

BLEを用いた接触判定アプリによるデータ収集実験の検討

諏訪 博彦^{1,2} 松田 裕貴^{1,2,3} 安本 慶一^{1,2}

概要: 理化学研究所 革新知能統合研究センター 観光情報解析チームでは、観光情報案内を行うアプリケーション開発とその基盤技術に関する研究を行っている。その一環として、COVID-19などの感染症対策のために、濃厚接触を軽減するための経路案内システムの開発を目指し、接触確認モジュールを用いた濃厚接触判定アプリを開発している。本稿では、開発中のアプリの紹介と活用方法、評価実験デザインおよびプレ実験結果について述べる。開発するアプリは、位置情報、BLE 受信情報、加速度、地磁気、照度、角速度を日時情報と共に収集する。収集されたデータにより、いつ、どこで、どの程度他者と接触したか把握できるようになる。これらの情報を可視化することで、濃厚接触を避けるような行動変容をユーザに促すことができると考える。一方で、このようなアプリの導入には、ユーザの理解・意欲が不可欠であり、導入・普及への課題を明らかにする必要がある。そのためには、よくデザインされた実証実験が必要である。本稿では、実験デザインを検討するとともに、プレ実験による評価結果について報告する。

Actual data collection using a BLE-based close contact judgment application

HIROHIKO SUWA^{1,2} YUKI MATSUDA^{1,2,3} KEIICHI YASUMOTO^{1,2}

1. はじめに

感染症の拡大は、人の移動が多くなればなるほど高まると考えられており、連日テレビでも人流データの変化が報道されている。感染の拡大を防ぐためには、3密を避ける必要があり、人の移動を制限することが有効とされている。一方で、ロックダウンや緊急事態宣言による行動の制限は、経済活動に大きな打撃となる。そのため、感染症対策をしながら、観光を含めた経済活動を維持できるような仕組みが求められている。

感染症対策には、濃厚接触を減らすことが有効であるとされている。しかし、現状ではどこでどの程度濃厚接触が発生しているのか把握することができない。そのため、全体的な制限が必要となっている。ここで、各個人の濃厚接触を把握・可視化し、個人に提示できれば、濃厚接触を避けるように行動変容が促せる。各個人が濃厚接触を避け

る行動をすることにより、感染の抑制が期待できる。一方で、このような可視化には、個人の行動センシングのみならず、周囲の人々のセンシングも必要となる。そのため、ユーザ本人には位置情報取得への同意が必要であり、周囲の人々に対しては個人の特定をしないなどプライバシー侵害への配慮が必要となる。混雑度を把握するために画像を用いる方法もあるが [1], [2], プライバシー保護の観点から問題がある。そこで我々は、すでに導入が進められているCOCOAと同様にBLEを用いた接触判定に着目する。

接触判定アプリとしてCOCOAがすでに開発・利用されているが、その利用率はもろもろの問題もあり高くない。原因の一つとして、個人へのフィードバックが感染者との濃厚接触判定結果の通知のみという機能の制限が考えられる。ユーザの導入意欲を喚起するには、接触判定のみならず、ユーザの満足度を高めるフィードバック機能の検討が求められる。我々は、各個人がいつ、どこで、どの程度濃厚接触したか把握するためのスマートフォンアプリケーション（以後、アプリ）を開発するとともに、その利活用および導入意欲に影響を与える要因について検討する。

開発するアプリは、位置情報、BLE 受信情報、加速度、

¹ 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

² 理化学研究所 革新知能統合研究センター (AIP), RIKEN, Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

