

東京農工大学遺伝子実験施設
第19回「学校教員のための遺伝子組換え実験教育研修会」

遺伝子リテラシー教育と米国の教育教材



2019年7月25日
おおう みちえい
大藤 道衛

1

トピックス

1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育
2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材
3. 身近になったPCRと遺伝子解析
4. 遺伝用語の改定について

遺伝子リテラシー教育

- ・遺伝子 (gene)、遺伝 (heredity) の違い
- ・遺伝子は、タンパク質設計図
- ・個人遺伝情報とはDNAの塩基配列
- ・遺伝子は化学物質、その配列は情報
ゲノム科学⇒情報科学
個人遺伝情報⇒保護されるべき情報
- ・バイオ技術がもつベネフィットとリスク

実験や体験を通じて学ぶ生命科学教育

生命科学→実験に基づいた科学
仮説を立てて実験(対照との比較)で検証

遺伝子/ゲノムリテラシー教育と
Public understanding (市民の理解)

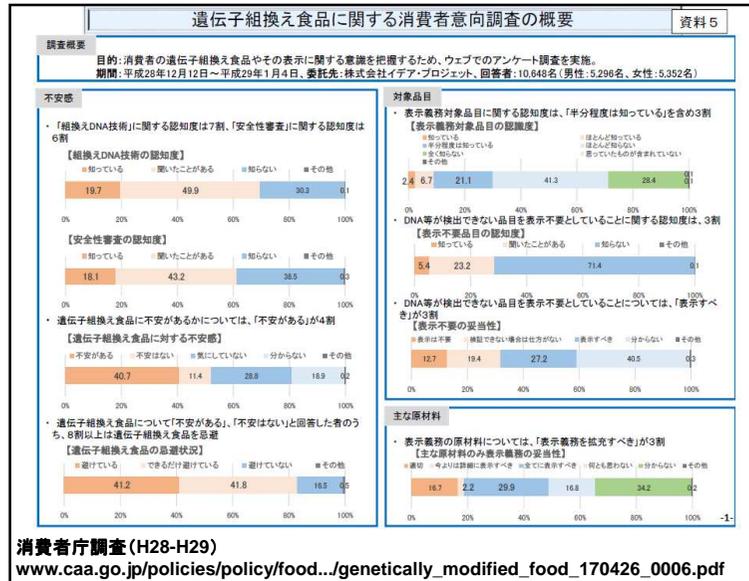
生命科学・バイオに関する記事や情報が溢れている。
ゲノム医療、DTC(消費者直結型)遺伝子検査、GM作物ゲノム編集作物など生命科学は、たいへん身近になっている。

「知らないため、解らないため起こる無用な不安」

- ・生命科学やバイオ技術を知ること、情報を取捨選択し
医療や食品選択の意思決定の基となる教養

意思決定: 科学的根拠/*感覚的根拠

*情動的、感情的、emotional



遺伝子/ゲノムリテラシー教育

初等・中等教育機関
 生物系以外の高等教育(大学学部)
 市民教育(博物館等)



生命科学の教養を持つ市民

生命科学分野の人材

遺伝子リテラシー教育、生命科学リテラシー教育、バイオリテラシー教育などが同じような概念で使われることがある。

トピックス

1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育
2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材
3. 身近になったPCRと遺伝子解析
4. 遺伝用語の改定について

米国高校(特に西海岸)における遺伝子リテラシー教育の歴史

1970年代後半 生命科学がバイオ技術を通じ産業に発展(バイオベンチャー)

1980年代前半 教育レベルの生物学と生命科学のギャップを埋めるカリキュラム
 草の根的に発展(高校教員)

1985年～ 研究者と高校教員による共同カリキュラム、大学での高校教員の遺伝子教育トレーニング(Stanford 大学などで、生命科学のAPプログラム)

