DMSP と GMS を用いた大規模森林火災モニタリング手法の検討

Study of Monitoring Method for Huge Forest Fire Using DMSP and GMS

永野 修*・山本浩万*・岡田泰征*・本多嘉明*・
梶原康司*・クリストファーD. エルビッジ**

*Osamu NAGANO, Hirokazu YAMAMOTO, Yasumasa OKADA, Yoshiaki HONDA,
Koji KAJIWARA and Christopher D. Elvidge*

Abstract: The occurrence of a great forest fire in Indonesia in this summer gave impacts on various phases in social and economic activities. The smog caused by the fire influences neighboring countries in addition to Indonesia. To prevent the damage area extending, we need to get information about present conditions on the disaster. However, since a target area is broad in this case, it's difficult to get needed information.

We have used Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) and Geostationary Meteorological Satellite (GMS) to monitor this disaster. DMSP detects slight emission such as fires at night and GMS collects data on cloud every hour. By using two different types of satellite data, we can get information on the location of hot spots and spread of smog caused by the fire. Time sequential data we have processed from GMS clarifies movement of the smog. From DMSP, we can detect the locations of hot spots.

On September 21, there were many hot spots in the southern part of the Kalimantan Island. On September 30, however, a number of the hot spots in that area became smaller. On the other hand, a number of hot spots in the Sumatra Island didn't change for more than 10 days. Smog generated in the Kalimantan Island moves westward; Singapore, Malaysia, and so on. The spread of smog still remains as of September 30.

As mentioned, by using two satellites of different characteristic, we can clarify the change in conditions of the hot spots and the movement of smog generated by the fire.

1. はじめに

1-1 インドネシアにおける森林火災の概要

インドネシアのカリマンタン島、スマトラ島で1997年に発生した森林火災は、発生から9月までの約3ヶ月間におよそ30万ヘクタールを焼き尽くす大規模な災害となった。これらの森林火災の原因の多くは現地の

開発業者が農地整備のために森林に火をはなつという行為から発生したものであるが、このように大規模災害に至った理由は、本年が特に異常早魃に見舞われており、例年であれば9月にはおとずれる雨期が遅れているということと重なったためでもある。

今回の森林火災は単なる森林の焼失に留まらず、火災から発生した煤煙は、発生源のインドネシア国内だけではなく、マレーシア、シンガポールなどの周辺国にまで達している。この煤煙による被害は人体だけではなく、輸送機関への影響や日射が遮られることで農作物の成育にまで及び、社会的経済的にも多大な影響を広範囲に及ぼしている。

1-2 大規模森林火災モニタリングの意義

このような大規模な森林火災による災害は、その影響が広範囲に及び、なおかつ経済的、社会的な影響も

* 千葉大学環境リモートセンシング研究センター
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University
千葉市稲毛区弥生町1-33

** NOAA National Geophysical Data Center, Solar-Terrestrial Physics Division
3100 Marine Street, Boulder, Colorado, 80303 USA
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 37, NO. 3, 1998

無視できないものがある。また被害域が広範囲に及ぶことは、災害状況の把握をより困難にする。これにより災害に対する対応が遅れ、結果としてさらに被害域を拡大させることとなる。同じような例に1996年の春にモンゴルで発生した火災がある¹⁾。

このような広域に及ぶ災害を、効率よく、またリアルタイムでモニタリングする手法を開発することは、今後の大規模森林火災に対する早急な対処の手だてとなり、被害域の拡大を防ぐことにもなる。

1-3 本研究の目的

本研究では日本の Geostationary Meteorological Satellite (GMS) と米国の Diffence Meteorological Satellite (DMSP) という、データ取得の間隔が短い高頻度衛星を利用し、大規模森林火災という広域現象のモニタリング手法の検討を行った。両衛星とも今回のような災害をとらえるために開発された衛星ではないが、森林火災という短い時間間隔で状況が変化するような災害を追跡するには、GMS のように高頻度の情報がなくてはならない。そこで既存の GMS と DMSP という衛星を利用し、今回の森林火災についてどのような情報を得ることが可能なのか、またその有用性と問題点を明らかにする。

