み合わせであったため、授業づくりに時間をかけた。美術との合同授業では、「平行線対角遠近法」について考えた。この方法での具体的な例としては、線路を近くから遠くへ見たときに1つの点に収束するというイメージをもてもらうとよい。遠近法では下図のように簡単な例を作った。



平行線対角遠近法では、三角形ABCに対して、BCに平行な線を三角形内部に引き、DEとする。さらに、頂点AからBCに平行な直線をひく。さらに、対角線BEと平行になるように点Dから線を引いた交点をそれぞれI、Hとする。こうしてできた、2直線BCとDEの高さをa、2直線DEとFGの高さをbとするとaはbの何倍かでかけることが相似を利用して証明することができる。授業では何倍かでかけることの証明を行った。

この関係から、内部に直線を書き続けることで対角線遠近法で書かれた、(枕木のような)幅が等比数列で表すことができる。

(3)グループ別授業 (実践例)

1) 岡村 (美術) グループ「身近な現象から科学を考える」

錯視の科学 (6月10日実施)

錯視の原因を読み解くキーワードとして「視覚の恒常性」という言葉を取り上げ、「大きさの恒常性」と「色の恒常性」の例をスライドで紹介した。「大きさの恒常性」では、二本の同じ大きさのたばこが、一点透視図法の背景の上では、違った大きさに見えることを実感させた。写真1) また、「色の恒常性」では、緑のフィルターを通して撮影されたトマトが置かれた静物の写真を見せ、生徒にトマトの色を答えさせた。生徒は、ほぼ全員「赤」と答えたが、実際にトマトの赤く見える部分の色を取り出して白い画面上に持ってくると青緑色であり、生徒の答えを覆す結果になった。「視覚の恒常性」とは何かを生徒に問い直し、視覚は、見ている対象とその周りの状況を読み取って、今まで

の経験・記憶と照らし合わせて、つじつまのあうように脳が修正していることを実感・理解させることができた。

授業の後半では、生徒に「首振りドラゴン」のペーパークラフトを制作させた。写真2)「首振りドラゴン」は顔の部分の凸部がすべてへっこんだもので、片目で移動しながら見ると、いつも鑑賞者の方にドラゴンの首が動いてついてくるような錯覚する作品である。生徒は自分が作った作品の周囲を何度も周りながらその錯覚の不思議さを体感していた。脳は、与えられた視覚情報が曖昧な時(例えば奥行き感がはっきりしない時)、最もありそうに思える解釈をとることを実体験を通して理解させることができた。

授業を終えての生徒の感想は、「人間の目は不思議である。正しいと思っていた視覚情報が結構あいまいでいい加減なものだと分かって良かった。」「目がいかに脳の影響を受けているか改めてわかりました。思いこみばかりしていないで、ちゃんと正しく見たいです。」など、人間の視覚は、眼でみているのではなく、脳で見ていることを実感させることができた。

(文責 岡村 明)

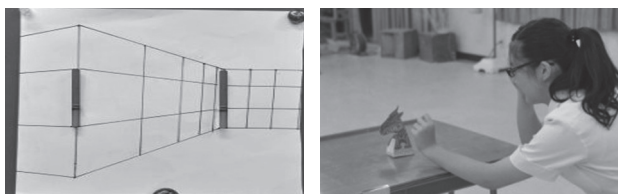


写真1) 右の方が大きく見えるが実際は同じ大きさである。 写真2) 首振りドラゴンの体験

## 2) 中村 (理科) グループ

DNAに注目しながら、単細胞生物から多細胞生物へ進化の過程と発生過程を比較し、遺伝子が発現することで発生が進んでいくこと、進化の過程のある部分は発生の過程を観察することで理解できることなどを学んだ、DNAの構造の研究がガン治療に利用されていることについても紹介した。

