



# ネクストパンデミックを見据えて…



## 語り手

石井 健 先生 (東京大学医科学研究所 感染・免疫部門 ワクチン科学分野 教授)

國井 修 先生 (公益社団法人グローバルヘルス技術振興基金(GHIT Fund)代表)

佐藤 佳 先生 (東京大学医科学研究所 感染・免疫部門 システムウイルス学分野 教授)

平田 晃正 先生 (名古屋工業大学 先端医用物理・情報工学研究センター 教授)

松本 哲哉 先生 (国際医療福祉大学 感染症学講座 主任教授/モダンメディア編集委員)

(五十音順)

## 聞き手

岩田 敏 先生 (熊本大学大学院 生命科学研究部 客員教授/東京医科大学 微生物学分野 兼任教授/  
モダンメディア編集委員)

令和5年11月28日収録

# プロフィール



いし い けん  
石井 健

1993年 横浜市立大学医学部卒業  
 1993-1995年 横浜市立大学医学部付属病院研修医  
 1995-1996年 横浜市立市民病院麻酔科  
 1996-2000年 米国連邦政府・保健省食品医薬品局 (US FDA)  
 生物学的製剤評価研究センター (CBER) ワクチン部門 (OVR) 客員研究員  
 2000-03年 同上 (OVR/CBER/FDA) ・ CMC 審査官  
 2003-06年 JST ・ ERATO 審良自然免疫プロジェクト ・ グループリーダー  
 2006-10年 大阪大学 ・ 微生物病研究所 ・ 分子原虫学分野 ・ 准教授  
 2010-15年 独立行政法人 ・ 医薬基盤研究所 ・ アジュバント開発プロジェクト ・ プロジェクトリーダー  
 2015-17年 国立研究開発法人 ・ AMED戦略推進部 ・ 部長 (出向)  
 2017-19年 医薬基盤健康栄養研究所 ・ ワクチンアジュバント研究センター ・ センター長  
 2010年-現在 大阪大学 ・ 免疫学フロンティア研究センター ・ ワクチン学 ・ 特任教授  
 2019年-現在 東京大学 ・ 医科学研究所 ・ 感染免疫部門 ・ ワクチン科学分野 ・ 教授  
 2021年-現在 同上国際ワクチンデザインセンター ・ センター長  
 2022年-現在 同上新世代感染症センター ・ 副拠点長

2014 大阪科学賞  
 2014 Highly Cited Researcher (トムソンロイター社)  
 2015 Highly Cited Researcher (トムソンロイター社)  
 2016 Highly Cited Researcher (クラリベイト社)  
 2019 日本免疫学会賞



くに い おさむ  
國井 修

1988年 自治医科大学卒業  
 1995年 国立国際医療センター国際協力局  
 2000年 東京大学大学院国際地域保健学専任講師  
 2004年 長崎大学熱帯医学研究所 教授  
 2006年 国連児童基金本部にて上席保健戦略アドバイザー、ミャンマー・ソマリアにて  
 保健・栄養・水衛生事業部長  
 2013年 世界エイズ・結核・マラリア対策基金 (グローバルファンド) 戦略・投資・効果局長  
 2022年 グローバルヘルス技術振興基金 (GHIT Fund) 最高経営責任者 (CEO)  
 東京医科歯科大学、長崎大学、千葉大学、昭和大学、東京大学、京都大学などで  
 客員教授や非常勤講師を務める

**主な褒章：**人間力大賞 (TOYP) グランプリ、吉川英治文化賞、ゼロ・マラリア賞などを受賞。  
 「ニューズウィーク日本版」で「世界が尊敬する日本人 100」「世界に貢献する日本人 30」に選出。

**主な著書：**「人類 vs 感染症 新型コロナウイルス 世界はどう闘っているのか」(CCC メディアハウス)  
 「世界最強組織のつくり方ー感染症と闘うグローバルファンドの挑戦」(ちくま新書)  
 「国家救援医ー私は破綻国家の医師になった」(角川書店)  
 「世界に飛びたて! 命を救おう! グローバルヘルスを志す人 リーダーを目指す人のために」(南山堂)



さ とう けい  
佐藤 佳

2010年 京都大学大学院医学研究科 短縮修了、医学博士  
 2010年 京都大学ウイルス研究所 博士研究員 (学振 PD)  
 2010年 京都大学ウイルス研究所附属新興ウイルス研究センター 特定助教  
 2012年 京都大学ウイルス研究所 助教  
 2016年 京都大学ウイルス研究所 講師  
 2018年 東京大学医科学研究所 感染症国際研究センター 准教授 (研究室主宰者)  
 2022年 東京大学医科学研究所 感染・免疫部門 システムウイルス学分野 教授

**専門領域：**ウイルス学

**主な著書：**「G2P-Japan の挑戦 コロナ禍を疾走した研究者たち」(日経サイエンス社)

**主な学会活動：**日本ウイルス学会  
 日本エイズ学会  
 日本分子生物学会  
 一般社団法人 G2P-Japan 代表理事

## Profile



ひら た あき まさ  
平田 晃正

2000年 大阪大学大学院工学研究科 博士課程修了  
2001年 大阪大学大学院工学研究科 助手  
2005年 名古屋工業大学大学院工学研究科 助教授  
2016年 同 教授  
2018年 名古屋工業大学大学院生体電磁工学プロジェクト研究所 所長  
2019年 名古屋工業大学先端医用物理・情報工学研究センター センター長

**専門領域**：生体医工学、公衆衛生工学

**社会活動**：国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)議長(2024年7月～)  
ICNIRP 主委員会委員およびプロジェクトグループ委員長(2016年～現在)  
世界保健機関(WHO)エキスパート(2017年～現在)  
日本学術振興会学術システム研究センター 専門研究員(兼任)(2022年～現在)  
2018年日本学士院学術奨励賞など受賞



まつ もと てつ や  
松本 哲哉

1987年 長崎大学医学部卒業  
1987年 長崎大学医学部附属病院第2内科入局  
1993年 東邦大学医学部微生物学助手  
2000年 ハーバード大学 プリガム&ウィメンズホスピタル リサーチフェロー  
2004年 東邦大学医学部微生物学講師  
2005年 東京医科大学微生物学講座 主任教授  
2007年 東京医科大学病院感染制御部 部長(併任)  
2018年 国際医療福祉大学医学部感染症学講座 主任教授  
2020年 国際医療福祉大学医学部成田病院感染制御部 部長(併任)  
現在に至る

**専門領域**：感染症学、感染制御学、臨床検査医学

**学会等活動**：日本化学療法学会 理事長  
日本臨床微生物学会 理事長  
日本環境感染学会 理事、COVID-19対策委員長  
AMEDプログラムスーパーバイザー



いわ た さとし  
岩田 敏

1976年 慶應義塾大学医学部 卒業  
慶應義塾大学医学部 小児科学教室 入局  
1996年 米国セントルイス大学およびコロンビア大学に短期留学  
1999年 国立病院東京医療センター 小児科医長  
2004年 独立行政法人国立病院機構東京医療センター 教育研修部長  
2006年 同 統括診療部長、医療安全管理部長、治験管理室長  
2010年 慶應義塾大学医学部 感染制御センター 教授  
2013年 慶應義塾大学医学部 感染症学教室 教授  
2017年 国立研究開発法人国立がん研究センター中央病院 感染症部長  
2018年 慶應義塾大学医学部 客員教授  
2022年 国立大学法人熊本大学 客員教授  
2023年 東京医科大学 兼任教授  
現在に至る

**専門領域**：感染症学、小児科学

**主な著書**：「小児感染症治療ハンドブック2020-2021(第5版)(分担執筆)」(診断と治療社)  
「臨床薬学テキストシリーズ[薬理・病態・薬物治療](分担執筆)」(中山書店)

予防接種推進専門協議会 委員長(2011年～現在)  
一般社団法人 日本感染症学会 理事長(2013年～2017年)  
日本臨床腸内微生物学会 理事長(2013年～現在)  
一般社団法人 日本ワクチンアクション 理事長(2016年～現在)  
公益財団法人 日本感染症医薬品協会 理事長(2017年～現在)



## はじめに

**岩田** 今、会社の方からご説明がありました。モダンメディアの2024年新春放談の発刊70巻記念企画ということで始めたいと思います。

私は聞き手を務めます。モダンメディアの編集委員をさせていただき、現在熊本大学と東京医科大学で非常勤の教員をしている岩田敏と申します。どうぞよろしくお願いいたします。

本日は大変お忙しい中、先生方ご出席いただきまして、また佐藤先生にはサウジアラビアからWebで出席ということで、本当にありがとうございます。

この企画は発刊70巻記念ということですが、毎年モダンメディアでは新春放談の座談会を行い、それをまとめた形で掲載しています。新春放談ということなので堅苦しい感じはなしにして、ざっくばらんにお話いただければと思います。

新型コロナのパンデミックも、この先どうなるかわからない部分もございますが収まりつつあり、少なくとも緊急事態は収束して、社会的には日常生活が戻ってきた状況になっています。いわゆるウイズ・コロナの時代を迎えたということになるかと思えます。

そうした中、今回のパンデミックの経験と反省を踏まえ、「有事への準備は平時から」という考えの下で、次のパンデミックを念頭に置いた対応が進められています。そこで今回は「ネクストパンデミックを見据えて…」というテーマで、基礎医学、臨床医学、社会医学、それぞれのご専門の先生方をお迎えしてお話を伺い、意見交換をしたいと思います。

本日ご出席いただくのは、国際医療福祉大学感染症学講座の教授でいらっしゃる松本哲哉先生、名古屋工業大学先端医用物理・情報工学研究センターの教授でいらっしゃる平田晃正先生、東京大学医科学研究所システムウイルス学分野の教授でいらっしゃる佐藤佳先生、公益社団法人グローバルヘルス技術振興基金（GHIT Fund）の代表でいらっしゃる國井修先生、東京大学医科学研究所感染・免疫部門ワクチン科学分野教授の石井健先生の5名の先生方です。各先生方からお一人ずつ思うところをお話ししていただいた後に、皆さんからコメントやご質問をいただければと思いますので、よろしくお願いいたします。

松本先生、平田先生、佐藤先生、國井先生、石井

先生の順で参りますので、よろしくお願いいたします。

なお佐藤先生は海外の学会に出席中で、途中抜けられるかもしれないということでしたが、先生には3番目にお話しいただきますので、よろしくお願いいたします。

まず皆さまに、自己紹介をしていただいてから始めようと思いますのでよろしくお願いいたします。

私は、このモダンメディアの編集委員をしております岩田敏と申します。慶應義塾大学の出身で、もともと小児科医です。キャリアの途中から感染症学全般について、赤ちゃんからお年寄りまでを診るようになり、今年の3月まで国立がん研究センター中央病院で感染制御と感染症診療を担当していました。

現在は日本感染症医薬品協会の理事長を務め、あとは熊本大学と東京医科大学で非常勤教員として教育と研究のお手伝いをしております。よろしくお願いいたします。

**松本** 国際医療福祉大学の松本です。私は感染症をずっとやってきておりますけれど、成田病院で臨床にも携わっております。あとは、AMEDのプログラムスーパーバイザー（PS）や、プログラムオフィサー（PO）を担当しておりますし、PMDAの委員もしておりますので、新薬やワクチンの開発については、今回ご参加されている先生方とはリモートで意見交換させていただいたこともあると思います。

また、日本化学療法学会、および日本臨床微生物学会という感染症関連の学会の理事長も務めております。最近の大きな課題は薬剤の安定供給と創薬、およびポストコロナの検査の活用であり、学会としてもさまざまな活動を行っております。本日はどうぞよろしくお願いいたします。

**平田** 名古屋工業大学の平田です。よろしくお願いいたします。

私はもともと物理屋で、環境因子のリスク評価に関わっています。例えば熱中症でどれくらい搬送されるのかというリスク評価、予測技術を実施していました。その関係でWHOやWMO（World Meteorological Organization、世界気象機関）でパンデミックの際に環境因子がどのように作用するのか、季節性が（関係しているのかと考察していたときに）あるのかといったときに声を掛けられました。感染症の分析、とくに感染者数予測等々も、内閣官房さんからお声掛けをいただいて携わるようになりました。

その意味で本当に偶然携わらせていただき、状況が複雑になった以降は、皆さんが予測することをやめたこともあり、政府関係あるいは地方自治体の委員会関係者からお声掛けをいただき、内閣官房のグループの先生方の資料などを参考にしながら感染者数予測を継続的に務めさせていただいております。よろしくお願いします。

**佐藤** 東京大学医科学研究所の佐藤と申します。今日は遠隔ということで、今WHO主催のMERSの研究集会に参加するためにサウジアラビアに来ております。

こういった形での参加になりましたが、私の専門は基礎ウイルス学で、新型コロナの前まではAIDSウイルスを専門に研究していました。トロピズムも特徴も病徴も全然違うウイルスですが、いろいろな経緯がありまして新型コロナの研究を始めたという経緯になっています。

そういう観点から次のパンデミックに備えるということで、今日は先生方とのお話を楽しみにしておりますし、私のほうからは基礎研究、基礎ウイルス学の立場からできることについてお話しさせていただけたらと思っています。よろしくお願いします。

**國井** 國井です。自治医大を卒業したので、僻地医療を含めしばらくは臨床をしていましたが、もともと国際協力を志していましたので、途中から公衆衛生に軸足を移し、国立国際医療センター国際医療協力局を通じて5年間、世界の緊急援助、感染症対策、母子保健、人材育成などいろいろな国際支援をやっていました。その後に東大医学系大学院国際地域保健学で少し教えて、外務省で3年間保健外交や沖縄感染症対策イニシアティブの監理をやって、その後に国連児童基金（ユニセフ）に就職してニューヨーク本部やミャンマー、ソマリアで現場活動をしていました。

直近は9年間ジュネーブで、世界のエイズ、結核、マラリア対策を主導するグローバルファンドという国際機関で、主に戦略作りやインパクト評価、実際の技術的支援やWHOなどとのパートナーシップ促進などを統括し、今はGHIT（ジーヒットと発音）ファンドで世界に蔓延しながらも十分な対策ができていない感染症の研究開発を支援しています。

GHIT以外にも日本では様々な役割をいただき、

G7広島タスクフォース、特に「100日ミッション」ワーキンググループや日経FT感染症会議の部会のとりまとめもやっています。よろしくお願いします。

**石井** 東京大学医科学研究所ワクチン科学分野の研究室をやっている石井です。

私も医師出身で、ICUなどで感染症の管理ができないと判断して、感染症の研究から免疫学の研究者を目指しました。その後アメリカのFDA、薬品審査をするところに基礎研究と審査をする経験を得て、その後大阪大学で7年間、医薬基盤・健康・栄養研究所で7年間、基本的にはワクチンの基礎研究、そして専門はアジュバントというキーワードで研究をしました。

4年前に東京大学に移ってからは、静かに基礎研究をしようと思った矢先にCOVID-19になりまして、皆さまと同様、巻き込まれて現在に至っております。

キーワードは先ほど國井先生からありました「100日ミッション」ということで、CEPI<sup>\*1</sup>、GHIT、その他のグローバルなチームと一緒に、次のパンデミックに備えた準備をしているメンバーの一人です。よろしくお願いします。

**岩田** ありがとうございます。皆さん、本日のテーマの「ネクストパンデミックを見据えて…」にぴったりのメンバーだと思います。

それでは始めていきたいと思います。まず松本先生に、臨床のお立場から、今回のパンデミックを総括していただき、最初的话题を提供していただければと思います。よろしくお願いいたします。

## I. パンデミックを総括して

### —臨床の立場から—

**松本** 私は臨床の立場からの総括という内容でお話しさせていただきます。

JOHNS HOPKINSのデータでは、2023年3月で集計が終わっていますが、世界全体でおよそ7億人が感染して、700万人がお亡くなりになっています。ただし、これには中国などのデータは含まれておらず、それを含めるとさらに膨大な数になると思われます。

新型コロナの流行はまだ収束したとは言えません

\*1 Coalition for Epidemic Preparedness Innovations、感染症流行対策イノベーション連合

が、これまでのデータを振り返って言えることは、人口あたりの死者数を比較すると、結果的に日本は欧米を含む諸外国よりも死者が低く抑えられたのではないかと思っています。

今回お示したデータは全数把握で集計されていた第8波までですが(図1)、その後、第9波が起り、次が来るとすれば第10波ということになります。第1波の時は社会的には大きな混乱が生じましたが、グラフにしてみると、それ以降の波と比べ

てかなり小さな波だったと言えます。しかし、第6波以降のオミクロン株の流行になると、相当な規模の感染拡大になりました。

オミクロン株が流行するようになって、肺炎の患者は減ったので、重症者としてカウントされる方の数は減りました。しかしその一方で、死者数は逆に6波、7波、8波と増えていきました(図2)。ワクチンや治療薬も開発されてきたにもかかわらず、第8波が一番死者が多かったのは、やはりそれだけ感

