

暗号とDNA

～教材開発と高大の連携～

渡辺 武志・中野 和之
西川 陽子

[抄録] 名大附属中・高等学校は今日の課題について、1つの教科だけでは解決できない問題を、複数の教科の観点から見ることで、解決する方法を探る学校特設科目”新教科”を各教科の複数教官により1単位で実施している。2年目は数学、社会、理科の3教科で授業を行い、教科融合の試みを行った。その研究結果を報告する。なお、この実践は全13回(半期・高校1年生)の授業で、情報文化学部の大学教官による授業内容は、同じ研究収録の数学科の部分で掲載するが、その内容を活かした教材開発も行い、高大連携も視野に入れた新しい教科活動を模索した。

[キーワード] 高大の連携 教科融合

1 既存教科からのねらいと取り組み

1.1 数学(渡辺)のねらい

中学・高校での数学は、論理的思考力を養成する上でよい科目であり、学習指導内容により、内容の変更について議論はあるものの、その数学的内容には矛盾は少ない。しかし、時間的制約などのために、初等教育や中等教育では論理的思考力の養成よりもむしろ、その定着のための計算練習および受験数学的な指導が多く、定義から出発し、定理の中に隠された主張やその意味など、数学の本質をつかめないうまま”教養数学”が終わっていることが現状である。そのため、数学がよくできても、数学嫌いが多い理由の1つと考えられる。この科目は、他教科の知識や高大の連携などにより、少しでも生徒が数学を本当の意味で好きになるための1つのアプローチとして、現在の数学への1つの”提案”となることを期待している。

授業は、数学で定義、演算法則、定理と進められていくが、どのようにしてその理論が誕生したかなど、数学以外の歴史的背景には触れないことが多い。そこで社会(中野)とその部分について共同研究し、エジプト時代からローマ・ギリシャ時代までで何回か授業を行った。この内容については社会・数学両教官での共同研究はまだ未開発な分野なので、もう少し深く研究し掲載する。また、数学における高大の連携については同じ紀要の数学科に掲載する。またこの論文では、DNAなどの教科融合についての内容をこの論文に掲載する。数学を軸とした教科融合は、現在の該当学年までの履修状況をにらみながらの作成となるが、さらなる共同研究により中等教育に還元する内容を提案したい。

1.2 社会(中野)のねらい

従来、社会科は暗記物ととらえられてきた。受験のための学習が主流となっていることが原因である。社会科は世の中の事象すべてを学習対象とするのが本道であるはずである。新教科という、合科授業の中でそうした観点からの切り込みが必要となる。以下具体的に授業の経過について述べていきたい。

最初に、エジプト数学を取り上げた。ヒエログリフでの数字の書き方や計算法などを通じて古代エジプト人の考え方に迫った。次のギリシアでは、哲学の祖ともいわれるタレスを紹介し、さらに彼によって広げられた数学の世界を学習し、ピタゴラスの定理へ至った。この段階で、高大連携教育の観点から数学科の大学教官による暗号授業が設定されていたので、古代ローマの政治状況からシーザー暗号の成り立ちの授業を展開した。次に社会科単独授業としてキリスト教世界における科学の発達と科学に対する宗教の影響を占星術を例に、ノストラダムスとガリレオを取り上げた。それ以後は、近代科学の時代に入るのだが、数学科の大学教官の授業前に1時間だけ、モールス信号を取り上げることになり、メンデルについての授業しか行なえなかった。

上記のように、時間軸を中心に据えた展開を行ってきたが、中世からの科学発展を学習する十分な時間が設定できなかった。来年度の課題であろう。ともかく、歴史学習では扱いきれない内容も多く含んでいる。その点に関しては、最初のねらいが貫徹できたものと思う。

1.3 理科（西川）のねらい

遺伝子治療、遺伝子組み換え食品、ゲノムなどの遺伝子に関する話題が、メディアに多く取り上げられている。しかし、遺伝子の内容については主に生物Ⅱにおいて学習するため、本校では高校3年生で生物Ⅱを選択した生徒しか授業で触れることしかできず、授業内でさまざまな遺伝子の話題に触れることは時間的に難しい。また、理科において実験・観察は興味・関心を喚起するためにもとても重要であるが、時間的制約があったり、少人数で実験・観察をすることができない現状がある。

