東京学芸大学リポジトリ
Tokyo Gakugei University Repository

教科横断的な感染症教育プログラムの開発とその高等学校での実践

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 東京学芸大学教育実践研究推進本部 公開日: 2023-11-24 キーワード (Ja): 感染症, 高等学校生物, 健康教育, 教科横断的教材 キーワード (En): Infectious diseases, High School Biology, Health Education, Cross-curricular teaching materials 作成者: 原田, 和雄, 高橋, 光希, 茗荷, 将史, 小境, 久美子, 竹鼻, ゆかり メールアドレス: 所属: 東京学芸大学, 東京学芸大学, 東京学芸大学, 東京学芸大学 附属高等学校, 東京学芸大学
URL	http://hdl.handle.net/2309/0002000135

東京学芸大学紀要　自然科学系　75：45－61，2023

教科横断的な感染症教育プログラムの開発と その高等学校での実践

原田　和雄*1・高橋　光希*2・茗荷　将史*2・小境　久美子*3・竹鼻　ゆかり*4

生命科学分野

（2023年5月31日受理）

HARADA, K., TAKAHASHI, M., MYOGA, M., KOSAKAI, K. and TAKEHANA, Y.: Development and Practicing in Senior High School of Teaching Materials for Infectious Diseases Education. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 75 : 45–61. (2023)
ISSN 2434–9380

Abstract

The enormous burden that infectious diseases inflict on human society has been well recorded and remains an important social issue. The objective of this study is to develop cross-curricular teaching materials for understanding infectious diseases that builds on Senior High School Biology and Health Education contents. First, academic disciplines related to infectious diseases and their specific contents were organized as a framework for developing teaching materials. Next, lectures that cover various aspects of infectious disease were designed and practiced for 10th grade students. A survey to assess the student's understanding of basic contents related to infectious diseases, and a descriptive questionnaire concerning specific contents of particular interest and what they would like to learn more about was conducted. The student's comments were classified by specific content and typical comments were extracted. Analysis of the comments served to identify contents important for developing cross-curricular teaching materials. In addition, the importance of teaching materials that connect Biology and Health Education, as well as History and Information Literacy education was implicated. It was shown that cross-curricular teaching materials that cover various aspects of infectious diseases are effective in stimulating student's intellectual curiosity and may be useful for a holistic understanding of infectious diseases.

Keywords: Infectious diseases, High School Biology, Health Education, Cross-curricular teaching materials

Department of Life Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要　旨

感染症は有史以来，人間生活に多大な影響を与える社会的課題である。本研究では，生物教育分野と保健教育分野の内容を踏まえた感染症に関する教科横断的な教材の開発を目的とした。まず，感染症に関連する学問領域と取り扱われる具体的な内容について整理した。次に，これらの内容に基づいて感染症について多面的な理解するため

＊1　東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野（184-8501　東京都小金井市貫井北町 4-1-1）
＊2　東京学芸大学 大学院 教育学研究科 修士課程（184-8501　東京都小金井市貫井北町 4-1-1）
＊3　東京学芸大学 附属高等学校（154-0002　東京都世田谷区下馬 4-1-5）
＊4　東京学芸大学 養護教育講座 養護教育分野（184-8501　東京都小金井市貫井北町 4-1-1）

の授業内容をまとめ，高校１年生を対象とした３時間の授業を行った。授業の前後に感染症に関する基本的事項の理解度について回答させるとともに，授業後にその感想，興味を持ったこと，難しかったこと，もっと学びたい内容について自由に記述させた。生徒が記述したこれらの内容を学問領域に基づいたカテゴリーに分類し，これらのカテゴリーに分類した記述をその具体的な内容に基づいて，それぞれいくつかのサブカテゴリー分類した。各サブカテゴリーの記述内容から，感染症について理解する上で重要な学習内容が明確になった。また，保健と生物の担当者が連携した教科横断的な教材の開発の必要性，歴史教育の中で感染症を取り上げることの重要性，感染症を題材とした情報リテラシー教育の可能性などが示された。以上のことから，教科横断的な「感染症教育」の教材は，生徒の知的好奇心を刺激し，総合的な理解に繋がることが期待されることから有用であると考える。

キーワード：感染症，高等学校生物，健康教育，教科横断的教材

Ⅰ，はじめに

感染症は，数多くの病原微生物により引き起こされ，時には歴史に残るような多くの死者をもたらす社会的課題である。19世紀になって，感染症の原因が病原微生物によるものであることがわかり，抗生物質やワクチンによりその治療や予防がある程度可能となった。これにより，感染症を制圧できるのではないかと楽観的に考えられた時期があった。その後，抗生物質耐性菌の出現，ワクチン開発の難しさ，再興感染症やCOVID-19のような新興感染症の出現によりこの認識が誤ったものであることが明白になった（Baker, 2022）。実際，世界の三大感染症と呼ばれるマラリア，結核，エイズによる年間の死者は，それぞれ40万人（WHO, 2018a），150万人（WHO, 2018b），70万人（UNAIDS, 2019）にも及び，麻疹（はしか）は有効なワクチンがあるにも関わらず年間14万人もの死者が発生する（WHO, 2018c）。今後，感染症による死者を減少させ，新興の感染症の出現を防ぎ，出現した場合に効果的に対処するためには，感染症に対する正しい理解が必要である。一方，感染症は自然災害や戦争と比較して「物語性」が乏しいため，記憶に残りにくいと言われている。感染症の記憶が消えないようにするためには，感染症の正体やその影響について人々が正しい情報を共有し，「集団記憶 collective memory」を作ることの重要性が提唱されている（Hershberger, 2020）。

感染症について理解するためには，関連する主に６つの学問領域の内容を関連づけて学習する必要がある（表１）。感染症に関わる学問領域は，個体レベルと集団レベルに分けることができる。個体レベルの研究は，細菌やウイルスの構造とその生活環に関わる「生化学・分子生物学」，生体防御に関わる「免疫学」，ウイ

表１　感染症に関わる学問領域

学問領域	取り扱われる内容	感染症に関連する主な内容（3）
生化学・分子生物学	生体を構成する物質，生体高分子（核酸やタンパク質）の構造と機能を扱う生物科学の一分野	**▲ウイルスの構造**，**▲ウイルスの生活環**（接着，複製，会合，出芽など），ウイルスの進化（変異速度）
免疫学	哺乳類の免疫機構を研究する生物科学の一分野	**自然免疫**，**獲得免疫**，ワクチンの働き，ワクチンの種類（mRNAワクチンを含む）
微生物学	微生物に関する学問領域であり，広義にはウイルス学，細菌学，菌類学，原生動物学などを含むとともに，医学や農学と密接な関係を持つ。	ウイルスや細菌の分類，化学療法（抗生物質など），**ウイルスや細菌が引き起こす感染症の種類**，コッホの４原則
感染症学	感染症を扱う医学の一分野；臨床医学（内科学）・基礎医学（微生物学・免疫学）・社会医学（公衆衛生学・衛生学）などをまたいだ複合的な分野（3）	各感染症の起因微生物，**感染経路（空気感染，飛沫感染，接触感染）**，感染原因，症状治療，感染制御
疫学	人間集団の中で出現する健康関連のいろいろな事象の頻度と分布およびそれらに影響を与える要因を明らかにして，健康関連の諸問題に対する有効な対策樹立に役立てるための科学」（1）	**感染予防（病原体対策，感染経路対策，宿主対策）**，疫学指標（基本再生産数，発病率，ワクチン有効率），感染予測（数理モデル）
公衆衛生学	「地域社会の組織的な努力によって疾病を予防し，寿命延長を図り，身体的ならびに精神的能力を増進するための技術と科学」を扱う学問領域（2）	**感染症成立の３条件：感染源（病因因子），感染経路（環境因子），感受性（宿主因子）**；宿主（ヒト，動物）；潜伏期，保菌者（無症状保菌者，潜伏期保菌者など），流行（地域流行，汎流行）

(1)「はじめて学ぶやさしい疫学（改訂第３版）日本疫学会標準テキスト」（南江堂）を参考にした。
(2)「社会・環境と健康 公衆衛生学2022年版」（医歯薬出版）を参考にした。
(3)「生物基礎」「保健体育」で取り入れられている内容はボールド体（▲は資料集のみ），特別講義で取り上げた内容は下線で示した。

ルスや細菌を取扱う「微生物学」がある。また，細菌やウイルスがもたらす症状は医学の一分野である「感染症学」で扱われる。集団レベルの学問領域として，感染制御が取り扱われる「感染症学」，感染の広がりの頻度や分布とそれに対する対策を扱う「疫学」と「公衆衛生学」が挙げられる。一方，学校教育では，中学校・高等学校の「保健体育」において，感染症の種類とその予防法が扱われている。しかしながら，感染症の原因となる病原微生物がどのように感染し，病気をもたらすかについては扱われていない。高等学校「生物基礎」と「生物」では，免疫とその種類は詳しく扱われている。ウイルスの構造や多様性，その感染・増殖のメカニズムについては資料集で取り上げられているが，教科書での取り扱いは限られている。一方，新型コロナウイルス感染症が世界的な課題となったことに伴い，児童・生徒向けの新型コロナウイルスについて一緒に考えるための小冊子が作成・公開されている（長谷川，2022）。

前述の通り，感染症は多様な学問領域にまたがる学習内容があり，包括的な学びが期待できる。しかしながら，現行の学習指導要領では教科間の関連が示されていない。そこで，本研究では，感染症について様々な観点から総合的に理解するための生物教育分野と保健教育分野の内容を踏まえた教科横断的な教材の開発を目的とした。これらの教材開発とその実践の結果は，感染症に関連する生物，及び，保健の学習内容を関連付け，系統的な学びについて今後に向けて検討するための視座になると考える。

