

【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・

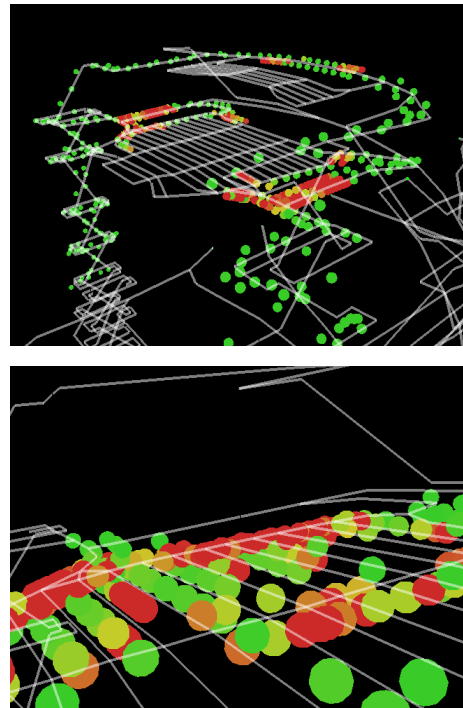


図 1 避難シミュレータ NetMAS

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。

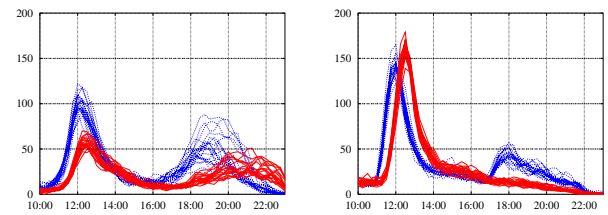
まず、ステレオビジョンから得られる視差画像から 3 次元空間を復元し、それをあらかじめキャリブレーションしておいた床平面に投影する。次に投影された 2 次元平面上での座標位置を特徴量としてクラスタリングすることによって動線を抽出する [5]。文献 [5] では時系列情報を考慮した 2 段階のファジクラスタリングを用いることで、人間が密集するような場合にでも正しく人間領域が追跡できることを確認している。

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



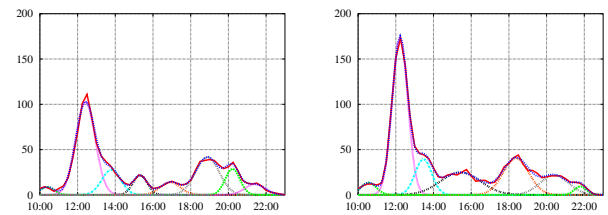
図 3 抽出された代表的な動線
Fig. 3 Extracted Typical Trajectories



(a) 2階から3階へ上がる(青) (b) 4階から2階へ下りる(青)
3階から2階へ下りる(赤) 2階から4階へ上がる(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階へ上がる (b) 4階から2階へ下りる

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 階への動線量を表しており、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量を表している。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 階への動線量を表しており、施設外から食事に来る動線量を表している。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 頃の動線量はほぼ 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 階への動線量を表しており、食事を終えた人が施設から出ようとする動線量を表している。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 時前の動線量が増加