通常、遺伝子が突然変異を起こしてその働きを失ったり、変化させたりすると、個体が死んでしまうことが多いが、偶然に余分にコピーができ、同じ働きを持つ遺伝子が二つ存在すると、一方が突然変異を起こしてその働きを失ったりしても、もう一方が正常に機能していれば生存可能である。そのため重複した遺伝子では、変異が蓄積されやすい。つまり、遺伝子重複が進化の主要な役目を担うことを、色を見分ける錐体細胞の赤、緑、青の色覚に関するオプシンと、明暗を見分ける桿体細胞のロドプシンとよばれるタンパク質について、オプシンとロドプシンのアミノ酸配列はよく似ていることを例に挙げて、遺伝子重複と環境変化

による淘汰圧によって色覚が発達してきたと考えられていることについて学び、雌雄のマーモセットの色覚の違いについて学んだ。(文責 中村 忍)

## 3) 渡辺 (数学) グループ

単独授業では、幾何を題材として授業を行った。全体授業では立体に関して、オイラーの多面体定理

$$V : \text{頂点の数}, E : \text{辺の数}, F : \text{面の数} \text{ のとき,} \\ V - E + F = 2$$

を全体の授業で紹介し、グループ分けを行った後、多面体が5種類しかない理由について、証明をおこなった。

正  $n$  角形の内角の総和は  $180^\circ \times (n-2)$  であり、

$$\text{正 } n \text{ 角形の } 1 \text{ つの内角の和は } \frac{(180^\circ \times (n-2))}{n}$$

となる。

正  $n$  面体の各頂点からの辺の数を  $m$  本とする。正多面体を展開したときには

$$\frac{(180^\circ \times (n-2))}{n} \times m < 360^\circ \quad \text{但し } (m, n \text{ は}$$

3以上の自然数)

となる。ここから

$$\frac{1}{n} + \frac{1}{m} > \frac{1}{2}$$

となる。この不等式を満たす、自然数の組は

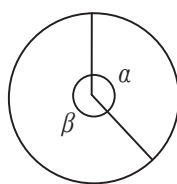
$(m, n) = (3,3), (3,4), (4,3), (5,3), (3,5)$

の5種類しかないことを皆で考え、証明した。

植物の実の付き方と黄金角についての授業では大阪大学の近藤研究室の結果を参考に授業をおこなった。黄金比はフィボナッチ数は

植物の形成でよく扱われる。しかし、いつもその法則が成り立つわけではないことが重要である。その上で、授業を行った。

植物の葉は、葉が茎の回りに回転しながら生えているのが見て取れる。この回転の角度は、ほとんどの植物の場合一定に保たれている。この授業では黄金角を中心に、葉が均等に回転しながら生える角度は上から見たときにどのような角度が最も適切かを角度に決めて検証し、その角度が約 $137.5^\circ$ であることを確認し、その角度について円の回転に関する角に注目した。さらに、



右の図のような円に対して、中心角をそれぞれ  $\alpha$ 、 $\beta$  とすると、

$$\alpha : \beta = 1 : \frac{1+\sqrt{5}}{2}$$

円は1周 $360^\circ$ であるから



$$\alpha = 360^\circ \times \frac{1}{1 + \frac{1+\sqrt{5}}{2}} = 137.5^\circ \dots$$

と偶然であるが、一致することを確認し、この角度を黄金角として面白さを確かめた。

また、座標や指数の導入をしたデカルトのアイデアを利用して相加・相乗平均の別証明を行った。

(文責 渡辺武志)

### 3. 成果と課題

#### (1)岡村 (美術) グループ

美術グループでは、我々の身近にあるものや現象に焦点を当て、実験や制作を通して科学の面白さや不思議さを味わせ、自然の法則を探らせたり、それらを応用した先進的な研究への興味・関心を高めさせたりすることをねらいとした。生徒の授業の感想としては、「自分たちが身近においてあるもので、そう深く考えたこともないことを深く学習したことで、あれはどういう仕組みなんだろう？と考えることが多くなり、とても自分の考える力が育ったなあと思いました。」など生徒の身近なものや現象を科学的にとらえることに関心を持ったさせることには、一定の効果はあった。また、「普通は感性でとらえる美術を科学や数学で解明できることが分かって面白かったです。特に人間の眼や脳による錯視のしくみがとても面白いと思いました。脳のはたらきについてもっと調べたくなったら生物学的なことに興味を持つことができて驚きました。」にあるように、脳科学への興味・関心を持つ生徒も見られた。

