

バス停混雑度可視化システム itocon (いとこん)

高橋 遼¹ 林 健太¹ 光来出 優大¹ 二俣 雅紀¹
井上 隼英¹ 松尾 周汰¹ 石田 繁巳¹ 荒川 豊^{1,2} 高野 茂²

概要: 日本最大面積を誇る伊都キャンパスには、教職員と学生を合わせて約2万人が在籍しており、学生の23%、職員の46%がバスで通っている。現在、新型コロナウイルス感染症の広がりにより、密を避ける行動が求められており、大学の講義もオンラインで実施されているが、教職員は在宅勤務を組み合わせつつも、出勤している状況である。また、秋以降は対面講義が再開され、学生の通学が再開される可能性もある。その際、こうしたバス利用者が自主的に時差通学、時差通勤をできるようにすることを目的として、九州大学伊都キャンパスおよびJR 筑肥線九大学研都市駅におけるバス停の混雑度を可視化するシステム itocon (いとこん)を開発した。本稿では、itocon およびそのバックエンドのシステムについて報告する。

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症が世界に広がり、数ヶ月が経とうとしている。予防ワクチンや治療薬が待たれる中、各国で様々な取り組みがなされ、我々も2ヶ月に渡る自粛生活というものを経験した。自粛によって第1波は抑制できたものの、経済に甚大な影響をもたらしており、現在はwithコロナと言われる、経済活動を止めずにコロナと共存していくアプローチが取られている。その中では我々一人一人が手洗いや手の消毒、マスク着用、密な場所の回避といった自発的な行動を取ることが求められている。

withコロナに向けて、九州大学では通勤・通学時のバスの混雑が大きな問題になると我々は考えている。我々が通う九州大学・伊都キャンパスは、2018年に移転が完了した新しいキャンパスである。その面積は日本最大の272haを誇り、教職員と学生を合わせて約2万人^{*1}が在籍している。近隣に鉄道駅はなく、最寄り駅とされている九大学研都市駅から4km以上離れているため、キャンパスへの交通手段は自家用車やバイク、自転車、そして、最寄り駅である九大学研都市駅あるいは福岡市の中心地である天神や博多からのバスを利用することとなる。令和元年度の学内調査によると、学生の23%、職員の46%がバスを利用しており、特に朝夕の通勤・通学の時間帯はバスが満員になる。新型コロナウイルス感染症の広がりにより、密を避ける行動が

求められており、現在は大学の講義もオンラインで実施されているが、教職員は在宅勤務を組み合わせつつも出勤している状況である。また秋以降は対面講義が再開され、学生の通学が再開される可能性もある。

そこで我々は、混雑したバスという密な場所を回避することに着目した情報提供システム itocon (いとこん)を開発した。バスを利用してキャンパスに来る学生、教職員が自主的に時差通学、時差通勤を行うように促すためには、バスの混雑状況の情報提供が必要不可欠である。itoconは九州大学伊都キャンパスおよびJR 筑肥線九大学研都市駅におけるバス停の混雑度の可視化を行うシステムであり、2020年5月中旬から開発をスタートし、2020年6月12日に一般公開した^{*2}。

本稿では、itoconの概要およびそのシステム、そして今後の展望について報告する。

2. 関連研究

これまでも人間の混雑度を予測する手法に関して多くの研究が報告されている。例えば、スマートフォンを用いた研究 [1, 2]、カメラを用いた研究 [3-5]、WiFi 機器を用いた研究 [6-8] などが挙げられる。米村ら [2] は、スマートフォンに搭載されている加速度センサから所有者の歩幅を検出し、その違いから混雑度を予測している。また新井ら [4] は、カメラ画像をマクロに捉えることで、個人の検出を行うことなく駅などの混雑状況を予測している。松本ら [6] は、室内でのWiFiの伝搬環境が混雑状況によって

¹ 九州大学 大学院システム情報科学府/研究院
Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka,
Fukuoka 819-0395, Japan

² 九州大学 持続的共進化地域創成拠点 (COI)