解析対象領域(図1)は今回の森林火災の中心となったインドネシアのカリマンタン(ボルネオ)島、スマトラ島、ジャワ島を含む東西約2200km、南北約1600kmの範囲である。

図1 解析対象領域

2. DMSP OLS を用いた森林火災域の検出

2-1 DMSP OLS の概要

DMSP とは1970年代からアメリカ空軍により運用されている Defense Meteorological Satellite Program の略称である。DMSP は極軌道の気象衛星で可視近赤センサーが搭載されており、このセンサーを Operational Line Scan System (OLS) と呼んでいる。鉛直直下の地上分解能は約2.2km で、1日4回日中と夜間のデータを取得しており、特に夜間のわずかな放射エネルギーを感知することができる点がこの衛星の注目すべき特徴である。これにより人間活動に伴う夜間の都市光や油田地帯の炎、あるいは今回のような火災の画像を得ることができる²⁾。

2-2 解析に使用した DMSP OLS データ

解析に用いた DMSP のデータは9月21日と30日の夜間の可視画像である。新聞報道などによると9月30日現在も火災は減少傾向にあるもののまだ全体としてみれば多くの地域で発生している。また10日後の画像を比較することで森林火災域の変化をとらえることができる。

夜間の DMSP 画像は地表から放射される可視・近赤外域のわずかな放射エネルギーを検知している。この放射エネルギー源としては、火災域はもちろんであるが、人間活動に伴う都市からの光も当然ながらとらえてしまう。したがって様々な放射源からいかに森林火災域のみを抽出するかということが解析の重要なポイントとなる。

著者らが入手した DMSP 画像は9月21日と30日の画像である(図2, 図3)。カリマンタン島南岸部地域の白で示された点は、大部分が森林火災地であるが、ジャワ島北東端にみられる明るい地域はインドネシアの首都であるジャカルタの都市からの光である。この他にも明らかに森林火災域ではない他の光源と推定される地点がいくつかある。

2-3 森林火災域の分離抽出

上述したように解析に用いた2シーンの DMSP 画像は10日間という短い期間のものである。このことから人間活動に伴う都市からの光については、両画像間で大きな違いがないと考えられる。そこで始めに両画

図2 9月12日のDMSP OLS画像

図3 9月30日のDMSP OLS画像

図4 2画像の演算により抽出した都市域の分布

図5 2画像の演算により抽出した火災域の分布

像中で同じ位置にある明るい点を都市からの光と仮定し、式1に示した方法で都市域の抽出を行った。

得られた結果を図4に示す。図中で白く示された地域が都市域として抽出された点である。この画像からジャワ島のジャカルタやスラバヤなどの都市域の広がりがよくわかる。しかしカリマンタン島の南部やスマトラ島中央部にみられる点の分布は都市域を表しているものではない。この手法では両画像中ともに見られる明るい点を都市と仮定しているため、仮にこの10日間で火災地点が移動していなければ都市光との分離は困難である。

次に両画像から森林火災域の抽出を行った。森林火災域は両画像のどちらか一方に見られる明るい点と仮定した。これは森林火災域は比較的短い時間で変化していくと考え、両画像の撮影間隔の10日間で同一の地点が燃え続けていることは無いという仮定にもとづくものである。森林火災域の抽出は式2により抽出を行った。

