

# 通行量センサを用いた飲食店用不動産賃料推定システムの提案

Proposition of real estate rent estimation system for restaurant by using traffic sensor

荒川 周造<sup>1</sup> 諏訪 博彦<sup>1</sup> 小川 祐樹<sup>2</sup> 荒川 豊<sup>1</sup> 安本 慶一<sup>1</sup>

Shuzo Arakawa<sup>1</sup>, Hirohiko Suwa<sup>1</sup>, Yuki Ogawa<sup>2</sup>, Yutaka Arakawa<sup>1</sup>, Keiichi Yasumoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

<sup>1</sup>Nara Institute of Science and Technology, Graduate School of Information Science

<sup>2</sup>立命館大学

<sup>2</sup>Ritsumeikan University

**Abstract:** In this paper, we describe a real estate rent estimation system for restaurant. The traditional real estate market in Japan, the decision of rents for restaurant has been made by veteran salespeople based on their tacit knowledge that made from cultivated intuition and experience. However, the conversion to explicit knowledge (expression) has become an issue when carrying on into other salespeople. Therefore, the evidence-based rent estimation system is needed to assist salespeople. We proposed the system that considered static information on locational conditions and dynamic information such as traffic around the store. We have developed a sensing system for obtaining the sense of traffic volume.

**Keyword:** Sensing, Machine learning, Data mining

## 1. はじめに

飲食店用不動産の賃料決定は、従来、ベテラン営業マンが長い経験により培った勘や経験からなる暗黙知に基いてなされてきた。一方で、他の営業マンへの暗黙知の継承が課題となっており、経験の浅い新人営業マンにおいてもベテラン営業マンと同様に賃料決定できることが望ましい。SECI モデル[1]によれば、この課題は、暗黙知を表出化し、形式知にしさらに連結化することで、概念として伝承が可能となる。そこで、本研究ではこれまで具体的な根拠が無い暗黙知を形式知化することにより、根拠に基づく賃料推定システムを構築することを目的とする。

これまで多くの賃料推定に関する研究では、物件の立地条件や周囲の住環境といった静的な情報を機械学習の入力としているが、それらの多くは個人向けマンションなどの住宅物件を対象とするものである。本研究で取り扱うのは、飲食店用不動産物件に限定されており、その特殊性から、店舗前の通行量や店舗の雰囲気といった、個人向け物件では考慮されてこなかった動的情報も重要なパラメータである。筆者らがこれまで取り組んできた賃料推定では、通行量のパラメータは営業マンの感覚を元に入力されている。こうした暗黙知を根拠あるものにするため、

通行量センサを用いたセンシングシステムを提案する。通行量を感覚値ではなく定量値として入力することによって推定精度の向上が期待される。

提案する通行量センシングシステムは、実際の物件に設置することを念頭に、目につきにくい小型なもので、かつ低消費電力であることが求められている。従来のセンサの多くは、電源を必要としており、設置場所が制限されてきた。また、ソーラーパネル付きセンサもあるが、十分な電力量を得るには大型になるなどの問題があった。そこで、市販のエナジーハーベスティング無線モジュールをベースにセンサを開発することで、小型・低消費電力なシステムの実現を可能にしている。また、センサ本体とデータ収集端末が分離されており設置の自由度は高いといえる。さらには、収集したデータをクラウド上にアップロードすることによって、遠隔地でもデータ収集を容易にすることが可能である。

以上を踏まえ、本研究における具体的な課題としては、①データに基づく賃料推定、②通行量などの動的情報の取得が挙げられる。また、概念的な課題としては、暗黙知の形式知化（営業パッケージ化）に取り組むことが挙げられる。

以下に本稿の構成について述べる。まず、第2章では本研究に関連する研究や取り組みについて説明

し、本研究の位置づけを明確にする。第3章では、本研究で取り扱う賃料推定システムについて述べる。第4章では、店舗の動的情報を取得するため試みとして開発した通行量センシングシステムについて説明する。第5章では、システムの有用性を確認するための実験について説明し、第6章はまとめとする。

## 2. 関連研究

本研究に関連する研究として、具体的な課題である賃料推定、通行量センシング、そして概念的な課題である暗黙知の形式知化に関する取り組みが挙げられる。以下にそれぞれについて説明する。