^{*1} https://www.kyushu-u.ac.jp/f/36714/2019kyudaigaiyou_P25-26_compressed.pdf

^{*2} [お知らせ] 新しい生活様式の実現に向け、時差通勤・通学を促すためバス停混雑度情報可視化システムの提供開始!
<https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/notices/view/1641>

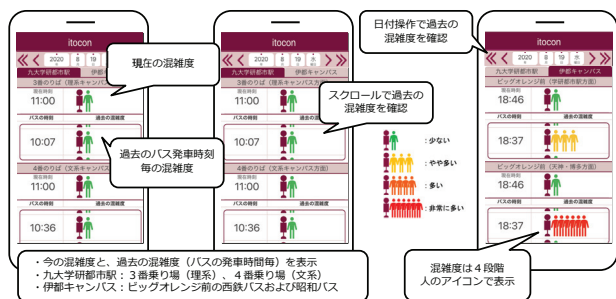


図 1 itocon の概要

変化することに着目し，WiFi 機器を室内に複数台設置することで混雑度を 5 人単位で予測している．このように人間の混雑度は様々な手法で予測することができることがわかっている．

また，新型コロナウイルス感染症の広がりから，混雑度可視化への関心も高まっている．凸版印刷株式会社が提供しているサービス「nomachi」*3では，飲食店のテーブルにセンサを設置して客の在・不在を判断し，その結果を Web アプリ上に表示している．また株式会社セキュアが提供している「コミエル」というサービス*4では 3D カメラを設置して混雑度を計測し，そのデータを API 化することでユーザが自由に可視化の手段を選ぶことができる．新型コロナウイルス感染症の広がりが世相に与える影響の大きさから，これらのような混雑度を Web アプリ上で可視化できるサービスの需要は今後もさらに高くなると考えられる．

3. itocon (いとこん)

3.1 概要

図 1 に itocon の概要を示す．itocon のモバイルサイトにアクセスすると，現在の混雑度およびバス発車時刻毎の混雑度がリアルタイムに表示される．混雑度は 4 段階で表され，視認しやすいように「人のアイコン」として表示されている．本稿執筆時点での itocon は 4 箇所のバス停の混雑度を表示している．

混雑度データは最小 1 分間隔で得ることができるが，利用するユーザの視点で考えた場合，バスの発車直前の情報が知りたいと考え，過去の混雑度情報についてはバスの発車時刻ごとの表示とし，バス発車予定時刻の 1 分前の混雑度を示している．また，上部に設けられたナビゲーションメニューから過去の日付に遡って混雑度を確認することができる．この機能は，当日の出勤・通学時間を変更するために，前日あるいは前週の同じ時間帯の混雑度を参考にしたいというユーザニーズに基づいている．

itocon はモバイル Web サイトとして実装されており，<https://platform.coi.kyushu-u.ac.jp/itocon/> にア

*3 <https://www.toppan.co.jp/solution/service/nomachi.html>

*4 <https://secureinc.co.jp/solution/analytics/comieru.html>

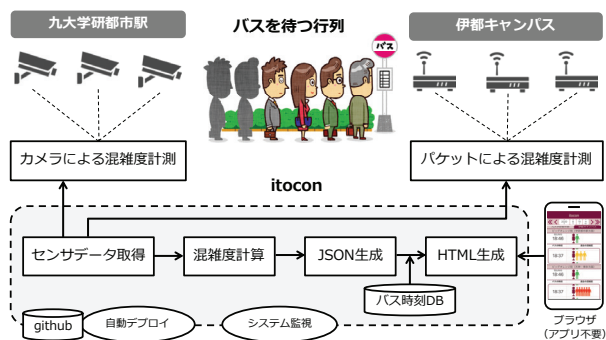


図 2 itocon のシステムアーキテクチャ

クセスすることで誰でも閲覧することができる．モバイル Web サイトとすることで，アプリケーションをダウンロード・インストールすることなく itocon を利用することができる．また，全てのユーザにとって分かりやすく使いやすいサービスとするために，ページ遷移は一切行わずどの情報でも 1~2 タップ以内でたどり着けるようになっている．