得られた結果を図5に示す。図中で白く示された点が火災域として抽出された点である。

2時期のデータより求めた森林火災域の抽出結果から、この期間に発生した火災はカリマンタン島の南部およびスマトラ島の南部の内陸部に多く、ジャワ島の東部地域にも散在していることがわかる。

$$V_{UA} = \frac{V_{21} + V_{30}}{2} - 128 \quad (1)$$

$$V_{FA} = |V_{30} - V_{21}| \quad (2)$$

ここで、 V_{UA} ：都市域、 V_{FA} ：火災域、

V_{21} ：21日のピクセル値、 V_{30} ：30日のピクセル値

2-4 DMSP OLS の時系列変化による火災状況

9月21日と30日の画像から、カラー合成図を作成した(図6)。合成方法は9月30日の画像に赤を割り当て、21日の画像に緑と青を割り当てた。図中、赤で示されている点は9月30日の火災域で、青で示されている点は9月21日の火災域である。白い点は両画像で変化の見られない点で、この場合は都市域と考えられる。

この画像から21日と31日の2時期の火災域の変化をとらえることができる。カリマンタン島では青色で示された21日の画像で多くみられた火災域が30日にはかなり減少している。スマトラ島では21日と31日で火災地点の数自体にはあまり変化がない。ジャワ島では他島に比べて著しい火災域はみられず、ジャカルタやスラバヤなど都市域の付近では火災域と都市域の明瞭な区別が難しい。

21日と30日の画像を比較する限りでは、森林火災は沈静化へ進んでいる。しかしスマトラ島では依然としてかなりの火災域が残っており、今回の森林火災の終息にはまだしばらくの時間が必要であると考えられる。

3. GMS を用いた煤煙検出

3-1 GMS の概要

GMS シリーズは主に気象情報の取得のため運用されている日本の衛星であり、気象衛星ひまわりとして

図6 9/21と9/30のDMSP カラー合成図

一般にもなじみ深い。1995年3月に現在のGMS-5が打ち上げられ1995年6月より運用されている。GMS-5には可視赤外走査放射計 VISSER が搭載されており、波長 $0.5\sim 0.9\mu\text{m}$ の可視域の1バンドと波長 $10.5\sim 11.5\mu\text{m}$, $11.5\sim 12.5\mu\text{m}$, $6.5\sim 7.0\mu\text{m}$ の赤外域の3バンドのデータを1時間おきに取得している。地上分解能は可視バンドが 1.25km で赤外バンドが 5.0km である。

3-2 解析に使用したGMS データ

解析に用いたGMS データは可視及び赤外のデータで、期間は9月25日から9月30日までの6日間である。GMSは毎時のデータを取得しているが、本解析に用いたのは昼間のデータで10時から16時までを2時間おきにとり、1日につき計4シーンの画像となる。実際の処理ではこの画像を時系列でならべ、アニメーション化し煤煙の移動状況を調べた。

3-3 可視画像から得られる情報

GMSの可視画像は、人間の目で見た様子に近い雲の分布をとらえることができる。対象領域の可視画像で解析期間中の9月25日から30日までを時系列のアニメーション画像で見ると、海面からの移流により発生した雲もみられるが、カリマンタン島の内陸部で発生した雲もかなり確認できる。それらの雲は赤道東風により東から西へと移動しており、ニュースなどにより報じられているように、インドネシア側からマレーシアにまで流されていく様子がよくわかる。特にカリマンタン島南部で発生している雲は解析期間中を通して確認することができ(図7)、森林火災により発生した煤煙の可能性が高い。しかし可視画像のみでは、通常の雲と火災起源の煤煙も同じようにとらえてしまうため両者を区別することは難しい。

3-4 赤外画像から得られる情報

GMSの赤外画像は $10\mu\text{m}$ 付近の放射をとらえている。これは地表面及び雲からの赤外域の熱放射で簡単にいえば対象の温度情報を表している。雲はその高度にもよるが、マイナス数 10°C という温度である。これに対し地表面や海面は 10°C 前後となるため、地表面と雲とのコントラストが比較的明瞭である。

解析に使用したデータは各ピクセルの値を反転させているため、本来ならば値の低い雲が逆に高くなり画

像上では明るく表示されることになる。

地表付近で発生した森林火災による煤煙は高層で発生した雲と比べ温度が高い。したがってこの熱バンドによりとらえられた雲は森林火災による煤煙ではなく、温度の低い中・高層に発生している雲といえる。図8に熱バンドによりとらえられた解析期間中の雲の画像を示す。可視の画像とは異なり、のっぺりとした状態の雲が少なく雲一つ一つの形状がはっきりしている。このことから熱バンドによる画像は比較的高層の火災起源のものではない雲をとらえていることがわかる。