### 2.1. 不動産賃料推定に関する取り組み

データに基づく賃料推定に関する取り組みとして、Victor[2]らは決定木とニューラルネットワークに基づく不動産価格推定を実施している。この研究では、米国キング郡を対象とし、推定の外れ値を取り除くために取引価格の上位・下位5%の物件を除外して推定を行い、不動産価格帯ごとに分割して推定誤差を評価している。その結果、ニューラルネットワークを用いた方が良好な結果が得られることを明らかにしている。

また、Chih-Hung[3]らは、台湾での住宅選定に関わりの深い風水に着目し、風水を考慮した不動産価格推定に取り組んでいる。多くの不動産価格推定に用いられている建物そのものの属性に加え、風水におけるタブーを学習データセットに設定している。彼らはバックプロパゲーションニューラルネットワーク (BPN) とファジーニューラルネットワーク (FNN)、そして独自に開発したハイブリッド遺伝ベースのサポートベクター回帰 (HGA-SVR) からなる複数のアルゴリズムで推定した結果、いずれの手法においても風水のタブーを考慮した方がより良好な推定結果となることを示している。また、それぞれのアルゴリズムの性能を評価し、HGA-SVR、FNN、BPNの順で優れていることを明らかにしており、最も優れたHGA-SVRの平均絶対パーセント誤差 (MAPE) は4.79%を示している。さらに、最も価格推定に影響のある属性をBPNを用いて求めており、それは土地の大きさであった。また、風水におけるタブーでは、トイレ、窓、家の外観、ドアの順に住宅価格に影響していることを明らかにしている。

さらに、Vincenza[4]らは、ターラント市 (イタリア) における不動産価格に、交通システムと地域ごとの環境の質が深く関係していると考え、人工ニューラルネットワーク (ANN) を用いて不動産価格推定を行っている。データセットには、立地条件や建

物の構造に加え、駅やバス停までの距離などの交通に関する属性や、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO、PM<sub>10</sub>のそれぞれの値と最大値といった環境汚染に関する属性が含まれている。この研究でもデータセットの各属性の感度分析を行った結果、不動産価格に最も影響している要因として、ビーチへの近さや、ガレージおよびテラスの有無が求められた。環境汚染に関する項目で最も重要なものとしては、SO<sub>2</sub>の最大値が挙げられ、全42ある属性の内の8番目であった。また、交通に関する属性も15番目付近に位置しており、影響があることを示している。さらには、環境汚染に関する属性を除いて学習したところ、大きな精度低下は見られなかったことから、不動産物件から工業地帯への距離を用いることで、環境汚染の属性を代用できることを明らかにしている。

以上3件の関連研究では、それぞれの地域に特化した手法を採用している点で共通している。地域ごとに賃料決定に影響のある属性の違いが見られるため、どの属性が重要であるかを吟味する必要がある。これらの研究は全て海外を対象とした研究であったが、近年では国内においても不動産賃料推定をサービスとして提供している事例も存在している。例えば、株式会社リブセンスでは、未来型不動産サービス「IESHIL (イエシル)」[5]において、ビッグデータを活用した不動産物件のリアルタイム査定を実施しており、売買時の不動産価格や価格推移、推定賃料を提供している。また、ソニー不動産株式会社も、ソニー株式会社 R&D の持つディープラーニング (深層学習) 技術と、ソニー不動産が有する不動産査定ノウハウや不動産取引特有の知識を組合せた「不動産価格推定エンジン」[6]を開発し、不動産の成約価格を推定している。しかしながら、前述したいずれの先行研究においても、一戸建て、マンション、アパートといった住宅用不動産物件を取り扱っており、飲食店用不動産物件を扱う本研究とは対象とするデータ群が異なっている。

### 2.2. 通行量センシングに関する取り組み

次に通行量センシングに関連する研究について述べる。多くの先行研究では、通行量を測定する手法として、カメラを用いた取り組みがなされている。例として Calro[7]らは、ステレオカメラを用いた人数カウントシステムを構築している。また、Zeng[8]らは、複数のカメラを用いてシステムを提案している。しかしながら、カメラを用いたこれらのシステムの場合、設置やプライバシー面でのハードルが高く、飲食店用不動産物件には適していない。

そこで、センサを用いたアプローチが注目されている。Wahi[9]らは、PIR センサを用いてオフィス内

の人数を推定する手法について提案し、シミュレーションを用いてアルゴリズムの性能を評価している。PIR センサを用いるメリットとして、センサの単価がカメラと比較して安価であり、プライバシー面の問題にも配慮できていることが挙げられる。この研究においても、プロトタイプとして、エナジーハーベストセンサを用いたセンサノードを作成し、センシングシステムの検証を実施しており、本研究との関連性は高いといえる。また、Fang[10]らも複数のPIR センサからの連続したパルス出力を元に、サポートベクターマシン (SVM) を用いた人数カウント手法を提案している。

