

太陽フレアに伴う画像雑音 Image Noise caused by Solar Flares

木川 誠一郎*、宮川 卓也*
KIGAWA Seiichiro, MIYAKAWA Takuya

要 旨

2003年10月末に発生した大規模な太陽フレアに伴って、GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)衛星ではイメージャの可視および3.9マイクロメートルチャンネルの画像雑音が一時的に増加した。画像上には白黒の点が不規則に現れ、その出現数はGOES-11が観測したプロトン粒子束と高い相関を示した。白黒点の出現数を可視と3.9マイクロメートルチャンネルで比較すると、GOES-9と10ではよい一致が見られ、GOES-12では可視の出現数が小さくなった。白黒の点の輝度分布は一様分布ではなく正規分布に近い形状を示した。

プロトン粒子束との高い相関は白黒の点が太陽からの高エネルギー粒子によって引き起こされていることを示している。GOESイメージャの可視と3.9マイクロメートルチャンネルに白黒雑音が発生し、その他のチャンネルに発生していないことは、光起電力型検出器に入射した高エネルギー粒子が雑音源となっていることを示唆している。

雲画像上の白黒雑音は孤立した点として現れるので、画像の劣化は伴うもののメディアンフィルタによって除去が可能である。

太陽フレアに伴う画像雑音の増加は雲画像の利用にとっては好ましくないが、白黒雑音は宇宙環境の情報を与えてくれる。

Abstract

Due to large-scale solar flares at the end of October 2003, image noise of visible and 3.9-micrometer channels on GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) Imager temporarily increased. Black and white dots appeared on images irregularly, and the number of the dots shows good correlation with the proton flux data observed by GOES-11. As compared between visible and 3.9-micrometer channels in the number of the dots, good agreement on GOES-9 and -10 was found while GOES-12 visible channel had a small amount of dots. The brightness distribution of the black and white dots was similar to normal distribution, not uniform distribution.

High correlation with the proton flux indicates that the black and white dots were caused by solar high-energy particles. It is suggested that the high-energy particles hit on photovoltaic detectors are a source of the noise because only the visible and 3.9-micrometer channels had the black and white noise and other infrared channels hadn't.

The black and white noise appeared on the cloud images as an isolated dot, so that it is possible to remove or reduce the noise by a median filter accompanied by image degradation.

*気象衛星センター気象衛星運用準備室
2004年8月27日受領、2004年11月18日受理

The increased image noise with the solar flares is undesirable for cloud imagery application, while the black and white noise will give some information on space environment.

1. 白黒雑音の特徴

2003年10月29日朝（日本時間）に、GOES-9のイメージャ可視画像に奇妙な画像雑音が見つかった。雲画像上に白と黒の点が不規則に現れており、同様の画像雑音は3.9マイクロメートルチャンネルにも発生していたが、その他の赤外チャンネルには白と黒の点は現れていなかった。この白と黒の不規則に現れる点（ここでは白黒雑音と呼ぶ）はGOES-10と12においても同じ時刻に発生しており、衛星-地上間の通信回線の問題ではないことが明らかになった。

白黒雑音が極大となった2003年10月28日2325UTのGOES-9画像を図1に示す。上が可視画像、下が3.9マイクロメートルチャンネル画像で、白と黒の点が不規則に分布している。この白と黒の点の一部を拡大した写真が図2であり、白と黒の点は

画像上で東西に1から3画素の大きさを持っていた。

白黒雑音の出現割合は、イメージャが撮影した宇宙空間の画素を調べることにより推定された。各観測において宇宙空間の画素（5万画素から54万画素）の値を調べ、その値が通常の画像雑音の範囲を超えているときにその画素を白黒雑音画素として識別し、白黒雑音画素の割合を算出した。図3に白黒雑音画素の割合が示されている。最上段のGOES-9では10月28日12UTごろから白黒雑音の割合が急増し、翌29日00UTに極大を迎えている。その後、白黒雑音画素は減少したが、29日20UTごろに再度の増加が見られた。中段のGOES-10、最下段のGOES-12においても、同様な変化が見られている。さらに、GOES-9と10では、可視と3.9マイクロメートルチャンネルの白黒雑音画素割合が近い値を示している。

