

ジオタグ付き写真を用いた高度を考慮したホットスポットの分析

中原 琢寿[†] 石川 博^{††} 廣田 雅春[†]

[†] 岡山理科大学 総合情報学部 情報科学科 〒700-0003 岡山県岡山市北区理大町 1-1

^{††} 首都大学東京 システムデザイン学部 情報通信システムコース 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

E-mail: [†]†14i065nt@ous.jp, ^{††}†ishikawa-hiroshi@tmu.ac.jp, ^{†††}†hirota@mis.ous.ac.jp

あらまし スマートフォンなどの普及により、ソーシャルメディアサイトに緯度経度情報が付与された写真が大量に投稿されるようになった。これに伴い、これらの情報から、観光産業に有益な情報を抽出する研究が進んでいる。この研究の中でも、多くの人々が写真を撮影している場所をホットスポットとして抽出する研究が行われている。ホットスポットとは、人々の興味のある場所で多くの写真が撮影された場所である。ホットスポットを抽出する研究の多くは、緯度と経度を特徴量とした DBSCAN を適用することで得られたクラスターをホットスポットとしている。しかし、得られたホットスポットの地域で撮影された写真の緯度と経度はほとんど同じ値であるが、高さのある観光スポットのホットスポットを緯度と経度のみでは適切に区別することは困難である。そこで、本研究では、Flickr から得た写真からホットスポットを抽出するために、緯度と経度に加えて、高度を考慮するために ST-DBSCAN を適用し、高度を考慮したホットスポットを抽出する。また、抽出したホットスポットを関心領域、撮影スポット、および展望スポットに分類し、可視化する。

キーワード 観光情報、空間分析、クラスタリング、Flickr

1. はじめに

スマートフォンなどのデジタルデバイスの普及に伴い、多くの人々は、観光の写真などを Flickr^(注1) などのソーシャルメディアサイトに投稿し、それらを共有している。また、それらのデジタルデバイスには、GPS (Global Positioning System) が搭載されており、緯度経度情報が付与された写真も少なくなない。多くの人々が撮影した写真には、撮影者の興味・関心のある場所が含まれていると考えられる。ソーシャルメディアサイト上の緯度経度情報が付与された写真を用いて、このような地域を分析することは、撮影者の興味のある観光スポットの情報 が得られるなど、地理的な特徴を分析するのに重要であると考えられる。

本研究において、人々の興味のある場所で多くの写真が撮影された場所をホットスポットと定義する。ソーシャルメディアサイトの写真から抽出されるホットスポットには、多くの人々の興味・関心のある場所が含まれていると考えられる。ホットスポットを抽出する研究の多くは、Flickr などから収集した写真に付与されている緯度と経度を特徴量とした密度ベースのクラスタリング手法 (たとえば、DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise) [5] や、Mean shift [6] など) を適用することで得られたクラスターをホットスポットとしている。しかし、緯度と経度のみによる DBSCAN によって得られるクラスターは、高度を考慮していないため、ホットスポットを1つのホットスポットとして抽出してしまう場合がある。たとえば、図1のようなスカイツリーなどの観光スポットでは、緯度と経度はほとんど同じであるが、高度が異なるホット

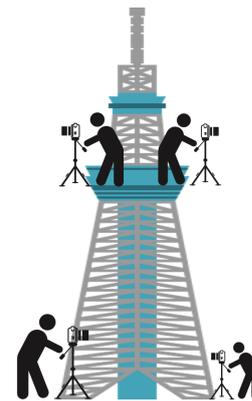


図1: 高さのあるホットスポットの例

スポットが存在すると考えられる。たとえば、高度が異なっても、これらの緯度と経度は、ほとんど等しく測位されるため、それらを特徴量としてこれらのホットスポットを区別するのは、困難である。