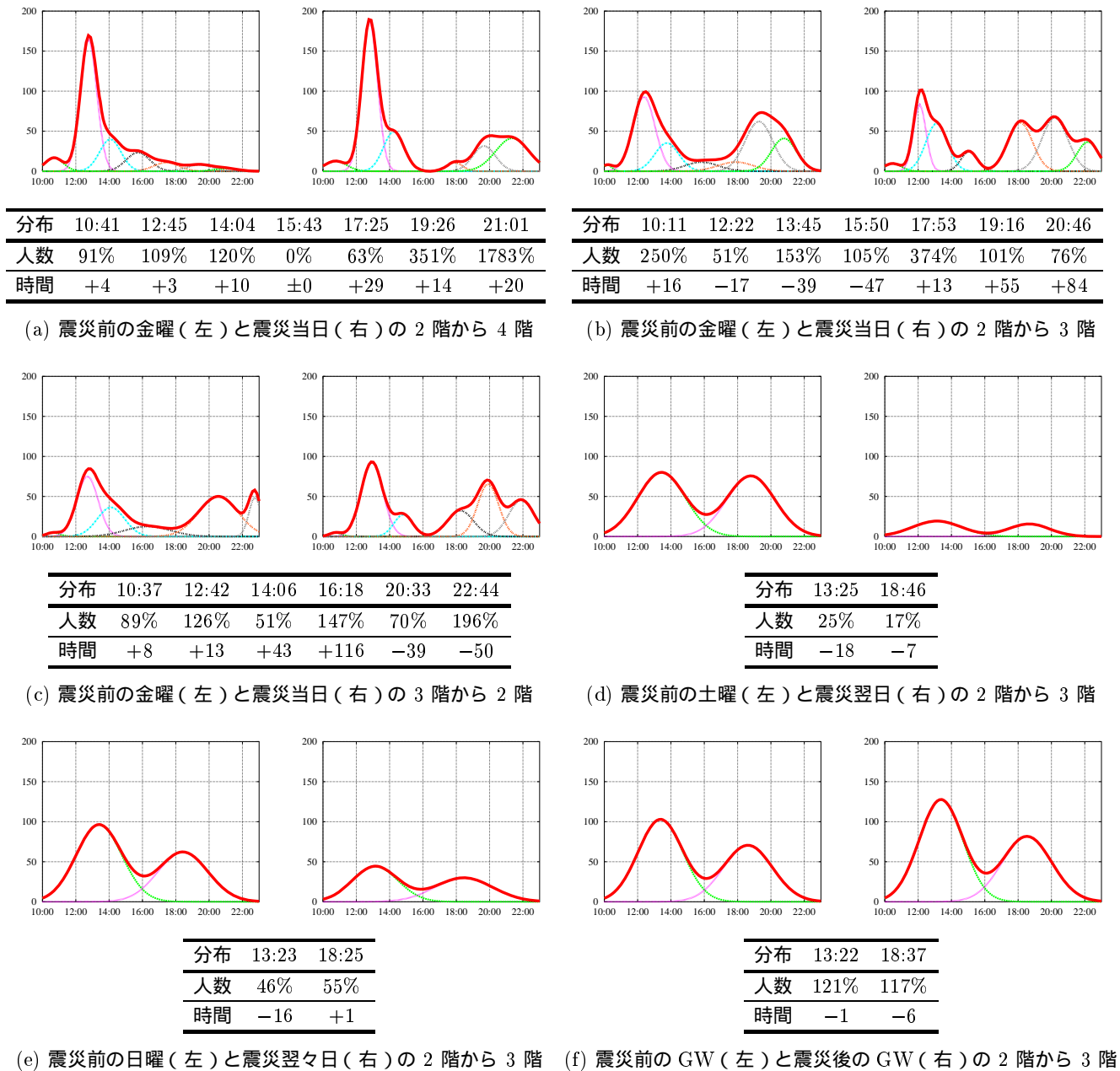


図 6 震災前後の動線量の比較

Fig. 6 Comparison Results between before/after an Earthquake Disaster

するが、震災当日はそれ以前に帰ろうとした人が多くいたことが分かる。これは、震災当日 JR は終日運休したが、20:43 に秋葉原近隣に駅があるメトロ銀座線と都営大江戸線が動き始めたことに関係している。その後、地下鉄各路線は徐々に動き始め、23:32 には秋葉原に駅がある日比谷線も動き始めた。これらの鉄道の運行状況については随時館内放送で情報が共有された。

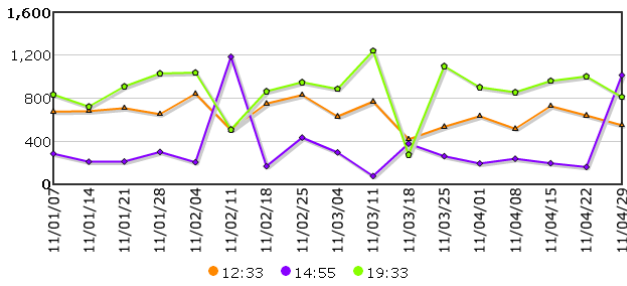
図 6 (d) は震災前の土曜と震災翌日 (3/12 土) の 2 階から 3 階への動線量の比較結果である。これらは施設外からレストラン街への動線である。土曜は 2 つの分布で表されており、震災の影響によって午前中の分布は通常の 25%、午後の分布は 17% と激減していることが分かる。また、図 6 (e) からは震災翌々日の日曜に関して土曜ほどではないものの同様に人数が少なくなっている

ことが分かる。

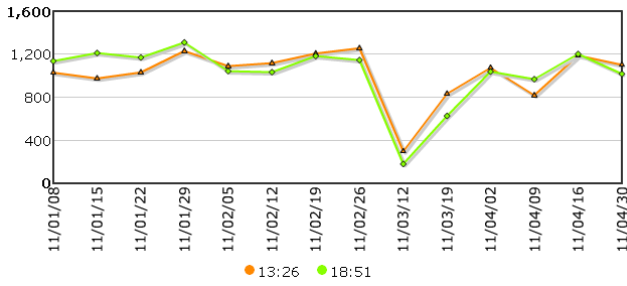
このような動線量の減少はいつまで続いたのであろうか。それを確認するために 5 月のゴールデンウィークに関して、震災前の 2010 年と震災後の 2011 年の比較を行った。図 6 (f) に結果を示す。2010 年 5 月 3~5 日と 2011 年 5 月 3~5 日を比較したところ、震災からおよそ 2 ヶ月が経過し、震災前よりも人流が多くなっていることが分かる。天気や周辺の都市開発などの影響もあることから単純な比較は難しいものの、震災直後には急激に落ち込んだ人の流れは時間と共に回復している様子が見てとれる。