Ⅱ．研究の方法

１．教材開発

ａ．感染症に関わる学問領域の整理

感染症に関する重要な観点を網羅する教材を開発するため，関連する学問領域について整理し，それぞれの学問領域の中で必要と思われる内容について検討した（表１）。表１には，感染症と最も関わりがある「生化学・分子生物学」，「免疫学」，「微生物学」，「感染症学」，「疫学」，「公衆衛生学」の６つの学問領域で【取り扱われる内容】，及び，【感染症に関連する主な内容】を記載した。【感染症に関連する主な内容】を網羅することにより，感染症に関する総合的な理解が可能になると考えた。

表１の【感染症に関連する主な内容】の中で，生物教育分野（「生物基礎」）もしくは，保健教育分野（「保健体育」）で取り扱われている内容はボールド体で示し，取り扱っているが感染症を理解する上で不十分と考えられる場合は「▲」で表した。感染症に関する講義は，これらの感染症に関連する内容を広く取り上げ，総合的な理解を可能とすることを目的とした。

ｂ．授業の内容

感染症に関する講義は，３時限（１時限，50分）に分けて行った（表２，付録：講義資料の抜粋）。講義で取り上げた内容は，表１の「感染症に関連する主な内容」の該当項目に下線で示した。講義では，時間的な制約のため，「生物基礎」と「保健体育」で取り扱っていない内容（表１のボールド体以外）を中心に取り上げ，既習の内容は必要に応じて簡単に触れた。これにより，感染症を理解するための重要な観点を網羅できるようにした。

講義１では，感染症について学ぶことの重要性について，微生物学の発展の歴史を通して理解することを目的とした。まず，代表的な感染症[1)]について簡単

表２　講義の内容

講義１
１－１．代表的な感染症
１－２．なぜ感染症教育が重要か？
１－３．微生物学の発展
・病原微生物の発見とコッホの４原則
・感染症の制御に向けた研究
・抗生物質と薬剤耐性
・ウイルスの発見
１－４．ウイルスの構造とその生活環（HIVウイルスを例として）

講義２
２－１．新型コロナウイルス
・ウイルスが流行を引き起こす潜在能力
・新型コロナウイルスの懸念される変異株
・アルファ株の感染性の増大のメカニズム
・なぜ新しいコロナウイルス変異株が出現し続けるのか？ウイルスの変異速度と感染者におけるウイルス量の多さ
・WHOがワクチン格差懸念「大流行終わらせるカギ」
２－２．（演習）エクセルによる数理モデル

講義３
３－１．インフルエンザウイルス
・インフルエンザウイルスの構造と生活環
・インフルエンザウイルスのスパイクタンパク質の抗原性の違いによるサブタイプ
・抗原ドリフトによる季節性の流行と抗原シフトによる大流行のメカニズム
３－２．ワクチン
・ワクチンの種類
・ワクチンによって予防できる感染症の種類
・ワクチン開発に要する時間
・ワクチンの効果や持続時間はウイルスの種類により異なる
３－３．新興感染症出現のメカニズムとその予防
・人獣共通感染症（Zoonoses）
・新興ウイルス感染症出現の概念的な枠組み
・感染動態による新興ウイルス出現の３つのステージ
・新興ウイルス感染症の出現を防ぐためには？
３－４．日本古典から見た感染症

に紹介したのちに，世界の三大感染病の年間死者数が依然として多いこと，新興の感染症の出現頻度が増していること（Baker, 2022），感染症が自然災害や戦争と比較して記憶に残りにくいこと（Hershberger, 2020; キャンベル，2021）について説明した（付録1–3）。次に，微生物学の発展について，パスツールの「自然発生説」の否定と病原微生物の発見とコッホの４原則について，続いて，ウイルスの発見（タバコモザイクウイルス）について解説した（付録5–7, 9）[2]。感染症の制御に向けた研究として，フレミングによるペニシリンの発見による細菌性感染症治療の飛躍的な発展について説明した（付録８）。しかしながら，抗生物質耐性菌の出現により新しい抗生物質を開発し続けなければならない現在の状況について[3]，そして，この状況がルイス・キャロルの小説「鏡の国のアリス」に登場する「赤の女王」のセリフ「その場にとどまるためには，全力で走り続けなければならない」ことの比喩として用いられること[4]を説明した。最後に，ウイルスとは何かについて理解してもらうため，代表的なウイルスとしてヒト免疫不全症ウイルス（HIV）の構造と生活環（感染と増殖のサイクル）について説明した（図１）。また，HIVの生活環の理解を容易にするため，YouTubeの動画（英語版）を用いた（付録10–14）[5]。

講義２では，新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の感染性やその進化，および，その感染制御に関連する内容を理解することを目的とした。まず，COVID-19の大流行（パンデミック）について，インフルエンザウイルスのパンデミック（「スペイン風邪」など），コロナウイルスによるSARS（2003年）とMERS（2012年）の流行と比較した。次に，ウイルスが流行（エピデミックやパンデミック）を引き起こす能力の目安となる基本再生産数（R_0）と致死率の関係について，

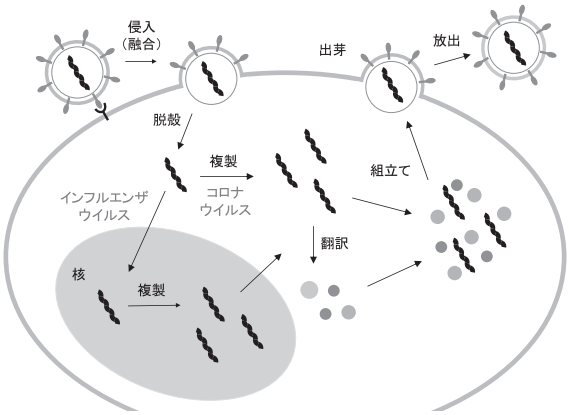


図１　ウイルスの生活環（インフルエンザウイルスとコロナウイルスを例として）

様々なウイルスによる感染症を例に説明した（図２）（Hay, 2013）（付録15）[6]。さらに，SARS-CoV-2の2022年２月時点の懸念される変異株（アルファやデルタ）の性質について説明し[7]，変異株における感染性の増大のメカニズム[8]となぜ新型ウイルスが出現し続けるのかウイルスの進化の観点から解説した（付録16–18）[9]。また，WHOはワクチン接種が進まない国々で新たな変異株の出現することが懸念され，ワクチン格差の解消が「大流行終わらせるカギ」としていることも紹介した（付録19）[10]。講義の残り30分は，エクセルを用いた数理モデルによる基本再生産数（R_0），ワクチン接種率，接触削減を考慮した感染者数の推移のシミュレーションを行った（高橋，2023）。

講義３では，再興感染症や新興感染症への対応について，免疫学や感染症学を通して理解することを目的とした。まず，インフルエンザウイルスの毎年の流行の原因の一つである抗原ドリフト，および，大パンデミックの原因となる抗原シフトのメカニズムについて解説した[11]。インフルエンザウイルスの感染性は，エンベロープ（スパイク）タンパク質である赤血球凝集素（HA）の感染細胞表面の受容体との結合によりものであり，HAタンパク質に結合する抗体により中和される。HAタンパク質の変異（抗原ドリフト）により，従来のワクチンにより産生される抗体との結合が弱くなるため，毎年予防接種を行う必要があることを説明した[12]。パンデミックの原因となる抗原シフトは，インフルエンザウイルスのゲノムRNAが８つの断片からなり，ヒトが家畜（ブタやトリ）と接触することにより，ヒトとブタやトリインフルエンザのゲノムRNAが混ざり合ったスペイン風邪（2018年，H1N1）やアジア風邪（1957年，H2N2）が生まれ，大流行を引き起こしてきたことについて説明した（付録20）。ワクチンについては，その種類（mRNAワクチンも含めて）（付録21）[13]，従来のワクチン開発に要する時間が10年程度であること[14]，ワクチンによって予防できる感染症はたった25種類であり，ヒトに病気を引き起こす感染症の一部であること[15]，感染症によるワクチンの効力と持続性の違いについて（インフルエンザとはしかを例として）[16]解説した。新興感染症の多くは，動物由来の人獣共通感染症（Zoonoses）であり（山田，2004）[17]，SARS CoV-2はコウモリ由来であることを説明した（Streicker, 2020）（付録22）。また，新興ウイルス感染症出現の概念的な考え方について，基本再生産数などの疫学指標（Woolhouse, 2016），環境因子の観点（Morse, 2012）から解説した。そして，新興感染症の出現を防ぐためには（Woolhouse,

