

## 複数のエッジデバイスを用いた混雑率可視化のためのデータ統合方式 Data Integration Method for Congestion Rate Visualization Using Multiple Edge Devices

糸賀 千晴<sup>†</sup>  
Chiharu Itoga

滝田 巧平<sup>†</sup>  
Kouhei Takita

本多 賢<sup>‡</sup>  
Ken Honda

### 1. はじめに

新型コロナウイルス(COVID-19)の感染は未だ収束しているとは言い難い状況が続いているが、本稿執筆時点では国内の感染者数は徐々に減ってきている[9]。マスク着用や検温、アルコール消毒などの対策を講じつつ感染拡大前の生活に戻すような流れになってきている。大学においても今年度より原則対面での授業が開始され、多くの学生が大学構内に戻ってきている。しかし、COVID-19の感染拡大が収束していない現時点においては、引き続き感染クラスタの発生を抑えるような取り組みが必要である。特に大学構内においては、学食のような人が多く集まる空間は利用のピーク時間帯に混雑が発生している。3密(密閉・密集・密接)を避けた上で学食を利用できるような配慮・仕組みの導入が求められる。

また、感染症の有無に関わらず、学食の混雑は学食利用者の体験としても良いものとは言えないため、ピーク時間帯における学食利用の体験価値(UX, User Experience)を向上させるという意味においても何らかの仕組みを導入する必要がある。

本稿では、IoT(Internet of Things)技術を用いてデータを収集し、混雑率を導き出すためのデータの取得・統合方式及び、導き出した混雑率データの活用方法を提案する。実際に本学の学食にて実証実験を行い、本方式の有用性・実現可能性を示す。

### 2. 関連研究

感染対策として、混雑率の可視化や混雑の緩和を行う取り組みは広く行われている。[2]では、BLE (Bluetooth Low Energy) を用いることで、場所や環境に依存しないユニバーサルな混雑率の推定方法を提案している。[6]では、教室のような閉空間において混雑回避を行うシステムを提案している。[7]は、無線 LAN の伝搬路情報(CSI)を用いて室内の混雑率を推定している。

大学においても混雑率の推定・可視化、緩和を行う取り組みが行われており、学生がより安全な環境で学習に取り組めるような環境を作り出すための研究が行われている。[3]では、二酸化炭素濃度を計測するセンサを用いて混雑率の推定を行っている。人が多く密集する場では二酸化炭素濃度が高くなることが予想されるため、濃度が特定の閾値を超えたときに混雑率を導き出す方法が提案されている。[4]では、スマートフォンアプリ「COCOA」から送信される BLE アドバタイジングパケットやビーコンから送信される BLE パケットを、大学構内に設置した端末で受信し、混雑率を可視化している。[5]では BLE を用いて大学構内の滞在履歴の記録を取り、ウイルスの感染経路の特定や接触者の特定を行っている。[1]では食堂やバス停といった公共空間の混雑率を提供するアプリケーションを開発することで利用者がリアルタイムで各地の混雑率を確認することができ、アプリケーション利用者の行動分析を行っている。

このように COVID-19 の感染対策に関連して、混雑率の推定・可視化、緩和方法はあらゆる観点から検討され、実践が行われている。

### 3. 提案方式

本方式では、実空間の混雑率を推定・可視化する方法として複数のエッジデバイスを用いる方法を提案する。ここで指しているエッジデバイスとは、実空間のセンシングが可能でその場で計算処理を行うことができるデバイスのことを指す。実証実験としての導入を行うにあたって、安価で入手可能な機器で、汎用的に構築できるシステム構成を目指す。ここでは、エッジデバイスとして Raspberry Pi 4 Model B を使用している。実空間のセンシングは Raspberry Pi に Web カメラを接続し画像を取得し、その画像内に写った人間の人数を取得することで行う。

本方式の新規性は、別の場所に複数設置したデバイスごとに混雑率を計算し、その混雑率を統合することで全体の混雑率とする点である。学食のような入り組んだ構造を持つ建物内において空間全体を一つのデバイスでセンシングすることは難しい。そのため、デバイスを複数設置し、それぞれの場所で個別に混雑率を計算する。さらに、各設置場所の混雑率を統合して学食全体の混雑率とする。実空間のセンシングとその場での計算処理を行うことが可能なエッジデバイスがあれば、混雑率を推定することが可能となり、汎用的に導入できる。