## 国内の新型コロナウイルスの新規陽性者数

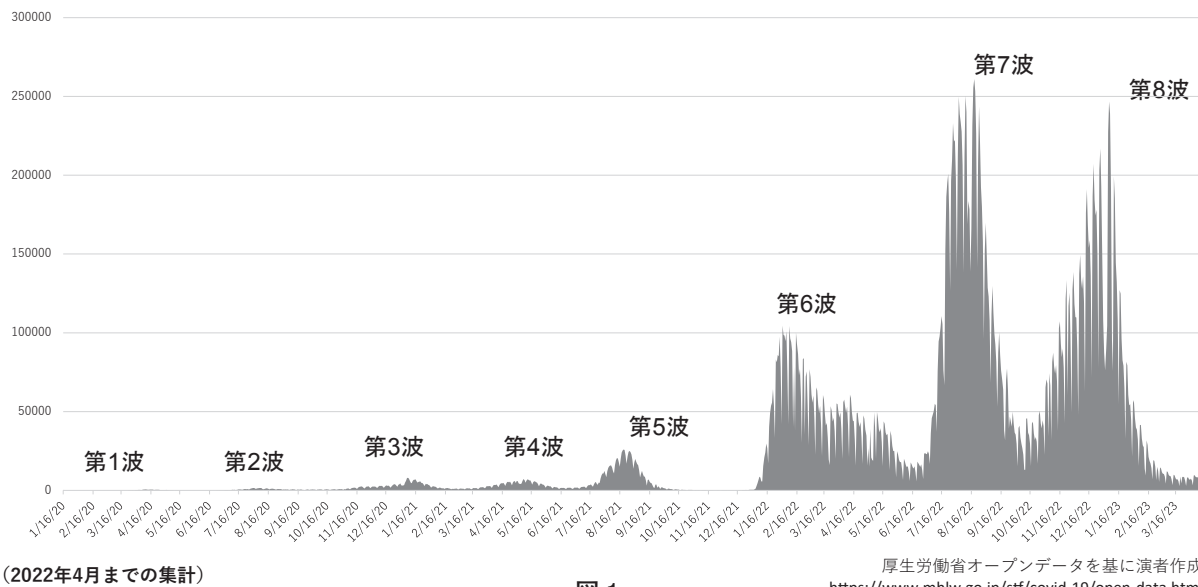


図 1

## 国内の新型コロナウイルスの死者数

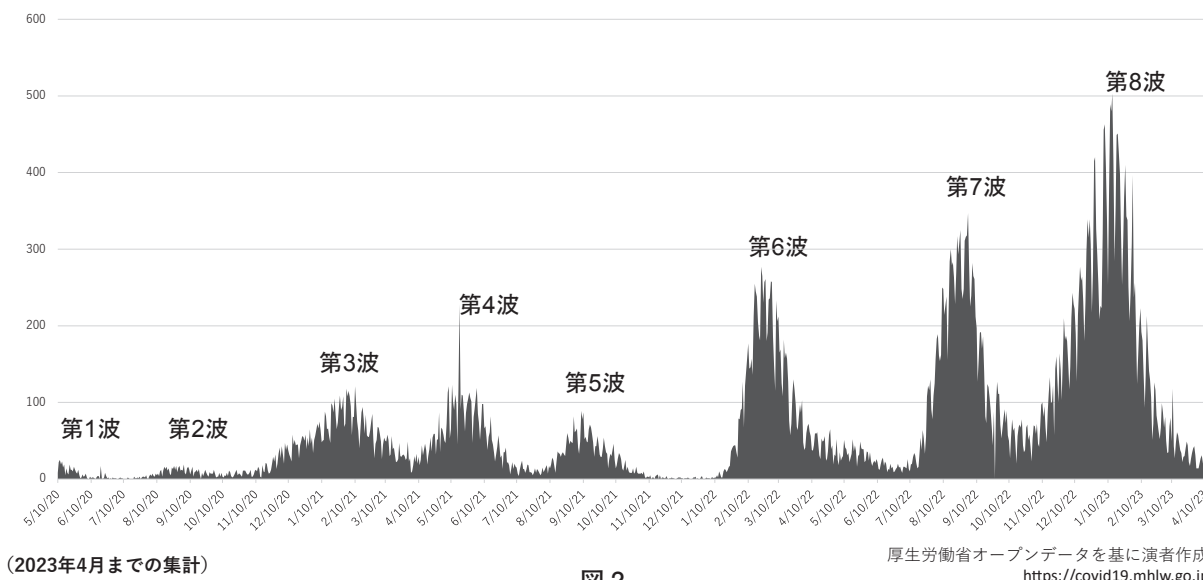


図 2

染の規模が大きかったからだと思われます。また高齢者など、重症化リスクの高い方の感染が多かったことも理由の1つと思われます。

新型コロナの感染拡大後、国内の平均寿命は2年連続で縮小しており、この感染症が社会全体に与えた影響は大きかったと思います。

さらに、医療の現場では感染の急拡大が起こると、発熱外来に患者が殺到し、受診困難な患者さんが増えました。入院の受け入れが難しい患者も増えたので、残念ながら悪化しても自宅や介護施設で療養せざるを得なくなる方も多かったと思われます。やはり流行時の医療の現場は混乱の極みで、医療逼迫が実際に起こっていたと感じています。

疫学的な視点からみると、2023年2月時点で全国民の4人に1人ぐらいが感染した計算となっています。ただし、同時期の別のデータでは、感染した人だけができる抗N抗体陽性者が全体の4割を超えています(図3)。すなわち、実際に感染しているにもかかわらず、自分が感染したことを自覚しないまま過ごしている方が一定程度いることとなります。4割という数字は第8波が終わった頃ですので。さらに第9波の感染者を加えると、おそらく日本人の半分ぐらいはすでに感染しているのではないかと思います。

この感染症に対抗する手段としては、検査、ワクチン、治療薬、感染対策が重要です。検査について

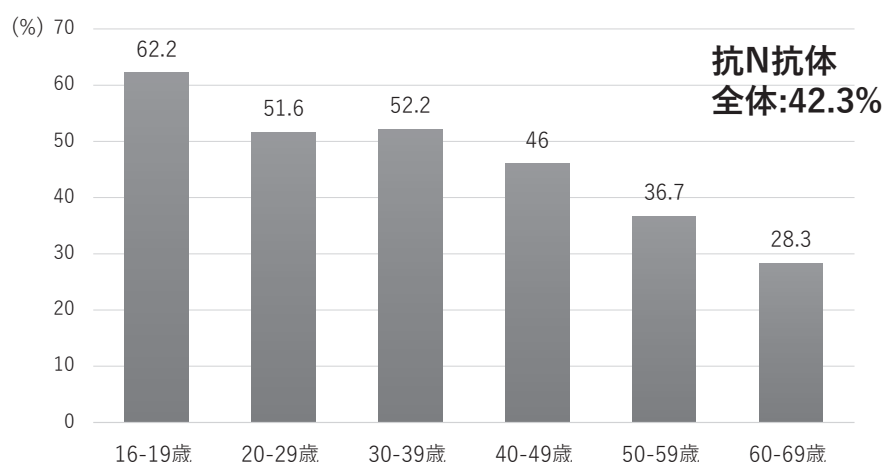
は、当初はPCR検査が主体でしたが、最初の数か月は医療機関からの要望を受けても、ほとんど検査ができない状況でした。その後、さまざまな努力で1日20万件を超えるぐらいまで検査能力は増大しました。韓国や米国などと比べて、最初の頃、検査体制の整備がうまくいかなかったのは反省点だと思われます。

これまでクリニックなどでは、インフルエンザのイムクロマト法のような抗原定性の簡易キットを用いた検査しかできませんでした。しかし、コンパクトな遺伝子検査機器も開発されて、開業医の先生方も積極的に導入されて、検査ができるようになったことはある意味、良かったと思っています。

さらに、街中でPCR検査の受け付けが行われたり、無料の検査まで実施されるくらい、後半には検査を取り巻く状況は大きく変わったと思います。

次に治療についてですが、最初の頃は全く新しい感染症だったので薬がなく、例えばアビガン®(ファビピラビル)やイベルメクチンなどの既存薬に期待がかけられました。私も臨床治験に加わりましたが、残念ながらふたを開けてみると有効性を示す有意差が出ませんでした。流行当初、さまざまな薬が*in vitro*では顕著にウイルス量が減少して新型コロナの治療薬としての可能性が期待されたのですが、ヒトに投与すると期待したような効果が得られませんでした。

新型コロナウイルスの年齢群別抗体保有率(令和5年2月時点)



厚生労働省 第2回献血時の検査用検体の残余血液を用いた新型コロナウイルスの抗体保有率実態調査(結果速報、概要)  
<https://www.mhlw.go.jp/content/10906000/001070846.pdf>を基に演者作成

図3



レムデシビルは他のウイルスの治療薬として開発された薬だったのですが、新型コロナの治療薬として転用できました。抗体薬もさまざまな薬を使えるようになりましたが、変異が起こって途中から有効性が下がってきています。

内服薬としてラゲブリオ<sup>®</sup>(モルヌピラビル)、パキロビッド<sup>®</sup>(ニルマトレルビル/リトナビル)、ゾコーバ<sup>®</sup>(エンシトレルビル)は外来患者などに重症化予防を主な目的として使用されています。ただし、これらの薬剤は値段が高く、ラゲブリオ<sup>®</sup>は約9万円、パキロビッド<sup>®</sup>は約10万円、ゾコーバ<sup>®</sup>は約5万円であり、今後、国による負担軽減が廃止されて患者の負担が増えれば、処方拒否する患者が増えるのではないかと危惧しています。

日本はワクチンと治療薬の開発が遅れていると言われましたが、ようやく塩野義製薬が緊急承認制度で2022年11月にゾコーバ<sup>®</sup>の承認を得ました。ワクチンも時間はかかってしまいましたが、第一三共が2023年8月に新型コロナのワクチンの承認を得ています。

ワクチンの接種体制については、2回目、3回目の接種当時、目標を1日100万回と菅元総理が言われたときには、かなり無茶だと思ったのですが、関係者が全力で頑張っていた結果、3回目までの年代別接種率が90代では97%まで達しました。出足こそ遅れましたが、日本人の底力を示せたのではないかと考えています。

感染対策面でも医療機関は大変でした。入院時には全例検査するなど、慎重な対応を取った医療機関も多かったのですが、特にオミクロン株が流行し始めてからは、病院ではとにかくクラスターが何回も起きました。国が把握しているだけで、今年の4月までに約7,700件のクラスターが把握されています。うちの病院でも何回も繰り返していますし、病棟での感染の広がり方をみても、このウイルスの感染力の強さを実感しています。

まとめになりますが、臨床の現場は2019年に新しく出現した感染症である新型コロナに振り回されて、本当に混乱の極みだったと思います。ただ、諸外国に比べれば死者数は確実に低く抑えることができましたし、皆が頑張った結果として、全体的に被害は抑えられたのではないかと思います。

治療薬やワクチンについては、国内企業の開発力

が疑問視されたこともありましたが、ただこれは単に企業が問題であるという話ではなく、日本という国が感染症の脅威を甘く見ていたため、今回のようなパンデミックへの備えが不十分であったと思われます。今回の新型コロナの経験を生かして、次のパンデミックは起こり得るものとして、体制を整えておく必要があるのではないかと思います。

以上です。ありがとうございました。

**岩田** ありがとうございます。もうすぐ4年になりますが、いろいろ思い出されることもたくさんありました。実際の臨床の現場では、今のお話のような感じで動いていったということですが、先生方から何かご質問やコメントなどございますか。

日本は死亡者数が少なかったのですが、この辺はどのような要因があったのでしょうか。

**松本** 今日スライドではお示しできませんでしたが、諸外国と比べて日本での感染者の増加は緩やかでした。これはやはり皆さんがマスクをするなどして、対策を徹底していただいたからだと思います。その一方で、欧米など諸外国はマスクもしないし、感染者が最初から急激に増加しました。当初はワクチンも治療薬もない状況でしたし、致死率も高かったので、前半での感染者の増加は被害の増大につながったのだと思います。

日本は途中までは感染もある程度押さえ込んでいましたが、オミクロン株になってからはかなり増加しました。後半ではワクチンも治療薬もありましたし、医療体制もある程度整ってきたので、その差が死亡者数の差として現れたのではないかと思います。

**國井** 第8波はどうして死亡者が多かったんですか。

**松本** 第8波はとにかく感染の規模が一番大きかったのが理由だと思います。お亡くなりになった方の大半は高齢者でした。

**國井** では case fatality (致死率)としては、あまり変わらなかった。逆に下がった？

**松本** 実は、各変異株が流行した時期の感染者数と死亡者数の割合で計算してみると、オミクロン株になってからは明らかに致死率が下がっています。ただ、感染の規模がそれを上回るほどに大きくなると、残念ながら死者も多く出てしまったということだと思います。

**國井** あとはワクチンを受けた人と受けない人での解析はやっていますか。



**松本** 今日はスライドの関係で出しませんでした  
が、明らかに高齢者に関してはワクチンを受けてい  
ない人は重症化のリスクが高く、死亡率も高くな  
ります。さらにブースター接種を適宜受けている方  
の方が、重症化率は確実に下がっています。

若い人たちはもともと重症化しないので、あまり  
差は出せないのですが、高齢者におけるワクチンの  
効果は明らかで、国内でもそういうデータは出てい  
ます。

**國井** 基礎疾患のほうはどうですか。

**松本** 重症化しやすい基礎疾患としてはさまざま  
ものがありますが、例えば糖尿病、高血圧、心臓病  
などが挙げられます。ただし、重症化と最も関連性  
が高い要因は年齢なんです。高齢者はもちろんいろ  
いろな基礎疾患を抱えていますので、高齢かつ重症  
化しやすい基礎疾患を有している人はリスクが高い  
と言えます。

**岩田** オミクロン株になってからは数も増えたし、  
直接コロナの肺炎ではなくて、もともとの基礎疾患  
が悪くなって、亡くなる方もいらっしまったという  
感じですか。

**松本** はい。そのとおりです。

**國井** 海外を見ると、糖尿病や肥満の人の重症化率  
が高いですね。あと、国によってもオミクロン株に  
なってからは死亡が結構減ってきたり。日本はとて  
もきれいに漸増する死亡曲線の波が出ていて、ここ  
まできれいなものはあまりない。例えばペルーは、  
パンデミックの初期に多くの人々が感染や死亡を防ぐ  
ことができずに亡くなりましたが、その後から対策  
を急いだので、オミクロン株になるとその死亡はか  
なり減りました。感染や死亡の波は国によってかな  
り違いますね。

**岩田** 日本は海外ほどひどい肥満や糖尿病は少ない  
んでしょうね。

**國井** それが結構大きいところがあるかと思いま  
すね。

**岩田** あとは、抗N抗体陽性率が半分ぐらいとい  
うことで、実際に罹患した人の割合は、たぶん日本  
は海外に比べると少ないと思いますが、その辺のと  
ころはこれから影響がありそうですか。

**松本** 日本では今年の2月時点で抗N抗体の陽性  
率が4割ぐらいでしたが、アメリカやイギリスはそ  
の1年ほど前から抗N抗体陽性率が8割ぐらいに

達しています。そうすると欧米では大半の人が早期  
から感染していて、明らかに日本での感染拡大はそ  
れに比べて遅かったと思われます。

**岩田** その点は何かこれからの状況に影響がありそ  
うですか。ワクチン接種をちゃんとやっていたら大  
丈夫そうですか。

**松本** やはり海外の多くの国は感染によって一定レ  
ベルの免疫も成立していて、WHOはワクチンの推  
奨度を下げています。日本はそれに比べれば、まだ  
免疫を持っている人の割合が低いので、しばらくワ  
クチンは重要な手段になるかと思います。

**岩田** 最後に、今回のパンデミックの経験を踏まえ  
て、臨床のほうでネクストパンデミックに向けてい  
ろいろ準備しなければいけないとおっしゃっていま  
したけれど、具体的にはどんなことをしていってら  
よしいのでしょうか。

**松本** 医療現場からすると課題はたくさんありま  
すが、最初はこの感染症がどういう特徴を持ってい  
るのか分からなかったので、極端に身構えすぎてい  
て、現場のスタッフもすごく警戒してやっておいま  
した。

武漢株や欧州株流行時は2%ぐらいの致死率だっ  
たので、50人感染すれば1人は死ぬという計算に  
なります。さらにワクチンも治療薬もない状況での  
対応でしたので、警戒するのは当然だったわけです。  
そのため、当初は指定医療機関のみでの入院となっ  
ていましたが、あまりにも対応できる病床数が少な  
く、すぐにそれだけでは受け入れが困難となりました。  
その後も入院に対応できる病床の確保に国や自治体  
は苦慮していましたが、やはり感染症に対応でき  
る医療機関を限定的にして、そこに任せれば大丈  
夫と思っていたことは反省点だと思います。

また外来診療についても、コロナを恐れるあまり、  
当初は発熱患者は一切診療しない、という医療機関  
もありました。その後、オミクロン株になって致死  
率も0.1%ぐらいまで下がりましたが、まだ外来対  
応が十分とは言えないと思われます。国が進めてい  
るように、どの医療機関でも対応できるようにする  
ためには、医療機関にだけ努力を促すのではなく、  
しっかりした感染対策も行いながら、診療できる体  
制に繋げていく工夫は必要だと思います。

**岩田** そのためには、新しい感染症が出てきたとき  
にそれがどういうものなのか、ということが早く分

からないと対応ができないと思います。そこを早く明らかにしていくことが大事だということです。

**松本** おっしゃるとおり、どういう感染症か分からないから怖いというのは当然の反応だと思います。そこで科学的なエビデンスを示しながら、どのような対応が適切なのかを早い段階で周知できたら、医療機関だけでなく社会の対応もずいぶん変わるのではないかと思います。

**岩田** ありがとうございます。それでは先へ進めながらディスカッションしていきたいと思います。

松本先生からは臨床の現場からのまとめをお示しいただきましたが、次に平田先生から、流行予測などのお仕事をされてきていて、今回のパンデミックで、例えばAIなども使われたと思いますが、そういうものをどのように活用されたか、あるいはこれからどのように応用していけるのかというところのお話をお聞かせいただきたいと思います。よろしくお願いたします。

## II. パンデミックでのAI活用と今後の応用

**平田** 私自身は内閣官房のCOVID-19 AIシミュレーションプロジェクトの一員として活動させていただいていたのですが、一番最後にお声がけいただいたというか、第5波の前に、内閣官房さんから「これからの感染拡大はどうなるのか」「いつ頃がピークなのか」ということをご質問頂いたのできっかけです。

