

|    |    |   |
|----|----|---|
|    |    | の注：遺伝情報の全体をゲノムと呼ぶ場合があり、ヒトの全遺伝情報をすべて解読する「ヒトゲノム計画」（以下略）   |
| 12 | 18 | （旧） 本文（6行） 一つの生物が持つ遺伝子の全体をゲノムという。現在、ヒトをはじめとするさまざまな生物について、DNAの構成要素の配列を1つ1つ解読し、遺伝子の全容を解明しようという計画（ゲノム計画）が進められ、ヒトのDNAの配列はそのほとんどが解読されるにいたった。その結果、ヒトのDNAには約30億もの構成要素の配列があり、その中に約3万個の遺伝子が含まれていると推定されている。<br>（新） 本文（項目）（14行） 一つの生物が持つ遺伝子の（中略）ヒトどうしの個人差はゲノム全体の約0.1%にすぎないこともわかった。これによって病気の原因となる（以下略） 参考資料（半頁）：ヒトゲノム解読と私たちの生活 注：体細胞は（中略）ゲノムを2セット持っていることになる。（以下略） |
| —  | 17 | （新のみ） 話題（1頁） DNAとゲノムの利用   |

優性劣性についての補足記述は、旧版では3冊のみであったが、新版では8冊に増えた。

(4) 生物Iのまとめ

- ・ ヒトゲノムなどの説明が全体として、大幅に増えた。
- ・ 優性劣性について誤解を防ぐ配慮は一般的になった。
- ・ 色覚異常、血友病など、そのものについての説明がないままに、優性劣性で説明される部分は変わっていない。色覚異常についての解説自体に誤りがあるものもある。
- ・ 血友病について、伴性遺伝しないタイプについての含みを持たせた記述が1冊のみに見られた。
- ・ 鎌状赤血球症を例として突然変異（生物IIの範囲）を扱う教科書が出てきた。
- ・ 病気と遺伝子の発現、形質への環境の影響についての適切な記述はない。病気の遺伝子がそのまま病気と結びつくような誤解をされやすい。

3. 理科総合Bにおける遺伝の扱い

(1) 概要

平成14年度検定の9冊のうち、5冊は平成17年度検定において、さらに4冊が平成18年度検定において改訂された。実質的に1社を除いてすべて新規と考えてもよい。ここでも大判(B5)のほうが平易な傾向は同様であるが、採用高校は大学進学者が中心ではない場合が多いと考えられる。そのためか、A版は昨年度検定済みの2社のみで、平成18年度検定教科書はB版のみである。遺伝の頁が10以上あるのは旧版では3冊だったが、新版では8冊となった。ただし、理科総合Bでは、減数分裂や染色体の記述も同じ章立てになっているので、遺伝子についての頁だけではないので改めて調べた。(表4)

表4 理科総合B教科書における遺伝の扱い

| No  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 版   | A5  | B5  | B5  | B5  | B5  | B5  | B5  | B5  | A5  | B5  |
| 頁   | 226 | 136 | 136 | 146 | 146 | 148 | 168 | 180 | 216 | 144 |
| 遺伝頁 | 15  | 12  | 9   | 12  | 12  | 8   | 17  | 17  | 20  | 10  |

東京都教育委員会資料<sup>5)</sup>  
より作表

## (2) 記述について

学習指導要領外の記述として、遺伝情報とゲノムという発展で1頁を割いているもの(1冊)、ヒトゲノムプロジェクトとして1頁を割いたもの(2冊、うち1冊は本文でも10行にわたって項目をたてている)、遺伝子の変化(3冊、うち1冊には突然変異と記述あり)というのが見られるようになった。また、ヒトの遺伝としてABO式血液型の記述があるものがほとんどになり、耳あか、色覚異常を取り上げている本もある。また、発生における遺伝子発現の概要や、遺伝と環境との関係による身長への影響など、生物Iより改訂による変化が大きいといえる。一方、旧版では、1冊を除いて、優性劣性について誤解を防ぐ注がつけられていたが、新版では注がつけられていないものが2冊に増えた。同じ出版社でありながら、別に注のついた版も出しているの、編集の方針と考えられる。補足記述がないから差別的というわけではないが、学習者の陥りやすい誤解に配慮が必要であるという認識はされるべきと思われる。

## 4.改訂全体のまとめ

- ・ 一遺伝子雑種までにとどまらず、新しい知識が取り上げられてきた。
- ・ 遺伝分野に配当される頁数は、出版社によって極端に異なり、ばらつきが大きい。
- ・ ゲノムについての記述を大幅に取り入れてきた教科書が見られる。
- ・ やさしい言葉に置き換えたり、優性劣性の誤解を防ぐ注をつけたり、学習者の陥りやすい誤解に配慮がされていないものが増えた。
- ・ ヒトの遺伝は、定番といわれるABO式血液型、色覚異常、血友病以外ほとんど扱われず、それらについての解説も不十分である。
- ・ 突然変異が病気と結びつけられて記述されている。本来対立遺伝子一般に記述されるべきもので、誤解を生む。

## 5. おわりに 「遺伝が変われば高校生物が変わる」

高校生物の遺伝分野が、メンデルの伝達遺伝学中心であるという枠組みを変えなければ、ヒトの遺伝を取り入れるのは困難に思えてならない。正常、異常が対立形質として理解されていく構図では、知識が差別の溝を深めるのではないかと懸念される。遺伝子の発現が発生過程や環境因子に影響され、形質が変わるといふ構図を取り入れなければ、極端な前生説の流布となり、教育の自己否定にもなりかねない。そのためには、遺伝(子)の概念自体が変わる必要がある。そのことで、発生や行動の記述も変わるはずであり、高校生物の全ての分野にヒトの遺伝が拡がる事になると思われる。現在文部科学省では次期改訂の作業が続いているという。突然変異については、高校からも大学からも記述を求める声が学会で聞かれるが、進化や淘汰とともに語られないことを願うばかりである。今のままでヒトの遺伝が加えられることも差別の拡大になることを指摘したい。一方、大学入試の影響も無視できない。昨年度入試から新課程になり、遺伝子座についての記述が早速取り入れられた。昨年度入試は旧課程生(浪人)に配慮し、新課程分野からの出題は控えられるだろうと予測されたが、センター入試はともかく、多くの大学では出題傾向が変わった模様である。<sup>6)</sup><sup>7)</sup> 今後は、その面からも調査することが課題であろう。