#### 3.1 システム構成

図 1 は、個別のエッジデバイスが混雑率を導き出してからデータベースへと格納されるまでの流れを示したものである。

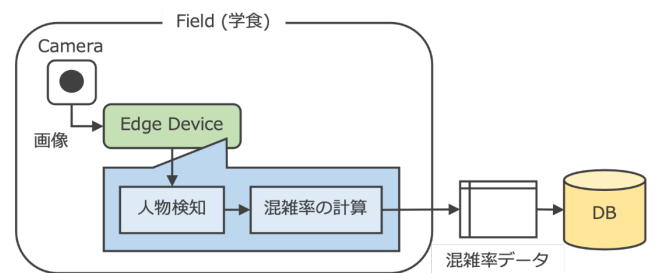


図 1. 混雑率収集フロー

Raspberry Pi に Web カメラを接続し、継続的に人数のカウントを行い、取得した人数のデータから混雑率を計算する。混雑率の計算は、撮影された人数を各設置場所(エリア)に設定した定員で割ることで計算する[12]。各エリアで取得したデータはデータベースに個別に格納される。図 2 はシステムの全体像を示したものである。

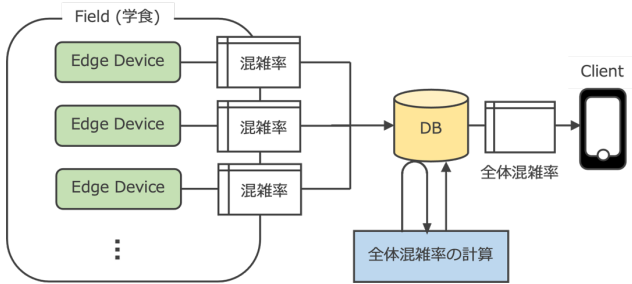


図 2. システムの全体像

データベースに集められた各エリアのデータを統合し、全体の混雑率を計算する。最終的に混雑率のデータは、学食の利用者が閲覧できるように、データ提供用のアプリケーションを実装する。

### 3.2 デバイスの設置方法

本節では、エッジデバイスの設置方法を示す。図 3 は、本学の学食の構造とエッジデバイスの設置箇所を表したものである。

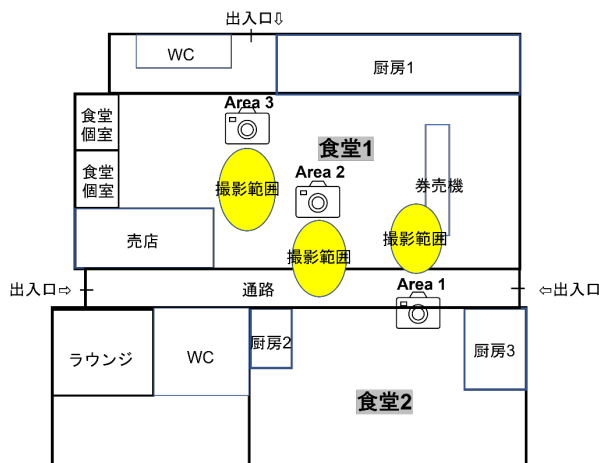


図 3. 学食全体図

本学の学食は、図 3 から分かる通り、通路を中心に大きく分けて、食堂 1 と食堂 2 の 2 つのエリアに分割できる。食堂 1, 2 ともにピーク時間対には出入口や通路、売店、券売機付近など、人の往来が多い場所での混雑が目立つ。これらの地点は、混雑のピーク時間帯とそうではない時間帯で人流が大きく変動するため、混雑率推定の特徴が大きい場所と仮定する。エッジデバイスはこのような人流が大きく変動する箇所に設置する。これにより、安価な Web カメラであっても正確に混雑データが取得できると予測する。

混雑率の計算方法には、鉄道の混雑率の計算方法をそのまま利用する。鉄道の混雑率は「 $\text{混雑率} = \frac{\text{輸送人員}}{\text{輸送力}}$ 」で算出される[12]。この数値が 100% だった場合、人数が定員の範囲内に収まり、全員が居場所を確保できる状態ということを示す。数値が 100% を超えるごとに混雑している状態となり、混雑率 200% であれば、圧迫感があり、身動きが難しい状態を指している。本方式では、この鉄道の混雑率の計算方法を応用し、「 $\text{混雑率} = \frac{\text{エッジデバイスが認識した人数}}{\text{エリア席数}}$ 」で混雑率を算出する。

