

夜間の熱赤外面像のための GCP としての 人工ホットスポットの抽出

Extraction of the artificial hotspot as the GCP for nighttime thermal infrared image

○春木裕真, 丹波澄雄

○Yuma Haruki, Sumio Tanba

弘前大学

Hirosaki University

キーワード : 人工ホットスポット(artificial hotspot), 熱赤外面像(thermal infrared image), 輝度
(luminance), 閾値処理(threshold processing)

連絡先 : 〒036-8561 青森県弘前市文京町 3 弘前大学大学院 理工学研究科 理工学専攻 電子情報工
学コース 丹波研究室

春木裕真, Tel : , Email : h14ms514@stu.hirosaki-u.ac.jp

1. 序論

人工衛星画像の精密幾何学補正にはシステム補正だけで十分な精度が得られない場合がある。その場合、地上基準点(GCP)と呼ばれる地図上の位置が確定している地点と画像上の対応点の情報の組みが必要となる。GCP は一般的に半島や岬の先端など視覚的に特徴のある地形が選ばれるが、衛星に搭載されているセンサの地上分解能により選択される対象物が異なる。高分解能センサの場合は人工構造物もよく利用される。NOAA 衛星の AVHRR センサの地上分解能は衛星直下で約 1.1km であるので、人工構造物はほとんど利用することができない。

可視域や熱赤外域の波長帯を用いる場合、日中も夜間も晴天でなければ地表の観測が難しいため、GCP の取得は困難になる。日中画像の場合は、雲域をほぼ確実に把握でき、近赤外域を用いることで陸域と水域の境界も明瞭に認識できる。そのため、日中であれば良質な GCP が取得可能となる。しかし、日中に比べて夜間画像の場合、熱赤外域のセンサの放射温度の情報のみ使用可能となる。雲域

は一般に温度が低いので検出可能だが、霧などの低高度の雲は地表との温度差が小さいので検出が困難となる。また、陸域と水域の境界での温度差は季節、地域、天候によって多様に変化するため、温度情報だけで決定することは困難となる。以上より、夜間画像の GCP 取得精度は低くなってしまふ。

研究室では中間赤外域(3.7 μm)と熱赤外域(10–12 μm)の観測波長帯を有しているセンサによる夜間画像のための GCP として、製鉄所や、セメント工場といった人工ホットスポット(人工熱源)の利用を提案している。

本研究では、日本と韓国全域の人工ホットスポット候補地点の熱赤外面像での現れ方を調べ、夜間画像の GCP データとして整備し、利用するための方法を検討した。

2. 使用した画像データ

東海大学情報技術センターで受信・蓄積される NOAA 衛星の AVHRR 画像データを、研究者有志たちが開発、公開している PaNDA(Package for Noaa Data Analysis)を使用して、日本列島及び、

表1：NOAA衛星号数と撮影月内訳

NOAA	2013年										2014年			
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	計
15号	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16号	1	5	0	0	4	0	3	8	3	8	3	4	4	43
17号	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18号	1	6	1	0	4	1	4	8	8	11	5	6	7	62
19号	1	6	1	0	3	1	5	14	9	11	4	5	7	67
計	3	17	2	0	11	2	12	30	20	30	12	15	18	172

朝鮮半島が比較的晴れていて、なおかつノイズがないものを2013年4月～2014年4月の夜間画像から172枚選択した。15号と17号はノイズが酷いものが多かったため、選択されることはなかった。

AVHRR(改良型高分解能放射計)は衛星直下での空間分解能が約1.1km、観測幅が約2800kmを有するセンサである。AVHRRセンサのch3は日中はch.3Aを、夜間ではch.3Bを使用するようになっている。日中では全ての波長帯が使用可能だが、夜間の使用可能波長帯はch.3Bの中間赤外域とch.4、ch.5の熱赤外域のみである。表2はNOAA-15号以降のAVHRRセンサ諸元である。

表2:AVHRR諸元

Ch	観測波長帯(μm)	観測項目
1	0.58～0.68(可視)	雲、氷、雪
2	0.725～1.0(近赤外)	陸域植生
3A	1.58～1.64(中間赤外)	表面温度、雲
3B	3.55～3.93(中間赤外)	表面温度、雲
4	10.3～11.3(熱赤外)	表面温度、雲
5	11.5～12.5(熱赤外)	表面温度、雲

