

戦略的創造研究推進事業
—CREST(チーム型研究)—

研究領域

「異分野融合による新型コロナウイルスを
はじめとした感染症との共生に資する
技術基盤の創生」

研究領域事後評価用資料

研究総括：岩本 愛吉

2024年1月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	5
(3) 研究総括	5
(4) 採択研究課題・研究費.....	6
2. 研究総括のねらい.....	8
3. 研究課題の選考について.....	10
4. 領域アドバイザーについて.....	14
5. 研究領域のマネジメントについて.....	16
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況について.....	21
7. 総合所見	30

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

① 戦略目標名

『総合知』で築くポストコロナ社会の技術基盤

② 概要

新型コロナウイルス感染症に対しては、ワクチン、治療薬、診断技術等の研究開発が国内外で強力に進められている。他方、感染拡大による社会的影響の長期化に対応し、安全安心な日常生活を取り戻し、新たな経済社会を切り拓いていくためには、医療分野にとどまらず、関連する分野の叡智を結集・融合させていく必要がある。

今般の感染拡大を機に、様々な分野で異分野融合研究の機運が高まっており、海外でも主要国やOECD等の枠組みで異分野融合研究の重要性が示されている。また、我が国では、科学技術・イノベーション基本計画の検討において、複雑化する現代の諸課題に対応するため、人文学・社会科学も含めた「総合知」の創出・活用が掲げられている。

本戦略目標では、こうした状況を踏まえ、我が国の科学的知見を研究機関・分野を超えて結集させ、将来のパンデミック等に備え、ポストコロナとも言われる新たな社会における基盤の構築に向けた研究を推進する。

③ 達成目標

本戦略目標では、以下の3つの観点から、将来のパンデミック等による社会変化に対応しながら経済社会活動を維持・発展させていくための基盤の構築に資する革新的な技術シーズの創出を目指す。

- (1) 感染拡大を防止するための異分野融合研究
- (2) データを活用した予測・分析手法等の研究
- (3) 人文学・社会科学分野との連携による知見の活用

④ 実現し得る将来の社会像

③「達成目標」への取組を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- 将来のパンデミック等に対応して安全・安心を担保しつつ日常生活や経済社会活動を維持・発展できる社会
- 分野を超えた研究者の協働が一般化することで「総合知」の創出・活用が進み、社会課題の解決が促進される社会

⑤ 具体的な研究例

(1) 感染拡大を防止するための異分野融合研究

将来のパンデミック等への対応を見据え、医療分野にとどまらず情報学、環境科学、工学、物理学、化学、計算科学等との融合研究を行う。

- ウイルス検出・モニタリング用の新規材料・デバイスに関する研究
- ウイルス不活化・除去技術に関する研究
- 産業の遠隔化・省人化・バーチャル化に関する研究

(2) データを活用した予測・分析手法等の研究

ビッグデータ等を活用した統計解析やシミュレーション技術による感染予測・分析手法等に係る研究を行う。

- 感染拡大等に係る各種データや数理モデルを活用した感染予測に関する研究
- 密を発生させない人流管理、感染拡大下の行動変容等を踏まえた要因分析に関する研究
- AI を活用した画像診断や重症化予測技術に関する研究

(3) 人文学・社会科学分野と自然科学分野の連携による知見の活用

人文学・社会科学系と自然科学系の研究者・研究課題との積極的な連携により、感染症拡大等において人や集団・社会との接点で取り組むべき技術課題に対応した研究を行う。

- 集団の感染拡大防止に資する行動やコミュニケーションに関する研究
- 複雑社会における意思決定支援に関する研究
- 社会的孤立の予防・評価・解消に寄与する技術に関する研究

⑥国内外の研究動向

新型コロナウイルス感染拡大に対応し、医療分野はもとより、情報科学や計算科学、材料・デバイス工学、環境科学、公衆衛生学などが寄与する多様な研究が国内外で実施されている。感染拡大の初期にはウイルスや病状・病態そのものを対象とする研究が多くを占めていたが、長期化に伴い、国内外の社会変化が引き起こされるにつれ、感染を取り巻く環境や社会を研究対象とした研究が増大する傾向にあり、人文学・社会科学系も含めたより多様な分野の連携が不可欠となっている。

(国内動向)

国内の複数の大学等において、新型コロナウイルスの感染拡大に対応し、人文学・社会科学系を含めた異分野融合研究のプロジェクトが立ち上がっている。学内公募による研究支援や研究テーマのマッチングを始めとする独自の取組が開始されるなど、従来の専門分野を超えた異分野融合研究の機運が高まっているほか、組織をまたいだ積極的な連携も散見される。

令和3年2月には、戦略的創造研究推進事業のCREST コロナ対策臨時特別プロジェクト

として、幅広い分野の研究者の結集と融合により、新型コロナウイルスの感染拡大に対応する新たな戦略や、それに繋がる革新的な技術シーズの早期創出を目指したチーム型研究が開始されている。

また、同1月には、「ムーンショット型研究開発制度」において、新型コロナウイルス感染症で変容する社会像を明確化し、情勢の変化に対応する新たな目標を検討する複数のチームが採択され、将来の社会経済の課題やあるべき姿（ビジョン）について今後さらに議論・調査を進めることとなっている。

（国外動向）

米国では、新型コロナウイルス感染への対応を、様々な分野の科学者、工学者、教育者からの取組が必要かつ緊急性の高い問題と認識し、例えばNSF（国立科学財団）の緊急対応研究のための資金配分メカニズム（RAPID）の中で、分野を問わず広範囲の取組を結集し、コロナ後の社会も見据え、多岐に亘る研究課題に助成を実施している。

また、欧州では、令和3年から開始する新たな研究・イノベーション支援の枠組み「Horizon Europe」において、経済復興と合わせて、コロナ禍からの復興、ヘルス、グリーン、デジタル分野への重点投資を実施している。

さらに、OECD等の多国間の枠組みにおいても、感染拡大への備えや関連する技術の融合等に関する課題、持続的な連携方策等について活発な議論が行われている。

⑦検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

- （1） 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
- （2） 上記アンケートの結果及びJST-CRDS『感染症に強い国づくりに向けた感染症研究プラットフォームの構築に関する提言』及び関連するワークショップ並びに科学技術・学術政策研究所による新型コロナウイルス感染症関連の研究成果等を参考にして分析を進めた結果、将来のパンデミック等に対応しながら経済社会活動を維持・発展させていくため、分野を超えた研究が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「感染症等に対して強靱な社会の実現に向けた異分野結集・融合による革新的

シーズ創出」を特定した。

- (3) この他、当該研究動向に関係して、取り組むべき研究テーマやその喫緊性、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクト等について、関連する多様な研究分野の有識者からのヒアリングや、新型コロナウイルス感染症の拡大に対応して異分野融合研究に取り組む大学関係者等との議論を行い、これらの結果を踏まえて本戦略目標を作成した。

⑧閣議決定文書等における関係記載

「新型コロナウイルス感染症に関する今後の取組」（令和2年8月28日新型コロナウイルス感染症対策本部決定）

- ▶ 新型コロナウイルス感染症対策、ポストコロナへの移行を突破口とし、新たな技術開発・イノベーションを強力に推進する。

「科学技術・イノベーション基本計画について（答申素案）」（総合科学技術・イノベーション会議、令和3年1月20日）

2（1）多様で卓越した研究を生み出す環境の再構築

（c）具体的な取組

④ 基礎研究・学術研究の振興

- 戦略的創造研究推進事業については、2021年度以降、若手への重点支援と優れた研究者への切れ目ない支援を推進するとともに、人文・社会科学を含めた幅広い分野の研究者の結集と融合により、ポストコロナ時代を見据えた基礎研究を推進する。

⑦ 人文・社会科学の振興と総合知の創出

- 「総合知」の創出・活用を促進するため、公募型の戦略研究の事業においては、2021年度から、人文・社会科学を含めた「総合知」の活用を主眼とした目標設定を積極的に検討し、研究を推進する。

⑨その他

新型コロナウイルス感染拡大に際し、広く分野を超えた科学的知見や情報を活用する重要性が認識された一方で、将来のパンデミック等に対応していくために必要な基礎研究を、異分野横断的かつ長期的に進める取組は国内では存在しない。令和2年度より JST が開始した CREST コロナ対策臨時特別プロジェクトと連携しつつ、より長期的に基礎研究段階から取り組むべき研究課題や、人文学・社会科学系を含めた異分野融合に取り組む重要性を踏まえ、本戦略目標のもと研究を推進するとともに、将来に向けたネットワーク形成も含めた人材育成が極めて重要である。

研究の推進に当たっては、関連する諸外国の動向等を踏まえて、国内外の幅広い研究者との連携や共同研究を必要に応じて効果的に取り入れつつ取り組むことが期待される。

(以上、文部科学省 HP より転載)

(2) 研究領域

「異分野融合による新型コロナウイルスをはじめとした感染症との共生に資する技術基盤の創生」(2020 年度発足)

(3) 研究総括

岩本 愛吉 (日本医療研究開発機構 研究開発統括推進室長)

上記詳細は、以下 URL をご参照ください。

JST 公開資料「新規研究領域の事前評価」

<http://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/index.html>

令和 2 年度新規研究領域の事前評価 (追加分)

https://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/hyouka_r2covid.pdf

文部科学省 HP 戦略目標「『総合知』で築くポストコロナ社会の技術基盤」

https://www.mext.go.jp/content/20210312-mxt_kiso-000013144_8.pdf

(4) 採択研究課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	所属・役職 採択時	研究課題	研究費 ¹
2020 年度	有田 正規	情報・システム 研究機構・教授	超高感度ウイルス計測に基づく感 染症対策データ基盤	172
	井元 清哉	東京大学・教授	先端ゲノム解析と人工知能による コロナ制圧研究	290
	片山 浩之	東京大学・教授	新素材による環境中のウイルス検 出・除去技術の創出	187
	川上 英良	理化学研究所・ チームリーダー	Preclinical 層別化に基づく新たな データ駆動感染症制御戦略の創出	217
	神野 誠	国士舘大学・教 授	ウイルス変異を考慮した大量自動 検査システムの研究	78
	千田 俊哉	高エネルギー加 速器研究機構・ 教授	GTP 代謝制御によるウイルス複製阻 害技術の開発	168
	坪倉 誠	神戸大学・教授	スパコンによる統合的飛沫感染リ スク評価システムの開発と社会実 装	150
	津本 浩平	東京大学・教授	Antibody-Based Molecular Design に基づくウイルスの機能制御技術 およびセンシング技術の開発	170
	永井 健治	大阪大学・教授	感染症を在宅で簡易診断する技術 基盤の開発	152
	野田 岳志	京都大学・教授	オルガノイドを用いた呼吸器チッ プの開発とウイルス病態解析への 応用	153
			総研究費	1,736

