

携帯電話の位置・接触情報を用いた 感染リスク管理の歴史・現状と課題

奥村 貴史^{1,a)} 藤田 卓仙² 米村 滋人³

受付日 2021年6月23日, 採録日 2022年2月4日

概要: 2020年, 世界的な混乱を引き起こしている新型コロナウイルスによるパンデミックへの対策として, 各国は携帯電話を活用したさまざまな技術を感染リスク管理に投入した. しかし, 研究分野としての背景や課題が論じられる機会は乏しかった. 公衆衛生において, 携帯電話の位置情報や接触情報を感染症対策へと活用した研究は, 2010年のハイチ地震を対象として始まり, 携帯電話の呼詳細レコードを利用した研究論文が2011年頃から出始めた. 国内では, 2017年頃より厚生労働省のグループが研究を始め, 2019年に携帯電話の在圏情報を活用した接触リスク管理技術に関して世界に先駆ける研究成果をあげている. その後, 2020年に入り, パンデミックへの対策として, シンガポール, イギリス, 香港, 台湾, 韓国と, 各国政府は関連技術を一気に実用化した. 本稿では, この感染リスク管理における携帯電話の位置情報, 接触情報の活用に関する国内外の歴史を整理し, 2020年におけるパンデミック対応を概観するとともに, 関連技術の発展に向けた性能評価とプライバシー保護上の課題を示す.

キーワード: 感染症危機管理, 接触確認アプリ, 位置情報

History, Current status, and Challenges of Infection Risk Management Using Cell-phone Location and Contact Information

TAKASHI OKUMURA^{1,a)} TAKANORI FUJITA² SHIGETO YONEMURA³

Received: June 23, 2021, Accepted: February 4, 2022

Abstract: In 2020, as a countermeasure to the pandemic caused by the new coronavirus, various countries have released cell phone applications for infection risk management. However, only limited articles have discussed the background and challenges of this research field in Japan. The history of the use of cell phones' location and their contact data for infectious disease control in public health started after Haiti earthquake in 2010, and related articles were first published around 2011, which used Call Detail Records of cell phones. In Japan, research officials of Ministry of Health, Labor and Welfare initiated related researches around 2017, and published an article in this problem domain in 2019. Then, governments, such as Singapore, United Kingdom, Germany, and France, released applications as countermeasures against the pandemics caused by the new coronavirus, in 2020. This paper outlines the domestic and international history of these technologies, reviews the pandemic response in 2020, and summarizes the challenges in evaluating such applications.

Keywords: infectious disease control, contact tracing applications, location information

¹ 北見工業大学
Kitami Institute of Technology, Kitami, Hokkaido 090-8507, Japan

² 慶應義塾大学
Keio University, Shinjuku, Tokyo 160-8582, Japan

³ 東京大学
The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan

a) tokumura@mail.kitami-it.ac.jp

1. はじめに

2020年, 世界は新型コロナウイルスによるパンデミックに襲われた. 欧米では, 毎日何万という新規の感染者が発生し, 1日の死者数も数千人に上る日も生じた [1]. 感染拡大を止めるために都市封鎖が行われ, 医療や観光業をはじめ

めとして多大な社会的混乱が引き起こされた。こうした事態への対策として、各国は広く普及した携帯電話を活用したさまざまな情報技術を感染リスク管理へと投入した。

それらの技術のなかでも、感染者と接触したリスクを通知する携帯電話アプリケーションは、海外における議論を受け、2020年3月頃より国内においても導入に向けた議論が生じるようになった技術である [2]。そして、国内でも海外で開発された実装のローカライズ等の動きが始まった後 [3]、携帯電話に関する「プラットフォーム」である Apple, Google は要素技術の標準化を発表した [4]。これを受け政府も議論に介入するに至り [5]、最終的に、2020年6月に厚生労働省が COCOA (COVID-19 Contact-Confirming Application) を公開した [6]。こうして、接触確認アプリの存在が国内でも広く知られるようになった。

この国内での導入に際しては [7]、企画から普及後に至るまで、トラブルが続発した [8]。さらに、このような苦労を経て普及が目指されたにもかかわらず、2021年6月現在、接触確認アプリを用いることでどの程度の感染抑制が可能であるのか、また抑制されたのか自体の技術的評価も定まっていない。そもそも、当該技術がいかなる技術分野に属し、どのような技術的背景があったのかも、社会にはほとんど知られないまま普及が進められてきた。

そこで本稿では、今後、感染リスク管理における携帯電話技術の発展に向けて、関連した技術の開発の歴史と現状、そして、課題を整理する。まず、次章において、感染リスク管理における携帯電話技術の活用に関する研究分野の歴史と研究分野における日本の貢献について概説する。次に、3章において、新型コロナウイルスによるパンデミック対策として当該技術がいかに投入されたか、主要各国の現状を整理する。そのうえで、関連技術が発展していくうえでの課題として、感染抑制性能とプライバシー上の課題を4章、5章で考察し、6章に結語を記す。

2. 感染症リスク管理への携帯電話活用提案

感染症対策に携帯電話の位置情報を利用する手法としては、2010年末にハイチにおいて大規模な地震後に生じたコレラのアウトブレイクに際し、感染拡大のモデル化が試みられたことが嚆矢であった [18], [19], [20]。これらの研究では、呼詳細レコード (Call Detail Records) と称される通話の発信に関わる粗い位置情報を利用して災害の前後における住民の移動傾向を拾い、感染拡大のモデル構築を試みた。その後、感染症対策に携帯位置情報を活用する模索が進んだ [21], [22], [23], [24]。これらの研究においては、携帯電話の位置情報と不可分である住民プライバシー保護のため、個別の端末位置ではなく統計処理を通じたプライバシーへの配慮が求められ、その点に精度上の限界が生じた。また、こうした研究の対象となってきた発展途上国ではプリペイド式携帯電話を利用されている場合が多く、携帯電