³ 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ, JST PRESTO

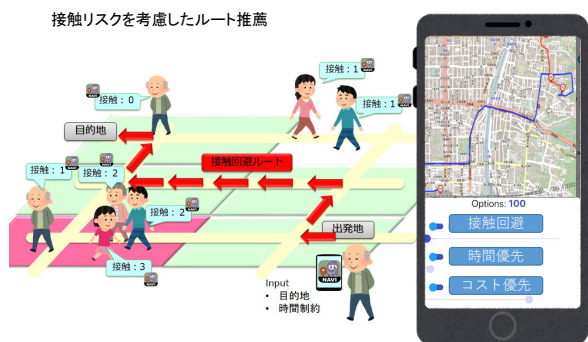


図 1 リスクマップの活用イメージ

地磁気、照度、角速度を日時情報と共に収集する。収集されたデータにより、いつ、どこで、どの程度他者と接触したか把握できるようになる。これらの情報を可視化することで、濃厚接触を避けるような行動変容をユーザに促すことができる。また、多くの人がこのアプリを使用することで、どこで接触が発生しているかを都市全体として把握することができ、それにより感染リスクマップが構築できる。これは、道路の渋滞情報のようなものであり、渋滞回避すなわち感染回避に有効に活用できると考える（図1）。

このようなアプリやサービスの有効性を評価するためには、研究室の学生などの特定集団ではなく、不特定多数の一般市民に対する実証実験が不可欠である。一般市民を対象とする場合、実験参加者の年齢・性別・職業・生活環境などが多様化するため、より丁寧な実験デザインが求められる。例えば、DICOMO 参加者であれば、アプリのインストールに関する説明はほとんど不要かもしれないが、一般市民を対象とする場合は、不慣れなユーザを想定する必要がある。本稿では、評価実験に対するデザインについて述べるとともに、プレ実験から得られた課題・可能性について考察する。

本稿の構成は以下の通りである。2章で開発するアプリについて説明する。3章で評価実験のデザインについて述べ、4章でデザインに基づくプレ実験について述べる。5章でプレ実験に基づくアプリの可能性と実験デザインの改善について考察し、6章でまとめを述べる。

2. 接触判定アプリ

2.1 既存の接触判定アプリ

厚生労働省は、新型コロナウイルス感染症の拡大防止に資するよう、新型コロナウイルス感染症対策チームと連携して、新型コロナウイルス接触確認アプリ（COCOA:COVID-19 Contact Confirming Application）を

開発している[3]。COCOA は、本人の同意を前提に、スマートフォンの近接通信機能（ブルートゥース）を利用して、互いに分からないようプライバシーを確保して、新型コロナウイルス感染症の陽性者と接触した可能性について通知を受けることができる。利用者は、陽性者と接触した可能性が分かることで、検査の受診など保健所のサポートを早く受けることができる。利用が増えることで、感染拡大の防止につながることが期待されている。

COCOA の活用についても、様々な検討がなされている。株式会社ディー・エヌ・エー（DeNA）[4] は、飲食店やイベント施設等の入り口で、来場者に接触確認アプリダウンロードを促すとともに、導入済みの接触確認アプリの設定が正しくなされているかどうかを確認できるオープンソースのシステム（COCOA 動作チェッカー）を開発し、無償公開している。ラビットプログラム[5] は、密閉・密集・密接の状態や、付近の端末のうち COCOA をインストールしている端末の台数・割合を、スマートフォンのセンサーを使って測定・記録・共有できる「3密チェッカーアプリ」を開発している。

金光ら[6] は、COCOA のインストール促進を目的としたナッジを用いた新型コロナウイルス接触確認アプリのインストール促進システムを提案している。提案システムは、BLE 信号をセンシングすることにより、インストール状況を認識するセンシング機構と、センシングにより獲得したりフレーミングされたチケットによりイベントを体験する体験機構から構成されている。システム提案に加え、各体験に適した環境を考慮し、アート創作やおみくじ機能をシステムの利用シーンとしてを示している。Sopicha ら[7] は、COVID-19 感染防止のためにナッジを用いた手指衛生促進システムを構築している。COCOA 動作チェッカーや金光らのシステムと組み合わせることで、COCOA のインストール促進に寄与できると考えられる。

一方で、COCOA の導入は十分とは言えない。厚生労働省の報告では、2021 年 5 月 7 日時点において、COCOA のダウンロード数は、2,753 万件となっており、陽性登録件数は 14,935 件となっている。2021 年 1 月時点での日本の総人口 1 億 2557 万人と比較すると、ダウンロード率は約 22%であり、インストール率はさらに低くなると考えられる。また、2021 年 5 月 7 日時点で感染者数の累計 628,201 人（2021 年 5 月 8 日 23 時 55 分更新）と比較すると、要請登録件数は 3%以下になっており、COCOA の公開時期を考慮したとしても、低いと言わざるを得ず、COCOA のインストール促進施策が求められている。