¹各研究課題とも研究期間の総額、進行中の課題は予定を含む(2023年12月31日現在)

本研究領域は、2020年度になって国内で急速に拡大した新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の社会への甚大な影響を踏まえ、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の「理事長裁量経費」を活用した機動的な予算措置によって、既存の領域設定の枠外に、コ

コロナ対策臨時特別プロジェクトとして設置されたものであるが、CREST として実施することのメリットを最大限に活用して、各研究課題の特性や研究現場のニーズ等に応じ、年度途中の追加的な研究費支援によって、機動的・効率的な資源配分を行った。

具体的には、CREST 全体予算から研究の加速や充実等を目的として配賦される研究費の増額や、戦略的創造研究推進事業の各事業で実施される国際連携促進のための「国際強化支援」制度、JST の幅広い事業で実施されている「出産・子育て・介護支援制度」などを組合せフレキシブルに支援を行った。その結果、各研究課題の特性や現場のニーズを反映して、研究課題毎の最終的な研究費の総額は多様なものとなっている。

※国際強化支援：

海外の研究機関や研究者等のポテンシャルを活用して、研究を加速・推進すること、また、研究成果を広く世界に発信することで、日本の戦略目標の達成に向けた取り組み状況の国際的認知度を高め、事業の推進に有益な海外研究者の協力を得やすい環境作りを行うことを目的として支援を行う制度。

※出産・子育て・介護支援制度：

JST の研究費により雇用された研究員にライフイベントが発生した際に申請・審査を経て、当該研究員による研究開発の促進または負担軽減に資するものに対して、月額 30 万円×支援月数を上限として支援する制度。

2. 研究総括のねらい

本研究領域が設置された 2020 年当時、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）によるパンデミックの発生によって、社会経済活動が中断を余儀なくされ、日常への影響がいつ終わるとも知れない中で、COVID-19 と共存しながら社会経済活動を維持するために、医療分野にとどまらず、様々な方法で身を守るための技術が、社会から強く求められていた。国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）を中心として取り組む、新型コロナウイルスワクチンや治療薬開発等の「プラン A」に対して、コロナ禍においても制限なく活動できる社会を可能にするための研究開発を「プラン B」と位置付け、戦略的創造研究推進事業では異分野融合型のチーム研究を推進するため、2020 年 9 月より本研究領域が臨時募集を開始することとなった。本募集は緊急を要することから、既存の 6 つの戦略目標¹のもと実施され、翌年 2021 年 2 月から研究を開始したが、同年 3 月下旬には文部科学省において戦略目標『総合知』で築くポストコロナ社会の技術基盤が正式決定され、後に本研究領域の戦略目標もそれに置き換えられることになった。

その戦略目標の中では、「感染拡大を防止するための異分野融合研究」や、「データを活用した予測・分析手法等の研究」などが目標として掲げられたが、それらを実現するには、工学、情報、ナノテクなどの医学以外の様々な知見を活用・結集したチームによって研究を推進することが緊要であり、本研究領域でもその点を最も重要視した。かつて東京大学名誉教授・丸山眞男は、日本社会をタコツボ文化だと喝破したが、それぞれの専門家が自分の専門領域（タコツボ）に閉じこもりがちであることが COVID-19 への対応でも様々な分野で障害となっているならば、医学以外の分野の基礎研究者が、COVID-19 による様々な社会的課題の解決に参画することは極めて重要と考えられる。

日本の保健所システムは、戦前（1937 年）に公布された保健所法区市町村に根付いた日本の公衆衛生対策の根幹となっているが、国の主要公衆衛生課題の変化や人員削減、所掌範囲の拡大などにより、今回の COVID-19 への危機対応においては、目詰まりを起こした。また地域によっては、都道府県単位の自治体と区市町村単位の保健システムが十分に連携できていない事態も散見された。現代の感染症はグローバルレベルの課題だが、ロックダウンあるいは経済再開に際して、きめ細かい判断材料と対応施策がローカルに必要なことも明らかとなった。今日、情報科学の制御とマネジメントは極めて重要な課題であり、本研究領域においても、感染症危機対策に必要な国際情報共有を加速することを重視した。また、ウイルスの病態解明や創薬の種につながる独創的な基礎科学に加えて、国家的な感染症危機体制システムに資する応用科学も並行して行い、後者では実際の危機体制構築のモデルの提

¹ 「ゲノムスケールの DNA 合成及びその機能発現技術の確立と物質生産や医療の技術シーズの創出」、「細胞外微粒子により惹起される生体応答の機序解明と制御」、「実験とデータ科学等の融合による革新的材料開発手法の構築」、「ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化」、「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」、「急速に高度化・複雑化が進む人工知能基盤技術を用いて多種膨大な情報の利活用を可能とする統合化技術の創出」

供や応用可能なアウトプットを目指すことが本研究領域の趣旨に合致すると考え、その実践を試みた。

COVID-19 は感染症法上の位置付けが季節性インフルエンザと同じ 5 類に移行し（2023 年 5 月 8 日）一定の収束を見たが、現在でも熱帯・亜熱帯ではマラリアやデング熱が問題となっており、温帯域に位置する先進国でもエイズ、肝炎、結核などが慢性感染症としてパンデミックレベルの感染者数で存在している。また、20 世紀以降に先進国で急激なパンデミックを起こした新型インフルエンザ（スペイン風邪、アジアかぜ、香港かぜ、パンデミック 2009H1N1）は、研究の歴史が古く、診断薬、治療薬、ワクチン等が揃っているが、自然宿主であるトリやブタなどからの動物由来感染症として新たなパンデミックを起こすポテンシャルは高い。COVID-19 に加えて、2003 年に世界保健機関（WHO）によるグローバルアラートが発出された重症急性呼吸器症候群（SARS）、さらに限定的であったが 2015 年に韓国で大流行した中東呼吸器症候群（MERS）など、21 世紀には既に 3 回の国際感染症が発生している。これまで人類が経験してきた度重なる感染症危機の歴史を踏まえ、本研究領域では、当面の直面する社会課題として COVID-19 を主な研究対象としつつ、将来のポストコロナ感染症への対応も見据えて、日本の危機管理体制の向上に資する科学技術の基盤を創生することも併せて目指すこととした。

3. 研究課題の選考について

通常の CREST 研究領域では 3 年度にわたり研究提案の募集を実施し、3 回で合計十数件の研究課題を採択するのが一般的である。しかし、本研究領域は、コロナ対策臨時プロジェクトとして緊急に研究を開始する必要性から、募集回数は 2020 年度の 1 回限りとし、その 1 期のみで採択予定の全課題数にあたる 10 件を集中して採択することとなった。下記は、上記の研究総括のねらいに沿って 2020 年度に実施された研究提案募集時の選考方針である。

1. 背景

2019 年 12 月ごろ中国湖北省武漢市を中心に発生したとされる新型コロナウイルス感染症 COVID-19 は、若年層に多い無症状者・軽症者を介して極めて強い伝播性を示すと考えられる一方で、高齢者を中心に重篤な症状を引き起こすなど、その特異な病原性メカニズムは十分に解明されておらず、国外からの流入による流行に加え、冬には季節性の流行の可能性も懸念される中で、有望な既存抗ウイルス薬は見つかっておらず、再拡大の繰り返しへの備えが喫緊の課題となっています。

COVID-19 は公衆衛生や保健医療システムを含む日本社会の脆弱性を次々と顕在化させてきました。2020 年 1 月以降、日本における COVID-19 の流行は、チャーター便による邦人帰国支援、大型クルーズ船の帰港と検疫、国内感染拡大へと推移しましたが、その経過の中で、感染症に対する社会の危機対応の問題点が露呈しました。先進諸外国と比較し、PCR 検査数不足が流行程度の推定、社会活動の再開や制限の議論に十分なデータを供給できない根本的な原因となっています。問題点は検査能力だけでなく、情報のデジタル化やロジスティクス、国民への情報発信など医学領域だけでは解決できない様々な社会的な課題が含まれています。また、感染症の大規模流行時には、人々の日常が多くの方で制限を強いられ、既存の社会システムの感染症危機への対応策の不備が、医療分野に留まらず、社会・経済活動のあらゆる面で停滞を引き起こす原因となっています。

本研究領域は、COVID-19 とその後の感染症危機に対する社会の対応力を強化するために、異分野からの優れた基礎科学者の参画によって日本の科学の総合力を結集する、学際的な研究領域の創生を目指しています。歴史上パンデミックを起こした疾患として天然痘、麻疹、ペスト、コレラなどが有名ですが、20 世紀以降に先進国で急激なパンデミックを起こしたのは急性呼吸器感染症が中心であり、COVID-19 を含む新型コロナウイルス感染症や新型インフルエンザなどが今後最も注目すべき“パンデミック感染症”の候補として挙げられ

ます。このような背景のもと、当面逼迫した COVID-19 に対応するための研究開発を国際連携も必要に応じて効果的に取り入れながら行い、新たな急性呼吸器感染症によるアウトブレイクにも対応可能な科学技術基盤を創生したいと考えています。

2. 期待される達成目標と具体的な研究開発課題例

本研究領域は、独創的な基礎研究だけでなく、それを基盤としながら、実際の社会への適用を見据えたモデルやプロトタイプを構築する研究までを対象範囲とします。なお、独創的な基礎研究といえども、研究終了時には研究成果の社会や医療での実用化に向けた試験を開始する可能性のある計画には加点します。