3.人工ホットスポット検出原理

物体は自身の温度に応じた輝度を波長毎に放射しており、その関係はプランク関数の黒体放射関数(1)式で記述される。

$$B_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1} \quad (1)$$

ここで、 B_{λ} は黒体の分光放射輝度 [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$]、 T は黒体の絶対温度 [K]、 λ は波長 [μm]、 c は光速 ($2.998 \times 10^8 [m \cdot s^{-1}]$)、 h はプランク定数 ($6.626 \times 10^{-34} [J \cdot s]$)、 k はボルツマン定数 ($1.380 \times 10^{-23} [J \cdot K^{-1}]$) である。

プランク関数において NOAA 衛星の AVHRR センサの ch.3B、ch.4、ch.5 を 300K と 1300K の時の

輝度で比較すると、ch.3B は 20000 倍に増加するが、ch.4、ch.5 は 50 倍程度の増加であり、感度が 2 桁以上異なることがわかる。人工ホットスポットは周囲に比べ温度が高いため、ch.3B と ch.4 の輝度温度差画像を作成すると差が大きく現れるので検出することができる。

AVHRR センサの地上分解能は衛星直下で 1.1km 四方であり、通常の人工構造物はこの分解能以下のサイズとなる。さらに高温部分(ホットスポット)は通常その構造物の一部であるため、AVHRR の 1 画素は非常に占有面積の小さい高温部分とその他の低温部分の混合画素(ミクセル)となる。

4.人工ホットスポットの出現特徴

過去の研究より、NOAA 衛星画像に現れる人工ホットスポット候補地点が 39 地点存在し、地図と照らしあわせた結果、人工ホットスポットとして現れる熱源を有しているのは製鉄所やセメント工場であることがわかった。

選択した 172 枚の夜間衛星画像では陸域画像と海岸線画像のズレが生じているものがほとんどである。このままでは切り出しデータ(ダンプデータ)を作成する際、安定して人工ホットスポットの検出ができないため、目視で陸域と海岸線を可能な限り一致させた。その後、ch.3B と ch.4 の輝度温度差画像で 39 地点の各座標を中心とした 21 画素 × 21 画素のダンプデータを作成し、人工ホットスポットの分布状況を観察した。その結果、人工ホットスポットの大きさは各工場で異なり、熱源の分布が時間と共に変化する可能性がある。製鉄所は明るい、人工ホットスポットとなる工場が比較的集中しており、近傍に他の人工ホットスポットが存在することが多い。セメント工場は暗いが 1、2 画素程度に収まり、さらに周囲に他の人工ホットスポットは殆ど存在しないことが

わかった。これは日本、韓国共に似たような結果になった。さらに、同一ダンプ地点内に複数の人工ホットスポットがいくつか存在したため、それらから最も高い輝度温度を示した工場を使用することにした。その結果、人工ホットスポットは 39 地点から 35 地点となった。

5.人工ホットスポット領域特定

ダンプデータを調べることで製鉄所やセメント工場の特徴を得られることができたが、それだけではGCPの分類には欠ける。各人工ホットスポットの明るさや広さをより詳細に調べるため、図1の手順で処理を実行した。閾値は(標準偏差×3+平均)のことである