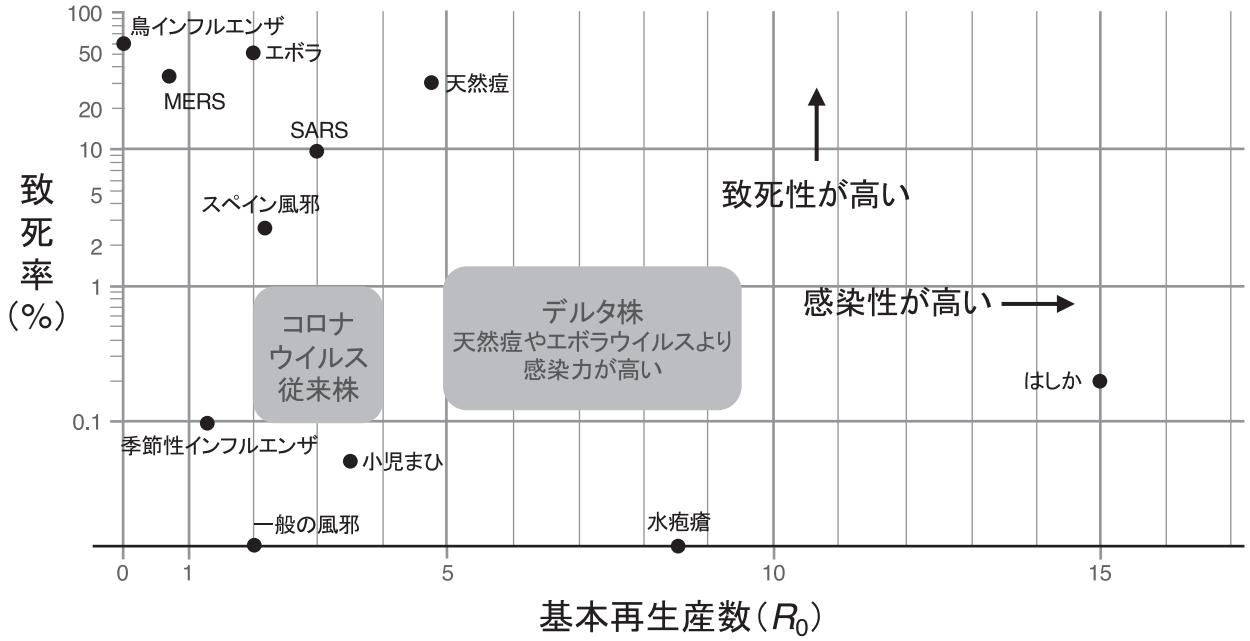


図２　代表的なウイルス感染症の基本再生産数（R_0）と平均致死率（%）（註７より抜粋・改変）

2012），人間の自然地域への侵入，国際移動や都市化などの環境因子（Wu, 2017）とともに，感染症の種間の移動などの生物学的要因（Olivar, 2017; Guth, 2019）について理解し，効果的な監視体制を構築する必要があることについて話した（付録23）。最後に，日本人の感染症との関わりの歴史や日本人の暮らしの中の「三密回避」について紹介し（付録24），歴史的な視点の重要性について説明した（キャンベル，2021）。

２．授業実践とその評価

ａ．高等学校での実践

日時：令和４年２月１日（火）５～７時限

場所：A大学附属高等学校

対象：１年生（８クラス），在籍者数315名，授業参加者313名，うちオンライン参加者24名

授業形態：授業者は遠隔によるオンライン（Zoom）講義を行い，生徒は各教室ならびに自宅からオンライン参加で行った。生徒は全員が「生物基礎」と「保健」を履修中であり，感染症に関連する内容は既習済みだった[18]。

ｂ．授業評価の方法

授業評価は，授業前後にGoogle Formsによる自記式質問紙調査を用いて行った（表３）。

１年生315名のうち，オンライン参加24名を含めた授業出席者は313名であった。このうち回答者は，事前が305名，事後が285名であり，事前事後両方ともに回答した270名を有効回答（有効回答率86.3%）とした。

事前調査（以下，事前）は，授業前日に授業担当者から生徒へ一斉にGoogle Formsでの回答を依頼し，授業前までに回答するよう促した。さらに，未回答者を減らすために授業開始時にも回答時間を設けた。事後

表３　感染症と講義に関するアンケート

感染症アンケート（授業前・後）

１．次の項目についてどのくらい理解していますか。あてはまる選択肢にチェックをつけてください。
　１）感染症の種類とそれを引き起こす病原体
　２）薬剤耐性菌
　３）細菌とウイルスの違い
　４）ウイルスがヒトに感染し増殖する方法
　５）基本再生産数や実効再生産数
　６）変異型ウイルスが出現するメカニズム（ウイルス・ゲノムの複製の間違いよる出現）
　７）インフルエンザワクチンを毎年接種する理由
　　選択肢　「とても理解できた」
　　「まあまあ理解できた」
　　「あまり理解できなかった」
　　「ほとんど理解できなかった」
　「とても理解している」と「まあまあ理解している」を選択した場合，どこで知識を得ましたか。選択肢のすべてにチェックをつけてください。
　　ア　授業　　イ　教科書　　ウ　書籍
　　エ　雑誌　　オ　テレビ　　カ　インターネット
　　キ　塾　　ク　その他

感染症アンケート（授業後）

２．授業の感想，興味をもったこと，難しかったことなど，自由に記入してください。
３．感染症でもっと学びたい内容があれば記入してください。

調査（以下，事後）は，授業者が授業終了時にGoogle Formsによる回答を促し，２日後に回答を締め切った。

なお，今回の授業実践は特別講義であることから，学習評価の３つの観点は用いなかった。

c．調査内容

調査内容のうち，事前には，基本的属性として性別，学年を尋ねた。授業内容の学習内容の中で最低限知って欲しい７項目について，事前には各々「・・・について，どのくらい理解していますか」に対し，選択肢として「とても理解している」「まあまあ理解している」「あまり理解していない」「まったく理解していない」の4件法で回答させた。また，「とても理解している」と「まあまあ理解している」を選択した場合，どこで知識を得たか選択させた（表３）。

事後は，事前と同様の７項目について「・・・についてどのくらい理解できたかどうか」に対し，選択肢として「とても理解できた」「まあまあ理解できた」「あまり理解できなかった」「ほとんど理解できなかった」の４件法で回答させた。各選択肢には１点から４点を割り当て，得点が高いほど理解の傾向があるとみなした。

事後は，上記の７項目の理解とともに，「授業の感想，興味を持ったこと，難しかったことなど」ならびに「感染症でもっと学びたい内容」について自由に記述させた。

d．分析方法

授業の理解度を示す事前と事後の７項目は，対応のあるｔ検定により得点を比較した（表４）。有意水準は5%とした。自由記述の分析にあたっては，記述された内容をなるべく生かす形でコード化し，サブカテゴリー，カテゴリーとして分類した。文中では，カテゴリーを【 】，サブカテゴリーを＜ ＞，代表的コードを「」で示した。尚，質的データの真実性と厳密性を確保するために，研究者１人が分析した結果を共同研究者２名が確認した。

e．倫理的配慮

調査にあたっては，事前に高校の教科担当者に調査の趣旨を説明し承諾を得たうえで行った。また，生徒には事前事後ともに，調査用紙に，研究の趣旨ならびに調査は任意であること，匿名性は保持されること，成績には関係しないことを記載した。なお，事前と事後を対応させるため，生徒には，誕生日とクラスを含む5桁の任意のIDを作成して用いるよう指示し匿名性を保った。調査への回答をもって同意したとみなした。

Ⅲ．結果と考察

１．感染症に関するいくつかの内容について授業前と授業後の理解度の評価

授業前後の理解度の平均点と標準偏差を対応のあるｔ検定で比較したところ，全ての項目について事前より事後の方が有意に点が高くなっていた（$p<0.001$）。項目１「感染症の種類とそれを引き起こす病原体」，項目３「細菌とウイルスの違い」，項目４「ウイルスがヒトに感染し増殖する方法」，項目７「インフルエンザワクチンを毎年接種する理由」は，授業前の理解度が比較的高く，授業後の理解度は0.5から0.8ポイント上昇した（表4）。これらの項目について，授業前に「まあまあ理解している」，「とても理解している」と回答した場合，知識を得た情報源について答えさせたところ，授業と教科書が最も多かった（表5）。これらの項目の内容は，「保健」，および，「生物基礎」の教科書では扱われていないので，教師がこれらの内容について補足説明していると考えられる。

一方，項目２「薬剤耐性菌」，項目５「基本再生産数と実効再生産数の違い」，項目６「変異ウイルスが出現するメカニズム」は，授業前の理解度は低く，授業後の理解度は1.0から1.6ポイント上昇した（表４）。これらの質問項目について，授業前に「まあまあ理解している」，「とても理解している」と回答した場合，知識を得た情報源について答えさせたところ，授業，教科書，書籍の他，テレビとインターネットと様々であった。このことから，これらの項目の内容は１，学校では取り上げられていないことが示唆された（表５）。

２．授業に関する自由記述（授業の感想，興味をもっ

表４　質問項目に関する授業前後の理解度の比較（n=270）

質問	質問項目		平均値（標準偏差）	有意確率
1	1 感染症の種類・病原体	前	2.46（0.58）	＜0.001
		後	3.29（0.59）	
2	2 薬剤耐性菌	前	2.03（0.71）	＜0.001
		後	3.07（0.65）	
3	3 細菌とウイルスの違い	前	2.79（0.64）	＜0.001
		後	3.41（0.60）	
4	4 ウイルス感染・増殖	前	2.74（0.58）	＜0.001
		後	3.44（0.59）	
5	5 基本（実効）再生産数	前	1.50（0.68）	＜0.001
		後	3.13（0.72）	
6	6 変異型ウイルス	前	1.98（0.68）	＜0.001
		後	3.17（0.65）	
7	7 インフルエンザワクチン	前	2.91（0.77）	＜0.001
		後	3.44（0.63）	

表５　知識を得た情報源（%）（複数回答可，n=270）

質問項目	授業	教科書	書籍	雑誌	テレビ	ネット	塾	その他
1	40.0	38.9	14.8	4.4	32.2	29.6	1.9	4.4
2	10.0	11.9	7.8	2.2	9.3	8.5	1.5	3.7
3	62.6	47.8	12.6	3.3	20.7	21.5	6.7	6.3
4	63.0	53.0	14.8	3.7	24.4	18.9	3.7	4.4
5	0.7	0.7	0.7	0.4	6.7	4.4	0.0	1.5
6	10.7	7.8	5.9	2.2	10.4	5.9	1.5	1.9
7	38.5	13.7	8.9	2.2	33.0	25.2	2.6	26.3