### 2.3. 暗黙知の形式知化

最後に暗黙知を形式知に変換する試みについて述べる。暗黙知と形式知を相互に変換するプロセスとしては、野中らが SECI モデルを提案している。モデルの概要を Fig.1 に示す。SECI モデルは、①共同化 (暗黙知→暗黙知) →②表出化 (暗黙知→形式知) →③連結化 (形式知→形式知) →④内面化 (形式知→暗黙知) →①共同化といったサイクルを繰り返すことによって、知識創造をしていくプロセスモデルである。本研究で取り組むのは②表出化であり、センシングとデータマイニングによって営業パッケージ化を実施する。また、具体的な例として、河村[11]らは申込顧客推薦システムを提案している。この研究は、飲食店向け不動産営業支援のために行われており、顧客が不動産の検索から内見に移ったり、内見から申込に移ることを促すための電話営業を対象としている。これまでは営業マンの勘と経験によって、数ある顧客リストの中から成約に至りやすい顧客を抽出し、電話をかけていたのに対し、経験の浅い新人営業マンではどの顧客に電話をかければ効果的なのかがわからないといった問題があった。そこで、アンケート結果、物件情報、顧客情報の3つのクラスを説明変数に機械学習を行うことで、49.2%の精度で顧客推薦を行うシステムを構築している。

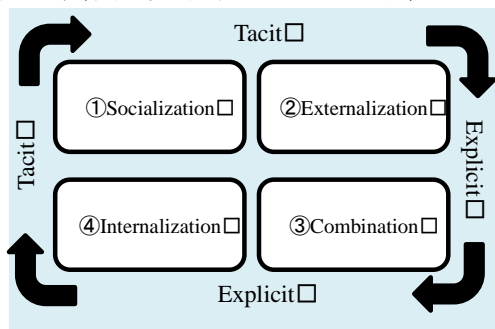


Fig.1 SECI model

以上を踏まえ、本研究の位置づけとしては、多くの不動産価格推定ではこれまで取り組まれてこなか

った飲食店用不動産に特化している点に特徴がある。また、それに伴いシステム面では実際の物件に設置することに配慮した構成をしており、プライバシー面の問題に対する配慮がなされている。最後に、暗黙知から形式知に表出化するに伴い、センシングによって得られた店舗の動的情報を利用している点で先行研究とは異なると言える。

### 3. 感覚データに基づく賃料推定

感覚データに基づく賃料推定として、これまで実際に2名の営業マンに取り扱い物件の通行量の感覚値を提供していただき、重回帰分析による推定を実施している。データは1~5の5段階であり、2名分の平均値を通行量として使用している。賃料推定に用いる指標としては、通行量の他に、駅推定賃料、視認性×通行量、居抜きフラグ、最寄り駅徒歩時間、階層、坪数が挙げられる。ここで、駅推定賃料は駅ごとの平均坪単価である。また、視認性×通行量は、5段階で評価した物件の視認性と、通行量の積であり、通行量を入れると精度が上がることを確認されている。居抜きは、机や椅子、カウンター、ガスレンジ、冷蔵庫などの什器が付帯した物件を示しており、階層は物件が建物の何階にあるかを示している。したがって、推定賃料は式(1)によって表される。

$$\begin{aligned} \text{推定賃料} = & 137440.248 \text{ (定数)} \\ & + 2.080 \times \text{駅推定賃料} \times \text{坪数} \\ & + 8504.796 \times (\text{視認性} \times \text{通行量}) \\ & - 23445.154 \times \text{居抜きフラグ} \\ & - 6177.402 \times \text{駅徒歩時間} \\ & - 47927.537 \times \text{階層} \\ & - 150.755 \times \text{坪数} \end{aligned} \quad (1)$$