話端末情報が個々人の年齢や性別等の属性情報と紐付けられていない等の課題が指摘されていた [24]。

統計による傾向の把握でなく個別の感染症患者の追跡に携帯電話を利用するためには、携帯電話の有する GPS (Global Positioning System) データ等の詳細な位置情報の利用が必要となる。しかしながら、公的機関が住民の位置情報を利用することにはプライバシー侵害の懸念が強く [25]、2020年のパンデミック以前には文献上の記載がほとんどない。その例外が、2015年に韓国で生じた MERS (Middle East respiratory syndrome coronavirus) 騒動において韓国当局による利用が報告されている文献 [26] である。韓国では、ジカ熱への対応においても、GPS を利用した対策が提案されている [27]。

一方、わが国においては、住民の詳細な位置情報を公的機関が感染症対策へと利用する手法は、プライバシーと通信の秘密の侵害にあたりうるとする見方が支配的であった。そのため、感染症危機管理分野においても、エボラ出血熱やクリミア・コンゴ出血熱等、「感染力、罹患した場合の重篤性等に基づく総合的な観点からみた危険性が極めて高い」いわゆる一類感染症患者への対応として、緊急時に一定の手順を踏むことで患者の追跡を可能としておくための法律的な整備が必要ではないかという議論に留っていた。

このように、感染症危機管理に位置情報を用いることには、国民のプライバシーを公権力が侵害する懸念を引き起こす。この問題を避けるため、2013年頃より、携帯電話に備わっている Bluetooth や磁気センサ等を活用した手法が検討されていた [28]。たとえば、Zhang らは、Bluetooth と音量を用いることにより携帯ユーザ間の接触を検知し、感染経路を推計することが可能かシミュレーションを試みている [29]。Barrat らは、感染症の伝播モデリングのために接触データを集める手法について検討し、胸部につけた専用機器を用いる提案をしている [30]。携帯電話の Bluetooth を用いた接触検知の場合、たとえば、携帯が鞆に入っていることにより接触検知に影響を与える可能性が示されている [31] が、胸部に設置することで人物間の相対位置を配慮した検知が可能となる点で示唆に富む。Nguyen ら [32] や Jeong ら [33] は、携帯の磁気センサが記録する磁気の時間変化のパターンを用いることにより、感染ルートとして懸念されてきた公共交通機関における近接が検知しうることを示した。このように、感染リスクの制御のために携帯電話を活用する手法は提案されてきたものの、多くは接触を検知するためには感染源と感染先の双方のデバイスに同一の仕組みを備える必要があり、原理的な制約となってきた。

この問題の解決策となったのが、後に CIRCLE 法 (Computation of Infection Risks via Confidential Locational Entries) と命名された日本より提案された手法であった [17]。厚生労働省の所管する機関である国立保健医療科学院においては、2009年の新型インフルエンザによるパン

デミックの教訓から、公衆衛生当局から地域住民へと提供する感染リスク広報の効率化に2017年頃より取り組んでいた。麻疹や結核等の感染性の高い感染症の患者が発生した場合、公衆衛生当局は、他人への感染リスクが高い公共交通機関や大規模商業施設の利用等の情報を限定的に発表し、住民へと注意喚起を行う。しかしながら、一般住民はそうした情報へと関心を有さない。提案手法では、公衆衛生当局は、秘密保持契約のもとに患者より聴取した移動情報を携帯電話キャリア等の事業者へと提供する。それらの事業者は、それぞれの顧客からの要望に応じて、患者の位置情報を元に各端末の感染リスクを計算し、リスクが高い顧客に対して公衆衛生当局への相談を促す連絡を行う。

この手法は、感染リスクの効率的な管理手法として、従来提案と比していくつもの優位性を備えていた。まず、すべての携帯電話が利用する携帯ネットワークの在圏情報を用いることにより、アプリケーションのインストール等なく住民の多くをカバーする一般性を備えた手法であった。また、従来手法と比して、患者のプライバシーの公開を避けられるとともに、行政機関が住民側の移動情報に接することを避けることが可能であった。さらに、すべての計算が住民側の自由意志に基づいた適切な利用許諾のもとに行われることにより、事業者には保存された位置情報の「目的外利用」が避けられる構成となっている。また、端末間の直接の接近を検知するBluetooth等と異なって、空気感染や時間差での接触感染等、多様な接触様式に対応しうる。このように、提案手法は感染症のリスク管理手法として優れた特性を有しており、2019年の厚生労働科学研究費補助金の追加交付を受け、実用化に向けた公衆衛生行政内部での検討が進められていた。

3. 新型コロナウイルスパンデミックと実用化

その後、2020年に発生した新型コロナウイルス感染症(COVID-19)によるパンデミックでは、わが国では、NTT Docomoのモバイル空間統計[34]やYahoo!の混雑レーダー[35]、株式会社ゼンリンデータコムの混雑統計[36]等を用いた、行政による外出自粛や接触削減要請の政策効果のモニタリングが2020年3月頃より行われてきた。これらのデータは、主にマーケティング目的での販売を前提として、携帯端末の保有者からの許諾のもとに各種事業者が保有してきたもので、データ集積の段階から住民プライバシーへの配慮がなされている。また、端末保有者の年齢情報等との紐付けがなされており、年齢層別等の詳細な分析が可能となっている。そのため、これらの統計はパンデミック対策に欠かせない政策評価ツールとなってきたが、この統計は地域ごとの混雑度に基づく感染リスクの概算には役立つものの、個々の感染者を把握したうえでのリスク管理には用いることができない。

