

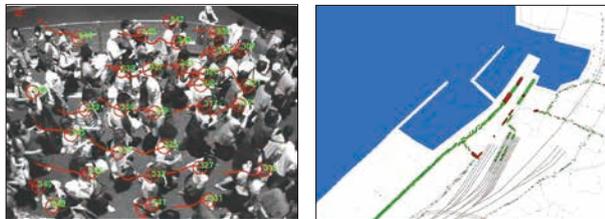
# 7. 混雑環境における群衆計測 —シミュレーションとの融合を目指して—

大西正輝（産業技術総合研究所）

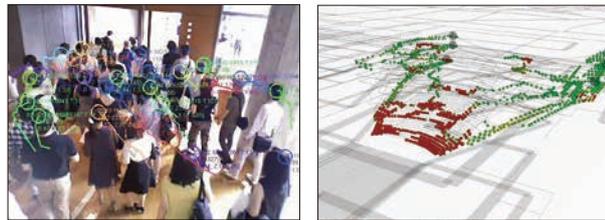
## シミュレーションと計測の関係

筆者らはこれまでに花火大会における混雑緩和<sup>1)</sup>や劇場における避難誘導支援<sup>2)</sup>など大規模イベントに集まる群衆の解析を目的とした研究を行ってきた。このような大規模な人の流れを解析するためには人の流れのシミュレーションと計測の技術が必要である。正確なシミュレーションを行うためには人の動きを正確にモデル化する必要がある、精度の高い計測技術が必要不可欠である。またシミュレーションの初期値を得るためにも計測はなくてはならない技術である。一方で、計測できない領域の状況を把握するためや未来の人の流れを予測するためには精度の高いシミュレーション技術が必要である。このように計測とシミュレーションは大規模な人の流れを解析するための、いわば車の両輪の関係にあるといえる。

図-1 に示すように筆者らはこれまでに関門海峡



(a) 花火大会終了後における帰宅時の混雑の様子



(b) 新国立劇場における避難時の混雑の様子

図-1 計測（左）とシミュレーション（右）結果

花火大会や新国立劇場において数千人から数万、数十万人規模の人の流れの計測実験およびシミュレーションを行い、それらを融合することで混雑を緩和する方法や安全に避難誘導する方法の知見を得てきた。本稿では人の計測結果のシミュレーション利用を見据えつつ、特に人の計測に焦点を当てて解説する。まずはじめにこれまでに行われてきている一人ひとりの人の流れの計測とシミュレーション利用について説明した後、混雑環境での群衆の計測について説明する。そして最後にまとめる。

## 人の流れの計測とシミュレーション

### 人の流れの計測

人の流れの計測方法としてはGPSやRFIDなどの人に装着するデバイスを用いる方法とカメラやレーザなどの環境設置型デバイスを用いる方法が考えられる。装着型デバイスを用いる方法は特定の人を広範囲に追跡できる利点があるものの、すべての人の情報を得るのが難しいため、公共空間において、不特定多数の人を計測する場合にはカメラやレーザのような環境設置型の方法が優れている。さらには、集団的な人の動きの隠れに対応するためには1次元的なレーザよりも、カメラで俯瞰する方法が有効であると考えられる。

特に人の計測に関する研究は産業界にも大きなブレイクスルーを生み出すと考えられることから、画像認識の分野では、すでに広く実用化されている顔認識をはじめとして、監視カメラでの人の流れの計測や車載カメラでの人の抽出など数多くの研究が行

われている。

2次元画像処理の場合、筆者が考える近年の第1のブレイクスルーは Viola-Jones の顔認識に端を発した関連研究である。これは、あらかじめ設計した特徴量で作った弱識別器の組合せを Ada-Boost によって学習し、弱識別器を組み合わせた強識別器を作成する研究であり、人の検出においては HOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量やその改良型が有効であることが示されてきた。第2のブレイクスルーは特徴量をも自動で学習する Deep Learning の登場である。物体認識をはじめとして大量のデータを用いて学習すれば高い認識精度を得られることが広く知られており、人の検出についても高い性能が発揮されている。また、図-2のようにカリフォルニア工科大学やドイツの自動車メーカーであるダイムラーが車載カメラからの歩行者検出を目的としたデータセットを公開したこともこのような研究が盛んに行われるきっかけになっているだろう。

一方で、RGB の2次元画像だけではなく、距離 (Depth) を含めた RGB-D 画像を用いた人流追跡研究も盛んに行われている。こちらは2次元画像処理とは異なり、3次元空間の情報を扱うことで隠れに強くロバストな抽出結果を得ることができ、さらには3次元空間上での正確な人の位置を推定できることから人の流れのシミュレーションともきわめて親和性が高いといえる。

### シミュレーションへの適用

鳥や魚の群れの行動を表現する古典的モデルとして Craig Reynolds が 1982 年に提案した Boids モデルが有名である。Boids モデルでは群れを構成するオブジェクトに群れにぶつからないように移動する「分離 (Separation)」、群れと同じ方向へ移動する「整列 (Alignment)」、群れの中心へと向かうように移動する「結合 (Cohesion)」の3つの基本動作を与えることで自然な群れの振舞いを表現することができ、CG アニメーションなどに広く応用されている。