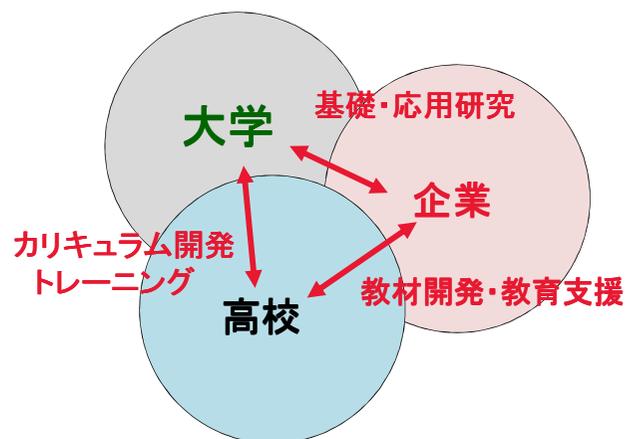
1990年 初の“DNA SCIENCE”教科書
 教育目的実験は、NIHガイドラインと無関係

クリントン大統領

1995年 DNA SCIENCEが 21世紀はBT & IT
 National Science Education Standard (NSES)に掲載
 (K11, 12'にて実施)充実した生物学教科書多数出版、遺伝子教育教材多数開発

*高校2-3年生に相当

大学・企業・高校の連携(米国1980年代)



9

BABEC (Bay area biotechnology education consortium)

大学・企業・高等学校の連携(1996年設立)
 教員・高校生向けワークショップの実施、教材やリソースの提供

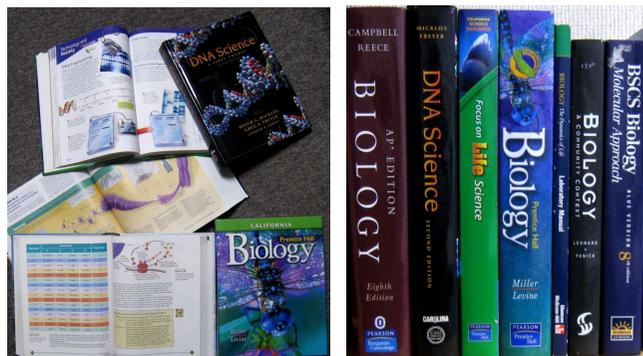
BABEC <http://www.babec.org/>
 BAY AREA BIOSCIENCE EDUCATION COMMUNITY



サンフランシスコ湾岸地区



米国高校生物学教科書



分子生物学含む遺伝について: ~20%
 ヒト生物学、実験、ストーリー性
 Advanced placement (AP) Biology

11

米国高等学校における遺伝子実験授業

実施学年: 主にK11, 12
 (National Science Education Standard)
 Regular, Advanced Placement (AP)

遺伝子組換え実験:
 大腸菌K12株を用いるような教育レベルの実験は、NIH
 ガイドラインの除外事項でありどこでも実施可能

ヒトゲノムDNAを用いた実験:
 倫理的問題に関わらない範囲で実施可能
 病気に関する遺伝子は用いない
 表現型に関わる遺伝子は用いない
 親子鑑定や民族の違いに関わるDNA配列は用いない

12

The Involvement of Genome Researchers in High School Science Education

Maureen Munn,^{1,6} Peggy O'Neill Skinner,² Lane Conn,³ H. Geraldine Horsma,⁴ and Paula Gregory⁵

¹Department of Molecular Biotechnology, University of Washington, Seattle, Washington 98195 USA; ²The Bush School, Seattle, Washington 98112 USA; ³Stanford DNA Sequencing and Technology Center, Stanford University, Palo Alto, California 94304 USA; ⁴Henry M. Gunn High School, Palo Alto, California 94306 USA; ⁵Human Cancer Genetics Division, Ohio State University, Columbus, Ohio 43210 USA



Genome Res.9, 597-607 (1999)



Figure 1 High school students participate in authentic research projects. (A) Through a project developed at the Human Genome Education Program at Stanford University, local high school students participate in an experiment called DNA Siblings—Peeking at your DNA. Students use PCR to amplify DNA from their own cheek cells and examine human relatedness through DNA similarities, in parallel to the process used to help locate lost children from the “City War” in Argentina. Through this compelling human story, students learn DNA basics while exploring issues of privacy, family, and legal issues surrounding DNA typing and its uses.

