

感染リスク管理における携帯電話活用の 歴史・現状・課題

奥村 貴史^{1,a)}

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。こうした技術に関しては、2020年3月頃から国内においても議論が広がり、同年6月に厚生労働省が「接触確認アプリ」としてリリースを行ったが、研究分野としての背景や課題はあまり知られてこなかった。

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歴史は浅い。技術史的には、2015年頃から呼詳細レコード (CDR: Call Detail Record) を利用した論文が出始め、国内では2019年に筆者のグループが圏情報を活用した新規技術の国際会議発表を行っていた。その後、2020年に入り、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という形で関連技術が一気に実用化された。本稿では、この関連技術の歴史を記し、パンデミックにおける対応における現状を整理すると共に、その評価における課題を整理する。

Infection risk management with mobile devices History, current status, and challenges

1. はじめに

2020年、世界的な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、一日の死者数も数千人に上る日もある [1]。感染者数の増大を止めるために都市封鎖 (ロックダウン) が行われ、各国間での自由な移動が制限されたことで、観光業界や航空業界をはじ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、各国では国民に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の管理へと投入した。

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し保健所への相談を促す携帯電話アプリケーションの存在は、2020年6月に厚生労働省が「接触確認アプリ COCOA」をリリースした [2] ことで国内でも広く知られるようになった。こうしたアプリケーションは、海外での議論の盛り上がりを受けて、2020年3月頃より国内においても導入の是非が問われるようになった [3]。その後、新たな感染症への感染リスクを管理するための技術として複数

チームによる開発が本格化し [4]、プラットフォームである携帯電話技術を握る Apple、Google による標準化を経て [5]、国内では COCOA へと一本化される運びとなった [6]。

この一連の課程においては [7]、導入から導入後に至るまで、トラブルが続いた [8]。さらに、このような苦労を経て普及が目指されたにも関わらず、2020年12月下旬現在、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。さらに、評価も定まっていないだけに留まらず、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いる。

そこで本稿では、感染リスク管理における携帯電話技術活用について、パンデミックが生じる前より携わってきた立場から、歴史、現状、課題を整理する。まず、次章において、研究分野の歴史を概観する。その際、感染リスク管理における携帯電話技術活用において、実は、日本が世界をリードしていた点について解説する。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応に当該技術がいかに活用されたか、各国の現状を整理する。4章において、一連の技術に対する現時点での評価と課題を考察したうえで、5章に結語を記す。

¹ 北見工業大学
Kitami Institute of Technology, Japan
^{a)} tokumura@mail.kitami-it.ac.jp

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 [9], [10], [11], [12]。これらの研究では、Call Detail Records (CDR) と称されるデータに含まれる通話の発信元に関す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 [13], [14], [15], [16]。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、その点が限界となった。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人々の年齢や性別など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 [16]。

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 [17]、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 [18] 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 [19]。

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当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的な整備が必要ではないかという議論に留っていた。

上述のように、感染症危機管理において位置情報を用いることは、公衆衛生当局が国民のプライバシーを侵害するリスクと不可分な関係にある。この問題を避けるため、携帯電話に備わっている Bluetooth や磁気センサー等を活用した手法が 2013 年頃から提案されていた [20]。たとえば、Zhang は、Bluetooth と音量を用いることにより携帯ユーザー間の接触を検知し、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 [21]。Barrat 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 [22]。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 [23] 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 [24] や Jeong [25] は、携帯の磁気センサー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 [26]。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。麻疹や結核など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、全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共に、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、全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下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など、多様な接触様式に対応しうる提案となっていた。上記のように、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における実戦投入

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[27]やYahooの混雑レーダー[28]、株式会社ゼンリンデータコム(株)の混雑統計[29]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、年齢層別など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、この統計は地域毎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。

個人々人を対象としたリスク管理としては、前述の通り、Bluetoothを用いた接触者の追跡(contact tracing)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。

しかしながら、Bluetooth法は端末同士が一定の時間、一定の距離以内に接近したことを高精度に検知することができるものの、間接的な接触については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[30]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るために浮遊した飛沫によって感染するようなケース[31]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、そもそも感染者と接触者の双方が同じ方式の携帯アプリケーションを動作させておく必要がある点に原理的な制約がある。前述の通り、携帯電話市場に大きな支配力を有するAppleとGoogleが通信方式の統合に協調体制を敷いた[5]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は避けられない。