3-5 可視と赤外の比演算を用いた煤煙の検出

前節で述べたように、GMSの二つのバンドは、その特性にあきらかな違いがある。図9は可視と赤外の解析期間中の画像をそれぞれ平均したものである。解析期間中の平均画像を作成することで、それぞれのバンドにおける雲の発生域パターンの傾向をつかむことができる。図中白く示した領域は特にピクセルの値が高い点で、つまり解析期間中を通して特に雲が多く現れた領域である。この結果から推察できるように可視のバンドがとらえた雲はカリマンタン島の南部を発生源としスマトラ島にかけて広く帯状に分布しており、また赤外のバンドがとらえた雲は特定の場所にあまり滞留することがなく、そのため可視画像ほど明瞭な雲の様子は見られない。これは可視のバンドによりとらえられている雲は、その発生場所からも考えられるように火災起源の煤煙を含んでいる可能性が高く、赤外のバンドによりとらえられている雲は、移流により発生した移動速度の早い雲である可能性が高いといえる。

このような結果から、この特性の異なる可視と赤外の画像を演算処理することで、森林火災起源の煤煙とそれ以外のものを区別することが可能となる。

式3で示した比演算処理を行うと、可視の画像から火災起源以外の雲の除去がある程度可能となる(図10)。可視画像に見られる雲が火災起源の雲とそれ以外の雲であり、赤外画像に見られる雲が中・高層の火災起源ではない雲とするならば、このような処理を行った結果得られた画像は、火災起源の煤煙の画像と考えられる。実際にはこの方法では低層の火災起源でない雲を完全に分離することは不可能なので、ある程度は低層の雲が含まれた解析結果で火災起源の煤煙の状況について議論することとなる。

9 / 25 12pm

9 / 26 12pm

9 / 27 12pm

9 / 28 12pm

9 / 29 12pm

9 / 30 12pm

図7 GMS 可視画像による日変化

9 / 25 12pm

9 / 26 12pm

9 / 27 12pm

9 / 28 12pm

9 / 29 12pm

9 / 30 12pm

図 8 GMS 赤外画像による日変化

可視画像の平均画像

赤外画像の平均画像

図9 可視画像と赤外画像の平均画像

$$V_s = \frac{VI}{IR} \times 255 \quad (3)$$

ここで、 V_s ：火災による煤煙、 VI ：可視バンド
 IR ：赤外バンド

3-6 GMS を用いた時系列煤煙分布による火災状況判断

比演算処理を行い最終的に得られた画像については、解析期間中の9月25日より30日までの6日間で、ほぼ全ての画像において火災起源と推察できる煤煙が確認できる。煤煙の分布をみると、カリマンタン島の南部に広く分布し、スマトラ島の中央部から北部にかけても分布している。一方のジャワ島では解析期間中を通して煤煙と思われる雲はあまり明瞭には現れていない。

次に時系列の画像により雲の動きをみると、その発生源を大きく二つに分けることができる。一つはカリマンタン島の南部で発生した火災による雲で、これは東風によりスマトラ島方面へと流されているのが確認できる。もう一方はスマトラ島の南部で発生し、北側のマレー半島方面に移動している。

以上のことから、今回の森林火災による被害は当事国のインドネシア国内にとどまらず、シンガポールやマレーシアにまで影響が及んでいることがGMSの時系列解析からも明らかである。

4. まとめ

4-1 DMSP から得られた森林火災状況と GMS から考えられる森林火災状況の相違

DMSP による画像では、9月21日から30日にかけての火災の発生地点は全体として減少しており、特にカリマンタン東南部で多発していた火災は大きく減っている。しかしスマトラ島の南部の火災発生地点にはあまり大きな変化がみられず、依然として火災が続いていることを示している。DMSP 画像は火災の発生地点を直接とらえることができるため、今ここで火災が発生しているかを把握するには非常に有効である。