その頃から人の集団的な行動も複雑化し、要因が多く、予測をする人が減ってきた時期でした。内閣官房のチームでは、感染拡大予測以外のことも取り組んでいました。

東京大学の澤先生は、ネットワーク構造からのマクロ分析ということで、Stay with your communityということをおっしゃられて、久しぶりに、たまには、今回は特別な行動で、などの要因を考慮し、新しい人との接触を避けるようにする知見をシミュレーションで示されていました。

シミュレーションでは、一人一人がどのように行動するかという確率的なモデルを使って、どれぐらい対策を取れば、どの程度の感染拡大の抑止につながるか、ということを見積もっていました。詳細は割愛させていただきますが、私どもの分析の参考に

させていただいておりました。

そして筑波大学の倉橋先生もマイクロ分析で、外出・会食人数の影響評価ということで、こちらもあくまでも確率にはなりますが、会食が4人以下ぐらいであれば比較的感染拡大を抑えられるのではないかとということ进行分析されていました。

この人数の見積もりももちろん、ウイルスがどのぐらいの感染力を持っているかによりますが、内閣官房の事務局にはその時々最良の知見を提供しておりました。

それらの知見の中で何が政策決定に活用されているかは分からず、例えば尾身先生のコメントに参考にされていた可能性があるぐらいのつながりであって、私たちはどのようなデータから、こんなことが言えるのではないかと、こういった注意喚起をしたらいいのではないかと知見を、何らかのメッセージにしていきたいということを議論していました。

なぜかという、ワクチンが一巡した後に、有効な対策がなくなる可能性があるだろうということも事前に考えておまして、対策の効果の見積もりに加えて、どのようなメッセージを出すかといった検討もしておりました。

極限の仮定として、人が自由に動き始めすぎると当然感染が拡大することは分かっているわけで、将来どれぐらいの人の行動になるかも、実を言うと研究者の感覚に基づく仮定で、これぐらいの傾向ではないかということを見越してのシミュレーションを行っていました。

内閣官房のチームでは、できれば一人の結果にフォーカスするのではなくて、複数の研究成果を紹介させていただいて、これぐらいのばらつきがあるのではないかと、将来こんなことが起こるのではないかと可能性を伝えたいと話していました。ただ、メディアで取り上げられたときには、だいたい一つか二つぐらいの結果となり、複数の結果を統合的に紹介してくれたのは一度しかありませんでした。

当初、西浦先生などによる数理モデルの予測が話題で、結果的に広がらなかったのではないかとご意見もいただいたりしたかと思います。SIRなどの数理モデルというのも、実を言うと人の行動を数理で表すには結構限界があります。結果は人が設定するパラメータに依存します。

そのような数理モデルは、イメージとしては体育

館や映画館のような人が密集しているところに一人の感染者が出たときに、一定の方が感染するまで広がるような前提のモデルになります。

一方で、スモールモデルということを考えてときに、ロックダウンとまでいかななくても、コミュニティごとに分かれて対策を実施していると考えられる状況になると、ある一つのコミュニティで広がっても押さえられる。ただ、そのコミュニティ間での干渉があった場合には、他のコミュニティに広がる。一方、それでも人が一様に存在する場合と比べるとかなり時差が出てくるので、なだらかな拡大カーブになります。

日本人が比較的社会性を持って行動した場合には緩やかになるのではないかとすることは、数値的には出ていましたが、その程度はあくまでもその際の集団としての感情がどれぐらいなのかということ。私たちは Twitter (現 X) などを使って分析していましたが、その状況に応じて、このカーブがどのように変わるかをやっていたのが AI チームの特徴です。

AI による感染拡大予測においても、実は研究者が決定せざるを得ないパラメータは存在します。したがって、合いますか、合いませんかという質問をいただくと、合わないことのほうが多いです。ただ、

直接コミュニケーションが取れないところで、たくさんの仮定を想定した予測カーブを出し過ぎても混乱させるだけなので、いくつかを選択してお見せしていたというのが実情です。

私どもの AI のシミュレーターを使って、事後評価を行ったものです (図 4)<sup>1)</sup>。どちらかという、将来の予測が合うか合わないかというのは、人の行動変容をはじめとする状況の変化次第とも言えます。シミュレーターを使って、変異株の感染力、今後の人流、行動が既知であると仮定した場合にどれぐらい合致するのかということ、正月休み辺りは結構ずれていたりする時期もありますが、前提が大きく崩れない場合には比較的良好な一致はします。

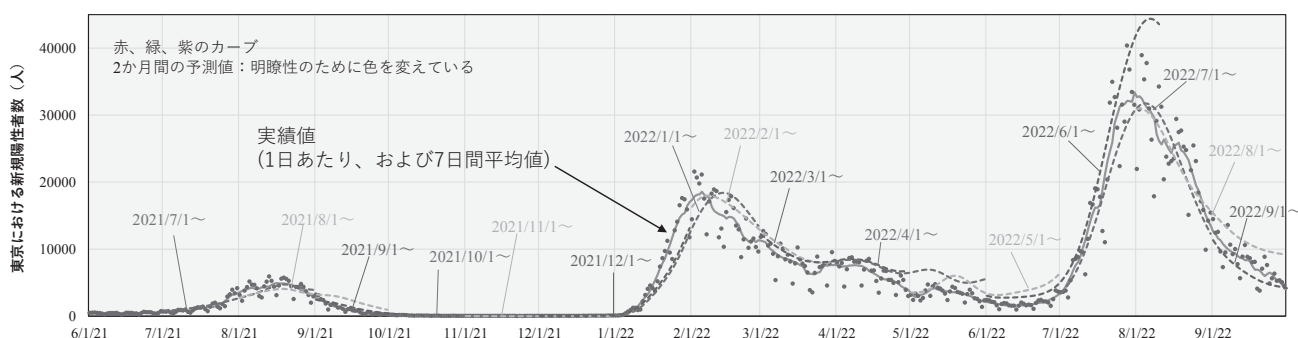
その意味でシミュレーターの検証、行動がどうなるかという推測、この二つがあって初めて今後の予測ができるということになります。

もちろん検査数に加え、無症状感染者、あるいは病院に行かれない方の割合も設定しています。また、感染が拡大した後は病院に行かれない方もいらっしゃるのかなということは言われていましたが、陽性率と感染者数の関係を見ると、それほど大きく変わっていないという印象を持っています。

最初にお話しした第 5 波の時に、内閣官房のチー

## 新規陽性者予測：事後検証

将来におけるパラメータを既知とし、毎月 1 日、前月までのデータを学習し、当該およびその月 (2 か月間) の予測精度を検証 (第 5 波以降)。



- ・ワクチン接種者の感染による免疫獲得をモデル化 (2022年10月4日資料)
- ・精度検証のため、推定開始時、感染力、今後の人流、行動は既知と仮定。
- ・感染力を推定、入力しているが、検査実施可能数を含んでいる可能性。

S Kodera, A Takada, EA Rashed, A Hirata, "Projection of COVID-19 Positive Cases Considering Hybrid Immunity: Case Study in Tokyo," Vaccines 11 (3), 633 <https://www.mdpi.com/2076-393X/11/3/633>

図 4

(図 4 は巻末にカラーで掲載しています)



## 第5波

名工大によるAIを用いた予測（2020年8月9日までのデータ、2020年8月15日公開）

内閣官房からのご質問：いつ、第5波は収束するの？

陽性者数のトレンドは概ね捉えるものの、重症者数の予測は過小評価

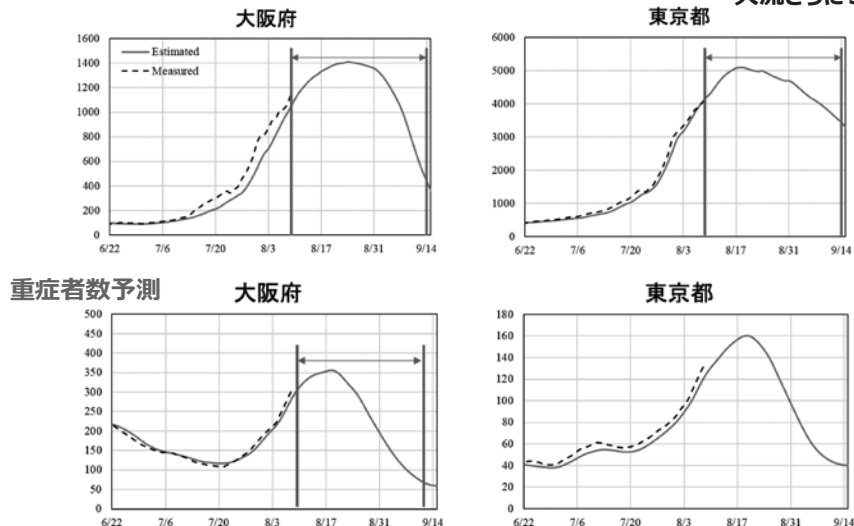
新規陽性者数予測 学習期間：2020/2/15～8/9（推定期間：8/10～9/14）

オリンピック中

菅首相：もうすぐ減少する可能性

尾身先生、厚生労働省ADB：

人流さらに50%削減が必要



[https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021\\_rq3\\_countermeasures\\_simulation/articles/article150/](https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021_rq3_countermeasures_simulation/articles/article150/)

図5

(図5は巻末にカラーで掲載しています)

ムに最初に参加した際に提供したグラフです(図5)。これは7月にお声掛けいただいて、1か月間ぐらいでざっと出したものです。この1枚のグラフで、私達のグループがいろいろとお声掛けいただいたものになります。

8月9日までのデータで、15日ぐらいでどのぐらいになりますかと言われたときに、そろそろ感染者数は減少し始めるのではないかという話をしたのですが、初めての会合で減少するという見解を出すのがものすごく怖かったです。

実を言うと、先ほどのネットワークモデルを提唱されている慶應義塾大学の栗原聡先生ももうすぐ減少し始めると。私は、その際人流が下がらなくても下がるのではないかとお話しさせていただいていました。

大阪と東京でこのぐらいばらつきがあるのは、ワクチンがどれぐらい効くか当初分かっていなかったもので、イスラエルのテルアビブのデータを用いてAIを活用しながら、試行錯誤しながら見積もりました。

菅元首相がもうすぐ減少する可能性をコメントされる一方、尾身分科会会長が人流のさらに50%削減をおっしゃられた時に、官房のチームはそろそろ下がるのではないかという話をしていました。私の

方は人流をこれ以上下げなくても下がるだろうという話をしていました。

これが事後検証です(図6)<sup>2)</sup>。私どもが最初に出したデータで、2021年8月31日に検証した結果になります。当初の予測値が人流等々によってばらつきますが、実線のものが最初の予測値です。その後、事後検証をした時に点線のものを出しました。実際の人流を用いて分析結果を補正するとカーブも比較的似通ってきて、予測値の最小値に近い結果でした。当時は、人流がどれぐらいになるか予測はしておらず、最初は皆さん緊急事態宣言が長引くと途中から行動が回復するのではないかという予測で、最悪のケースとして考えたのですが、それでも下がる可能性を示していました。

第5波の後、いつ緊急事態宣言を解除するか議論に挙がっていた時に、複数のグループが9月末ぐらいにしたほうが良いのではないかとコメントしていました。複数のシミュレーションを実施し、10月中旬、9月下旬、9月中旬などと設定した場合、9月下旬までは少なくとも続けたほうが500人以下となり、その後安定する可能性が高いという見解でした。

結果的にそれに近い時期で緊急事態宣言の解除に

2021年8月31日に内閣官房AIシミュレーションプロジェクトで報告したデータと更新  
 出典：内閣感染症危機管理統括庁 研究結果：2021\_感染拡大・抑制シミュレーション、「人流および季節性を考慮した感染者数・重傷者など予測システムの開発 #2」より一部改変  
 ([https://www.covid19-ai.jp/ja-ip/presentation/2021\\_rq3\\_countermeasures\\_simulation/articles/article126/](https://www.covid19-ai.jp/ja-ip/presentation/2021_rq3_countermeasures_simulation/articles/article126/))

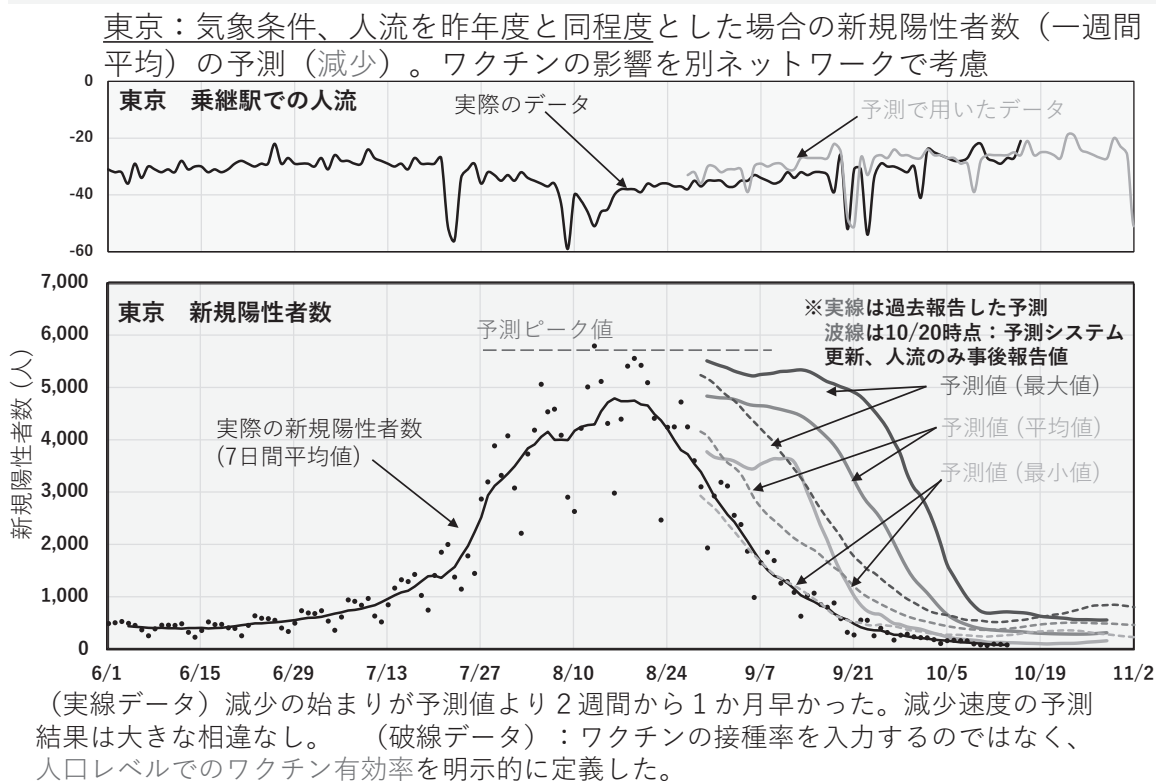


図6

（図6は巻末にカラーで掲載しています）

なり、その後にオミクロン株の出現までは安定して推移する結果になりました。私たち専門家はコメントしているのですが、本当に政策に反映されたかどうかは、私たちは知らないんです。

第6波の予測は大外れしています。大外れしているというか、当初、世代時間に関する情報を考慮できていませんでした。厚生労働省アドバイザーボード会議の情報もありましたが、12月下旬に入り、1月上旬になって急拡大したわけですが、ぎりぎりまで考慮する時間ありませんでした。

その後に予測は外れたと申しますか、感染者数の増加が急激でしたが、むしろ政策側から見ると、この後にどういう政策を取ったらいいのかということもありました。東京で会食の4人制限が取られました。それが本当に有効か、緊急事態宣言は本当に要らないのかということも議論しました。

会食4人制限を取ると、緊急事態宣言並みに指標であるTwitter（現X）の飲み会がかなり減少していました。これから緊急事態宣言を取っても、人との

接触はそれほど減らないだろうと。そのため、会食4人制限でもほとんど同等の効果が得られる可能性があることをコメントさせていただきました。

ただ、それでも増加している状況でしたが、ウイルスの感染力が増加したため、一定の方が感染するまでは止まらないのではないということもコメントしました。もちろん、ロックダウンなどさらに強力な制限がかかった場合は、その限りではなかった可能性はあります。

第7波が来たときに、実際には初めて蔓延防止措置などの制限を実施しなかった時期となりますが、蔓延防止措置が必要かどうかを分科会の先生方も含めて議論していました。

拡大前の分析でしたので、感染力が1.1倍ということで仮定していましたが、実際には1.2～1.3倍近くあったのではないということと、入ってきた時期もずれていたのですが、これぐらいの感染力になると、一定の方が感染するまで止まらない、広がりが続くだろうということで試算はしていました。

対策なしというのは、蔓延防止措置などの制限という意味になっているので、現状のレベルを保ったままということ。蔓延防止措置をした場合、そしてマスクなど感染対策は実施した上でコロナ禍前の状況まで戻った場合などいろいろな試算をしましたが、それほど大きく変わらないのではないかと。もちろんマスクなどの一定の感染対策をした状態であれば、それほど大きな変化はないことから、当時、尾身会長が制限は不要と7月のどこかのタイミングでおっしゃったと思います。その時にメディアの報道で、制限なし=何してもいい、という風潮の若者も出てきていたので、当初の予測よりはかなり広がったとも考えていました。

松本先生のお話にもありましたワクチン接種4回目の時期についても、裏では試算はしておりました。内閣官房のチームは、自分たちからの情報発信はWebには出しますが、基本的にはプレスには何らコメントはしておりません。民放のテレビ番組に取り上げていただいた記憶はありますが、ワクチンの実際の報告値と、ワクチンが1か月遅れた場合にはどうなっていたかということで試算、高齢者に限った感染者数の予測も出しています。1か月前倒したことで、重症者数、死者数が2割ぐらい減ったのではないかという話をさせていただいていました。

これもあくまでもタイミングの話で、どれぐらいの免疫がということは、医学系の論文等々を拝見しながら設定をしているので、本当に当たっているかどうかというと、確証まではいかない。