そこで、新教科では、興味・関心を持つ生徒が選択し、少人数学習が可能であることを活かし、生命とのかかわりが深い遺伝子に関して話題となっている内容をとりあげた。まず、遺伝子がもたらすこと、デザイナーチャイルドなどについて考えることからはじめ、遺伝子に関連した実験・観察（DNA・RNA 染色、DNA 模型づくり、DNA 抽出実験＜数学と合同＞など）を行った。また、高大連携として、名古屋大学医学部産婦人科の久野先生により、遺伝子に関連した最新医学について、遺伝子診断、遺伝子治療、遺伝子操作、オーダーメイド医療などについて話をいただいた。

2 2002年度 新教科群 前期 授業計画案

高1 「自然と科学」

目標：過去から現在までの科学の発展を検証する。教科学習とは異なる角度から本当の学びを気づき、各教科へフィードバックさせる

	渡邊 数の意味、その発展	中野 数学を出発点とした科学の発展	西川 生命の科学の発展 ～ 遺伝子 ～
4月 12日	オリエンテーション 担当教員よりグループの活動内容の説明 希望調査		
4月 19日	パイナップルを観察する パイナップルをさまざまな角度から観察すると数学的な規則性や図形的性質、生物学的な性質などさまざまな性質を数学、科学の発展の歴史、生命のそれぞれの角度から検証する		
4月 26日	ヒエログリフから見る数の歴史 アームスパピルスとその記数法 さまざまな数の表現（1対1対応）		生命の暗号、遺伝子Ⅰ
5月 10日	古代エジプト、ギリシヤにおける記数法、計算法（数の分類）	古代ギリシヤの哲学と数学 古代の哲学者と数学との関係を歴史的に考察する。	生命の暗号、遺伝子Ⅱ
5月 17日	古代ギリシヤにおける数学の発達 数は形を持つ？（ピタゴラス・古代ギリシヤ）		実験・観察Ⅰ DNA 模型づくり
5月 31日	古代社会と数学 古代ローマ時代（シーザー暗号） 他の諸地域の記数法（0の話）		実験・観察Ⅱ DNA, RNA の染色

6月 7日	DNAと暗号(1) DNA抽出実験 (西川クラスと合同授業)	ルネッサンス期の科学 (ガリレオ～ノストラダムスまで)	実験・観察Ⅲ DNA抽出実験 (渡辺クラスと合同授業)
6月 21日	暗号(2) シーザー暗号、モールス信号の歴史 簡単な暗号		実験・観察Ⅳ だ液腺染色体
6月 28日	名古屋大学情報文化学部 井原 俊輔 先生 数学が具体的にどのように社会や科学に関連されているかを考える。		
7月 12日	DNAに関する各教科に関する考察 (歴史、暗号、DNAの塩基配列をもとにしたタンパク質の合成)		
9月 6日	名古屋大学医学部 久野 尚彦 先生 遺伝子診断・遺伝子治療・遺伝子操作・臨床産科学		
9月 13日	合同発表会準備		
9月 27日	合同発表会とレポート提出		

新教科群 前期 「自然と科学」 希望調査用紙

2002. 4. 12

次の3つの中から希望するテーマを選んで書いてください。

- ① 「数の意味、その発展」 (渡辺 先生)
- ② 「数学を出発点とした科学の発展」 (中野 先生)
- ③ 「生命の科学の発展」 ～ 遺伝子 ～ (西川 先生)

第1希望	
第2希望	

1年()組 ()番 名前()

3 合同授業の例 (その1) ～暗号とDNA～

3つの教科で合同授業をすることは大変である。2年間の新教科の担当で授業(T.T)を行うために、経験として次の2種類に類別できる。

- ① 1つのことについて多角的にとらえる。
 - ② 1つのトピックを教科横断的な理解により、知識を深める。
- ①についての実践は次章であつかい、②についての実践内容を掲載する。(6月7日、6月21日、6月28日、7月12日、9月6日の授業概要)

3.1 3 教官による教材開発の研究

今回の目標は
”暗号とDNAについてどこまで理解を深めることができるか”

