

【緊急報告】あの日秋葉原では何が起きていたか

東日本大震災時の秋葉原における人流解析

大西 正輝[†] 依田 育士[†] 山下 倫央[†] 野田五十樹[†]

[†] 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター

つくば市梅園 1-1-1 中央第 2

E-mail: †onishi@ni.aist.go.jp

あらまし 筆者らは商業施設や公共空間において通常時のマーケティング支援や災害時の避難誘導支援を目的として、実測とシミュレーションの観点から人の流れ（人流）に関する研究を続けている。本稿では、筆者らが実証実験として人流を計測し続けている秋葉原において、東日本大震災時やその前後においてどのような変化が観測されたかを明らかにする。

キーワード 動線抽出，人流比較，人流可視化，秋葉原，東日本大震災

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分 18 秒，東北地方太平洋沖を震源とするマグニチュード 9.0 規模の大地震が東日本を襲った。通称，東日本大震災と呼ばれるこの地震は，宮城県栗原市の震度 7 を最高として，東北から北関東の広い範囲で震度 6 強，6 弱が観測された。さらに，大津波警報が北海道の太平洋沿岸から茨城県の沿岸までの広い範囲に発令され，20 メートルを超える大津波は東北地方太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。

東京都内においても，秋葉原駅のある千代田区では震度 5 強が観測され，鉄道の運休や道路渋滞などが相次ぎ，交通網が麻痺した。4 月 9 日付けの朝日新聞によると推定 300 万人以上の人が帰宅困難となり，各地の避難所やターミナル駅などで一夜を明かしたという。

筆者らの研究チームでは災害時の一人ひとりの人の動きをコンピュータで再現することによって歩行者や群集の流れを予測する避難シミュレーションに関する研究 [1], [2] を行っている。このようなシミュレーション技術は計算機性能の向上やアルゴリズムの改良によって大規模な範囲での人流の予測や建物の安全検証などに利用されるようになってきている。中でも筆者らが開発してきた避難シミュレータ NetMAS [2] (図 1) は避難時間の見積りや効率的な避難方法の探索などに役立つことから，災害時の被害を小さくするための重要な研究課題に位置付けられており，スマトラ島における津波発生時の避難計画の評価にも利用されている [3]。

一方で，シミュレーションだけではなく，実環境において人を抽出・追跡する研究も盛んに行われている [4], [5]。これらの研究が切り開く応用分野としては災害時の避難誘導支援や駅・空港などの公共空間での安全管理 [6], [7]，商業施設での集客性などの顧客行動解析 [8], [9]，病院・

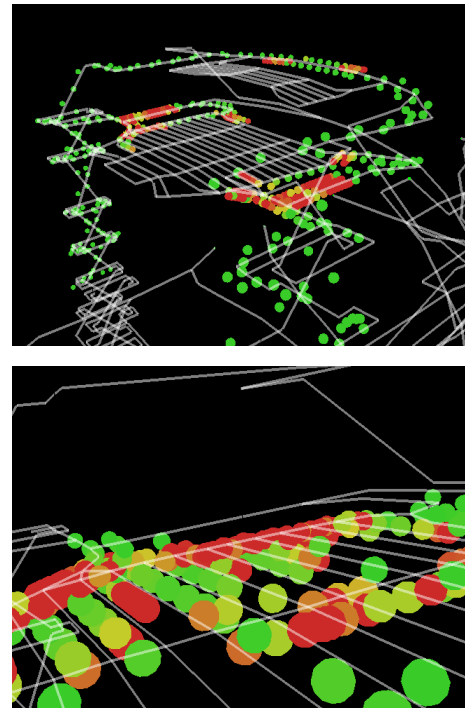


図 1 避難シミュレータ NetMAS
Fig. 1 Evacuation simulator NetMAS

介護施設での徘徊・異常検出 [10] などが考えられている。

筆者らはステレオ画像処理によって人を追跡する研究 [5] を行っており，様々な実証フィールドに展開してデータを収集している。災害時の避難誘導支援を目的とした研究では北九州芸術劇場において 600 人規模の避難訓練を行い，ステレオカメラや RFID を用いて避難動線を獲得することで誘導効果などを検証してきた [11]。また，これらの動線から避難シミュレータのモデルパラメータを推定することでシミュレータの精緻化に関する研究 [12] を行った。さらには，2008 年の 2 月から秋葉



図 2 ユビキタスステレオビジョンデバイス
Fig. 2 Ubiquitous Stereo Vision Device (USVD)

原の複合施設のレストラン街において、顧客行動に関する長期間の動線を記録しており、二つの異なる期間の動線の比較や長期間の可視化に関する手法 [9] を提案してきた。