補足

今回改訂された教科書は、まだ市場に出ていない。そのため、手に入れられたのは採用見本のみであったため、それをもとに調査したものであることとお断りしておく。

<引用>

- 1) 東京都教育庁指導部 2004 平成 17 年度使用都立高等学校用教科書 教科別採択結果(教科書別学校数) <http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/press/pr040826s.pdf>
- 2) 東京都教育庁指導部 2006 平成 19 年度使用都立高等学校用教科書 教科別採択結果(教科書別学校数) <http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/press/pr060824t.htm>
- 3) 東京都教育委員会 2002 平成 15 年度使用高等学校用教科書調査研究資料 <http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/buka/shidou/15textbook.htm>  
[http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/buka/shidou/16textbook/seibutsu\\_1.pdf](http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/buka/shidou/16textbook/seibutsu_1.pdf)
- 4) 東京都教育委員会 2006 平成 19 年度使用高等学校用教科書調査研究資料 <http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/buka/shidou/19textbook/seibutu1.pdf>
- 5) 東京都教育委員会 2006 平成 19 年度使用高等学校用教科書調査研究資料 [http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/buka/shidou/19textbook/rikasogo\\_b.pdf](http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/buka/shidou/19textbook/rikasogo_b.pdf)
- 6) 2006 年受験用 全国大学入試問題正解 9 生物 2005 旺文社
- 7) 2007 年受験用 全国大学入試問題正解 9 生物 2006 旺文社

# アメリカにおける遺伝学教育プログラム

静岡県立焼津水産高等学校 村松 岳詩

## はじめに

今世紀が生命科学の時代と言われて久しいが、生体を遺伝子、分子のレベルで操作する遺伝子工学の技術は、日々進歩し続けている。遺伝子組換えや遺伝子診断といった言葉がもはや日常的になりつつある一方で、遺伝という概念には嫌悪感や拒否感を抱く人が多いことも報告されている<sup>1</sup>。ヒトゲノム解読の実現で、オーダーメイド医療が一つのターゲットとなる時代、遺伝に対する正しい知識と理解を持つことは、現代市民にとって重要な科学リテラシーであり、学校教育はその一翼を担うことが求められている。

しかし、日本国内の科学教育において、ヒトの遺伝やヒトゲノム、遺伝子工学に対する適切な理解を求めた教育プログラムは乏しく、現段階ではバイオの新時代に即応できる状況にはない（国内の教科書については白石の報告に詳しい）<sup>2</sup>。

一方、科学と技術、社会（STS）の相互関連を扱った各種カリキュラムの開発に積極的なアメリカでは、BSCS（Biological Science Curriculum Study）を中心に、早くから高等学校用の分子生物学や遺伝学、遺伝子工学に関する教育プログラムの開発がなされてきた。そこではヒトの遺伝学や遺伝子工学を題材として、知識内容の理解と科学的な問題解決、倫理的、社会的な諸課題に対する意思決定スキルの育成を行っている。

そこで本稿では、BSCSの生物教育プログラムを取り上げ、遺伝学、遺伝子工学の分野を中心として、ゲノムリテラシーの観点から、内容構成と指導方法について明らかにする。さらに、それらの分析から21世紀に相応しい生命科学教育の在り方について考察することとした。

## 1 BSCSの遺伝学プログラム

現在、BSCSが発表している遺伝学、遺伝子工学の内容を含む教育プログラムには、総合的な生物学のプログラムである *BSCS Biology*<sup>3</sup>、遺伝学のプログラムである *Basic Genetics: A Human Approach 3<sup>rd</sup> Ed*、BSCSがNIH（アメリカ国立衛生研究所）との協力で作成したプログラム、NIH Curriculum Supplement（全6種）の一部、エネルギー省の支援で開発されたヒトゲノム計画に関するプログラム Human Genome Project Curriculum Supplement（全5種）がある。このうち、NIHとHGPプログラムは特定の領域を短期間に学習する内容となっている。本稿では、日本の遺伝教育と比較する意味も含め、総合的な生物プログラムの中で最も新しい *BSCS Biology A Molecular Approach 9<sup>th</sup> Ed*（2006年出版）と遺伝学の専門プログラムである *Basic Genetics: A Human approach 3<sup>rd</sup> Ed*（1999年出版）について取り上げ、分析を行う。

<sup>1</sup> 武部啓「遺伝」60巻、1号、2006年、2426頁

<sup>2</sup> 白石直樹「ゲノムリテラシー向上のための人材育成と教育ツール開発に関する研究」厚生労働科学研究研究費補助金平成17年度総括研究報告書 主任研究者 福嶋義光、2006年、43-61頁

<sup>3</sup> BSCSの総合的な生物プログラム（comprehensive program）には異なる視点（分子生物学、生態学、人間の生物学）を持った三種類の教科書が存在する。

## 2 BSCS Biology A Molecular Approach<sup>9th</sup> Ed における遺伝学領域の構成と内容

### (1) プログラムの構成

BSCS Biology A Molecular Approach<sup>9th</sup> Ed (以下、A Molecular Approachと略記)、は分子生物学の視点を持った、総合的な生物プログラムである。これは日本の「生物」教科書に相当するものだが、最新の生命科学の内容が反映されていること、生命科学の進歩に基づく倫理的、社会的問題に言及した内容を含んでいる点において、日本の教科書とは大きく異なっている。

プログラム全体は6章25節から構成され、本文679頁、実験、索引まで合わせると875頁にも及ぶ内容である。このうち、遺伝学領域(ここでは日本の遺伝分野の内容に相当する箇所)の内容は150頁で、全体の22.1%を占めている。ただし、それらは、DNAの化学的性質(第1章:エネルギー、代謝、生物)、DNAの構造と遺伝子の機作(第2章:細胞:恒常性と発生)、遺伝現象(第3章:遺伝:生命の連続)とそれぞれ異なる章で、遺伝学以外の生物学の内容と併せた扱いとなっている。

遺伝学領域の詳細について表1に示す。概観すると、国内の教科書とは以下の点において相違が認められる。

- ① 分子生物学や生化学の視点からの構成である。
- ② 遺伝(Inheritance)領域において、ヒトの遺伝が中心的に扱われている。
- ③ 最新の遺伝学(分子遺伝学)の内容を反映している。
- ④ 科学技術の進展に伴う倫理的、社会的な問題を包含している。