であった。渡辺・中野・西川は、この難問に七転八倒しながら、どのように手をつけるかわからずに、とにかく理科・社会・数学の3人の教員による意見を出しあった。そこで、暗号とDNAをテーマにした話題で数学、社会、理科が次のような知識の共有を図ることができた。

- ① 二進数、シーザー暗号(暗号化・復号化)について、その定義・歴史を社会と数学の2つの教科から光を当て、生徒の理解を深めることができる。
- ② 遺伝学の歴史的背景などについて理科と社会の両方の視点から考えることができる。
- ③ 遺伝暗号であるDNAの塩基配列をもとにタンパク質が合成されることを理科で教えるが、DNAを構成する塩基はA(アデニン)、G(グアニン)、T(チミン)、C(シトシン)の4種類だけである。一方、タンパク質を構成するアミノ酸は20種類である。以上のことに注目して、どのようにして20種類のアミノ酸を区別することができることを、数学的に考えてみる。

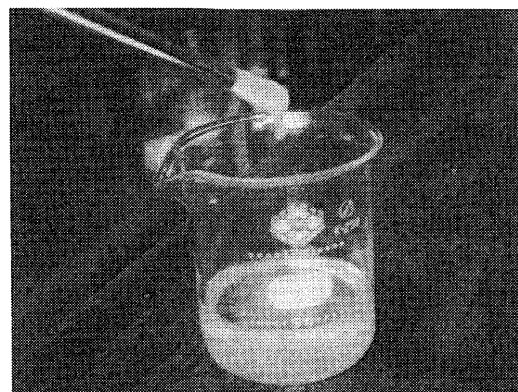
- 第1回 (渡辺・西川グループのみ) DNAの抽出実験
- 第2回 (渡辺・中野グループのみ) モールス信号、暗号について(シーザー暗号)
- 第3回 大学教官(井原俊輔 名大・情報文化学部)による授業
- 第4回 DNAの各教科による考察
- 第5回 大学教官(久野 尚彦 名大・医学部)による授業

である。但し、大学教官による授業が高校でおこなわ

れているが、1回限りの授業ではなく、これらの授業の流れを構成する1つとして高大の連携を考えることに特に注意を払った。(第3回の高大連携については同じ紀要の数学で紹介する。)

3.2 DNA抽出実験

数学・理科合同で、鳥のレバーから白いもやもやとしたDNAを確認した。



抽出方法は附属中・高等学校紀要47集P212を参照

3.3 シーザー暗号について(授業の要旨)

情報の交換などで第三者にそれが知られないようにするためなど、対象となる情報を秘密にする技術や方法を暗号という。

最初に暗号を考えた人は紀元前1世紀のローマ時代にいたカエサル(シーザー)という人物である。当時ローマでは元老院支配が強く、当時の若い実力者3人(ポンペイウス、カエサル、クラッスス)はこの支配を打破しようと、ポンペイウス、クラッススらと密約を結び、戦っていた。そしてガリア(フランス)遠征時代にローマにいたポンペイウスとクラッススとの連絡のため、手紙の内容を見られないようにするために、ローマ文字を置き変えて書いたことがはじまりとされる。もともとなる文章を平文といい、暗号化した文章を暗文という。

通信例は次のようになる。

(本人・原文から暗文)

・ABCDE から CDEFG

CDEFG を相手に送信すると、相手は暗文を平文に直す

(相手・暗文から平文)

・CDEFG から ABCDE

この場合、アルファベットの文字を2つずつずらしている。このような暗号をシーザー暗号という。

(授業ではプリントを配布し、シーザー暗号の解説や自分の名前を使ったアルファベットの変換などを行った。)

生徒用プリント

生徒用プリント

暗号を探る

1. シーザー暗号

2. マーク暗号

3. 暗号を解く

自分の名前を暗号化しよう！(6ともどもどせか化)

K A O R L
T O Y

3.4 DNA について

3.4.1 メンデル・遺伝について (社会 (中野) による授業)

前の授業で社会・数学で古代社会 (ギリシャ・ローマ・エジプト・インド) の数学について学習し、さらに中世キリスト教社会における占星術のあり方からガリレオを探求した。

