

## CFD 解析画像を用いた観光地の特異点の抽出に関する研究

日大生産工（院）      ○槌田 美鈴  
日大生産工              岩田 伸一郎

## 1. はじめに

街における人々の流動は、目的地となる施設や店舗の配置が影響していると考えられるが、その一方で施設や店舗は、街の立体的な構成や形態に影響を受けた人々の無自覚な行動傾向に基づいて、決定しているとも推測できる。前者のこれまでの街における人の流動については、現地の観察調査<sup>1)</sup>や、GPS 調査<sup>2)</sup>に基づいて考察されてきたが、後者に説明した施設等が含まれていない立体空間のみでの人々の流動に及ぼす影響については、これらの手法では説明することが難しい。

そこで、純粋に立体的な空間形態で決まる風の流れに着目した。粒子を流すと上昇や滞留、回り込みなど人の流動と共通点が多く、立体的な空間形状を基本とした人の流動を検証することができるのではないかと考えた。

本稿では、シミュレーション解析（以下、CFD 解析<sup>注 1)</sup>）を用いて風の流体を可視化し、粒子の時系列変化や、砂溜まり量を分析する。それにより、街の立体的な空間の人々の流動や特異点を明らかにする。これまでの報告や調査と重ね合わせて分析することで、その有効性について検証を試みる。上記の有効性が立証すれば、街の機能性を評価する新たな手法と成りえると考えている。

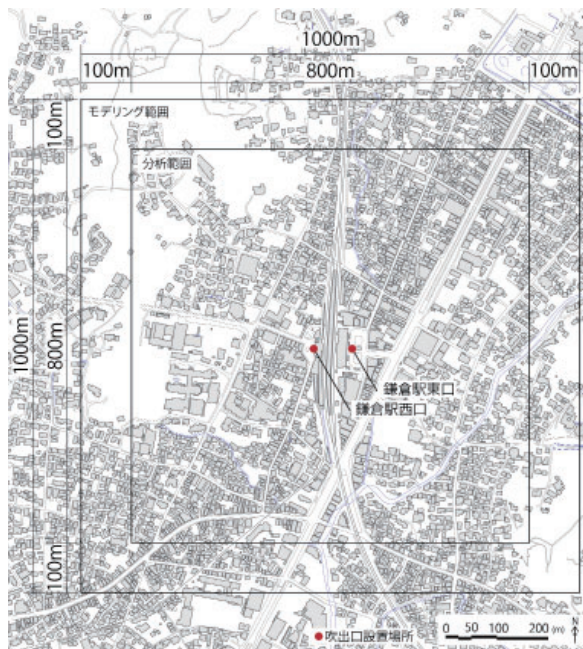


図1 対象地モデリングと比較エリア

## 2. 研究の方法

## 2.1 対象地

本研究では、鎌倉市は寺社などの多くの歴史的街並みを残しつつ、観光地として急激に成長した町である神奈川県鎌倉市を敷地に選定する。そのため、中心部は細い街路も多く、観光客はその途中にある寺社や店舗を巡るので鎌倉の観光動線は複雑である。野村ら<sup>2)</sup>の調査では、鎌倉駅前のアクティビティが一番多く、広瀬らによる研究<sup>3)</sup>では、鉄道による来訪者は鎌倉駅周辺の施設を訪れることが多いことがわかっている。以上のことから、解析対象地は鎌倉駅周辺を対象地に取り上げる。（図1）

## 2.2 モデリング方法

FlowDesigner は、3D モデリングで街区を立ち上げたものを読み込み、粒子の流動を見るものである。そのためモデリングに使用する地図は、国土地理院の基盤地図情報を用い、建物の外周をモデリングする。解析範囲は、様々な立体空間を内包できるように 1000m × 1000m でモデリングを行い、中央付近に鎌倉駅周辺がくるように配置する。解析を行う上で、周辺建物の立ち上がりが不足していると解析結果に支障をきたすので、それを防ぐために比較対象は、800m × 800m とする。また、粒子の侵入を防ぐため、常に立ち入り禁止区域である軌道部分も立ち上げを行う。