### (2) プログラムの内容における国内教科書との相違

次に、具体的な内容において国内の教科書との相違について詳述する。第一に、現代生命科学の内容を反映すべく、生化学、分子生物学を中心とした構成になっている。DNAの構造や遺伝子の機作は、細胞内のメカニズムやセントラルドグマといった生化学的な内容と併せ扱われている。これは、国内の教科書一般に見られるような遺伝の法則から遺伝子の発見、DNAの構造という、一連の遺伝の発見史的な流れとは大きく異なっている。また、A Molecular ApproachではDNAの構造や遺伝子の機作が、学習の最初の段階に設けられ、生命科学の基礎として全ての生徒が学ぶよう位置づけられている。一方、国内の教科書では、遺伝子情報とその発現の内容は「生物II」の科目の中で扱われており、一部の理科系進学者に限定され履修されている状況にある。

全米科学教育スタンダードでは、遺伝の分子的基礎の学習が全ての国民の到達すべき生命科学教育の項目として、位置付けられている。そこでは、以下のように言及されている。

分子生物学は、主要な科学の最先端として21世紀まで存続するであろうから、生徒はそれ自体のためだけではなく、人類が生物を操作することに関して実践的、倫理的に学識ある見解をとる必要があるので、生命の化学的基礎を理解すべきである。<sup>4</sup>

これらは、遺伝の規則性の扱いを中心に置いた日本の学習指導要領とは根本的に異なっている。しかし、近年の生命科学の進歩とその社会状況を考慮するならば、遺伝の生化学的、分子生物学的な基礎を学習することは必須であると思われる。

第二に、遺伝現象(Inheritance)の学習が、ヒトを中心とする視点で扱われている。ここでは、突然変異や染色体異常が引き起こす病気(遺伝病)を理解すること、遺伝原則や遺伝子情報の基礎をヒトの遺伝性疾患に適応させ理解することを目的とする。また、ヒトと医療の遺伝に付随した倫理的、

<sup>4</sup> 長洲南海男監修『全米科学教育スタンダード-アメリカ科学教育の未来を展望する』熊野善介・丹沢哲郎他訳、梓出版者、2001年、178頁

表1 A Molecular Approach における遺伝領域の内容<sup>5</sup>

| 章・節   | 内 容   | ※   |
|---|---|---|
| 第1章 エネルギー、代謝、生物<br>1節 生命の化学<br>細胞内の遺伝的暗号                | 1.1 核酸<br>1.11 二重らせん構造<br>1.12 DNAの機能   | *<br>*<br>*   |
| 第2章 細胞：恒常性と発生<br>8節 細胞周期<br>DNAの複製                      | 8.3 DNAの構造<br>8.4 DNAの合成<br>8.5 DNAの修復  | *<br>*<br>*   |
| 9節 遺伝暗号の表現<br>遺伝暗号<br><br>転写<br><br>タンパク質合成<br><br>ウイルス | 9.1 遺伝的材料<br>9.2 タンパク質の重要性<br>探求 遺伝学用語の学習<br>9.3 RNAの合成<br>9.4 RNAプロセッシング<br>9.5 翻訳<br>9.6 輸送とタンパク質の変異<br>9.7 翻訳ミス<br>9.8 遺伝情報とウイルス<br>9.9 ウイルスの驚異  | *<br>*<br>*<br>*<br>*<br>*<br>-<br>-<br>-<br>-                |
| 第3章 遺伝：生命の連続<br>13節 遺伝の様式<br>遺伝子と染色体                    | 13.1 遺伝と環境<br>13.2 メンデルと対立形質という考え方<br>13.3 遺伝子と染色体<br>探求 ヒトゲノム計画<br>13.4 メンデルの遺伝の法則<br>13.5 対立形質の遺伝<br>13.6 性の決定<br>13.7 複対立遺伝子と中間雑種<br>13.8 遺伝子の連鎖<br>13.9 伴性遺伝<br>13.10 染色体の不分離<br>13.11 多因性の遺伝 | *<br>*<br>*<br>*<br>*<br>*<br>*<br>*<br>*<br>*<br>*<br>-<br>- |
| 14節 その他の遺伝形式<br>遺伝の新しい解釈<br><br>特殊な遺伝の機作                | 14.1 遺伝子機能の理解<br>14.2 細胞質遺伝<br>14.3 遺伝的インプリンティング<br>14.4 エピスタシア<br>探求 医療とミトコンドリア<br>14.5 遺伝子診断<br>14.6 転移因子   | *<br>*<br>-<br>*<br>-<br>-<br>-                               |
| 15節 分子遺伝学の進歩<br>ゲノムの学習<br><br>分子遺伝学の応用と問題               | 15.1 ゲノムプロジェクト<br>15.2 機能的なゲノム学<br>15.3 遺伝子工学<br>技術 PCR<br>15.4 突然変異とDNAの修復<br>15.5 遺伝病と遺伝子治療<br>15.6 ELSI  | -<br>-<br>*<br>*<br>-<br>-<br>-                               |
| 16節 集団遺伝学<br>集団における遺伝的変異<br><br>遺伝子プールの変化               | 16.1 集団と遺伝子プール<br>16.2 遺伝的変異<br>16.3 ハーディ・ワインベルグの法則<br>16.4 大集団における小進化<br>16.5 小集団における小進化<br>16.6 量的特性<br>探求 量的形質遺伝子座(QTL)解析  | *<br>*<br>*<br>*<br>*<br>-<br>-                               |

※ 国内教科書での扱い \*有 -無

<sup>5</sup> A Molecular Approach p. iv -vii

社会的な問題についても配慮されている。例えば、13.10「染色体不分離 (Nondisjunction)」(資料1)では、減数分裂時における染色体不分離の機作について説明している。また、ヒトの性染色体不分離に起因するターナー症やクラインフェルター症、常染色体不分離のダウン症などが紹介されている。さらに、妊娠年齢と発症率の関係や出生前診断等、医学的な所見にまで言及している。このような扱いは国内の教科書では見られないものである。しかし、日本でも、最近では高齢妊娠が増加傾向にあり、高齢妊娠を適応とする胎児染色体異常の検査例数が急増している<sup>6</sup>ことを考慮すれば、細胞や染色体の機作と染色体異常との関係を正しく認識する機会が必要である。