そこで、本研究では、ホットスポットを抽出する際に、緯度と経度の2つのみを特徴量とするのではなく、高度を追加することで、高さを考慮したホットスポットの抽出を行う。近年、スマートフォンなどで撮影された写真の一部には、緯度と経度だけではなく、高度の情報も付与されている。そのため、Flickr から得たそれらの情報が付与されている写真を用いて、緯度、経度、および高度を考慮したホットスポットの抽出を行い、可視化する。ホットスポットを抽出するために一般的に用いられる DBSCAN や、Mean shift は、データの周辺の密度を評価するための距離を一次元で扱うため、緯度と経度に加えて、それらと性質の異なる高度を特徴量としたクラスタリングに適切でないと考えられる。そこで、本研究では、緯度と経度に加

(注1) : <https://www.flickr.com>

えて時間を扱うために提案された ST-DBSCAN [2] を用いる。ST-DBSCAN を適用する際に、時間の代わりに高度を適用することで、それらの情報を考慮したホットスポットを抽出する。

また、ホットスポットは、関心領域、撮影スポット、展望スポットの3つに分類することができる [10]。関心領域は、ホットスポットの内部に興味のある領域が含まれているホットスポットである。撮影スポットは、ホットスポットの周辺に興味のある対象物があり、それを撮影するためのホットスポットである。展望スポットは、ホットスポットの周囲を撮影するためのホットスポットである。本研究では、緯度と経度に加えて高度を考慮して抽出したホットスポットに対して、写真の撮影方向などを考慮して3つのクラスに分類し、その結果を可視化する。

本論文の構成は、以下のようになっている。第2節では、ホットスポットを抽出するための関連研究についてまとめる。第3節では、本論文で行う緯度と経度に加えて高度を考慮して抽出したホットスポット抽出手法について述べる。また、関心領域、撮影スポット、展望スポットの分類方法について述べる。第4節では、3つの地域に対して、提案手法により得られたホットスポットと、3つの関心領域などの分類結果の可視化結果を示し、考察する。第5節では、本論文で得られた成果をまとめ、今後の課題について述べる。

2. 関連研究

Flickr などのソーシャルメディアサイトに投稿される写真に付与された緯度経度情報を用いて、ホットスポットを抽出する研究が広く行われている。ホットスポットを抽出するためには、緯度と経度を特徴量とした密度ベースのクラスタリング手法が適用されることがほとんどである。

Crandall ら [3] は、緯度と経度の撮影位置情報が付与された写真と、その写真の画像の特徴を用いてクラスタリングを行うことで、ホットスポットがある地域を抽出できることを示した。Lacerda ら [9] は、緯度と経度が付与された写真と撮影方向情報を用いて、写真の撮影方向の交点を算出し、DBSCAN を適用することで、ホットスポットを抽出した。Kisilevich ら [8] は、クラスタリング手法の DBSCAN を改良した手法のひとつである P-DBSCAN を提案した。Yang ら [11] は、Self-Tuning Spectral Clustering を用いた、様々なサイズのホットスポットを抽出可能な手法を提案した。Hirota ら [7] は、ホットスポットを抽出し、撮影スポットと撮影スポットから撮影可能な被写体の関連性を可視化する手法を提案した。小関ら [13] は、ジオタグ情報、撮影時間情報、画像特徴の3つの情報を統合することで、ホット撮影スポットを分類し、提案法の有効性を示した。Shirai ら [10] は、撮影方向、撮影位置、撮影時間情報が付与された写真を用いて、ホットスポットを発見し、関心領域、撮影スポットに分類した。加えて、抽出されたホットスポットの間に存在する関連を抽出し、それを可視化するシステムを作成した。Epshtein ら [4] は、撮影位置や撮影方向の情報が付与された写真を用いて、建物の内側で撮影された写真と外側で撮影された写真を分類する手法を提案した。高木ら [12] は、撮影位置情報や撮影時間情報が付与された写真を用いて、ホットスポッ