そういった意味で、AIによる分析は、研究というよりは、確度は高くないにしても現場でいかに活用していただくかを念頭に分析して、一定の情報を提供する役目を行っていました。

今後のパンデミックでAIをどのように利用するかですが、たぶん政策担当の皆さんは、感染症分野における学術的なエビデンスを求められているわけではなく、瞬時に意思決定をしたいときに何らかの情報があると助かると考えています。

冒頭でお話ししましたが、そのグループの中で私以外の先生方はもっとAIに詳しくたのですが、医学系の先生方とお話した経験がない方もいらっしゃる、その解釈にたぶん時間がかかっていらっしゃる可能性もあると思っています。そのため、AIが使えて、医学系の研究者と対話できる人材の

育成が一番必要なのではないかと何度もお話しさせていただいています。

それで仮にチームができるのであれば、この時に東京大学経済学部の仲田泰祐先生が紹介されていたのですが、FRBの経済シミュレーションでは、複数の研究者が行って、その平均値が現実に近い場合もあることが議論されるようで、やはり複数の人材が必要であろうと考えます。

必要だったパラメータで一番有効だったのが、ウイルスの感染力や行動レベル。人流も重要ですが、人流プラスその後どのような行動をしているかの情報があれば、AIでの予測精度は向上しました。

一番難しかったのが、2類から5類に移行した場合にどのような情報が得られるのかで、ここが一番私たちの予測もずれていたところでした。例えば運動会が始まったとか、そういった情報が考慮できなかったところが反省点で、今後のパンデミックでいつ2類から5類に移行したらいいかのシミュレーションを今やらなければいけないのではないかとということもあり、内閣官房からのプロジェクトが小規模で継続しています。

以上で終わらせていただきます。ありがとうございました。

**岩田** ありがとうございました。先生方がされてきたお仕事に関して、われわれのほうまでは情報があまり流れてこないで、どんなことをされていていらっしゃったかがよく分かりました。先生方にいろいろな予測を出していただいていたおかげで、いいあんばいの行動制限が実際の政策に反映されたのではないかと思います。日本は極端な、ロックダウンもしないで何とか乗り切ったところがあるので、そういうところに流行予測のデータはすごく役立つのだと思いました。

**國井** グローバルファンドで、私が統括していた局の中に戦略情報部があって、ご承知のようにHIV対策においてはこういう数理モデルはよく使っていて、現在施行している介入方法の最適化から将来の流行予測まで、モデラーという人たちがたくさん活躍しています。日本では西浦先生が頑張っていますが、もっとこの分野の人材を日本で増やす必要があると思います。

医学以外でやっている方がなかなか入れなかったと先生はおっしゃられましたが、グローバルにはむ



しろ医学以外の多様な専門家たちに入ってもらうことで状況や対策が見えることが多いので、こういう数理モデルや経済の専門家などと国際機関にいた時には積極的に協力しあっていました。

新型コロナでの一つの教訓は、こういったモデリングは非常に有用だけれど、先生がおっしゃられたようにパラメーターの設定の仕方や、病原体の変異などによる感染性や致死性の変化などによって、精度には限界があることを認識すること、さらに、それでもなお対策やリスクコミュニケーションなどに積極的に活用していくことだと思います。

Google のコミュニティ・モビリティ・レポートのようなビッグデータを使えし、台湾のオードリー・タン（デジタル担当大臣）はシビックハッカー（市民プログラマー）の協力も得て、マスクの流通を促進するための「マスクマップ」をたった3日で作り、韓国も IT を駆使して感染者や接触者の追跡から検疫や検査の迅速化までやっています。

新型コロナは感染症対策におけるデジタル活用を飛躍的に伸ばしたと思いますが、その面で立ち遅れた日本は今のうちに、将来に向けた対策が必要だと思います。先生は今後どんな形で展開していくべきだと思いますか。

**平田** 私は情報系の人間ですが、できるだけ少ないパラメータを継続的に取り続けることが大事だと思います。

この後に佐藤先生がお話しされるかと思いますが、佐藤先生の研究成果なども私たちは参考にさせていただいて、逆に言うと、感染力がどのぐらいあるかをいかに組み込むかというシステムティックな方法。行動に関しては Google モビリティもありましたが、初期の頃は人流と感染拡大期はものすごく相関があります。人流とは相関がないという方もいますが、減少し始めても相関を取る場合には関係がないというだけであって、拡大期だけに限れば人流ものすごく有用なパラメータです。

そういった意味では、人流と特に SNS、接触を表すパラメータ、そしてワクチンがどのぐらいの感染予防効果を有していて、それをどのぐらいの人が打ったかのパラメータをモニターしておけば、かなりの部分は予測できると思います。

あまり難しく考えるよりはデータを取りましょうという人たちもいますが、取っていたら使える可能

性がありますが、やはりキーパラメータは感染症でそれほど大きく変わらないと思っていて、そういったパラメータを継続的に取ってほしいという要望を私のほうは挙げさせていただきました。

**國井** 予測でなく、妥当性の後の検証の中で、ワクチンの有効性はかなり見えましたか。

**平田** ワクチンの有効性はかなり見えています。実際、第6波の時に東京都が出していた感染者がワクチンを接種していたかどうかでワクチンの有効性を見たところ、やはり Twitter（現 X）の飲み会が増える時期の1週間後には、感染予防効果が時系列に見るとものすごく落ちるんです。それは抗体価が落ちたわけではなくて、ウイルスの暴露量が増える時期はかなりワクチンの有効性が下がることも見えてきました。

そういった動的なパラメータを入力して扱っているのが AI の長所であって、それが自動処理されるシステムをより精度よく開発しておいて、緊急時に使えるようにする整備が重要だと考えています。

**國井** あと、新型コロナワクチンで難しかったのが効果の持続ですよ。Efficacy（有効性）については早期に下がってしまって、その辺はモデルに入れるのは難しかったと思いますが、どうですか。

**平田** Efficacy は3か月か6か月という仮定をして入れていました。簡単な数式のモデルを作って入れていたので、時系列変化は入っています。そして、Twitter（現 X）のデータから、Efficacy から Effectiveness、現実世界における実効性を算出して予測すると、事後検証すればおおむね合います。

その辺りも時系列の話なども医学系の研究者の先生方と情報交換させていただき、考慮しなければならないことを情報系の先生方により多く考えていただきたかったと、その時は思いました。

**岩田** 医学系と情報系の方が一緒にディスカッションするときが一番難しい点はどのようなところですか。

**平田** 最初は単語が分からないです。お互い分からないのと、読もうとすると英語の論文になるので、英単語しか知らないと日本語が入ってこないの、何だろうと思って個別に相談させていただいて分かったこともあって、やはり時間がかかったと思っています。

**石井** 今のディスカッションはすごく大事だと思います。われわれも研究の段階ではモデリングをさ

れている、数理モデルをやられているような？インフォメーションとずっと数年やりとりをすると、やはり単語の理解というか、集合が合うのが5年ぐらいかかるんですね。だから数か月でその単語を無理やり同じ土壌で話し合っても、なかなか議論ができなかったという記憶があります。まさにそれは大変だったんだなという印象です。

特に気を付けていただきたいのは、私たち専門家から言うと、有効性、これは Efficacy で、発症予防と重症化予防と、さらに感染予防という高いレベルの有効性は計算式があるので可能なのですが、その三つの有効性も、一般の方が抗体価と免疫原性と混乱して議論してしまうところが政治家や役人のレベルでも起こっていたのが混乱を招いたのではないかと。

あと有用性とおっしゃいましたが、われわれ専門家の Effectiveness は数理モデルではなくて、いわゆる医療経済効果であるとか、社会にワクチンを投入したことでどれだけ有用だったかということ、いろいろな研究者が違うモデルで昔から計算しているんです。今後、特にコロナ禍のパンデミックでのワクチンを投入したときの有用性は、ぜひいろいろなモデルを用いて検証していただきたいと思いました。

**國井** 今回日本は国産ワクチンが作れなかったですが、将来国産ワクチンを作って海外に輸出または援助すればそれによる経済効果や支援効果もありますので、そのような便益も忘れないでほしいです。国家政策として考えるときには高いビジョンも必要です。

**石井** そうですね。

**岩田** 最後のほうでおっしゃっていましたが、パンデミックが終わって、平時の対応はやはり継続的に続けなければいけないことがあると思います。その辺はいかがでしょう。

**平田** 今、実を言いますと、危機管理統括庁になり、コロナだけではなくインフルエンザも含めて予測をしばらくできないかという形になっています。モデルができれば、当てはめることはそれほど難しくないので、今の5類移行後を正確にモデル化しておくと、次のパンデミックが5年以内に仮に起こるとすれば、ほぼ同じモデルでいけるのではないかと考えています。事後検証という意味を込めて、しばらくは続けたいと思っています。それも、予測はより難

しくなりますが、限られたデータの中でどれぐらいの精度が出るかを検証しておきたいと思っています。

**岩田** まだいろいろなお仕事が続くということで大変ですが、よろしくお願いいたします。松本先生、何かございますか。

**松本** お示しいただいた予測の手法とは違いますが、下水のウイルス検出による流行の予測も行われていると思います。その評価はどうなんでしょうか。

**平田** 下水というのは実測するものですので事実と言いますか、測定値として出るので非常に有用だとは思っていますが、かなりのブレが大きいパラメータなので、私たちからすると傾向しか見られないのではないかと考えています。そのために下水がより高精度に測定できれば感染予測にも使えると思っていますが、現段階では難しいと思っています。

また、一番人口が多く、データもしっかり出している東京がそれを測定していないために東京都での検証ができないので、そこも今は難しいところの一つだと考えています。

**岩田** 平田先生、ありがとうございます。それでは次へ進ませていただきます。

今の流行予測の元のデータとしてもウイルス学的な基礎的なデータが必要だというお話がありましたけれども、続いて佐藤先生から基礎のウイルス学のお立場から、今回も変異株がたくさん出てきて大変だったわけですが、ゲノム研究の可能性等も含めてお話いただければと思います。佐藤先生、よろしくお願いします。

### Ⅲ. 新型コロナウイルス感染症の基礎ウイルス学研究から

**佐藤** 私からは基礎研究の立場からやってきた研究活動の概要と、次のパンデミックに備えてという話だったので、そこを踏まえて次に向けてどのようなことが必要か、どのようなことができるかについてご紹介できればと思います。

新型コロナのパンデミックは3年半近く続きましたが、その中の教訓として、この3点があると考えています。

まずは、パンデミックが社会に与えるインパクトの甚大さに関しては言う必要がないと思います。しかしそれだけではなく、今回私たちが活動してい

## 感染症有事の中での、海外と日本の研究動向の違い

“COVID”をキーワードにWeb of Scienceで検索した、

**2020年**に各国から発表された論文の数

	Nature	Cell	Science	
アメリカ	106	51	158	
イギリス	32	13	45	
中国	33	21	34	
<b>日本</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>←すべて海外</b>

との兼任者の論文

米英中は、流行拡大と厳格なロックダウンの中、各研究機関が有機的に連携し、世界が直面する喫緊の課題の解決に向けて取り組んだ。

他方、**日本**は、欧米に比べて流行拡大の社会的インパクトは大きくなく、また、法的制約のある行動制限はとられていなかったにもかかわらず、国際的に意義のある研究成果をほとんど挙げる事ができなかった。

このままでは本邦は、将来、**次のパンデミック**が発生した際にも、**基礎研究の見地からなにも貢献できないことは明らか**

図7

の中で思ったこととしては、感染症有事におけるリアルタイム研究の重要性と、次の感染症有事への備えとなる研究体制の構築と維持が重要だ、ということが見えたことです。

それを如実に示す例になりますが(図7)、最近よく発表に使うスライドですが、これは、パンデミックの最初の年の2020年に、「COVID」というキーワードを含んだ、Nature、Cell、Scienceというトップジャーナルで報告された論文の数を示しています。アメリカ、イギリス、中国と三つの国を選んで載せていますが、このように非常にたくさんの新型コロナに関する論文がパンデミックの最初の年に報告されています。

このときの論文に関して大事なこととしては、ちょっと特殊な状況にあった中国は置いておいて、アメリカやイギリスは非常に厳格なロックダウンがされていて、研究活動がままならない状況の中でも、各研究機関、各研究者が協力することで多数の論文をトップジャーナルに投稿し、基礎研究の見地からも、パンデミックの収束に向けて役に立とうということがうかがえることです。

それに対して、日本からはほとんど論文が出ていません。こちらについては、社会情勢の話をする、流行拡大のインパクトは欧米に比べれば大きくはなかった。緊急事態宣言は出たけれど、法的制約のあ

る行動制限はなかった。さらにAMEDなどから、かなり初期から、新型コロナに関する研究費が出ていたことも、皆さんご存じのところかと思えます。

つまり、基礎研究ができる土壌もあったし、BSL3<sup>\*2</sup>施設はたくさんの研究所や大学が持っていましたし、研究予算もあった。そういう、研究活動ができる環境が整っていたにもかかわらず、研究成果が出ていない、ということは非常に問題だったと、今振り返って思うところの大きな一つです。

こういったところからも、このままでは本邦は、次のパンデミックが起きた際にも、基礎研究の見地から何もできないことは明らかだということができるかと思えます。

この理由ですが、今言ったとおり予算もあって、BSL3という施設もあったのに、なぜできなかったかを振り返って考えると、この後の私たちの活動にも関連しますが、BSL3施設で研究ができる人材が、絶望的にいないんです。特に、今回の新型コロナの場合には、未知の病原体だったこともあり、BSL3で新型コロナ研究に従事しても良い、と認められたのが、当時はポストドク以上だったんです。そうなる、ポストドク以上で研究に従事できるメンバーを複数抱えている研究室は数えるほどしかなく、当時の私の研究室には、私しかいなかった。

そうなる、当時どうということが起きていたかと

\*2 バイオセーフティレベル3、生物学的封じ込めの最高レベル。BSL3研究所は、危険な感染病原体を研究し、これらの疾患を治療するために必要となる可能性のある新しいワクチン、薬、診断法、および手順を研究するために使用される。



いうと、日本中にたくさんあるBSL3を持っている研究機関が、研究費を申請して、研究費を取る、しかし、そこで計画している実験を実施できる人が十分にいなかったんです。一人しかいないのであれば、研究は進まない。予算はある、場所もある、テーマもある。けれど、論文につながるような研究成果が出ない、というのは、そこが一番大きな理由だったので、と、考えています。

そういった中で、私がAMEDの申請書を作っている時、2020年末頃に、イギリスが作ったコンソーシアムが、G2P-UK (The Genotype to Phenotype UK) というものです。先生方もご存じのとおり、イギリスはかなり積極的にゲノムサーベイランスに関わっている国で、その時に、ゲノムサーベイランスだけではなくて、現在でいう「アルファ株」という変異株が見つかった時に、その「ジェノタイプ」の変化によって、伝播力や病原性といった特性がどう変わったか、という「フェノタイプ」を理解することが重要ということを提唱した。そしてイギリスは、国策のコンソーシアムとして、こういう枠組みを作ったんです。

そういうことを受けて、当時、申請書にもそれを「パカる」形で盛り込みまして、日本では私が中心となって、The Genotype to Phenotype Japan (G2P-Japan) というコンソーシアムを作って、基礎研究

の見地から研究を進める、という提案をさせていただいています(図8)。

これはAMEDの先生方で、おそらく松本先生などは審査にも参加されているのかと思いますけれど、この申請を支援していただいたおかげで、これまで活動を続けることができました。これには本当に、感謝しかない、というのが本音です。

こういったコンソーシアムを作ることによって、何が良かったかという、いろいろ良かったところは数えきれないくらいありますが、一番大きいところとしては、一つのテーマ、プロジェクトに、複数の研究機関が協力して、集中して参加することができた、ということ。医科研だけではなくて、北大や熊本大、京大ももちろんBSL3を持っているので、一つのテーマにフォーカスして、研究材料をシェアして、複数の研究機関で協力して、研究を並行して進めることによって、実質的に、複数の人数の研究者がBSL3で実験している状況になります。これによって、研究のスピードが加速度的に上がり、次のスライド以降で示すような研究成果につながった、という経緯があります。

です。このコンソーシアムの成功の秘訣の大きなところは、私も含めて参加しているメンバーそれぞれのモチベーションがとても高かった、ということは大前提としてありますが、構図としては、

## 2021年1月 : G2P-Japan Consortiumの発足・主宰



### The Genotype to Phenotype Japan (G2P-Japan) Consortium

感染症有事における基礎ウイルス学研究を推進するために  
演者が発足した、若手研究者主体の研究コンソーシアム



佐藤佳  
東大医科研



松野啓太  
北海道大人獣研



入江崇  
広島大



中川草  
東海大



澤洋文  
北海道大人獣研



福原崇介  
北海道大



橋口隆生  
京都大医研



白川康太郎  
京都大



伊東潤平  
東大医科研



田中伸哉  
北海道大



齊藤暁  
宮崎大



本園千尋  
熊本大



池田輝政  
熊本大



高山和雄  
京都大iPS研



高折晃文  
京都大

Grants supported by AMED, JSPS, JST.