そこで、個々人を対象としたリスク管理として、多くの

携帯電話が標準的に備えるBluetoothを用いた接触者の追跡(contact tracing)手法が、今回のパンデミックにおいて初めて実用化された。この手法では、携帯電話端末が有する短距離通信Bluetoothデバイスを用いて、一定の時間、一定の距離以内に接近した端末間において、個人情報を含まない端末のIDを交換しておく。端末保有者の感染が確認されると、その端末と端末IDを交換した履歴がある端末に、感染症患者との接近の事実が通知される。この仕組みにより、公衆衛生当局は、住民のプライバシーに関わる情報を知ることなく、感染リスクのある住民に対する効率的な情報提供が可能となる。

こうした接触確認アプリケーションとしては、2020年3月、シンガポールにおいて、TraceTogether[15]が世界に先駆ける形で公開された。その後、各国において、Bluetooth技術を用いた接触確認アプリのリリースが続いた。その主要な試みを表1に整理する。リリース日等の情報は、各アプリに関するインターネット上の公開情報を参照した。ダウンロード(DL)数および人口情報は、2021年2月10～17日に収集した。感染率は、WHOによる各国の累計感染者数推計を国連の公開する各国人口で除し算出した。ただし、各情報は、推計に用いる各国統計の更新タイミングや精度の関係で、正確性に限界があることに留意されたい。

ヨーロッパでは、National Health Serviceが紆余曲折を経てNHS COVID-19を公開したイギリス[9]、Corona-Warn-Appをリリースしたドイツ[10]、TousAntiCovidをリリースしたフランス[11]のほか、東欧を含め主要国がそれぞれ接触確認アプリを公開している[37]、[38]。これらには、Apple・Googleが連携して公開する通信方式[4]を利用したアプリケーション(A/Gと表記)のほか、DP-3T(De-centralized Privacy-Preserving Proximity Tracing)[39]のように、非プロプライエタリな独自のシステムや、アイスランドのRakning C-19[12]やブルガリアのVirusSafe[13]のようにGPSを用いた試みも含まれる。こうした多様性は、国家における感染症危機管理の根幹を多国籍のプラットフォームに委ねるリスクを避けた結果と考えられる。

一方、アジア諸国では、位置情報の積極的な活用と患者の隔離が進められた[40]。台湾では、自宅隔離の対象者が携帯電話の位置情報を利用して追跡されているとされる[41]。香港では入国者に対して一定期間GPSバンドの着用が課されている[42]。中国では、クレジットカードの利用歴等多様なデータ統合した形で接触者の追跡を行った[40]。マレーシアでは、患者居住情報や訪問先情報が詳細に公開されている[43]。イスラエルでは、テロ対策のために進められてきた携帯電話の傍受を接触者追跡に応用した[44]。これらの強力な手段をとった国々では、住民のプライバシーの侵害や自由の制限と引き換えに、欧米諸国と比して感染者数の拡大が抑えられている傾向が認められた[45]。

なお、表1に記載した以外にも、各国は競うように接触

表 1 各国における接触確認アプリケーション
Table 1 Exposure notification applications in major countries.

国名	ツール名	リリース日	DL 数 (万件)	人口 (万人)	DL/人口比	感染率	利用技術
イギリス	NHS Covid-19 [9]	Sept. 2020	2,179	5,944	36.4%	6.3%	Bluetooth (A/G)
ドイツ	Corona-Warn-App [10]	June 2020	2,560	8,380	30.5%	2.8%	Bluetooth (A/G)
フランス	TousAntiCovid [11]	June 2020	500+	6,530	7.7%	5.3%	Bluetooth
イタリア	Immuni	June 2020	1,031	6,050	17.0%	4.5%	Bluetooth (A/G)
スイス	SwissCovid	June 2020	295	870	34.0%	6.2%	Bluetooth (DP-3T)
フィンランド	Koronavilkku	Aug. 2020	250+	550	45.5%	0.9%	Bluetooth
アイスランド	Rakning C-19 [12]	Apr. 2020	14	30	46.7%	2.0%	GPS
ブルガリア	VirusSafe [13]	Apr. 2020	1+	690	0.1%	3.3%	GPS
アメリカ	SafePaths [14], 他	州毎に異なる	—	3,310	—	8.4%	—
カナダ	COVID Alert	July 2020	629	3,770	16.7%	2.2%	Bluetooth (A/G)
カタール	Ehteraz	Apr. 2020	253	290	87.2%	5.5%	Bluetooth+GPS
インド	Aarogya Setu	Apr. 2020	16,300	138,000	11.8%	0.8%	Bluetooth+GPS
ベトナム	BlueZone	Apr. 2020	2,250	9,730	23.1%	0.0%	Bluetooth
マレーシア	MyTrace	May 2020	10+	3,240	0.3%	0.8%	Bluetooth
シンガポール	TraceTogether [15]	Mar. 2020	420	590	71.2%	1.0%	Bluetooth (BlueTrace)
オーストラリア	COVIDSafe	Apr. 2020	716	2,550	28.1%	0.1%	Bluetooth
日本	COCOA [16]	June 2020	2,533	12,650	20.0%	0.3%	Bluetooth (A/G)
	CIRCLE [17]	未投入	—	—	—	—	携帯在圏情報 + α

各アプリについて、インターネット上での公開情報や、App Store、Google Play の Download (DL) 数情報より、筆者ら作成。人口情報は、United Nations Population Fund、Office for National Statistics (英国)、感染率は WHO 推計を利用。