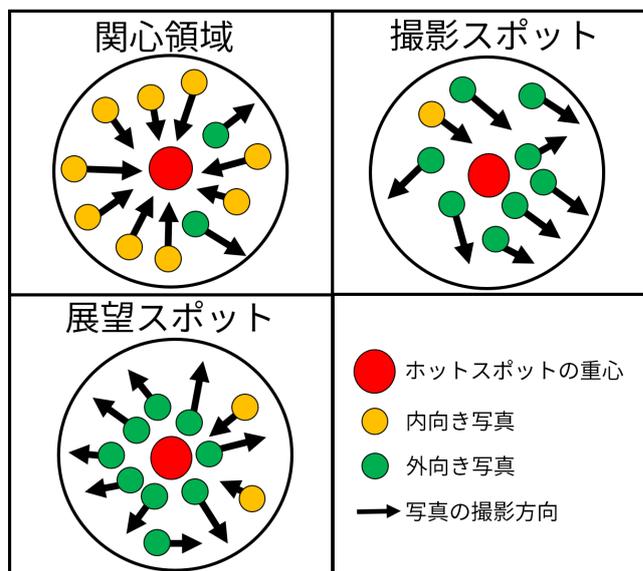


図 2: ホットスポットの分類

トの発見や、各ホットスポット間の移動確率の算出を行った。そして、その移動確率から各ホットスポットの媒介中心性を抽出し、ホットスポットに関心領域と撮影スポットとして可視化した。

これらの研究では、緯度と経度を特徴量とした、DBSCAN などのクラスタリング手法を用いて、ホットスポットを抽出している。本研究では、ST-DBSCAN を適用することで高度を考慮したホットスポットを抽出し、可視化する点がこれまでの研究と異なる。

3. 提案手法

本研究では、ソーシャルメディアサイトに投稿された写真とそのメタデータから、高度を考慮したホットスポットを抽出する手法について述べる。

3.1 高度を考慮したホットスポットの抽出

これまでのホットスポットを抽出するための手法で多くの場合は、DBSCAN と呼ばれる密度ベースのクラスタリング手法が用いられることが多い。その際に、DBSCAN の特徴量として、緯度と経度が用いられている。本研究では、高度を考慮する必要があるため、DBSCAN をそのまま適用することは適切でないと考える。これは、DBSCAN において、クラスタ間の距離を決定するための閾値である Eps が 1 次元であるため、複数の性質の異なる特徴量からクラスタを抽出するのは困難である。緯度と経度の2つを合わせることで2点間の距離の特徴量として用いるのは適切であるが、図1に示すように、同じ地点でも高さが異なる地点についてそれぞれの異なるクラスタとするべき場合が存在する。

そこで、本研究では、ホットスポットを抽出するための手法として、ST-DBSCAN を用いる。ST-DBSCAN 手法は、空間的な距離に加えて時間も考慮するために DBSCAN を改良した手法の1つである。ST-DBSCAN は、 Eps_1 、 Eps_2 、および $MinPts$ の3つの閾値によって制御され、それぞれ、2つ

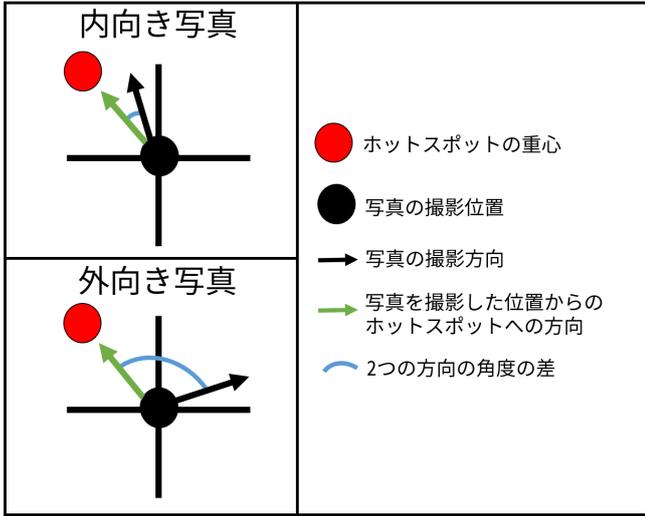


図 3: 内向き写真と外向き写真

のデータの空間的な特徴の距離，それ以外の特徴の距離，クラスターが含むデータ数の閾値である．本研究では， $Eps1$ を緯度と経度， $Eps2$ を高度として ST-DBSCAN を適用する．その際に，データの探索には，kd-tree [1] を用いる．ここで，本研究において，緯度，経度，および高度は，写真に付与されている Exif (Exchangeable image file format) の GPSLatitude, GPSLongitude, および GPSAltitude を用いる．