図8

「BSL3で実験できる人の数が増えた」というところが、一番大きいところだったと考えています。

研究活動の一つの例として、日本の第6波の原因になったオミクロン株の研究についてご紹介します。

ご存じのとおり、2021年11月25日に、南アフリカ政府が「きわめて懸念される株」として、B.1.1.529という株が自国で流行している、ということを世界に向けて情報発信します。

その日のうちにわれわれ G2P-Japan は、Web 会議をして、この研究をする準備をしています。

翌日に WHO が、この株にオミクロンという名前をつけて、VOC という最高ランクに位置づけています。

オミクロン株は一瞬で世界中に広がりまして、日本でもかなり初期に入ってきたので、その株を感染研が12月7日に分離し、それをわれわれは分与いただきまして、私の研究室でそれを増幅して、コンソーシアムでシェアして研究を進めることで、ひと月後に論文をプレプリントとして公開することができました。

25日当時、このメンバーでやりましょうということで集まって、このときに、誰が何をやるかをすべて決めて、あとはやるだけ、という準備をしていました。しかしその翌日に、共同研究をしていたケンブリッジ大学の Dr. Ravi Gupta、ちなみに彼も、私と同様に HIV 研究していたのですが、それまで共同研究をやっていた経緯がありました。それで、彼からオミクロン株についても共同研究をやるのか、という打診がありました。

われわれは上述の通り、前日の時点で、誰が何をやるかをすべて決めていたので、それを崩してまで共同研究をするかを悩みました。しかし、彼からの打診をむげにはできないので、われわれは、G2P-Japan を二つに分けて、1つのグループがイギリスと組んで、オミクロン株に対する中和抗体の抵抗性についての研究をする、もう一つのグループはオミクロン株の病原性に関する研究を日本のチームだけでやるということで、二つのプロジェクトを並行する、ということをやりました。これがうまくいきまして、どちらの研究も別々に Nature に掲載する、ということに至りました。

研究の内容についてご紹介すると、オミクロン株には2回ワクチンを接種した人は中和抗体が全く効かないことを世界に先駆けて明らかにしました。あ

とは、当時、臨床で使用されていた、ロナプリーブ® (カシリビマブ/イムデビマブ) という治療抗体がありましたが、これもオミクロン株にはまったく効かない、ということ、世界に先駆けて明らかにしています。

北大の研究チームが実施した、ハムスターを使った病原性試験ですが、オミクロン株は、デルタ株や従来株に比べて病原性が著しく低くなっていることを明らかにしました。

そして、公共データベースに登録されている変異株の数から、相対的な実効再生産数を推定すると、どの国で調べても、デルタ株に比べて、オミクロン株の実効再生産数は2~5倍程度高い。この時点で、オミクロン株が一瞬にしてデルタを駆逐して、世界に広がるだろう、ということ、を推測していました。

これは私の、新型コロナに関する publication list になりますが (図9)、このうちの太字で示した論文が、われわれ G2P-Japan のコンソーシアムで成しとげた研究成果です。

このように、出てくる変異株ごとに研究プロジェクトを立ち上げて、それをひと月かふた月でまとめる、ということ、を、デルタ株以降、現在に至るまで繰り返してきました。

太字以外の論文は、イギリスとの共同研究の成果です。このように、新型コロナの研究を通して、国際共同研究を展開するところにもつながっています。

Nature Methods での論文では、われわれの研究活動そのものを取り上げていただいて、有事に有機的に連携できる共同研究体制の基盤形成と、その維持が大事だ、ということ、を特集していただいています。

われわれの G2P-Japan という研究活動は、新型コロナの変異株を早期に補足して、その性状を解明することですけれども、そういった活動は、将来のパンデミックを見据えた研究としても、世界的にも着目されている状況になっています。

ここまでは研究活動の内容ですが、こういうことを踏まえて、われわれがこれからどういうことをするべきか、というまとめましたので、ご紹介します。

大事な点は2点あると思っていて、せっかくできた「G2P-Japan コンソーシアム」という研究基盤があるので、次のパンデミックや備えにつなげるためにも、これをこれからも継続していきたい、というのが1点目です。

2点目としては、今の感染症研究で一番欠けているのは、冒頭でも述べましたが、BSL3施設で、高病原性の病原体を扱える人材が決定的に不足している、ということがあります。そういったところをふまえて、感染症研究に資する若い世代を育成・啓発

していくことも重要だと考えています。

私の研究室は「システムウイルス学」という名前です(図10)。通常の基礎ウイルス学、生命科学というのは、細胞を使ったウイルスの感染実験や、動物実験を指す言葉だと思います。しかし、今回の新

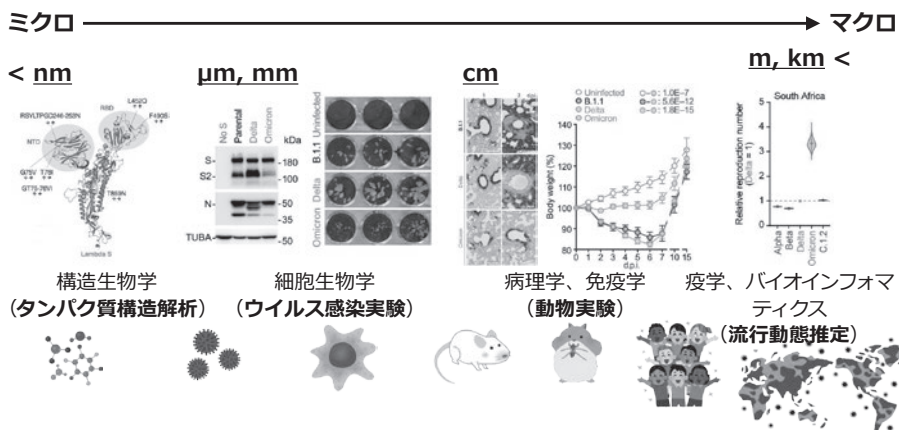
**新型コロナウイルスに関するpublication list (2024年1月現在)**

- \*Corresponding author
- \* Konno et al., *Cell Reports*, 2020.
- Abe et al., *QJM*, 2020.
- Jungreis et al., *Virology*, 2021.
- \* Kimura et al., *Cell Reports*, 2021.
- \* Motozono et al., *Cell Host & Microbe*, 2021.
- Ferreira et al., *Journal of Infectious Diseases*, 2021.
- Mlcochova et al., *Nature*, 2021.
- \* Uriu et al., *New England Journal of Medicine*, 2021.
- Bozzo et al., *Nature Communications*, 2021.
- \* Saito et al., *Nature*, 2022.
- \* Kimura et al., *Cell Reports*, 2022.
- \* Meng et al., *Nature*, 2022.
- \* Suzuki et al., *Nature*, 2022.
- Alcantara et al., *Nature Methods*, 2022.
- \* Uriu et al., *Journal of Infectious Diseases*, 2022.
- \* Yamasoba et al., *Cell*, 2022.
- \* Yamasoba et al., *Lancet Infectious Diseases*, 2022.
- Maeda et al., *Communications Biology*, 2022.
- \* Kimura et al., *Cell*, 2022.
- Nasser et al., *STAR Protocols*, 2022.
- \* Saito et al., *Cell Host & Microbe*, 2022.
- Nagata et al., *Communications Medicine*, 2022.
- \* Kimura et al., *iScience*, 2022.
- \* Fujita et al., *Viruses*, 2022.
- \* Uriu et al., *Lancet Infectious Diseases*, 2023.
- \* Ito et al., *Nature Communications*, 2023.
- \* Tamura et al., *Nature Communications*, 2023.
- \* Yamasoba et al., *Lancet Infectious Diseases*, 2023.
- \* Fujita et al., *Journal of Infectious Diseases*, 2023.
- Tamura et al., *Communications Biology*, 2023.
- \* Fujita et al., *Journal of Virology*, 2023.
- \* Kimura et al., *Journal of Virology*, 2023.
- \* Kaku et al., *Lancet Infectious Diseases*, 2023.
- \* Uriu et al., *Lancet Infectious Diseases*, 2023.
- Muller et al., *EMBO Reports*, 2023.
- \* Uriu et al., *Lancet Microbe* in press.
- \* Masuda et al., *Frontiers in Virology*, 2023.
- \* Kaku et al., *Lancet Infectious Diseases*, 2023.
- \* Kosugi et al., *Lancet Infectious Diseases* in press.
- \* Tamura et al., *Nature Communications* in press.
- \* Tamura et al., *Cell Host & Microbe* in press.



図9

**システムウイルス学研究の展開・展望**



ミクロからマクロまで、「ウイルス」に関するさまざまな側面を多角的かつ統合的に理解する

**システムウイルス学の創生・開拓**

図10



型コロナのパンデミックを受けて分かったことは、ウイルスの感染症というのは、もっと大きいスケールの、疫学とか、流行動態というスケールの理解から始まる、ということです。

新しい病原体が出てきたときに最初に解決すべきは、それが「どうやって広がるのか?」とか、「どのぐらい広がるのか?」ということを理解することが最初の課題です。これは疫学や公衆衛生学の仕事です。

その次が、「もし感染したときにどういうことが起きるのか?」ということの理解です。そのために、ここで初めて、臨床検体の知見や動物実験が必要になる。さらに、病原体が分離できていたら、細胞を使った実験ができるようになって、そうすると、薬の評価やスクリーニングなどの研究ができるようになる。しかしそうであっても、新型コロナの変異株などがその典型ですが、薬や抗体、ワクチンが効かないような変異株が出てくる。そうすると、「なぜ効かないか?」を理解するためには、構造生物学での、1分子レベルでの理解が必要になる。

世界規模のマクロスケールの研究から、1分子レベルのスケールまでのすべてを、多角的かつ総合的に理解する研究分野が、これからの感染症研究には必要だと考えています。そのような研究体系のことを「システムウイルス学」と呼んで、これから私の研究室が中心となって展開していきたいと考えています。

われわれ G2P-Japan の研究活動は、このようにいろいろなメディアで紹介していただいています。私たちが基礎研究をやっていることが一般に認知されて、基礎研究に興味をもった子たちが研究に参入してくれるような土壌ができれば、と考えているところです。

研究活動の促進という意味では、新型コロナに関する研究集会を今年立ち上げまして、石井先生にも今年ご参加いただきました。こういった活動も通して、新型コロナという研究分野、このパンデミックの3年間にできた新しい研究分野ですが、これがパンデミックが落ち着いてきたということで、終息することなく、今後も継続的に、発展的に研究できるような土壌を作っていきたいと考えています。そのような活動の継続こそが、ネクストパンデミックへの備えとなる活動に直結すると信じています。

こちらについては来年、第2回の研究集会を東京で開催する予定です。今年は、基礎ウイルス学だけの研究集会でしたが、来年は、基礎ウイルス学だけではなくて、基礎免疫のパートを感染研の高橋先生に担当いただき、公衆衛生学は東北大の押谷先生、臨床医学は大阪大学の忽那先生にカバーしていただく形で、新型コロナのすべてをカバーするような研究集会にしたいと考えています。

あとは、われわれの活動としては、これまでは新型コロナに特化した研究をしていましたが、今後は、われわれ G2P-Japan の活動を、すべての新興再興ウイルスに広げて展開していきたいと考えています。

その一例として、サル痘ウイルス（エムポックスウイルス）に関する研究も立ち上げました。こちらに関しても、今年の5月に、日本初の基礎ウイルス学に基づいた論文として世界に報告しています。

すべての新興再興ウイルスを対象としたコンソーシアム研究として展開することによって、ネクストパンデミックへの備えとなる研究体制の構築につなげていきたいと考えています。

そして、今年の夏ぐらいから「週刊プレイボーイ」のウェブサイトで、一般向けにウイルス研究の重要さや、われわれの研究活動を紹介するためのコラムを書き始めました（図11）。「週刊プレイボーイ」ということで、ちょっとふざけた感じに見えるかもしれませんが、コラム自体は結構まともなことを書いているつもりです。こういった一般の方の目に触れるところに研究の話を置くことで、一般の方に研究に興味をもってもらって、若い方が感染症研究に参入することにつながるような流れを作っていきたいと考えています。

そして、日経サイエンスに、われわれのこれまでの活動をまとめていただき、われわれの3年間の研究活動が再来週、「G2P-Japan の挑戦 コロナ禍を疾走した研究者たち」というタイトルで書籍化されます。こちら、こういった研究活動をやってきたかを理解していただきたいということだけではなく、帯に尾身先生と脇田先生に推薦文をいただき、非常にありがたい文章をいただいていますけれども、こういったところを通して、本を読んだ方が、将来感染症研究に興味をもって、「研究者になりたい!」と思ってわたしたちの研究分野に飛び込んでくることを期待して、このような活動も続けてい

## G2P-Japanとしての活動：ウイルス研究の啓蒙活動

ウイルス研究の重要性、研究者の日常や醍醐味を伝えたい！



図 11

たいと考えているところです。

このような形で、これからは感染症研究の啓蒙にも力を入れていく必要がある、というところで、私の話は終了させていただきます。

**岩田** 佐藤先生、ありがとうございました。コロナのパンデミックの中で、若手のウイルス学者の方が集まってコンソーシアムを作って、その中でいろいろな研究がすごく進んだというお話で、最後は感染症研究の啓蒙をして、そちらに入っていただけの方を増やすような運動にも力を入れているということでした。先生方から何かご質問やコメントはありますか。

**國井** 先生、ありがとうございます。はじめに先生が示してくださった中国、アメリカ、イギリスと日本の論文数の比較ですが段違いですよ。日本は全然話にならないですね。これは真剣に何が足りないのか、何をすべきなのか、いろいろ考えなければいけないと思います。

一つは国際連携だと思います。中国や韓国はそうですが、海外で留学や活躍した人たちが戻ってきて、いろいろなネットワークを日頃から作っているし、グローバルな人の動き、情報の流れ、ネットワークは活発です。イギリス、アメリカにしても、アフリカにもアジアにも中南米にもいろいろなところに研究拠点がある。例えば、私が昔行った西アフリカのガボンという国のかかなり奥地に BSL3 の施設がありまして、パスツール研を含め世界中から若手研究者

も集めてエボラ熱などの研究をしていました。

日本から海外に行くのも必要だと思います。基礎研究の場合、日本のレベルは高いでしょうけれど、実際に感染症が流行している海外の現場に若い人には出ていってもらって、そこで研究や実践をしながら育ててほしいとも思います。

あとは、先ほど先生が言われたようにポストドクの数足りないの、その数を増やすためには今後アジアなどからの研究者を受け入れるのも重要です。

最近は国境を超えた検体の搬送が難しくなっています。今後、海外から日本に持ちこむことができなくなる可能性も高いですし、インドネシアのように禁止する国も出ています。やはり現地で研究開発や対策ができる人たちを育成しながら、そこに日本人も入っていく必要があるかと思っています。

いずれにしても、国内での対策だけでなく、世界に発信できるような人材も含めて育成しないと。あの論文数は日本の様々な問題を反映していると思いました。

**佐藤** まさに先生がおっしゃるとおりで、今回僕がサウジアラビアに結構無理を押しして来たのも、G2P-Japan は研究成果があるので、コロナウイルスに関する研究業界では、幸いにしてほぼ認知されている。そういうところを足がかりに、世界のいろいろな人たちをつなぐところに手を伸ばして、少しずつネットワークを広げていきたいというところがあります。今回、この学会に来ているのも、そういう

ネットワークングが目的のひとつです。

あとは、これも先生もおっしゃったとおり、世界に向けた目だけではなくて、国内の若い芽を育てるとか、芽そのものを作ることからしないと、感染症研究はかなりやばい状態だと思うので、国内の底上げと国外に目を向けることの両面に関して、これからはかなり頑張らなくてはいけないかと思っています。

**松本** 佐藤先生、素晴らしい発表をありがとうございました。まず、G2P-Japan というコンソーシアムを作る上で、これだけの組織を最初に作って、しかも成果をどんどん出していったのはなかなかできるものではないと思いました。ただし、いろいろな組織、大学が絡んでくると、どの論文を誰が発表するかでいろいろややこしくなるところも多々あると思いますが、そこをうまく交通整理して実施されたというのは、何か工夫されたものがあるんですか。

**佐藤** そこに関しては、来月出る本をぜひ読んでいただきたいと思います(笑)。そこにいろいろ書いてありますので。

そこはよく聞かれるのですが、マネジメントに関しては、苦労したとはあまりないです。これは、参加しているメンバーのモチベーションが非常に高かったので、詰まることは特になかった、というのが正直なところ。論文も、頑張ればトップジャーナルに出る、ということがやってるうちにみんなわかってきていたので、それがインセンティブとなってみんな頑張らって、頑張った分だけ成果もついてきた、という、ポジティブフィードバックな状況だったと思います。しかも非常にやりがいのある時期で、基礎研究にこれだけ脚光を浴びることは、われわれなかなか経験することがなかったので、それがやる気にもつながるし、研究費もつけていただいて、それもまたやる気にもつながるし。期待いただいている分だけ、それをちゃんと成果につなげなければ、という責任感にもつながったと思います。そういうことで、すべてがともうまく回った期間だったと思っています。

おそらく、何かひとつがキーだった、ということではなくて、いろいろな要素が相まって、それらがうまく噛み合った、ということだと思っています。研究成果への社会的な需要も高かったので、そういうところに応えなければいけない、ということで、

みんなのモチベーションが非常に高く、期待に応えようと頑張った成果だと考えています。

**松本** もう一点、先生は論文の報告がたくさんあるので、AMEDの審査でも必ず上のほうにくるのは間違いなかったのですが、ただ残念ながら単年度での予算になると、長期的な視点で研究を継続していくことが難しいと思うのですが、それについてどう思いますか。

**佐藤** そこまさにおっしゃるとおりで、単年度だと人材育成に研究費が使えないんですね。単年度予算で人の雇用はできないので、そこは事あるごとにAMEDにお願いしたつもりなのですが、そこは結局ずっと単年度の予算で、それをずっと繰り返し申請して採択いただいて、ということをやり返して今に至るところです。

今年度の公募に至っては、先生もご存じのとおり、そもそも新型コロナに関する研究の公募そのものが出ていないので、これからどうしたものか、というのが正直なところ。前に述べました通り、僕たちにはG2P-Japanという研究基盤があるので、長期的な予算をつけてさえいただけたら、確実にうまく回ることは間違いないと思います、ということが一つ。そして、先生に私のパブリケーションを評価いただいたところは非常にありがたいのですが、ここについても実は最近AMEDにつつかれていて、「論文はもういいから、実用化につながることをやれ」と言われています。論文は出るけど実用化につながることはない、ということで、内部での評価は下がっている、というようなことを言われたこともあります。この辺はどこまで書いていただけるかはあれですが。