本論文ではこれまでに提案してきた手法を用いて東日本大震災の前後の人流解析を行い、それらの結果について明らかにする。

以下、2, 3 章でこれまでに提案した人流解析手法の概要について簡単に説明し（詳細に関しては文献 [9] を参照されたし）、4 章で東日本大震災前後の人流解析結果について明らかにし、最後に 5 章でまとめとする。

2. 動線の抽出とクラスタリング

動線を抽出し、類似する動線をクラスタリングする方法について簡単に説明する。

2.1 動線の抽出

本研究では図 2 に示すようなユビキタスステレオビジョンと呼ばれる、どんな場所でも頑健に使えることを目指したステレオビジョンのハードウェアとソフトウェアを用いる。

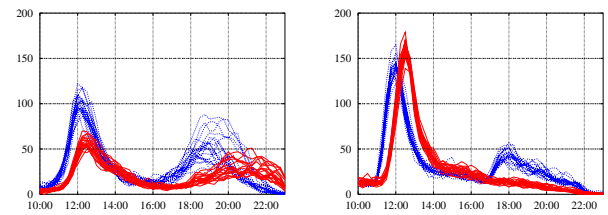
まず、ステレオビジョンから得られる視差画像から 3 次元空間を復元し、それをあらかじめキャリブレーションしておいた床平面に投影する。次に投影された 2 次元平面上での座標位置を特徴量としてクラスタリングすることによって動線を抽出する [5]。文献 [5] では時系列情報を考慮した 2 段階のファジクラスタリングを用いることで、人間が密集するような場合にでも正しく人間領域が追跡できることを確認している。

2.2 動線のクラスタリング

得られた動線から始点・終点・形状に関する特徴量を抽出し、それらの特徴量を競合学習によってクラスタリングする [13]。さらにそれぞれのクラスに「2 階」「上がる」「まっすぐ」などの意味を与えることで「2 階から 3 階へ上がる」「4 階から 2 階へ下りる」のように動線を表現することができる。平日の 1 ヶ月間に観測された動線の時間による変化を図 4 に示す。横軸が時間を表



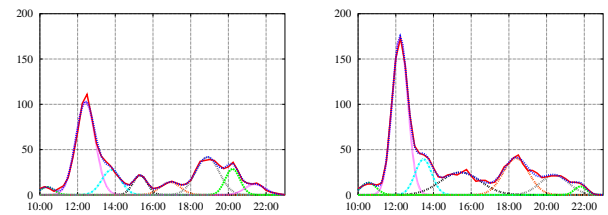
図 3 抽出された代表的な動線
Fig. 3 Extracted Typical Trajectories



(a) 2 階から 3 階に上がる (青) (b) 4 階から 2 階に下りる (青)
3 階から 2 階に下りる (赤) 2 階から 4 階に上がる (赤)

図 4 動線の時間変化 (動線量)

Fig. 4 Time Variation of Trajectories



(a) 2 階から 3 階に上がる (b) 4 階から 2 階に下りる

図 5 動線量の混合分布表現

Fig. 5 Mixture Model Expression of Trajectories

し、縦軸が人数を表す。一本一本の線が 1 日の動線の人数変化を示している。昼食時の 12 時付近や夕食時の 18 時付近の人数が多いことが確認できる。図 4 からそれぞれの動線の時間変化は日毎に増減があるもののピークの時間帯や分布の形状は極めて似ていることが分かる。なお人数に関しては実際の施設利用人数が明らかになることを防ぐ目的で実際の人数を α 倍して表示している。

本論文ではこのような日単位の特定動線の数の変化を動線量と呼び、 $p(x)$ で表すことにする。ただし、 x は時刻を表すものとする。

3. 動線量の比較と可視化

3.1 混合パラメータの推定

人間は時間に拘束されて生活していると仮定すると、

動線量 $p(x)$ は図 5 のように次式の正規混合分布で表現できると考えられる。

$$p(x; \theta) = \sum_{i=1}^M \pi_i N(x; \mu_i, \sigma_i^2) \quad (1)$$

ここで、 θ は混合分布パラメータを表し、混合係数 π_i 、確率密度関数の平均 μ_i 、分散 σ_i で表現される。

最尤推定では、混合数 M とサンプル x_j ($j = 1, \dots, N$) が与えられた時に次式の対数尤度 $L(x; \theta) = \log_e p(x; \theta)$ を最大にする θ を求める問題と考えることができる。ここでは、 θ は二つのステップで繰り返し計算を行う EM アルゴリズムを用いて推定する。なお、混合数 M は次式の赤池情報量規準 [14] によって決定する。

図 5 に提案手法によって混合分布表現した例を示す。(a), (b) 共に実線が実際に観測された $p(x)$ であり、破線が提案手法によって推定した $p(x; \theta)$ である。多くの点において重なっていることが分かる。なお、混合分布数は (a) が $M = 8$ 、(b) が $M = 7$ であった。