各授業については美術との関連を意識して授業を行ったが、身近なものや現象を科学的に解明することが中心なり、全体を通すとそれぞれの授業の関連性が低く、生徒にとっては、散発的な話題提供に終わった印象は否めなかった。フィボナッチや黄金比、焼き物の酸化・還元焼成、染料・顔料など絵の具の成分、カメラのしくみ、など科学と美術の接点を探るような話題を授業に取り入れると同時に、その配置や関連性を十分考えて、美術グループとしての特色を打ち出せるようにしていきたい。

(文責 岡村 明)

#### (2)中村 (理科) グループ

わずかな確率でも、非常に長い時間試行を繰り返すと、実現しない確率が非常に低くなることを数学グループとともに学び、美術グループとは色の見え方について目の構造や脳の働きを体感的に学んだ。その上で、理科グループの単独の講義では、遺伝子重複について、色覚に関する遺伝子を例に挙げて学んだ。

DNAが自分の同じものを複製する性質を持っているからこそ起こりうる重複とわずかに起こるコピーミスに

よって進化が起ってきたと考えられていることについて理解を深めた。

授業後のアンケートでは、普通の授業と変わりがないので意義を感じないとの回答もわずかにあったが、8割以上の生徒がより深く別の視点から学ぶことによって普段の授業の理解を深めるのに役立ったと回答していた。さまざまな教科で学習する事柄をつなげる視点とそれぞれを深める視点の両方を持つ機会を今後も作っていきたいと思う。

(文責 中村 忍)

#### (3)渡辺 (数学) グループ

数学グループでは初めてのメンバーで授業を行ったため、幾何や確率の素材を用いて教材開発を試みた。さまざまな研究成果を示す時、数値の大小関係等を用いて説得することが多い。しかし、理科や数学など、計算以外での概念の流れは数学的でないものも多く、適した教材探しに苦労をした。反面、他教科との融合は教員自身の力をつけることに有効であり、前向きに教材研究を続けていきたいと考えている。

また、夏休みの宿題として、生徒たちには数学者を一人選び、数学者の業績を内容も含めてレポートにまとめる宿題を出した。

三平方の定理以外の題材以外で作成をお願いした。

N進数やタイルの敷き詰め問題など、難しい内容を丁寧にレポートにまとめて、生徒が10分ずつ証明等も加え、丁寧に説明をしており、生徒たちは全力で取り組んでいる様子が印象的であった。

(文責 渡辺武志)

#### (4)全体として

合同授業で、3人の教員がそれぞれ、新しい教材づくりに挑めた事はとても有意義であった。複数の教科にまたがる分野は、アイデアはやさしいものでも取り扱いが難しい。しかし、他の教科の教員とのディスカッションが他教科の目のつけどころを学ぶことができるため、教材開発後の知識が増えることがよいと考える。

また、生徒には各グループから課題を出し、夏休みにレポートとして、まとめてもらった。大変な作業であったと思われるが、4割程度の生徒が自分で研究することや他人の研究発表を聞くことによって興味が深まったと回答していた。興味関心のみによって支えられる形態のこの授業を成立させるには通常の授業とは比較にならないほどの多大な創意工夫が必要である。実験的な試みの段階であることが否めないが、より興味深く、より達成感が得られるような授業となるよう工夫を重ねていきたい。