では、なぜ COCOA のインストールは進まないのだろうか。我々は、COCOA を知っているけれどもインストールしていない人に、その理由を自由記述で回答してもらいそれを整理している（図 2）。有効回答者数は 199 人であり、利用に対する不安や情報提供利得に対する意見が、そ

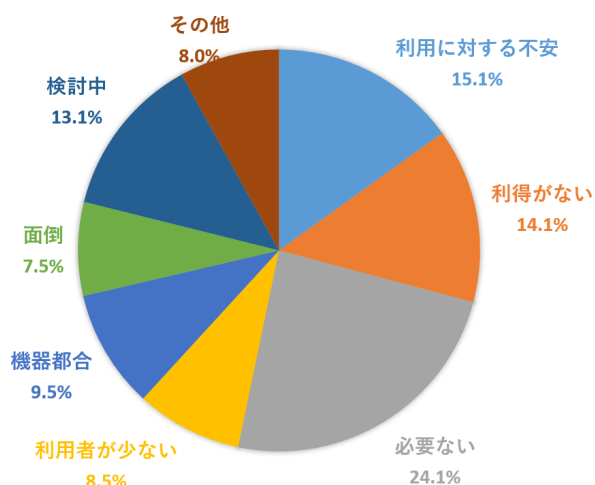


図 2 COOCA をインストールしない理由

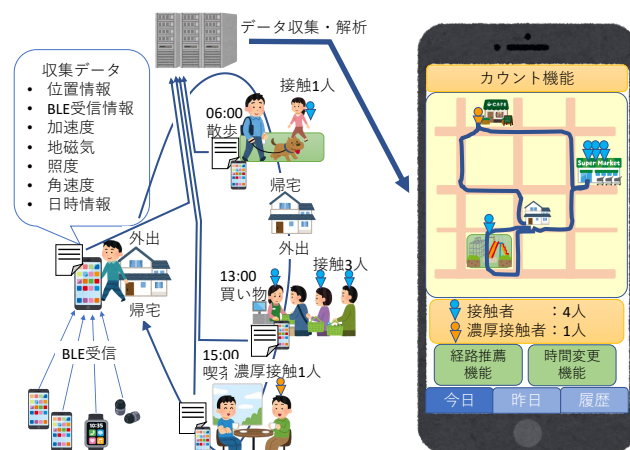


図 3 提案アプリのイメージ

れぞれ約 15 %となっている。また、必要ないと答えた人が 24 %となっている。

これは、COCOA が、陽性者との濃厚接触がない限り、インストールしているメリットがないアプリであるためと考える。ユーザの行動を変容させるためには、濃厚接触の回数の提示や、感染リスクマップなどの機能など、付加価値をつける必要がある。そこで我々は、本研究において、新たな接触確認アプリを提案する。

なお、個々の接触判定を行うのではなく、画像や映像 [1], [2], 設置機器からの電波 [8], スマートフォンの加速度やマイク [9] を用いて混雑度を計測し、全体にフィードバックする手法も存在する。しかしこれらの手法では、すべてのエリアの混雑度を測る必要があり、データ収集負荷が過剰になる。そこで本研究では、ユーザ本人の移動範囲のみ、本人がデータ収集する仕組みを考える。

2.2 新たな接触判定アプリの提案

我々は、各個人がいつ、どこで、どの程度濃厚接触したか把握するためのスマートフォンアプリケーションを提案する (図 3)。提案アプリは、各個人の濃厚接触を把握・可視化し、個人に提示することを目的に、位置情報、BLE 受信情報、加速度、地磁気、照度、角速度を日時情報と共に収集する。収集されたデータにより、いつ、どこで、どの程度他者と接触したか把握できるようになる。これらの情報を可視化することで、濃厚接触を避けるような行動変容をユーザに促すことができると考える。また、多くの人がこのアプリを使用することで、どこで接触が発生しているかを都市全体として把握することができ、それにより感染リスクマップが構築できる。本アプリで想定する機能は以下の通りである。