3.2 システムアーキテクチャ

図 2 に，itocon のシステムアーキテクチャを示す．itocon は，駅前および学内に設置された混雑度センサの API (センサ API)，これらの API にアクセスして可視化ページを生成するサーバ (itocon サーバ) から構成されている．以下，本システムの詳細を記す．

3.3 混雑度の計測

3.3.1 カメラによる混雑度計測

九州大学持続的共進化地域創成拠点 (COI) の研究プロジェクトの一環で，九大学研都市駅の九大行きバス停にはカメラ画像を用いた混雑度センサが複数台設置されている．カメラ画像をオンサイトで解析し，1 分あたりの人数がカウントされている [9, 10]．

表 1 にカメラセンサ API から取得できるデータの例を示す．1 つのバス停について複数台のカメラを用いて人数をカウントしていることから，カメラセンサ API は time が示す UNIX 時間とともに各カメラのカウント情報をそれぞれ出力する．表 1 の例では 4 台のカメラ (C1~C4) が検出した人数が出力されており，このバス停にいる人数はこれらの値を合計して 3 人であることが分かる．

3.3.2 パケットによる混雑度計測

伊都キャンパス学内には，文献 [8] のパケットセンサが設置されており，このセンサは Wi-Fi パケットをセンシ

表 1 センサ API から取得したデータの例	
センサ API の種類	データの例
カメラ	{ "time":1596177240, "C1":0.0, "C2":1.0, "C3":0.0, "C4":2.0 }
パケット	{ "time":1596177240, "spot":17, "congestion":5 }

表 2 混雑度へ変換する際の閾値

センサ API の種類	条件	混雑度
カメラ	$value < 10$	1
	$value < 20$	2
	$value < 30$	3
	$value \geq 30$	4
パケット	$value < 20$	1
	$value < 50$	2
	$value < 70$	3
	$value \geq 70$	4

グすることで付近のモバイル端末数をカウントしている。

表 1 にパケットセンサ API から取得できるデータの例を示す。1つのバス停に対して1つのパケットセンサが設置されており、API にリクエストを送ると Wi-Fi パケットから算出されたモバイル端末数が取得できる。表 1 の例では、パケットセンサの識別 ID である spot 17 番においてカウントされたモバイル端末の数が 5 であることを示している。time はカメラセンサ API と同様 UNIX 時間を表している。

3.4 静的なモバイルサイトの生成

itocon は毎分静的な HTML を生成している。通勤や通学の時間にアクセスが集中し、センサ API や itocon サーバへの負荷が大きくなることを防ぐためである。

図 2 に itocon のサーバが 1 分おきに実行する動作を示す。前回の実行から 1 分経過すると itocon サーバは全てのセンサ API に対してデータ送信リクエストを行い、データを取得する。このとき取得されるデータは表 1 に示したようなものである。表 2 に、センサデータから混雑度へ変換する際の閾値を示す。閾値をもとにセンサの値を 4 段階の混雑度に分類し、日付型のタイムスタンプと混雑度情報を持つ JSON データを生成する。例えば表 1 のカメラセンサ API のデータからは {"time": "2020-07-31T15:34:00+09:00", "congestion_level": 1} のような JSON データが生成され、バス停ごとに JSON ファイルに格納される。その後 itocon サーバは JSON ファイルを用いて HTML ファイルを生成し、クライアントがアクセスするディレクトリ内に設置する。非同期処理にすることで、センサ API と itocon サーバへの負荷を抑えながら、多人数に対して混雑度情報をリアルタイムに提供可能となる。

なお、これらの処理は python で記述されており、定期実行には cron が使用されている。また itocon サーバは docker 上の Ubuntu コンテナ内に構築されており、アプリケーションサーバとして Apache を使用している。

3.5 拡張性について

今後も多様な混雑度センサの増設が予想される。itocon はセンサの増設に柔軟に対応するため、フロントエンド・

バックエンドでそれぞれ拡張性の高い実装を行っている。

フロントエンドでは HTML 上への混雑度情報の追加が容易になるように、バス停の混雑度情報を表示する部分をコンポーネント化している。具体的にはバス停名、現在の混雑度、過去の混雑度を 1 つのコンポーネントとしてまとめている。そのため新しいバス停が増えた場合には、そのコンポーネントを使って容易に HTML を記述できる。