抽出されたホットスポットの重心を求める．ホットスポット h に属するそれぞれの写真の撮影位置の緯度と経度を (x_i, y_i) ，写真の枚数を n_h とした際に，ホットスポット h の重心 (x_h, y_h) を以下の式で求める．

$$(x_h, y_h) = \left(\frac{\sum_{i=0}^{n_h} x_i}{n_h}, \frac{\sum_{i=0}^{n_h} y_i}{n_h} \right) \quad (1)$$

3.2 ホットスポットの分類

抽出されたホットスポットに含まれる写真に付与された撮影方向を用いて，ホットスポットを図 2 のように，関心領域，撮影スポット，展望スポットに分類する．しかし，緯度経度に加えて，撮影方向も付与されている写真の枚数は，緯度経度のみが付与されている写真に比べて極端に少なく，分類が難しい場合がある．そのため，本研究では，ホットスポットを，関心領域，撮影スポット，展望スポット，およびその他の 4 つに分類する．本研究では，ホットスポットに属する写真の中で撮影方向が付与されている写真の枚数が 10 枚未満のホットスポットをその他とし，以下の処理は行わないとする．

はじめに，ホットスポットが，撮影スポットかそれ以外かを分類する．撮影スポットは，ホットスポットの周辺に興味のある対象物があり，そのホットスポットでは，その対象物を撮影した写真が多く撮影されるため，写真の撮影方向が 1 方向に偏るホットスポットとなる．これを求めるため，ホットスポット内に含まれる写真の撮影方向を 0~10, 10~20 のように 10 度ずつの階級に分割し，各写真の撮影方向の値がどの階級に属するかを求める．そして，属する写真の枚数が最も多い階級を決定する．そして，その階級の写真の枚数がホットスポットに属する写真数の 15% 以上を占めている場合，そのホットスポット

表 1: データセット

	清水寺周辺	London Eye 周辺	The Shard 周辺
写真数	4,750	27,093	58,636
ユーザ数	659	3,978	5,755
高度の閾値	971	200	280

表 2: ST-DBSCAN のパラメータ

	清水寺周辺	London Eye 周辺	The Shard 周辺
$Eps1$	0.00005	0.0001	0.0001
$Eps2$	5	2	2
$MinPts$	20	30	30

表 3: 清水寺周辺の主要な観光スポットの一覧

スポット	緯度	経度	高度 (m)
清水展望台	34.994304	135.785516	119.4
音羽の滝	34.994430	135.785261	99.9
清水寺 奥の院	34.994604	135.785590	121.5
清水の舞台	34.994670	135.785040	117.4
轟門	34.994774	135.784479	115.0
朝倉堂	34.994906	135.784575	113.9

は撮影スポットと判定する．

次に，ホットスポットが関心領域，展望スポットのどちらかの分類を行う．この分類は，ホットスポットの含まれる写真の内向き写真・外向き写真の割合に基づいて行う．図 3 に，内向き写真と外向き写真の例を示す．本研究では，写真の撮影方向と，写真の撮影地点を基準としたホットスポットの重心への方向が近ければ，内向き写真と判定する．また，それ以外の写真を外向き写真と判定する．

写真に付与された真北を 0 度とした撮影方向を θ_i とし，写真の撮影位置の緯度経度の座標 (x_i, y_i) に対して，ホットスポット h の重心の座標 (x_h, y_h) が存在する方向 θ_d を求める．

$$\theta_d = \tan^{-1} \frac{\cos y_h \times \sin(x_h - x_i)}{\cos y_i \times \sin y_h - \sin y_i \times \cos y_h \times \cos(x_h - x_i)} \quad (2)$$

次に， θ_d と θ_i の差に基づいて，以下のように内向き写真と外向き写真を判定する．

$$\begin{cases} \text{内向き写真} & |\theta_i - \theta_d| < \theta \\ \text{外向き写真} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

本研究では，内向き写真と外向き写真を分類する閾値を $\theta = 50$ としている．そして，それぞれのホットスポット内で，内向き写真と判定された写真の枚数が，外向き写真よりも多い場合，そのホットスポットは関心領域であると判定する．また，それ以外を展望スポットとする．