【カウント機能】

カウント機能は、すれ違い数や濃厚接触者数をカウント

する機能である。1 日ごとに、カウントすることで日々のどのような生活とカウント数の増減が関係しているかを把握することが可能となる。また、地図情報と共に可視化することで、自分がいつ、どこでより多くの人とのすれ違いや濃厚接触しているかを直感的に理解することが可能となる。

【経路推薦機能】

経路推薦機能は、混雑を回避する経路を推薦する機能である。各地域の混雑度が計測・予測されていることを前提としたうえで、それを考慮した経路推薦を行う機能である。

【時間変更機能】

時間変更機能は、混雑を回避するために、時間の変更を推薦する機能である。経路推薦機能と同様に、各地域の混雑度が計測・予測されていることを前提としたうえで、それを回避するために制限時間範囲内において混雑をより回避できる時間に出発することを推薦する。これにより、同じ経路であっても混雑を回避できる。

3. 実験デザイン

提案アプリやサービスの有効性を評価するためには、研究室の学生などの特定集団ではなく、不特定多数の一般市民に対する実証実験が必要である。本章では、その実験デザインについて述べる (図 4)。なお、本実験は奈良先端科学技術大学院大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を受け、本人から実験参加の同意を得た後に実施するものである (承認番号: 2020-I-16)。

3.1 実験概要

評価実験の目的は、提案アプリやサービスの実用的な有効性を確認することである。そのためには、可能な限り実運用に近い利用者層に実際にアプリを利用してもらい

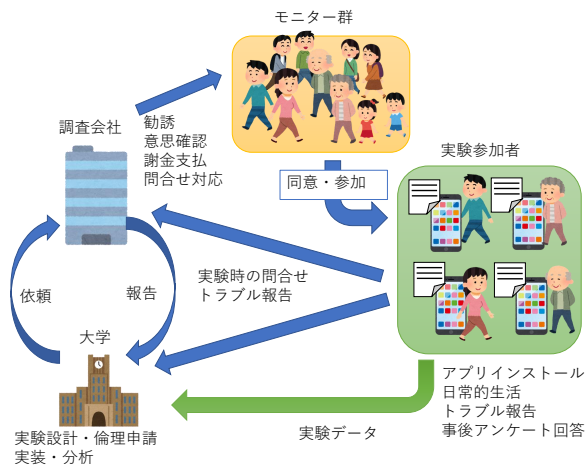


図 4 実験デザイン

フィードバックを得るための実証実験が必要と考える。利用者層を一般市民とする場合、実験参加者の年齢・性別・職業・生活環境などを多様化する必要がある。

このような多様な実験参加者を集める方法として、調査会社への依頼やクラウドソーシングの利用があげられる。調査会社に依頼することにより、実験参加者の募集やスクリーニング、謝金の支払いなどを任せることができる。本実験では、調査会社に依頼して、実験参加者の募集、スクリーニング、参加の意思確認、謝金の支払い、一次問い合わせの受付を行っている。

実験参加者を募集する際には、年齢・性別・職業・居住地など、一般的な社会調査における条件に加え、スマートフォンアプリ利用実験特有の制限が必要となる。具体的には、以下の4つである。

- 利用 OS の種類 (iOS, Android, それ以外)
- 利用 OS のバージョン
- 利用端末
- 利用キャリア

アプリの開発状況にもよるが、開発途上のアプリの多くは、様々なバグを抱えている。対象となる OS が異なれば動作しないのは当たり前であるが、OS のバージョンや利用端末、キャリアにより、動作しないことが考えられる。実験前に動作確認ができている条件を優先して実験参加者を募集し、対象人数に達しなければ条件を緩めるなどの工夫が必要である。本実験では、iOS、バージョン 13.6 以上、機種は iPhone 8 以降、キャリアは DOCOMO, au, SoftBank, Rakuten の 4 つに限定している。これに加え、位置情報 (GPS)、BLE へのアクセスを常に許可していただけること、この二つのデータに加え、加速度、地磁気、照度、角速度の収集し、それらのデータを研究のために使用することを許可していただける方のみを対象としている。