さらに、本手法を用いて求めた結果を Fig.2 に示す。グラフは横軸が実賃料、縦軸が推定賃料であり、グラフ内の線は±30%の範囲を示している。

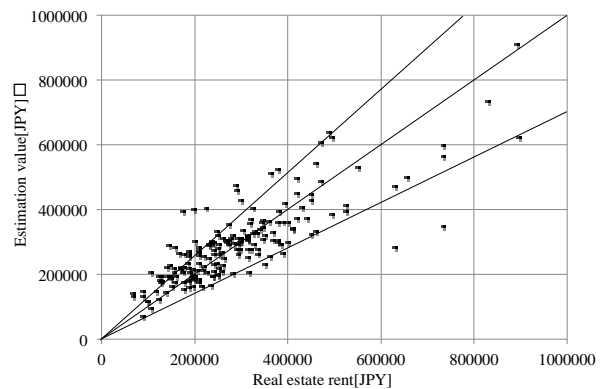


Fig.2 Rent estimation result

### 4. 通行量センシングシステムの提案

店舗に関する動的情報である通行量などのセンシングを実現するために構築した提案システムの概要を Fig.2 に示す. 本システムは主にエネルギーハーベスティング無線センサと, ゲートウェイの役割を持つ無線受信機によって構成される. エネルギーハーベスティング無線センサを活用する利点として, 半永久的なセンシングを可能としており, なおかつ配線が不要であることから設置の自由度が高いといった特長が挙げられる. また, 通行量に限らず, 店舗の雰囲気などのあらゆる情報をセンシング可能にするため, EnOcean 規格に基づく汎用性のあるシステムとしている. また, センサとゲートウェイを分離することによって, データの蓄積やデータベースへの送信を容易に実現可能にしている. 以下に, システムの構成要素ごとの詳細について説明する.

#### 4.1. 通行量センサ

開発した通行量センサの外観を Fig.3 に示す. センサは設置しても目立ちにくいように小型のパッケージにしており, ケース込の外形 (全長×全幅×全高) は 81×21×45mm である. ベースとしたエネルギーハーベスティング無線モジュールは EnOcean 社の温度センサ STM431J であり, Fig.4 に示すように独自に開発した拡張ボードに PIR センサを搭載したものと組み合わせることで通行量センシングを実現可能にしている. この温度センサには, ソーラパネルと蓄電用キャパシタ, 無線モジュールが搭載されており, ファームウェアを書き換えることによって, より汎用的な使用が可能となっている. EnOcean 規格で使用している無線周波数帯域は 928.35MHz であり, 一般に広く使用されている無線 LAN や Bluetooth, ZigBee などが使用している 2.4GHz 帯と比較して, 回折しやすく干渉しにくいことから, 実環境に強い規格であるといえる. また, 通信可能距離は廊下見通し 30m, 鉄筋コンクリート壁越し 10m であり, 飲食店用不動産物件に設置するにあたり十分な距離を確保している. さらに, 夜間の照度が不十分な環境下でも永続的なセンシングを実現可能にするため, バックアップ用コイン電池を搭載している. 使用している PIR センサは Panasonic 社の EKMB1101112 であり, 低消費電流駆動 (最小 1 $\mu$ A) を特長としており, エネルギーハーベスティングの実現に貢献している. 検出可能距離は 5m であり, 検出範囲は縦横方向それぞれ $\pm 45$  度程度である. 今回は不必要な動体検出を防ぐことを目的に, センサ周辺をアクリル製のパイプで覆うことで検出範囲を制限している.

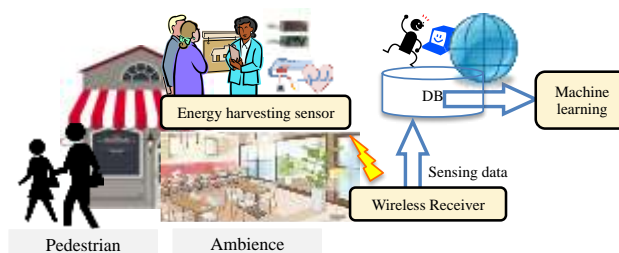


Fig.2 Proposed sensing system



Fig.3 Overview of the traffical sensor



Fig.4 Original breakout board with EnOcean sensor

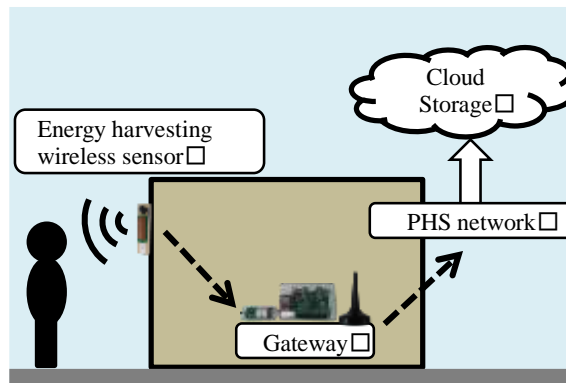


Fig.5 Data uploading mechanism

#### 4.2. ゲートウェイ

Fig.5 にゲートウェイによるデータ送信の概要を示す. ゲートウェイの役割を持つ無線受信機は, 小型コンピュータの RaspberryPi2 modelB に, EnOcean 受信モジュール USB400J と ABiT 社の PHS モジュールを接続することで構成している. センサから受信したデータは内蔵マイクロ SD カードに CSV 形式で記録される. また, 外部からのデータ参照を容易にできるようにするため, クラウドストレージである Dropbox に毎朝午前 3 時に自動的にアップロードす