## 第2節 後期

### 1. 目標

「自然と科学」では、SLP IIの概要で述べたように、日常生活で必要となる科学的知識と科学的思考力の基礎

を身につけさせることを目的としている。後期の取り組みにおいては、科学の様々な側面を知り、英語で発表することにより、コミュニケーション力をつけることを目標とする。

### 2. 授業計画「科学の様々な側面を知る」

回	竹内	大羽	佐藤
10月14日	ガイダンス、グループ分け		
10月21日	マジックミラー	第二の地球は存在するのか	科学英語
10月28日	愛知教育大学 高橋真聡教授 「太陽系の形成と進化」		
11月4日	愛知教育大学 高橋真聡教授 「太陽系外惑星」		
11月11日	マジックミラー	第二の地球は存在するのか	科学英語
11月18日	マジックミラー	第二の地球は存在するのか	科学英語
11月25日	自然科学と数学	775年に何が起きたのか - 4つの仮説について -	プレゼンテーション英語
12月9日	自然科学と数学	775年に何が起きたのか - 4つの仮説について -	プレゼンテーション英語
12月16日	自然科学と数学	775年に何が起きたのか - 4つの仮説について -	プレゼンテーション英語
1月20日	発表準備		
1月27日	発表準備		
2月3日	発表準備		
2月17日	発表		
3月3日	発表		
3月10日	科学観	ヒミコとオロチ巨大モンスター銀河の謎	クリティカル・シンキング
3月17日	事後アンケート		

#### (1)竹内グループ

物体が浮き上がって見える鏡（マジックミラー）、カントール集合をテーマに選び、それぞれ、科学・数学の内容に関して2時間+英語の幾何教科書を読む1時間の構成とした。

英語によるプレゼンテーションは、証明などにおいて深さに欠ける部分もあった反面、母語ではない言葉で発表するという制限のために平易な言葉で自分の理解をしっかりとまとめる良い練習になった。

（文責 竹内史央）

#### (2)大羽グループ

##### (ア) 第二の地球は存在するのか

1995年、ミシェル・マイヨールらが初めて太陽系

外惑星を発見した。ペガサス座51番星を公転している惑星で、木星と同程度の質量をもち、4.2日周期で地球と太陽の距離の0.05倍の距離を公転している惑星であった。中心星に非常に近いため、表面は高温になっていると考えられており、高温の木星のような惑星という意味で「ホット・ジュピター」と呼ばれるようになった。その後、多くの太陽系外惑星が発見されたが、そのほとんどは「ホット・ジュピター」や「エキセントリック・プラネット」（離心率0.2以上の楕円軌道）である。太陽系のように木星や土星サイズで主星から離れた位置に円に近い軌道の惑星の発見は、現時点では少ない。

愛知教育大学の高橋真聡教授による2回の講義を行った。1回目は、「太陽系の形成と進化」で、宇

宙初期に水素とヘリウムがほとんどであった元素は、星の内部での原子核反応により鉄元素までの重い元素が増えていくこと、超新星爆発で鉄より重い元素が生成されることを学んだ。その後、星間ガス→恒星→（恒星風や超新星爆発）→星間ガス」のサイクルになることを学んだ。

2回目は、「太陽系外惑星」で、太陽系外惑星の観測方法を学んだ。恒星の周囲を惑星が公転すると、恒星もわずかながら惑星の重力の影響を受けて動くことによる光のドップラー効果を捉えることで、惑星を観測する「ドップラー法」がある。また、恒星の前を惑星が通ったときにわずかに暗くなるのを利用した「トランジット法」がある。

近年、観測技術が飛躍的に向上し、惑星を直接観測できたこともお話しされた。

恒星を回る惑星において、生命が存在可能と思われる領域、概ね、水が液体として存在可能な範囲をハビタブルゾーンという。現在、ハビタブルゾーンにある惑星は発見されているが、その惑星に生命がいるのかどうかは分かっていない。研究の最前線では、第二の地球探しが行われている。

第二の地球は存在するのか、本授業では、1960年にドレイクが考案したドレイク方程式の解（銀河系内の更新可能な文明数）を自分なりの根拠を考えさせた。感想も含めて一部抜粋する。