省庁が違うからかもしれないですが、本邦の研究の底上げを考えたときに、実用化のことばかり言われても底上げにはならない。そこはもう少しすり合わせいただくことが必要なのではないかと考えているところです。

**松本** 了解しました。非常に重要な意見をありがとうございました。

**岩田** AMEDについての話が出てきましたが、石井先生から何かございますか。

**石井** 本音トークの放談記によろしくなってきましたと思います。佐藤先生と同じ研究所で苦楽をともにしているところですが、やはり現役の若いチームが失



敗覚悟でいろいろなチャレンジができるシステムに今、日本の大学はなっていないです。彼はいろいろな研究チームと日本中、世界中とつながったから生き延びているのであって、一つの小さなヒエラルキーにいと、しかもかなり高齢化している社会で、なかなか若い人の動きがとれない状況があるので、解決策をいろいろなところで探っているのですが、なかなか一つの解がない状況になっています。

そういう意味では佐藤先生と僕は、今いろいろな研究チームでエムボックスなどでも一緒にやらせていただいているのですが、良かったのは新型コロナの専門家がいなかったんですね。つまりブルーオーシャンで、そこに入っていきことができれば、誰かそこで成功の余地があった。

だけど、例えばインフルエンザなどになると、そこは既得権益がたくさんあったり、ワクチンだと日本だと既得権益の塊だったので、そういう意味で失敗を覚悟でやれる若い人たちが日本で出てこれなかったのはそこではないかと。

韓国ではそういう土壤がなかったもので、一気に試薬や診断薬、ワクチンで新しい産業ができました。中国はそれを予定どおりに世界規模で拡大していることを考えると、日本はそこができません、次のパンデミックでどうするのかということ。

先生も覚えていらっしゃると思いますが、新型インフルの時に同じ会話をたぶんしていたと思います。全く動きがないので、次の第何波がきても、同じ結末になってしまうことを危惧しています。

**岩田** そうですね、佐藤先生もコンソーシアムの維持の話がされていましたが、継続性はなかなか担保していただけないような仕組みになっているところが難しいかと思いますが。

**佐藤** 次のパンデミックに関しては、われわれの活動を続けることができているならば、われわれが即応できるはずなので、そのように期待していただけたら、われわれもこれからも頑張りたい、というのが一つです。

ただ重要な点として、今回われわれはパブリケーションとしてはすごく出ましたが、それも始まったのは2021年からです。パンデミックの最初の年(2020年)は何もできなかったもので、次のパンデミック、有事があったときには即応して、われわれがすぐに最初からできる体制を維持していけたらな、と

いうところがあります。

新型コロナの研究を通したコンソーシアム活動は、次のパンデミックに向けた、非常に大事な試金石だったと思っています。

**岩田** 流行予測などでも基本再生産数などが非常に大事なところになってくると思います。全く新しい感染症が出てきたときに、どのぐらいでそういうデータを出せるものですか。

**佐藤** そこもよく言われるのですが、今のわれわれの解析では、変異株の登録数のデータを使っているので、現状の方法は、次のパンデミックの際にはすぐにはたぶん使えないです。そういう問題点は理解しているので、どう改善するかについて、今取り組んでいるところです。

今回の新型コロナパンデミックの中で僕たちは、われわれのコンソーシアムだけで、ある意味クローズドな形でやってきました。しかし今は一段落したところで、例えば、慶應大学などが参加しているコロナ制圧タスクフォースなど、他のところともつながりをもって連携していこうという話をしていません。これからはいろいろな方法を模索しながら、リジットに集まれる会ではなくて、緩くつながるような形で情報共有しながら、次への備えとしてつながることができたらと考えています。

**岩田** ありがとうございます。基礎研究を維持するのはすごく大変だと思いますが、臨床側から見るととても大事なことなので、ぜひ先生方には頑張っていたいだきたいと思います。どうもありがとうございました。

続いて國井先生からお話をうかがいたいと思います。今回のパンデミックで「100日ミッション」という政策提言がなされましたが、そういった政策的な背景や経緯と、これからの見通しなどに関して、グローバルヘルス、GHITファンドの立場からお話しいただけるとと思います。よろしくお願いします。

#### IV. 100日ミッションについて

##### —グローバルヘルス、GHITファンドの立場から—

**國井** 私はパンデミックの時期にスイス・ジュネーブにある国際機関グローバルファンドでエイズ、結核、マラリア対策をしていましたが、新型コロナによって、世界的なサプライチェーンが停滞して、現

地の対策プログラムもロックダウンなどで停滞したので、エイズ、結核、マラリアの感染者数や死者数も増えたんです。

ただ、われわれは資金を低中所得国に提供していて、1か国多いところだと500億円ぐらい、少ないところでも数億円の予算があるので、その一部を新型コロナ対策のために緊急措置しようと100か国ぐらいへの支援をしました。

もう一つは、グローバルファンドとWHO、世界銀行、ゲイツ財団など9つの国際機関などが集まってACTアクセラレーターという新型コロナ対策のための診断、治療、ワクチンの開発とアクセスの国際連携を行いました。当初は新型コロナの診断も治療もワクチンもなかったもので、国際機関が一緒になって資金を集めて研究開発を早めて、製品ができたならそれを世界に配布しようと。世界に新型コロナワクチンを迅速かつ公平に届けるためのCOVAXというメカニズムもその流れの中で作られました。

私の組織グローバルファンドは診断薬と治療薬で中心的な役割を果たしました。特に、RECOVERY臨床試験の結果の後にはデキサメタゾンなどを支援し、多くの低中所得国では医療用酸素が足りなかったもので様々な支援をしました。

迅速診断テストは、実は栄研さんが世界に先駆けてとても早い時期に開発されていました。大きな国際貢献とビジネスのチャンスだったと思うのですが、残念ながら大量生産するための材料の入手などに困難があったようですね。

結局グローバルファンドでは、しばらく経ってから迅速診断キットを開発した韓国企業から大量に購入し、世界の新型コロナ対策に使ってもらいました。この企業はかなりの利益を得たようで、かなり大きな会社に成長したようです。

パンデミックはある企業にとってはビジネスチャンスでもあったと思います。一つの教訓は、パンデミックでは単なる安全保障だけではなくて、経済保障も考え、その中では経済を守るだけでなく、攻めていくことも考えてほしいと思います。「パンデミックで日本国内が大変なのに、国際支援なんて考える余裕はない」という人が日本には少なくないのですが、ワクチンでも診断薬でも治療薬でも、日本の素晴らしい製品があればそれを海外に売ってWin-Win関係を築けばいいと私は思います。もちろん、低中

所得国などの貧しい国には特別の配慮をしてほしいと思います。

今回デキサメタゾンの有効性を示したRECOVERY試験結果が出て承認が取れたのが138日、迅速検査は236日です。そしてワクチンが336日、1年以内の開発されて承認されました。これがもし100日以内で開発できたなら、死者は336日の約170万人から約10万人と、99%ぐらい低減することができます。本気でそれを実現しようと、野心的なミッションですが今進めています。

今回2023年のG7広島サミットで、政府に提言をするためのグローバルヘルス・タスクフォースが作られて、その中に100日ミッションのワーキンググループを設置しました。

WHOやCEPIなどの国際機関も含めて様々な議論をしましたが、とにかく100日ミッションを実現するにはやるべきことがたくさんあるんです。

一つには、次のパンデミックの備えとしてどういう病原体をターゲットにするか、それに対するある程度のプロトタイプのパッチや検査キットを作っておく。ご承知のようにこの中にはインフルエンザやコロナ、ラッサなど将来の流行が懸念されるいくつかの病原体がありますが、そういう中からいくつかのプロトタイプを作っておくわけです。

mRNAワクチンへの期待は高いですが、次のパンデミックでもmRNAワクチンで成功するのか、他のプラットフォームの方がいいのか、わかりませんがいくつかのオプションを作っておく必要があるでしょう。

100日ミッションはワクチンだけではなくて検査と治療の研究開発もあって、迅速検査のほうはプロトタイプは作りやすくてもっと早く開発できるのではないかと聞いています。

治療薬に関しては、現在ある薬のre-purposeを考えて、患者にすぐに第3相試験ができるようにする計画です。

もう一つは、新たな薬をどうやって作るか。それはバイオ医薬でやっていくのか、低分子化合物から探していくのか。低分子化合物の探索でAIや、量子コンピュータによる加速化が期待されていますが、GHITとしても今後新たな技術を導入しながら、この分野でも貢献したいと考えています。

また、診断における100日ミッション実現を目指

して、FIND (Foundation for Innovative New Diagnostics) という国際機関が世界でリードしていますので、GHIT は FIND と連携して日本の優れた検査技術で 100 日ミッションに貢献したいと考えています。栄研さんには大いに期待しています。

日本には高い技術を持っているところがあるので、平時のときにどうやってパートナーシップを強化するか、対話を進めるか。将来のパンデミックで個社だけの努力で 100 日ミッションの実現は難しいので、どうやって産学官民連携のサポート体制を作り、特に push と pull incentives を駆使していくか。日本国内の安全保障はもちろん、よい製品は海外にどんどん売ってもらい、企業には儲けてもらう。無償協力だけでなく、ビジネスも重要な国際貢献ですから。

最近のキーワードはエコシステムです。研究開発だけでなく、その製造、アクセス、流通、サービス提供まで一貫通貫で加速化させるためのエコシステムをどうやって作っていくか。これは単に基礎研究の人が基礎だけ、臨床は臨床だけではなくて、全体の流れを作っていくための協力や連携体制が重要です。

一昨日までジュネーブの WHO で国際会議に出席していたのですが、ウェルカム財団 (Welcome) の責任者をやっていた Jeremy Farrar が現在 WHO の Chief Science Officer として中心になって、世界中から関係機関や専門家を呼んで、グローバルヘルスにおける研究開発の加速化、効率化に向けたエコシステムをどうやって作っていくか。中でも大規模臨床試験をいかに迅速に効率よくやっていくかが重要なステップ、逆にボトルネックになるので、これをどうやって連携協力して成功させるか。

他に、ワクチンなどが開発されたらその製造を欧米だけでなく、アフリカやアジアなどの地域で実施できるようにするにはどうするか。それにはそれ以前の mRNA を含めた研究開発の技術移転も重要で、これもどのようにやっていくか、どのような人材育成をしていくか。

そういういろいろなものが全部つながっているんです。今それらをどのようにつなげていこうか、どの部分が弱くて埋める必要があるのかなど議論をしています。これらに必要な資金調達はどうするか、例えば GHIT が行っている研究開発への投資をどの

ような組織と共同出資していけばより効果的・効率的になるか、など。

例えば Light Foundation というのが韓国にあり、MMV (Medicines for Malaria Venture) はジュネーブにあり、様々なパートナーとどのように組むか、特に共同で出資したり開発の迅速化のために戦略を合わせたりして補完し合っていく。さらに臨床試験をどのように世界全体で迅速化、レベルアップしていくか。時間や資金がかかるものをどうやって短くまた効率的にしていくか。

あと、結構ネックなのが国の承認なんです。PMDA、FDA、ヨーロッパの EMA、最近ではアフリカの AMA というのがありますが、これらの間での連携協力、特に先進国にある三者間で連携し合いながら、より迅速に、簡便に、経済的に承認プロセスを受けることができるようになるかというのがまず一つ。

あとはアフリカやアジア、中南米での承認プロセスをサポートして、現地で必要な製品を現地で効率よく効果的に評価して承認するにはどうすべきか。たとえばアフリカではアフリカ CDC とアフリカ医薬品庁 (AMA) を含めて、その辺の連携協力を進めようとしています。

アジアは必ずしも足並みがそろっていません。というのも、アジアは新薬の研究開発や製造で実質的または潜在的なキャパのある国が多いので。例えばインドは世界の子供のワクチンの 7 割ぐらいを製造しているので、将来のパンデミックではワクチン製造でもっとやれると思っています。インドネシアも新興国として将来のパンデミックでの立ち位置を考えています。タイやベトナムも大規模臨床試験のキャパはあり、感染症対策には長けているので、ASEAN CDC を自分の国に置きたいという目論見があるようです。

将来のパンデミック対策に向けたアジアの拠点をどこに置くのか、まとまらないところをまとめようとするのか、またはいくつかの国に違った役割のハブを作るのか、または、ハブも作らずソフトな調整協力体制を作るのか。たとえば、データ情報は迅速に共有して収集分析しましょうとか、大量製造はインドがやるけれど、不足分はインドネシアがやりましょうとか。

とにかくグローバルではいろんなことが動いているんです。ところが日本の動きがすごく遅いので、



それを早めないといけないと思っています。パンデミックが収束して、喉元過ぎて熱さを忘れてきている。将来の感染症に備えるのではなくて、関心を失っている人たちが結構出てきたので、これをどうやってつなぎ止めたり、育てていったらいいのか。もう少し頑張ってもらいたいと思います。

あとはベンチャーが日本では育っていないし、ベンチャーでせっかく作ったシーズを日本の中で実らせることができない。魔の川、死の谷、ダーウィンの海などと言いますが、海外にシーズが逃げないように日本の中で育てて、開発・製造して、世界に展開していくにはどうしていったらいいか。

やるべきことはたくさんあるのですが、何をすべきかはだいたい分かっているんで、それをやるかやらないかの決断です。日本はその決断が遅く、チャンスを逃している部分もあります。日本の中にいるプレイヤー、産学官民のそれぞれに役割があるので、それぞれの役割を果たしながらも、誰がうまく調整、協力を促進していくか。そして100日ミッションを実現できるエコシステムを作っていくか。日本国内だけでできないところはどうやって海外と組んでいくか。

ただ、最終的に日本で開発した製品を世界で売って儲けてもらうには、できるだけ製品の製造は日本でやったほうがいいようです。将来のパンデミックに向けて、日本のワクチン製造能力を高める計画があるようです。平時の製造工場を緊急時にワクチンが製造できるようにするものです。

今、ワクチンだけなので、検査のほうは栄研さんに頑張ってもらいたいです。いくつかの企業で優れた技術があるようなので、100日ミッションの実現に向けて貢献して欲しいと思っています。

**岩田** ありがとうございます。ファンディングは研究・開発を進める上でとても大事なところですので、ぜひ大きなファンディングをつけていただいて、その中で日本も頑張っていかなければいけないと思います。

栄研に関してですが、グローバルファンドの話に乗れなかったのはキャパシティの問題ですか。それとも会社がそんなことをやるなど。

**栄研** raw materialの入手が海外からといった部分で、サプライチェーンの問題がかなり大きいと思います。

**國井** その部分も、今回のパンデミックで世界の

サプライチェーンが停滞することが分かったので、平時からどのような形で原薬や原材料を手に入れていくか。そこを詰めておかなければなりません。

**石井** 國井先生と私は近い領域で、よく話をするのですが、例えばこの雑誌の座談会の読者の方と栄研化学の関係者の方々が、これを文字起こししてもらって、先生のいろいろなキーワードをご理解できるかということ、なかなか難しい。そこまで幅が広くこういう議論ができる方というのは日本の政府や、関係者や学会の中にも少ないというのが非常に問題視されるべきだと思います。

これは国際機関などに日本が役人、企業の方々、アカデミアの方を派遣しなくなって、早うん十年経ってしまったので、そういった交流がほとんどない。若い人たちがこういう議論にすぐ参加できる場所がない。日本では「ガラパゴス化」とよく使いますが、私はガラパゴスに大変失礼だと思っています。こういうのは「日本化する」という故事がそのうちできてしまうのではないかといい危惧しています。

ただ国際機関や国際学会に行くと、こういう議論が普通にされているのですが、「三密」とか、「マスク」とか、「第何波が」と言っているのは日本のマスコミだけで、他は全くそういう議論をしていなかったのがこの数年間です。先ほどの佐藤先生がやったような形で、研究はグローバルでつながっているのですが、そこがやはり厳しいギャップかと思いました。佐藤先生にはぜひサウジアラビアのグラントをどんとこの数日で取っていただきたい。

今までなかったヒューマンコネクションを世界中でつくれる若者が何人出るのが重要だと考えています。今回のパンデミックのサイエンスと創業の対応において、日本は中国やアメリカ、イギリスと大きく違ったのは明白です。むしろ日本はどこと比較しなければいけないかということ、韓国と比較しなくてはいけいない現状になっています。ワクチンも韓国のほうが早く出ているし、検査薬も韓国はビジネス的に大成功といえる状況でしょう。

そういうことを言うと、政府関係者や大御所の研究者の先生にはなぜ韓国と比較するのかといぶかしがられるのですが、この現状のわかりやすい例として、ジャニーズ（現SMILE-UP）とBTSの違いに近いと伝えています。エンターテインメントを国とし

てグローバルストラテジーを取っているところと、そうでないところの差が今、露呈していると理解しています。残念ながら診断薬と治療薬とワクチンもBTSとジャニーズ並みの差が出てしまうリスクが危惧されます。

國井さんと僕はよくこういう話をするのですが、ふと日本を振り返ると、まだ大きな波になるには時間がかかりそうです。

GHITは素晴らしいファンドですが、いわゆるパンデミック用のファンドということではなくて、それによってneglectされているもっと重要な感染症をしっかりとしなければいけないファンドでもあるので、ファンドとしてはそのバランスをしっかりとっていただく必要があるでしょう。

AMEDもコロナの時はコロナ関連の予算が付きましたが、今はもうコロナのグラントがほとんどないですよ。 (以前から必要とされて、できずにいた) サステナブルなグラントがコロナ後にも見当たらないという皮肉なことになっているので、その反省を込めて、これからはぜひ長期にわたって、研究のみならず、それを遂行する人材育成にも投資してほしいと思います。