粒子はボリュームに衝突すると上昇してしまう傾向

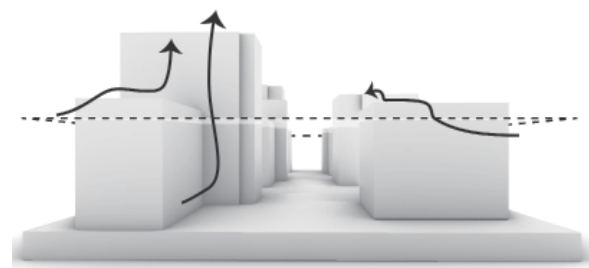


図2a モデリング実寸

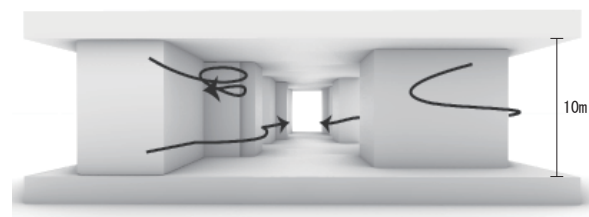


図2b モデリング高さ均等

A Study on Extraction of Singularity of Tourist Attraction Using CFD Analysis Image.

Misuzu TSUCHIDA, Shinichiro IWATA

があり、実寸ボリュームの解析では平面的に滞留を判断することが難しい。(図2a)それを塞ぐため、モデリングの高さは統一する。そのモデリング上に蓋をするようにボリュームを立ち上げ配置する。(図2b)これにより、多少の上下動はあるものの平面的な流れを見ることが可能になり、立体的な空間形状と人の流動について比較を行うことが可能になる。

## 2.3 CFD 解析領域の設定

分析する際に、モデリング外の風が影響を及ぼさないようにするため、解析領域は余分なスペースを設ける。(図3)モデリングのGLラインは $z = 0$ に配置し、北が図3の奥側に配置する。

## 2.4 吹出口と粒子の設定

鎌倉駅は、観光客が鎌倉市を巡るための起点となる場所であるため、吹出口は鎌倉駅の東口と西口に設置する。(図1)吹出口と発生エリア<sup>注2)</sup>は、駅舎付近にモデリングが重複しないように配置する。吹出口や発生エリアなどの詳細設定は表1に記載する。粒子は、跳躍かつ浮遊を起こす大きさと沈降速度にするため、CFD解析を用いて試行錯誤した結果、粒径0.1mm、沈降速度0.17m/sに設定した。風向は建物に面する以外の3面と、その間を補完する45度方向とする。そして、それらを囲むように発生エリアを5か所に配置する。(図4)側面に対して90度と、45度方向に風を流す。45度の場合、吹出口のバランスを均等にするため、吹出口の2カ所から吹き出す。この時、45度の風向きでは同じ流速でも、流量が変化してしまう。今回は吹出口から出るエネルギー量を重視するため、流量を同等にする。1枚の吹出口の90度の流速が3m/sの時の流量は18000 m<sup>3</sup>/minであるため、45度の流量は9000 m<sup>3</sup>/minに設定する。また、鎌倉駅は人の流動に波があるため、流動がない状況時に溜まりやすい

場所の定義をすることが可能であると考えた。そのため、0秒から149秒の間、90度は流速3m/s、45度の流量は9000 m<sup>3</sup>/minを流すが、150秒以降の90度は流速0m/s、45度の流量は0 m<sup>3</sup>/minに設定する。これは、流速を停止することで、押し出された粒子の自然な流動や粒子の沈降を考察することを可能にするためである。

解析領域内に吹込口から流入するので、CFD解析への影響を失くすため解析領域の端に流出場所として、自然開口を設ける。

## 2.5 メッシュ構成

メッシュは構造格子<sup>注3)</sup>で構成される。その最大メッシュ数100,000,000個を超えないようにするため、モデリング部分は最大間隔1.9mで構成する。それ以外は風の流動に異常が起きていないか確認するため、モデリング側面から解析領域内にかけて基本は等要素数10本で分割し、解析領域範囲が広域なエリアや、Z軸エリアは等要素数15本とする。(表1)