4.2 震災前後の人流の可視化

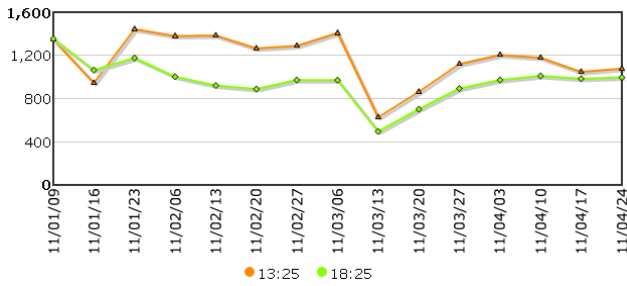
次に、3.3 の手法を用いて震災当日の金曜、翌日の土



(a) 震災前後 4ヶ月間の金曜の可視化



(b) 震災前後 4ヶ月間の土曜の可視化



(c) 震災前後 4ヶ月間の日曜の可視化

図 7 長期間の可視化

Fig. 7 Visualization of Trajectories for a Long Period

曜、翌々日の日曜に関して震災日を含む 2011/1/4~4/30 の期間の人流を可視化する。図 7 に結果を示す。上から順に金曜、土曜、日曜を可視化した。金曜は 3 つの分布で構成されている。14:55 の分布の人数が多い 2/11 と 4/29 は国民の祝日であり、他の日に比べてその時間帯の人数が極端に多くなっていることが分かる。震災当日の 3/11 は帰宅困難者が増えたことから夕方の 19:33 の分布が増えており、次の週の 3/18 は日中の動線は変わらないものの夕食時間の分布だけ極めて少なくなっており対象的である。しかし、4 月になってからは急速に通常の人流れに戻っていることが分かる。また、土曜 (b) と日曜 (c) を見ると共に震災直後は急激に落ち込んでいたものの 4 月に入ってからは全ての曜日に関して急速に回復している様子が見てとれる。

4.3 考察

東日本大震災前後の人流解析を行った。その結果を考察する。

- 提案手法の有効性の再確認

これまでに提案してきた人流解析手法 [9] を用いて東

日本大震災前後の人流解析を行った。震災が人の流れに与えた影響、特に帰宅困難者やあわてて逃げようとした動線の知見を得ることができ、これまでに提案してきた比較手法や可視化手法の有効性を再確認した。

- 東日本大震災によって観測された動線

震災当日には通常は観測されない帰宅困難者のものと思われる動線が多数観測された。それ以外にも、大震災直後に逃げようとする動線や、地下鉄再開に合わせた動線などの震災特有の動線が観測された。また、震災の少し後から 1 時間くらいは人の動きがほとんどなく、動線が観測されなかったことが分かった。

- 震災後の急速な回復

震災直後の土曜日は通常の 20% 程度、日曜日は 50% 程度に動線量が減った。また震災から 1 週間経っても夕方の動線量は極めて少なかった。その後、2 週間程はこのような動線量の減少が続いたが、4 月以降は急速に回復した。特に 5 月のゴールデンウィークは 2010 年よりも動線が多くなっていることが分かった。秋葉原殺傷事件の際は特に日曜日の落ち込みが大きく、動線量の減少が 3 ヶ月程度続いた [9] が、その時よりも早く回復していることが明らかになった。

- 今後の課題

秋葉原 UDX では帰宅困難者を強制的に締め出すことはなかったため、Twitter などのミニブログでは「秋葉原で帰宅難民の人。秋葉原 UDX のオフィスロビーおすすめです。暖かいしコンビニもあるし、コーヒーショップもあります。警備員もいるので安全だし」；「UDX 解放は本当だった、暖かいトイレもあります」といった書き込みがあり、何度もリツイートされた。図 8 に震災当日に Twitter で UDX がツイートされた回数をグラフ化する。20:40 頃から急激にツイート数が増加していることが分かる。このような仮想環境における情報が実動作にどのように反映されるかをモデル化することで、例えばデマの拡散などに利用できるのではないかと考えられる。また、震災直後に施設から逃げ出す際の動線が取得できており、それらを詳しく解析することによって、これまでに作成してきた避難シミュレータをさらに実環境に近く動作させることが可能になると考えられる。このように興味深い課題が幾つか見つかったが、詳細な解析は今後の課題とする。

タイムライン

2011年 3月 11日

最新



図 8 震災当日に UDX がつぶやかれたタイムライン

Fig. 8 Timeline of Twitter about UDX on the day.