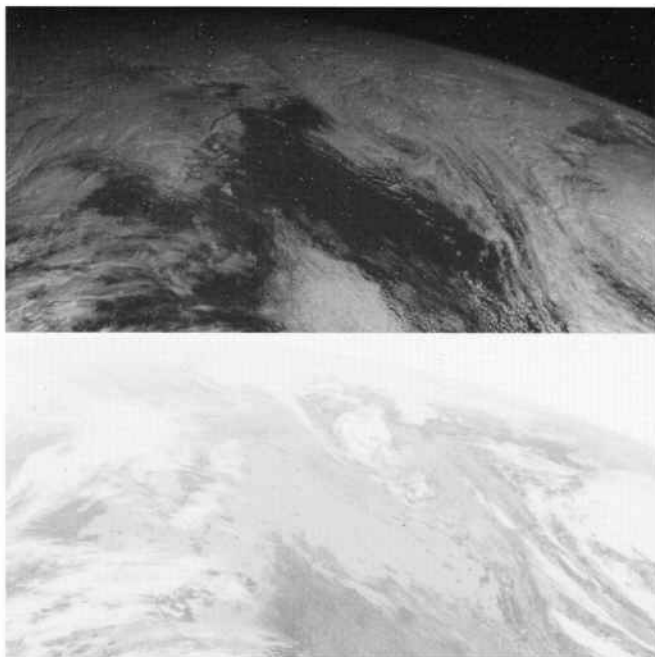


図1 白黒雑音が発生した可視（上）と3.9マイクロメートルチャンネル（下）の画像
2003年10月28日2325UT全球観測の一部

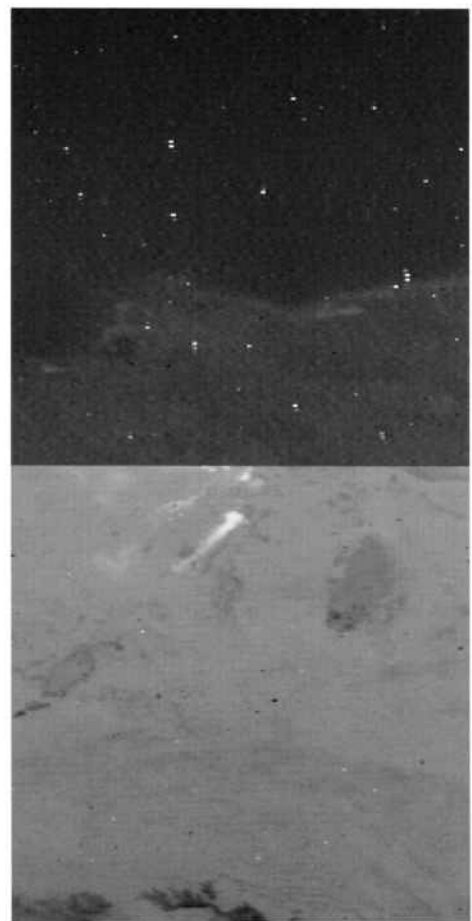


図2 白黒雑音の拡大写真
上が可視、下が3.9マイクロメートルチャンネル

2. 白黒雑音の発生原因

10月28日には太陽において大規模なフレアが発生したことが報じられていた。このため、白黒雑音は太陽フレアと何らかの関係があると推定された。図4はGOES-11が観測したプロトン粒子束を示している。そのプロトン粒子束の増減パターンは、GOES衛星の白黒雑音画素割合と驚くほどによく一致している。10月28日12UT頃から増加し始め、一旦増加が止まった後に再び増加し、29日00UT前後に極大となり、その後ゆっくり減少して29日13UT過ぎ

に最小値を示した後、再び小規模な増加が見られる変化は、白黒雑音とプロトン粒子束において共通であり、このことは白黒雑音が太陽フレアに伴って発生した高エネルギー粒子によって引き起こされていることを示している。

また、図5に示すように、白黒雑音の輝度分布が一様分布ではなく正規分布に似た形状を示していることから、白黒雑音が衛星と地上局の間の通信回線において発生したビット化けではなく、衛星において発生した雑音であると推定される。