4. 可視化

4.1 データセット

本研究に用いるデータセットについて説明する．Flickr から期間が 2004 年 1 月 1 日から 2018 年 1 月 6 日の間に撮影され

表 4: London Eye 周辺の主要な観光スポットの一覧

スポット	緯度	経度	高度 (m)
London Eye	51.503324	-0.119543	4.8
Big Ben	51.500729	-0.124625	5.9
Westminster Abbey	51.499292	-0.127310	4.9

表 5: The Shard 周辺の主要な観光スポットの一覧

スポット	緯度	経度	高度 (m)
The Shard	51.504500	-0.086500	5.1
St Paul's Cathedral	51.513845	-0.098351	16.2
Tower of London	51.508112	-0.075949	11.2
London Bridge	51.507994	-0.087758	3.1

た、緯度経度情報が付与されている写真を収集した。本研究では、清水寺周辺、London Eye 周辺、The Shard 周辺で撮影された写真を用いる。London Eye は、ロンドンに存在する観光車であり、The Shard は、ロンドンのロンドン・ブリッジ駅の南西側にある超高層ビルである。

高度の誤差に対処するために、閾値を設定し、閾値よりも大きい高度が付与されていた写真はデータセットから取り除いている。本研究では、それらの敷地をその周辺の建物や、山などを基準にして設定している。また、0m 以下の高度が付与されている写真も取り除いている。

さらに、緯度、経度、高度の全てが重複している写真は、重複を排除した。これは、デバイスの GPS などの測位のミスや、設定などにより、誤った緯度などが付与されている場合に発生すると考えられ、ホットスポットを抽出する際に、その地点が過剰に評価されるのを防ぐための処理である。これらの処理を行い、適用した結果の写真数と、ユーザ数を表 1 に示す。また、ST-DBSCAN を適用する際のそれぞれのデータセットのパラメータを表 2 に示す。

清水寺周辺、London Eye 周辺、および The Shard 周辺の主要なスポットの一覧と、緯度、経度、および高度をそれぞれ表 3、表 4、表 5 に示す。これらの高度の情報は、地図蔵^(注2)のデータを利用している。可視化は全て、matplotlib^(注3)を用いた。

4.2 ST-DBSCAN による可視化結果

図 4a、図 4b、図 4c は、それぞれ清水寺周辺、London Eye 周辺、The Shard 周辺から取得した写真に対して、ST-DBSCAN を適用した結果を緯度、経度、および高度の 3 次元で示す。図 4d、図 4e、図 4f は、それぞれ図 4a、図 4b、図 4c について緯度、経度の 2 次元でそれぞれ示す。

図 4a において、得られたクラスタ数は、8 である。右の赤いクラスタ (緯度: 34.9946, 経度: 135.7855, 高度 120m 周辺) である。この地点は、表 3 より、清水寺 奥の院周辺である。また、青色のクラスタが抽出されている (緯度: 34.9945, 経度: 135.7853, 高度 100m 周辺)。この地点は、音羽の滝の周辺で

ある。図 4d において、赤色のクラスタである清水寺 奥の院と青色のクラスタである音羽の滝周辺や、黄緑色のクラスタかつピンク色のクラスタである朝倉堂周辺がそれぞれ重なって表示されている部分があることを示している。これらのクラスタにおいて、重なっている部分が存在する為、高度を考慮しないと、それぞれ一緒のクラスタとなる可能性があることを示している。

図 4b において、得られたクラスタ数は、26 である。右上にある橙色のクラスタは、(緯度: 51.503409, 経度: -0.119754, 高度 130m 周辺) である。この地点は、表 4 より、London Eye 周辺であるが、高度が一致していない。London Eye の地点は、表 4 より、高度は 4.8m であるが、London Eye の最高点は 135m である。よって、高度 130m 周辺は、London Eye の観光車に乗って最高点到達した地点だと考えられる。図 4e は、London Eye の場所を拡大したものである。6 色のクラスタが存在し、紫色のクラスタ以外の 5 色のクラスタにおいて、重なっている部分が存在する為、本結果においても高度を考慮しないと、これらのクラスタが一緒のクラスタとなる可能性があることを示している。