たこと，難しかったことなど）の内容の整理と分析

生徒のコメントの整理は，記述内容を表１の感染症に関わる６つ学問領域のほか，【歴史学】，【社会学】，【授業の内容と方法】の合計９のカテゴリーに分類した（表６）。それぞれのカテゴリーに分類した記述は，さらにいくつかのサブカテゴリーに分類し，それぞれのサブカテゴリーについて代表的なコードを記載した。これらの代表的コードの中で，感染症に関する教材開発において重要と考えられるものを以下の通り抽出した。

ａ．【生化学・分子生物学】の内容に関するコメント

サブカテゴリー＜ウイルスの構造・生活環＞の代表的コードとして「ウイルスの構造まで詳しく説明していて面白かった」，「ウイルスの増殖の仕組みがとても興味深かった」などのコメントが多く見られた。このことからウイルスの構造やその生活環についてあまり学習していないことがわかった。バクテリオファージ（細菌に感染するウイルス）に関する研究は，遺伝子DNAの発見（ハーシー・チェイスの実験），分子生物学の発展に貢献した。このため，ウイルスの構造とその生活環，タバコモザイクウイルスなどを例としてウイルスの発見について高等学校生物で学習することが生徒の感染症の理解に役立つと考えられる。

＜ウイルスの進化＞では，「変異ウイルスのできるプロセスに興味を持ちました」，「なぜ変異株の感染力が強いのか，今まで知らずに疑問に思っていたことがわかり，すごく面白かった」などのコメントが見られた。新型コロナウイルスのようなRNAウイルスは進化速度が速く（１変異/ゲノム・世代）（Holmes, 2009），感染者におけるウイルス量が多いため，感染性が増大した変異株が出現しやすい。コロナウイルスの場合，感染者一人当たりピーク時に10億から1,000億のウイルス粒子を保菌している（Sender, 2021）。上述のようにウイルスの生活環やその感染経路について学習することにより，新型コロナウイルスの流行では，世界中では壮大な『進化実験』が行われ，それにより懸念される変異株が出現しやすくなっていることを理解されやすくなる。2022年２月時点の懸念される変異株（アルファ株，デルタ株）における感染性の増大は，主にウイルス表面のスパイクタンパク質の変異（アルファ株ではN501Y，デルタ株ではL452R）による感染細胞表面の受容体への結合が強くなるためと考えられている[8]。この時の結合は，「非共有結合性」の結合であり，その強さは解離定数（*Kd*）により表される。このような非共有結合性の結合の強さについて，ヘモグロビンと酸素や酵素と基質との結合を学習する際に定量的に学ぶことが，生体機能において重要なリガンドと受容体との結合を理解する上で有用である。

サブカテゴリー＜インフルエンザの抗原シフト＞では，「人のインフルエンザと鳥のインフルエンザが合体して新たなインフルエンザができるということを初めて知り驚く」というコメントがあった。抗原ドリフトと抗原シフトは，それぞれ，毎年の流行と大流行（スペイン風邪など）と関連する。抗原ドリフトはゲノムRNAが複製される際のコピーミスによるものであり，新型コロナウイルス変異株の出現と同様である。インフルエンザウイルスのゲノムRNAは８つの断片に分断しているため，宿主（ヒト，トリ，ブタなど）が異なる種類のウイルスに二重感染した場合，異なる種類のウイルスのRNAゲノムが混ざり合った「新型」のウイルスが生まれる可能性がある（抗原シフト）。このような「新型」のウイルスが生まれる主な原因はヒトがブタやトリなどの家畜とともに生活しているためであり，大流行に繋がる可能性があることを学習することが重要である。

ｂ．【免疫学】の内容に関するコメント

サブカテゴリー＜ワクチン開発＞の代表的コードとして，「ワクチンの作り方」に興味を持ったこと，ワクチン開発に従来は「10年以上かかることを知り驚いた」こと，「ワクチンの開発がいまだにできていない感染症があることに驚きました」など数多くコメントがあった。＜感染症によるワクチン効果持続期間の

表６　授業に関する自由記述（授業の感想，興味をもったこと，難しかったことなど）の代表的コード

【カテゴリー（学問領域）】	＜サブカテゴリー＞	「代表的コード」
【生化学・分子生物学】	＜ウイルスの構造・生活環＞（17）	「ウイルスの構造まで詳しく説明していて面白かった」「ウイルスの増殖の仕組みがとても興味深く，なんとなくの理解がより良いものとなった」
	＜ウイルスの進化＞（8）	「変異型ウイルスのできるプロセスに興味を持ちました」「世界中がウイルスの進化実験の場なのだという言葉に驚くとともに納得しました」「なぜ変異株が感染力が強いのか，など今まで知らずに疑問に思っていたことがわかり，すごく面白かったです」
	＜インフルエンザの抗原シフト＞（3）	「人のインフルエンザと鳥のインフルエンザが合体して新たなインフルエンザができるということを初めてしり驚く」
	＜ウイルス発見の歴史＞（1）	「ウイルス発見の歴史やそれぞれのウイルスの特徴について知りたいと思った」
【免疫学】	＜ワクチン開発＞（11）	「ウイルスの数と比べて，ワクチンがとても少ないことに驚いた」「ワクチンの開発が未だにできていない感染症があることに驚きました」「ワクチンの作り方に興味を持ちました」
	＜感染症によるワクチン効果持続期間の違い＞（7）	「ワクチンにも，一生効くものから数ヶ月しか効果がもたないものまでさまざまな種類があることがわかってとても面白かった」
	＜mRNAワクチン＞（5）	「新型コロナウイルスのワクチンもmRNAでなければこれほど（10年以上）かかるのかと思い，もしそうであれば感染はなかなか収まらなかっただろうなと感じた」
	＜ワクチンの種類＞（7）	「ワクチンには様々な種類があることは知っていたが，具体的にどのように違うのかは詳しくは知らなかった」
	＜ワクチンの安全性＞（2名）	「ワクチンや薬の副作用・副反応はなぜ起こるのか知りたいです」
【微生物学】	＜薬剤耐性＞（2名）	「今日の授業では薬剤耐性菌についてよく理解できたと思う。抗生物質が何度も変わるのを疑問に思っていたので納得できてよかった」
	＜抗ウイルス薬＞（1名）	「感染の仕方やウイルスの構造なども様々であるウイルスに対する予防策が他のウイルスにも効くとは限らないのはこれが理由なのだと思った」
【感染症学】	＜人獣共通感染症（Zoonoses）＞（2名）	「動物から人に感染するのがとても不思議に思う。違う生き物なのに同じウイルスで苦しめられているというのが愕きだ」
	＜ウイルス感染による後遺症＞（1名）	「ウイルスが体中の全ての受容体と結びついていろいろな副作用を起こしてしまうので，体に異常が出てしまうことがわかった」
	＜ウイルスの感染性と致死性＞（1名）	「インフルエンザに致死率0.1%もあるという事実に驚いた。そして，鳥インフルエンザが61%もの致死率があるということも初めて知った」
	＜ウイルスが流行を引き起こす潜在能力＞（2名）	「インフルエンザウイルスのところで鳥インフルエンザウイルスは人間はかかりにくいと書いてあったので，豚インフルエンザウイルスは人でも普通に感染するとは知らずとても驚きました」
【疫学】	＜基本再生産数＞（4名）	「基本再生産数は聞いたことがあったが，どのようなものかはわかっていなかった。今回，シュミレーションをすることによって，現在流行中の，かかりやすいと言われているオミクロン株が，感染力が高い恐ろしいものだということを改めて感じた」
	＜数理モデル＞（65）	「緊急事態宣言を出しても，接触率が変わらなければ感染者の関係のグラフに変化がなくて，納得した」「特に数理モデルのシュミレーションから，様々な事象が感染者数に関係していることがわかりとても面白かったです」
	＜感染予測＞（10）	「ビックデータを活用し，SNSで使われたワードなどから感染者数の予測が可能であることにとても興味をも持った」
【公衆衛生学】	＜感染経路＞（1）	「なぜこのようなシミュレーション結果などの情報が出されているのに日本における感染がおさまらないのか不思議に感じた」
【歴史学】	＜人間と感染症の歴史＞（11）	「ウイルスや細菌と戦ってきた人類の歴史に興味が湧いた」「感染症にはそれぞれ違った歴史があって，どのウイルスにも日本は多大な影響を受けていることがわかりました」
	＜感染症は記憶に残りにくい＞（3）	「冒頭でお話しされた感染症の記憶は残りにくい，という話が私は一番興味深かったです」「感染症が忘れ去られる理由でストーリー性がないというのはとても納得がいった」
	＜感染症と日本の生活様式＞（8）	「日本が古来から，多湿な気候に合わせて三密を回避するように，一人一膳にするなどの工夫をしていることに納得し，興味をもった」
【社会学】	＜自分や社会への応用，期待，希望＞（13）	「感染症は自分の生活にもとても関わりがあって，まだまだわからないことも多いため，積極的に学んでいきたいと思いました」
	＜メディア情報の理解＞（5）	「今まで自分はコロナのことについてある程度ニュースで情報を得ていたり，今日授業でも触れられていたりしていてわかった気になっていたけれど，実際今日お話を伺ってそんな事はないんだなと実感しました。コロナ禍においてコロナにかからないようにするためにはコロナについてよく知る事がやはり大切だと思うので有意義な時間でした」
【授業の内容と方法】	＜授業の工夫点＞（17）	「図とかグラフを用いた説明だったので専門的なことでイメージしにくいことでも理解しやすくなった」「図も多くあったので苦手意識があった遺伝や型に関する話を理解できることができた」
	＜全般の感想＞（34）	「感染症については多面的な視点で考えることが必要なのだなと思いました」「感染症のメカニズムがよくわかり，危険性も改めて実感することができた」「コロナ禍において日々色々な情報が錯綜する中，正しいことが知れて良かった。少し難しかったが，ワクチンやウイルスの構造など普段知れないことも知ることができた」
	＜内容の難しさ，改善の要望＞（51）	「専門用語が多く，簡単に理解することができなかった」「ウイルスがヒトに感染し，増殖する方法で，色々と複雑な言葉が出てきて完全に理解は難しかった」