3.2 動線量の比較

期間 A の動線量 $p_a(x)$ と期間 B の動線量 $p_b(x)$ の比較結果を知る方法を説明する。まず $p_{ab}(x) = \{p_a(x) + p_b(x)\}/2$ に対して、混合数 M_{ab} と θ_{ab} を求める。次に混合数を M_{ab} として θ_{ab} を初期値に EM アルゴリズムを用いて期間 A に対する θ_a 、期間 B に対する θ_b を求める。以上の処理によって期間 A および期間 B に関する混合分布パラメータを求め、 μ_i を比較することによって分布ごとの時間の遅速を知ることができ、 π_i 、 σ_i を比較することによって分布ごとの人数の増減を知ることができる。

3.3 動線量の可視化

$\{p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)\}$ の n 日分のデータを可視化する方法を説明する。 $\hat{p}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i(x)$ について混合数 \hat{M} と $\hat{\theta}$ を求める。次に混合数を \hat{M} として $\hat{\theta}$ を初期値にして $\{p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)\}$ のそれぞれに対して EM アルゴリズムを用いて π_i 、 μ_i 、 σ_i を更新する。以上の処理を行った後に π_i と σ_i によって分布毎の人数を計算することで分布毎の人数の増減を可視化することができ、 μ_i を並べることによって時刻の遅速を可視化することができる。

4. 東日本大震災時の人流解析

2008 年 2 月から秋葉原 UDX のレストラン街 AKIBA-ICHI において人流計測に関する実証実験を続けている。東日本大震災時の人流解析を行った。本実験において $p(x)$ の x は 15 分刻みで離散化した値を用いる。処理をする時間は営業時間を含む、10 時から 23 時を対象とした。以前の動線量と同様に実際の施設利用人数が明らかになることを防ぐ目的で実際の人数を α 倍して表示して

いる。

EM アルゴリズムのパラメータ θ の初期値として μ_i は処理する時間を $M + 1$ 等分した値を用い、 σ_i は定数、 $\pi_i = p(\mu_i) \sqrt{2\pi\sigma_i^2}$ とした。また、 M は 1 から 20 までで計算を行い、AIC が最小のものを選択した。

4.1 震災前後の人流の比較

図 6 に震災前の 1 ヶ月平均と震災後の比較結果を示す。(a)~(f) の全てにおいて、左上の図は震災前 1 ヶ月の特定曜日の動線量を表し、右上の図は震災当日(あるいは翌日、翌々日)の動線量を表している。下表の“分布”には震災前の人の流れの正規分布の時間を表し、“人数”は震災後の人数が震災前の何 % であったかを表している。さらに“時間”にはそれぞれの分布の時間が震災前から震災後にどのように変化したかを単位を分([min])で表している。

図 6 (a) は 2 階から 4 階への動線を表しており、通常は 2 階のレストラン街から上階のオフィスフロアへ戻る動線を表している。そのため通常の昼食時には多くの動線が観測されるが夕方以降にほとんど観測されない。これらの動線量は 7 つの分布で構成されていることが分かる。初めの 3 つの分布は震災が起きる前の時間帯であるため、人数、時間共に震災前後に大きな違いはない。しかし、4 つ目の 15:43 の分布は震災当日には 0 人になっていることが分かる。この結果から震災発生(14:46)後に AKIBA-ICHI 4 階に上がった人は全くいなかったことが分かる。一方、最後の 2 つの 19:26 と 21:01 の分布は震災前の通常時に比べて、351% と 1783% と非常に多い動線が観測できている。これは震災当日にこの施設では帰宅困難者を強制的に追い出すことはしなかったため日頃は観測されない動線が観測された。

図 6 (b) は 2 階から 3 階への動線を表しており、施設外から食事に来る動線を表している。震災の前後で動線量の形状が大きく異なっているため、類似した動線量を比較することを目的とした本手法を用いてそのまま比較するのは難しいが、震災当日には (a) と同様に 16:00 頃の動線はほぼ 0 になり、18:00 前後の人数は劇的に増加している様子が見てとれる。特に電車が止まった影響からか、最後の分布は通常よりも 1 時間半近く(84 分)も遅い時間に観測されている。

図 6 (c) は 3 階から 2 階への動線を表しており、食事を終えた人が施設から出ようとする動線を表している。震災当日の 3 つ目の分布は 14:06 から 43 分後の 14:49 に観測されており、震災発生(14:46)の直後である。千代田区の高層ビルは頑健な構造をしているため、外に出るよりもビル内にいる方が安全である旨の放送があったが、慌てて外に出ようとした人がいたことが示唆される。また、震災当日の動線量を見ると (a), (b) と同様にその後の 16:00 付近の動線量は 0 近くになっていることが分かる。また通常時には閉店間際の 23 時前の動線が増加