図 4c において、得られたクラスタ数は、40 である。上にある橙色のクラスタと赤色のクラスタは、(緯度: 51.504547, 経度: -0.086398, 高度 240m 周辺) である。この地点は、表 5 より、The Shard 周辺であるが、高度が一致していない。これは、先程と同じように、The Shard の地点は、表 5 より、高度は 5.1m であるが、The Shard の展望台の高さは 244m である。よって、高度 240m 周辺は、The Shard の展望台だと考えられる。図 4f は、The Shard の場所を拡大したものである。5 色のクラスタが存在し、これらのクラスタにおいて、重なっている部分が存在する為、本結果においても高度を考慮しないと、これらのクラスタが一緒のクラスタとなる可能性があることを示している。

これらのスポットは、緯度と経度のみのクラスタリングで判別することは可能かもしれないが、そのパラメータのチューニングには多くの手間がかかること。そして、実際の緯度と経度の情報を用いる場合には、それぞれのデータの誤差があるため、本来異なるクラスタに属するべきデータが誤って同じクラスタに属する可能性がある。そのため、そのような状態でも、高度を考慮することで、同じような緯度と経度の複数のスポットで、それらを判別することが可能であることを図 4a、図 4b、図 4c に示すことができた。

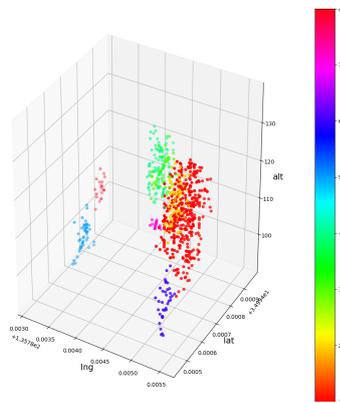
4.3 関心領域などの可視化結果

図 5a、図 5b、図 5c にホットスポットを関心領域、撮影スポット、展望スポット、その他に判定した結果を示す。これらは、清水寺周辺、London Eye 周辺、The Shard 周辺に対して、ホットスポットを 4 つに判定した結果である。赤色が撮影スポット、橙色が関心領域、緑色が展望スポット、青色がその他を示している。

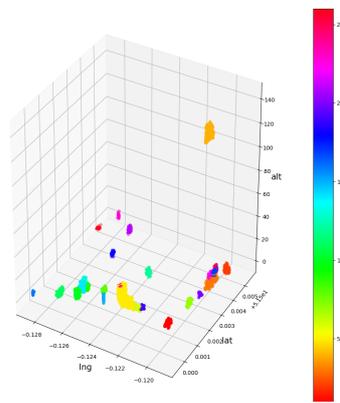
図 5a において、橙色のクラスタが存在していない為、関心領域と判定されたものがないことを表している。青色のクラスタは、忠僕茶屋周辺であり、その他を示している。赤色のクラスタは、音羽の滝周辺で、それを撮影しているホットスポット

(注2) : <https://japonyol.net/latlng.html>

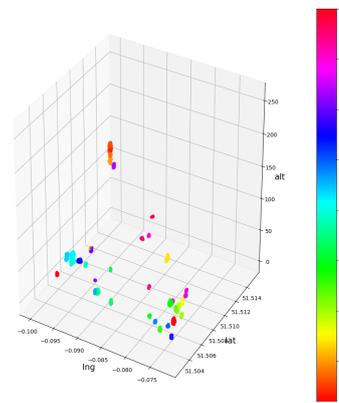
(注3) : <https://matplotlib.org/>



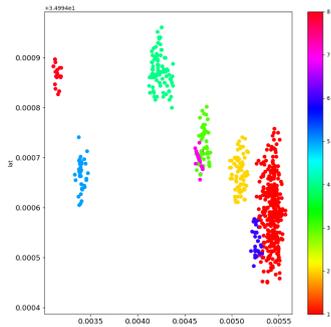
(a) 清水寺周辺 (3次元)