違い＞についても，「ワクチンの中にも，免疫の持続期間に違いがあることを知り興味を持った」など数多くのコメントが見られた。このような効果持続時間の違いの原因について不明な点が多く，将来のワクチン開発に関わる重要な内容である[16]。＜mRNAワクチン＞については，「コロナのワクチンは本来ならば考

えられないほどの短い期間でできたのだと分かって驚きました」というコメントがいくつか見られた。このことから，ワクチンなどの免疫に関する内容を扱うことで生徒の興味関心が高まることが示された。

c．【感染症学】の内容に関するコメント

サブカテゴリー＜人獣共通感染症（Zoonoses）＞の代表的コードとして，「動物から人に感染するのがとても不思議に思う」というコメントがあり，これらの内容について学習する機会が必要と考えられた。

d．【疫学】の内容に関するコメント

サブカテゴリー＜基本再生産数＞の代表的コードとして，「基本再生産数は聞いたことがあったが，どのようなものかはわかっていなかった」，「過去の感染症との基本再生産数の違いからコロナがどのような立ち位置にいるのかわかりました」などのコメントがあった。＜数理モデル＞では，「様々な事象が感染者数に関係していることがわかりとても面白かったです」などのコメントが数多く見られた。このことから，疫学の観点を扱うことにより，ニュースや新聞で扱われる内容の理解度が高まる可能性がある。

e．【歴史学】の内容に関するコメント

サブカテゴリー＜人間と感染症の歴史＞では，代表的コードとして「ウイルスや細菌と戦ってきた人類の歴史に興味が湧いた」，「感染症に無機質なイメージを持っていたが，その下で人間が活動していることを実感できた」，「古典や，文化などと結びつけた話を聞き，生物分野に限らない広い視点の説明で面白かった」など多くのコメントがあった。＜感染症は記憶に残りにくい＞については，「感染症が忘れ去られる理由でストーリー性がないというのはとても納得がいった」などいくつかのコメントがあった。＜感染症と日本の生活様式＞について，「日本の生活環境が感染を避けるようなものになっていることがわかり，もっと知りたいと思った」などいくつかコメントがあった。このような歴史的な視点に関する内容について生徒が自ら調べる機会を設けることは，感染症に興味を持つきっかけになる。また，歴史教育のなかで感染症を取り上げることにより，生徒の興味関心が広がることが予想される。

f．【社会学】の内容に関するコメント

サブカテゴリー＜自分や社会への応用，期待，希望＞の代表的コードとして，「感染症は自分の生活にもとても関わりがあって，まだまだわからないことも多いため，積極的に学んでいきたいと思いました」というコメントが見られた。＜メディア情報の理解＞に関する内容として，「ニュースなどで見る内容では理解が不十分であったと強く感じた」，「ウィルスの話は難しく，テレビなどのメディアは難しい部分を解釈して単純化しているから批判されたりするのかなと思った」，「（ウイルスなどの）説明が日本語のものを見たことがないので，日本語ver. もあったらいいな，と思いました」など，様々なコメントがあった。英語版の動画を用いたので，生徒によっては理解が難しかったことが考えらる。今後，情報教育が進むなかで，感染症を題材とした情報リテラシー教育を行える可能性が示された。

g．【授業の内容と方法】の内容に関するコメント

サブカテゴリー＜全般の感想＞の代表的コードとして，「感染症については多面的な視点で考えることが必要なのだなと思いました」，「感染症とはどのようなものかを具体的に知ることができた」，「初めて知ることが多く，とても勉強になりました」，「今まで知っていた知識は本当に最低限のものであったんだなとわかった」，「コロナウイルスが流行している現代において私たちがしっかりと感染症，ウイルスについて知ることは非常に重要であると思っていたため，興味深い授業だった」など，感染症について学ぶ必要性に関するコメントが多く見られた。本研究で作成した多様な学問領域にわたる感染症の教材は，生徒の知的好奇心を多面的に刺激できる可能性が示唆された。

＜内容の難しさ，改善の要望＞では，「専門用語が多く，簡単に理解することができなかった」，「ウイルスがヒトに感染し，増殖する方法で，色々と複雑な言葉が出てきて完全に理解は難しかった」，「ウイルスが体内に侵入して感染を引き起こすまでの流れがとっても難しくていまだによく分からない」，「ウィルスのタンパク質の結合部分による変異の話が難しかった」など，学校教育では学習しない内容が多かったため，十分な理解に至らなかった生徒が一定数いたことがわかった。また，今回の授業では時間的な制約もあって，ウイルス感染症を中心に授業を行なったので，「ウイルスのみならず細菌についてももっと多く触れて話してほしかった」というコメントもあった。今回の講義の実施対象は，大学附属の高等学校一校のみであったので，今後は，多様な高校生に活用可能な教材を工夫する必要がある。

3．授業に関する自由記述（もっと学びたいと思ったこと）の内容の整理と分析

生徒のコメントは，その内容により【感染症の起源とその進化やその予防】，【ワクチン・治療薬開発】，【人間と感染症の歴史】，【感染症学・公衆衛生学】，

【数理モデルを用いたシミュレーション】，【社会学関連】の６つのカテゴリーに分類し，それぞれについて，上記の自由記述「授業の感想，興味をもったこと，難しかったことなど」で見られなかった代表的なコードを中心に抽出した（表７）。

【感染症の起源とその進化やその予防】については，「今後どんな感染症が起こるのか」，「新興ウイルスがどのように発生するのか」など，新興・再興感染症が出現するメカニズムに関して，「新規に起こる感染症への対策」など，新興・再興感染症を防ぐための対策について，「コロナウイルスが終息するのはどのような時なのか」など，新型コロナウイルスの今後について，「人工ウイルスの作成は可能なのか」など様々なコメントがあった。本結果から，未来における感染症の展開について講義することにより，将来の感染症対策について考える機会を与えられることが示された。

【ワクチン・治療薬開発】については，「ワクチン開発」とその歴史について，「HIVウイルスのワクチンはすぐには作れないのにコロナウイルスのワクチンはすぐに作れたことの理由」のほか，抗ウイルス薬の作り方などが見られた。薬学や医学に興味関心をもつ生徒に対しては，進路選択の話題となるため，保健や生物において発展的内容として扱うとよいといえる。

【人間と感染症の歴史】については，「江戸時代以前の感染症対策」など，「日本古来の感染対策」，「歴史・文化的な視点から感染症を捉えてみたい」などのコメントがあった。有史以来，社会的課題でもある感染症対策は，歴史分野においても扱う必要が示された。

表７　感染症でもっと学びたい内容

【感染症の起源とその進化やその予防】（20名）
やはりウイルスは，変異する生き物なのでそれへの対応，普遍的に効果をもたらす薬は，存在するものか，また，開発される見込みは，あるのかを知りたい。
人類に大きな影響を与えるほどの人工ウイルスの作成は可能なのか。
新興ウイルスがどのように発生するのかをもう少し深く知りたいなと思った。
これから新規に起こる感染症への対策について考えたいです。
コロナウイルスが終息するのはどのような時なのか，どのような対策がとられていくべきなのか知りたい。
永久凍土から冷凍保存されたウイルスや細菌が出てくることについて
【ワクチン・治療薬開発】（10名）
ワクチンの作成の歴史をもっと詳しく知りたいと思った。最初に作られたウイルスのワクチンやそれを広めるためにどのようなことを行なったかが気になった。
HIVウイルスのワクチンはすぐには作れないのにコロナウイルスのワクチンはすぐに作れたことの理由などについて知りたい。
HIVウイルス感染による病気を治療する薬のつくりかた
どのような薬がウィルスに効果的なのかより具体的に学んでみたいと感じた。
【人と感染症の歴史】（11名）
江戸時代以前の感染症対策
感染症に対する薬剤の開発の歴史
感染症を歴史から見るという観点が面白かった。そこで，感染症によって人々の生活がどのように変わったのかをもっと深く知りたいと思った。
日本の風土が日本人の考え方に大きな影響を与え，それが感染状況にも大きく関わっていることは非常に興味深かったです。私も，歴史・文化的な視点から感染症を捉えてみたいと思いました。
【感染症学・公衆衛生学に関連する内容】（13名）
世界的に大流行してパンデミックを引き起こした病気の症状をより詳しく学びたいと思った。
細菌感染症の病理学や臨床的な微生物学，薬学について
ウイルスの種類によって体の組織に及ぼす影響の違いを学びたいと思いました。
薬剤耐性菌についてもっと学びたいと思う。（例えば，外側の膜が変異し，薬の成分を受け付けなくなったときに，どのように対応するのか）
ウイルスによって潜伏期間に差があるのは，何の器官（働き）によるものか
体に害をもたらす感染症だけではなく，逆に体に良い影響をもたらす感染症はあるのか気になった。
【数理モデルを用いたシミュレーション】（4名）
コロナだけでなく，様々な感染症をシミュレーションにかけて流行る前から後の流れを見てみたいです。
AIを使った感染症対策
【社会学関連】（3名）
各国の国民性と感染対策，感染者数の関わりが知りたい。
もっと学びたい内容，ではないのですが，このような講義をもっと多くの学校でするべきではないかと思いました。ワクチンへの嫌悪感などは，その中身が分からず，ブラックボックスのようになってしまい，しっかりと国民に理解されていないことが原因ではないかと思います。