遺伝子リテラシー教育に向けた教育教材

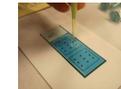
1. 実際のサンプルを用いて、研究現場と同様の実験を行う教材

- ・大腸菌を用いた**遺伝子組換え実験**(**GFP遺伝子**による形質転換など)
- ・食品や作物からのDNA抽出とGM作物由来成分の**PCR検知実験**
- ・ヒト細胞のDNA抽出と**PCR-電気泳動**による遺伝子解析 (味覚受容体遺伝子のSNP、Alu配列など)



2. シミュレーションサンプルを用いた模擬実験を行う教材

- ・模擬検体を用いたDNAシーケンシング
- ・模擬検体を用いたDNA鑑定実験
- ・模擬検体を用いたがん細胞の遺伝子解析 他



3. 実験を含まず、教室でのディスカッションを提供する教材

- ・研究者の講演映像 (DVD、動画のweb配信)
- ・模擬データをもちいた解析 (がん患者カード) 他



pGLOキットとBio-Rad Explorer の開発 **BIO-RAD**

pGLOキットは、1990年代、設備のない高等学校の教室でもすぐに使える教材として、高校教員、大学教員のアイデアにより開発された。(1995年βサイト、1997年発売) その後、分子生物学教材としてシリーズ化された。



Mr. Ron Mardigian (元高校教員、Bio-Rad社社員)
Mr. Kirk Brown (高校生物教員)
Mr. Stan Hitomi (高校生物教員)
Dr. Lane Conn (大学教員) 他



遺伝子工学と実習キットシリーズ Bio-Rad Explorer program

ゲノムDNA抽出

Genes in a Bottle Kit

遺伝子クローニング

Cloning and Sequencing Explorer Series
Secrets of the Rainforest kit

遺伝子解析

- DNA Fingerprinting kit
- PV92 PCR | Informatics kit
- Crime Scene Investigator PCR Basics™ kit
- GMO investigator™ kit
- Lambda DNA kit

遺伝子導入 (形質転換)

pGLO™ Bacterial Transformation kit

遺伝子発現タンパク質

Green Fluorescent Protein Chromatography Kit

タンパク質解析

- Got Protein™ kit
- Comparative Proteomics kit I, II
- ELISA Immuno Explorer™ kit
- Size Exclusion Chromatography kit

STEM教育

- IDEA Kit
- STEM Electrophoresis Kit

トピックス

1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育
2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材
3. 身近になったPCRと遺伝子解析
4. 遺伝用語の改定について

色々なサーマルサイクラー(定性PCR反応装置)

BIO-RAD

T100™ Thermal Cycler
800,000円



ThermoFisher
SCIENTIFIC
ProFlex™ PCR システム, 96-Well
1,340,000円



minipcr

miniPCR
\$650



北海道システム・サイエンス株式会社
Hokkaido System Science Co., Ltd.



PCRくん DuxCycler 248,000円

身近になったPCR

オンサイトでのPCR増幅



Ebola Detection in Makeni, Sierra Leone 2014

<http://www.minipcr.com/news/minipcr-ebola-crisis/>



Ian Goodfellow 教授
(ケンブリッジ大学のウイルス学者)

国際宇宙ステーション (ISS) でPCR増幅



Genes In Space - First DNA amplification by PCR in Space 2016
<https://www.youtube.com/watch?v=hwok8eYXrDk>

Astronaut Tim Peake

家庭でPCR増幅

Daniels family in Chicago



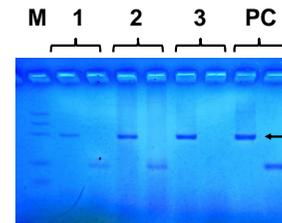
their home DNA copier

<http://www.minipcr.com/wp-content/uploads/minipcr-at-home.pdf>

定性PCR
・オンサイト実験
・教育
で活用。\$650

身近な遺伝子解析(米国)