13.11「多因性の遺伝 (Multigene Traits)」(同1)では、ヒトの伸長、体重、眼の色、肌の色などには、複数の遺伝子が関係し、環境との相互作用により顕現することが記されている。ヒトの遺伝では多因性のものが単一性よりも多く、高血圧や糖尿病、精神疾患などもまた多因性の遺伝性疾患の一部であるとされている。国内の教科書では多因性の遺伝に関する扱いは乏しく、多因性という概念そのものが育まれないため、遺伝子決定論や遺伝子差別的な考えに陥りやすいという懸念がある<sup>7</sup>。正しい概念を理解し、遺伝病への罹りやすさは誰もが持つということを認識することが重要である。

14.5「遺伝子診断 (Genetic Anticipation)」(資料2)では、遺伝病の遺伝子診断が扱われている。ここでは、重篤な遺伝性疾患であるハンチントン病が紹介され、家系図と分子遺伝学的所見(第4染色体上のトリヌクレオチドのリピート伸長)について説明される。また、脆弱X症候群、筋ジストロフィーと併せてリピート伸長と表現頻度の相関が示されている。さらに、遺伝子診断の倫理的問題についても言及しており、遺伝病に対する適切な理解と併せて遺伝子技術がもたらす社会的影響について配慮することが求められている。こうした内容は、遺伝病の扱いに消極的な国内教科書では見られないものである。しかし、遺伝病や遺伝子診断に対する誤解や偏見を払拭するためには、正確な情報を積極的に提供していくことが肝要である。

第三に、ヒトゲノムプロジェクトの内容を含む最新の分子遺伝学の内容が反映されている。また分子遺伝学の進歩がもたらす倫理的な問題についても言及している。

15.1「ゲノムプロジェクト (Genome Project)」(資料3)では、ヒトゲノムプロジェクトについて、マップ化されたヒト染色体を提示しながら概観している。さらに、15.2「機能的なゲノム学 (Functional Genomics)」や15.6「倫理的、法的、社会的課題 (Ethical, Legal, and Social Issue)」では、ヒトゲノムプロジェクトの成果やELSIの問題にまで言及している。日本でも「生物II」の教科書において、ヒトゲノムプロジェクトの内容が触れられているが、数行程度の解説に過ぎず、内容にまで踏み込んだ扱いとはなっていない。

また、序章P.3「成長ホルモン：新たな医薬、新たな問題 (Growth Hormone : New Solution, New Problem)」(資料4)では、ヒト成長ホルモンを例に遺伝子工学がもたらす恩恵と新たな倫理的、社会的問題について言及している。ここでは、遺伝子技術(組換えDNA)によって生産されるヒト成長ホルモンが低伸長症の治療へ有効であることを紹介するとともに、治療を超えた利用(エンハンスメント)に対する倫理的、社会的問題を提起している。現在、アメリカでは医療技術の治療を超えた利用に対する議論が高まっており、公共政策の在り方が問われている<sup>8</sup>。A *Molecular Approach*では、こうした背景をも反映させながら、生徒が将来、社会生活を送る上で必要な生物学の基礎知識を幅広く身につけることを目的としている。

以上のように、A *Molecular Approach*の遺伝学分野では、プログラムの構成及び内容において、国内の教科書とは大きな隔たりがみられる。A *Molecular Approach*では分子生物学の視点から遺伝学の基礎的知識を習得しながら、ヒトの遺伝や遺伝子工学による成果、さらには遺伝学の進歩がもた

<sup>6</sup> Division of Clinical and Molecular Genetics (HP) <http://genetopia.md.shinshu-u.ac.jp/>

<sup>7</sup> 青野由利「遺伝」60巻, 1号, 2006年, 22頁

<sup>8</sup> レオン・R・カス, 倉持武訳『治療を超えて—バイオテクノロジーと幸福の追求』大統領生命倫理評議会報告書

らず倫理的、社会的な問題にまで踏み込んで扱われている。その目指すところは市民のゲノムリテラシーの向上であり、生命科学技術のもたらす光と影について、専門家も市民も共有しなくてはならないという基本姿勢である。

## 2 Basic Genetics : A Human approach 3<sup>rd</sup> Edにおけるヒトの遺伝の指導

### (1) 指導の目標

*Basic Genetics : A Human approach 3<sup>rd</sup> Ed* (以下、*Basic Genetics* と略記) はヒトの遺伝を中心に構成された、遺伝学の専門プログラムである。BSCS では、遺伝学の領域以外にも特徴的なプログラムを複数開発しているが、教科書検定制度のある日本では、こうした専門領域に特化したプログラムの存在は皆無である。本プログラムの特徴は、遺伝学の知識内容理解と同時に、科学的な問題の解決及び倫理的、社会的問題に対する意思決定スキルの育成を目的としている点にある。

学習形態は、遺伝の基礎的内容を学習した後、医療倫理のケーススタディ、遺伝子診断、遺伝子工学、分子遺伝学等、より専門的な内容を選択して学習できるよう構成されている。各章とも討論やグループワーク、実験等の活動が中心に展開される。

本プログラムの特徴的な点について、教師用指導書には以下のように述べられている<sup>9</sup>。

- ① 歴史的な遺伝学よりも、現代科学に基づく遺伝現象について、ヒトを中心に扱う<sup>10</sup>。
- ② 遺伝学の進展に伴う、倫理的、法的、社会的課題 (ELSI) を包含する。また、それらの課題について、個人、家族、社会的な立場での意思決定を行う。
- ③ 校外施設の利用や講師招請など、外的資源を積極的に活用する。

表2 *Basic Genetics* の活動内容と配当時間<sup>11</sup>

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 1 開始にあたって                    |     |
| ・ 前途を考える                     | 1   |
| ・ なぜヒトの遺伝学を学ぶのか              | 1   |
| ・ 家族：嚢胞性繊維症と共に生きる            | 4-5 |
| 2 論説                         |     |
| ・ ヒトの変異                      | 1   |
| 3 評論：困難な選択                   |     |
| ・ 倫理的な問題について考える／遺伝学のケーススタディ  | 2-3 |
| 4 ニュースの中から                   |     |
| ・ スペシャルオリンピックの勝者ロバート・バンデンバーク | 1   |
| ・ ヒトの染色体研究／染色体のカウントダウン       | 2   |

<sup>9</sup> *Basic Genetics Teacher's Guide* p.8-9

<sup>10</sup> BSCS では、ヒトと医療の遺伝をプログラムの開発にあたり、アメリカ全土とカナダで高校生、大学生と高校教員を対象に大規模な調査を行っている。その成果をもとに専門チームを設立により、開発されたプログラムが *Basic Genetics : A Human Approach* (初版 1983 年) である。専門チームは遺伝医学者、遺伝カウンセラー、疫学者、倫理学者、法学者、生物学者、教育学者、高校教員らで構成されている。