## 2.6 比較方法

解析結果は、解析初めは粒子の流動が激しいため、流動の傾向を見るために0秒から50秒の間は10秒ずつ、50秒以降は砂の流動が緩くなるため50秒ずつ画像を出力する。比較範囲全体に粒子流動が広がることや、150秒以降に粒子が沈降し滞留するまでの過程を確認するため、双方ともに比較する時間は、500秒間とし合計15枚の画像をコマ送りする。

比較する対象は、吹出口から吹出された粒子の流動変化と、砂溜まりの時系列変化である。前者は、粒子の流動を動画出力し、それをAdobe Premiere Pro<sup>注4)</sup>を用いて、コマ分割した画像を比較する。後者は、砂の等値量をFlowDesigner2021の時間表示を用いて表示し、画像出力したものを比較する。

表1 解析条件

| 砂粒子    |                    | 風吹出            |                          | 解析メッシュ       |      |
|--------|--------------------|----------------|--------------------------|--------------|------|
| 粒径     | 100 $\mu$ m        | 吹出口大きさ         | 100m <sup>2</sup>        | メッシュ         | 構造格子 |
| 沈降速度   | -0.17m/s           | 風向             | 90度, 45度                 | 最大要素         | 1.9m |
| 発生エリア  |                    | 90度 流速(0-149s) | 3m/s                     | 等比要素数        | 10本  |
| 配置     | 5方角                | 90度 流速(150s-)  | 0m/s                     | 等比要素数(広域,z軸) | 15本  |
| box大きさ | 1000m <sup>2</sup> | 45度 流量(0-149s) | 9000 m <sup>3</sup> /min |              |      |
| 1box   | 1000ppm            | 45度 流量(150s-)  | 0                        |              |      |

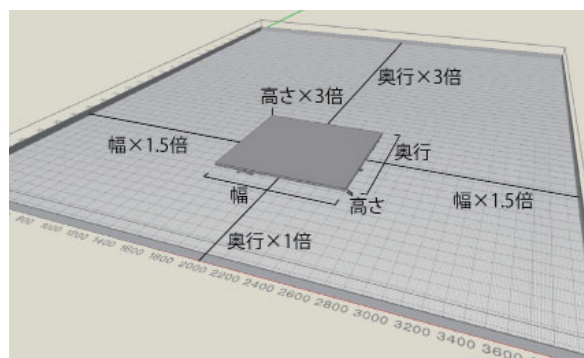


図3 解析領域の詳細

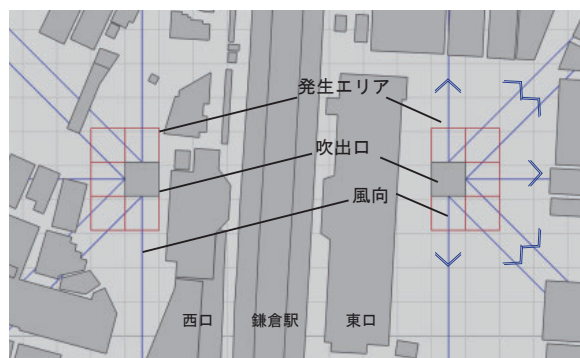


図4 吹出口と発生パネル等の配置



### 3 粒子に基づく街区形状の分析

#### 3.1 全体の動き

0 秒から全方向に押し出される粒子の流動が見られた。(図 5a・b) しかし、エリア 1 のように粒子の進行方向を遮断するように建物が配置されていると粒子が衝突し流動が低下することで、滞留が生まれている。

エリア 2 やエリア 3 は周辺の建物が隙間なく並び、0 秒から 40 秒まで粒子が限られた建物の間隔に集中しているのがわかる。(図 6)

#### 3.2 特異点

様々な流動が読み取れる中で、滞留や同じ場所で循環する粒子の流動が確認できる。

まず 500 秒の間、粒子が停滞している場所が約 45 か所確認でき、その多くは図 7 の A のように 3 面以上が建物で囲われている。両端の粒子流動が激しい図 7 の B は 250 秒ほどまで停滞しているが、以後周囲の流れに吸収されて、緩やかに流れ始める。これらは、13