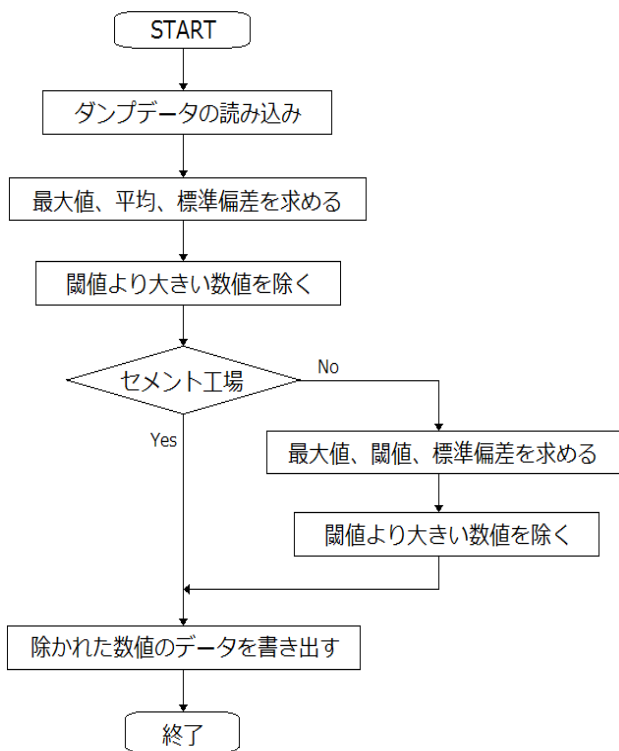


図 1:閾値処理のフローチャート

出力された閾値以上の数値データから人工ホットスポットの領域を求める。図2は閾値以上の数値データの例であるが、このデータから領域を求める方法はピクセル方向(横)とライン方向(縦)の標準偏差を求め、2つの標準偏差から人工ホットスポット領域の標準偏差を求めることができる。

次に、各人工ホットスポットの明暗・広狭区分を行うために領域標準偏差の平均と最大輝度温度の平均を用いてグラフを作成する。図3が作成されたグラフであり、領域標準偏差と最大輝度温度の区分

	1882	1883	1884	1885	1886	1887
1209						
1210		439	2225	3064	3064	
1211			1831	2260	886	886
1212				2260	765	
1213						

図 2 : 閾値以上の数値例

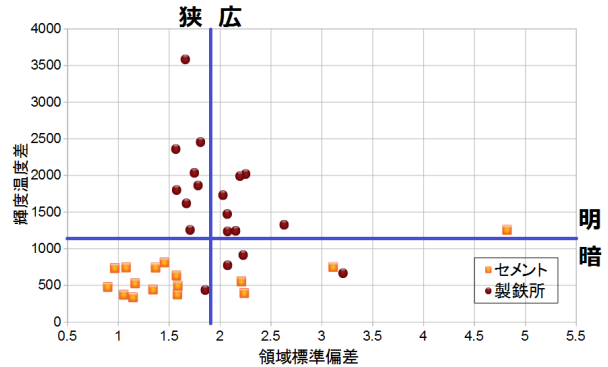


図 3 : 領域標準偏差平均と最大輝度温度差による区分図

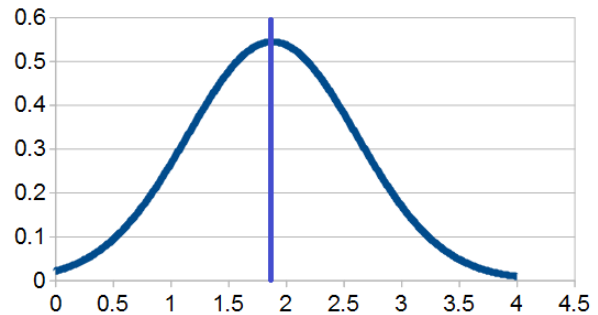


図 4:領域標準偏差正規分布

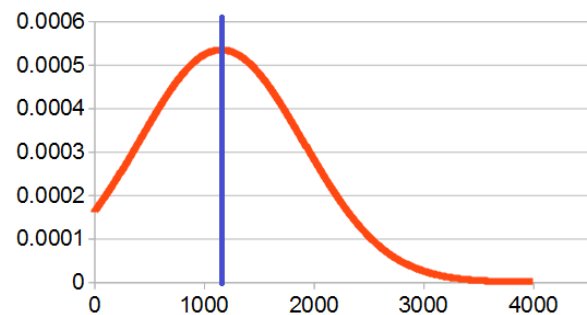


図 5:最大輝度温度正規分布

はそれぞれの正規分布により求めることができる。領域標準偏差正規分布グラフは頂点の左側が狭い、右側が広いとみなす。最大輝度温度正規分布グラフは頂点の左側が暗い、右側が明るいとみなす。

6.人工ホットスポット検出結果

人工ホットスポットの明暗・広狭区分はできたが、閾値処理の際、人工ホットスポット以外の地点が領

域に含まれることが幾度なくあった。Google Map や 国土地理院のデータと照らし合わせることでその地点に何が在るか、またどのようなものが領域に含まれるかを調査した。

- ・造船所、発電所、製油所、空港、自衛隊基地
- ・製粉工場、ゴム工場、精米工場、ガス工場
- ・石油化学工場、ステンレス工場
- ・電気化学工場、機電工場、石灰採石場
- ・水田、海上、山