Table 1 Recording data format

date time	type	device	RSSI	length	data				
2016-02-08 15:50:52.360298	0x0a	0x0401550b	92	4	0x00	0x00	0xc7	0x08	...
2016-02-08 15:50:52.361641	0x0a	0x0401550b	92	4	0x00	0x00	0xc6	0x08	...
2016-02-08 15:50:52.362595	0x0a	0x0401550b	92	4	0x00	0x00	0xc6	0x08	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

るように構成している。

また、ゲートウェイの電源供給は USB 給電によって行うため、店舗にある商用電源の他に、短時間ならばモバイルバッテリーを用いた運用も可能である。

### 4.3. 記録データ形式

ゲートウェイで記録されるデータは Table 1 に示すような CSV 形式のファイルである。左から受診時のタイムスタンプ、パケット種別、デバイス ID、RSSI 値 [dBm]、データ長、データとなる。ゲートウェイ上では受信モジュールで受信された全ての EnOcean 機器の電文を、前述した形式に変換、記録している。今回製作した通行量センサに限らず、スイッチや温湿度センサなどのあらゆる機器の情報を取得可能にしている。したがって、ゲートウェイを一度店舗に設置した後でも、ソフトウェアの変更なしにセンサ類の追加をすることが可能である。

### 5. 通行量センシング実験

提案システムの有用性を確認するために、営業マンの感覚に基づく通行量と、実際に通行量センサで取得した通行量の比較を行う。本研究で取り扱うのは東京都内の飲食店用不動産物件であり、Fig.6 では、Open Street Map[12]に営業マンによる感覚データ(平均値)をプロットしている。今回は、これらの物件のうち、値の異なる4つの物件を抽出し、通行量センシングを実施している。ここで抽出した地点は、それぞれ A (1.5), B (2), C (3), D(4)とし、括弧内の値は感覚による通行量の平均値を示している。地点 A,B の前の道路は歩道と車道の区別がなく、地点 C,D は明確に分離されているといった特徴がある。実験は、2016年2月8日(月)の夕方から翌日昼まで実施しており、ここでは17時から13時までのセンサの反応回数を通行量のボリュームとして用いる。

実験によって得られた結果を Table 2 に示す。また、グラフに可視化した結果を Fig.7 に示す。グラフは地点 A, B, C, D それぞれにおけるセンサの反応回数を示しており、人の感覚に比例する形で増加していることがわかる。したがって、提案システムでは、



Fig.6 Property potentials on Open Street Map[12]

Table 2 The number of sensor counts

Property	17:00~ 23:59	0:00~ 13:00	Total
A (1.5)	58	145	203
B (2)	827	1526	2353
C (3)	2677	5375	8052
D (4)	4204	8612	12816

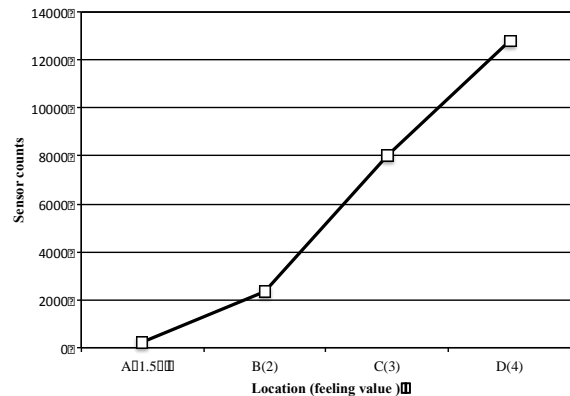


Fig.7 Comparison of sensing data and human feeling

通行量のボリューム感を取得できるポテンシャルがあることを示せた。また同時に、営業マンの感覚値であった通行量を根拠のあるデータとして形式化することができた。一方で、本実験によって測定した地点は4件に留まることから、さらに多くの地点において調査をする必要があるといえる。