確認アプリを公開しており、調査によると、71 の国において 120 のアプリが公開されているとされる [38]。このうち、米国は、GPS を利用した SafePaths [14] を含めて、世界で最多となる 23 種のアプリを公開している。米国では、連邦政府によるアプリケーションの統合は行われておらず、各州政府のほか、郡や大学等によりさまざまな試みがなされた [46]。しかし、これらのようなさまざまな関連技術が活用されたにもかかわらず、欧米諸国は感染拡大に歯止めを掛けることができなかった [45]。また、プライバシー上の課題や運用上のトラブルが生じているアプリが少なからず報告されている [37]。DL/人口比は、87.2%という高い値を示したカタールから、0.3%と低いマレーシアまで大きな幅があり、感染率との相関も乏しい。これは、各国の社会環境や法制度が大きく異なることに加えて、各国がマスク着用やロックダウン等接触確認アプリケーション以外の多様な感染対策を組み合わせて実施した結果と解釈しうる。

4. 接触確認アプリと課題：性能評価

概説したように、2020 年に生じたパンデミックにおいて、世界各国は感染のリスク管理のため携帯電話の位置や接触情報を活用した多様な技術を実用化した。今後、この公衆衛生における新たな技術を有効に活用していくうえで、「接触確認アプリを用いることでどの程度の感染抑制されたのか」という評価が欠かせない。その評価は、定性的な評価と定量的な評価に大別しうる。

定性的な評価としては、Bluetooth 法には複数の根本的な制約が存在する [47]。まず、そもそも端末どうしが一定の時間、一定の距離以内に接近したこと以外の感染を検知することができない。たとえば、時間差でドアノブを触れることにより起きる接触感染 [48] をこの手法で検知することはできない。また、同じ居室に勤務している者同士において、直接の接触はないものの換気の経路上にいたために浮遊した飛沫によって感染するようなケース [49] も、正しく扱うことができない。さらに、これら Bluetooth を利用した contact tracing の手法は、同じ方式の携帯アプリケーションを動作させている感染者と接触者の接触しか検知することができない。前述のとおり、携帯電話市場に大きな支配力を有する Apple と Google は通信方式の統合に協調体制を敷いた [4] が、その仕組みが「オプトイン」で運用される限り住民におけるアプリケーションの利用率には限界があり、手法としての効果に一定の制約が生じることも避けられない。以上より、Bluetooth を利用した接触確認アプリは、感染症のリスク管理技術として限界を有した技術と総括しうる [47]。

定量的な評価としては、大きく分けて、数理モデルやシミュレーションを通じた感染抑制効果の推計と、実測データの解析に基づく評価が想定しうる。前者に関しては、パンデミック下での拙速な導入に先駆けて、複数の効果推計が示されてきた [50], [51]。しかし、欧米においては、アプリケーション普及率が高くても感染抑制効果は認められて

いるとはいいい難い状況にあることから、多くの推計は実際の性能を過大評価している可能性がある。この分野の研究論文の刊行は増えているものの、携帯電話技術の感染リスク管理への活用は2010年代に始まったばかりの歴史の浅い技術分野であり、確定した評価は定まっていない [52]。

実測評価という観点では、より条件が悪く、実測データを用いて感染抑制効果を実証した論文は刊行されていない [53]。その理由として、Bluetooth を利用した接触確認アプリケーションは、プライバシー保護を主眼として開発されたことから、有効性の評価のために感染者のデータを抽出し検討することが困難である点があげられる。海外では、その点を懸念し、Apple・Google の通信方式を利用しないケース [39] や、住民の同意のもとに当局が統計情報の収集を可能としているケース [11] が少なからず存在した。

わが国の COCOA においては、アプリケーション由来の統計情報が取得できないことに加えて、保健所側においても、COCOA の接触通知を通じた保健所への連絡やその接触者の検査統計も整備されていない。そもそもわが国において、これほど大規模な医学的介入が、医療技術評価や臨床試験なしに導入されることはきわめて例外的であった。こうした状況は、2020年9月より生じていた Android 版 COCOA の機能不全が長らく発覚することなく経過した事態 [54] の一因ともなっている。結果として、COCOA による感染抑制効果は証明されておらず、その客観的、定量的な評価にも困難が生じている。

この状態は、人口に広く普及した携帯電話技術を用いた感染制御という公衆衛生上の新たな技術の将来にとって好ましい状況ではない。今後、評価体制の確立が不可欠だが、COCOA ではプライバシー保護のために接触データを個々の端末外には出さない設計となっているため、接触の実態に関わる統計の取得を行うことができない。この問題への対策として、3つの方向性が考えられる。まず、保健所において実施される積極的疫学調査^{*1}において把握された接触者と、接触通知アプリケーションを通じて保健所へと届け出られた接触者の統計を全国レベルでモニタリングする体制の構築が考えられる。後者の届出数と陽性率の上昇は、市中感染の動向をモニタするうえで一定の有用性があるものと期待されるが、保健所の業務負担を増す欠点を有する。2つ目に、COCOA とは別に、携帯端末間の接触データを網羅的に収集する研究用アプリケーションを開発し、利用者同意を取得したうえで一定地域の住民へと配布し、実測データを用いて検知性能を評価する手法が考えられる。3つ目として、上述のような研究を通じて住民間の接触データを収集したうえで、シミュレーションにより性能評価を行う手法が考えられる。米国では、こうした研究に用いる

ことができる接触データのオープンデータ化の試みが進められている [55]。しかし、国内外における感染率の大きな違いは、住民間の接触の量や質の文化差に由来している可能性があり、COCOA の性能評価のためには国内での接触データセットの構築が欠かせない。こうした詳細な接触データの収集にはプライバシー上の懸念があるが、住民同意を得たうえで取得し適切な匿名化を施した接触データセットは、今後国内においてさまざまな感染症の対策研究を進めるうえでの基盤となることが期待される。