【感染症学・公衆衛生学】については，ウイルスや細菌による「病気の症状」「体の組織に及ぼす影響」「潜伏期間の差」など具体的な症状とその原因に関して，「薬剤耐性菌についてもっと学びたい」の他，「飛沫感染」，「皮膚からの直接感染」など，感染経路の違いに関するコメントが見られた。これらの内容については，教科保健で扱われる内容である。そのため，保健と生物の担当者が連携しながら，教科横断的な教材として展開する必要が示された。

【数理モデルを用いたシミュレーション】については，「様々な感染症をシミュレーション」，「AIを使った感染症対策」などがあった。本結果から，数学においても感染症を扱う可能性が示された。

【社会学関連】については，「各国の国民性と感染対策」，感染症が「症状や感染力以上に怖がられるのはなぜか（中略）人間の心理」などがあった。本結果は，公民において市民性教育や人権教育と絡めて扱える可能性が示された。

Ⅳ．おわりに

本結果から，生徒は有益な学びを得たことが示され，生物教育分野と保健教育分野の内容を踏まえながら，より多くの教科で感染症を扱う教科横断的な「感染症教育」のための教材開発の可能性が示された。

本研究の限界と今後の課題として，今回の対象は大学附属高校の1年生であり，実践が一校に限られていた。そのため，今後，多様な高校生にとって理解しやすい教材を開発する必要がある。一方，本結果から，感染症は教科横断的学習を推進するための教材として活用可能であることが示唆された。今後，多くの教科において感染症をどのような目的と内容で扱うかについて，検討し教材開発することが望まれる。

謝辞

本研究の授業実践で協力していただいた東京学芸大学附属高等学校の教員と生徒の皆様に感謝いたします。本研究は，東京学芸大学の広域科学教科教育学研究経費（令和3～4年度）により実施しました。

註

1） 例えば，「最新高等保健体育 改訂版」大修館書店（平成28年2月17日　文部科学省検定済）

2） 例えば，Microbiology, 7th ed., Black, J. G., John Wiley & Sons, Inc.（2008）

3） 厚生労働省 Clinical Reference Center https://amr.ncgm.go.jp/general/1-2-1.htmlを参照した（2023年5月18日閲覧）

4） 例えば，農林水産省 消費・安全局「抗生物質の使用と抗生物質の使用と薬剤耐性菌の発生について―家畜用の抗生物質の見直し―」を参照した https://www.maff.go.jp/j/syouan/johokan/risk_comm/r_kekka_iyaku/h151110/pdf/031110_giji.pdf（2023年5月18日閲覧）

5） HIV Life Cycle, HHMI BioInteractive Video, https://www.youtube.com/watch?v=PlSvywlLuNw（2023年5月18日閲覧）

6） Mandavilli, A., “C.D.C. Internal Report Calls Delta Variant as Contagious as Chickenpox”, NY Times, Published July 30, 2021Updated Sept. 28, 2021, https://www.nytimes.com/2021/07/30/health/covid-cdc-delta-masks.html?referringSource=articleShareからの抜粋（2023年5月18日閲覧）

7） 「新型コロナウイルス感染症（変異株）への対応」厚生労働省 新型コロナウイルス感染症対策推進本部 https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000836424.pdfを参照した（2023年5月18日閲覧）

8） アルファ株の感染性の増大は，スパイク・タンパク質の変異（N501Yなど）によるACE受容体との結合親和性の向上（Tian, 2021; Liu, 2022）；自然免疫の抑制（コロナウイルスOrf9bの過剰発現によるTom70の抑制→インターフェロン合成の抑制）（Thorne, 2021）；デルタ株の感染性の増大（アルファの40％増）は，スパイク・タンパク質のfurin cleavage siteの変異（P681R）による感染性の増大（ウイルス粒子が作られる際に切断が起こり，予め活性化されたpre-activatedウイルスが産生される）（Saito, 2021）。

9） コロナウイルス変異株が出現し続ける二つの要因：1）ウイルスの変異速度が速い（RNAウイルスの場合，1変異/ゲノム・世代）（Holmes, 2009）；2）ウイルス量が多い（コロナウイルスの場合，感染者（ピーク時）一人10億～1,000億のウイルス粒子を保有している（Sender, 2021）

10） WHOがワクチン格差懸念「大流行終わらせるカギ」（産経新聞，2021年12月31日）

11） インフルエンザウイルスは，その表面に突起しているエンベロープ（スパイク）タンパク質である赤血球凝集素（HA）とシアリダーゼ（NA）と結合する抗体の種類により分類され，季節性のインフルエンザはH3N2，2009年のブタインフルエンザはH1N1である。抗原ドリフトは，RNA-dependent RNA polymeraseによる複製の間違いにより抗原シフトは，ヒトとトリやブタのインフルエンザウイルスのゲノムのシャッフリングにより起こる（Levine, 1992）。

12） 毎年予防接種を行う二つ目の理由は，ワクチンの効果が3ヶ月ほどで薄れてしまうためである（Ferdinands, 2017）。

13）mRNAワクチン開発の歴史については，Elie Dolgin“The tangled history of mRNA vaccines”*Nature* 597, 318-324（2021）を参照した。

14）ワクチン開発に要する時間“How Long Will A Vaccine Really Take?”New York Times, April 30th, 2020. https://www.nytimes.com/interactive/2020/04/30/opinion/coronavirus-covid-vaccine.html（2023年５月18日閲覧）

15）ワクチンによって予防できる感染症はたった25種類（ヒトに感染する既知のウイルスだけで200種類以上）https://www.who.int/teams/immunization-vaccines-and-biologicals/strategies/global-vaccine-action-planより，“Global Vaccine Action Plan publication 2011-2020”をダウンロード（2023年５月18日閲覧）

16）ワクチンの効果や持続時間はウイルスの種類により異なる“How long do vaccines last? The surprising answers may help protect people longer”John Cohen, Science, 18 Apr 2019. https://www.science.org/content/article/how-long-do-vaccines-last-surprising-answers-may-help-protect-people-longer（2023年５月18日閲覧）

17）環境省（平成19年３月）「人と動物の共通感染症に関するガイドライン」 https://www.env.go.jp/nature/dobutsu/aigo/2_data/pamph/infection/guideline.pdf（2023年５月18日閲覧）

18）A大学附属高等学校で使用している教科書は，「生物基礎」（東京書籍）と「保健体育」（大修館書店）だった。

文献

Baker, R. E., Mahmud, A. S., Miller, I. F., Rajeev, M., Rasambainarivo, F., Rice, B. L., Takahashi, S., Tatem, A. J., Wagner, C. E., Wang, L.-F., Wesolowski, A. and Metcalf, C. J. E.（2022）: Infectious disease in an era of global change. *Nature Rev. Microbiol.* 20, 193–205.

キャンベル，ロバート編著（2021）：「日本古典と感染症」，角川ソフィア文庫。

Ferdinands, J. M., Fry, A. M., Reynolds, S., Petrie, J. G., Flannery, B., Jackson, M. L., and Belongia, E. A.（2017）: Intraseason Waning of Influenza Vaccine Protection: Evidence From the US Influenza Vaccine Effectiveness Network 2011–2012 Through 2014–2015. *Clin. Infect. Dis.* 64, 544–550.

Guth, S., Visher. E., Boots, M. and Brook, C. E.（2019）: Host phylogenetic distance drives trends in virus virulence and transmissibility across the animal-human interface. *Phil. Trans. R. Soc. B* 374: 20190296.

長谷川里奈，小林俊平，天元志保，森田由子，狩野光伸，小泉周（2022）：新型コロナウイルス感染症を題材とした「問い」を中心とした小中高校生向け小冊子 ―「新型コロナウイルスについて一緒に考えよう」の作成―，科学教育研究，46, 1, 50–53.

Hay, S. I., Battle, K. E., Pigott, D. M., Smith D. L., Moyes, C. L., Bhatt, S., Brownstein, J. S., Collier, N., Myers, M. F., George, D. B., Gething, P. W.（2013）: Global mapping of infectious disease. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 368, 20120250.

Hershberger, S.（2020）: The 1918 Flu Faded in Our Collective Memory: We Might Forget the Coronavirus, Too. *Scientific American*, August 13.

Holmes, E. C.（2009）: *The Evolution and Emergence of RNA Viruses*. Oxford University Press.

Levine, A. J.（1992）: *Viruses*. Scientific American Library, W. H. Freeman & Co.

Liu, Y., Liu, J., Plante, K. S., Plante, J. A., Xie, X., Zhang, X., Ku, Z., An, Z., Scharton, D., Schindewolf, C., Widen, S. G., Menachery, V. D., Shi, P.-Y., and Weaver, S. C.（2022）: The N501Y spike substitution enhances SARS-CoV-2 infection and transmission. *Nature* 602, 294–299.

Morse, S. S., Mazet, J. A. K., Woolhouse, M., Parrish, C. R., Carroll, D., Karesh, W. B., Zambrana-Torrelio, C., Lipkin, W. I., and Daszak, P.（2012）: Prediction and prevention of the next pandemic zoonosis. *Lancet* 380 1956–1965.

Olival, K. J., Hosseini, P. R., Zambrana-Torrelio, C., Ross, N., Tiffany L. Bogich, T. L., and Daszak, P.（2017）: Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature* 546, 646–666.

Saito, A. ほか41名（2022）: “Enhanced fusogenicity and pathogenicity of SARS-CoV-2 Delta P681R mutation” Nature 602, 300–306.

Sender, R., Bar-On, Y. M., Gleizer, S., Bernsthein, B., Flamholz, A., Phillips, R., Milo, R.（2021）: The total number and mass of SARS-CoV-2 virions. *Proc. Nat1. Acad. Sci. USA*, 118, e2024815118.

