

ひまわり 8 号を用いたブリヤート共和国における 森林火災検知に関する研究

Wildfire detection in Buryat Republic by Advanced Himawari-8 Imager (AHI)

水谷 真隆*・竹内 渉*・森山 雅雄**

Masataka MIZUTANI, Wataru TAKEUCHI and Masao MORIYAMA

Abstract : In recent years, wildfire has become a global social issue. In this study, by focusing Himawari-8, forest fire detection was carried out. The study site is Buryat Republic in Russia (East side of Lake Baikal). Himawari-8 temporal resolution is 10 min. So every 10 min the target fires were pursued. As a result, AHI-8 ch7 has highest potential for fire detection in AHI IR channel and 0.20 [km²] size forest fire could be detected. It was minimum fire detection. And fire power was calculated by AHI chs. 7, 13. From fire power and ch. 13, the type of fire was estimated. They were “fixed fire”, “advanced fire” and “spreading fire”.

1. はじめに

森林火災による被害は、年々深刻化している。国際連合食糧農業機関 (FAO *et al.*, 2010) によると、世界の全森林の約 1% が毎年森林火災により著しく被害を受けていると報告されている。また、火災による被害を受けた森林面積について多くの国で情報が失われており、著しく過小評価されている可能性が高い。森林火災の現状を正確に把握することは、被害の軽減の観点や、環境負荷を最小限にする観点からも重要であり、森林火災の空間分布および時間分布を把握する手段としてリモートセンシング技術は非常に有効である。リモートセンシングの多波長性、周期性、広域同時性を活かし、これまでさまざまな衛星を用いて、森林火災の観測および検知が行われてきた。衛星のタイプより、2つの観測形式に大別できる。ひとつは高空間分解能、低時間分解能衛星を用いた観測である。代表例として SPOT HRV, Terra ASTER などのセンサを用いる手法 (Liew, S.C., *et al.* 1998) (Giglio, L., *et al.*, 2008) が挙げられる。空間分解能は 10m~30m 程度であるが、回帰日数が 2 週間程度であり、火災を

詳細に分析することができるものの、火災発生時に観測ができるとは限らない。もうひとつは低空間分解能、高時間分解能衛星を用いた観測である。代表例として米国の気象衛星 NOAA AVHRR, Aqua/Terra MODIS を用いる手法 (Flasse, S.P., *et al.*, 1996) (Justice, C.O., *et al.*, 2002) が挙げられる。空間分解能は 250m から 1 km と決して高くはないが、1日に 2 回同一地点の観測が可能であることから、詳細な分析には不向きであるものの、大まかな火災発生位置の特定には有効である。本研究では後者の分類に属するひまわり 8 号, AHI (Advanced Himawari Imager) の森林火災検知性能に関して検証した。

2. 目 的

ひまわり 8 号, AHI-8 の森林火災検知性能の検証を目的とする。本来気象衛星として、気象や海象の観測を目的に打ち上げられた衛星であるものの、熱赤外チャンネルを有することから、森林火災規模の熱放射であれば、観測が可能であると考えられる。空間分解能は 2 km とそれほど高くはないが、時間分解能が 10 分と極めて高く、従来の衛星では捉えきれなかった、火災の燃え広がり方および火災の発火の瞬間の観測などが期待できる。ひまわり 8 号の観測機能を表 1 に示す。

* 東京大学生産技術研究所

**長崎大学

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 56, NO. 5, 2017

表 1. ひまわり 8 号の観測波長 (Bessho, K., et al., 2016)

channel		波長 (μm)	Channel	波長 (μm)	
1	可視	0.46	7	赤外 IR	3.9
2	VIS	0.51	8	IR	6.2
3		0.64	9		7.0
4	近赤外 NIR	0.86	10	7.3	
5		1.6	11	8.6	
6		2.3	12	9.6	
			13	10.4	
			14	11.2	
			15	12.3	
			16	13.3	