想定される具体的な研究例を以下に記しますが、必ずしもこれだけにテーマを限定するものではありません。

- (ア) 空気中や下水・汽水域、媒介生物等の自然界におけるウイルスのセンシング・モニタリング技術の創出
- (イ) 放射線・光・ナノ材料等による環境中のウイルス中和・除去を目指した研究
- (ウ) 工学とウイルス学が連携した電子デバイスによる個人携帯型のウイルス検出装置や生体情報モニタリングによる感染・発症・重症化等の自動検知器の開発（※1）
- (エ) ウイルス変異にも迅速に対応できる大量自動検査システム構築に向けた研究（※2）
- (オ) 電子顕微鏡等の物理学を駆使したウイルス粒子の可視化技術に基づく迅速検査法の開発やウイルス感染動態の超ミクロ解析
- (カ) 計算科学と有機化学の双方を兼ね備えた構造生物学に基づく抗ウイルス機能分子の創生
- (キ) 若年者と高齢者では大きく病原性が異なること、発症後の病態には個体差が大きいこと、欧米とアジアでは感染者数や死亡者数が大きく異なることなどに関する、ゲノム研究と数学モデル等を通じた解析（※1、※3）
- (ク) ゲノム等のデータ共有や研究倫理等（ELSI）に関する研究（※1）
- (ケ) 現存する画像データや血液データなど様々な指標の組合せから、数学モデルやAIを使って重症化等を予測する技術の創出（※1）
- (コ) 物資や施設等の最適配置や情報システムとの連結による感染症危機管理モデル構築に関する研究（※2）
- (サ) 感染拡大時においても日常生活や社会・経済活動を維持するための省人

化、タッチレス化、遠隔化、バーチャル化等に関する革新的技術の創出
(シ) 材料科学、食品科学、行動科学等に基づいた、個人の感染や重症化の予防のための研究

※1) COVID-19 患者に関する臨床情報や臨床検体については、領域内でのデータやサンプルの共有が有効と考えられることから、領域内の連携を奨励します。

※2) 自動検査システムの最適配置を課題として両テーマを連携・統合させることも可能です。

※3) COVID-19 患者ゲノムの重症度等の病態を比較解析する際は、宿主と病原体をともに解析することが重要と考えます。そのため、参画するゲノム研究者は COVID-19 に臨床対応してきた実績のある病院施設を有する大学や研究機関に所属し、当該病院施設での臨床情報に紐づいたゲノム情報を利用できることが期待されます。解析数を担保するため複数のゲノム研究者及び機関で研究コンソーシアムを構成し、目標解析数を掲げた応募を歓迎します。また、国際コンソーシアム等との連携も有効と考えられます。

3. その他留意事項

本研究領域への応募に際しては、以下の点にご留意ください。

(1) 情報学、環境科学、工学、物理学、有機化学、計算科学、基礎生物学などの分野の基礎研究者が研究代表者としてリーダーシップを発揮しながら、得られた成果を具体的な解決策へ繋げるために、必要に応じて人文・社会科学系、医薬臨床系等の研究者が参画するなど、異分野融合型のチーム体制による提案を求めます。

(2) COVID-19 を含めて国境を越え感染拡大する新興・再興感染症に対して迅速かつ効果的に対応していくためには国際的な協力が不可欠であることを踏まえて、本研究領域では、国際コンソーシアム等を通じた海外機関との連携によって得られたデータを活用する研究を奨励します。

(3) 本研究領域は COVID-19 や新たな感染症危機に対する総合的な対応策を構想していくために、領域として一体的な運用を重視して、各研究チーム間のデータや検体等の共有を求めるとともに、研究総括やアドバイザーの助言により、進捗に応じて領域内外との共同研究等を推進します。

(4) 研究期間は 3.2 年とし、期間中の研究費総額（直接経費）の上限は 1.5 億円程度とします。また、採択にあたっては研究費の増減、研究チームの統合・再編などを研究総括から指示することがありますので予めご留意ください。

募集の結果、一般的な CREST 研究領域の応募数を大きく超える 150 件もの提案が寄せられ、本研究領域の掲げた目標に対する関心の高さがうかがえた。審査プロセスにおいては主に以下の 3 つの観点を重視し、選考を行った。

- ① 物理学、数学、工学、有機化学、情報・システム科学、ウイルス学、ゲノム科学等の基礎研究者が研究代表者としてリーダーシップを発揮しながら行う異分野融合研究か
- ② 各提案者のそれぞれの専門分野においても科学的な優位性を持っているか
- ③ 日本の現在または将来のパンデミック対応の脆弱性や不足部分に焦点をあて、科学技術の面から対応しようとする提案か

書類審査で絞り込んだ 21 件の研究提案について面接審査を実施し、最終的に 10 件の研究課題の採択を決定した。ゲノム、シミュレーション、材料、デバイス、ロボット、創薬に関するものなど、研究領域全体として異分野性を十分に発揮できる多様な研究提案を採択することができた。

なお、募集選考の過程において幅広い分野からの提案に対応する必要があるため、12 名の領域アドバイザーに加えて、人文社会科学も含む下記の専門家 3 名が外部評価者として選考に加わり、領域アドバイザーとともに各々の専門性を補完しあうことで、多様な提案内容に対して十分な評価ができる審査体制の構築に努めた。

【課題事前評価 外部評価者】 ※ 所属、役職は就任時

- ・ 瀬戸 章文（金沢大学理工研究員フロンティア工学系 教授）
- ・ 長崎 正朗（京都大学学際融合教育研究推進センター 特定教授）
- ・ 横野 恵（早稲田大学社会学部 准教授）

4. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー名 (専門分野)	着任時の所属 ¹	役職 ¹	任期
浅井 潔 (バイオインフォマティクス、ゲノム情報解析)	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授	2020年11月～ 2024年3月
河野 茂 (呼吸器内科、感染症)	長崎大学	学長 (名誉教授)	2020年11月～ 2024年3月
小柳 義夫 (ウイルス学、分子生物学)	京都大学ウイルス・再生医科学研究所 (京都大学国際高等教育院)	所長・教授 (副教育院長・ 特定教授)	2020年11月～ 2024年3月
斉藤 史郎 (デバイス、サイバーフィジカルシステム)	株式会社東芝	特別嘱託	2020年11月～ 2024年3月
齋藤 正男 (X線結晶構造解析、蛋白質工学)	東北大学多元物質科学研究所	名誉教授	2020年11月～ 2024年3月
鈴木 康裕 (医療政策、医療行政)	厚生労働省大臣官房	顧問	2020年11月～ 2022年3月
立川 愛 (ウイルス学、免疫学)	国立感染症研究所エイズ研究センター	室長	2020年11月～ 2024年3月
徳永 勝士 (人類遺伝学、多因子疾患)	国立国際医療研究センターゲノム医科学プロジェクト	戸山プロジェクト長	2020年11月～ 2024年3月
夏目 徹 (ロボティクス、創薬)	産業技術総合研究所細胞分子工学研究部門 (産業技術総合研究所創薬分子プロファイリング研究センター)	首席研究員 (研究センター長)	2020年11月～ 2024年3月
西村 俊彦 (創薬、胸部外科)	スタンフォード大学創薬・機器開発研究所	ディレクター	2020年11月～ 2024年3月

藤巻 真 (バイオセンサ、光ナノ材料)	産業技術総合研究所センシングシステム研究センター (株式会社 AIST Solutions プロデュース事業本部)	副研究センター長 (副本部長)	2020年11月～ 2024年3月
前田 秀雄 (公衆衛生、危機管理)	東京都北区保健所 (公益財団法人結核予防会)	所長 (審議役)	2020年11月～ 2024年3月

¹変更/移動のあった場合、下段に括弧つき記載

領域アドバイザーの人選にあたっては、物理や工学、化学、生物、ゲノム、情報等の最先端の基礎研究から、医学や公衆衛生学、感染症サーベイランス、危機管理システムまでの応用研究をスコープとし、応募された研究提案や採択された研究課題について選考・評価・アドバイスが適切にできるよう、各方面から多様な人材を結集することとした。また、各所属機関についても、アカデミア、国立研究開発法人、企業、地方自治体、中央省庁等から幅広く参画を得るように考慮した。

5. 研究領域のマネジメントについて

(1) 担当アドバイザーの選定と亜領域の設定の設置

本研究領域は、各研究チームに専門分野の異なる 3 名の担当アドバイザーを配置するとともに、研究内容によって 10 チームを 3 つの亜領域「ゲノム系」「工学系」「バイオ系」に分け、異分野チームの各特性に応じたマネジメントができる体制を採ることとした。

表 1. 担当アドバイザー一覧

亜領域	研究代表者	担当アドバイザー (AD)
ゲノム系	有田 正規	徳永 AD、西村 AD、前田 AD
	井元 清哉	浅井 AD、河野 AD ² 、小柳 AD、鈴木 AD ¹
	川上 英良	浅井 AD、河野 AD、徳永 AD
工学系	片山 浩之	斉藤 (史郎) AD、藤巻 AD、前田 AD
	神野 誠	斉藤 (史郎) AD、鈴木 AD ¹ 、西村 AD、前田 AD ²
	坪倉 誠	浅井 AD、小柳 AD、鈴木 AD ¹ 、藤巻 AD ²
バイオ系	千田 俊哉	齋藤 (正男) AD、立川 AD、夏目 AD
	津本 浩平	齋藤 (正男) AD、立川 AD、徳永 AD
	永井 健治	齋藤 (正男) AD、夏目 AD、藤巻 AD
	野田 岳志	河野 AD、立川 AD、西村 AD

¹ 2021 年 2 月～2022 年 3 月担当、² 2022 年 4 月～2024 年 3 月担当

(2) 領域会議、サイトビジットの実施

各研究チームの進捗の把握・研究成果の共有、連携の促進を図ることを目的として、研究総括、領域アドバイザー、および研究代表者の参加を必須、主たる共同研究者や研究参加者は任意参加とした亜領域会議を 2021 年度から 2022 年度に掛けて 6 回にわたって開催した。この間、すべての研究チームが 2 回以上の亜領域会議に参加し、研究成果発表及び意見交換を行った。



図 1. 亜領域会議オンライン開催の様子

亜領域会議はコロナ禍による制約からすべて完全オンラインで実施したが、2022 年度に入り行動制限が徐々に緩和されてきたことから、2022 年 7 月以降はオンサイトも徐々に再開し、少人数で開催できる対面でのサイトビジットを重点的に実施した。研究総括、担当アドバイザー数名、JST 担当者が研究現場を訪問して意見交換を行い、終了後は担当アドバイザーのコメントを研究総括が取りまとめて、各チームへフィードバックを行った。亜領域会議などのセミオープンな場では、研究推進上の隘路やポジティブでない実験結果など共有しづらい情報も、サイトビジットでは研究総括・担当アドバイザーと研究チーム間で積極的に共有され、突っ込んだ議論が活発に行われるなど、効果を上げることができた。