Streicker, D. G. and Gilbert, A. T.（2020）: Contextualizing bats as viral reservoirs. *Nature* 370, 172–173.

高橋光希・原田和雄（2023）：感染症疫学を学校教育に導入するためのExcel 教材の開発とその高等学校の実践，東京学芸大学紀要 自然科学系，75，33–43.

Thorne L. G. ほか41名（2022）: Evolution of enhanced innate immune evasion by SARS-CoV-2. *Nature* 602, 487–495.

Tian, F., Tong, B., Sun, L., Shi, S., Zheng, B., Wang, Z., Dong, X. and Zheng, P.（2021）: N501Y mutation of spike protein in SARS-CoV-2 strengthens its binding to receptor ACE. *eLife* 10:e69091.

UNAIDS（2019）: UNAIDS data 2019. https://www.unaids.org/en/resources/documents/2019/2019-UNAIDS-data（2023年５月

18日閲覧）。

WHO（2018a）: World malaria report. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275867/9789241565653-eng.pdf（2023年5月18日閲覧）。

WHO（2018b）: Global turberculosis report, https://apps.who.int/iris/handle/10665/274453（2023年5月18日閲覧）。

WHO（2018c）: Measles，https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/measles（2023年5月18日閲覧）。

Woolhouse, M. E. J., Brierley, L., McCaffery, C., Lycett, S.（2016）: "Assessing the Epidemic Potential of RNA and DNA Viruses" *Emerging Infect. Dis.* 22, 2037–2044.

Woolhouse, M., Scott, F., Hudson, Z., Howey, R., Chase-Topping, M.（2012）: "Human viruses: discovery and emergence" *Phil. Trans. R. Soc. B* 367, 2864–2871.

Wu, T., Perrings, C., Kinzig, A., Collins, J. P., Minteer, B. A., and Daszak, P.（2017）: Economic growth, urbanization, globalization, and the risks of emerging infectious diseases in China: A review. *Ambio* 46, 18–29.

山田彰雄（2004）：人獣共通感染症，ウイルス 54, 17–22.

付録（講義資料の抜粋，スライド1–24）

代表的な感染症

病名 disease	病原体 pathogen	感染経路	標的細胞
ペスト bubonic plague	ペスト菌 Yersinia pestis	げっ歯類を保菌宿主とし，節足動物（主にネズミノミ属のノミ）により伝播	リンパ節組織
結核 tuberculosis	結核菌 Mycobacterium tuberculosis	空気感染（経気道性）	肺組織
コレラ cholera	コレラ菌 Vibrio cholerae	汚染された水や食物の経口摂取	小腸下部に定着・増殖し、コレラ毒素を産生する
マラリア malaria	熱帯熱マラリア原虫 Plasmodium falciparum, 三日熱マラリア原虫 P. Vivax, 卵型マラリア原虫 P. ovale, 四日熱マラリア原虫 P. malariae	マラリア原虫をもつ蚊に吸血されることで感染する。	肝細胞を経て赤血球に感染
インフルエンザ influenza or the flu	インフルエンザウイルス influenza virus	空気感染（経気道性）	上気道組織
天然痘 variola or smallpox	天然痘ウイルス variola virus	飛沫感染	
麻疹（はしか） measles	麻疹ウイルス measles virus	空気感染、飛沫感染、接触感染	
エイズ（後天性免疫不全症候群） AIDS (Aquired Immunity Deficiency Syndrome)	ヒト免疫不全症ウイルス human immunodeficiency virus	mucosal	CD4 T細胞

1

なぜ感染症教育が重要なのか？

■ 人類に及ぼす重大な影響（生命、経済など）

世界の三大感染症の年間死者数は、
マラリア40万人（WHO, 2018）
結核150万人（WHO, 2018）
エイズ69万人（UNAIDS, 2019）

下痢症（ロタウイルス、大腸菌） 160万人/年（2017年）
はしか・・有効なワクチンがあるにも関わらず、14万人/年
（WHO, 2018年）（国境なき医師団HPより）

■ 感染症対応は、WHO、国連、国境なき医師団の活動の大きなウエイトを占める

■ 新興の感染症が出現頻度が増している
（SARS, MERS, Ebola, Zika, 豚インフルエンザ、トリインフルエンザ、etc）

2

「疫病」は、記憶に残りにくい？

（ロバート・キャンベル編著「日本古典と感染症」）

「地震、火災、水害など瞬時に発生し、風景そのものを一変させる災害があります。建物が崩壊し、物が燃えて、あるいは水で流され、インフラも崩壊される。（中略） そして、災害の猛威が収まった後に、建物を立て直したり、道を通したり、コミュニティーを蘇生させる作業が一斉に始まります。」

『風景を激変させる「災害」は、人々の記憶に刻まれます。
一方、「疫病」は、記憶に残りにくい』

人間の記憶に残っていくためには、「物語性」が必要であり、スペイン風邪はその正体がわからなかったので、「物語」を記述することができず、人々の記憶に残こすことができなかったのか？よくわからないので、記憶から消してしまおうとした？

記憶から消えないようにするためには、感染症の正体やその影響の仕方について、人々が正しい情報を共有し、collective memoryを作り上げる必要がある。近世以前の日本にはそのような集団の記憶があったのではないか？

3

学校教育における感染症の取り扱い

■ 保健分野・・・感染症の種類と感染症の予防

■ 生物・・・・・免疫系
自然免疫：白血球（食細胞）
適応免疫：白血球（リンパ球）
体液性免疫（B細胞が抗体を産生）
細胞性免疫（キラーT細胞が感染細胞を殺す）
ヒト免疫不全症ウイルス（HIV）は、ヘルパーT細胞に感染する
ワクチンと予防接種

ウイルスとバクテリアの違いは？
抗生物質の働きは？
ワクチンとはどういうものか？
これらのことについて学ぶ機会が少ない？

4

ペスト plague

ユスティニアス疫病、6世紀、ビザンチン帝国

黒死病（Black Death） 1347 – 1353、ヨーロッパ
死者25,000,000人（当時のヨーロッパの人口の1/4）

病原体：ペスト菌（*Yersinia pestis*）
1894 Shibasaburo Kitasato（北里柴三郎）とAlexander Yersinにより独立に発見される

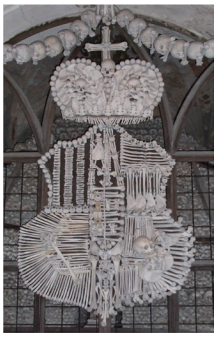
感染経路：げっ歯類を保菌宿主とし，節足動物（主にネズミノミ属のノミ）により伝播

5

Ossuary at the Siedlec Monastery, Czeck Republic

Reconstruction of the chapel by Frantisek Rint in 1870, on order of Prince Schwarzenberg

Photos by K. Harada (2007)



Schwarzenberg Family Coat of Arms

6

病原微生物の発見とコッホの4原則

炭疽菌 *Bacillus anthraci* (コッホ, 1875)
結核菌 *Mycobacterium tuberculosis* (コッホ, 1882)
破傷風菌 *Clostridium tetani* (北里柴三郎・ベーリング, 1889)
赤痢菌 *Shigella* (志賀 潔, 1898)

ヘンレ-コッホ（Henle-Koch）の4原則

1. ある疾患にはつねにある微生物の存在が証明されること
2. その微生物を宿主から分離して培養できること
3. 分離した微生物を感受性のある動物に接種してその疾患を再現できること
4. 接種した動物からさらにその微生物物が分離できること

7

感染症の制御に向けた研究

■ 免疫学の発展

天然痘の予防接種（Edward Jenner, 1749-1823）
狂犬病とコレラのワクチン開発（Louis Pasteur, 1822-1895）

■ 化学療法の発展

抗菌物質の探索（Paul Ehrlich, 1854-1915）梅毒の治療薬
1922年　リゾチームの殺菌作用の発見（Alexander Fleming）
1928年　ペニシリンの抗菌作用の発見（Alexander Fleming）

抗生物質の開発への道筋

バクテリアによる感染の予防と治療が飛躍的に発展する

8

ウイルスの発見

天然痘や黄熱病などの起因生物の探索もなされたが、原因となる細菌は発見されなかった

1892年　イワノフスキー（Dmitri Ivanovski, 1864-1920）タバコモザイク病の伝搬のもとになるものが細菌濾過機を通りぬけることを示し、濾過性病原体（後のウイルス）の概念を提唱した。

ヘンレ-コッホ（Henle-Koch）の4原則

1. ある疾患にはつねにある微生物の存在が証明されること
2. その微生物を宿主から分離して培養できること
3. 分離した微生物を感受性のある動物に接種してその疾患を再現できること
4. 接種した動物からさらにその微生物物が分離できること

9

ウイルスの定義は？

ウイルスは、遺伝物質（DNAもしくはRNA）がタンパク質の殻（コート）に覆われ、さらに膜に覆われることもある感染性の細胞内寄生体

単独で複製することができず、細胞に感染してその機能を乗っ取ることにより増殖するので、それ自体は「生物」とは言えない。

しかしながら、自然選択により環境に適応することができる点では生物と同じである。

Leslie Orgel (1927-2007) CITREONS (Complex Information-Transforming Reproductive Objects that Evolve by Natural Selection)

Sir Peter Medawar (1915-87) termed it 'a piece of bad news wrapped up in protein'

10

ウイルスの構造

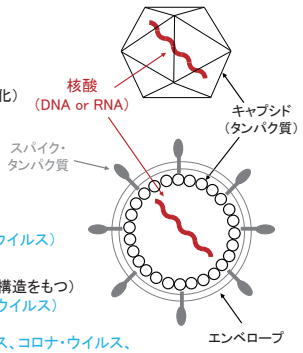
■ ウイルスの構成成分：

1）核酸（DNA or RNA；環状 or 鎖状；一本鎖 or 二本鎖；断片化 or 非断片化）
2）キャプシド（コート）タンパク質
3）エンベロープ（リン脂質二重膜）