5. 接触確認アプリと課題：プライバシー

接触確認アプリによって、国民のプライバシーは一定程度犠牲とされることになる。そうした新規技術の社会的な導入に際しては、本来、その犠牲となるプライバシーと得られる感染抑制効果の比較衡量に基づく、国民の合意が欠かせない。しかし、接触確認アプリには、Bluetooth や GPS、携帯基地局の在圏情報等、特性の異なるさまざまな技術が存在しており (表 1)、プライバシーをどの程度犠牲にすればどの程度の感染抑制が得られるのかといった論点整理は十分になされていない。そこで、これまでに世界各国において導入された関連技術を対象として、プライバシーの観点からの体系的な整理を表 2 に試みた。

携帯電話の位置情報や接触情報を感染リスク管理に応用する場合、まず、携帯電話を「情報の収集手段」に用いるか「情報の公開手段」に用いるかで、大きく 2 群に分けることができる。たとえば、GPS を用いた患者や住民の位置把握は情報収集手段に該当し、患者住所のネット開示は情報の公開手段に該当する。さらに、各大分類において、プライバシー侵害の程度に応じた細分類を行うことができる。たとえば、わが国の積極的疫学調査では、保健所は住民の情報提供に基づいて訪問先情報を入手することになる点でプライバシー侵害は限定されている (分類 A)。Bluetooth を用いた接触情報のみの確認 (分類 B) は、プライバシー侵害の可能性が生じるものの、GPS を用いた追跡 (分類 C) よりも、よりプライバシー侵害の程度は低いといえる。一方、携帯電話の位置情報を用いた監視を実施した場合、プライバシー侵害度はきわめて高くなる (分類 D)。これら全体と比して、匿名化された携帯位置情報の統計利用は、厳密な手順を踏み個人特定ができない形に処理されているため、プライバシー侵害のリスクはきわめて低い (分類 O)。

「利用位置・接触情報」カラムは、それぞれの分類で利用する位置情報や接触情報の種別を示している。たとえば、先の携帯位置情報の統計利用に際しては、携帯電話のキャリアが保有している在圏情報のほかに、起動しているアプリが収集する GPS 位置情報、端末が接続している WiFi 基地局情報等を活用して実現することができる。なお、表中の○は活活用中、△は活用の可能性、—は未利用を示している。患者の位置情報の公開についても、同様に、

*1 保健所では、「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律」第 15 条に基づいて陽性者を対象として接触者の聞き取り調査を行っている。

表 2 感染症リスク管理に用いられた携帯電話技術の分類
 Table 2 Classification of cell-phone related technologies used for risk management of infectious diseases.

情報収集手段							
プライバシー侵害のリスク	分類	利用手法	利用位置・接触情報				利用例（登場・提案時期）
			携帯電話 在圏情報	WiFi 基地局 接続情報	GPS 情報	その他	
低	O	匿名化された携帯位置情報の統計利用	○	△	○	—	日本（2020.4）、他
	A	聞き取りによる移動情報収集	—	—	—	—	標準的な疫学調査方法
	B	（自由意志による）接触者追跡アプリの利用と情報提供	精度不足	△	精度不足	○	米国（2020.3）、欧州（2020）・シンガポール（2020）、日本（2020）
	C	携帯位置情報等を用いた患者・接触者追跡	○注1	○	○	△	韓国：MERS 対応（2015）、オーストラリア（2020）、中国（2020）、イスラエル（2020）
高	D	自宅隔離対象や移動制限者の携帯位置情報監視	○注2	—	○注3	—	台湾（2020）、韓国（2020）

情報公開手段							
プライバシー侵害のリスク	分類	利用手法	利用位置・接触情報				利用例（登場・提案時期）
			携帯電話 在圏情報	WiFi 基地局 接続情報	GPS 情報	その他	
低	0	患者発生情報のプレスリリース（非構造化、フリーテキスト）	—	—	—	—	標準的な患者情報公開法
	1	オープンデータ化された患者発生情報	△	△	○注4	—	日本：各種の可視化サイト（2020）
		（携帯位置情報を利用した感染リスク計算）	—	—	—	—	日本：大向ら（2020）[56]
高	2	携帯位置情報を用いた患者接触リスク通知	○注5	○	○注6	—	日本：奥村（2019）[17] 中国：濃厚接触検出器（2020.2）、
	3	患者位置情報の詳細開示	—	—	—	—	韓国（2020）、マレーシア（2020）

注 1：日本においては、1 類感染症を対象に令状ベースで通信事業者等に位置情報開示を求める手法に当たるが、法的根拠がクリアでない
 注 2：わが国においては、実現のハードルがきわめて高い
 注 3：国内にくる旅行者を対象に、位置情報アプリケーションのインストールを義務付ける、ないし、同意の下にインストールさせる手法
 注 4：住民側は自らの GPS 位置情報を記録するアプリケーションを用い、公開されている感染者データとの接触を計算しうる
 注 5：携帯キャリアにとって、保有する在圏情報の目的外利用を避けるため、端末契約者の利用許諾を得る手順が別途必要となる
 注 6：住民側が自らの GPS 位置情報を記録するアプリケーションを用いる点で、通信事業者と比して事業者側の実施のハードルが低い

プライバシー侵害のリスクに応じて、0~3 の 4 段階の細分類で整理した。なお、情報収集手段と情報公開手段双方の特性を有する技術については、それぞれを特徴づける主な利用法の分類を優先した。我々の提案手法である CIRCLE 法は、情報公開の手法にその技術的な特徴があると考えられ、「分類 2」に該当する。