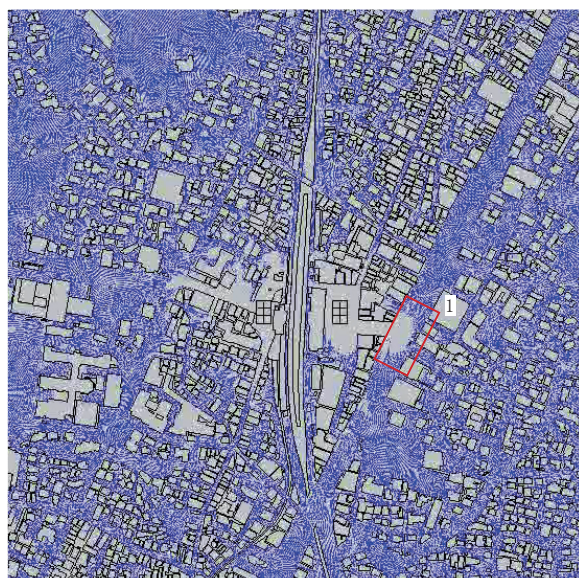


図 5a 150 秒の粒子流動結果

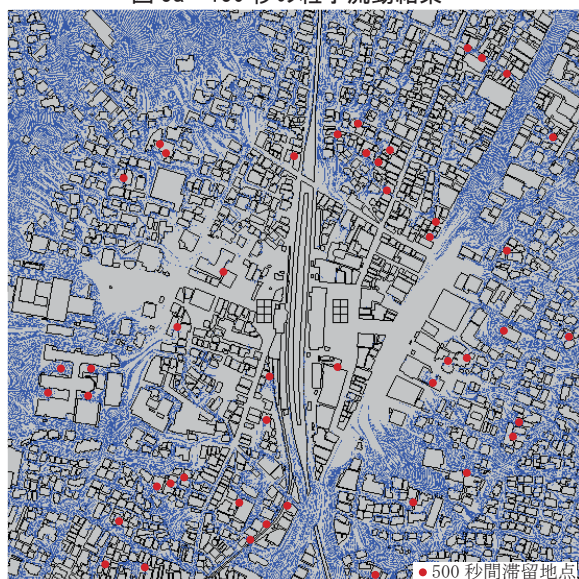


図 b 500 秒の粒子流動結果

か所確認されており、周辺が 2 面とも建物に囲われているものがほとんどである。

最後に、ある場所で粒子が循環する場所が 4 か所確認されている。この中の 3 か所は、3 方向から流れてくる砂の流動の影響で循環している。

以上のように、街区形状に基づいた粒子の主な流動や、特異点となる 2 つの滞留と循環を把握できた。

### 4 砂溜まりの時系列変化の分析

#### 4.1 全体の動き

50 秒の東口では 2 方向に粒子が流れているのに対して、西口でも 2 方向に多く流れている。(図 8a) 150 秒以降は流速 0m/s、流量 0 m<sup>3</sup>/min により、350 秒から 500 秒は全体的に流動が緩やかになり粒子が沈降し、周囲に広がる傾向がみられる。500 秒後、砂溜まりが最も多かったのは、エリア a であった。(図 8b) 吹出口からエリア a の入り口へ向かうまで、建物の間隔が広い場所から狭まっている場所に押し寄せ、砂溜まりが起きたことが要因と見られる。エリア b あたりは、粒子が建物の間隔が空いている場所に集まっていたためか、150 秒以降は駅の方へ逆流した。

動きに大きな変化があったのはエリア c で、100 秒経過時に建物に衝突し、2 つに分裂する。(図 8a) どちらも、その反動で生まれた流動によってさらに分裂し、道の中央付近に集まる傾向が見られた。500 秒時に砂溜まりが多かったのは、一番南であった。エリア c の中で南側 2 つの砂溜まり量が多くなった理由として、吹出口から建物同士の間隔が太く、建物に衝突する回数が少なかったからではないかと考える。これが秀でて見られた場所がエリア d である。その後、エリア c では、150 秒経過したことで、粒子流動が落ち