バックエンドでは itocon センサクラスの記述が容易になるように、センサに関するプログラムはオブジェクト指向で記述されている。センサ API とのインターフェイスは共通機能をベースクラスとして作成し、それを継承することで各種センサ API の違いを吸収している。このため、新しいセンサ API へも容易に対応可能である。

3.6 運用について

3.6.1 システム監視

itocon では Web ページの死活監視と、センサ API のデータ異常監視を 2 つの手法でそれぞれ行っている。itocon サーバに異常が発生した場合、またセンサ API に異常が発生した場合に迅速に対応するためである。

Web ページの死活監視は UptimeRobot^{*5}を用いている。UptimeRobot は設定された時間おきに HTTP リクエストを送り、HTTP レスポンスの値をもとに Web ページの異常を判断してレポートを送信する。異常発生時に通知を送るように設定することで、サーバに障害が発生した場合でも迅速に対応することができる。

また、センサ API のデータ異常監視には Google Apps Script を用いている。itocon ではセンサから正しくデータを取得できなかった場合、「センサ停止中」の文字が表示される。Google Apps Script を用いて設定した時間おきに Web ページをスクレイピングし、「センサ停止中」の文字がある場合に通知を送る。これによって、センサ API 側に異常が発生した場合も迅速に対応することができる。

これまでセンサ API の異常、サーバの異常が数回発生したが、上記の手法によって全て即日で復旧することができている。

3.6.2 自動デプロイ

itocon は、対応するリポジトリの master ブランチへの変更をトリガとしてサーバが更新されるように設定されている。これによってサーバへのデプロイが簡単になり、開発効率が大幅に向上する。

具体的には GitHub^{*6}の Webhook 機能を用いている。GitHub 上のリポジトリに変更が生じると itocon サーバに Webhook で通知される。Webhook で送信される情報には、どのブランチに変更が生じたかを示す変数が存在する。itocon サーバは Webhook の情報を受け取り、その変更が

*5 <https://www.uptimerobot.com>

*6 <https://www.github.com>

master に対して行われたものであれば GitHub 上のリポジトリを pull し, itocon サーバ上のファイルを更新する.

4. 今後の展望

itocon の今後の展望として, 以下の4点が挙げられる.

まず, 対応するバス停の数をさらに増やすことである. 現在 itocon は, 九州大学内の主要バス停2つと, 最寄り駅の主要バス停2つの計4箇所のバス停に対応している. しかし, 九州大学伊都キャンパス内には全部で10箇所のバス停が存在し, 全てのバス停が多く数の学生によって使われており, センサが設置されていないバス停から乗車する学生も少なくない. 今後は, 利用者の多いバス停に順次混雑度センサを設置していく予定である.

対応バス停の増加と同時に必要になるのは, 選択したバス停だけを閲覧できる機能である. 今後, 混雑度センサを設置するバス停数が増えた際に, ユーザが利用するバス停の情報だけを選択して表示する機能が必要になると考えている.

3つ目は, 未来の混雑度予測である. 混雑度を避けたいユーザにとって, どの時間にバス停が混雑し, いつまで待てばそれが収まるかは非常に重要な情報である. 今後, 取得している過去の混雑度情報から未来の混雑度情報を予測して提示する機能や, 選択したバス停が混雑しそうな場合にプッシュでお知らせする機能を追加する予定である.

最後に, バス停以外の混雑度への対応である. 学内を巡回するオンデマンドバスを含めて, バス車内の混雑度も重要な情報となりうる. また, 2万人が生活するキャンパスでは, 昼食時のカフェテリアも密な状況となる. こうした伊都キャンパスに関わるあらゆる混雑度を一箇所で可視化することができれば, ランチの時間をシフトするなど, さまざまな行動変容の誘発が期待できる. なお, こうした閉空間における混雑度は, 学内バス停と同様に WiFi のプローブ信号数をカウントする手法 [11, 12] や CO₂ センサを用いる手法 [13–15] があり, これらをハイブリッドに組み合わせる手法を検討中である.