提案する分類により、感染症リスク管理における携帯電

話情報の活用水準を、各国間で容易に比較できるようになる。その際、利用されている技術のうち最もプライバシー侵害度の高い技術のカテゴリで代表することで、各国を分類することを提案する。たとえば、わが国は「B0」水準にある一方で、公開情報を元にする、中国は「C2」水準、プライバシー侵害度が高い韓国は「D3」水準に分類されることになる。

携帯電話を活用した感染リスク管理は、公衆衛生にとって大きな技術革新であり、技術史的な意義を有する。そして、欧米諸国が感染者数の拡大を制御できていない一方で、政府の権限によりプライバシーを度外視して住民の情報収集を行うとともに強力な隔離を行ったアジア諸国が感染拡大を阻止しえた事実は、自由主義社会の監視社会化をもたらしつつある。実際、オーストラリアでは、感染者の追跡に犯罪捜査に準じた形で携帯電話情報が活用された報道がある [57]。シンガポールでは、感染症対策のために集めた情報を捜査目的で二次利用する事例も報告されている [58]。

そのため、今後、B0 水準での感染制御が困難な場合、C2 水準の強力な接触者追跡が投入されていく可能性がある。こうした措置は、プライバシー侵害度合いがより緩やかな B1、ないし B2 水準の技術の有用性が実証されることにより回避されうる。そのためにも、今後、公的機関による統計データ公開、接触データ等の研究用データセットの作成、技術的な評価基盤の確立等の施策を通じたより中長期的な観点からの技術の発展が求められる。

6. 結語

2020 年、世界的な混乱を引き起こした新型コロナウイルスによるパンデミックへの対策として、各国はさまざまな技術を感染リスク管理へと投入した。海外では 2 月頃より中国国内における各種技術の活用が知られるようになったほか、シンガポール、イギリス、香港、台湾、韓国と、各国政府のパンデミック対策において携帯電話を活用した感染リスク管理技術が一気に実用に供された。国内でも、携帯電話を活用した感染リスク管理手法として、2020 年 6 月に厚生労働省が公開した接触感染アプリ COCOA のほかに、訪問先施設における患者発生を携帯電話へと通知する各種のコロナ通知システム [59] 等、さまざまな情報システムが開発された [60]。

しかし、それらの技術による感染抑制効果は総じて明確ではない。また、そのプライバシーへの懸念が影響されるなか、技術的に可能なオプションを網羅しつつ適切な論点整理を行う試みが欠けてきた。そこで本稿では、携帯電話の位置・接触情報を用いた感染リスク管理という、公衆衛生と情報通信技術の学際分野に生じた新たな技術について、その歴史、現状と、課題の整理を試みた。端的に述べれば、この分野は、携帯電話技術の世界的な普及を受けて 2010 年代より始まった研究分野であったが、実際のパンデミックが生じるまでは埋もれた分野であった。そして、研究分野として未発達なまま実際のパンデミックが生じた結果、技術の事前検証や評価の体制構築が不十分なままさまざまな技術が実戦投入され、大きな混乱が引き起こされた。

現代文明が存続する限り、新型インフルエンザに代表される新興感染症によるパンデミックや、麻疹や結核等の再興感染症によるエピソードのリスクは、コロナ禍が収

束したとしても決してなくなることはない。そのため、今後、今回のパンデミックにより得られた教訓を活用し、より効果的な感染対策技術の研究開発とその活用に向けた社会的同意を形成していく必要がある。関連技術の感染抑制効果に関する客観的な性能評価と、プライバシー保護に向けたルール形成はその基点となるものであり、本稿がその一助となることを願っている。

謝辞 本研究は、科学技術振興機構 (JST) 社会技術研究開発センター (RISTEX) 「科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題への包括的実践研究開発プログラム」による『携帯電話関連技術を用いた感染症対策に関する包括的検討』の一部として実施した。研究に際しては、伊藤真和更さん、WIDE プロジェクト網淳子さん、岩手大学総合科学研究科平井里奈さんが、海外事例の情報収集を担ってくださいました。筑波大学情報学群町田裕璃奈さんは、表 1、表 2 の作成に大きく貢献してくださいました。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Worldometer: COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC (2020), available from (<https://www.worldometers.info/coronavirus/>).
- [2] NHK: 政府“濃厚接触者を把握”アプリの導入検討 近く実用実験, 2020/4/13, 入手先 (https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200413/k10012383421000.html?utm_int=nsearch_contents_search-items_002).
- [3] 日経新聞: 感染者との接触分かるアプリ、4 月中にも 官民で開発, 2020/4/13, 入手先 (<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO57987630T10C20A4MM8000/>).
- [4] Apple and Google: Privacy-Preserving Contact Tracing, available from (<https://www.apple.com/covid19/contacttracing/>).
- [5] 朝日新聞: シビックテック コロナに挑んだ 3 ヶ月 第 9 回先行するも状況一変 アプリは幻に 覚悟したチーム消滅, 2020/8/1, 入手先 (<https://www.asahi.com/articles/ASN7V64S6N7FULFA02N.html>).
- [6] 東京新聞: 感染者「接触」アプリどう使う? 運用始まる, 2020/6/20, 入手先 (<https://www.tokyo-np.co.jp/article/36743>).
- [7] 日経クロステック: 接触確認アプリ公開はなぜ遅れた? コロナの IT 対策を率いる橋本厚労副大臣を直撃, 入手先 (<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/04199/>).
- [8] 東洋経済: 接触確認アプリ「cocoa」まるで役に立たない 訳: システムはお粗末, 検査もちゃんと受けられず, 入手先 (<https://toyokeizai.net/articles/-/371159>).
- [9] National Health Service: NHS COVID-19 (2020), available from (<https://www.nhs.uk/apps-library/nhs-covid-19/>).
- [10] Corona-Warn-App Open Source Project: Corona-Warn-App (2020), available from (<https://www.coronawarn.app/en/>).
- [11] Ministère de l'économie des Finances et de la Relance: TousAntiCovid (2020), available from (<https://www.economie.gouv.fr/tousanticovid>).
- [12] The Directorate of Health and The Department of Civil Protection and Emergency Management: Rakning c-19 appið (2020), available from (<https://www.covid.is/app/>).