**國井** そうなんですね。包括的な戦略というか、big pictureがまだ描けてない。日本は資金がなくはないんです。ただ、それをどこにどのようにつけるか、その目的やターゲットがどこにあるのかが明確でないことが多い。あとは大局的に見る人が必要です。例えば臨床家だけけど、研究開発や公衆衛生対策を知っている人がいると、そのつながりが円滑になっていくと思うので、できるだけ自分の分野を広げたり、他の分野と行き来したりするといいのかなと思います。

先生のように違う分野の方に入ってもらえると、こんなに議論が潤ってくるという例ですから。

**石井** 言語が通じるのに数年かかりますので、ぜひ諦めずに続けていただきたい。

**平田** ファンドに関しては工学系についても、最初の2、3年だけで、今となってはほぼ研究費はつかないですね。私はお金が使いにくかったんで、そもそももらわなかったんです。当初は、半年か1年間の予定でしたので。そういった意味では、日本はお金があっても使い方が下手というか、ちゃんと使えないんですよ。それが一番の問題だと思っています。

**石井** そうですね。長期の人件費などで使えないですもんね。

**平田** 使えないんですね。それからウイルスなどはまだ論文が出せますが、私のようなものは1回シミュレーターを作っただけで、あとは作業であって、研究ではないんです。こういった人材をどうやって作るかということもあります。国立の研究機関でできるのかということ、感染症であれば、たぶん医学系研究者になるので、公衆衛生に近い分野の人を幅広く受け入れるような体制を作らないと、将来的にはまずいかなとは思っています。

私たちの内閣官房のグループの主査をされていた北野宏明先生が、ジョンズ・ホプキンス大学を訪問した際、日本は政策決定の参考にAIを使っていたんだという話をするので、アメリカではそのような使い方はしていなかったようです。ひょっとしたらイギリスは使っていたかもしれない。

そういった意味では、AIとかシミュレーションを融合させてうまく使っていただければいいのですが、たぶんこのままいくと私たちのグループは1、2年後には終わるかなと思っています。そういった意味で、ファンドをどうされるかというお話は非常にためになって、ぜひとも国として考えていただきたいなとは思いました。

**岩田** コロナ(有事)の時だけバーッと予算がついても、あとは持続しないとそのまま消えてしまう。前の新型インフルエンザの時にも同じことが起きたような気がします。お金が続かないと研究も続かないですし、その辺のところをどうするのか。

日本から発信して、海外へ出していく。本当はワクチンだって日本で作って、途上国へ出しに行きたいと思いますが、そのように進んで行きにくいところはこれからの課題ですね。

**石井** そうですね。2001年の9.11の頃に、炭疽菌テロがあったので、アメリカは感染症の基礎研究を予算的には5~10倍にして、約2~3000億円が定期的にそこからずっと出ているんです。イギリスも、その5分の1ぐらいですが、一気に増えて、ずっと20年その予算が出ていたらしいです。

日本はそこがコロナの波のように上がっては下がりなので、人が育っていない。20年間の結果を今見せつけられているところなので、スタートポイントは残念ながら韓国よりも少しビハインドのところからも

う一度再出発というところではないでしょうか。

**岩田** 國井先生、ファンディングする側から見て、持続して予算をつけていくことはどうやったら可能になるのでしょうか。

**國井** 日本政府は単年度予算ですが、私の GHIT では政府や民間企業から 5 年間の誓約を頂いたり、ゲイツ財団やウェルカム財団からも 3～5 年の予算を確約してもらったりしています。

前職のグローバルファンドでも 3 年ごとに増資会合で資金調達をしていました。官民連携の基金のようなものを作って、そこに資金をプールして長期的に活用するというのはいかなど。AMED の場合は公的組織なので難しいかもしれません。柔軟性を持たせるには、官民パートナーシップのメカニズムを利用するのがよいと思います。

あとは、海外のあるところには資金が潤沢にあるので、そういったところを探して獲得することです。

今だに英語の壁があるようですが、そんなことを言っているのはいつまでもグローバリゼーションができず、世界から取り残されていきます。GHIT でも選考委員は海外の専門家が多数、世界のトップクラスの人たちなので、日本人にとってはなかなかハードルが高いようです。でも、それを超えていかないと資金獲得も結果を出すことも難しいと思います。

海外の研究資金はご承知のように、英国も米国もいろいろな国籍の人が応募して通っています。そのような中で、国際連携や協力が促進されていくので、逆に日本国内の資金だけに頼っているのは、国際連携や協力が進みにくいのかと思います。日本の大学や企業には、海外の資金をどんどん取って行って欲しいと思っています。

**岩田** 分かりました。ありがとうございます。

最後に石井先生からお話を伺います。石井先生は AMED や SCARDA の任務を受けつつ、基礎研究を進めていらっしゃるようです。研究者の立場としてお話をいただければと思います。よろしくお願ひします。

## V. ワクチン開発などの基礎研究について

**石井** 先ほど國井先生からありました 100 日ミッションというのが、われわれワクチンの基礎研究や開発研究をしている者にとっては苦しいお題で、なぜなら今話題で問題になっているように、ワクチン

は本来であれば医薬品の中で一番高い安全性を求められて、5 年、10 年じっくりやって、安全を再確認してから定期接種なり、子どもに打つようになるものなので、これを 100 日でというのは、通常のワクチン開発の目標とは見掛け上、真逆に見えてしまっていると思います。

その意味では、次のパンデミックのときにそれをどのように準備したらいいかは、本当に厳しい課題を突きつけられています。

一方、希望は子どもたちで、子どもたちは SDGs、2030 年までに 17 の大事な目標に到達することを学んでいて、1 から 17 まで空で言える時代になります。

そういう子たちに今後何を任せられるかが、われわれの将来の課題になってくるのではないかと思います。

G7 の 100 日ミッションを達成するための鍵は何か？私は、Day0 から 100 日でワクチンを大慌てで作るのではなくて、Day0 までの何百日か 1000 日、つまり、平時のときにどれだけ備えをしておくか。備えあれば憂いなしの世界をわれわれが作れるかということだと考えています。それは基礎研究、すなわち不可能を可能とする研究力、体力を蓄えた研究者がどれだけいるか。

先ほど佐藤先生が何の病原体でもやりますと言っていました。新型コロナ前にはコロナウイルスをやっていた研究者は日本では一人か二人しかいなかった。でも、「いた」というだけですごく、世界中で見たことも聞いたこともないウイルスや病原体をマニアックにやっている研究者が何人いるかということが、たぶん国力に最終的にはつながると思います。

一方、デリバリーのところまで考えると、健康安全保障と言って、試薬を作れ、ワクチンを作れといっても、その材料がなかった。ふと考えると、ワクチンだけでなく、医療や生活にかかわる必需品の多くを外国から輸入しています。安全保障から考えると、原料からツール、人材まで全てをメイド・イン・ジャパン、ジャパニーズでやるかということ、できないことがはっきりしている。

どうすればいいかということ、それはグローバルアライアンスが必須になると思います。信頼関係の下協力ができる国々と緊急時には特に融通の利くシステム、例えば G7 プラス数か国、國井先生はエコシ



システムとおっしゃっていましたが、そういうものが  
必要なのではないかと思います。

その後日本が反省して、2021年6月に閣議決定されたワクチン開発戦略から、AMEDにSCARDAという組織ができたのはご存じのとおりだと思います。SCARDAの詳細な説明は省きますが、象徴的なNatureのニュースを今日は持ってきました。その記事には、日本が100日ミッションで、100日でワクチンを作る「エコシステム」のために2000億円(2 billion dollars)投資したという記事です。

でも、それをよく見ると、各ステークホルダーにばらまかれていて、大学にはトップ拠点を作り、400 million dollars 出ると。でも400 million dollarsは5年で、それが10ぐらいの大学にばらまかれてしまう。各大学が使えるお金はたかが知れていて、ワクチンを開発するといっても基礎から第1相試験までが関の山です。

ここの世界トップ拠点の東大のリーダーになられた河岡先生は非常にhumbleなコメントを出されていて、Natureがその2 billionで何をするのかと聞いたら、「futureのワクチンのシーズを見つけることだ」。アカデミアでもそれぐらいしか言えないことに今でもなっています。それなのに、評価委員会から「ワクチンはいつ作るんだ」「いつできたんだ」と四半期ごとに聞かれているのがアカデミアの常です。

私はいろいろな方に言っていますが、アカデミアではモノは作れない。シーズが出てくるだけなので、そこをつなぐエコシステムに投資してくださいと。そういうところは、本日の先生方のご意見と近いのではないかと思います。

それと、私は「100日ミッション」というのは日本人に伝わりにくい言葉だと思っていて、意識させていただいています。「備えあれば憂いなし」という言葉です。100日のできるためにはその前にしっかり準備しようと。キーワードとしてはモックアップワクチンが必要だと考えています。モックアップというのは模擬という意味で、模擬試験というのはモックアップテストです。本当の試験で良い点を取るためには、模擬試験をたくさん受けますよね。それと同様に、100日でワクチンを作るときに、練習をしないで本番に行くからまずいのであって、モックアップワクチンで臨床試験を絶えずしながらフェーズ1、2はやっておく。フェーズ1、2までで

きていると、パンデミックやアウトブレイクが起きるとフェーズ3に入れるんです。そのフェーズ3を賢くやれば、100日で本当にワクチンが作れる計算はできています。

さらに、そのためにはレギュレーションが成功の鍵を握ってしまっていて、例えば日本にないルール、アニマルルール。つまり、治験ができない病原体のワクチンは動物試験のPOC (Proof of Concept) のみで承認するシステムです。エボラなど致死率の高いものでは、ワクチン治験の被験者を野に放って、あなた感染してきなさい、もしかしたらプラセボかもしれないからという野蛮な臨床試験はできない。となると、そのときはアニマルルールというのがあり、アメリカではFDAがこのルールを制定していますが、日本ではまだです。やれないことはないと思いますが、いまから準備をしなければいけない。

それから今は世界中でControlled Human Infection Model、略してCHIM(チム)。感染症の薬やワクチンの治験の有効性を、病院内のコントロールされた状況で感染実験を行う方法です。G7などの先進国は日本以外のすべての国が保持、もしくは設立予定になっています。CEPIでは、ケニアとシンガポールにこの感染モデルの病院を造ることが決まっています。具体的な話も始まっていないのが日本です。これも実際にCHIMでやれる治験ができたときに、結局日本だけが置いていかれてできない現象が今も続いている。

3年前から政府に見せている資料がありますが(図12)、ピクリとも動きがない。また、いつも出すのですが、100日ミッション、國井先生には笑われるかもしれませんが、ChatGPTに聞くと立派な答えが20秒で返ってきます(図13)。具体的には「グローバル監視システムの確立。ワクチンプラットフォームを事前に準備する。mRNA技術を利用する。臨床試験を並列で実施する。適切な資金の提供」、この5つをやれば100日ミッションができるとChatGPTは言っています。

今回のコロナ禍ではmRNA(ワクチン)の技術があったからこそ今回ワクチンがすぐにできたということがありますが、実は30年前のアイデアから生まれた技術であり、歴史がある研究分野なのです。しかし、実際にワクチンができるようになったのは、15年前にカタリン・カリコさんとドリユー・ワイ

スマンさんが発表した論文がきっかけと言われてい  
ます (図 14)。

ここで重要なキーメッセージは、この時に、この  
論文が mRNA のワクチンの役に立つと予測できた  
人は、一緒にこの紹介文を書いた私と審良静男先生  
を含め一人もいなかった。

なぜかと申しますと、修飾した mRNA は (免疫  
を不活化しないことから) 将来遺伝子医療に使える

として、モデルナやビオンテックが飛びついたんで  
すが、まさかこれが逆説的にワクチンに一番いいも  
のになるとは誰も想像ができませんでした。加えて、そ  
のような時期に、諦めずに最後まで続けたカリコさ  
んとワイスマンさんたちの insistence (しつこさ)、  
resilience (あきらめない意志) とも言いますが、お  
金がなくなっても、ポジションを奪い取られても諦  
めなかった彼ら二人はノーベル賞に値するものだ

## 我々の 100 days mission = 備えあれば憂いなし

### 平時および有事のワクチン開発

**パンデミック** 発生時、**100日**以内に安全なワクチンの提供を可能にするには

**平時:** WHO、CEPIや関連国際機関と連携し、パンデミックポテンシャルの高い病原体に対す  
る**モックアップワクチン\***を開発する。

すなわち、平時に前臨床試験、第 I 相、II 相臨床試験まで終了させ「条件付き承認」  
を得る。有事の III 相試験が不可能な場合に備え、Animal ルール (ヒトでの感染防御効果  
を検証不可能な病原体)、Controlled Human Infection Model (CHIM、ヒトチャレンジ  
試験) の体制を「平時」に整えておく。その他、グローバルアライアンスにて、

- ・ワクチンのパーツをモジュール化しそろえておき、治験薬対応で準備、備蓄を行う。
- ・ヒト免疫計測システム、AI 解析、動物モデルの検証システムを確立する。

**有事:** 平時に準備した承認モックアップワクチン製造、臨床試験 (上記参照)、承認申請を  
**100日以内に遂行する**。ワクチンを国民に提供できるだけでなく、グローバルヘルスカ  
パレッジに資する産学連携のもと世界に提供することを最終目標とする。

\*モックアップ (模擬) ワクチンとは:  
実際の病原体の抗原に類似した抗原を用いたワクチン。実際の流行の際は流行株の抗原を用いた製剤を生産する。

図 12

I asked CHAT GPT (Feb 17, 2023) about;

How can we prepare vaccine against next pandemic within 100 days?

Preparing a vaccine within 100 days is a very challenging task, but it is possible by utilizing various innovative approaches and technologies. Here are some ways that may help in preparing a vaccine against the next pandemic within 100 days:

1. Establishing a Global Surveillance System: An early warning system can be established to detect the emergence of new pathogens. This system can help in identifying potential pandemics and can trigger a rapid response to develop vaccines against the emerging pathogens.
2. Preparing Vaccine Platforms in Advance: Preparing vaccine platforms for different types of pathogens in advance can accelerate the vaccine development process. The platforms can be used to produce a vaccine that targets the specific pathogen quickly.
3. Utilizing mRNA technology: The mRNA technology is a new and highly promising approach for developing vaccines. mRNA-based vaccines can be designed and produced quickly and can provide effective protection against a range of pathogens.
4. Conducting Clinical Trials in Parallel: To accelerate the development process, clinical trials can be conducted in parallel with the manufacturing process. This will save time and can help in identifying potential problems earlier in the process.
5. Providing Adequate Funding: Adequate funding is critical for the rapid development of vaccines. Governments, private organizations, and philanthropic entities can work together to fund the development and production of the vaccine.

In summary, developing a vaccine within 100 days is a challenging task, but by utilizing innovative approaches and technologies, it is possible to prepare a vaccine against the next pandemic quickly.

CHAT GPTに聞いてみた (2023年2月17日)

### 100日以内に次のパンデミックに対するワクチンを準備するにはどうすればよいですか?

100日以内にワクチンを準備することは非常に困難な作業ですが、さまざまな革新的なアプローチと技術を活用することで可能です。100日以内に次のパンデミックに対するワクチンを準備するのに役立ついくつかの方法があります。

1. **グローバル監視システムの確立:** 新しい病原体の出現を検出するために、早期警告システムを確立することができます。このシステムは、潜在的なパンデミックを特定するのに役立ち、新興病原体に対するワクチンを開発するための迅速な対応を引き起こす可能性があります。
2. **ワクチンプラットフォームを事前に準備する:** さまざまな種類の病原体用のワクチンプラットフォームを事前に準備することで、ワクチン開発プロセスを加速することができます。このプラットフォームは、特定の病原体を迅速に標的とするワクチンを製造するために使用できます。
3. **mRNA技術を利用する:** mRNA技術は、ワクチンを開発するための新しく非常に有望なアプローチです。mRNAベースのワクチンは、迅速に設計および製造することができます。さまざまな病原体に対する効果的な保護を提供できます。
4. **臨床試験を並列で実施する:** 開発プロセスを加速するために、臨床試験を製造プロセスと並行して実施することができます。これにより、プロセスの早い段階で潜在的な問題を特定するための時間を節約できます。
5. **適切な資金の提供:** ワクチンの急速な開発には、十分な資金が不可欠です。政府、民間団体、慈善団体は、ワクチンの開発と生産に資金を提供するために協力することができます。

**要約すると、100日以内にワクチンを開発することは困難な作業ですが、革新的なアプローチと技術を活用することで、次のパンデミックに対してワクチンを迅速に準備することが可能です。**

図 13

## 2023年 ノーベル医学賞

### mRNAワクチン開発研究におけるもっとも重要な論文

Kariko, K., Buckstein, M., Ni, H. & Weissman, D.

"Suppression of RNA recognition by Toll-like receptors:  
the impact of nucleoside modification and the evolutionary origin of RNA"

*Immunity* 23, 165–175 (2005).

上記論文を査読した紹介文

"TLR ignores methylated RNA?"