メンデル・・・1822年チェコで農民の子として生まれ、苦学のなかで学校に進み、21歳のときにブルノの修道院に入り、神学を勉強していた。その後、修道院の奨学金でウィーン大学に留学し、物理学と植物学を学んだ。ブルノに戻り2年後の1856年に修道院の庭園でえんどう豆の交配実験を開始した。彼は8年間にわたり研究を続け、1865年 (植物雑種に関する研究) として論文にまとめた。メンデルはその論文をダーウィンなどの有名な研究者に論文を送るが無視された。彼の死後、16年後にその研究が再発見され、現在に至っている。

3.4.2 性と遺伝 (理科 (西川) による授業)

人間の体細胞の染色体は男女それぞれ46本 (常染色体44本 (男女共通)、性染色体2本) ある。男女の区別は性染色体のによる。男はX染色体とY染色体が1本ずつあり、女は、X染色体が2本ある。精子・卵はともに減数分裂 (染色体が半減) によって作られ、X染色体をもつ精子が受精に用いられれば女が生まれ、Y染色体をもつ精子が受精に用いられれば男が生まれる。

3.4.3 DNA の塩基配列をもとにしたたんぱく質の合成 (理科 (西川) による授業)

DNA は糖・リン酸・塩基からなり、そのうち塩基はA (アデニン) ,G (グアニン) ,T (チミン) ,C (シトシン) の4種類である。この塩基の情報からたんぱく質が合成される。

- ① 細胞内の核内にある DNA の2重らせん構造がほどける。
- ② 一方の DNA 鎖を鋳型として相補的な塩基配列をもつ伝令 RNA が作られる。
- ③ 伝令 RNA が核の外に出て、細胞質内のリボソームと結合する。
- ④ 細胞質にある運搬 RNA が特定のアミノ酸と結合し、伝令 RNA が付着しているリボソームへ運ぶ。
- ⑤ リボソームが伝令 RNA 上を移動しながら塩基配列を読み取り、相補的な塩基配列をもつ運搬 RNA と結合する。
- ⑥ 運搬 RNA によって運ばれたアミノ酸がリボソーム上でつながり、DNA の塩基配列にもとづいたたんぱく質が合成されていく。

3.4.4 伝令 RNA の塩基配列と対応するアミノ酸について (数学 (渡辺) による授業)

DNA を構成する塩基はA (アデニン) ,G (グアニン) ,T (チミン) ,C (シトシン) の4種類であるが、たんぱく質を構成するアミノ酸は20種類である。1個の塩基や2個の塩基の組み合わせではアミノ酸を指定するには数が足りない。

(例1) 1個の塩基

伝令 RNA の塩基	A (アデニン)	G (グアニン)
アミノ酸	アミノ酸 (1)	アミノ酸 (2)
伝令 RNA の塩基	U (ウラシル)	C (シトシン)
アミノ酸	アミノ酸 (3)	アミノ酸 (4)

この場合、対応するアミノ酸は20種類なので、すべてを対応づけできない。つまり、1種類のアミノ酸を

指定する遺伝暗号は数種類存在することになる。

(例2) 2個の塩基の組

$4 \times 4 = 16$ の対応づけが可能となるが、まだすべての対応づけはできない。よって、3個の塩基の組に対応したアミノ酸があり、この組は $4 \times 4 \times 4 = 64$ 通りの組み合わせが可能であり、20種類のアミノ酸を区別することができる。