これらの条件に基づいて調査会社に実験参加者を募集していただき、申込者から年齢・性別に大きな偏りが生じな



図 5 動画による説明

いように実験参加への依頼を行っている、

3.2 実験参加の依頼・説明

一般市民を対象とする場合は、不慣れなユーザを想定し、丁寧な説明が求められる。実験参加者には、調査会社を通じて以下の書類に基づいて依頼・説明を行っている。

- (1) 実験概要説明資料 1 部
- (2) 重要事項確認シート 1 部
- (3) アプリインストール方法説明資料 1 部
- (4) 実験期間中の注意点 1 部
- (5) 同意撤回書 1 部

実験概要説明資料では、研究目的、研究の意義、実験内容、安全性、同意の任意性、実験の中止、結果の公表、個人情報の取扱とプライバシーの保護、将来別の研究や事業への利用、不明点や要望について説明し、不明点や要望については連絡できるように連絡先を示している。参加者は、実験概要説明資料により実験内容を理解したうえで、重要事項確認シートに基づいて、同意書への入力・送信を行い実験に参加している。なお、参加者は、同意撤回書により、いつでも実験参加への同意を撤回できるようになっている。

アプリインストール方法説明資料では、TestFlight^{*1}および実験用アプリのインストール方法、アプリの設定方法を説明している。参加者は、手順の一連の流れを理解するために、初めに説明動画 (<https://youtu.be/RvAV1Z4DhCY>) を確認する。その後、資料に書かれた手順に従い、QRコードまたは URL にアクセスすることで、アプリのインストールを行っている。説明は、各ステップごとに画面の操作箇所を図示し、TestFlight のインストール画面 8 枚、実験用アプリのインストール画面 8 枚、実験用アプリ設定画面 7 枚の計 23 画面で構成されている。

実験期間中の注意点としては、実験中に常にバックグラウンドで起動しておくこと、バッテリーの消費が多くなる

^{*1} TestFlight は、Apple 社が公式で提供しているベータ版 (試験用) アプリを配布するためのアプリである

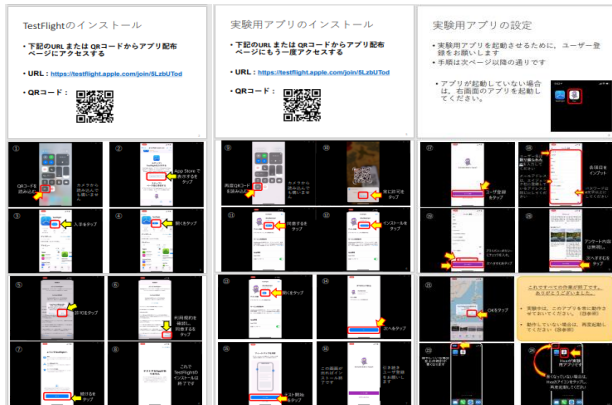


図 6 インストール手順説明資料

ためバッテリー残量に注意が必要であること、動作確認方法、クラッシュ時の対応、不具合が発生した時の連絡先を説明している。バックグラウンドで起動するという意味が伝わるように、図とともに「バックグラウンドでの起動状態とは、右図のように実行中のアプリ一覧に表示されている状態のことをさします。」と文章で説明している。また、動作確認方法についても、「実験中は、画面左上に位置情報(GPS 情報)取得中を示す青色のマークが出ます。」と図と文章で説明している。

4. プレ実験

4.1 プレ実験概要

設定した実験デザインおよび開発したアプリの動作検証のために、プレ実験を行った。期間は、2021年3月25日～31日の一週間、募集人数は180人である。募集に際し、前述の条件では十分な人数が確保できなかったため、利用キャリアの制限を外している。実験参加者は、3月24日に調査会社から実験説明書類を電子的に受取り、実験内容を理解したうえで、同意書にて実験参加への同意を行っている。実験開始前および実験開始後の辞退を含め、185人に参加依頼したが、最終的な参加者は177名となっている。