### 3.3 エリアごとの定員の設定

本方式において重要なのはエリアごとの定員の設定である。エッジデバイスが認識した人数をエリア席数で割った値を混雑率とするため、この「席数」が各エリアに設定される定員である。本学の学食の座席数は、全体で 1256 席あり、図 3 の食堂 1 が 783 席、食堂 2 が 442 席、その他の通路に 32 席となっているが Web カメラの性能および採用する画像認識モデルの精度を考慮した上で、エリアを区切って定員となる席数を設定する必要がある。本方式で利用した Web カメラの技術仕様は、対角視野が 78 度、解像度が 1080p のものを使用している。

今回は実験エリアが食堂 1 のみとなるため、図 3 の円で囲んだ撮影範囲がデバイスの設置箇所となっている。各エリアは混雑時に人流が増える位置に設置している。Area 1 は券売機付近の通路、Area 2 は食堂 1 の中央にあたる箇所、Area 3 は裏の出入口付近に設置している。採用した Web カメラの仕様を考慮し、人流の変動が大きい箇所を網羅的に撮影するためには少なくとも 3 台のデバイスが必要である。

### 3.4 画像認識によるデータの取得

各エリアに設置されたデバイスには Web カメラが接続されており、これが定期的に画像の撮影を行う。取得した画像に画像認識を適用することで、写った人数をカウントする。画像認識のモデルについては、人数が正確に取得できればよいので、任意の方式を採用可能である。本方式では Google 製の画像認識 API (Application Programming Interface) である Vision API を採用している。

各エリアに設置されたデバイスは、図 2 で示したように、それぞれが独自に画像の取得から人数のカウント、混雑率の計算、データベースへのデータ格納を行う。

### 3.5 全体混雑率の計算

それぞれのエッジデバイスから集められた混雑率のデータを統合することで学食の「全体混雑率」を計算する。今回は、食堂 1 のみで実験を行うため「全体混雑率」は食堂 1 のみを指すものとする。全体混雑率の計算は、各エッジデバイスが計算した混雑率の和をエッジデバイスの数で割ったものとする。全体混雑率のデータは学食利用者が閲覧可能にするためデータベースで保持する。最終的に、エリアごとの混雑率と全体の混雑率をそれぞれクライアントのアプリケーションから閲覧できるようにする。

## 4. 実証実験

本方式の有用性・実現可能性を示すため、実際に大学の学食にデバイスを設置し混雑率が取得できるかどうか実験を行う。実験では昼食時の学食において図 3 で示した 3 か所にエッジデバイスを設置する。エリア分割方法は Web カメラの性能や各場所の混雑状況によって変わるが、本実験では、昼食時のような学食利用のピーク時間帯において、厨房や売店、出入口から近い場所を選択した。Web カメラの性能および画像認識の精度を考慮すると、学食全体 (食堂 1, 2) で少なくとも 6 台のエッジデバイスを設置する必要がある。これ以上少ないと視野角の問題から十分なエリアを撮影することが困難となる。本実験では、初期評価

を行うために、食堂 1 を対象に、3 つのエッジデバイスを設置し、実験を行った。

#### 4.1 実験 1: エリアごとの混雑率の計算

エッジデバイスの設置箇所となっている各エリアで正確にデバイスからデータが取れるかどうかの実験を行う。正確なデータが取れるかどうかは学食の構造を考慮したデバイスの設置方法に依存する。今回は、図 3 で示した構造における設置方法が最適であると考えられる。

本方式では各エリアの混雑率の計算には独自で定員を設ける必要がある。本実験では、エッジデバイスや設置場所の環境を考慮し、それぞれ定員を 10 人と設定した。この定員は、設置環境などによって変化する。

図 3 で示したデバイス設置エリア Area 1 は通路の人流が分かる場所、Area 2 は食堂 1 の中心、Area 3 は出入口から近い場所の人数の変動が大きいエリアである。本実験の結果を表 1 に示す。

表 1. 10 分ごとの混雑率の推移(%)

計測時刻	Area 1	Area 2	Area 3
14:30	0	100	80
14:40	0	70	80
14:50	10	100	50
15:00	0	60	70
15:10	0	100	70
15:20	0	100	80
15:30	0	90	50

表 1 は、実験を行った時間帯の中で最も混雑した時間帯の混雑率の推移を示したものである。次に、表 2 は同じ時間帯にエリアごとに人間の目視によって人数をカウントし混雑率を計算したものである。