～食品/食材からのGM配列検出 (GMO investigator kit)～



1. スナック(米国), 2. Rainbowパイパイ, 3. nonGM (陰性検体), PC. 陽性検体

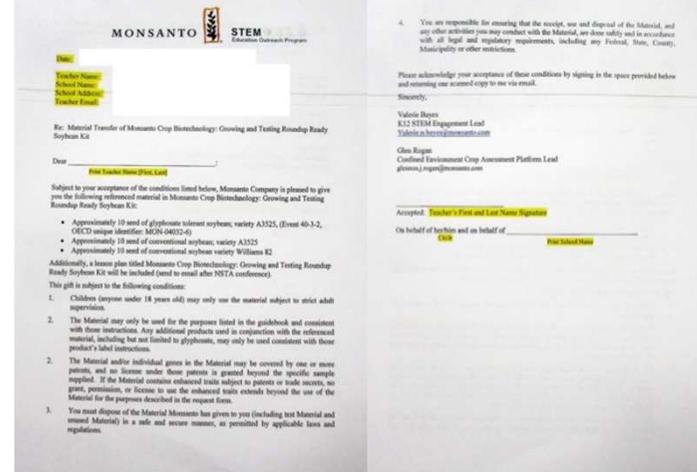
GM作物の栽培と遺伝子解析 Growing and Testing Roundup Ready Soybean Kit

- 育種・遺伝学・遺伝子組換え技術・農業
- GM / nonGM大豆の栽培
- 種/葉からのタンパク質抽出とGMタンパク質の検知(イムノクロマト)
- DNA粗抽出とPCRによるGM遺伝子の検知



21

GM大豆種子の提供契約書(見本)



身近なヒトゲノムDNA多型解析

Science

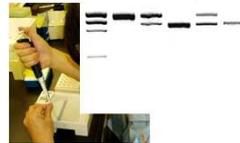


Engineering



PV92 PCR
/informatics kit
STEM教育

Technology



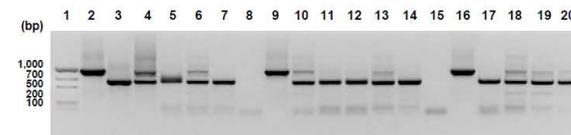
Mathematics

$p=0.375$, $q=0.625$
 $+/+$ $p^2 = 0.14$ (0.25)
 $+/-$ $2pq = 0.47$ (0.25)
 $-/-$ $q^2 = 0.39$ (0.50)

Hardy-Weinbergの法則
 χ^2 乗検定

23

PV92 PCR/informatics kit 染色体16 PV92ローカスのAlu配列挿入多型



ホモ接合体 (+/+) : レーン 2, 9, 16



ヘテロ接合体 (+/-) : レーン 4, 6, 10, 13, 18, 19, 20



ホモ接合体 (-/-) : レーン 3, 5, 7, 11, 12, 14, 17

まとめ

1. 遺伝子リテラシー教育

- ・実験を通じた生命科学を育む教育
- ・教科書の充実、実験教材キットの普及により広まった(米国)。

2. 米国高等学校での遺伝子リテラシー教育と教育教材

- ・pGLOキットは、高校教員、大学教員により共同開発された。
- ・安価なPCR装置の普及により遺伝子解析が身近になった。

参考文献

1. Oto M, Ono M & Kamada H "Gene literacy education in Japan –Fostering public understanding through practice of hands-on laboratory activities in high schools." Plant Biotechnol 23: 339-346 (2006)
2. 笹川由紀, 佐々義子, 大藤道衛, 小野道之「教育目的ヒトゲノム・遺伝子解析実験の普及と実験指針についての検討」生物教育49(2):90-107(2009)
3. 大藤道衛 「米国における実践的な生命科学教育② 全米科学教員協会 (NSTA) と米国の生命科学教育教材」バイオテクニシャン(日本バイオ技術教育学会誌) 24(1) 60-78 (2016)

トピックス

1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育

2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材

3. 身近になったPCRと遺伝子解析

4. 遺伝用語の改定について

ヒトの遺伝子/ゲノム解析の際に必要な概念や用語の整理

日本:

遺伝 (heredity) と 遺伝子 (gene)

米国:

Germline mutation (生殖細胞変異)

- 遺伝性疾患 (家族性腫瘍など) の遺伝する変異
- 遺伝学的検査

Somatic mutation (体細胞変異)

- 散発性のがんの細胞などでみられる個人の変異
- 遺伝子検査

日米ともに似たような誤解が生じる。

27

身近になったヒトの遺伝子/ゲノム用語

□ 個人情報保護法改訂:

平成29年改訂個人情報保護法において

ゲノム情報が個人識別符号の一つとして個人情報となった。

細胞から採取されたデオキシリボ核酸 (別名DNA) を構成する塩基の配列
ゲノムデータ (細胞から採取されたデオキシリボ核酸 (別名DNA) を構成する塩基
の配列を文字列で表記したもの) のうち、