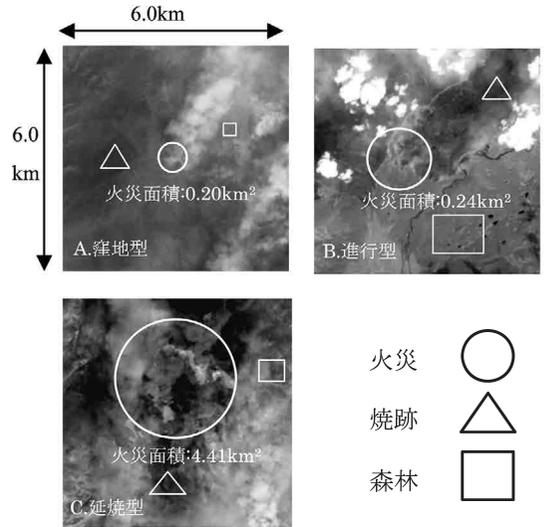


図 1. 3 種類の火災。左上: A. 窪地型, 右上: B. 進行型, 左下: C. 延焼型

3. 対象とした森林火災

ロシア連邦, ブリヤート共和国における森林火災を対象とした。ウランウデを首都とするブリヤート共和国は, 森林保護政策が積極的に行われており, 国内の 2 つの公園が国定公園化されているものの, 近年人口が急激に伸びており, 旅行ツーリズムも加速していることから, 森林活動が激しくなっている (Oksana, E., 2013)。毎年夏季に, 森林火災の発生が報告されている (Earthobservatory., 2015)。火災の原因としては, 自然発火ではなく BBQ やコテージでの火が燃え広がった人為的要因が主であるといわれている。Landsat-8 を用いて, 2015 年 8 月 7 日のブリヤート共和国のフォールスカラー画像を作成し, その中で特徴的な 3 つの火災を抽出した (図 1)。ひとつめは窪地に存在する動かない火災 (A 型とする), 2 つ目は消えながら燃えていく進行する火災 (B 型とする), 3 つ目は燃え広がる火災 (C 型とする) である。また火災面積はそれぞれ, 0.20km², 0.24km², 4.41km² である。

4. ひまわり 8 号を用いた火災の観測

4.1 熱赤外チャンネルに関するスペクトル分析

まず, AHI ch. 7~ch. 16 の計 10 chs. の火災箇所, 雲箇所, 森林箇所 の応答を検証した。Landsat-8 の画像をもとにし, 火災箇所を 5 か所, 雲及び森林箇所を 10

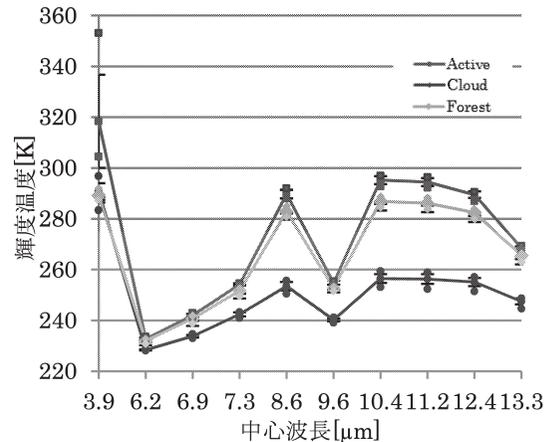


図 2. AHI ch. 7~ch. 16 に関するスペクトル分析。火災箇所, 雲箇所, 森林箇所を検証した。それぞれの最大値, 最小値, 平均値をプロットし, 平均値を実線で結んだ。各々標準偏差も示した。

か所抽出し AHI-8 のスペクトルの応答を検証した (図 2)。その結果, 最も火災を反映するチャンネルは ch. 7 (3.9μm) であり, 森林箇所との差も 29.1K と最大となった。また, 火災箇所と雲箇所の差は ch. 13 (10.4μm) で最大 (38.7K) となった。ここで, ch. 13 の火災箇所の輝度温度と ch. 7 の雲箇所および森林箇所の輝度温度はほぼ等しいことから, ch. 13 を ch. 7 の background として扱い, 火災箇所における火災を含んだ全体の放射 (ch. 7) から背景の放射 (ch. 13) を除去し, 火災由来の熱放射エネルギーのみを抽出する