実験参加者には、資料の説明に基づき実験に参加してもらっており、問い合わせがない限り、追加の説明は行っていない。実験参加者は、不明点や問題が発生した場合、調査会社か我々に問い合わせをしている。実験終了後には、データ分析結果との比較のために、日々のすれ違いの程度、濃厚接触者数を、またアプリやサービスへの関心を確認するために、バッテリー消費、接触者数のカウント機能、経路推薦機能、時間変更機能についてアンケートで確認している。さらに、実験全体への関心を自由記述で収集している。アンケートの内容は以下のとおりである。

- (1) 実験で使用したアプリにより、スマートフォンの電池消費は気になりましたか？

- (2) すれ違い数や濃厚接触者数のカウント機能があったら使いたいと思いますか？
- (3) 混雑を回避する経路を推薦する機能があったら使いたいと思いますか？
- (4) 混雑を回避するために、時間の変更を推薦する機能があったら使いたいと思いますか？

4.2 プレ実験結果

本節では、プレ実験結果について述べる

4.2.1 実験中のトラブル・問合せ

実験を実施するにあたり、複数のトラブルおよびそれに伴う問合せが発生している。いくつか事例を紹介する。

【事例1 インストール不能】

本事例は、アプリのインストールができないという事象である。実験参加者にエラー画面の動画を提供してもらっているが、すべての実行条件に該当しているにもかかわらず、アプリのインストールができなかった。本事例については、現在も原因が判明していない。

【事例2 アプリクラッシュ】

本事例は、アプリ稼働時にクラッシュが発生し、アプリが停止するものである。症状としては、再起動で対応できるものと、対応できないものがあった。対応できないものについては、参加者にクラッシュの報告を依頼し、その蓄積により原因を究明していった。いくつかの原因については、実験中に対応している。

【事例3 アプリ起動確認方法の差異】

本事例は、アプリが起動中であることの確認方法が、説明と異なるというものである。テスト段階では、アプリ起動時には、位置情報を取得中であることを示すマークが画面左上に提示されていた。実際、テストデバイスを実験期間中も稼働させていたが、常に提示されていた。しかしながら、複数の実験参加者から起動中を示すマークが表示されないとの報告があった。確認の結果、バックグラウンドで起動していることは間違いなさそうであったため、そのまま実験を継続していただいている。

このようなトラブルについては、調査会社、我々の連絡先の2か所にばらばらに寄せられた。我々に連絡を頂いたほうが迅速にアプリ改修や対応方法の提示ができる一方、対応への負荷が課題となった。また、直接実験参加者とやり取りをするために、問合せに基づいてメールアドレスや電話番号と言った個人情報が取得できてしまうという問題が発生した。

4.2.2 収集データ

本実験における収集データは、位置情報、BLE 受信情報、加速度、地磁気、照度、角速度、日時情報である。このうち、本実験において BLE 受信情報の収集に失敗した。一部のデータはアップロードされているものの、ほとんどのデータは欠落していることが確認された。原因について