海外においても、感染リスク管理に向けてさまざまな技術が実用化された。COCOAと目的を同じくする接触者追跡ツールとしては、日本よりも先行したシンガポールのTraceTogether[32]が2020年3月に公開されている。フランスでは、StopCovidが2020年6月にリリースされた[33]。イギリスでは、National Health Serviceが紆余曲折を経てNHS COVID-19を公開し[34]、対応のダウンロードがなされた一方で、ドイツではアプリの利用が低調との報告がある[35]。米国では、GPSを利用したSafePaths[36]が公開されている。しかし、欧米諸国では、これらのようなさまざまな関連技術が活用されたにも関わらず、感染拡大に歯止めが掛からなかった[37]。

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[38]。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[39]。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[40]。中国では、クレジットカードの利用履歴等多様なデータ統合した形で接触者の追跡を行った[38]。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[41]。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[42]。これらの強力な手段を取った国々では、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る[37]。

このように、感染症のリスク管理における携帯電話の位置や接触情報の活用については、2020年におけるパンデミック拡大の期間において多様な手法が実用化された。しかし、世界各国における混乱状況が続いていることもあり、それらの手法の網羅的な比較はまだ報告が出ていない(2020年末現在)。また、BluetoothやGPS、携帯基地局の在圏情報等、さまざまな手段を用いて実現した感染リスク管理手法の適切な分類もないまま議論が進められている。

そこで、これまでに記載された各国におけるさまざまな手法の体系的な整理を試みた(表1)。提案する分類では、まず、携帯電話の関連技術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、技術を大きく2群に分類した。たとえば、携帯GPSを用いた患者や住民の位置把握は、「情報収集手段」に該当する。一方、患者の位置情報の公開は、「情報公開手段」へと該当することになる。そのうえで、各区分において、プライバシー侵害の程度に応じた細分類を設けた。たとえば、現在わが国で行われている患者からの聞き取りによる情報収集は、相手の自由意志に基づく協力という条件で、公的機関は住民のプライバシー情報を入手することになる(分類A)。一方、携帯電話の位置情報を用いた調査を実施した場合、プライバシー侵害度は極めて高くなる(分類D)。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。

表 1 感染症リスク管理に用いられた携帯電話技術の分類

情報収集手段							
プライバシー侵害のリスク	分類	利用手法	利用位置情報 (患者・接触者側)				備考
			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	—	—	—	—	現在の標準運用
	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	○	○	△	[韓国政府 (2015・MERS), 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	利用位置情報 (患者・接触者側)				備考
			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)	—	—	—	—	現在, 各国の標準運用
	1	オープンデータ化された患者発生情報 (携帯位置情報を利用した感染リスク計算)	△	△	◎注 4	—	[Ohmukai 2020][43] 日本では複数チームが手動マッピング
		2	携帯位置情報を用いた患者接触リスク通知	○注 5	○	○注 6	—
高	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、現在は法的根拠がクリアでない

注 2 わが国においては、実現のハードルが極めて高い

注 3 国内にくる旅行客を対象に、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 携帯キャリアの保有する在圏情報を利用する点で、キャリアにとって端末契約者の利用許諾を得る手順が必要となると共に、目的外利用の懸念が生じる

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、事業者側にとって実現のハードルが低い

提案する分類により、各技術の特徴を外観することが容易となる。たとえば、GPS を用いた患者や接触者の追跡は、プライバシー侵害度が高く「分類 C」にあたるが、GPS を用いた監視は、さらにプライバシー侵害度が高く「分類 D」となる。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。そして、この分類体系を用いることで、感染

症リスク管理における携帯電話情報の活用水準を、各国間で比較できるようになる。その際、各国を、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にて代表することで、たとえば、わが国は「B0」水準にある一方で、中国は「C2」水準と分類、表記することが実現する。今後、B0 水準での感染制御が困難な場合、わが国では、B1、ないし B2 水準の採用を検討する価値がある。