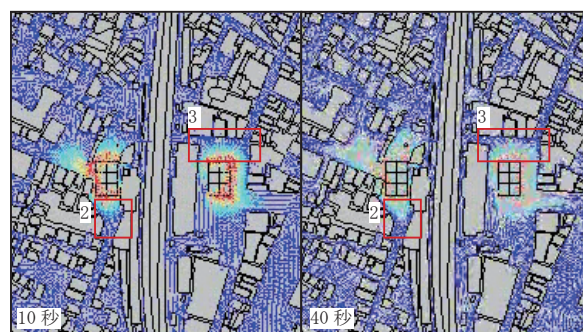


図 6 駅周辺の解析結果

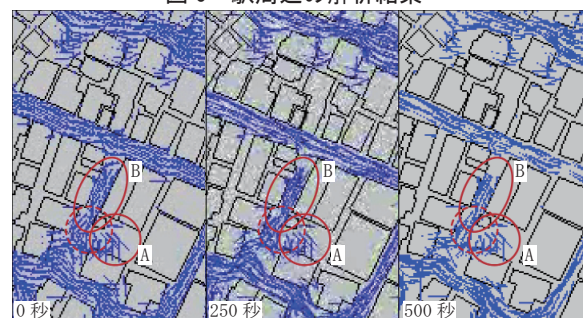


図 7 ある地点の滞留



着いたことで、砂溜まりができたと考えられる。エリアeは周囲が囲まれているが囲んでいるエリアが広い  
ため、砂溜まりは少ないが満遍なく溜まりが起きている。エリアfの砂溜まりは、周囲の建物の隙間に分散  
する傾向がみられたが、150秒が経過し、エリアe内に  
に溜まり、緩やかな速度で循環し、滞留している。