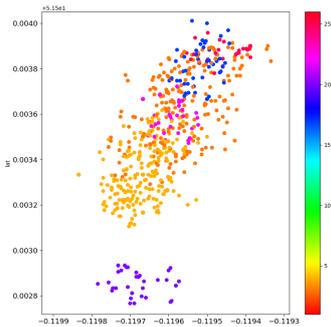
(b) London Eye 周辺 (3次元)



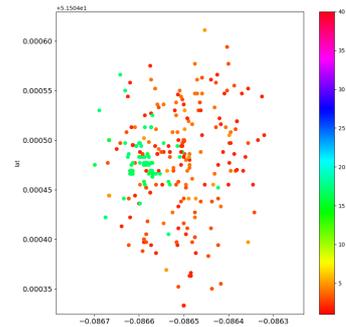
(c) The Shard 周辺 (3次元)



(d) 清水寺周辺 (2次元)

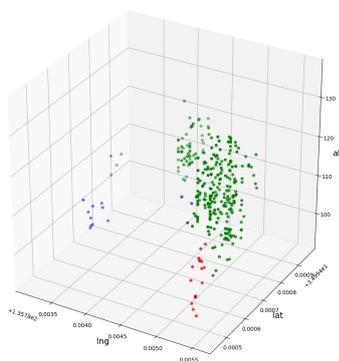


(e) London Eye (2次元)

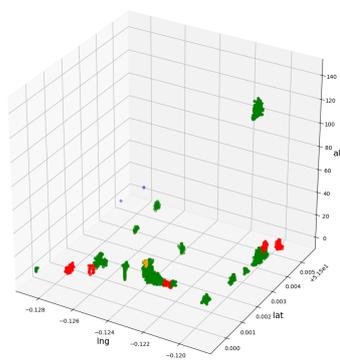


(f) The Shard (2次元)

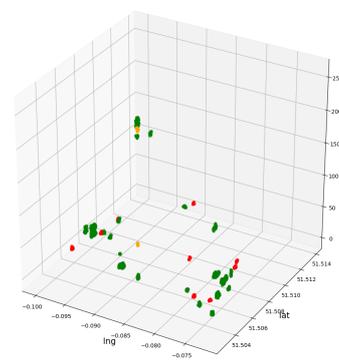
図 4: ST-DBSCAN によるクラスタリング結果



(a) 清水寺周辺



(b) London Eye 周辺



(c) The Shard 周辺

図 5: ホットスポットの分類結果

であると考えられる。緑色のクラスターは、清水寺奥の院、清水の舞台、朝倉堂、清水寺轟門の周辺であり、展望スポットである。それらの地域では周辺を撮影していることがわかった。

図 5b において、青色のクラスターは、イギリス最高裁判所周辺であり、その他と分類されている。橙色のクラスターは、Boudican Rebellion の像付近であり、関心領域である。London Eye 周辺は、赤色のクラスターである撮影スポットや緑色のクラスターである展望スポットが多く存在している。中でも、London Eye の地上付近は、緑色のクラスターや赤色のクラスターが存在しているので、撮影スポットかつ展望スポットであることがわかった。

また、London Eye の観覧車に乗って最高点に達した地点は、緑色のクラスターであるので、この地点は展望スポットであることもわかった。

図 5c において、青色のクラスターが存在していない為、その他と判定されたものがないことを示している。緑色のクラスターや赤色のクラスターが多く存在しており、橙色のクラスターも存在している。中でも、The Shard の展望台の所に、緑色のクラスターと橙色のクラスターが存在している。これは、展望スポットと関心領域であることを示している。しかし、ここは展望台であり、周囲を撮影していると考えられるため、展望スポットであ

るべきだと考えられる。

5. おわりに

本研究では、ソーシャルメディアサイトに投稿された写真の緯度経度情報と高度情報を用いることで、緯度と経度のみを考慮した際に1つのクラスタと考慮される可能性があるホットスポットを抽出する手法に取り組んだ。これまでに、緯度、経度、および時間に対して用いられていたST-DBSCANを、時間の代わりに高度を用いることで、高度を考慮したホットスポットを抽出した。また、清水寺周辺、London Eye 周辺、The Shard 周辺から得た写真と、それぞれのメタデータに対してST-DBSCANによるクラスタリング結果の可視化を行った。そして、清水寺周辺、London Eye 周辺、The Shard 周辺に対して、ホットスポットを関心領域、撮影スポット、展望スポット、その他の4つに判定し、可視化を行った。