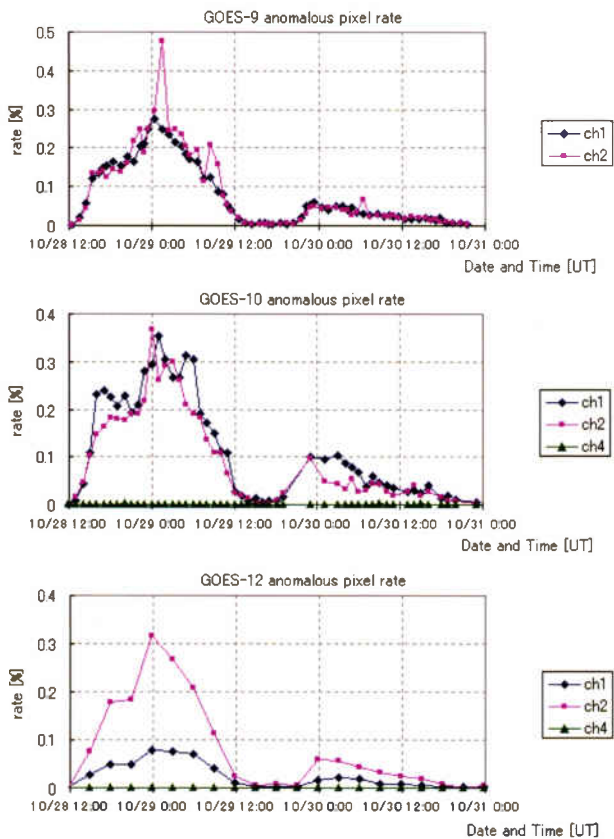


図3 異常画素割合

縦軸が白黒雑音画素の出現割合を示す。Ch1が可視、ch2が3.9マイクロメートル、ch4が10.8マイクロメートルチャンネルを示す。

GOES-10と12の画像はNASAゴダード宇宙飛行センターのGOESプロジェクトのウェブサイト(<http://goes.gsfc.nasa.gov/>)からダウンロードした。

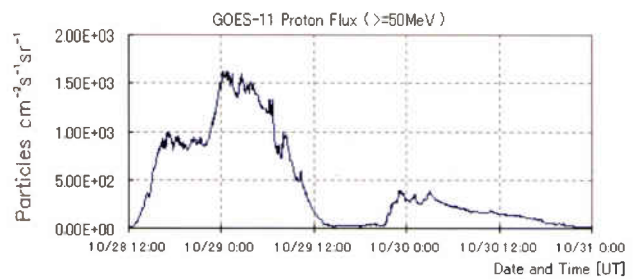


図4 GOES-11プロトン粒子束

プロトン粒子束のデータは米国海洋大気庁宇宙環境センター (NOAA/Space Environment Center) のウェブサイト (<http://www.sec.noaa.gov/>)からダウンロードした。

白黒雑音は、イメージャの可視と3.9マイクロメートルチャンネルにおいて発生しており、その他の赤外チャンネルでは発生していない。前者は半導体に光が入射したときに発生する光起電力を利用した光起電力型検出器を、後者は光によって半導体の電気抵抗が変

化する性質を利用した光導電型検出器を使用している(Kigawa,1997)。確固たる証拠は無いが、この検出器の違いが白黒雑音の発生を左右している可能性が高く、白黒雑音は検出器で発生していると考えてよいであろう。