■ ウイルスの構造による分類：

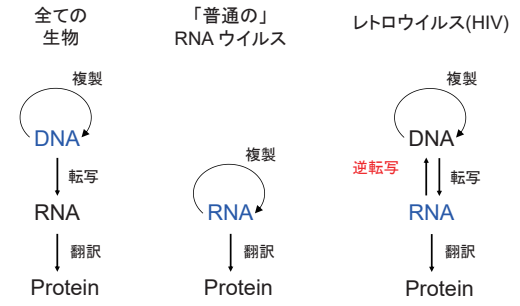
らせんウイルス
（核酸＋キャプシド）
タバコモザイクウイルス（一本鎖RNAウイルス）

球状ウイルス
（核酸＋キャプシドからなる正二十面体構造をもつ）
アデノウイルス（結膜炎、二本鎖DNAウイルス）
（核酸＋キャプシド＋エンベロープ）
インフルエンザ・ウイルス、HIVウイルス、コロナ・ウイルス、C型肝炎ウイルス（いずれも一本鎖RNAウイルス）



11

HIV は「レトロウイルス retrovirus」



12

HIVとエイズ（AIDS）

■ HIVは、CD4 T細胞（ヘルパーT細胞）に感染する

■ CD4 T細胞が減少し、7～10年でエイズ（AIDS）を発症する

健常者　800 - 1,000 cells/mm^3
エイズ患者　< 200 cells/mm^3

AIDS: Acquired Immunodeficiency Syndrome（後天性免疫不全症候群）

■ AIDS診断基準：複数の日和見感染症や悪性腫瘍、神経障害などを有すること

13

HIVの治療法

■ 主要なHIV治療薬

ヌクレオシド/ヌクレオチド系逆転写阻害剤
Nucleoside/Nucleotide Reverse Transcriptase Inhibitors (NRTIs)

非ヌクレオシド系逆転写阻害剤
Non-Nucleoside Reverse Transcriptase Inhibitors (NNRTIs)

プロテアーゼ阻害剤
Protease Inhibitors (PIs)

■ HAART (Highly Active Antiretroviral Therapy)療法

二つの異なった種類の阻害剤3種類の混合薬

14

インフルエンザとコロナウイルスの大流行

	サブタイプ	死者数（感染者数）	致死率（%）
季節性	H1N1（ロシア風邪） H3N2（香港風邪）	250,000~500,000	< 0.1%
スペイン風邪（1918年）	H1N1（ヒト＋ブタ）	40,000,000（Japan 380,000）	2%
SARS (2003)	SARS CoV-1	774 (8,098)	9.6%
MERS (2012)	MERS CoV	866 (2,521)（ongoing）	34%
COVID-19 (2019)	SARS CoV-2	5,331,019 (271,963,258)（2021.12.17時点）	1.96%

15

コロナウイルス変異株が強力になる理由は？

How the 'Alpha' Coronavirus Variant Became So Powerful
NY Times 2021/06/07 by Carl Zimmer

■ スパイク・タンパク質の変異

ACE受容体に結合しやすくなるため

■ 自然免疫の抑制

Orf9b ⊣ Tom70 ➡ インターフェロン ↓
過剰発現

Thorne et al. "Evolution of enhanced innate immune evasion by SARS-CoV-2"
Nature *https://doi. org/10.1038/s41586-021-04352-y* (2021).

16

なぜ新しいコロナウイルス変異株が出現し続けるのか？

■ ウイルスの変異速度がはやい
RNAウイルスの場合、1変異/ゲノム・世代

■ ウイルス量が多い
コロナウイルスの場合、感染者（ピーク時）一人10億～1, 000億のウイルス粒子を保菌している

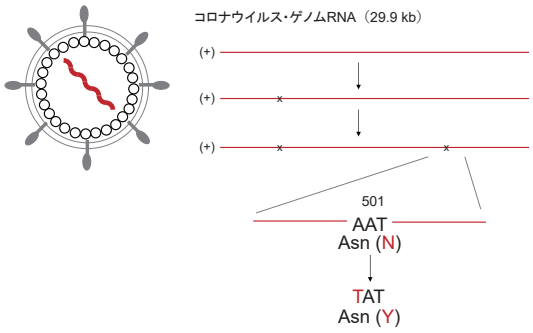
Sender *et al.*, "The total number and mass of SARS-CoV-2 virions" PNAS, 118, e2024815118 (2021)

感染者が多いほど新しい変異株が出現する可能性がある

世界中が新しいコロナウイルス変異株を生み出すための壮大な進化実験の場になっている

17

コロナウイルス変異株が出現するメカニズム



18

先進国の追加接種者は低所得国の投与回数を上回る

産経新聞 2022年1月1日

- WHOは、2021年末までに全加盟国で人口の4割に対してワクチン接種を完了する目標を92カ国・地域で達成できなかったことを報告
- 低所得国の人口100人当たりのワクチン投与回数は10回程度（先進国の3回目の接種よりも少ない）
- 途上国にワクチンが十分に行き渡らない背景：
  - ・供給が限られている
  - ・供給されたワクチンが期限切れ間近
  - ・現地で注射器などが不足
- オミクロン株の感染を最初にWHOに報告した南アフリカでは、少なくとも1回接種した人口は人口の半分に満たない

19

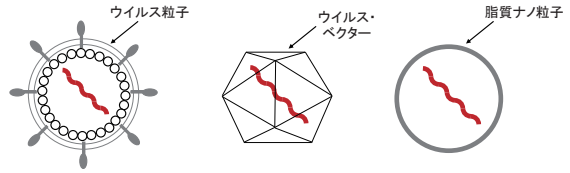
インフルエンザの大流行

	サブタイプ	死者数（感染者数）	致死率（%）
季節性	H1N1（ロシア風邪） H3N2（香港風邪）	250,000~500,000	< 0.1%
スペイン風邪（1918年）	H1N1（ヒト＋ブタ）	40,000,000（Japan 380,000）	2%
アジア風邪（1957年）	H2N2（ブタ＋トリ＋ヒト）	2,000,000	0.5%
香港風邪（1968）	H3N2（ブタ＋トリ＋ヒト）	>1,000,000	
ブタインフルエンザ（2009）	H1N1（ブタ＋トリ＋ヒト）	3417 (321,689)# #2009.9段階	1.1%
トリインフルエンザ*（2004）	H5N1	257 (421)（トリは100%）	61%

*ヒトには感染しにくい

20

ワクチンの種類



弱毒化・無毒化ワクチン	遺伝子組換えワクチン	核酸（mRNA）ワクチン
インフルエンザ（孵化鶏卵 or 動物細胞、FDA 2012認可）	インフルエンザ（ウイルス・ベクター、FDA 2013認可）	コロナウイルス（ファイザー、モデルナ）

21

新興感染症はどこから来るのか？

~ Zoonoses ~

動物由来の新興感染症

ヒトの新興感染症60～75%は「zoonoses」

コウモリ：SARS（中国 2003, bat to palm civits）、エボラ？（西アフリカ）、MERS（中東、2012, bat to camel）、ヘンドラ（オーストラリア、1994）、ニパ（マレーシア、1998）、COVID-19（中国 2019, bat to animal? lab leak?）

Jesse bloom (Fred Hutchison) ratp13 (Wuhan) , Laos are 96 to 97% identical, 30 to40 year difference

霊長類：エイズ（米国、1985）

トリ、ブタ：インフルエンザ、Menangle virus (Australia, 1997)

昆虫（蚊、ハエなど）：デンゲ, 西ナイル（USA, 2014、ジカ（ブラジル、2014）、ペスト

Ferris Jabr, “How humanity unleashed a flood of new diseases”, New York Times, June 17, 2020.

22

新興ウイルス感染症の出現を防ぐためには？

環境因子

人間の自然地域への侵入、畜産物生産の増加、珍しい（exotic）動物等の売買はいずれもウイルスの種間の伝染を促す。対策：自然地域を保護し、珍しい動物等の売買を制限する

国際的な移動: 相互的に接続された地球では、感染症が急速に広がり、パンデミックをすぐに引き起こす。対策：電車通信に移行し、迅速に対応できるスマートでダイナミックな移動方法を確立する

都市化：人口密度が高い都市部では感染症は伝染しやすい。対策：感染症の伝染を軽減するスマートな都市計画、例えば、自動ドア、建築など。

生物学的因子

種間の移動：一つの保有宿主からヒトへの感染。対策：種間を伝染する感染症の宿主間の類似性や地理的な距離の関係について詳細に理解する。

防御の最前線は「効果的な監視体制」である！！

Justin Meyer, BIEG 152: Evolution of Infectious Diseases, https://www.uctv.tv/shows/The-Evolution-of-Infectious-Diseases-with-Justin-Meyer-Lecture-1-Introduction-35816

23

日本人の暮らしの中の「三密回避」

（ロバート・キャンベル編著「日本古典と感染症」）

日本建築では、土間と座敷を分け、座敷では土足をたり、便所を母屋から離して設ける

日常生活では、食事に一人用のお膳を使い、箸を分ける

気候が多湿で菌が繁殖しやすいことに根ざした知恵と言える

「疱瘡遠慮」（江戸中期の尾張藩の記録）：疱瘡（天然痘）が流行すると発動する；外部からの訪問者を締め出す；山の中の小屋に避難して流行をやり過ごす

天然痘：感染力が高い、肺などの侵食による呼吸不全、死亡率20～50%

麻疹（はしか）は江戸後期には24-25年に一度流行した

24