4. 考察

これまでに概観したように、携帯電話技術の感染リスク管理への活用は、2000年代における携帯電話の爆発的な普及を受けて、公衆衛生分野において2010年代に始まった技術分野である。しかしながら、研究分野として成熟する前の段階で実際のパンデミックが生じたため、急遽開発され投入されることになった技術の検証は困難であることに加えて、その評価の体制も確立されているとはいえない状態にある。

そもそも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となっている。次善の策として、接触確認アプリケーションの有効性を評価するうえで、普及率と感染抑制効果の相関を観察する手法が考えられる。しかしながら、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えない状況にある。シンガポールでは、普及率が高く、患者の発生も抑さえ込んでいるが、都市国家として国土が小さく均質であることに加えて、強力な接触者追跡が併用されているため、比較に際して条件が統制されていない。

そのため、今後の定量的な技術評価、政策評価に向けては、評価基盤の構築が求められる。まず、現在一部の保健所において試みられている、積極的疫学調査^{*1}によっ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比較を全国レベルでモニタリングする体制の構築が望ましい。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。また、感染症の伝播シミュレーションとしては、数理モデルを用いたマクロなシミュレーションと、個々の患者の行動や患者間の接触グラフを用いたミクロなシミュレーションがありうる。これら双方において、Bluetooth手法の特性を加味した感染抑制効果のシミュレーション評価の発展が望まれる。最後に、Bluetooth法においては、プライバシー保護のために接触データを個々の端末内のみ保存する構成となっているため、検知効率の評価を行うことができない。この問題への対策として、被験者からの同意を取得したうえで接触データを網羅的に収集し、分析する評価基盤の確立が望ましい。

新型コロナウイルスによるパンデミック発生以降、我が国では、感染症対策として、さまざまな情報システムが開発された[44]。その中には、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」も含まれる[45]。携帯電話を活用した感染リスク管理としては、これらのように新規開発されたシステムの他にも、さ

まざまな応用が提案されてきた。たとえば、Farrahiらは、電話やショートメッセージの記録から構築した人々の知遇関係が、感染拡大のモデルに不可欠な接触データを代替しうるかの可能性を検証した[46]。Kimらは、携帯アプリを用いたインフルエンザの発生動向調査の有用性を報告している[47]。感染症対策において、普及率の高い携帯電話を有効活用する試みは、今後も発展が期待されるため、国内においてもこれら多様なアプリケーションの評価と発展に向けた体制の確立が望まれる。

5. 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、各国は携帯電話を活用した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他、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関連技術が一気に実用に供された。国内でも、2020年3月頃から議論が広がり、同年6月、厚生労働省も接触感染アプリCOCOAを多くの混乱を生じつつ公開した。

こうした混乱の背景には、2010年代より始まった関連技術への理解不足が存在したことは否めない。しかしながら、研究側としても、技術の性質上、実際のパンデミックが生じるまでは有効性の検証が困難なことに加えて、研究分野としても未発達なまま実際のパンデミックが生じたのも事実であった。そのため、投入された技術の検証や評価の体制も確立された状態にあるとはいえないが、今回の施策の評価が定まるまでには数年は要するものと考えられる。

位置情報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ることは間違いない。とりわけ、先に生じたパンデミックである1918~20年に掛けて生じたスペイン風邪と比して、各国の公衆衛生当局が個々の住民の位置と接触を扱う手段を得た点は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共に強力な隔離を行ったアジア諸国が感染拡大を阻止している事実も、自由主義社会と比した監視社会の「優位性」を明らかにしてしまった世界的な意義を有している。

今後、国民のプライバシーを過度に制約しない形で感染リスクの低減を実現し、感染症対策の効果を高めうる技術の実現は、自由主義社会の将来を左右しうる重要性を有していると考えられる。そのため、今回のパンデミックの教訓を生かし、中長期的な観点からの技術の育成と発展が求められる。今後、研究分野としての確立に向けて、隣接分野からの研究者の参入、技術的な評価基盤の確立、公的機関によるデータ公開などの施策が望まれる。