伝令RNAの遺伝暗号表¹

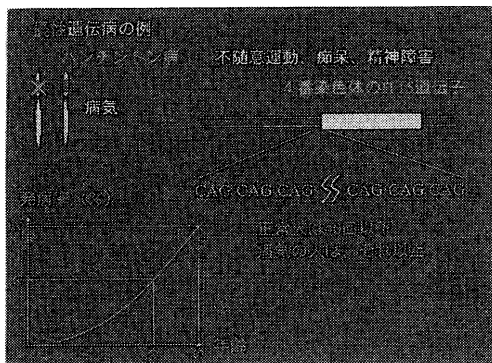
第一番目の塩基	二番目の塩基				第三番目の塩基	
	U	C	A	G		
U	UUU フェニルアラニン UUC (Phe)	UCU セリン UCC (Ser)	UAU チロシン UAC (Tyr)	UGU システイン UGC (Cys)	U C A G	
	UUA ロイシン UUG (Leu)	UCA (Ser) UCG	UAA (停止) UAG	UGA (停止) UGG トリプトファン(Trp)		
	C	CUU CUC CUA CUG	CCU CCC CCA CCG	CAU ヒスチジン CAC (His)		CGU アルギニン CGC (Arg) CGA CGG
		A	AUU イソロイシン AUC (Ile)	ACU ACC ACA ACG		AAU アスパラギン AAC (Asn)
AUA AUG			UAU UAC UAA UAG	AAA リジン AAG (Lys)	AGA アルギニン AGG (Arg)	
G			GUU GUC GUA GUG	GCU GCC GCA GCG	GAU アスパラギン酸 GAC (Asp)	GGU グリシン GGC (Gly) GGA GGG

3.4.5 医学と遺伝学・名古屋大学医学部助手 久野 尚彦 先生による授業

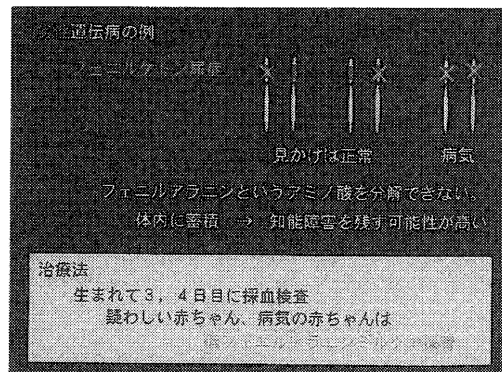
講演のあらすじと演者の意図

医学はヒトの生物学であり、現代に於いては一般的な生物学、分子生物学、遺伝学などをその基礎としており、これらなくして医学は語れない。また、医療は医学の人への応用であり、医学をその基礎とするも、人間を取り巻く様々な価値判断(社会学、哲学、倫理、経済)抜きには成立しえない。今回の講義は、講師が産婦人科医療を実践している医師であるという前提で、日常の医療活動の中で、医療という一筋の流れの中に分子生物学的、遺伝学的、哲学的側面がどのように顔を出しているか、それらの理解が医学医療を理解する上でどのように重要であるかを、学生に感じてもらいたいと考えて構成した。

まず導入では、優性遺伝病としてハンチントン病を示し、遺伝子診断ができるが治療法がない場合に検査を受けるかどうかという問いで、



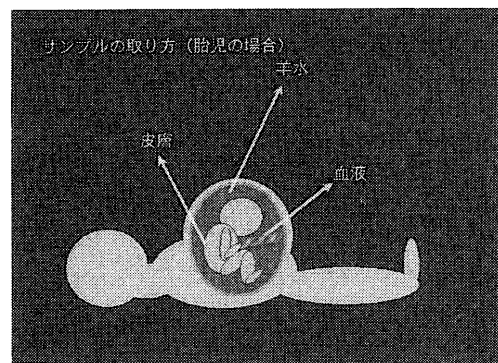
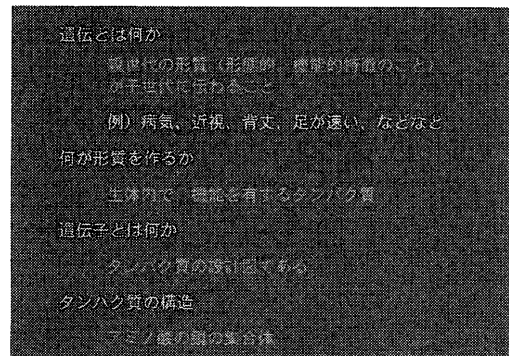
遺伝病の問題に生命倫理や哲学が関係することを感じてもらおうことを企図した。次に、劣性遺伝病を例として、遺伝子頻度や有害遺伝子を話題とした。



これは、健康に見える自分たち学生も実は有害遺伝子の幾つかは持っており、次の世代にはなにか病気が起こるかも知れず、今健康な自分たちも疾患を持って生まれてきた人達もそんなに違うものではないんだ、と感じてもらえたらと考えて話題とした。