特性関数 ϕ を設定した (式1)。

$$\phi = \sigma(T_7^4 - T_{13}^4) \quad (1)$$

σ : ステファンボルツマン定数, T_7 : ch. 7に由来する輝度温度, T_{13} : ch. 13に由来する輝度温度

(式1)はプランク関数の非対称性を利用した放射量の変化を示している。ch. 7と ch. 13では温度変化に対して放射量変化が異なる。これはプランク関数がピークを境に非対称であるためであり, ch. 7での温度変化に対する輝度変化は ch. 13よりも大きくなり, 特性関数 ϕ の値も大きくなる。

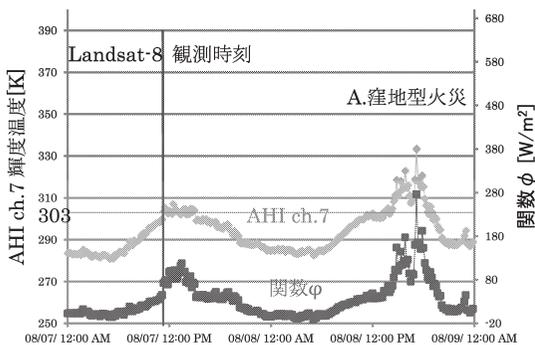


図3. A. 窪地型火災の熱放射およびエネルギーの変動。0.20km²規模の火災でも熱異常が観測された。

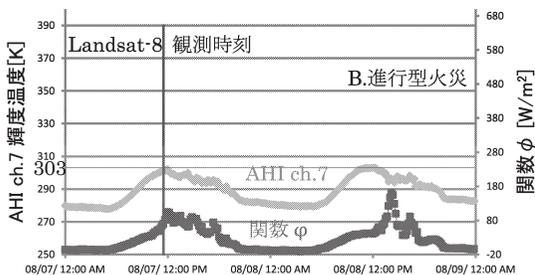


図4. B. 進行型火災の熱放射およびエネルギーの変動。2日目に関して関数 ϕ の方がより敏感に反応している。

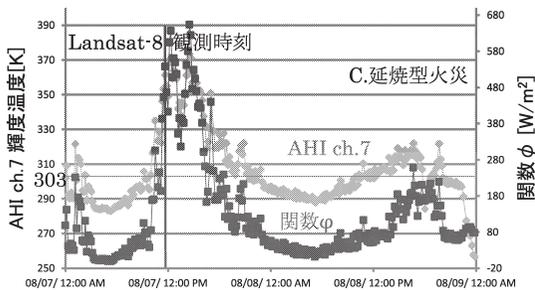


図5. C. 延焼型火災の熱放射およびエネルギーの変動。大規模火災を反映している。

5. 解析結果

5.1 観測可能な最小火災規模

3種類の火災に関して, Landsat-8 観測日とその翌日の延べ2日間にわたって, 10分おきにひまわり8号で火災を観測した結果を図3~5に示す。AHIにてch. 7における森林の通常最高輝度温度を検証した結果303Kであり, この値をAHI ch. 7の閾値として設定し熱異常を判定した。すると, すべての火災において熱異常を判定することができた。すなわち, ひまわり8号では0.20km²規模の火災が検知可能であるといえる。またフットプリントを考慮すると, 1 pixelが2 km×2 kmの4 km²であることから, 1 pixelのうちの5%程度が燃焼している状況で検知が可能であるといえる。また進行型火災の2日目の結果において, ch. 7単体では捉えられなかった熱異常を特性関数 ϕ で捉えることができた。これは特性関数 ϕ は熱異常によりセンシティブに反応するためであると考えられる。プランク関数は非対称関数であり, ピークの短波長側が画素内の部分的温度異常に非常に反応性が高いことを反映している実践的な結果が得られた。