□ 全核ゲノムシーケンスデータ、

□ 全エクソームシーケンスデータ、

□ 全ゲノム一塩基多型 (single nucleotide polymorphism: SNP) データ、

□ 互いに独立な40箇所以上のSNPから構成されるシーケンスデータ、

□ 9座位以上の4塩基単位の繰り返し配列 (short tandem repeat: STR)

等の遺伝型情報により本人を認証することができるようにしたもの

http://www.lifescience.mext.go.jp/files/pdf/n1886_01.pdf より引用改変

大藤補足: NGS解析により非連結匿名化しても個人を特定することを意味している。

NGS: Next Generation Sequencer (次世代シーケンサー)

28

□日本遺伝学会用語改訂

2017年9月11日

英語	旧来の訳語	新たに改訂された訳語
dominant	優性	顕性
recessive	劣性	潜性
haploid	半数体	単数体
allele	対立遺伝子	アレル(対立遺伝子)*
mutation	突然変異	[突然]変異**
variation	変異・彷徨変異	(1)多様性(2)変動 ***
diversity	多様性	(1)多様性(2)分岐 ***
color blindness	色覚異常・色盲	color vision variation 色覚多様性****
centromere	動原体	セントロメア
kinetochore	キネトコア	動原体(キネトコア)*



* 訳語の意味が同じものは()内に片方を記
 ** 省略可能な部分は[]で括弧
 *** 訳語の意味や用法の異なるものは、(1) (2)等を付す
 ****用語改訂というよりは、概念の導入(提唱) 大藤補足: 下線は、日本人類遺伝学会の用語改訂(2009)とほぼ同様
<https://sv117.wadax.ne.jp/~gsj3-jp/revisiointerm.html>

22

優性/顕性、劣性/潜性の扱いについて

□日本遺伝学会2017年用語改訂

英語	旧来の訳語	新たに改訂された訳語
dominant	優性	顕性
recessive	劣性	潜性



□日本人類遺伝学会

顕性・潜性の取扱については慎重な対応＝従来の優性・劣性を用いてもよい。

・日本人類遺伝学会理事長通達(一部抜粋) 2018年2月21日
 「会員の皆様におかれましては、日本医学会の会告にもありますように、遺伝用語の改訂・変更については、当面は慎重な対応をいただけますようお願い申し上げます。」

・日本医学会医学用語管理委員会(一部抜粋) 2018年1月12日
 「用語の変更について、当面慎重なご対応をいただくようお願いする次第です。」

<http://jshg.jp/news/1582/>

23

□日本人類遺伝学会遺伝学用語改訂

2009年9月

英語	これまで	日本語(改定)
1. genetics	遺伝学「意味: 遺伝の科学」	遺伝学「意味: 遺伝と多様性の科学」
2. variation	変異(彷徨変異)	多様性(バリエーション)
3. mutation	突然変異	変異(突然変異)
4. variant	変異体	多様体(バリエアント)
5. mutant	突然変異体	変異体(突然変異体)
6. locus	遺伝子座	座位
7. allele	対立遺伝子	アレル(アリル、アリアル)
8. genotype	遺伝子型	遺伝型

()内は、許容される用語

大藤補足: 青字は、日本遺伝学会の用語改訂(2017)とほぼ同様

<http://jshg.jp/wp-content/uploads/2017/08/d5fdc84ae83d3a9a6627b7ac249e4db0.pdf>

24

高等学校の生物教育における 重要用語の選定について(改訂)

語名	別名・別表記	英語
顕性	優性	dominant
潜性	劣性	recessive
突然変異体	変異体	mutant
アレル	対立遺伝子	allele

令和元年(2019年)7月8日

日本学術会議 基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同 生物科学分科会

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-h190708.pdf>



遺伝子「優性・劣性」"高校教科書では別表現を"日本学術会議
 2019年7月8日 4時55分 NHK
 遺伝子の特徴を示す「優性」や「劣性」という用語について、日本の科学者でつくる「日本学術会議」は、一方が劣っているかのような誤解を与えるとして、今後、高校の教科書では別の表現を使うことを提案する報告書をまとめました。
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20190708/k10011985881000.html>

2019年7月8日NHKおはよう日本

25