## 6. おわりに

本研究では、飲食店用不動産の賃料推定システムにおいて、根拠のない暗黙知であった通行量のボリューム感を、形式知化するための通行量センシングシステムを提案した。システムの有用性を確認するために、通行量センシング実験を通じて調査を実施した。その結果、営業マンの感覚データに基づく通行量のボリューム感と、センサで測定して得られたボリューム感に相関があることを明らかにし、システムの有用性を確認すると共に、暗黙知であった通行量を根拠あるものにすることができた。

今後の課題としては、通行量センシングシステムの配備を進めてデータ収集を行い、根拠に基づく賃料推定システムを実現することが挙げられる。また、今回の実験を通じて、センシングシステムに更なる改良の余地があることも示唆されたため、今後も継続してシステムの改良・追加を実施する予定である。具体的には、実際の店舗への設置を進めるにあたり、システムの外観をより親しみやすいものにしていく必要性が示唆された。この問題に関しては、今回製作したエネルギーハーベスティングセンサとは別に、既存のセンサーライトなどに見立てたセンサを追加することで対応していく予定である。店舗や周囲の環境に合わせた選択肢を提示できれば、物件オーナー様の理解が得られやすくなり、設置をよりスムーズに実施できることが期待できる。また、ゲートウェイがセンサに比べて大きく、PHS モジュールのコストも高いため、より小型で低コストで実装できるように検討を進めていく。さらには、一般の方にもわかりやすい研究説明シートの作成も行い、装置設置の理解を得るために活用していく予定である。

## 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 15K12161 の助成を受けたものである。また、研究フィールドの提供にご協力いただいた株式会社 ABC 店舗の皆様には感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Nonaka, I., and Hirota, T.: The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. Oxford university press (1995)
- [2] Victor Gan, Vaishali Agarwal, Ben Kim: DATA MINING ANALYSIS AND PREDICTIONS OF REAL ESTATE PRICES, Issues in Information System, Volume 16, Issue IV, pp.30-36 (2015)

- [3] Chih-Hung Wu, Chi-Hua Li, I-Ching Fang, Chin-Chia Hsu, Wei-Ting Lin, Chia-Hsiang Wu: HYBRID GENETIC-BASED SUPPORT VECTOR REGRESSION WITH FENG SHUI THEORY FOR APPRAISING REAL ESTATE PRICE, 2009 First Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, pp.295-300 (2009)
- [4] Vincenza Chiarazzo, Leonardo Caggiani, Mario Marinelli, Michele Ottomanelli: A Neural Network based model for real estate price estimation considering environmental quality of property location, Transportation Research Procedia 3, pp.810-817 (2014)
- [5] 株式会社リブセンス ニュースリリース: リブセンス、新たに中古不動産売買領域へ参入 未来型不動産サービス「IESHIL(イエシル)」スタート ービッグデータ活用により中古不動産売買試乗の”可視化”と”活性化”を実現ー (2015年8月27日)  
[http://www.livesense.co.jp/news/n/2015/0827\\_01/attachment](http://www.livesense.co.jp/news/n/2015/0827_01/attachment)
- [6] ソニー株式会社 ニュースリリース: 業界最高水準の精度を実現した「不動産価格推定エンジン」を開発ーソニー不動産が Real Estate Tech (不動産支援テクノロジー) 領域で消費者意思決定支援のための新サービスを展開ー (2015年10月8日)  
<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201510/15-1008/>
- [7] Carlo Pane, Marco Gasparini, Andrea Prati, Giovanni Gualdi, Rita Cucchiara : A People Counting System for Business Analytics, 2013 10th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, pp.135-140 (2013)
- [8] MA Hudong, Zeng Chengbin, Ling Charles X. : A Reliable People Counting System via Multiple Cameras, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST) Volume:3 Issue: 2 , pp.31:1-31:22 (2012)
- [9] F. Wahl, M. Milenkovic, O. Amft : A distributed PIR-based approach for estimating people count in office environments ,2012 IEEE 15th International Conference on Computational Science and Engineering, pp.640-647 (2012)
- [10] Fang Zhu, Xinwei Yang, Junhua Gu, Ruixia Yang : A New Method for People-Counting Based on Support Vector Machine, 2009 Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, pp.342-345 (2009)
- [11] 河村一輝, 諏訪博彦, 荒川豊, 安本慶一 : 飲食店向け不動産営業を支援する申し込み顧客推薦手法の提案, 情報処理学会研究報告, DICOMO2015, pp.588-593 (2015)
- [12] Leaflet | Map data © OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA, Imagery © Mapbox