一方、GMS 画像では解析期間中の9月25日から30日までの間に、煤煙の分布状況に著しい変化があまりみられない。30日の画像において、ある程度はカリマンタン島南部の煤煙が減少しているが、その後の画像を確認しないと煤煙が減少しているのかどうかについてははっきりと断言することはできない。煤煙の分布はその時の気象条件などにも大きく影響を受けるため、比較的長い時間について時系列で変化を追跡していかないと明確な結論を出しにくい。火災の発生現場から発生した煤煙は上空へと広がり、やがては移送され広がっていくため、ある程度の時間が経過してしまうと、火災域との対応関係が不明瞭となる。したがって必ずしも火災の発生現場と煤煙の分布が一致するわけではないと考えられる。

9 / 25 12pm

9 / 26 12pm

9 / 27 12pm

9 / 28 12pm

9 / 29 12pm

9 / 30 12pm

図10 可視画像と赤外画像の比較像

4-2 DMSP と GMS を利用した森林火災モニタリングの有効性

解析に用いた DMSP のデータは 2 シーンのみで、時系列解析といっても 2 時期の点の分布の変化を比較したに過ぎない。しかし DMSP は炎を直接とらえており、今どの地域で火災が発生しているのかをはっきりとおさえることができる。一方の GMS でとらえられる情報は雲の情報のみで、地上が今どのような状態にあるのかという情報を得ることはできない。

しかし本研究のように二つの衛星の情報が得られることで、煤煙の拡散という現象と、その原因となっている森林火災の状況をとらえることが可能となる。このように異なるデータを比較・検討することで、それぞれの画像から得られた情報を相互に補完することができ、モニタリングの信頼性を向上させることができる。

今回のような災害において何よりも重要なことは、速やかな被害状況の確認である。特に被害が数100km という広域にわたる場合は、空間分解能の高さよりも、時間分解能の高さにより重点がおかれる。そのような意味では、DMSP で毎日、GMS ならば 1 時間おきのデータを取得することができるというのは大きな利点である。また GMS ならば複雑な前処理に時間をかける必要もなく、ほぼリアルタイムでの情報の入手・解析が可能である。

4-3 DMSP と GMS を利用した森林火災モニタリングの問題点

DMSP により得られる情報は夜間の光であり、当然その光の中には人間活動にともなうものも含まれている。したがって森林火災の炎のみをとらえるには、あ

らかじめ都市光の分布についての情報が必要となり、その情報との差分処理を行うことでより精度の高い火災情報の抽出が可能となる。

GMS においても、その画像中に現れるものの多くは通常の気象現象に伴う雲である。今回の解析では火災の規模が大きいということもあり、比較的容易に火災による煤煙を抽出することができたが、煤煙の量が今回ほど多くなければ通常の雲に隠されてしまい抽出はより困難となる。

したがって火災の規模によっては必ずしも今回の手法が同様に適用できるわけではないが、少なくとも火災の規模が大きくなればなるほど衛星を利用した火災情報の抽出は容易になるため、広域の森林火災モニタリングという点では本研究で用いた DMSP と GMS から得られる情報は有効であると考えられる。

(受付日1997.11.13, 受理日1998.5.15)

参考文献

- 1) Christopher D. Elvidge, Review of Wildfire Observations in Mongolia During April and May of 1996 With Data From the DMSP Operational Linescan System, Proceedings of The International Symposium on "The Role of Remote Sensing for The Environmental Issues in Arid and Semi-Arid Regions", pp.33-40, 1997
- 2) Christopher D. Elvidge, Kemberly E. Baugh, Eric A. Kihn, Herbert W. Kroehl, and Ethan R. Davis., Mapping City Light With Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 63, No. 6, pp.727-734, 1997