^{*1} 保健所では、陽性者を対象として、接触者のリストを作成するための聞き取り調査を行っている。

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、伊藤真和史さん、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、本研究において海外事例の情報収集を担って下さいました。筑波大学情報学群 町田裕璃奈さんは、収集情報の整理をお手伝い下さいました。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. <https://www.worldometers.info/coronavirus/>.
- [2] 東京新聞. 感染者「接触」アプリどう使う? 運用始まる, 2020/6/20. <https://www.tokyo-np.co.jp/article/36743>.
- [3] 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. https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200413/k10012383421000.html?utm_int=nsearch_contents_search-items_002.
- [4] 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. <https://www.nikkei.com/article/DGXMZ057987630T10C20A4MM8000/>.
- [5] Apple and Google. Privacy-Preserving Contact Tracing (Last viewed on Dec. 14, 2020). <https://www.apple.com/covid19/contacttracing/>.
- [6] 朝日新聞. シビックテック コロナに挑んだ3ヵ月 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. <https://www.asahi.com/articles/ASN7V64S6N7FULFA02N.html>.
- [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. <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. <https://toyokeizai.net/articles/-/371159?display=b>.
- [9] Linus Bengtsson, Xin Lu, Anna Thorson, Richard Garfield, and Johan von Schreeb. 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.
- [10] Flavio Finger, Tina Genolet, Lorenzo Mari, Guillaume Constantin de Magny, Noël Magloire Manga, Andrea Rinaldo, and Enrico Bertuzzo. Mobile phone data highlights the role of mass gatherings in the spreading of cholera outbreaks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 113, No. 23, pp. 6421–6426, 2016.
- [11] Jonathan Cinnamon, Sarah K Jones, and W. Neil Adger. Evidence and future potential of mobile phone data for disease disaster management. *geoforum*, Vol. 75, pp. 253–264, 2016.
- [12] Linus Bengtsson, Jean Gaudart, Xin Lu, Sandra Moore, Erik Wetter, Kankoe Sallah, Stanislas Rebaudet, and Renaud Piarroux. Using mobile phone data to predict the spatial spread of cholera. *Scientific Reports*, Vol. 5, No. 8923, 2015.
- [13] J Chirombo, P Diggle, D Terlouw, and J Read. A review of models of human mobility for predicting infectious disease spread. *Modelling spatial processes of infectious diseases*, p. 50, 2018.
- [14] Cecilia Panigutti, Michele Tizzoni, Paolo Bajardi, Zbigniew Smoreda, and Vittoria Colizza. Assessing the use of mobile phone data to describe recurrent mobility patterns in spatial epidemic models. *Royal Society Open Science*, Vol. 4, , 2017.
- [15] Sallah K, Roch Giorgi, Linus Bengtsson, Xin Lu, Erik Wetter, Paul Adrien, Stanislas Rebaudet, Renaud Piarroux, and Jean Gaudart. 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.
- [16] Amy Wesolowski, Caroline O. Buckee, Kenth Engø-Monsen, and C. J. E. Metcalf. Connecting Mobility to Infectious Diseases: The Promise and Limits of Mobile Phone Data. *The Journal of Infectious Diseases*, Vol. 214, , 2016.
- [17] Kerina Helen Jones, Helen Daniels, Sharon Heys, and David Vincent Ford. 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.
- [18] Kyoungkon Kim, Erick Tandi T, Jae Wook Choi, Monica Moon, and Min Soo Kim. 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.
- [19] Minsung Kim, Joon Yeop Lee, and Hwangnam Kim. Warning and detection system for epidemic disease. In *2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pp. 478–483, Oct 2016.
- [20] Felix Nikolaus Wirth, Marco Johns, Thierry Meurers, and Fabian Prasser. Citizen-Centered Mobile Health Apps Collecting Individual-Level Spatial Data for Infectious Disease Management: Scoping Review. *JMIR Mhealth Uhealth*, Vol. 8, No. 11, p. e22594, 2020.
- [21] Zhaoyang Zhang, Honggang Wang, Xiaodong Lin, Hua Fang, and Dong Xuan. Effective epidemic control and source tracing through mobile social sensing over wbans. In *IEEE INFOCOM*, pp. 300–304. IEEE, 2013.
- [22] Alain Barrat, Ciro Cattuto, Alberto Eugenio Tozzi, Philippe Vanhems, and Nicolas Voirin. 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.
- [23] Douglas J. Leith and Stephen P. Farrell. 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.
- [24] Khuong An Nguyen, Chris Watkins, and Zhiyuan Luo. Co-location epidemic tracking on london public transports using low power mobile magnetometer. In *2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1–8. IEEE, 2017.
- [25] Seungyeon Jeong, Seunggho Kuk, and Hyogon Kim. A smartphone magnetometer-based diagnostic test for au-