Ken J ISHII and Shizuo Akira, 2005 *Immunity*



図 14

思います。

それから、日本でワクチンができなかったとよく言われますが、実際にはプラスミド DNA から RNA ワクチン、タンパク、全粒子ワクチン、プラントベースの VLP と、日本の企業はしっかり技術を持っていて、ワクチンを作る余裕はありました。ただ、これを 100 日で、もしくは 300 日でワクチンを作れるエコシステムがなかったということになります。ベンチャー企業も海外のワクチンの製造も全部日本はできました。ですが、残念ながらまだ千日修行をしている状況が続いているということです。

一つだけワクチンが承認されたのが第一三共さんの「ダイチロナ®」というワクチンですが、河岡先生は 2020 年に「石井さん、これやるんですか」と発破を掛けてくれた先生ですが、彼を含めたいろいろな先生が関わりました。第一三共のチームは大阪にいたころから一緒にずっと RNA や DNA のワクチンの基礎研究をしまして、それが世に出るかわからないけれど 10 年前から共同研究を進めてきました。

今、平田先生がおっしゃったものに近いのですが、実は企業とやっていたので、論文も特許も出せずに 10 年間に過ぎています。これは企業との共同研究の「さが」で、われわれのところにいるポストドクはアカデミアとしてこれに参加すると、(論文が出ずに)浮かばれなかったポストドクの方が何人もいらっやいます。なので、これを手伝うなど僕は言っていました。

アカデミアのキャリアとして企業で面白いことをやっているけれど、論文にも特許にもできないのでアカデミアのキャリアとしてはゼロ。でもやる価値があるというときにどうしたらいいかは、今度のア

カデミアのキャリアパスとしては重要なことかと思いました。

それから、「Leave No One Behind」という言葉が WHO から提案されています。要はコロナのワクチンを G7 を中心とするお金持ち国が買い占めている間に、アフリカなど発展途上国では高価格であること、低温保存などの問題からほとんど普及しなかった。皮肉なことに、南アフリカを中心にアフリカから激しい変異株が出た事実から鑑みると、世界の人口全員にしっかりワクチン接種を行き渡らせることの重要性の裏返しかもしれないという考え方もできるのではないかと考えています。

その意味で、WHO はゴールポストがずれていたといった Twitter (現 X) やマスコミが言及していましたが、私自身は全くずれていないと思っています (図 15)。SDGs の 3 番や 9 番は変わっていませんし、ユニバーサル・ヘルス・カバレッジも何の変わりもありません。ただ、3 年で変わったのは、取り残された人がたくさん出てきてしまったということで、WHO は Leave No One Behind という言葉を提案し、Immunization Agenda 2030 を打ち出しています。コロナに関わった省庁、自治体の行政関係者や医療関係者にぜひ熟読していただきたい。

最後の話題になると思ったので二つほど持ってきました。やはりワクチン忌避の問題があり、ワクチンを打っても効かないじゃないか、5 回も 6 回も打っているのは日本だけだ、という論調ですよね。なぜワクチンが効いたのか、なぜ効かなくなったのか、なぜこれからも必要なのかという議論を真面目にやれる土壌がなかなかメディアにない状況です。

メディアにはあまり期待はできず、私としては真の希望は子どもたちです。また、過去ジェンナーの



## 我々はCOVID-19 Pandemicから何を学んだのか ゴールはずれていない



‘A global strategy to  
leave no one behind’



図 15

(図 15 は巻末にカラーで掲載しています)

時代を含む 200 年のワクチンの歴史から学ぶということ。なぜならこれらの社会現象が、ジェンナーがワクチンを開発した頃から全く変わっていない状況が古い本を読むとよく分かります。

それから「はたらく細胞」などで、世界中の子どもたちが免疫学や感染症を漫画で勉強できている時代です。これも非常に重要だと考えています。私は大学の教授ですが、これが一番大事な教育だと、皮肉なことで真剣にやっています。

ただこの教育費用には一切予算が出ないことも、AMED を含めて問題で、残念ながらこの活動は、東京大学基金というクラウドファンディングをさせていただき、そのクラウドファンディングの費用のみでこれをやっています。

そういう意味では佐藤先生もおっしゃられたように、ラボとしては少ないメンバーですが、世界中の連中とつながれていることが、おそらく今後のパンデミックの対応では原料が足りない、モノが足りない、情報が足りないことがなくなるエコシステムをわれわれは作っていく必要があるのではないかと思います。私の発表は以上です。

**岩田** ありがとうございます。備えあれば憂いなし、普段からの準備と、横の広いつながりが必要だということかと思いました。ご質問やコメントがあればお願いします。

**國井** SCARDA を通じて、今の進み具合からどん

な結果が出そうですか。

**石井** まず投資の額からすると期待は薄いです。本当の意味で、約 2000 億円を 5 つの会社に出したトランプのワープスピードプロジェクトに比べると数が少ないので、そこからワクチンが出てくるという意味だとまだまだ投資額が足りない。

ただ、非常にいいことは、ワクチンだけではなく、このコロナ禍でコロナの研究をしようという、平田先生のように全く感染症の研究をしていなかった先生方が参入されているのは、とても素晴らしいことだと思います。東京大学などでも、優秀な先生がたくさんいるので、今までやりたかったけれどもできなかったという研究者が集まって、AI や構造生物学、ウェアラブルセンサーなどの世界トップの先生が集まってきている。いい意味での研究者同士の化学反応が始まってきているので、そこには希望が持てると思います。

ただ、河岡先生が Nature に出したコメントのように、だからといってアカデミアがワクチンができるなんていう大それたことは考えておりませんし、基礎研究から出てくるシーズを拾うシステムを周りがしっかり作っていく意味では、SCARDA は大事なのではないかと思います。

**國井** あと、やはり難しいと思ったのは産学連携ですね。先生が先ほどおっしゃっていたけれど、今は 100 日ミッション、グローバルな議論の中では、検

体やデータの共有をきちんとしていこうと努力していますが、データの共有という点では実際にはどこまで本気でできるのか。特に産業界ですね。彼らが持っているライブラリーなども含めて。

**石井** そんなこと絶対しないだろうという個人主義の塊のアメリカ人たちが、今回やりきりましたからね。真逆で、日本人はチームワークが得意で、いざというときはまとまるといった連中が、一番自分のことしか考えていなかった人がこんなにもいるのかということが、この3年間でよく分かりました。残念ながら今までの常識が覆されたという意味では、コロナ禍は非常にいい教訓だったと思います。

**岩田** 「これからどうする」ということが大事だと思いますが。

**石井** 先生とは3年前から、これからどうするという話をさせていただいていましたけれど。ただ、ストラテジーとしては、ゴールポストはずれていないと私は思っています。感染症の基礎研究が重要だということは昔から変わらずやられていたので、その投資をやめるなどというのがまず一つ、非常に重要なポイントかと思えます。

あとは、ここにいらっしゃるステークホルダーの中で一番重要なのは、エコシステムとおっしゃったのが一番大事ではないでしょうか。回るシステムを今作っておかないと、実際に急ぎのときに絶対にそれが回らない。それが露呈したので、既得権益の破壊から始めないといけないのではないのでしょうか。

**岩田** 松本先生、いかがですか。

**松本** 先生がおっしゃることは全くその通りだと思います。これから論文が出なくても、とにかく研究そのものを継続してやれるような支援をやらなければいけないと思います。ただし、現実には設定されている研究期間は短く、業績や成果を評価して、短期間で目標に到達しなければ打ち切るような形になっている。

人を育てる、継続性を見据えた上での支援にならないと、日本の基礎研究の将来は厳しいと思っています。

**石井** 要はシーズを見つけるための幅広い基礎研究は、ボトムアップで好きなように好きなことをやらせるのが一番いいと思いますが、事業としてワクチンを作るとか、100日ミッションというのは、別のやり方で進めなければいけないので、そこはきちん

と予算上分けるのが一番重要だと思います。

そこは今、ワーストと盛り上がった基礎研究の幅の額を、ぜひ感染症なり関連の研究に。感染症といっても、いわゆるバイオロジーやウイルス学だけではなくて、AIを駆使したシミュレーションや薬の研究なども同じようなことが言えると思いました。

**岩田** ありがとうございます。そろそろ時間になるので締めようかと思いますが、そのほかにご発言よろしいですか。

最後に石井先生にまとめていただきましたけれども、コロナのパンデミックのときに盛り上がって、いろいろなことにたくさん資金が出て研究が進みましたが、実際モノになったものはそれほどたくさんはないですし、臨床は臨床の経験をまた次に生かすことができるとは思いますけれども、次にまた未知のモノが来たときにどうやって対応していくかという、そこには基礎研究の力が非常に重要になると思います。

基礎研究と言ってもいろいろな分野がありますから、多分野で連携して研究を進めていくことが必要ですし、有事に備えるためには平時からの準備を常に進めていく、継続することが非常に大事だということが、今回の先生方からのメッセージかと思えます。

このまま研究力がtaperして行って、また前の新型インフルエンザのときと同じようなことにならないように、重要な基礎研究を。無駄になってしまう部分もあるかもしれないけれど、そこは裾野を広げてやっていかないと、いざというときに立ち上がらないということだと思います。

ぜひ栄研化学さんには普段から準備をしておいていただいて、次に何か診断薬で必要なものが出てきた時にはすぐに作れるようにしていただくとありがたいです。

**石井** モダンメディアの第1号の裏をご覧ください。栄研の粉末培地。寒天培地が、腸内細菌とか大腸菌とかありますが、ここから始まっているのを考えると、持続的にこうやって研究をされている方が会社にいらっしゃるという理解ですし、だからこそLAMP法が生まれた土壤が生まれたような気がします。そういう意味では、ぜひ日本の研究者もここを参考にしたいと思いました。

**岩田** それではこれで今日の座談会を終わりにしたいと思います。今回は「ネクストパンデミックを見

据えて…」というテーマで新春放談の企画をさせていただきましたが、日本の感染症研究の将来を見据えた貴重なご意見を伺うことができ、まさに新春に相応しい内容になったのではないかと思います。「備えあれば憂いなし」という言葉を是非肝に銘じて、関係者一同が将来のパンデミックに向けた感染症研究に取り組んでいただけることを心より願っております。

先生方、本日は遅くまでありがとうございました。佐藤先生もサウジアラビアからお疲れのところありがとうございました。

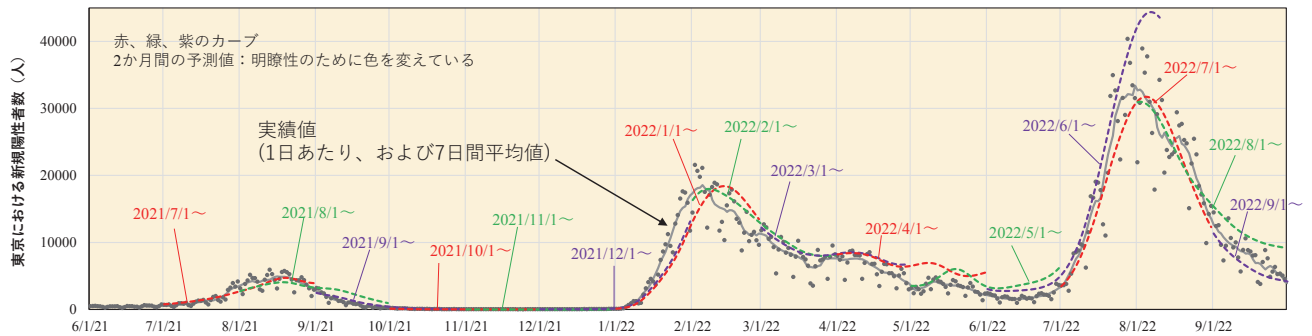
## 文 献

- 1) S Kodera, A Takada, EA Rashed, A Hirata, Projection of COVID-19 Positive Cases Considering Hybrid Immunity: Case Study in Tokyo," *Vaccines* 11 (3), 633  
<https://www.mdpi.com/2076-393X/11/3/633>  
 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
- 2) 内閣感染症危機管理統括庁、研究結果：2021\_感染拡大・抑制シミュレーション、「人流および季節性を考慮した感染者数・重傷者など予測システムの開発 #2」  
[https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021\\_rq3\\_countermeasures\\_simulation/articles/article126/](https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021_rq3_countermeasures_simulation/articles/article126/)



# 新規陽性者予測：事後検証

将来におけるパラメータを既知とし、毎月1日、前月までのデータを学習し、当該およびその月（2か月間）の予測精度を検証（第5波以降）。



- ・ ワクチン接種者の感染による免疫獲得をモデル化（2022年10月4日資料）
- ・ 精度検証のため、推定開始時、**感染力、今後の人流、行動は既知と仮定**。
- ・ 感染力を推定、入力しているが、検査実施可能数を含んでいる可能性。

S Kodera, A Takada, EA Rashed, A Hirata, "Projection of COVID-19 Positive Cases Considering Hybrid Immunity: Case Study in Tokyo," Vaccines 11 (3), 633 <https://www.mdpi.com/2076-393X/11/3/633>

図 4

## 第5波

名工大によるAIを用いた予測（2020年8月9日までのデータ、2020年8月15日公開）

内閣官房からのご質問：いつ、第5波は収束するの？

陽性者数のトレンドは概ね捉えるものの、**重症者数の予測は過小評価**

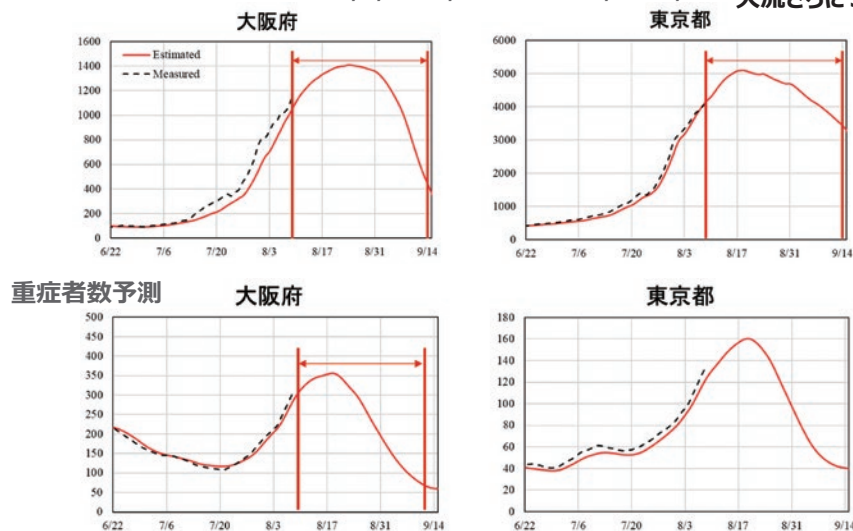
オリンピック中

菅首相：もうすぐ減少する可能性

尾身先生、厚生労働省ADB：

人流さらに50%削減が必要

新規陽性者数予測 学習期間：2020/2/15~8/9（推定期間：8/10~9/14）



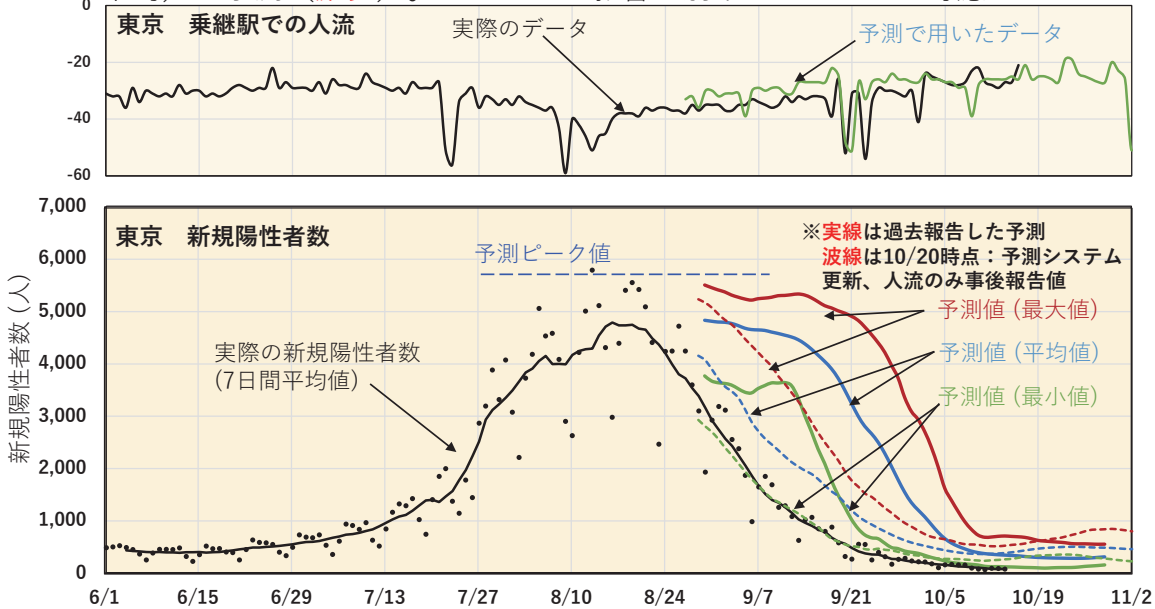
[https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021\\_rq3\\_countermeasures\\_simulation/articles/article150/](https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021_rq3_countermeasures_simulation/articles/article150/)

図 5

2021年8月31日に内閣官房AIシミュレーションプロジェクトで報告したデータと更新

出典：内閣感染症危機管理統括庁 研究結果：2021\_感染拡大・抑制シミュレーション、「人流および季節性を考慮した感染者数・重傷者など予測システムの開発 #2」より一部改変  
[https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021\\_rq3\\_countermeasures\\_simulation/articles/article126/](https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/2021_rq3_countermeasures_simulation/articles/article126/)

東京：気象条件、人流を昨年度と同程度とした場合の新規陽性者数（一週間平均）の予測（減少）。ワクチンの影響を別ネットワークで考慮



（実線データ）減少の始まりが予測値より2週間から1か月早かった。減少速度の予測結果は大きな相違なし。（破線データ）：ワクチンの接種率を入力するのではなく、人口レベルでのワクチン有効率を明示的に定義した。

図6

我々はCOVID-19 Pandemicから何を学んだのか  
 ゴールはずれていない



‘A global strategy to leave no one behind’

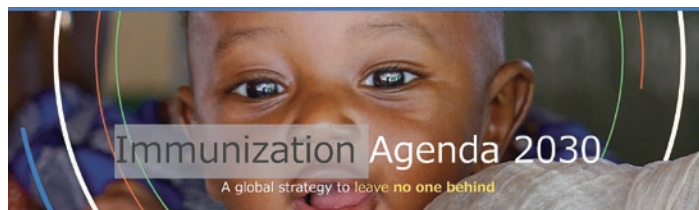


図15