一方で、群衆としての人の動きのモデル化につい



(a) Caltech Pedestrian Detection Benchmark <sup>☆1</sup>



(b) Daimler Mono Pedestrian Detection Benchmark Dataset <sup>☆2</sup>

図-2 歩行者検出のデータセットの例

ては Boids モデルを複雑に拡張した Dirk Helbing の Social Force Model が広く知られている。このモデルではニュートンの運動方程式 ( $F=ma$ ) のように力によって生じる加速度で人の移動をモデル化しており、基本的な力として目的地へと向かおうとする「歩行者推進力」、周囲の人から影響を受ける「社会的作用」、家族や友だちなどから受ける「集団凝縮力」、「壁や障害物からの影響」などが挙げられている。

筆者らはこれらの力によって歩行するエージェントをシミュレーションに実装し、RGB-D カメラによって計測した実際に避難する歩行者の移動軌跡から前の人とどの程度近づくとどの程度歩行速度が減少するかなどの未知パラメータを求めることで正確なシミュレーションを実現することに成功している<sup>3)</sup>。

<sup>☆1</sup> [http://www.vision.caltech.edu/Image\\_Datasets/CaltechPedestrians/](http://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/CaltechPedestrians/)

<sup>☆2</sup> [http://www.gavrila.net/Datasets/Daimler\\_Pedestrian\\_Benchmark\\_D/daimler\\_pedestrian\\_benchmark\\_d.html](http://www.gavrila.net/Datasets/Daimler_Pedestrian_Benchmark_D/daimler_pedestrian_benchmark_d.html)

## 群衆の計測

先に紹介したとおり、これまでの研究では1枚の画像から一人ひとりの人物を抽出し、連続画像で抽出したそれらの人物の軌跡をつなぐことで人の流れを計測してきた。これは歴史的に静止画像理解から動画理解へと研究が発展してきたことと、研究室のような少ない人数を対象とした実験環境で実証した技術を実世界に投入して実証実験を行っていることの2つが原因であると筆者は考えている。

しかし、これまでに研究されている歩行者検出の多くの方法は、実際に大量に人が押し寄せるような混雑した環境ではほとんど正確に動作しないことが分かっている。一般的的な空間においては0.5人/m<sup>2</sup>あたりから自由歩行は制約を受けはじめ、1.0人/m<sup>2</sup>あたりから自由歩行は困難になるとされているが、実証実験を行っているいくつかの論文では0.75人/m<sup>2</sup>の密度を超えると抽出精度は急激に低下することが報告されている。このような自由歩行に制約を受けるような環境下ではこれまでの手法は機能しないため新たな計測方法が必要になると思われる。それは一人ひとりの人を正確に追跡するのではなく、群衆の動きとして計測するアプローチである。

特に、実現場で実証実験を行っているいくつかの研究グループは、群衆を計測するためには従来の一人ひとりを認識する方法には限界があり、新たなアプローチの必要性を感じている。

一例としてNECの研究グループでは人の領域を手作業で抽出し、それらをランダムに貼り付けて、群衆の画像を機械的に合成することによって、数十万枚の群衆画像を疑似的に作成し、それを教師データとして未知映像の混雑具合を推定する研究を行っている。このような研究は駅や空港での混雑度合の推定に期待されている。また、東芝の研究グループでは各画素ごとに人の存在確率を計算するのではなく、画像を13×13ピクセルのパッチに分割し、人や物の位置を6次元のベクトルで表すCOUNT (CO-voting Uncertain Number of Targets) フォレ

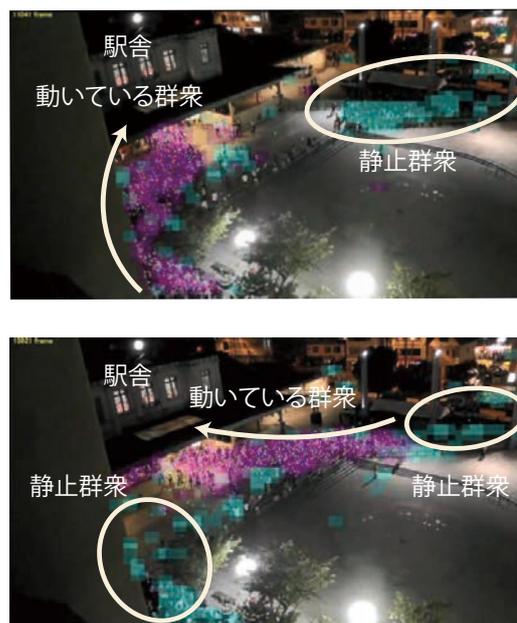


図-3 群衆領域の抽出

ストを利用することで1フレームに最大53人が存在するショッピングモールの映像データセットにおいて平均絶対誤差が2.50人と高い計測性能を実現している。このように日本では実環境での運用を目指す企業を中心に群衆を計測するための新たなアプローチが試みられ、成果を上げている。