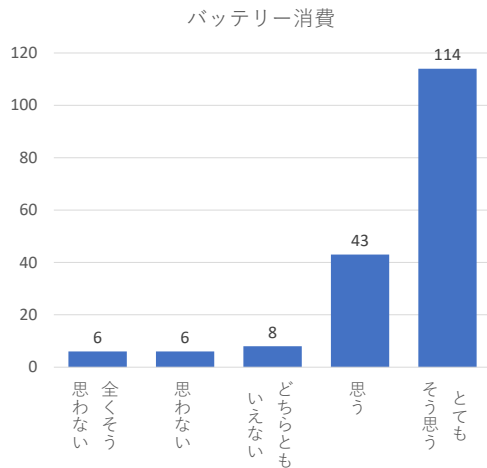


図 7 バッテリー消費への関心

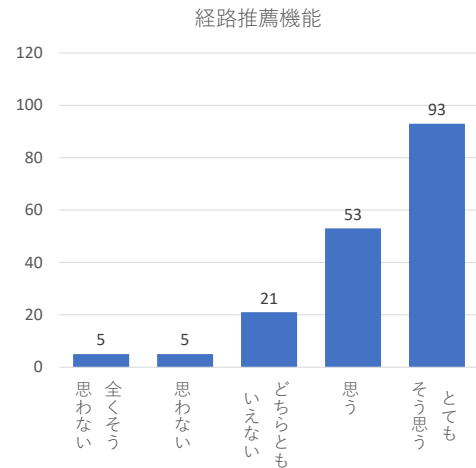


図 9 経路推薦機能への関心

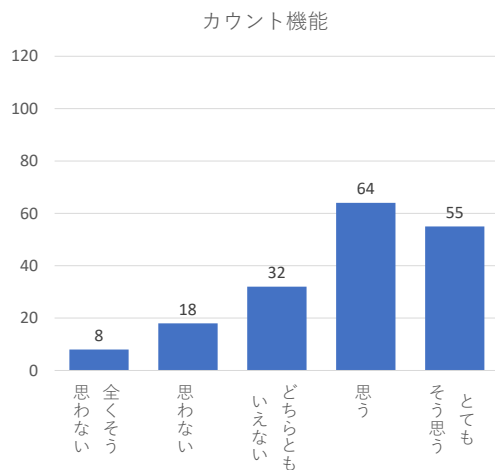


図 8 カウント機能への関心

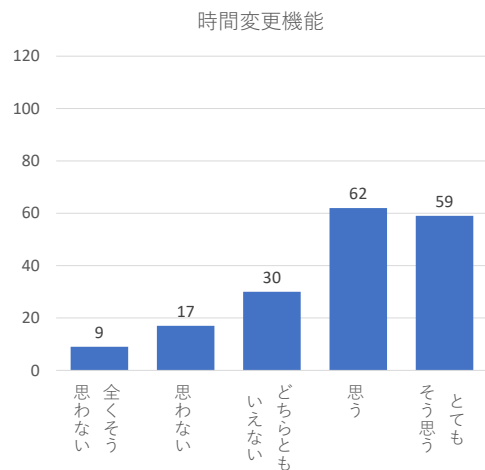


図 10 時間変更機能への関心

は、現在調査中である。

一方、他の情報については収集できている。これらのデータは、1日にあたり約40ギガバイトのデータが収集されている。

4.2.3 アンケート結果

アンケート結果を図7、図8、図9、図10に示す。バッテリー消費について、多くの実験参加者がバッテリー消費が気になると回答している(図7)。この結果より、実社会への適応には、バッテリー消費の低減が求められる。

カウント機能については、参加者の67%が使いたいと回答している(図8)。一方で、15%の参加者が思わないと回答している。多くの参加者が使用を希望する一方で、一定数の人が使用を望んでいないことが確認された。

経路推薦機能については、82%の参加者が使いたいと回答している(図9)。このことから、経路推薦機能は、一般的に使用が望まれていることが確認された。

時間変更機能については、68%の参加者が使いたいと回答している(図10)。一方で、15%の参加者が思わないと回答している。多くの参加者が使用を希望する一方で、一

定数の人が使用を望んでいないことが確認された。

5. 考察

5.1 依頼・問合せ体制

本実験では、調査会社へ参加者への募集、連絡、謝金の支払いなどを依頼している。これにより、作業負荷の軽減だけでなく、実験実施者が実験参加者の個人情報をもほとんど収集することなく、実験を実施できる体制を構築している。一方で、4.2.1に示した通り、実験実施者の問い合わせ先を記載することにより、直接問い合わせを可能にしたことで、問合せに基づいて実験参加者の連絡先が取得できてしまうこととなった。個人情報の扱いがセンシティブになる中で、このような状況を回避するための工夫が必要であると考えられる。

必ず調査会社を介してやり取りをする方法も考えられるが、その場合迅速な対応が阻害される可能性がある。そのため、実験参加者の誰もが匿名または仮名で、問合せできるフォームや掲示板を作成するなどの対応が必要と考える。