その結果、以上のものが領域に含まれることがわかった。この中で検出頻度の高いのが造船所、発電所、電気系、化学系の工場であった。特に発電所の輝度温度は高く、セメント工場の付近にある場合、セメント工場の輝度温度を上回る可能性もある。これらの中で異分子なのが水田、海上、山頂の3つだが、水田に関しては検出したのが夏や秋だったので藁焼きをしていたと考えられる。海上に関しても、検出されたのが人工ホットスポット付近だったため資材を運ぶための大型の船などが検出されたと考えられる。

さらに人工ホットスポットの位置が内陸か海沿いにかによる領域標準偏差の違いを検証したが、先に述べた人工ホットスポット以外の地点が存在するか否かで領域標準偏差の値が大きく変わるためこの検証は意味をなさなかった。しかし、人工ホットスポット周辺に水域がなく、工場などの閾値処理で検出されるような建造物もない場合、検出されるのは人工ホットスポットのみとなるため、そのような人工ホットスポットは非常に良質な GCP と呼べる。表 3 は人工ホットスポットの分類結果となる。ここで、LA は領域標準偏差の平均、HA は最大輝度温度の平均を占めず。

7.まとめと今後の方針

NOAA 衛星の AVHRR 画像内で利用可能な人工ホットスポットを対象とした GCP のデータセットが作成できた。これにより、明るく広い GCP を用いて 2,3 画素程度の誤差でズレを修正し、暗く狭い GCP を用いて 1 画素程度までズレを修正する二段階補正が可能となった。

今後は、ノイズが多い NOAA-15 号、17 号での人工ホットスポットの高精度検出や人工ホットスポット

上に雲がかかっているにもかかわらず識別できるように、雲を除去するアルゴリズムの作成を予定している。

表 3:人工ホットスポット分類結果

番号	工場名	位置	LA	HA
1	太平洋セメント 上磯工場	海岸	狭	暗
2	太平洋セメント 熊谷工場	内陸	広	暗
3	太平洋セメント 埼玉工場	内陸	狭	暗
4	太平洋セメント 藤原工場	内陸	狭	暗
5	太平洋セメント 大分工場	海岸	狭	暗
6	住友大阪セメント 栃木工場	内陸	狭	暗
7	住友大阪セメント 赤穂工場	海岸	狭	暗
8	宇部興産 宇部セメント工場	海岸	広	暗
9	宇部興産 伊佐セメント工場	海岸	狭	暗
10	宇部興産 荏田セメント工場	内陸	狭	暗
11	トクヤマ	海岸	狭	暗
12	双龍セメント 東海工場	内陸	広	明
13	双龍セメント工業 蔚山工場	内陸	狭	暗
14	東洋セメント 釜山工場	海岸	狭	暗
15	東洋セメント 三陟工場	海岸	広	暗
16	ラファージハルラセメント港湾工場	海岸	狭	暗
17	太平洋金属 八戸工場	海岸	狭	明
18	新日鉄八幡製鐵所	海岸	広	暗
19	新日鉄室蘭製鐵所	海岸	広	明
20	JFEスチール 東日本製鉄所京浜地区	海岸	広	明
21	住友金属工業 鹿島工場	海岸	狭	明
22	JFEスチール 東日本製鉄所千葉地区	海岸	広	明
23	新日本製鐵 君津工場	海岸	広	明
24	新日本製鐵 名古屋工場	海岸	狭	明
25	住友金属工業 和歌山工場	海岸	狭	明
26	JFEスチール 西日本製鉄所倉敷地区	海岸	広	明
27	JFEスチール 西日本製鉄所福山地区	海岸	狭	明
28	新日本製鐵 大分工場	海岸	狭	明
29	神戸製鋼 神戸製鉄所	海岸	狭	暗
30	新日本製鐵 広畑製鉄所	海岸	広	暗
31	日本精鉱 呉製鉄所	海岸	狭	明
32	住友金属鉱山株式会社 播磨事業所	海岸	狭	明
33	POSCO 光陽製鉄所	海岸	広	明
34	現代製鉄 唐津製鉄所	海岸	広	明
35	現代製鉄 本社	海岸	広	暗

参考文献

- [1] 佐々木靖彦「夜間の衛星画像データ処理のための人工ホットスポットの利用可能性に関する研究」2013年度学士論文
- [2] 佐藤佑樹「人工ホットスポットを用いた衛星画像の精密幾何補正」2011年度修士論文
- [3] 日本測量協会 リモートセンシング読本