表 2. 研究課題マネジメントに係る会議等

年度	開催日	活動内容
2021	5 月 8 日	キックオフ会議* (全 10 研究チーム)
	9 月 9 日	JST-ライブニッツ協会共同ワークショップ* (片山 T、坪倉 T、津本 T)
	9 月 15 日	第 1 回亜領域会議* ゲノム系 (有田 T、井元 T、川上 T)
	10 月 25 日	第 2 回亜領域会議* バイオ系 (千田 T、津本 T、永井 T、野田 T)
	12 月 8 日	第 3 回亜領域会議* 工学系 (片山 T、坪倉 T、神野 T、有田 T)
	1 月 24 日	第 4 回亜領域会議* ゲノム系 (有田 T、井元 T、川上 T)
	3 月 24 日	JST 理事長記者説明会 (川上 T、野田 T) JST 東京本部
2022	6 月 2 日	第 5 回亜領域会議* バイオ系 (千田 T、津本 T、永井 T、野田 T)
	6 月 21 日	第 6 回亜領域会議* 工学系 (片山 T、坪倉 T、神野 T、有田 T)
	7 月 8 日	神野 T サイトビジット (国士舘大学理工学部)
	9 月 7 日	永井 T サイトビジット (大阪大学産業科学研究所)
	9 月 28 日	千田 T サイトビジット (高エネルギー加速器研究機構)
	10 月 11 日	坪倉 T サイトビジット (理化学研究所計算科学研究センター)
	10 月 14 日	CREST「細胞外微粒子」主催 領域横断シンポジウム* (神野 T、永井 T)
	11 月 4 日	野田 T サイトビジット (京都大学医生物学研究所)
	11 月 30 日	領域シンポジウム「新型コロナ研究の現状と今後」(日本科学未来館)
	12 月 2 日	片山 T サイトビジット (東京大学工学部)
	12 月 2 日	第 45 回日本分子生物学会共催ワークショップ(千田 T) 幕張メッセ
	12 月 19 日	津本 T サイトビジット (東京大学医科学研究所)
	1 月 24 日	有田 T サイトビジット (国立遺伝学研究所)
	3 月 1 日	井元 T サイトビジット (東京大学医科学研究所)
	3 月 14 日	川上 T サイトビジット (理化学研究所横浜)
2023	8 月 4～5 日	2023 年度領域会議 (全 10 研究チーム) 日本科学未来館

* オンライン開催



図2. サイトビジット風景

(3) 研究領域による海外連携、研究成果公開

COVID-19 のような国境を越え急速に拡大する新興・再興感染症に対して迅速に対応していくには、国際的な連携・協力が不可欠であると考え、JSTの国際強化支援制度を活用し、各研究チームにおける研究者の海外派遣や国際共同研究等に対して積極的な予算配賦による後押しを行った。さらに、研究領域自身の国際活動としても、2021年9月にライブニッツ協会（ドイツ）と共同ワークショップを開催し、2023年7月にはStanford大学で開催された日米研究連携促進週間への領域研究者の派遣・成果発表などを通じ、海外との連携や情報発信に取り組んだ。

また国内においても、本研究領域の活動を領域内外の研究者及び関係者に周知する目的で、2022年11月に成果発表会を開催した。また、研究成果の広報については、JSTが共同発表に参画したプレスリリースが3件実施されている。個々の研究成果のアウトリーチについては、インターネットや新聞等のニュースメディアで数多く取り上げられており、各研究チームが主体となって発表を行っている。



図3. 公開シンポジウムポスター

(4) 研究課題による領域内外との連携

上記の、研究課題マネジメントに係る様々な会議等（表2）の機会を通じて、研究総括から各研究チームに対して、領域内外との積極的な連携を奨励する方針を伝え、その促進を図った。領域「外」との連携・協力については、研究総括や領域アドバイザーが共同研究先に

関して提案、助言を行い、追加的研究に係る経費については研究費の増額によってサポートを行った。このような取り組みの結果、実現した領域「内」の連携について代表的な事例を以下に例示する。

【代表的な事例】(T: チーム、G: グループ)

➤ 有田チーム/井元チーム

有田 T (有田 G) から井元チームに新型コロナウイルスゲノムにおける変異検出とアノテーション付与の解析パイプラインや感染者からのウイルスゲノムの収集とデータベース化、利活用について情報交換や研究協力を実施した。

➤ 有田チーム/片山チーム

片山 T と有田 T (本多 G) では、下水疫学調査の実施方法や活用方法などについて、広く情報交換などを行った。有田 T (植竹 G) が開発した空気からの新型コロナウイルスの検出技術の実地検証に関し、北大・北島研究室(片山 T 研究参加者)のバイオセーフティレベル 2 (BSL2) 施設でのウイルス濃縮および RNA 抽出に関する意見交換を行った。

➤ 有田チーム/千田チーム

有田 T (有田 G、阿部 G) は静岡県の新型コロナウイルスゲノム解析を行っており、千田 T (中川 G) ではウイルスのゲノム変異と伝播を解析しており、協働して日本における第 1～6 波の県単位ゲノム追跡情報可視化(HaploGraph)と公的データポータルサイト COVID-19 データポータル JAPAN からの公開(SARS-CoV-2 HaploGraph)に取り組んだ。

➤ 井元チーム/片山チーム

井元 T と片山 T は、東京五輪選手村において下水疫学調査を協力して実施し、試料や解析結果の共有を行った。

➤ 井元チーム/川上チーム

実験医学特集「感染症のデータサイエンス」(川上研究代表者企画・概論担当)において、井元 T (福永 G(南宮)、岡田 G) が COVID-19 の宿主因子の探索をテーマに各論の執筆を分担した。

➤ 川上チーム/千田チーム

川上 T (佐藤 G) と千田 T (中川 G) では、新型コロナウイルスの変異とその性状変化を解析する Genotype to Phenotype (G2P) Japan コンソーシアムにおいて、新型コロナウイルス変異の進化解析に関して共同研究を行った。

➤ 川上チーム/津本チーム

川上 T (佐藤 G) と津本 T (橋口 G、福原 G) では、共同で世界的感染拡大が懸念される新型コロナウイルス変異株の S 蛋白質の構造解析を行うことで、中和抗体逃避やアンジオテンシン変換酵素 2 (ACE2) 受容体結合能増減の構造基盤を明らかにする共同研究を複数実施した。

▶ 千田チーム／野田チーム

千田 T (千田 G) から野田 T (野田 G) に、クライオ電子顕微鏡の試料作製に関する技術提供を行い、ウイルスタンパク質複合体の構造解析に関する研究に向けて連携を開始している。

▶ 津本チーム／永井チーム

津本 T (橋口 G) から永井 T (西野 G、藤原 G) に精製受容体結合ドメイン (RBD) タンパク質やクライオ電子顕微鏡構造解析用の S タンパク質三量体を提供し、それを用いて HLH ペプチドとの複合体の結合部位決定のための結晶構造解析を進めている。

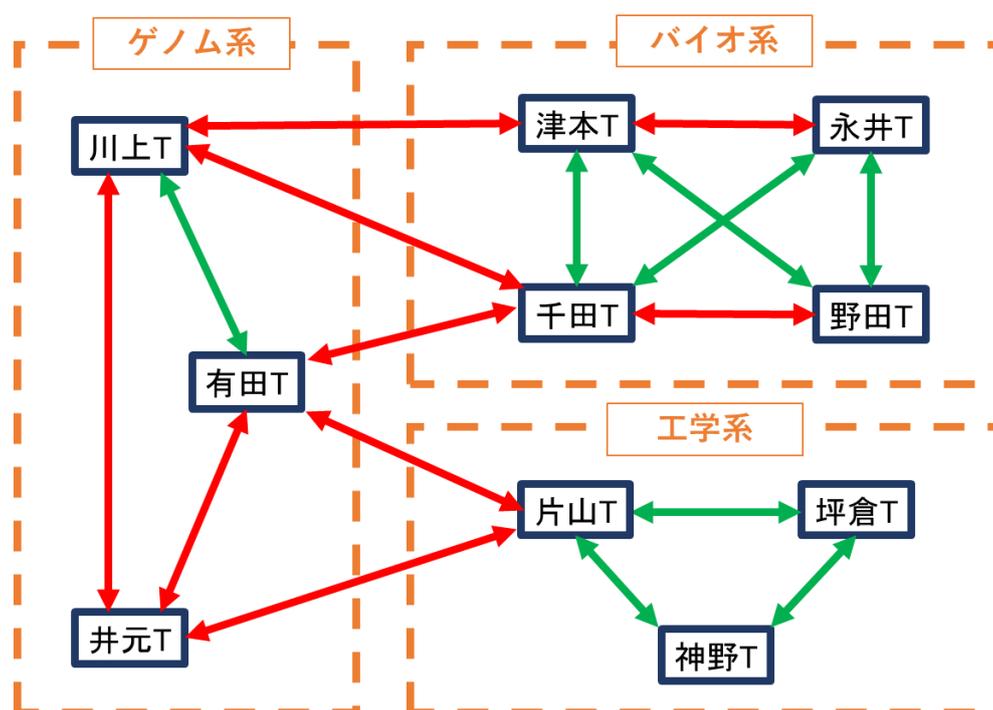


図 4. 領域内連携の俯瞰図

また、領域「外」との連携については、多数のアカデミア内での共同研究の他に、国内では地方自治体、医療機関、民間企業との連携が各研究チームで展開されている。募集選考の際に、研究総括の方針として、国際コンソーシアムや海外機関とのデータ共有等を奨励したが、井元チームでは、国際コンソーシアムである COVID-19 Host Genetics Initiative (HGI) とデータ連携を行い、国際的なメタ解析による入院や重症化に寄与する遺伝子多型の発見に貢献している。