調査の概要は以下の文献にまとめられている。調査の方法、内容等は日本国内の遺伝教育の実態を調査する際にも参考となると思われる。

Hickman, Faith M., Manert H. Kennedy, and Joseph D. McNerney. 1978. "Human Genetics Education: Results of BSCS Needs Assessment Surveys." *The American Biology Teacher* 40(5) p285-303

Scriver, Charles R., D.E. Scriver, C. Clow, and M. Shok. 1978. "The Education of Citizens: Human Genetics." *The American Biology Teacher* 40(5) p280-284

<sup>11</sup> *Basic genetics* p.9



|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 5 遺伝子と環境                |     |
| ・ 遺伝、環境それとも両方／いかに見付けだすか | 1-2 |
| ・ 知能、IQそして遺伝            | 1-2 |
| ・ 心臓病の遺伝学               | 1   |
| 6 特集                    |     |
| ・ 出生前診断                 | 2   |
| 7 人々                    |     |
| ・ 遺伝的スクリーニング：予防プログラム    | 1   |
| ・ ベンジャミン・ミラーのスクリーニング    | 1   |
| ・ 無能力者に対する新しい見方         | 1   |
| 8 メンデルの法則の例外            |     |
| ・ 伴性遺伝（X連鎖性遺伝）          | 1   |
| ・ X-不活性化：リオン仮説          | 1   |
| ・ 予測：どの遺伝子が増えているか       | 1   |
| ・ ミトコンドリアの遺伝            | 1-2 |
| ・ 遺伝子とガン：乳ガンと卵巣ガン       | 1-2 |
| 9 未来への展望：遺伝子工学          |     |
| ・ 遺伝子工学者のツール            | 2   |
| ・ RFLPs とは何             | 1-2 |
| ・ 基礎研究における遺伝子技術：進化の定義   | 1-2 |
| ・ ナザニエル・ウーのケース          | 2   |

ここで、成果目標について整理をすると次の三つに大別できる。

- ① 生物学（遺伝学）の基礎知識と理解
- ② 遺伝医学（Medical genetics）の基礎知識と理解
- ③ 遺伝医学の進歩がもたらす倫理的、社会的な問題の認識と意思決定

このように、ヒトの遺伝教育プログラムは、上記の目標が三位一体となって機能することが必要であり、教育の達成には、どの概念も欠かすことはできないものである。

表3 Basic genetics の成果目標<sup>12</sup>

|    |  |
|----|--|
| 1  | 遺伝学の用語を使うことができる（例えば、遺伝子型、染色体不分離、多因性）。        |
| 2  | 単一遺伝の確率について予測する。                             |
| 3  | 遺伝子型と環境との相互作用がもたらす影響について説明する。                |
| 4  | 双子と養子の学習を通じ、遺伝子と環境の影響による決定について説明する。          |
| 5  | メンデル遺伝と非メンデル遺伝を区別する。                         |
| 6  | 伴性遺伝、染色体異常、多因子遺伝病について説明する。                   |
| 7  | 遺伝子、染色体、環境の突然変異と遺伝的変異について説明する。               |
| 8  | 集団における、遺伝子と遺伝子型の頻度を計算する。                     |
| 9  | 家系図を解釈する。                                    |
| 10 | 鎌状赤血球症やテイザクス病、ハンチントン病のような遺伝病と遺伝形式を結びつけて説明する。 |
| 11 | ダウン症のような困難な染色体異常について説明する。                    |
| 12 | 2つの独立した出来事が一緒に起こる確率について計算する。                 |
| 13 | 減数分裂中の染色体の機作に関連した遺伝子の遺伝について作図する。             |
| 14 | 現在可能な、出生前診断の技術について説明する。                      |

- 15 保因者検査と集団検診を区別して、スクリーニングにおけるリスクと便益を明確にする。
- 16 遺伝カウンセリングの目的を述べ、診断法、研究試験、家族史における遺伝カウンセリングの役割について述べる。
- 17 細胞の作用過程における遺伝子の調節について説明する。
- 18 問題ある遺伝病が引き起こす家族への影響について、理解する。
- 19 核型を判断する。
- 20 将来的な遺伝子技術の利用の適、不適についてインフォームドディスカッションに参加する。
- 21 遺伝子治療、RFLPs、DNA 分析のような研究技術について説明する。
- 22 目標と権利と義務を識別し、道徳と倫理、目標と権利と義務が対立する状況について議論する。
- 23 進化と免疫学を研究するための、現代の研究技術の利用について説明する。
- 24 新たな知識と技術力がもたらす、倫理的、法的、社会的問題について述べる。
- 25 社会的な視点に加えて、個人の視点、長期的な視点と短期的な視点における意思決定について分析する。
- 26 ガンや心臓病、精神疾患のような複雑な病気における遺伝子の役割を説明する。
- 27 インプリンティングやトリヌクレオチドの繰り返し伸長のような、非伝統的な遺伝学の機構について説明する。

## (2) 指導の方法

次に、遺伝学の基礎的な知識理解、科学的な問題解決、倫理的、社会的な意思決定のスキルの育成が、どのような方法で行われるのかについて具体的な事例を通じて明らかにする。

### a. 遺伝学の基礎的な知識理解の指導

ここでは、「家族：嚢胞性繊維症と共に生きる (Families: Living with Cystic Fibrosis)」という単元を例として取り上げる。

嚢胞性線維症 (Cystic Fibrosis) は、欧米白人では高頻度に認められる劣性の遺伝病であり、呼吸器疾患とその合併症、膵外分泌不全による発育障害を引き起こす。根本的な治療法はないが、薬剤、栄養管理等による対症療法が可能である<sup>13</sup>。

学習は、嚢胞性線維症の子供を抱えた家族の物語を中心に展開される。その中では嚢胞性線維症の医学的な所見や遺伝病に対する政府や自治体の対応 (医療体制) について紹介されている。また、物語と平行しながら、遺伝の法則、染色体の機作、遺伝子頻度など遺伝学の基礎的な内容を学習していく。さらに、患者家族の抱える社会的問題から、出生前診断等の倫理的問題、遺伝子クローニングといった先端科学の内容まで広範に学習を進めていく。この過程では、遺伝学の基礎知識を確認するための設問や遺伝病の診断技術がもたらす倫理的問題に対する意思決定を場面が設けられている。