「ドレイク方程式の解 1/2

始めは第2の地球は意外とあると思っていたが、今回の講義によって、いかに地球というのが偶然から生まれたということを実感した。」

「ドレイク方程式の解 2

もし第2の地球は存在しても、電波を送り届くまでの時間を考えると、地球の文明が存在している期間に電波を交信することは難しいと思う。」

「ドレイク方程式の解 1/5

私たちは好奇心で第2の地球を探しているが、存在するとして、そこに住む人がこちらに攻撃的であった場合、怖いことになりそうと思った。ただ、自分では調べられないような予測がたいことをSLPの授業で受けられて良かった。」

### (イ) 西暦775年に何が起きたのか

2012年、名古屋大学の三宅美沙さんらの研究チームは、西暦775年に形成された屋久杉の年輪に炭素14が急増していたことを発表し、774年から775年に地球が大量の宇宙線が降り注いだことを示唆した。775年に何があったのか、その原因について議論が沸き起こり、いくつかの有力な候補が挙がった。太陽近傍の超新星爆発、大規模な太陽フレア、太陽への彗星衝突、そして、銀河系内のショートガンマ線

バーストである。

超新星爆発説は、通常、超新星残骸と呼ばれる天体が残るが、そのような超新星残骸は見つかっていない。大規模な太陽フレア説は、観測至上最も大きいとされるキャリントンフレア（1859年）より十倍から数十倍大きい規模のものが必要である。このような大規模な太陽フレアは、歴史記録や理論的予測から、発生する可能性が低いと考えられている。彗星衝突説は、775年のイベントを説明するほどの炭素14の増加は起きないと考えられている。そして、ショートガンマ線バースト説は、銀河系内のガンマ線バーストが稀な現象であると考えられており、約1000年前に生じていた可能性が非常に低いと考えられている。

そして、2013年、三宅さんらの研究チームは、993年から994年にかけて775年より若干小さいながら、同様の炭素14濃度の急増とその後の減衰が起きていたことを発表した。これは、775年と994年のイベントの原因が同一であること示唆している。

本授業では、775年に大量の宇宙線が降り注いだ原因を自分なりの根拠とともに考えさせた。以下は、一部抜粋である。

「太陽フレアだと思う。超新星爆発は痕跡がないし、十字架もオーロラで説で説明できると思う。ベリリウム10の測定技術が向上すれば、比率が変わり太陽フレアに合うと思う。また、どの説も確率の問題とも思ったが、太陽フレア説が最も高いと思う。」

「超新星爆発だと思う。痕跡が残らない爆発もあり得ると思った。」

「複合的に起こっているとも思う。」

### (3)佐藤グループ

本グループでは、プレゼンの練習、およびクリティカルシンキングを取り扱った。どちらも英語での考え方が重要になってくるものであり、自然科学分野における英語の役割のひとつだと考える。クリティカルシンキングでは、立論についてツールミンモデルを扱い、さらに誤謬の知識を用いて広告を例に取り、論理的であるかの判断を行った。授業後には、生徒が自ら日常の出来事や会話のなかでも誤謬がないかを見極めるなど、少しではあるがクリティカルに物事を見るきっかけになったと思われる。プレゼンの練習では、posture、voice、eye contact、gestureを具体的にどうすべきかの練習を行った。生徒それぞれが授業を通して、同じ内容のスピーチを行い、少しずつスピーチらしく変えていった。結果、最初のスピーチとは大きな変化を見せた生徒ばかりであった。（文責 佐藤愛子）

### 3. 成果と課題

発表は、英語によるプレゼンテーションを行った。竹内グループと大羽グループで学んだことを発表した。生徒は、2つのテーマを学び、発表では1つのテーマを選択した。佐藤グループでは、英語でのプレゼンテーションの仕方を学んでおり、発表グループに佐藤グループで学んだ生徒が入るようにした。佐藤グループで学んだ生徒は、グループ内にプレゼンテーションの仕方を伝えた。

英語で発表するため、平易な言葉で発表する良い練習になったと考える。英語での発表であったため、発表を聞く生徒は専門用語を始めて英語で聞くために、課題が残った。専門用語は、単語集にしてあらかじめ生徒に配るなど、工夫していきたい。

(文責 大羽 徹)