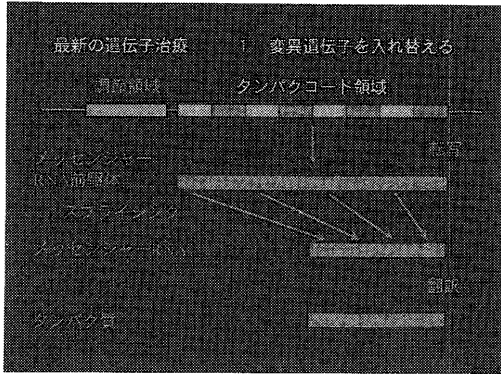
続いて、これら遺伝医学(だけでなく全ての生物学)の基礎である、DNAからタンパクまでの話を、事前学習の理解を定着させるための復習として提示し、その上で遺伝病の発生メカニズムの幾つかを示した。

次に、実際の医療と遺伝学をつなぐ目的で、患者さんからの検体採取の方法を、胎児採血、羊水採取のスライドを示した。

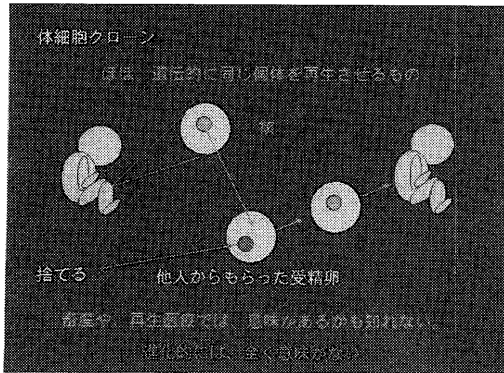


¹資料: 図解フォーカス総合生物 啓林館

引き続き、遺伝子異常とその最新の論理的治療戦略についての概略を示したが、これらは現在実際に多くの患者に行われているわけではなく、実験的研究的治療として一緒に付いたばかりのもので、これら新しい物への興味をもってもらうことを意図したものである。



次に、遺伝子とは大きさのレベルが異なるが、染色体異常の症例を示した。これは、次に示した染色体の組み替えのための導入であった。染色体の組み替えを通じてから、代々伝えられてきた染色体上の遺伝子は、その父親由来、母親由来の組み合わせを複雑にしつつ、次の世代へと伝えられ、多様な個体が出現することを可能にしてきたことを示した。この、変異と多様性が進化の基礎であることから、遺伝子変異を伴わない増殖、つまりはクローンの意味のなさ（少なくとも人間の社会に於いては）を示すことを目的とした。



本講演の最後の部分では、まず遺伝子は変異を繰り返しつつ、親から子へ、子から孫へと伝えられていくことを示した。全ての個体が多かれ少なかれ欠点（表現形に於いても遺伝子形に於いても）を持った存在であることから、良い部分も望ましくない部分もありのままに受け入れていくのが「親子」というものであり、将来技術的に可能になったとしても、遺伝子操作を繰り返して（親にとって）望ましい形質をもった子供を作り出すこと（デザイナーチャイルド）は、すでに「親子」とか「遺伝」といった所からかけ離れてしまった話であるというメッセージを伝えることを企

図した。

まとめ

学生が、遺伝、遺伝子、遺伝病、遺伝子診断、遺伝子治療といった言葉を知っているというレベルから進歩し、その内容やそこで行われていることが、実際の自分たちの住んでいるこの世界（医療という世界）で行われているんだということ、基礎生物学が実社会で役に立っているということを感じてもらうことが第一の目標でした。

そして、遺伝子というものが実際の自分たちの体の細胞内で機能し個性を作っているという実感を得ること、更には親子とは何か、進化とは何か、ひいては生物の存在理由はなにかなどを考えるきっかけになり得たなら、第二の目標は達せられたと思います。



3.4.6 生徒の感想

- 染色体に異常がある赤ちゃんの写真が印象的でした。医学が進歩し、生まれながらに障害を持つ人が減っていけばいいなあと思いました。そして、今まではパーフェクトベビーができたらいいなあと思っていたけど、考えが変わった。
- 普通の人でも異常遺伝子を持っていることに驚いた。一人の命の大切さを改めて感じ、満足に生まれてきたことに感謝します。遺伝子の少しの違いだけで病気になるという不思議さに、驚きました。どんな病気をもって生まれてきたとしても、その人がうまれてきたことだけで、素敵なことだと思う。