#### 4.2 特異点

砂溜まりは、建物の間隔が広く駅付近で見られる傾向  
があったが、その中でも特徴的な結果をとり上げる。

まず、500秒後に一番多い砂溜まりが起きていた、

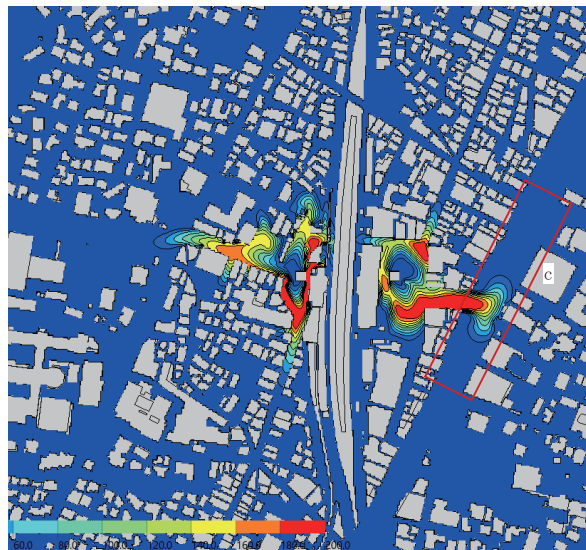


図 8a 50 秒の砂溜まり解析結果

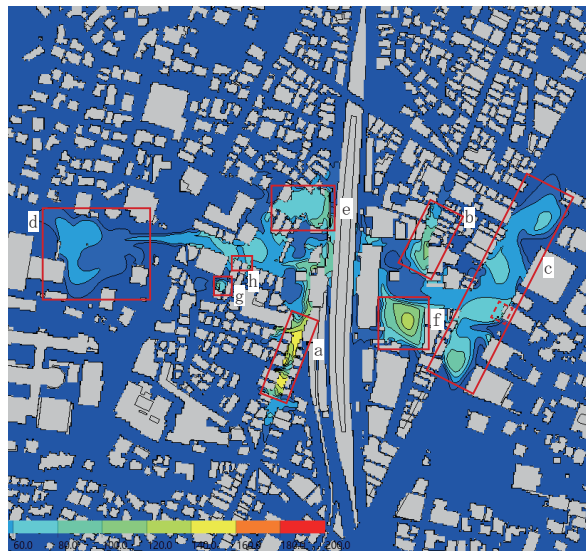


図 8b 500 秒の砂溜まり解析結果

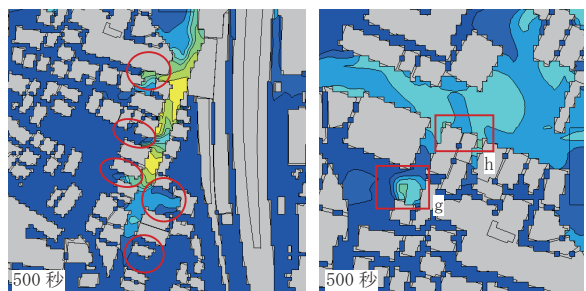


図 9 エリア a の滞り空間

図 10 g・h 詳細図

エリアaに着目すると、建物が建ち並んでいる間にと  
ころどころスペースがみられ、溜まっている場所が5  
か所確認できる。(図9)多いところでは120ppm以上  
の砂溜まりが確認でき、エリアaの砂溜まり量も多く  
ため、空間のみが要因となって溜まりが形成されてい  
るわけではないが、溜まりやすい建物の配置がされて  
いることは明らかである。

エリアcの点線内とエリアgとhに小さな砂溜まり  
が4か所付着していることが確認した。(図10)エリ  
アcは150秒時、エリアgとhは100秒時に砂溜まり  
が通過した際に、生まれたものである。

以上のように、砂溜まりの時系列変化では、砂溜ま  
りの流動の特徴や、2つの特異点を抽出することがで  
きた。

#### 5 まとめと今後の展望

本研究から、特異点とその傾向が読み取れた結果を  
以下にまとめる。

- ・エリア2,3のような建物同士の間隔が少ない場所は、  
粒子が建物の隙間がある場所に集中し、その入り口付  
近で滞留が起こりやすい。
- ・3面囲われている場所は、滞留又は粒子速度が緩や  
かになる傾向がみられた。しかし、エリアeのように  
広範囲の場合はそこに満遍なく溜まりやすい。
- ・粒子の進行方向を遮断する建物や、建物に衝突する  
回数が少ないと、吹出口から離れたエリアまで流動し  
やすいため、滞留が起こりにくい。
- ・エリアgとhのように、砂溜まりが流動し通過した  
場合、付近の建物の角地や3面囲われた場所に砂溜ま  
りが生まれることがある。
- ・500秒間滞留している場所は、建物間隔が狭い場所  
に多くみられる。

今後は、2つの方法で抽出した特異点を鎌倉市の歩  
行、滞留調査論文と比較し、CFD解析を用いた街と人々  
の流動の関係性について、有効性を検証する。

#### 注釈

- 注1) (株) アドバンスドナレッジ研究所の熱流体解析ソフトウェア  
FlowDesigner2021を用いて解析を行う。環境系シミュレーションが  
可能。乱流モデルは標準k-εモデルを用い、解析は指定した経過時  
間から風速を変更でき、時系列表示が可能な非定常解析を使用する。  
また、FlowDesignerの最低メッシュは10mである。
- 注2) 粒子を発生させるエリア。解析開始のみ粒子が発生する。
- 注3) 流体解析で用いられる格子の種類のひとつ。計算点を座標系に  
沿って配置する。
- 注4) Adobe premiere Proは、ビデオ編集アプリケーションで、1秒  
に30枚もの画像を出力することが可能。

#### 参考文献

- 1) 藤原新太, 郭東潤, 外国人居住地における物理的環境特性と滞留  
行為の相関関係に関する研究 - 神戸市北野町山本通を対象に -, 日本  
建築学会大会, 2017, 309-310
- 2) 野村幸子, 岸本達也, GIS・GISを用いた鎌倉市における観光客の  
歩行行動調査とアクティビティの分析, 日本建築学会学術論  
文, 2006, pp72-77
- 3) 廣瀬健, 井村祥太郎, 絹田裕一, 矢部努, スマートフォン位置情  
報から読み解く観光地における人の流動 - ビッグデータはどこまで人  
の行動を追えるのか -, IBS Annual Report 研究活動報告 (計量計画  
研究所研究活動報告), 2019, pp43-50