本単元の達成目標は以下の通りである。

- ① ヒトの遺伝学に対する知見を広げると共に、遺伝学の科学的知識を深めること。
- ② 嚢胞性線維症のような深刻な健康問題を把握すると共に、ヒトの遺伝病が自然界の一部であることを理解すること。

### b. 科学的な問題解決の指導

ここでは、「遺伝子工学者のツール (Tool of the Genetic Engineer)」という単元を例として取り上げる。本単元は、逆転写酵素により生成したヒト成長ホルモンの遺伝子を、適切な制限酵素を選んでバクテリアのプラスミドに導入し、合成プラスミドを作成するというもので、作業に色付きビーズ

<sup>13</sup> 新川詔夫監修 福嶋義光編集『遺伝カウンセリングマニュアル (第2版)』140 頁

を用いた模擬実験の活動である。生徒はこの過程を通じて、遺伝子組み換えの原理やそこでの酵素の働きについて理解を深めていく。各作業の段階では生徒自身によって、作業の明確化、材料の選択と方法の決定、目的の検証（考察）という3つのステップが踏まれており、遺伝子工学の基礎を踏まえながら、科学的な問題解決のスキルを育成している<sup>14</sup>。

### c. 倫理的な問題に対する意思決定の指導

生命科学と医療の急速な進歩は、人々に恩恵をもたらす一方、従来、普遍的とみなされてきた倫理観、価値判断だけでは十分に対応できない、倫理的な問題を生じさせてきた。単元「小論：困難な選択 (Essay: Hard Choice)」では、鎌状赤血球症やハンチントン病といった遺伝病のスクリーニングや出生前診断に伴って生じる倫理的な問題を題材に、対立する倫理原則を明確にし、意思決定の状況について生徒自身に考えさせることを目標にしている。具体的には以下のような事例が取り上げられている。

スクリーニングで鎌状赤血球症の保因者であることが判明した黒人男性は、健康保険に加入をしようとしています。彼は保険会社が鎌状赤血球症に対してどのような方針を持っているかは知りません。申込書には「遺伝的あるいは家系的な病気を持っていますか」とだけ記されています。彼はどのように回答すべきであろうか。また、あなたが推奨する行動の結果、どのような事態が起こると考えられるか。

ハンチントン病は、一般に35歳から45歳の間に発病する重篤な遺伝病である。染色体マーカーとクローニングにより病因遺伝子が特定され、遺伝子診断によって、ハンチントン病の遺伝子を保持しているかどうか判るようになった一方、治療法は確立されていない。このような状況において、遺伝子情報の扱いは如何にあるべきか。個人の権利を主張して遺伝子診断を希望する人の家族が、その結果を聞くことを拒むような場合、如何にすべきか。出生前診断の結果、胎児が病因遺伝子を保持していると判ったとき、中絶をすべきであろうか。35年以上は生きられるので生むべきであろうか<sup>15</sup>。

ここでは、討論という方法を活用しながら、倫理的問題を対立する原則（目標と権利と義務）<sup>16</sup>に分けて分析し、立場の違いによって様々な意思決定の状況が存在することを生徒に理解させようという試みである<sup>17</sup>。

<sup>14</sup> 本プログラムは第2版より導入されており（第2版では色付きクリップによる作業）、遺伝子組換え実験の模擬実験としては簡便かつ有効なものである。筆者も翻訳し、授業等で実施しているが、その効果は大きい。詳細は以下の文献に詳しい。

丹沢哲郎「遺伝」45巻、8号、1991年、7-8頁

丹沢哲郎「科学教育研究」17巻、2号、1993、60頁

<sup>15</sup> *Basic Genetics* p49-52

<sup>16</sup> ここでは、ジェラルド・ドゥオーキン (Gerald Dworkin) の倫理原則を基本としている。ドゥオーキンの理論では、患者や被検者の保護を目的とした理性あるパターナリズムの正当化が有名であるが、ここでは以下の文献で提唱される三原則を利用して、倫理的な問題を考察している。

Dworkin, Gerald "Analyzing Ethical Problems" *Hard Choices*, A Magazine on the Ethics of Sickness and Health. Boston, Massachusetts: Office of Radio and Television Learning.

また、教師用指導書には参考文献として、ピーチャムとチルドレスの『生命医学倫理 (第3版) (*Principle of Biomedical Ethics 3rd Ed*)』が紹介されており、医療を巡る生命倫理の問題に対し、教師自身が深い知見と背景を持つことが推奨されている。

<sup>17</sup> 本単元の内容の一部は第2版より引き継がれている。第2版における分析は以下の文献に詳しく、本稿でも参考にしている。ただし、第2版では倫理的な問題に対する意思決定が生徒活動の目標であったのに対し、第3版では倫理原則を明確にし、意思決定の状況を把握することが目標となっている。この間、遺伝子技術の更なる進歩で医療を巡る倫理的な問題は一層複雑になってきている。

丹沢哲郎「遺伝」47巻、2号、1993、65頁

丹沢哲郎「科学教育研究」17巻、2号、1993、60頁

### 3 ゲノム時代の遺伝学教育

近年の分子生物学の台頭とヒトゲノム計画の完遂により、「遺伝」の意味は大きく変質した。これまでの遺伝研究では交配実験による表現型を頼りに遺伝型を特定していたのに対し、現在では、解読されたゲノム配列情報を基に表現型と合致させる方向へと変化したからである。また、ゲノム研究の成果に伴い、医療の分野において医療情報や生活情報の再編が進められている<sup>18</sup>。こうした、逆遺伝学 (reverse genetics) の時代にあつては、遺伝教育の概念そのものも見直される必要がある。ゲノムプロジェクトの推進に合わせ、ゲノミクス、プロテオーム、トランスクリプトーム、バイオインフォマティクスなど新しい用語や概念も登場しており、こうした新たな概念と併せて遺伝子情報を巡る ELSI の問題も発生している。このような問題の理解に対しては、DNA の基本構造や遺伝子の機作を中心に置いた分子生物学、生化学からのアプローチが必須であり、旧来からの遺伝現象 (遺伝の法則) 中心の教育だけでは、もはや実社会において適応できないと思われる。