4 合同授業の例（その2）パイナップルをさまざまな角度から見る

資料

この授業は1つの素材（パイナップル）を各教科の視点からさまざまな考察ができることにねらいがある。

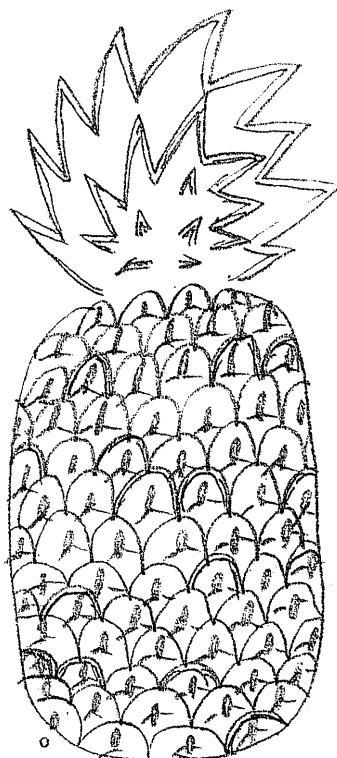
数学の視点

（ここで生徒全員にパイナップルを観察させる）

パイナップルや松かさの葉の表面には鱗状の模様があり、これらの列数は、植物の成長の仕方や強度を損なうことのない数となる。この鱗状の列数を生徒たちに数えてもらう。（生徒達の答え8, 13になることが多い）その数は1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, … になることがきわめて多い。これらの数をフィボナッチ数という。フィボナッチ数とは

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, …

のことで第 n 項はその前の2数の和（但し、第1項、第2項は1.）各数の項の数のことである。自然界ではさまざまなフィボナッチ数を見つけることができる。（松ぼっくりにも螺旋模様があって、それは13, 21になることが多い）



社会の視点

パイナップルの語源（Pine : 松 … まつぼっくりに似ている、apple : りんごの味に似ている）に注目し、そこからパイナップルの由来を簡単に示した。

1492年にコロンブスが新大陸にわたったときに、ヨーロッパに持ち帰ったことにより、世界に広がった。日本には鎖国時代にオランダからもたらされた。苗は1866年オランダ船がに沖縄・石垣島川平湾で広めたことをとった。それ以後本格的にパイナップルの生産がはじまるのが1927年沖縄で栽培された。

理科の視点

植物は、系統関係によって分類されており、熱帯地方原産のパイナップルは、アナス属の多年生草本である。パイナップルはさし芽をすることによって増やしていくことができる。

パイナップルの果実は、表面にらせん状に並んだ鱗状の模様の1つである。これは食べることができない。普段、私たちが食べている部分は、花托（がくに近い部分）が肥大したものであり、肉をやわらかくし、消化を助けるタンパク質分解酵素やビタミンが含まれている。そのためパイナップルには消化不良や疲労回復などの効用がある。

²この授業実践は2003年8月6日に日本数学教育学会の公開授業で行われました。

5 参考文献

- 新教科について
 - ・2002年度名古屋大学教育学部附属中・高等学校紀要47集 P49-P70
 - ・「高大の連携」を生かした「青年期のキャリア形成」平成13年度文部科学省研究開発学校研究開発報告書
- 暗号について
 - ・理論と代数学 澤田 秀樹 海文堂
- パイナップルについて
 - ・自然にひそむ数のミステリー Newton 別冊 P92P93
 - ・(科学と通信における) 数論(上) M.R. シュレーダー著、平野浩太郎、野村孝徳 共訳(1995)
- 研究発表等
 - ・第85回全国算数・数学教育研究大会高等学校研究発表(暗号とDNA)
 - ・第85回全国算数・数学教育研究大会特別企画(公開授業)(パイナップルをさまざまな角度から考察する)
 - ・日本数学教育学会誌 第85回大会特集号 P426
 - ・愛知県数学教育研究会高等学校部会 愛数 42号