5.2 空間的特徴のパターン化

図6~図8は横軸をAHI ch. 13, 縦軸を特性関数 ϕ とし, Landsat-8 観測日とその翌日にわたって, 10分ごとにプロットした図である。

その結果, 火災のタイプにより日変動の変化に大きな違いが見られた。A. 窪地型火災つまり, 火が移動できないような場所に固まっており, 一か所で集積して収まり, 定点で燃える火災に関しては, AHI ch. 13が比較的高い領域において立ち上がりを示し, 日変動する。また, 消えながら進むB. 進行型火災に関しては $y < -3.70x + 1154$ の領域でch. 13の値が変化する。燃焼期間が非常に長く, 四方八方に長期間にわたって燃え続けるようなC. 延焼型火災に関しては縦軸のエネルギーの振れ幅が大きくなっている。これは, A. 窪地型に関しては火災の燃料(材木や枝などを含めた木材, および森林)が集積しているため, エネルギーが大きく放出されたと考えられる。B. 進行型に関しては, 燃焼中に燃料が消失したため進行し, 常にエネルギーは低い状態で推移したと考えられる。また, C. 延焼型に関しては火災の燃料が尽きることなく, 延焼していき,

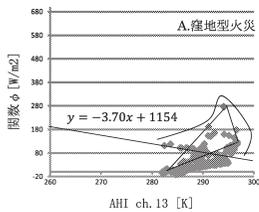


図 6. A. 窪地型火災の分布。ch. 13が高い領域で立ち上がっている。

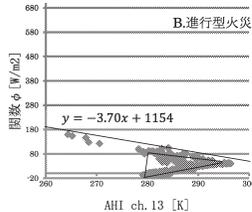


図 7. B. 進行型火災の分布。判別式内でch. 13が反応している。

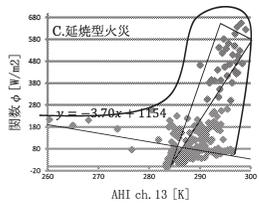


図 8. C. 延焼型火災の分布。ch. 13が高い領域で立ち上がり、縦軸のエネルギーの変動が非常に大きい。

莫大なエネルギーが放出されたと考えられる。つまり、このグラフの概形より、どのような火災であるのか、どのような森林環境条件で発生した火災であるのか、および空間的な移動をおおまかに推察することができると考えられる。これは10分に一回観測が可能であるひまわり 8号だからこそ成せる業であり、ひまわり 8号の特徴的利点を生かした結果であると考え。

6. まとめ

本研究ではひまわり 8号の火災検知性能を検証した結果、最小で0.20km²規模の火災を観測することができた。また10分に1回観測できるという特徴を生かして、火災のパターン分類を検証した結果、火災のエネルギーと AHI ch. 13の関係性から、おおまかに A. 窪地型火災, B. 進行型火災, C. 延焼型火災の3つに分類することができた。火災の検知のみならず、燃え広がり方という観点を導入できたのは、ひまわり 8号の

格段に向上した時間分解能の所為に他ならない。

今後の展望としてはひまわり 8号の最大の利点である高頻度観測を応用して、さまざまなアプローチで森林火災検知のみならず、延焼の様子などへの応用が重要である。

(受付日2017.3.31, 受理日2017.9.5)

参考文献

- 世界森林資源評価2010 (Global Forest Resources Assessment 2010 : FRA 2010)
- Bessho, Kotaro, et al. “An introduction to Himawari-8/9—Japan’s new-generation geostationary meteorological satellites.” *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II* 94.2 (2016): 151–183.
- Flasse, S.P., and P. Ceccato. “A contextual algorithm for AVHRR fire detection.” *International Journal of Remote Sensing* 17.2 (1996): 419–424.
- Giglio, Louis, et al. “Active fire detection and characterization with the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER).” *Remote Sensing of Environment* 112.6 (2008): 3055–3063.
- Justice, C.O., et al. “The MODIS fire products.” *Remote Sensing of Environment* 83.1 (2002): 244–262.
- Liew, Soo Chin, et al. “A study of the 1997 forest fires in South East Asia using SPOT quicklook mosaics.” *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 1998. IGARSS’98. 1998 IEEE International*. Vol. 2. IEEE, 1998.
- NASA : earthobservatory <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=86414> (accessed 13 March. 2017)
- Oksana, Evstrpyeva. “The resources of endogenous tourism of the Baikal Region.” *International Journal for Responsible Tourism* 2.3 (2013): 54.