- is).
- [13] Scalefocus: ViruSafe (2020), available from <https://virusafe.info/>.
- [14] Raskar, R.: SafePaths (2020), available from <https://safepaths.mit.edu/>.
- [15] TraceTogether: Tracetogogether (2020), available from <https://www.tracetogogether.gov.sg/>.
- [16] Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan: COVID-19 Contact-Confirming Application, available from https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/cocoa_00138.html.
- [17] Okumura, T.: Tracing infectious agents with mobile location information: A simple and effective countermeasure against epidemic risks, *2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp.1–3, IEEE (2019).
- [18] Bengtsson, L., Lu, X., Thorson, A., Garfield, R. and von Schreeb, J.: Improved Response to Disasters and Outbreaks by Tracking Population Movements with Mobile Phone Network Data: A Post-Earthquake Geospatial Study in Haiti, *PLOS Medicine* (2011).
- [19] Bengtsson, L., Gaudart, J., Lu, X., Moore, S., Wetter, E., Sallah, K., Rebaudet, S. and Piarroux, R.: Using mobile phone data to predict the spatial spread of cholera, *Scientific Reports*, Vol.5, No.8923 (2015).
- [20] Finger, F., Genolet, T., Mari, L., de Magny, G.C., Manga, N.M., Rinaldo, A. and Bertuzzo, E.: Mobile phone data highlights the role of mass gatherings in the spreading of cholera outbreaks, *Proc. National Academy of Sciences*, Vol.113, No.23, pp.6421–6426 (2016).
- [21] Chirombo, J., Diggle, P., Terlow, D. and Read, J.: A review of models of human mobility for predicting infectious disease spread, *Modelling Spatial Processes of Infectious Diseases*, p.50 (2018).
- [22] Panigutti, C., Tizzoni, M., Bajardi, P., Smoreda, Z. and Colizza, V.: Assessing the use of mobile phone data to describe recurrent mobility patterns in spatial epidemic models, *Royal Society Open Science*, Vol.4 (2017).
- [23] Sallah, K., Giorgi, R., Bengtsson, L., Lu, X., Wetter, E., Adrien, P., Rebaudet, S., Piarroux, R. and Gaudart, J.: Mathematical models for predicting human mobility in the context of infectious disease spread: Introducing the impedance model, *Int. J. Health Geogr.*, Vol.16, No.1, p.42 (2017).
- [24] Wesolowski, A., Buckee, C.O., EngøMonsen, K. and Metcalf, C.J.E.: Connecting Mobility to Infectious Diseases: The Promise and Limits of Mobile Phone Data, *The Journal of Infectious Diseases*, Vol.214 (2016).
- [25] Jones, K.H., Daniels, H., Heys, S. and Ford, D.V.: Toward an Ethically Founded Framework for the Use of Mobile Phone Call Detail Records in Health Research, *JMIR Mhealth Uhealth*, Vol.7, No.3 (2019).
- [26] Kim, K., Tandil, T.E., Choi, J.W., Moon, M. and Kim, M.S.: Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV) Outbreak in South Korea, 2015: Epidemiology, Characteristics and Public Health Implications, *The Journal of Hospital Infection*, Vol.95, No.2, pp.207–213 (2017).
- [27] Kim, M., Lee, J.Y. and Kim, H.: Warning and detection system for epidemic disease, *2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pp.478–483 (Oct. 2016).
- [28] Wirth, F.N., Johns, M., Meurers, T. and Prasser, F.: Citizen-Centered Mobile Health Apps Collecting Individual-Level Spatial Data for Infectious Disease Management: Scoping Review, *JMIR Mhealth Uhealth*, Vol.8, No.11, e22594 (2020).
- [29] Zhang, Z., Wang, H., Lin, X., Fang, H. and Xuan, D.: Effective epidemic control and source tracing through mobile social sensing over wbans, *INFOCOM*, pp.300–304, IEEE (2013).
- [30] Barrat, A., Cattuto, C., Tozzi, A.E., Vanhems, P. and Voirin, N.: Measuring contact patterns with wearable sensors: Methods, data characteristics and applications to data-driven simulations of infectious diseases, *Clinical Microbiology and Infection*, Vol.20, No.1, pp.10–16 (2014).
- [31] Leith, D.J. and Farrell, S.P.: Coronavirus contact tracing: Evaluating the potential of using bluetooth received signal strength for proximity detection, *Computer Communication Review*, Vol.50, No.4, pp.66–74 (Oct. 2020).
- [32] Nguyen, K.A., Watkins, C. and Luo, Z.: Co-location epidemic tracking on London public transports using low power mobile magnetometer, *2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp.1–8, IEEE (2017).
- [33] Jeong, S., Kuk, S. and Kim, H.: A smartphone magnetometer-based diagnostic test for automatic contact tracing in infectious disease epidemics, *IEEE Access*, Vol.7, pp.20734–20747 (2019).
- [34] NTT DOCOMO: Mobile Spatial Statistics, available from <https://mobaku.jp/>.
- [35] Yahoo!JAPAN: Yahoo! offers Congestion Radar again, which displays congestion in the area and near the terminal station (2020), available from <https://about.yahoo.co.jp/pr/release/2020/04/10a/>.
- [36] ZENRIN DataCom: Congestion Statistics, available from <http://www.zenrin-datacom.net/business/congestion/>.
- [37] Ryan-Mosley, T.: Contact Tracing Tracker (2020), available from <https://public.flourish.studio/visualisation/2241702/>.
- [38] Woodhams, S.: COVID-19 Digital Rights Tracker (2020), available from <https://www.top10vpn.com/research/investigations/covid-19-digital-rights-tracker/>.
- [39] DP-3T: Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing (2020), available from <https://github.com/DP-3T>.
- [40] 有沙江間：データ・AI ガバナンスと COVID-19：アジアにおける中長期的展望：0. 編集にあたって，情報処理，Vol.61, No.10, pp.1018–1019 (2020).
- [41] Jeong, E.-Y.: South Korea Tracks Virus Patients' Travels—and Publishes Them Online, *The Wall Street Journal* (2020).
- [42] Murphy, H.: 14 Days With a Quarantine Tracker Wristband: Does It Even Work?, *New York Times* (2020), available from <https://www.nytimes.com/2020/04/08/world/asia/hong-kong-coronavirus-quarantine-wristband.html>.
- [43] KINI NEWS LAB.: Covid-19 in Malaysia (2020), available from <https://newslab.malaysiakini.com/covid-19/en>.
- [44] BBC: Coronavirus: Israel enables emergency spy powers, available from <https://www.bbc.com/news/technology-51930681>.
- [45] WHO: WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard (2020), available from <https://covid19.who.int/>.
- [46] Blacklow, S.O., Lisker, S., Ng, M.Y., Sarkar, U. and Lyles, C.: Usability, inclusivity, and content evaluation