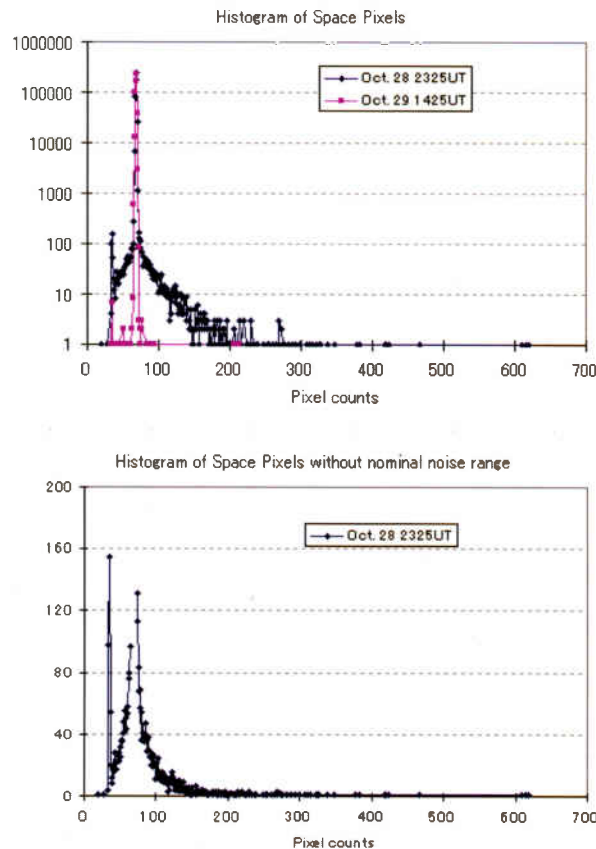


図5 白黒雑音のヒストグラム
 上段には白黒雑音が極大（10月28日2325UT）と極小（10月29日1425UT）時の輝度値ヒストグラムが示されている。
 下段は極大時のヒストグラムから通常の画像雑音の範囲を取り除いて、白黒雑音の分布を見やすくしている。

3. 白黒雑音の除去

前述したように、白黒雑音は雲画像に孤立した点または東西方向に2～3画素の大きさを持つ点として出現するので、メディアン（中間値）フィルタが雑音除去に効果的である。メディアンフィルタは、指定された範囲内の画素について画素値の中間値を出力するので、白黒雑音のようなスパイク状雑音には有効であるが、白黒雑音が存在しない画素においても画素値を変更してしまうので、白黒雑音の除去とともに画像の劣

化も引き起こす。図6と図7にはメディアンフィルタによる白黒雑音の除去と画像劣化の例が示されている。図6は運輸多目的衛星新2号の地上設備と同じ東西方向のメディアンフィルタを使用して白黒雑音の除去を試みた例を示し、画像は図2と同じく10月28日2325UTの全球観測の一部である。白黒雑音の大きさが最大で3画素であることから、メディアンフィルタのフィルタ長は5画素とした。図7の上段の写真は図6と同じメディアンフィルタを10月29日

0225 UT 可視画像に適用した例を示し、メディアンフィルタにより白黒雑音のほとんどが除去されることがわかる。雲画像はメディアンフィルタが持つ平滑化効果により若干不鮮明になるが、台風の眼の構造や台風周辺の下層雲などの重要な情報は失われていない。下のグラフは白黒雑音の出現が少なくなった10月29日1425 UTの3.9マイクロメートルチャンネル画像にメディアンフィルタを用いた雑音除去処

理を行い、除去処理前後の画素の輝度値を比較したものである。全球観測画像のうち、地球領域のみ比較を行ったところ、輝度値の差の実効値(Root Mean Square)は3.5カウント、輝度温度に換算して300 Kにおいて0.35 Kとなった。白黒雑音が少ないとは言え少数が残っていることを考えれば、この値はメディアンフィルタの実運用での利用を妨げるものではないであろう。