今後の課題として、ST-DBSCAN以外の他の密度ベースのクラスタリング手法との比較、検討が挙げられる。現段階では、緯度、経度、および高度を特徴量として、ST-DBSCANを適用したに留まっており、DBSCANなどの他のクラスタリング手法に対する優位性を示すに至っていない。また、実際の撮影位置情報と、GPSで観測される撮影位置情報の誤差の検討が挙げられる。

謝 辞

本研究は、首都大学東京傾斜的研究(全学分)学長裁量枠戦略的研究プロジェクト戦略的研究支援枠「ソーシャルビッグデータの分析・応用のための学術基盤の研究」、およびJSPS科研費16K00157, 16K16158による。

文 献

- [1] Jon Louis Bentley. Multidimensional binary search trees used for associative searching. *Communications of the ACM*, Vol. 18, No. 9, pp. 509–517, 1975.
- [2] Derya Birant and Alp Kut. St-dbscan: An algorithm for clustering spatiotemporal data. *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 60, No. 1, pp. 208–221, 2007. Intelligent Data Mining.
- [3] David J. Crandall, Lars Backstrom, Daniel Huttenlocher, and Jon Kleinberg. Mapping the world's photos. In *Proceedings of the 18th International Conference on World Wide Web*, WWW '09, pp. 761–770. ACM, 2009.
- [4] Boris Epshtein, Eyal Ofek, Yonatan Wexler, and Pusheng Zhang. Hierarchical photo organization using geo-relevance. In *Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, p. 18. ACM, 2007.
- [5] Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD'06, pp. 226–231, 1996.
- [6] K. Fukunaga and L. Hostetler. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition. *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 21, No. 1, pp. 32–40, 1975.
- [7] Masaharu Hirota, Motohiro Shirai, Hiroshi Ishikawa, and Shohei Yokoyama. Detecting relations of hotspots using geo-tagged photographs in social media sites. In *Proceedings of Workshop on Managing and Mining Enriched Geo-Spatial Data*, GeoRich'14, pp. 7:1–7:6. ACM, 2014.
- [8] Slava Kisilevich, Florian Mansmann, and Daniel Keim. P-dbscan: A density based clustering algorithm for exploration and analysis of attractive areas using collections of geo-tagged photos. In *Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on Computing for Geospatial Research & Application*, COM.Geo '10, pp. 38:1–38:4. ACM, 2010.
- [9] Yuri Almeida Lacerda, Robson Gonçalves Fechine Feitosa, Guilherme Álvaro Rodrigues Maia Esmeraldo, Cláudio de Souza Baptista, and Leandro Balby Marinho. Compass clustering: A new clustering method for detection of points of interest using personal collections of georeferenced and oriented photographs. In *Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, WebMedia '12, pp. 281–288. ACM, 2012.
- [10] Motohiro Shirai, Masaharu Hirota, Hiroshi Ishikawa, and Shohei Yokoyama. A method of area of interest and shooting spot detection using geo-tagged photographs. In *Proceedings of The First ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Models of Place*, COMP '13, pp. 34:34–34:41. ACM, 2013.
- [11] Yiyang Yang, Zhiguo Gong, and Leong Hou U. Identifying points of interest by self-tuning clustering. In *Proceedings of the 34th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, SIGIR '11, pp. 883–892. ACM, 2011.
- [12] 高木有人, 遠藤雅樹, 莊司慶行, 廣田雅春, 横山昌平, 石川博. ジオタグ付き写真の撮影順序に着目した関心領域と撮影スポットの発見. 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, A5-4, 2017.
- [13] 小関基徳, 熊野雅仁, 亀井貴行, 小野景子, 木村昌弘. 写真属性と画像特徴を用いたホット撮影スポット・アノテーション. 第2回人工知能学会インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング研究会, pp. 40–47, 2012.