of COVID-19 contact tracing apps in the united states, *Journal of the American Medical Informatics Association*, Vol.28, No.9, pp.1982–1989 (2021).

- [47] Ami, J., Ishii, K., Sekimoto, Y., Masui, H., Ohmukai, I., Yamamoto, Y. and Okumura, T.: Computation of infection risk via confidential locational entries: A precedent approach for contact tracing with privacy protection, *IEEE Access*, Vol.9, pp.87420–87433 (2021).
- [48] WHO: Modes of transmission of virus causing COVID-19: Implications for IPC precaution recommendations, *WHO Scientific Brief* (2020).
- [49] Lu, J., Gu, J., Li, K., Xu, C., Su, W., Lai, Z., Zhou, D., Yu, C., Xu, B. and Yang, Z.: COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, *Emerg Infect Dis.*, Vol.26, No.7 (2020).
- [50] Hinch, R., Probert, W., Nurtay, A., Kendall, M., Wymant, C., Hall, M., Lythgoe, K., Cruz, A.B., Zhao, L., Stewart, A., et al.: Effective configurations of a digital contact tracing app: A report to NHSX (2020).
- [51] Ferretti, L., Wymant, C., Kendall, M., Zhao, L., Nurtay, A., Abeler-Dörner, L., Parker, M., Bonsall, D. and Fraser, C.: Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing, *Science*, Vol.368, No.6491 (2020).
- [52] Anglemeyer, A., Moore, T.H.M., Parker, L., Chambers, T., Grady, A., Chiu, K., Parry, M., Wilczynska, M., Flemyng, E. and Bero, L.: Digital contact tracing technologies in epidemics: A rapid review, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No.8 (2020).
- [53] Braithwaite, I., Callender, T., Bullock, M. and Aldridge, R.W.: Automated and partly automated contact tracing: A systematic review to inform the control of covid-19, *The Lancet Digital Health* (2020).
- [54] 朝日新聞：発見遅れた COCOA 不具合、厚労省「実機テストせず」、2021/2/3, 入手先 (<https://www.asahi.com/articles/ASP236SR9P23UTFLO0R.html>).
- [55] SafeGraph: SafeGraph COVID-19 Data Consortium (2020), available from (<https://www.safegraph.com/covid-19-data-consortium>).
- [56] Ohmukai, I., Yamamoto, Y., Ito, M. and Okumura, T.: Tracing patients' plod with mobile phones: Mitigation of epidemic risks through patients' locational open data, *Semantic Technologies for Smart Information Sharing and Web Collaboration*, 29th IEEE WETICE Conference (Oct. 2020).
- [57] ABC Radio Adelaide: Phone tracking used to follow movements of Chinese couple with coronavirus in adelaide, available from (<https://www.abc.net.au/news/2020-02-06/11935912>).
- [58] MIT Technology review: Singapore's police now have access to contact tracing data, available from (<https://www.technologyreview.com/2021/01/05/1015734/>).
- [59] AB システムソリューション：QRBOX for コロナ追跡サービス, 入手先 (<https://ab-sys.com/pages/about-us.html>).
- [60] 町田裕璃奈, 奥村貴史：新型コロナウイルスパンデミック対策における情報技術のアジャイル開発：国内における動向と課題, 第 154 回情報システムと社会環境研究発表会, 情報処理学会 (2020).



奥村 貴史 (正会員)

2009 年国立保健医療科学院で公衆衛生情報学の研究教育, 診断支援用人工知能の研究開発に取り組み, 2018 年度より北見工業大学. 計算機科学博士, 社会医学系専門医・指導医.



藤田 卓仙

2018 年より慶應義塾大学医学部で医療情報に関する法政策の研究を, 世界経済フォーラムでプロジェクト長としてヘルスケア・データ政策に関わる. 接触確認アプリ COCOA に関する有識者検討メンバー.



米村 滋人

2005 年東北大学大学院法学研究科, 2013 年東京大学大学院法学政治学研究科で民法学・民事法学の教育研究に従事. 2017 年頃より医療情報の法的規制を研究テーマとする.