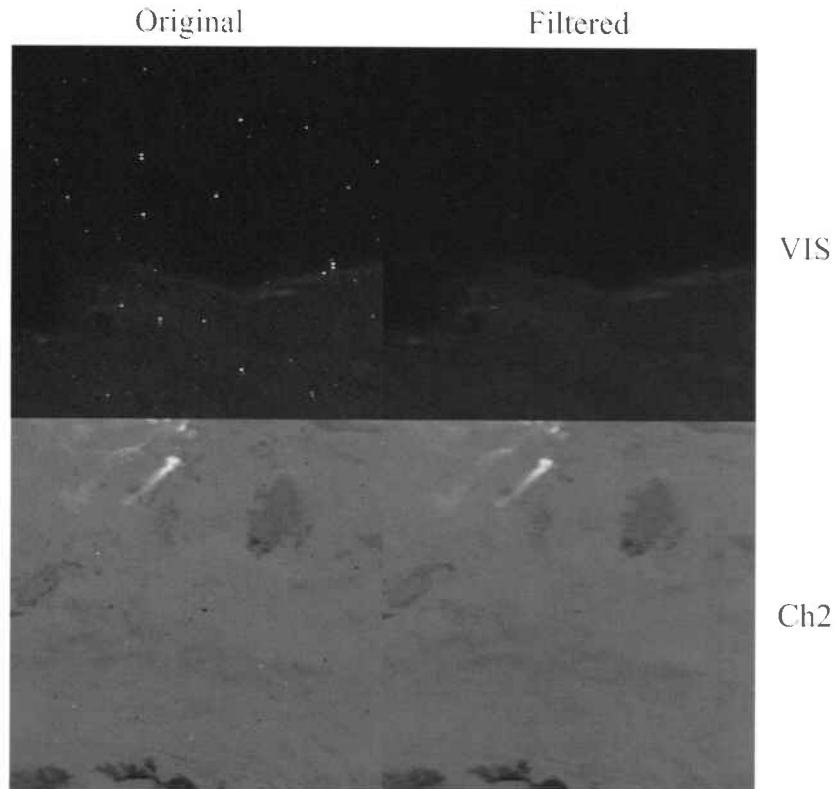


図6 メディアン（中間値）フィルタを用いた白黒雑音の除去
 上段は可視、下段は3.9マイクロメートルチャンネル
 左が原画像、右がメディアンフィルタによる雑音除去処理後の画像

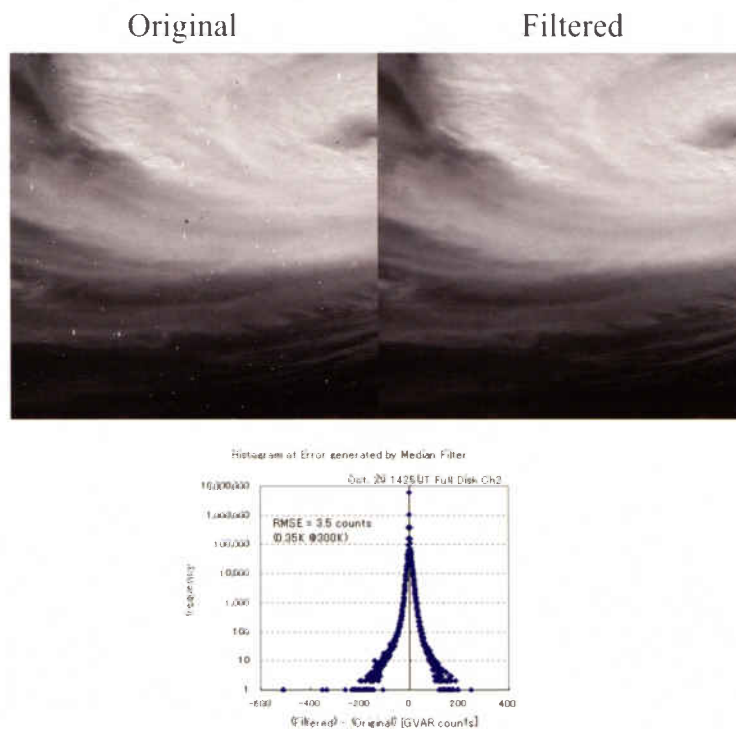


図7 メディアンフィルタによる画像の劣化
 上段の写真は左が原画像、
 右がメディアンフィルタによる雑音除去処理後の画像
 下段はメディアンフィルタによる画像劣化を示すヒストグラム

GOES衛星と同型のイメージャを搭載する運輸多目的衛星新2号においても、太陽フレアに伴う白黒雑音の発生が予想されるが、同衛星の地上設備にはメディアンフィルタが実装されており、必要に応じてメディアンフィルタを使用することができる。通常はメディアンフィルタの平滑化効果による画像の劣化を防ぐためにメディアンフィルタを未使用とし、大規模な太陽フレアが発生した際にはメディアンフィルタを使用する運用が現実的であろう。

4. イメージャの宇宙環境モニタとしての利用

太陽フレアに伴う画像雑音の増加は雲画像の利用にとっては有害なものであるが、その一方で白黒雑音が宇宙環境の情報を与えてくれることも確かである。10月29日の太陽フレアよりも規模が小さい太陽フレアについて、白黒雑音とプロトン粒子束の関係を調べたところ、図8に示すように、2003年11月2日から3日にかけて観測されたプロトン粒子束と白黒雑音は良い一致を示した。このときのプロトン粒子束は