6. 研究領域としての戦略目標の達成状況について

戦略目標『『総合知』で築くポストコロナ社会の技術基盤』でも述べられている通り、コロナ禍を機に、国内外の様々な分野で異分野融合研究の機運が高まり、我が国でも科学的知見を研究機関・分野を超えて結集させることが重要との認識がかつてなく広まった。本研究領域も方向性を同じくし、感染拡大を防止するための異分野融合研究を一層推進するため、個別の研究目標については、各分野の多様性を尊重した。そのため、分野の特性によって論文や口頭発表、特許、報道のバランスは一通りでない多様な結果となっている。それでも、研究領域全体の国際原著論文数が 257 報を数えるなど、期待に応える業績が積み上がっている。コロナ禍によって研究環境も停滞を余儀なくされる中、3年2か月という短期間でハイペースに成果が創出されており、研究チームの総体的な力量を物語っている。質的にも、重症化宿主因子の同定や、新型コロナウイルス変異株の情報についてなど、注目度が高く、学術や社会に大きなインパクトをもたらした研究も少なくない。また、データを活用した予測・分析手法等の研究の推進という点では、計算科学によるリスク評価手法など、感染症危機だけでなく平時においても人々のライフスタイルに変革をもたらす新たな技術が開発されており、科学技術イノベーション創出という観点でも、革新的な技術シーズの創出に貢献することが期待される。

以下、亜領域ごとに各研究課題について、研究テーマの概要と、これまでの特に顕著な成果について紹介する。

(1) ゲノム系 亜領域

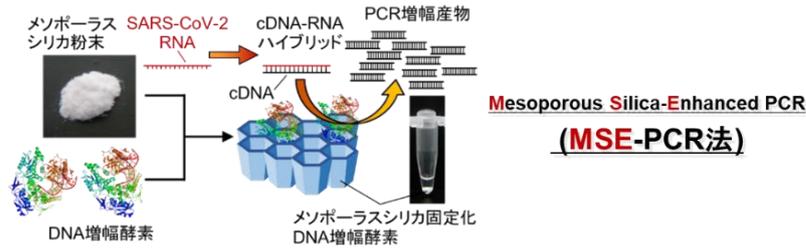
【有田チーム】

本研究課題は、新規の超高感度ゲノム増幅技術¹を活用して様々な都市環境（下水、公共スペース、空気など）からウイルスを検出・ゲノム情報を取得し、国際連携する公的データベースやポータルサイトからのデータ公開と、流行対策に資する情報解析の基盤構築を目指している。

これまでに、国内の新型コロナウイルスゲノム情報から、ウイルス間の親子関係を示すハプロタイプネットワークから、ウイルスの経時的・地理的変異動向の可視化システムを構築し、公的データポータル「COVID-19 データポータル JAPAN」で“SARS-CoV-2 HaploGraph”として公開を行った²。また、石川県小松市をモデル自治体として、下水中の新型コロナウイルス濃度に下水の流入流量を乗じたウイルス負荷量による標準化を行った結果、採水直後 1 週間の新規感染者数と相関を認め、下水中ウイルス濃度の 2 週間の移動平均値を小松市のウェブページで公開すると共に、下水ウイルス濃度から得られた流行の規模（感染者の多寡）とトレンド（感染者の増減傾向）情報を SNS（LINE）で市民に情報発信を行った³。

¹特願 2022-106718 「高感度・高精度 R T - P C R 法」（2022 年 6 月 30 日出願）

新技術: メソポーラスシリカ材料を利用した高感度・高精度RT-PCR法



▶ シリカ細孔にDNA増幅酵素を固定化し、酵素周囲の反応環境を最適化することで副反応を抑制

² <https://covid19dataportal.jp/researchtool/haplograph.html>

³ <https://www.city.komatsu.lg.jp/soshiki/jougesuidoukanri/surveillance/14588.html>



【井元チーム】

収集検体数6,000の臨床情報を集積し、マルチオミクスデータを備えた世界一級のCOVID-19データベースを構築して、SNP・ウイルスゲノム・臨床情報を考慮したゲノムワイド関連解析 (GWAS) を実施し、日本人の COVID-19 重症化の遺伝的背景を明らかにするとともに、重症化予測を可能にする説明可能なAIの構築によってビッグデータに基づき感染症を制圧するための情報基盤の構築を行っている。

その結果、免疫機能に重要な役割を担う DOCK2 遺伝子の領域の遺伝子多型が65歳以下の非高齢者における重症化リスクと関連性を示すことを発見した¹。また、COVID-19の重症度とゲノム変異による遺伝子発現制御の相互関係の解析を実施し、樹状細胞分化マーカーである CLEC4C 等重症度に応じた遺伝子発現の変化パターンが特定ヒトゲノム変異の有無で異なる遺伝子を同定した。また、東京五輪では選手村の下水疫学調査を実施し、下水中のウイルス RNA 量と陽性者数との相関を認め、陽性者特定の2日前には下水中ウイルス RNA 量の増加を検出できることを見出した²。さらに、日本国内で独自に進化した AY.29 デルタ株が東京五輪開催時期に海外に広まる動態を解析し、新型コロナウイルスに限らず今後のパンデミックにおける国際的な大規模イベント等の対策に資する成果を得た。

¹ Namkoong et al. DOCK2 is involved in the host genetics and biology of severe COVID-19. *Nature*, 2022, 609:754-760, doi:10.1038/s41586-022-05163-5.

https://www.ims.u-tokyo.ac.jp/imsut/jp/about/press/page_00185.html

² Kitajima et al. COVID-19 wastewater surveillance implemented in the Tokyo 2020 Olympic and Paralympic Village. *Journal of Travel Medicine*, 2022, 29(3), doi:10.1093/jtm/taac004.

https://www.ims.u-tokyo.ac.jp/imsut/jp/about/press/page_00151.html

【川上チーム】

本研究チームでは、大規模社会 PCR 検査システムを活用し、数千人の健常者、無症候者の唾液、鼻咽頭スワブサンプルを収集し、ヒト由来、微生物由来の DNA、RNA を網羅的に計測し、機械学習と統計・数理モデルを融合したアプローチにより、個人ごとの発症・重症化リスクを発症前に評価する方法を開発するとともに、流行動向を高精度で予測するモデルを開発することを目指している。

すでに事業所や施設における社会的 PCR 検査、ワクチンセンターの検体も合わせると 3,000 検体以上を収集し、唾液中に含まれる RNA の次世代シーケンサーによる網羅的計測を進めることで、COVID-19 のみならず他の感染症や慢性疾患の発症前予測にも活用可能な計測・解析フレームワークを確立した¹。また、発症と重症化に関連するウイルス因子の探索については、ウイルスゲノム配列データベースをモニタリングすることで次期流行株の出現をいち早く捕捉するシステムを活用し、オミクロン株 BA.2 および BA.4、BA.5 の性状を世界に先駆けて解明し、いずれも *Cell* 誌に発表するなど顕著な成果を挙げた²。

¹ 川上英良, 岩見真吾, 特集「感染症のデータサイエンス」, 実験医学 2022 年 8 月号

² Yamasoba et al. Virological characteristics of the SARS-CoV-2 Omicron BA.2 subvariants including BA.4 and BA.5. *Cell*, 2022, 185(21), 3992-4007

(2)工学系 亜領域

【片山チーム】

本研究課題は、自己組織化高分子および無機結晶・官能基化カーボンからウイルスを吸脱着する新素材の開発と効率的濃縮法の確立によって、新型コロナウイルスに対する高感度検出法を創出するとともに、ナノ高分子膜・光触媒無機結晶・カーボン膜などの新素材を開発し、ウイルスを高効率で除去できるウイルス除去・不活化素材の実現を目指している。

これまでに、コットンガーゼ、ガラスウール、フィルターなどのウイルス吸着に使いやすい材料を対象として、均一に化学修飾する手法を開発し、疎水性を高める修飾を施したコッ

トンガーゼなどで高い効率でウイルスを吸着することに成功した¹。また、実施排水において実証実験を進めており、透過性の高い膜を用いたウイルス回収に成功している。通水量を制御できれば、効率的に検査可能になるだけでなく、ウイルス捕捉にも有効であると考えられるため、本研究の意義は学術的にも産業的にも大きいと考えられる。新型コロナウイルスに対して無症状感染者が増加し、また検査実施率が低下している状況において、水中ウイルスの計測の社会的意義はますます大きくなってきており、浸漬型のパッシブサンプリングの実用化への貢献を目指している。

¹ Liu et al. Surface Modification of Cotton Gauze for Passive Sampling of Enveloped and Nonenveloped Viruses from Water. ACS ES&T Water, under submission.

【神野チーム】

感染拡大時の検査システムや検査組織・体制の課題として、検査前段の検体の取り扱いやその処理、検査データの入力・管理を手作業に頼っていることが、検査の非効率化を招き、検査現場の逼迫を生じさせたと本研究では考え、検査のハイスループット化を実現するとともに、検査システムや検査組織・体制の柔軟性と継続性を備えた新たな自動検査システムを構築することを目指している。

これまで特に、感染初期拡大時に重要な役割を担う地方衛生研究所に着目し、検査現場のニーズや技術動向調査によって課題抽出を行い、その結果から、コンセプトの立案を行うとともに、全検査工程における効率化とシステムの柔軟性の鍵となる検体集積（前段階処理）工程システムおよびPCR検査工程システムの要素技術開発を実施した。多種・多メーカーの検体容器に対応可能なハンドリングロボットシステムの構築では、新たに開発したマイクロチューブキャッパー¹により、さまざまな形状のマイクロチューブに対応する前処理作業の自動化が可能であることを示した。検査情報システムの開発では、プロトタイプを地方衛生研究所の実際のPCR検査工程に組み込んだフィールド評価を実施し、手作業による情報管理が不要となるとともに、検査責任者が検体ごとの進捗状況をリアルタイムに把握することが可能となるなど、その有効性を確認することができた。

本研究で開発した要素技術やシステム化技術は、検査工程におけるコンタミネーションリスクや検査作業従事者の感染リスクの低減に貢献するシステムとしての効果が期待できるとともに、他の臨床検査やバイオ実験に幅広く適用できる技術である。特に、要素技術として開発した様々なマイクロチューブキャッパーは、これまでに開発事例がなく、また、汎用性が極めて高いため、他の幅広いシステムへの組み込みが可能であり、早急に社会実装を進める計画である。

¹ 特願 2022-174960「キャップ開閉装置及びその制御方法、マイクロチューブラック」（2022年10月31日出願）、特願 2023- 87129「キャップ開閉装置」（2023年5月26日出願）