5. ま と め

本稿ではこれまでに提案してきた動線量の比較手法や可視化手法を用いて東日本大震災時に観測された秋葉原の商業施設の人流を解析した。人流比較手法によって震災当日の帰宅困難者の様子や、地下鉄の再開による帰宅行動の開始の様子を知ることができた。また、人流可視化手法によって震災直後の土曜や日曜は動線量の減少が極めて大きかったが、2週間ほどで急速に回復している様子が分かった。5月のゴールデンウィークには前年よりも多くの動線が観測されていることも分かった。今後の課題としては、更に詳細に震災前後の人流を解析すると共に、震災直後に施設から逃げ出した人の動きをモデル化することで、避難シミュレータのパラメータをさらに現実のものに近づけることなどがあげられる。

謝辞：本研究成果の一部は NEDO の平成 21 年度産業技術研究助成事業の支援によるものである。また、実証実験に関して秋葉原クロスフィールドの協力を得た。秋葉原 UDX 総合管理事務所および(株)クロスフィールドマネジメントの関係者に深く感謝する。

文 献

- [1] Tomohisa Yamashita, Shunsuke Soeda and Itsuki Noda, "Evacuation Planning Assist System with Network Model-based Pedestrian Simulator," Proceedings of 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems (PRIMA), vol.5925, pp.649-656, Dec. 2009.
- [2] 副田俊介, 山下倫央, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹, "一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発," 情報処理学会研究報告, vol.2010-MPS-81, no.6, pp.1-6, Dec, 2010.
- [3] Yudha Nurdin, Diyah Yuliana, Itsuki Noda, Shunsuke Soeda and Tomohisa Yamashita, "Disaster Evacuation Simulation with Multi-Agent System Approach using NetMAS for Contingency Planning," Proceedings of 5th Annual International Workshop and Expo on Sumatra Tsunami Disaster & Recovery, TS 2C-2, Nov. 2010.
- [4] 中村克行, 趙 卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴川尚毅, "複数のレーザーレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価," 信学論 (D-II), vol.J88-D-II, no.7, pp.1143-1152 2005.
- [5] 大西正輝, 依田育士, "ファジィクラスタリングを用いたステレオ画像からの動線抽出," 電気学会論文誌, vol.128, no.9, pp.1438-1446, Sep. 2008.
- [6] 依田育士, 細谷大輔, 坂上勝彦, "ユビキタスステレオビジョンによる駅ホーム端安全管理," 電学論 (C), vol.124-C, no.3, pp.805-811, 2004.
- [7] David Thirde, Mark Borg, Josep Aguilera, Horst Wildenauer, James Ferryman and Martin Kampe, "Robust Real-Time Tracking for Visual Surveillance," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol.2007, ID 96568, 2007.
- [8] Jeffrey S. Larson, Eric T. Bradlow and Peter S. Fader, "An Exploratory Look at Supermarket Shopping Paths," International Journal of Research in Marketing, vol.22, no.4, pp.395-414, Dec. 2005.
- [9] 大西正輝, 依田育士, "大型複合施設における長期間にわたる人流比較と可視化手法," 電子情報通信学会論文誌 (D), vol.J93-D, no.4, pp.486-493, April 2010.
- [10] 鈴木直彦, 平澤宏祐, 田中健一, 小林貴訓, 佐藤洋一, 藤野陽三, "人物動線データ群における逸脱行動人物検出及び行動パターン分類," 信学論 (D), vol.J91-D, no.6, pp.1550-1560, June 2008.
- [11] 山下倫央, 副田俊介, 野田五十樹, "人流計測による避難誘導効果の実証的検証," 情報処理学会研究報告 UBI, vol.2009-UBI-24, no.25, Nov. 2009.
- [12] 大西正輝, 副田俊介, 山下倫央, 依田育士, 野田五十樹, "避難シミュレータのための動線解析と避難誘導支援への応用," 電気学会研究会資料 情報処理/次世代産業システム合同研究会, IP-11-9, IIS-11-39, pp.41-46, March 2011.
- [13] 大西正輝, 依田育士, "長期観測動線のクラスタリングによる概念の形成とその自然言語表現," 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008), IS5-23, July 2008.
- [14] Hirotugu Akaike, "A new look at the statistical model identification," IEEE Transactions on Automatic Control, vol.19, no.6, pp.716-723, 1974.