また、ポストゲノムシーケンスの時代には、ヒトの遺伝学の対象も単一遺伝性疾患から、複数の遺伝子と環境が関与する多因性疾患の解明へとシフトしてきている。医療現場からは、未だに遺伝病に関する様々な誤解や偏見があり、問題を深刻にしている現状が報告されているが<sup>19</sup>、誤解を払拭するためには、遺伝病は遺伝子や染色体に起因する病気であること、多因子遺伝子疾患や突然変異を含めれば、万民が罹患しうる可能性のあるということを全ての市民が認識していく必要がある。WHO (世界保健機構) の遺伝医学の指針<sup>20</sup>では「ヒトの生殖と遺伝に関する教育はすべての住民の教育課程に組み込まなければならない」<sup>21</sup>とされており、ヒトの遺伝学の研究成果を提供し、各人が遺伝に対する正しい概念を獲得するよう務めることが学校教育に求められている。

遺伝学の進歩はまた様々な倫理的・社会的な問題を作り出している。ヒトゲノム研究に伴う遺伝子情報の扱いについては、プライバシー保護と遺伝子情報の公正な解釈とその利用という問題が提起された<sup>22</sup>。また、遺伝子診断や出生前診断は受診者側に遺伝子レベルでの正確な情報を提供する一方で、事前に病因遺伝子を保持しているという結果が明確となり、後の受信者の生活への心的影響や胎児の人工妊娠中絶という問題を引き起こしている。また、当事者のみならず、周辺関係者への知る権利や知らされない権利のような倫理的な問題へと波及した。このように遺伝子情報には特異的な性質があり、専門家の説明を受けた個々人が自己決定を行うための基礎知識を持つことが必要となってきている。

以上のような点を考慮すると、ゲノム時代の遺伝教育には、分子生物学の基本的理解、ヒトの遺伝に対する適切な理解、倫理的、社会的問題に対する認識の深化を高めていくことが、重要である。そのためには、教育観や教育制度、社会的背景が異なるにせよ、アメリカなどの先進的な教育プログラムを取り上げ分析とすることは、必須であると考えられる。

謝 辞 本稿作成にあたり、静岡大学教育学部丹沢哲郎教授並びに静岡大学人文学部教授松田純教授に情報提供、助言を賜った。ここに深く感謝の意を表します。

<sup>18</sup> 米本昌平『バイオポリティクス-人体を管理するとはどういうことか』中公新書、46頁

<sup>19</sup> Division of Clinical and Molecular Genetics (HP) <http://genetopia.md.shinshu-u.ac.jp/>

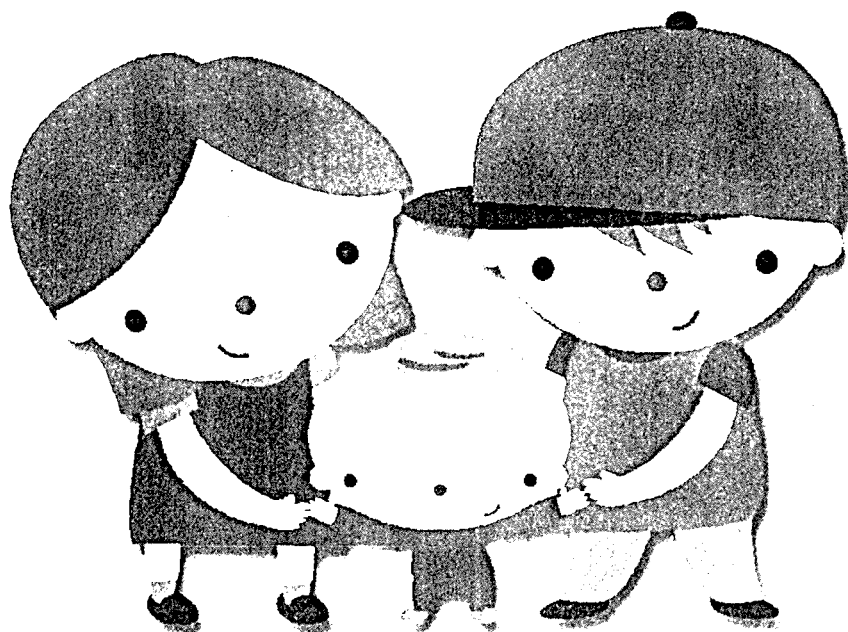
<sup>20</sup> 松田一郎監修、福嶋義光編集「遺伝医学における倫理的諸問題の再検討」遺伝医学セミナー検討委員会、2002年

<sup>21</sup> 池内達郎「遺伝」60巻、1号、2006年、20頁

<sup>22</sup> 米本昌平『バイオポリティクス-人体を管理するとはどういうことか』中公新書、53頁

## 参 考 資 料

# 「遺伝」と「遺伝子」 を正しく知ろう



信州大学医学部 遺伝医学・予防医学講座

信州大学医学部附属病院 遺伝子診療部

## 「遺伝」と「遺伝子」を正しく知ろう について

皆さんは日常の看護業務の中で「遺伝」について考えてみることがありますか。「遺伝」についてどのようなことをご存知でしょうか。最近では医療以外のところでも「遺伝子」とか「DNA」といった言葉を目にすることがありますが、これらが本来どのようなものかどのくらいご存知でしょうか。

私達、信州大学医学部附属病院遺伝子診療部、信州大学医学部遺伝医学・予防医学講座では、ひとりでも多くの方に遺伝について正しく知っていただこうと、さまざまな活動を行っています。2006年には長野県衛生部健康づくり支援課、ならびに長野県内に勤務されている看護職の皆様のご協力をいただいて、遺伝に関する意識、知識のアンケート調査も行いました。

今回、そのアンケート調査の結果をまとめ、遺伝に関するわかりやすい解説を加えたこの冊子を作成いたしました。この資料が、皆様に遺伝についての理解を深めていただくきっかけとなれば幸いです。

なお今回の研究は、厚生労働科学研究費補助金「ゲノムリテラシー向上のための人材育成と教育ツール開発に関する研究」の一環として実施いたしました。結果については報告書に掲載するとともに、関連学会等でも発表し、わが国での遺伝に関する意識向上、よりよい遺伝医療の実現のために活用させていただきたいと考えております。