【坪倉チーム】

本研究チームは、新型コロナに代表される新興感染症との共生時代において、飛沫・飛沫核感染リスク評価の共通社会基盤となりうるスーパーコンピュータ（スパコン）を活用したシミュレーションシステムの開発に取り組んだ。スパコンで既に高い演算性能を誇る熱・流体解析手法を基盤技術とし、ウイルスを含む飛沫・飛沫核の体内での発生から室内空気中での移流・拡散、さらに居住者への暴露・感染に伴う体内動態と免疫システム応答・生理反応までを包括的にシミュレーションにより解析する統合的システムとして構築した。

この取り組みの中で、数値人体モデル（飛沫・飛沫核の吸引に伴うウイルス感染の時間変化を数値的に再現する一連の解析モデル）を開発し、鼻腔などの上気道内でのウイルス濃度変化（RNA copies/mL）を *in vivo* データと比較することで、個体差のばらつきの範囲内でウイルス感染ダイナミクスを定量的に再現可能であることを示した。また、数値気道モデルの開発において、宿主反応モデル（Host Cell Dynamics Model、TIV モデル）を改良することで、新型コロナウイルスを対象とした Human Challenge データ（*in vivo*）を十分な精度で予測する HCD モデルの開発に成功した。システムの社会貢献として、プロジェクト進行中より、内閣官房コロナ室（現在は感染症危機管理統括庁）や東京感染症対策センター（東京 iCDC）と連携することで、随時、社会に対してシミュレーション結果の提供を行い、各種業界におけるガイドラインの策定・改訂や、一般社会に対する飛沫感染の理解と各種対策の重要性に対する啓発を行ってきた。さらに、開発したシステムの今後の社会実装として、二つの成果を挙げた。一つは、シミュレーション技術と機械学習技術を融合させることで、室内形状と居室者の配置、エアコンの作動状態を入力すれば、リアルタイムで室内の感染リスクを評価できる基盤技術を構築した。もう一つは、産学連携でポストコロナ時代の室内環境設計の指針を得るための検討を行った。具体的には、従来の室内の快適性に加えて、飛沫・飛沫核感染リスクを環境評価指標に取り組み、日本で一般的な混合換気に加えて、次世代の各種換気方法がこれらの指標に対してどのように影響するかを明らかにした。開発したシステムは既に 3 社のベンダーを通して産業界での利用が準備中である。

Realized on “Fugaku” for the Fight against COVID-19. International Journal of High Performance Computing Applications, 2022, 36(5-6), 568-586, doi:10.1177/1094320221116056

※ACM ゴードンベル賞受賞論文

Bale et al. Characterizing infection risk in a restaurant environment due to airborne diseases using discrete droplet dispersion simulation. Heliyon, 2023, 9(10), e20540, doi:10.1016/j.heliyon.2023.e20540

Nguyen et al. Computational fluid-particle dynamics modeling of ultrafine to coarse particles deposition in the human respiratory system, down to the terminal bronchiole. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2023, 237, 107589

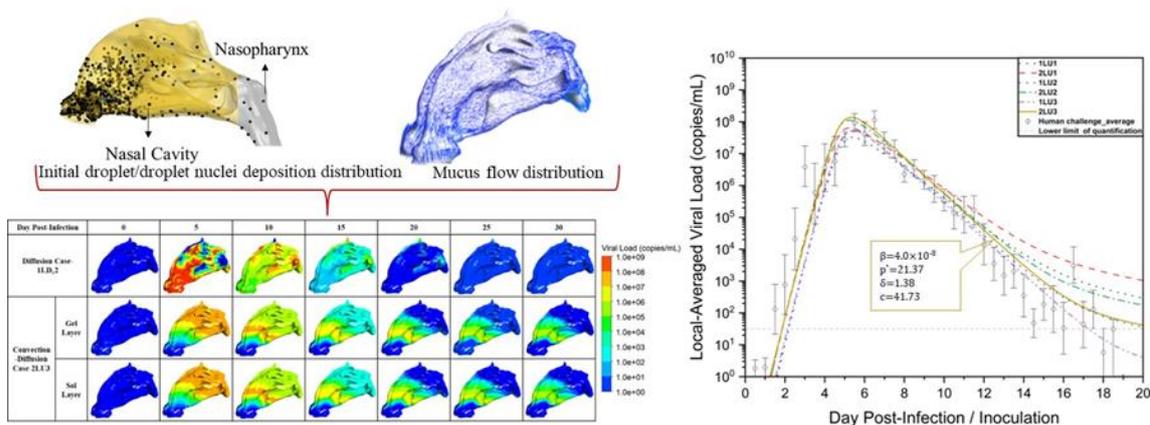


図. 鼻腔内の新型コロナウイルスの増殖の予測

左上：初期の飛沫・飛沫核の鼻腔壁への付着、

左中：粘膜流れの様子、左下：ウイルスダイナミクスの時空間分布

右：鼻腔内のウイルス数の変化（ヒューマンチャレンジとの比較）

(3) バイオ系 亜領域

【千田チーム】

新興感染症に迅速に対応するにはウイルスの種類を選ばない新概念による抗ウイルス治療戦略が必要と考え、細胞がタンパク質合成に利用する GTP の代謝を調節することでウイルスタンパク質合成を抑制しウイルス増殖を阻害することを目指し、PI5P4K β や IMPDH2 という GTP エネルギー代謝の鍵分子の阻害剤開発を進めている。同時に、新型コロナウイルスのタンパク質分解酵素 3CL プロテアーゼの阻害剤開発も進め、GTP 代謝制御との併用でウイルス治療に革新をもたらすことを目指している。

これまでの取り組みで、PI5P4K β の阻害剤は細胞レベルで抗新型コロナウイルス及び抗インフルエンザウイルス活性を示した。この阻害剤の細胞に対する効果としては、トランスクリプトーム解析からはレジリエンス関連の転写因子の関与が、メタボローム解析からは細胞内還元力やアミノ酸代謝回転が低下することが示唆された。また、阻害剤によりウイルスタンパク質の発現量が顕著に低下しており、GTPセンサー阻害と抗ウイルス作用の関係が示唆された。さらに、新型コロナウイルスの感染により細胞内のGTPレベルが上昇し、活性酸素レベル(ROS)が上昇することが明らかになり、PI5P4K β の阻害剤の効果と組み合わせると、細胞内ストレスの緩和機構を制御する薬剤が抗ウイルス活性を持つ可能性を更に強固にすることができた。また、PI5P4K β がウイルスのエンドサイトーシスにも関与することも示されており、PI5P4K β の作用が多面的であることも示唆されている。一方で、GTP合成の鍵酵素であるIMPDH2のアロステリック阻害剤の開発も進んでおり、現在IMPDH2の8量体構造を不活性型にする化合物を取得している。

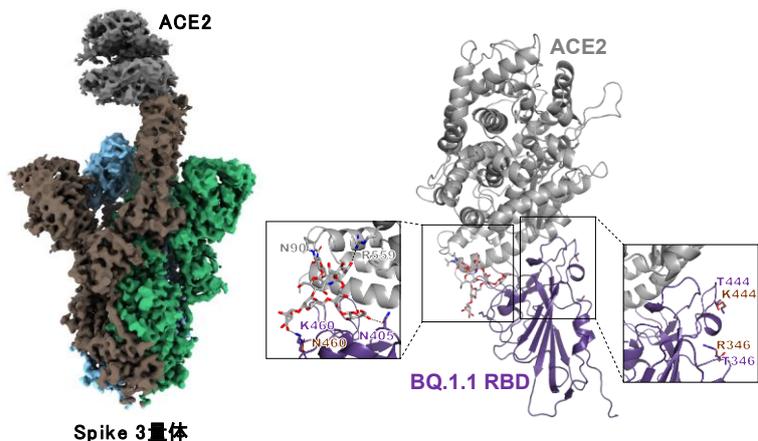
特願 2022-172388 「ウイルス増殖阻害剤」 令和4年(2022年)10月27日出願

【津本チーム】

本研究チームは、新型コロナウイルスを標的としてAntibody-Based Molecular Designを実現するために、タンパク質工学、構造生物学、有機合成化学、一分子計測などを高度に融合させ、創薬やセンシングの標的となり得るウイルス構成蛋白質に関する基礎研究を通じ、中和抗体の低分子量化によって、新型コロナウイルスに対する新しい治療薬および診断薬創出へ向けた技術開発を目指している。

これまでに、SARS-CoV-2受容体結合ドメイン(RBD)を標的とするヒト由来の中和抗体の単ドメイン化や抗原特異性を決める相補性決定領域(CDR)切り出しによるペプチド化を実施した。コール酸ナトリウムの添加により、VHドメイン単独での精製に成功した。また、弱いながらもVHドメイン単独でのRBDへの結合能も検出できた。VHドメイン単独での分子動力学計算を実施することで、ヒト由来の抗体でも、自然界の単ドメイン抗体と類似した立体構造を取る可能性が示唆された。ペプチド化では、CDRの環状化により結合活性を回復できることも分かった。構造解析技術を活かして世界的な感染拡大が懸念される複数のウイルス変異体のS蛋白質構造を明らかにしたことで、中和抗体逃避や受容体認識能の増減の構造基盤が解明できた。さらには、1分子蛍光分光法を用いて、S蛋白質にACE2や抗体が結合した際の構造変化を検出することを可能にしたほか、ガイドRNA(gRNA)とN蛋白質が結合しgRNAの構造化を引き起こす過程の追跡が可能となった。

Moriyama S, et al. Structural delineation and computational design of SARS-CoV-2-neutralizing antibodies against Omicron subvariants. *Nat Commun.* 2023 Jul 14;14(1):4198. doi: 10.1038/s41467-023-39890-8.