一方で、筆者らは前述のように関門海峡花火大会において人の流れの計測実験を行っている<sup>1)</sup>が、ビルの高所から取得した映像では一人ひとりの追跡は解像度の観点からも隠れの観点からも不可能である。そこで詳細な一人ひとりの流れの計測は諦め、領域ごとに「背景」、「動いている群衆」、「静止群衆」の3クラスに識別する手法を提案した<sup>4)</sup>。図-3に識別結果を示す。紫色が動いている群衆、水色が静止群衆の領域を表しており、花火大会が終了した混雑の中、左上の駅舎に誘導するための帰宅動線の制御の様子が見てとれる。本結果から帰宅動線の制御方法(どの動線を動かしているかや止めているか)を知ることができ、シミュレーションと組み合わせることで、混雑緩和方法を検討することや誘導方法に不公平感がないかを把握することが可能である。

世界的に見てこのような群衆映像の解析を精力的に行っているのがThe Chinese University of Hong



図-4 Collective Motion Database<sup>☆3</sup>

Kong (香港中文大学) の研究グループである。群衆動作の協調性や密集具合の計測、群衆の集団を推定する研究などを行っている。これらの研究ではこれまでの研究のように一人ひとりの人を追跡するのではなく KLT Tracker のような特徴点を用いてクラスタリングや特徴点間の関係の推定を行っている。さらに、本研究グループは図-4のような群衆映像のデータベースを公開しており、これらのデータベースを利用して群衆計測に関する研究が行われるようになってきており、関連するサーベイ論文も複数発表されている<sup>5), 6)</sup>。しかし、このような映像を利用して何を抽出すべきかはいまだ明らかになっていないとはいえず、また Ground Truth がいないことから提案した手法の評価が難しいことも問題として挙げられる。

このような群衆としての計測結果をシミュレーションに活かす研究は筆者の知る限り、まだ報告されていないが、筆者らの研究では、図-3のような混雑時にどの帰宅動線にどの割合で人を流すかや、動線を止めるタイミングを画像認識で計測することでシミュレーションに活かす研究を進めている。シミュレーションにとって重要なのはモデル化するための真値を計測によって手に入れることである。データベースが整備されつつあることから、今後の発展に期待したい。

## 群衆計測が作り出す社会

一昔前の盆や正月を思い出すとどこへ行くにもあちらこちらで車の大渋滞が発生していたが、近年は激しい渋滞は随分と緩和したような印象を受ける。これは休みが分散したこともあるが、車の計測技術や予測技術が格段に向上し、渋滞予想情報や、移動にかかる時間の見積もり、迂回路の提示などが適切に行われていることも大きな要因の1つであると思われる。群衆の計測やシミュレーションはまさに車で実現している渋滞緩和を歩行者の環境で実現するために必要な技術である。車は車道という決まったレーンを法定通りに走行する大きな鉄の塊であるのに対し、人はどこでも自由気ままに歩き回る。計測も予測もはるかに困難である。さらにはその人が集まり群衆になるとその解析はさらに困難である。ニュートンがリングを見て万有引力の法則を思いついたように、今まさに我々は群衆の法則を見つけるために群衆の動きを見ている最中ではなかろうか。

### 参考文献

- 1) 山下倫央, 大西正輝: オリンピックにおける人の流れの解析, 情報処理, Vol.55, No.11, pp.1189-11951 (Nov. 2014).
- 2) 大西正輝, 山下倫央, 星川哲也, 佐藤和人: 人の流れの計測とシミュレーションによる避難誘導の伝承支援—新国立劇場における避難体験オペラコンサートを例に—, 人工知能学会合同研究会, SIG-KST-026-06 (2015).
- 3) 野中陽介, 大西正輝, 山下倫央, 岡田 崇, 島田敬士, 谷口倫一郎: 大規模な避難シミュレーションのための歩行速度モデルの精緻化, 電気学会論文誌C, Vol.133, No.9, pp.1779-1786 (2013).
- 4) 熊谷章平, 大西正輝, 堀田一弘: 学習画像の適応選択による動画画像中の群衆領域の推定, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J99-D, No.8, pp.757-768 (2016).
- 5) Jacques J. J. C. S., Musse, S. R. and Jung, C. R.: Crowd Analysis Using Computer Vision Techniques, IEEE Signal Processing Magazine, pp.66-77 (Sep. 2010).
- 6) Kok, V. J., Lim, M. K. and Chan, C. S.: Crowd Behavior Analysis: A Review Where Physics Meets Biology, Neurocomputing, Vol.177, pp.342-362 (2016).

(2017年4月12日受付)

大西正輝 (正会員) ■ onishi@ni.aist.go.jp

大阪府立大学大学院博士後期課程修了後、理化学研究所を経て、現在産業技術総合研究所人工知能研究センター主任研究員。カメラを用いた人の検出とその応用に関する研究に従事。博士 (工学)。

☆3 <http://mmlabie.cuhk.edu.hk/projects/collectiveness/dataset.htm>