- omatic contact tracing in infectious disease epidemics. *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 20734–20747, 2019.
- [26] Takashi Okumura. Tracing infectious agents with mobile location information: A simple and effective countermeasure against epidemic risks. In *2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp. 1–3. IEEE, 2019.
- [27] NTT DOCOMO. Mobile Spatial Statistics. <https://mobaku.jp/>.
- [28] Yahoo!JAPAN. Yahoo! offers Congestion Radar again, which displays congestion in the area and near the terminal station. (Last viewed on Dec. 14, 2020), 2020. <https://about.yahoo.co.jp/pr/release/2020/04/10a/>.
- [29] ZENRIN DataCom. Congestion Statistics. <http://www.zenrin-datacom.net/business/congestion/>.
- [30] WHO. Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations. *WHO Scientific Brief*, 2020.
- [31] Jianyun Lu, Jieni Gu, Kuibiao Li, Conghui Xu, Wenzhe Su, Zhisheng Lai, Deqian Zhou, Chao Yu, Bin XuComments, and Zhicong Yang. COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, guangzhou, china, 2020. *Emerg Infect Dis.*, Vol. 26, No. 7, 2020.
- [32] TraceTogether. Tracetgether, 2020. <https://www.tracetgether.gov.sg/>.
- [33] StopCovid. Stopcovid, 2020. <https://www.economie.gouv.fr/stopcovid>.
- [34] National Health Service. NHS COVID-19, 2020. <https://www.nhs.uk/apps-library/nhs-covid-19/>.
- [35] Corona-Warn-App Open Source Project. Corona-Warn-App, 2020. <https://www.coronawarn.app/en/>.
- [36] Ramesh Raskar. SafePaths, 2020. <https://safepaths.mit.edu/>.
- [37] WHO. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard, 2020. <https://covid19.who.int/>.
- [38] 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, sep 2020.
- [39] Eun-Young Jeong. South Korea Tracks Virus Patients’ Travels—and Publishes Them Online. *The Wall Street Journal*, Feb. 16, 2020.
- [40] Heather Murphy. 14 Days With a Quarantine Tracker Wristband: Does It Even Work? *New York Times*, April 8, 2020. <https://www.nytimes.com/2020/04/08/world/asia/hong-kong-coronavirus-quarantine-wristband.html>.
- [41] KINI NEWS LAB. Covid-19 in Malaysia, 2020. <https://newslab.malaysiakini.com/covid-19/en>.
- [42] BBC. Coronavirus: Israel enables emergency spy powers. <https://www.bbc.com/news/technology-51930681>.
- [43] Ikki Ohmukai, Yasunori Yamamoto, Maori Ito, and Takashi Okumura. Tracing patients’ plod with mobile phones: Mitigation of epidemic risks through patients’ locational open data. In *Semantic technologies for smart information sharing and web collaboration (Web2Touch), 29th IEEE WETICE Conference*, Oct 2020.
- [44] 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, 12 月 2020.
- [45] AB システムソリューション. QRBOX for コロナ追跡サービス, 2020. <https://ab-sys.com/pages/about-us.html>.
- [46] Katayoun Farrahi, Remi Emonet, and Manuel Cebrian. Epidemic contact tracing via communication traces. *PLoS one*, Vol. 9, No. 5, p. e95133, 2014.
- [47] Myeongchan Kim, Sehyo Yune, Seyun Chang, Yuseob Jung, Soon Ok Sa, and Hyun Wook Han. The Fever Coach Mobile App for Participatory Influenza Surveillance in Children: Usability Study. *JMIR Mhealth Uhealth*, Vol. 7, No. 10, p. e14276, Oct 2019.