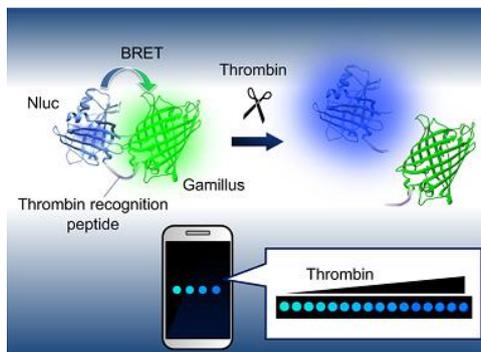


【永井チーム】

COVID-19 を含む各種感染症危機の際に医療機関の負担を軽減させるためには、スマートフォンにより発光シグナルを検出することで誰もが自宅で簡便に感染の有無を確認できる検査システムが必要と考え、遺伝子ライブラリーから各種病原体に特徴的な分子を認識する標的ペプチドをシステムティックに選別し、化学発光タンパク質に組み込んで、特異的に認識・発光する分子センサーを迅速に開発するプラットフォームの構築を目指している。

これまでに、スパイクタンパク質上の RBD に結合する複数の HLH ペプチドの単離に成功した。さらに、変異株の RBD 上で変異が集中している領域を標的として避けることによって汎用性のある HLH ペプチドが獲得できることや、飽和変異スクリーニングによって変異株への結合特性を最適化できることも示した。また、HLH ペプチドを利用した標的検出を化学発光色の変化によってスマートフォンカメラで確認する原理検証に成功した。さらに、検出信号の増幅によって解離定数より低濃度の標的タンパク質を高感度に検出する新規技術の開発にも成功した。

Hattori et al. Ratiometric Bioluminescent Indicator for a Simple and Rapid Measurement of Thrombin Activity Using a Smartphone, Anal Chem, 2021, 93, 13520-13526



【野田チーム】

本研究では、ヒトのES細胞やiPS細胞から分化誘導した鼻腔上皮・気道上皮・肺胞上皮オルガノイドを搭載した「呼吸器チップ」の開発によって、ヒトの上気道から下気道を再現し、ウイルスの増殖や病態発現機構を解明するとともに、様々な呼吸器ウイルス感染症研究の革新的なツールとして展開することを目指している。

これまでに、単一のヒト iPS 細胞由来肺前駆細胞を用いてヒト気道と肺胞のオンチップモデルを開発し、新型コロナウイルスやインフルエンザウイルスを感染させて、それぞれ異なるウイルス複製、細胞障害、自然免疫応答を示すことを明らかにした。新型コロナウイルスに対する免疫応答は、肺の近位領域及び遠位領域において異なり、気道チップでは強いインターフェロン応答が誘導されるのに対し、肺胞チップではインターフェロンは活性化されずケモカインが有意に誘導された。インフルエンザウイルス感染では、新型コロナウイルスと比較し、両チップにおいて強い免疫応答と細胞障害を引き起こした。また、ヒト鼻腔オルガノイド¹を用いた解析の結果、新型コロナウイルスは嗅神経前駆細胞に効率よく感染し細胞障害を引き起こすことで、嗅神経細胞の再生が阻害され、長期的な嗅覚障害の原因となる可能性を示した。さらに、ヒト肺胞オルガノイドを用いて変異株を解析し、オミクロン株が高温で増殖しにくい性質がデルタ株等に比べ低い病原性を示す要因であると考えられた²。オミクロン感染に対する発熱応答が生体防御で重要な役割を果たすことが示唆され、オミクロン患者に対して解熱剤の使用法を考える上で重要な情報になると考えられる。

¹ PCT/JP2022/026238 「鼻腔上皮を構成する細胞の製造方法」(2022年6月30日出願)

² Muramoto et al. Replicative capacity of SARS-CoV-2 omicron variants BA.5 and BQ.1.1 at elevated temperatures. *Lancet Microbe* S2666-5247(23)00100-3. (2023)

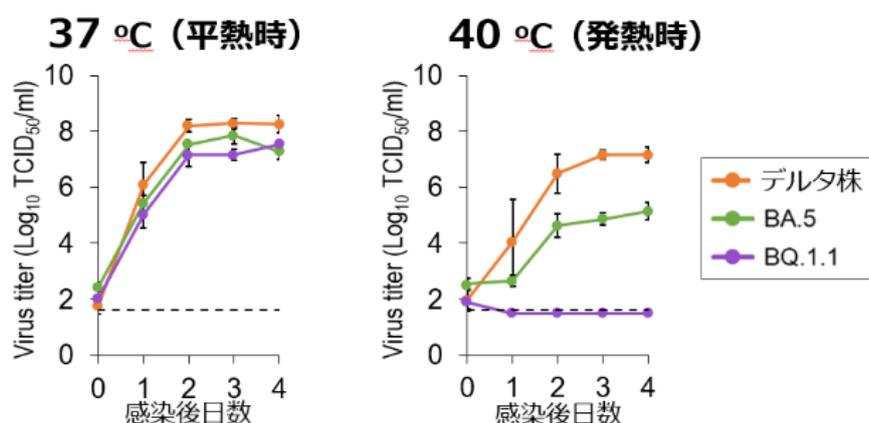


図. オミクロン株は高温で増殖しづらい性質を持つことを、肺胞オルガノイドを用いて明らかにした (Muramoto et al., *Lancet Microbe*, 2023)

7. 総合所見

(1) 研究領域のマネジメント

日本と欧米（特に米）の研究開発史を比較すると、欧米は領域横断的なテクノロジー（技術）をまず強化し、個別の専門研究領域を引っ張らせる傾向が強い。自分（研究総括自身）が専門としてきた医学医療領域で特にその傾向が強いのかもしれないが、日本では研究領域を深掘りしようとする研究者が多く、欧米から持ち帰った技術を周辺領域に応用したり、技術そのものをより発展させようとする努力に乏しかったのではないかと。「プランB」と位置付けられた本研究領域では、コロナやポストコロナの感染症研究に関わる研究者の枠を越え、技術開発を行う研究者と専門領域の研究者が「同じ釜の飯を喰いつつ研究（異分野連携）」するような領域を立ち上げたいと考えた。それぞれ異分野連携で成り立つチームが、全体的にも異分野連携で領域研究を形成するイメージである。結果として、基礎ウイルス学者が少ない構成になった。

採択された10チームの主要な研究内容に応じて、ゲノム系、工学系、バイオ系の垂領域に分類し、専門性の観点からそれぞれ3名程度の担当アドバイザー（AD）を配置した。2021年5月のキックオフ会議で全体像を共有した後、オンラインで垂領域会議を進め、個々のチームをサイトビジットすることにより、各チームの状況に関する理解を深め、分担研究者とも情報共有する場を持つようにした。2023年8月に領域会議を開催し、実質2年半ほどの研究成果を全体で共有した。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

本研究領域は、2021年3月に決定された『『総合知』で築くポストコロナ社会の技術基盤』の戦略目標より先行して始まったが、盛り込まれた「感染拡大を防止するための異分野融合研究」や「データを活用した予測・分析手法等の研究」などが、目標として共有されている。

従来から日本の感染症対策の要は、検疫による水際対策と全国に張り巡らせた保健所網と国立感染症研究所（感染研）を頂点とした検査診断体制である。北里柴三郎が持ち帰った感染症の細菌（病原体）起源説が明治以来の感染症対策の支柱であり、病原体を同定し、隔離することが感染症制圧の目標となった。新型コロナのような呼吸器疾患の場合、病原体を診断するための検査材料は、気道分泌物（咽頭拭い液や唾液、喀痰等）が中心となる。一方、同じ病原体（ウイルス）に感染しても個人個人の重症度が異なることが常であり、宿主反応を研究するには血液（白血球）が重要な検査材料となってくる。従来の日本の研究・対策の体制では、感染者の問診はしっかり行い、気道分泌物は採取するが、病原体と感染個体双方を考慮した検体採取はほとんどなされなかった。

新型コロナウイルスは、従来感染症対策の要としてきたハードルを軽々と乗り越え、侵入してきた。2020年2月から3月頃、ヨーロッパで感染して帰国した日本人が国内各地で発症し出すと、保健所は逼迫し、すぐに感染研が多数のPCR検査を処理する能力を欠くことが

明確となった。PCR 技術は 1990 年頃に日本に導入されたが、その技術はアカデミア・実験室に留まり、自動化によって検査精度と速度を高め、感染対策の現場で診断に適用するような深謀遠慮は働かなかった。一方、塩基配列解析の技術は、米国のヒトゲノム研究に後押しされ、サンガー法（1977 年）からパイロシーケンシング法（1993 年）に進化し、半導体製造の高速自動化技術等が応用され、過去 20-30 年ほどの間に次世代シーケンサー（NGS）として急速に進歩し、単価的にも近年大幅に利用しやすくなっていた。

上記のような科学技術の発展を背景に、本研究領域の戦略目標に向けて、最も印象に残る活躍したのはゲノム解析を中心に据えた研究チームである。有田、井元、川上の 3 チームで構成されたゲノム重領域は、それぞれの特徴を活かし、ゲノム解析・データ研究の研究者が中心となって成果をあげるとともに、次に進めるべき技術基盤の実例を示した。呼吸器感染症であることを捉え、井元チームに参加したメンバーが核となり、呼吸器内科医を中心とした全国レベルのコンソーシアムをボトムアップで形成し、当初見込みの 2,000 件を遙かに超える 6,000 件もの臨床情報付き血液検体を収集した。呼吸器内科医とゲノム解析・データ研究者等との連携をもとに、国際コホート研究に参加し、アジア地域からのデータ提供に大いに貢献するとともに、いち早く非高齢者の重症化リスクとの関連性を示す遺伝子多型を同定し、国際的ジャーナルに報告した。本研究領域は、検体供給者が積極的に参加する希少なボトムアップ・コンソーシアムの形成や発展をその早期から支援することができた。有田チームは、超高感度 PCR 法の開発とともに、地方自治体と連携して得たウイルスゲノム情報を国内外に公開し、パンデミック対策におけるオープンサイエンスの推進に大きく貢献した。有田チーム、井元チームは、下水中のウイルスゲノムの検出状況を踏まえた公衆衛生対策上の重要な成果をあげた（片山チームと併せて後述）。川上チームは、健常者、無症候者の発症・重症化のリスクを発症前に評価する方法の開発という壮大な目標のもと、3,000 件以上の検体を収集した。今回は調査対象者の中での感染者数が少なく、より効率的な調査を次回パンデミック時等に持ち越すことになったが、データ駆動型の予後予測研究のさきがけを作ったと考えている。感染症における微生物側の因子の研究も含んでいたのも、津本チーム、千田チーム等との連携を通してオミクロン株の性状を世界に先駆けて解明するという顕著な成果に繋がった。