表 2. 目視による混雑率の推移(%)

計測時刻	Area 1	Area 2	Area 3
14:30	60	80	60
14:40	50	80	80
14:50	40	100	50
15:00	40	60	70
15:10	20	100	70
15:20	20	80	80
15:30	20	90	40

表 2 で示したデータを正解のデータとして、各デバイスが計算したデータとの比較を行う。

Area 2,3 に比べて Area 1 では混雑率が正確に測れていないことがわかる。Area 1 はちょうど飲食店からの行列がで

きる位置であるが、人との距離近すぎて正確なデータが取得できなかった。通路や行列近くなどの人通りが多い場所にデバイスを設置する際に、Web カメラや画像認識の精度が考慮できていなかったことがわかる。今回の実験環境においては、より正確なデータを収集するためには、エッジデバイスを通路から数m離れたところに設置する必要があることが分かった。Area 1 での設置方法の問題は、Web カメラから 1m 程度の距離しかない場所で人が検出しにくいことにある。Web カメラの性能上、近距離の撮影は、ブレが生じ、上手く人物検出できないことが分かった。通路に設置した Area 1 は、目視では 14:30 頃厨房 3 に並ぶ列が確認できていて、2~4 人程度いたにもかかわらず、0 人や 1 人のデータが続いた。つまり、歩くなどの動作が大きい場所や、人が近距離に接近してしまう場所は、エッジデバイスの設置箇所として適しているとは考えにくい。一方で、Area 1 より着席している人を検出できる場所に設置した Area 2 と Area 3 は、比較的正確に人数を検出できていた。よって、安価な Web カメラを用いる場合には、人が歩いているなど動きの多い場所よりも、着席した状態で人を検出しやすい方向に向けて設置することことが望ましい。

本方式では、”エッジデバイスが認識した人数÷席数(10 席)”で混雑率を計算する。鉄道の混雑率に則り、席数と同等の数の人がいれば混雑率は 100% となり、2 倍の人数が認識されれば、200% で混雑率が非常に高い状態と言える。

#### 4.2 実験 2: 全体混雑率の計算

エリアごとの混雑率を統合して全体混雑率を計算する。全体混雑率の計算は「各エッジデバイスが計算した混雑率の和÷デバイス数」で計算する。表 3 は、全体混雑率を示したもので、実験 1 と同様の時間帯で比較する。

表 3. 全体混雑率(%)

計測時刻	3 つのカメラの平均	全体混雑率	目視
14:30	60	25	80
14:40	50	40	80
14:50	53	32.5	60
15:00	43	35	30
15:10	56	40	40
15:20	60	42.5	60
15:30	46	40	40

3 つのカメラの平均と目視で確認したものは、おおそ同程度の混雑率を表していた。ただ、全体混雑率は、状況が異なることや Area 1 の混雑率が十分に取得できていないことから、3 つのカメラの平均と目視の結果より、少ない計測結果となった。

#### 4.3 考察

実際に学食において実証実験を行った結果、以下の考察が得られた。まず、実証実験では、より汎用的な方式を提案するために、Web カメラや Raspberry Pi など安価で手に入りやすい機器を使用した。しかし、エッジデバイスの性

能や画角、台数の制限から、さらに様々な工夫を行う必要があることが分かった。実証実験では、3 台のエッジデバイスを券売機や売店前に設置し、各エリアの混雑率データを収集した。学食全体が画角に収まるようにして混雑率を算出するためには、高性能なカメラを用いる必要がある。本稿で示した性能の Web カメラであれば、食堂 1, 2 合わせて少なくとも 12 台ほどのデバイスとカメラが必要となる。しかし、12 台のデバイスを学食に設置することは、予算や学食利用の制約があるため難しい。

本方式では、導入のしやすさ、汎用性を重視した、複数のエッジデバイスを用いて混雑率を計測する方法を提案した。実験により、個別のエリアごとの混雑度と全体の混雑度の計算が行えることがわかった。ただし、正確にデータを取得するためには建物の構造を理解したデバイスの設置や定員の設定が必須である。今回の実験では、3 台のエッジデバイスの混雑率の母数を 10 人と定義し、実験を行ったが、座席数や人流に合わせて調整が必要である。