390-8621 松本市旭 3-1-1

信州大学医学部 遺伝医学・予防医学講座

信州大学医学部附属病院 遺伝子診療部

研究代表者 福嶋 義光

TEL : 0263-37-2618

FAX : 0263-37-2619

<目次>

|                    |    |
|--------------------|----|
| 「遺伝」と「遺伝子」を正しく知ろう  | 1  |
| 「遺伝」               | 2  |
| 「遺伝子」              | 3  |
| 「DNA」              | 4  |
| 「染色体」              | 5  |
| 「ゲノム」              | 7  |
| 「優性遺伝／劣性遺伝」パート1    | 8  |
| 「優性遺伝／劣性遺伝」パート2    | 9  |
| 「優性遺伝／劣性遺伝」パート3    | 10 |
| 「遺伝性疾患」            | 11 |
| 「遺伝子診断」            | 12 |
| 「発症前診断」            | 13 |
| 「保因者診断」            | 14 |
| 「出生前診断」            | 15 |
| “遺伝情報を知る”ということの特殊性 | 16 |
| 「遺伝カウンセリング」        | 17 |
| 「遺伝看護」             | 18 |
| 「遺伝子診療部」           | 19 |
| 参考文献・ホームページ        | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 長野県内に勤務する看護職者を対象とした<br>— 遺伝に関する意識・知識調査 — | 21 |
|--|----|



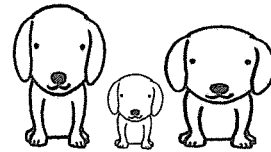
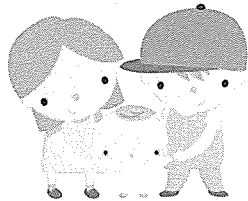
---

「遺伝」と「遺伝子」を正しく知ろう

## 「遺 伝」

- ・ 「遺伝する」とは…親の特徴が子どもに受け継がれることを言います。
- ・ イヌの子はイヌ，トンビはタカを産みません…。ヒトの子はヒトなのです。
- ・ 親の特徴を『設計図』として考えてみると，子どもは父親からと，母親からの 2 組の『設計図』を持って生まれます。
- ・ つまり，私たちがヒトとして生まれてきたのは，両親からヒトの『設計図』を受け継いだからです。

### いろんな親子



- ・ では，この生命の『設計図』とは，一体何でしょうか？？
- ・ ・ ・ 答えは，「**遺伝子**」です。
- ・ ヒトの体の特徴には遺伝子で決まるものと，遺伝子だけでは決まらないものがあります。
- ・ 例えば性別，血液型や生まれた時の髪の色（黒髪，金髪など）は遺伝子で決まります。
- ・ 身長，体格，血圧などはある程度遺伝子に影響されますが（両親が長身の子は平均的に背が高い），栄養や運動などの生活習慣も大きく影響してきます。

## 「遺伝子」

- ・ 体の設計図である遺伝子には、どのような役目があるのでしょうか？
- ・ 遺伝子には「タンパク質のつくり方」が書いてあります。
- ・ …タンパク質というと、お肉やお豆腐を思い浮かべる方もいるかと思いますが、ヒトの皮膚や内臓、酵素、抗体など、ヒトの体のほとんどがタンパク質でできています。
- ・ 父親と母親から1組ずつ受け継いだ『設計図』（遺伝子）にしたがって、1個の受精卵から体のさまざまな部分が作られていきます。
- ・ では、遺伝子の実体はなんでしょう？
- ・ 遺伝子は、二重らせん構造をした「DNA」の一部です。

あ！これ、どこかで見たことあるぞ。



DNA



簡単に示すと…

- ・ DNAのうち遺伝子として働いているのは、3~5%といわれています。
- ・ 遺伝子はDNA上に散在していて、遺伝子と遺伝子の間の部分にも、何らかの働きがあるといわれています。

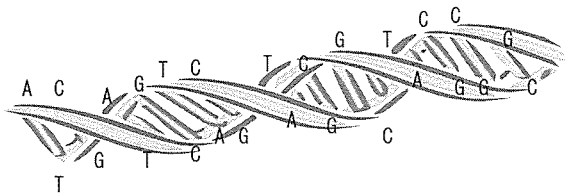
DNA 



じゃあ、DNAは何からできているの？

# 「DNA」

- 二重らせんの DNA には、A (アデニン)、T (チミン)、G (グアニン)、C (シトシン) という 4 種類の塩基が 1 対ずつ向かい合って並んでいます。これを塩基対といいます。遺伝情報を構成する単位です。
- DNA には遺伝情報が 4 つの文字 (塩基) の配列で記されています。

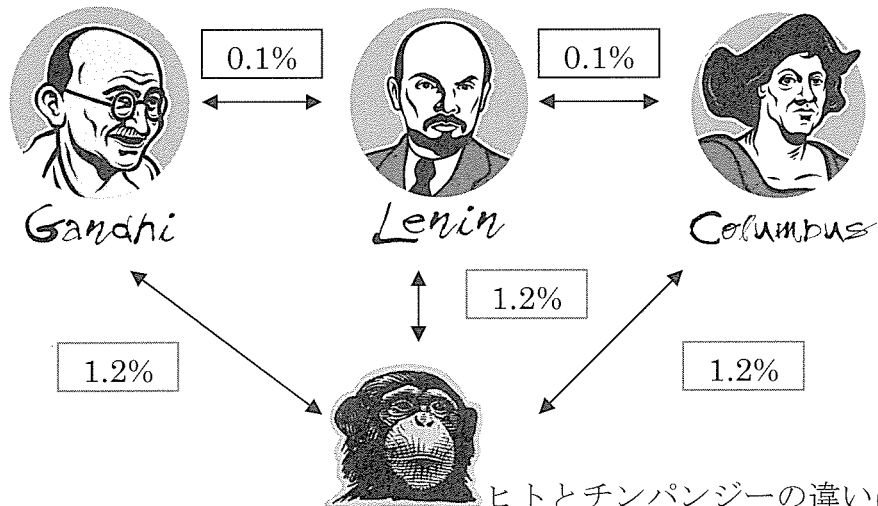


ハシゴみた  
いだね。



- 文字の配列はヒトどうしを比べるとごくわずかずつ異なっています。では、DNA に書かれた遺伝情報はどれくらい個人差があるのでしょうか？

・・・答えは **0.1%** です。



ヒトとチンパンジーの違いは約 1.2%.

- この 0.1% の DNA の違い (1000 個に 1 個の塩基の違い) が、体質的な個人差をつくっています。
- 体質的な個人差とは…
  - \* 病気になる・ならない
  - \* 病気になりやすい・なりにくい
  - \* 運動で筋肉がつきやすい・つきにくい などさまざま

体質的な個人差については、<ひとくちメモ 2>もお読みください