5. おわりに

九州大学では前期はほぼすべての講義がオンラインで実施されたこともあり, 6月12日の itocon の公開から2ヶ月間でのアクセス数は6700回, 最大で272人/日が閲覧している状況である. 秋以降は対面講義が解禁されて学生の通学が再開される可能性もあるため, アクセス数のさらなる増加が期待される. 今後は, システムの改善だけではなく, 学内およびバス停での広報を行い, システム利用者を増やし, できるだけ多くの学生・教職員の行動変容を促したい.

謝辞 本研究は, 国立研究開発法人科学技術振興機構のセンター・オブ・イノベーション (COI) プログラム, JPMJCE1318 の支援を受けたものである.

参考文献

- [1] 西村友洋, 樋口雄大, 山口弘純, 東野輝夫: スマートフォンを活用した屋内環境における混雑センシング, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 12, pp. 2511–2523 (2014).
- [2] 米村 淳, 大岸智彦, 井戸上彰, 小花貞夫: スマートフォンを用いた人の混雑度推定手法の提案と評価, 研究報告モバイルコンピューティングとコビキタス通信 (MBL), Vol. 2013, No. 5, pp. 1–8 (2013).
- [3] 米司健一, 松原大輔, 秋良直人, 飯田 都, 村上智一, 額賀信尾: 駅構内モニタカメラを用いた混雑度可視化技術, デジタルプラクティス, Vol. 8, No. 2, pp. 152–159 (2017).
- [4] 新井啓之, 伊藤直己, 谷口行信: 群衆をマクロにとらえる画像処理技術~人物・群衆の幾何モデルに基づいた人数推定とその応用~, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol. 2014, No. 13, pp. 1–8 (2014).
- [5] Arandjelovic, O.: Crowd detection from still images, *BMVC 2008: Proceedings of the British machine vision association conference 2008*, BMVA Press, pp. 1–10 (2008).
- [6] 松本大生, 高橋 遼, 石田繁巳, 荒川 豊: 無線 LAN を用いたデバイスフリー室内混雑度推定の初期評価, 第 82 回全国大会講演論文集, Vol. 2020, No. 1, pp. 247–248 (2020).
- [7] 中野隆介: 無線 LAN アクセスポイントの検索要求を用いた屋内混雑度推定手法, 修士論文, 電気通信大学情報通信工学専攻 (2012).
- [8] Shimada, A., Oka, K., Igarashi, M. and Taniguchi, R.-I.: Congestion Analysis Across Locations Based on Wi-Fi Signal Sensing, *International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*, Springer, pp. 204–221 (2017).
- [9] 青木大誠, 堀磨伊也, 高野 茂, 谷口倫一郎: 乗り継ぎ抵抗軽減のためのバス運行情報を用いた外出促進, 第 82 回全国大会講演論文集, Vol. 2020, No. 1, pp. 641–642 (2020).
- [10] 高野 茂, DIENG, S. F., KPANOU, N., 堀磨伊也: 交通結節点における混雑を考慮した乗り継ぎ情報の提示, 第 17 回 ITS シンポジウム 2019 (2019).
- [11] Mikkelsen, L., Buchakchiev, R., Madsen, T. and Schwefel, H. P.: Public transport occupancy estimation using WLAN probing, *2016 8th International Workshop on Resilient Networks Design and Modeling (RNDM)*, IEEE, pp. 302–308 (2016).
- [12] Li, Y., Barthelemy, J., Sun, S., Perez, P. and Moran, B.: A Case Study of WiFi Sniffing Performance Evaluation, *IEEE Access* (2020).
- [13] 立川智一, 西 宏章: 環境センサを利用した在室人数推定手法, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, No. 650, pp. 355–362 (2010).
- [14] Arief-Ang, I. B., Salim, F. D. and Hamilton, M.: DA-HOC: semi-supervised domain adaptation for room occupancy prediction using CO₂ sensor data, *Proceedings of the 4th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments*, pp. 1–10 (2017).
- [15] Zhang, T., Al Zishan, A. and Ardakanian, O.: Odtoolkit: A toolkit for building occupancy detection, *Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Future Energy Systems*, pp. 35–46 (2019).