10月29日に比べて1桁小さいが、この規模でもイメージャで検出できることが判明した。イメージャの白黒雑音から読みとる宇宙環境の情報は、十分に校正されたものではないので科学的な利用には向かないと思われる。しかし、高エネルギー粒子が観測機器に入射すると機器の劣化を引き起こす可能性があるため、観測機器の性能評価に白黒雑音の情報は有用であろう。また、衛星に搭載された計算機のメモリなどに劣化や誤動作が発生した場合にも、白黒雑音は宇宙環境の情報をもたらす、適切な運用に寄与するであろう。不完全であっても宇宙環境の情報は、複雑な計算機と高感度の検出器を搭載した最新の人工衛星の運用には有用であろう。

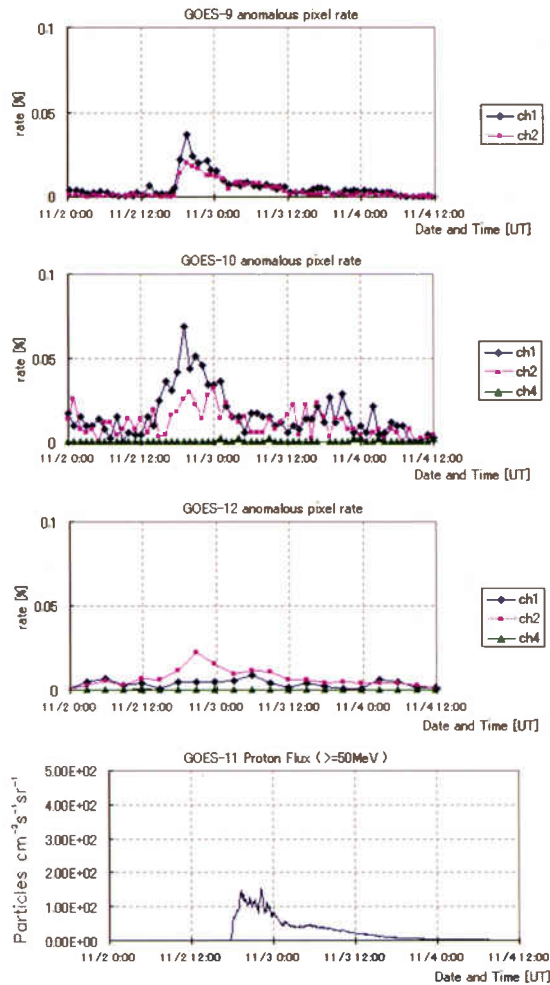


図8 規模の小さな太陽フレアに伴う白黒雑音

縦軸が白黒雑音画素の出現割合を示す。Ch1が可視、ch2が3.9マイクロメートル、ch4が10.8マイクロメートルチャンネルを示す。

GOES-10と12の画像はNASAゴダード宇宙飛行センターのGOESプロジェクトのウェブサイト(<http://goes.gsfc.nasa.gov/>)からダウンロードした。

5. まとめ

- 2003年10月末に発生した大規模な太陽フレアに伴って、GOES衛星ではイメージャの可視および3.9マイクロメートルチャンネルに白黒の点（白黒雑音）が不規則に現れた。
- 白黒雑音出現数はGOES-11が観測したプロトン粒子束と高い相関を示し、白黒雑音が太陽からの高エネルギー粒子によって引き起こされていることを示している。
- GOESイメージャでは可視と3.9マイクロメートルチャンネルにのみ白黒雑音が発生したことから、光起電力型検出器に入射した高エネ

ルギー粒子によって雑音が発生したと推定される。

- 雲画像上の白黒雑音は画像の劣化は伴うもののメディアンフィルタによって除去が可能である。
- 白黒雑音は衛星の運用にとって有用な宇宙環境の情報を与える。

参考文献

Kigawa, S., 1997: Imaging System Design Performance of Multi-functional Transport Satellite, Meteorological Satellite Center Technical Note, 34, 3