## 5. おわりに

本稿では、感染症対策や学食利用時の UX 向上を目的として、複数のエッジデバイスを用いた混雑率可視化のためのデータ統合方式を提案した。本方式の有用性・実現可能性を確認するために、大学の学食を実証実験の場として、複数のエッジデバイスを設置し、それぞれのエリアごとに混雑率を計算し、各エリアの混雑率を統合して、全体の混雑率を導き出した。学食内でも場所によって混雑率が異なり、これらを統合することで学食全体の混雑率が計算できることが分かった。また、安価な Web カメラと IoT デバイスを用いて最小限のコストで実現できる汎用的なシステムとなっていたため、他大学や他の施設等でも計測できる汎用的な仕組みを提案した。

今後は、コロナ禍において 3 密(密閉・密集・密接)を避け、より安全で快適な環境をつくるという目的と、感染症対策の有無にかかわらず、慢性的に混雑している学食において、いかに快適に過ごす方法を提供するかという 2 つの目標を達成するために、様々な検討を行う。デバイスの設置個所の決定方針や、エリアごとに混雑率を計算する際の、定員の設定方法などを定義することで、より汎用的なシステムとして運用できるようにする必要がある。また、可視化したエリアごとの混雑率と全体の混雑率をそのまま表示するだけでなく、学食利用者にとって、有益な混雑率データの提供方法を検討する。

## 謝辞

この研究は、駒澤大学総合情報センターの協力のもと実証実験プロジェクトとして遂行されたものです。プロジェクトの管理、予算の調整、実験準備などに尽力頂いた駒澤大学総合情報センター武田享也氏に深く感謝申し上げます。また、本稿についての有益なコメントを頂いた駒澤大学グローバル・メディア・スタディーズ学部服部哲教授にも感謝いたします。

## 参考文献

[1] Keita Nakayam, Akira Onoue, Maiya Hori, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taguchim, "Movement Recommendation System Based on Multi-Spot Congestion Analytics", MDPI, March 2022.

- [2] 松田 裕貴, 田谷 瑛悟, 諏訪博彦, 安本 慶一, "BLECE : BLE を用いた公共施設・飲食店の混雑度推定手法, 社団法人 電子情報通信学会, (2022 5).
- [3] 愛川知宏, "CO2 濃度の可視化に基づく安心・安全な対面学習 / 試験環境提供の試み", 情報処理学会研究報告, (2021, 5).
- [4] 小林佑太郎, 橋本 啓吾, 谷口 義明, 越智 洋司, 井口 信和, "大学キャンパス内混雑度モニタリングシステムの実装と評価", 2021 年度情報処理学会関西支部大会, (2021).
- [5] 松原 克弥, 林 友佳, 隼石 卓耶, 川谷 知寛, "大学における COVID-19 対策としての IT を用いた行動履歴記録支援", 情報処理学会論文誌, (2022, 5).
- [6] 早川佳克, 平山雅之, 石川敏揮, 杉本竜之介, "混雑回避を目的とした閉空間ナビゲーションシステムのための人数計測手法の検討, 組み込みシステムシンポジウム, (2013, 10).
- [7] 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" 情報処理学会第 82 回全国大会(2020).
- [8] 厚生労働省, "「新しい生活様式」の実践例", [https://www.nhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431\\_newlifestyle.html](https://www.nhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_newlifestyle.html), 2022/6/20 閲覧.
- [9] 東京都 新型コロナウイルス感染症対策サイト, "都内の感染動向", <https://stopcovid19.metro.tokyo.lg.jp/>, 2022/6/20 閲覧.
- [10] 文部科学省 "令和 3 年度の大学などにおける授業の実施と新型コロナウイルス感染症への対策等に関わる留意事項について(周知)", [https://www.mext.go.jp/content/20210305-mxt\\_kouhou01-000004520-02.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210305-mxt_kouhou01-000004520-02.pdf), 2022/6/20 閲覧.
- [11] 総務省, "「カメラ画像利活用ガイドブック ver3.0」の公表", [https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban18\\_01000152.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban18_01000152.html), 2022/6/20 閲覧.
- [12] 一般社団法人 日本民営鉄道協会, "混雑率", <https://www.mintetsu.or.jp/knowledge/term/16370.html#:~:text=%22%E8%BC%B8%E9%80%81%E4%BA%BA%E5%93%A1%C3%B7%E8%BC%B8%E9%80%81%E5%8A%9B,%E6%AF%8E%E5%B9%B4%E5%85%AC%E8%A1%A8%E3%81%95%E3%82%8C%E3%81%A6%E3%81%84%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>, 2022/6/20 閲覧.