片山、坪倉、神野の 3 チームで構成された工学系重領域は、新素材、スパコン、ロボットという専門性を梃子として、本研究領域内、アカデミア内に留まらず実質的な実社会との連携を深めた。片山チームは、新素材の開発に主軸を置く一方、有田チーム、井元チームと領域内連携を進めるとともに、研究代表者からの依頼による東京都北区の高齢者施設で、入居者調査と下水調査の比較調査を敢行した。全国的にも全国下水サーベイランス推進協議会を通じて、全国自治体の下水道部局とも連携している。坪倉チームは、「富岳」を用いた飛沫のシミュレーションを行い、政府や東京都等の行政、各種業界におけるガイドラインの策定・改訂、さらにはマスメディアを通じて一般社会にむけた分かりやすい感染症予防の啓発等に、大いに利用された。このように本研究領域の連携は、領域内或いはアカデミア内に留

まらず、個々の研究代表者が実社会と直接連携し、研究連携を進めたことも特徴だと考えている。

グローバルなパンデミックとなった新型コロナウイルスの流行は、各国の研究機関や企業が死力を尽くして開発競争をした点にも特徴がある。本研究領域の立ち上げ時には、日本の検査能力が低レベルに留まっていたことから、神野チームは大量自動検査システムの構築を目標としてあげた。しかし、国内外の検査機器メーカーから大量自動検査機器が生産されるようになった。神野チームと研究総括は、地方衛生研究所や民間検査会社の視察を行い、大手検査機器メーカーがなかなか手を出さないニッチ部分を自動化する方向に研究方針を変更し、川崎市健康安全研究所の担当者と連携しながら、病原体を取り扱う現場で必要とされる自動機器を開発するよう研究方向をマネジメントした。

バイオ系亜領域には 4 チームが分類されたが、研究目的や研究内容にはそれぞれ個別の特徴がある。千田チームは、GTP エネルギー代謝で重要なタンパク質の構造と機能関連の研究を通して、エネルギー代謝がウイルスの増幅に与える影響を研究した。パンデミックの初期、まだ特異的な抗ウイルス薬の開発が間に合わない時期に有用な GTP 代謝阻害薬の開発が期待される。津本チームには、構造生物学をもとにタンパク質の相互作用を研究する優れた研究グループが集合した。新型コロナウイルスは、S 蛋白質の可塑性が高く、短時間に思いがけないほど多数の変異体を生み出したが、ハードワークと領域内他チームとの連携により、極めてインパクトのある成果を発出した。相対的に、抗体の低分子化の研究をどう進めるかについては、研究総括の知識も少なくマネジメントが進まなかった所がある。永井チームは、優れた化学発光の研究開発グループとウイルス検知を司る HLH ペプチド探知を目的とするグループが組み合わさって、簡便なウイルス検知システムを開発することを目指した。それぞれのチームが成果をあげているが、両者がアセンブリーされたシステムの効能効果がまだ見えていない。両方で良いものを作り、合体してシステムとする予定なので、研究終了までにその成果を確認したい。野田チームでは、新規の細胞培養チップ開発者、万能幹細胞の研究者及びウイルス学者が異分野連携し、鼻腔、気道、肺胞という呼吸臓器をチップ上に再現し、人体に頼らずウイルス変異体の臓器別増殖特徴を研究した。全く新規のチーム内異分野連携を核として、様々な外部研究者と連携し、レベルの高い論文成果に留まらず、新規実験手法の実用化も大いに期待できる。一時チップ上での培養が滞り苦労したが、見事に克服して目標に向かって順調に進行した。

(3) 本研究領域を設定したことの意義と妥当性

本研究は、チーム内の異分野性、領域全体の異分野性、さらには研究チーム自身が行政その他の実社会と連携するような構成を取った。もともと新型コロナウイルスワクチンや治療薬開発等の「プラン A」に対する「プラン B」として設定するという依頼を受けた。「コロナ禍においても制限なく活動できる社会を可能とする研究開発」が目的であるが、新型コロナウイルス感染症が社会を麻痺させてしまう状況を目の当たりにすると、何が伸びるか分

からない不明確さが存在した。新興ウイルス感染症は、途上国から現れることが多く、研究対象はウイルス（病原体）中心となりやすい。伝染病研究所から派生した国立感染症研究所の研究機能のほとんども病原体中心である。一方で、「病原体の存在下で人が活動できること」を考えるのであれば、人（宿主側）の研究は必須である。近年のコンピューターとゲノム研究の劇的な進歩を見れば、ヒトゲノム、特にそのデータを使った研究を一つの柱とすることは妥当だと思われた。

ゲノム系に分類したチームの中から臨床医のコンソーシアムが立ち上がったり、社会実装に直結しうる下水サーベイランス研究が地域行政との連携で行われたり、機械学習と数理モデルを融合させたデータ駆動型研究から重症化リスクの発症前評価法を開発する研究が行われたのは研究者たち自身の力量による。工学系並領域に分類したチームはそれぞれ、スパコンを使った飛沫拡散のシミュレーション、下水調査、自ら検査室に出向いて研究者のニーズを調査した上でのロボット研究などを設定した。既にメディア等を通じて社会実装レベルにある成果、あるいはすぐにでも実社会で使用されるような研究が行われており、領域として「感染拡大を防止するための異分野融合研究」となったと考えている。

バイオ系並領域では、「新規呼吸器細胞培養チップ」、「ES 細胞、iPS 細胞などの再生研究」と「ウイルス学」を融合した研究チームが続々と新しい成果をあげている。「化学発光の研究」と「HLH ペプチド」を使って、簡便な検査システムを構築するための異分野融合研究も行われている。双方から新しい成果が生まれており、融合の成果が生まれることを期待している。研究総括はかつて中国科学院の優れた構造生物学者と 10 年間共同研究を行った経験から、タンパク質の形を見つつその機能について研究することの重要性を学んだ。ウイルスタンパク質の研究は「プラン A」にも入りうると考えていたので、多数の応募は想定していなかった。しかし、想定を遙かに凌駕する新型コロナウイルスの変異株の登場で、津本チームと川上チーム等が連携したゲノムの変異と受容体結合部位のタンパク間相互作用の可塑性の研究は、新たな研究テーマとして活況を呈し、世界をリードする研究となった。

(4) 科学技術イノベーション創出に向けた、今後への期待、展望、課題

少し歴史を振り返ると、現在の生命科学の基盤となっている分子生物学の花が開いたのは 1960～1970 年代である。その上に、現在の生命科学やバイオ医薬品開発の花が咲いた。分子生物学のもたらした技術を社会で実用化する手順が動かず、日本はバイオ医薬品の開発に大きく出遅れた。日本は、科学技術の進歩を実用化に応用するまでの一貫性を欠き、倫理的・法的等で支える規制科学も普及が遅れている。

生命科学が必要とする近年の科学技術の進歩においては、ゲノム研究とコンピューターのスピードが突出しているのではないかと。1990～2003 年に行われたヒトゲノムプロジェクトが、その牽引車になったことには疑いがない。次世代シーケンサー（NGS）が開発されたのは 2003 年であるが、NGS の技術とコンピューターのスピードが、ゲノム情報を検査レベル、データレベルにまで拡張してきた。今回ゲノム系並領域は、このような技術の進化を見

事に開示して見せた好事例だと考える。例えば、井元チームはホストゲノム解析の研究者、データマネージメントの役割を担った情報研究者たちに臨床家が加わった。そこでは結成時に想像もつかなかった核融合が起こり、ボトムアップのコンソーシアムを形成しつつ、検体研究者（臨床医）が意欲を持って参加する全国レベルの小宇宙が形成された。川上チームは、データ駆動型の数理研究者、オミクス研究者にウイルス学が参加し、前代未聞のコロナの変異をほぼリアルタイムで追い、報告するとともに、バイオ系亜領域の津本チームの構造生物学者と連携し、極めて質の高い成果へと昇華させた。有田チームでは、PCRの感度を極限まで高める成果をあげつつ、実社会（自治体行政）と連携し、オープンサイエンスを積極的に推し進め、社会の中でウイルスの挙動を研究した。タンパク質の構造解析もクライオ電子顕微鏡の登場等により長足の進歩を遂げている。今回のパンデミックで経験した新型コロナウイルス変異の速さは計画時には想定できなかったが、許容範囲内の計画変更であり、ウイルスゲノムとタンパク質構造の、チームを越えた連携研究に繋がった。今後の研究や創薬にも応用されうる成果であるかもしれない。自治体や公共のイベントなどに協力する形で、かつ複数のチームで下水のウイルス調査が行われた。下水調査については、全国下水サーベイランス推進協議会等を通じて、政府や自治体への働きかけも活発なようである。一部の検査は企業化されているなど、社会への実装化と新規開発が併行して行われた。本研究領域内での下水研究についてもっと連携が見えた方が良かったという意見を領域アドバイザーから頂いた。科学技術の進歩ばかりでなく、社会との関係についても様々な相違を包含しつつ行うのが異分野連携であろう。感染症の行政は守秘性が高く、連携は容易ではない。研究者は全力を尽くしたが、領域におけるネットワークの強化は将来に向けた教訓である。本研究領域は3年間の設定であったが、5年プロジェクトであれば、進捗を見て連携による成果の進んでいるところは、予算措置を含めて第2段階の計画を用意するなどの工夫があってもよいかもしれない。

(5) 所感

新型コロナウイルス感染症とポストコロナの「プランB」の研究領域として、たいへん貴重な機会を与えて頂いた。異分野連携の要素を持つチームが、全体としても異分野連携性を持つような研究領域をイメージし、JSTの優秀なスタッフの支援を頂いて実行できた。当初から優れた結果を残すであろうと推測可能で、その通りの成果をあげたチームもあれば、予想を遙かに凌駕するコンソーシアムがボトムアップで出てきたり、新型コロナウイルスの驚くべき変異原性の波をうまく乗りこなして、大きな成果をあげた連携研究もあった。一方で、要素技術の成果は出ているのに、それを組み合わせるステップが思いのようにはいかないチームもあったし、実績がありつつも苦勞しているグループもあったと思う。総じてたいへん多彩で活力のある研究領域だったのではないかと自負している。3つ年を取ったが、お陰様で心は若返った気がしている。ありがとうございました。

以上