5.2 収集データの保存

本実験においては、1日当たり40ギガのデータが収集されている。本実験の対象者は177人であり、実運用時にはこの数百、数千、数万倍のデータを扱うことになる。また、このデータには位置情報などのセンシティブなデータが含まれており、その扱いには注意が必要である。このことから、今回のように専用サーバにデータを収集・蓄積することはリスクがあると考えられる。

この問題を解決するには、PLR (Personal Life Repository) [10] のように、個人の情報は個人のクラウドで管理し、必要に応じてサービス事業者に提供する方法などを検討する必要がある。

5.3 今後のサービス展開

本実験結果より、カウント機能、経路推薦機能、時間変更機能については、おおむねポジティブな結果が得られた。経路推薦機能が最も受け入れられているのは、既に日常的に使い慣れていることが考えられる。

カウント機能については、監視感や個人情報に対するリスクなどが感想から確認されている。データの保存場所を個人のクラウドに変更するなど、配慮が必要と考える。

時間変更機能については、時間変更の可能性自体に対する意見が感想から得られている。具体的には、自分が行きたい時間が最も良い時間帯なので変更したくないという内容である。本機能については、より利用場面を考慮した検討が必要と考える。

一方で、バッテリーの消費については、課題として指摘されている。ある実験参加者からは、機能は便利だと思うがバッテリー消費が大きい場合は使用しないとの感想が得られている。データの収集頻度や種類を限定することにより、バッテリー消費の削減を検討する必要がある。

6. 終わりに

本稿では、開発中のBLEを用いた接触判定アプリの紹介と活用方法、評価実験デザインおよびプレ実験結果についてについて報告している。提案機能として、カウント機能、経路推薦機能、時間変更機能を紹介している。実験デザインに基づくプレ実験の結果、これらの機能はおおむねポジティブに受け入れられることを確認している。また、開発中のアプリに対する評価より、データ収集に対するバッテリー消費抑制やプライバシーへの配慮などが課題であることを確認している。

今後、さらに実験デザインを洗練させたうえで本実験を実施する予定である。

参考文献

[1] Hongquan Song, Xuejun Liu, Xingguo Zhang, and Jiawei Hu. Real-time monitoring for crowd counting using video

surveillance and gis. In *2012 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering*, pp. 1–4, 2012.

[2] A. C. Davies, J. H. Yin, and S. Velastin. Crowd monitoring using image processing. *Electronics Communication Engineering Journal*, Vol. 7, pp. 37–47, 1995.

[3] 厚生労働省. 新型コロナウイルス接触確認アプリ (cocoa) covid-19 contact-confirming application | 厚生労働省. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/cocoa_00138.html. Accessed: 2021-05-09.

[4] 株式会社ディー・エヌ・エー. Cocoa 動作チェックの概要. <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000748715.pdf>. Accessed: 2021-05-09.

[5] ラビットプログラム. 3密チェック概要. https://qiita.com/Rabbit_Program/items/3c1aec6e30eb646d78a1. Accessed: 2021-05-09.

[6] 金光勇慈, 立花功樹, 松田裕貴, 中村優吾, 諏訪博彦, 安本慶一. ナッジを用いた新型コロナウイルス接触確認アプリのインストール促進. *SIG-SAI*, Vol. 39, No. 10, pp. 1–6, 2020.

[7] Sopicha Stirapongsasuti, Kundjanasith Thonglek, Shinya Misaki, Bunyapon Usawalertkamol, Yugo Nakamura, and Keiichi Yasumoto. A nudge-based smart system for hand hygiene promotion in private organizations: Poster abstract. In *Proceedings of the 18th Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, SenSys '20, p. 743–744. Association for Computing Machinery, 2020.

[8] Yaoyuan Yuan, Chen Qiu, Wei Xi, and Jizhong Zhao. Crowd density estimation using wireless sensor networks. In *2011 Seventh International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, pp. 138–145, 2011.

[9] Tomohiro Nishimura, Takamasa Higuchi, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino. Detecting smoothness of pedestrian flows by participatory sensing with mobile phones. In *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '14, p. 15–18, 2014.

[10] 橋田浩一. パーソナルデータの分散管理による価値の最大化. 計測と制御, Vol. 59, No. 9, pp. 653–658, 2020.