宇宙線と雲の関係の研究

宇宙粒子研究室

学籍番号　　10961007

氏名　　上田武典

目次

１．　目的

２．　原理

２‐１　宇宙線と空気シャワー

２‐２　雲の発生原理

２‐３　太陽活動

２‐４　スベンスマルク,フリス・クリステンセンの仮説

２‐５　フォーブッシュ減少

３．　解析方法

３‐１　使用するソフト

①静止画像「ひまわり」画像ダウンロードソフト

②imageJ

３‐２　解析方法

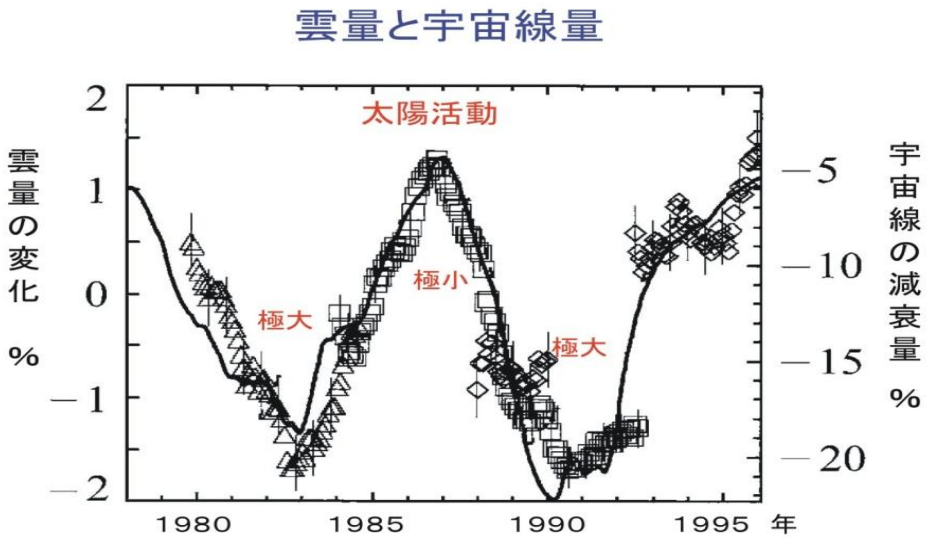
４．　解析結果

５．　まとめ

６．　謝辞

１．目的

地球に降り注ぐ宇宙線が増えると地球大気中で電離損失が増加しそれを核とした霧ができ、雲量が増えるのではないかという「宇宙線雲仮説」がある。
下図のように宇宙線量と雲量の相関関係はありそうだが、因果関係はまだはっきりとわかっていない。
この仮説の一部を確認するために、太陽活動によって急激に変化するときの宇宙線量のデータと気象衛星の雲画像のデータを使って相関関係を探る。



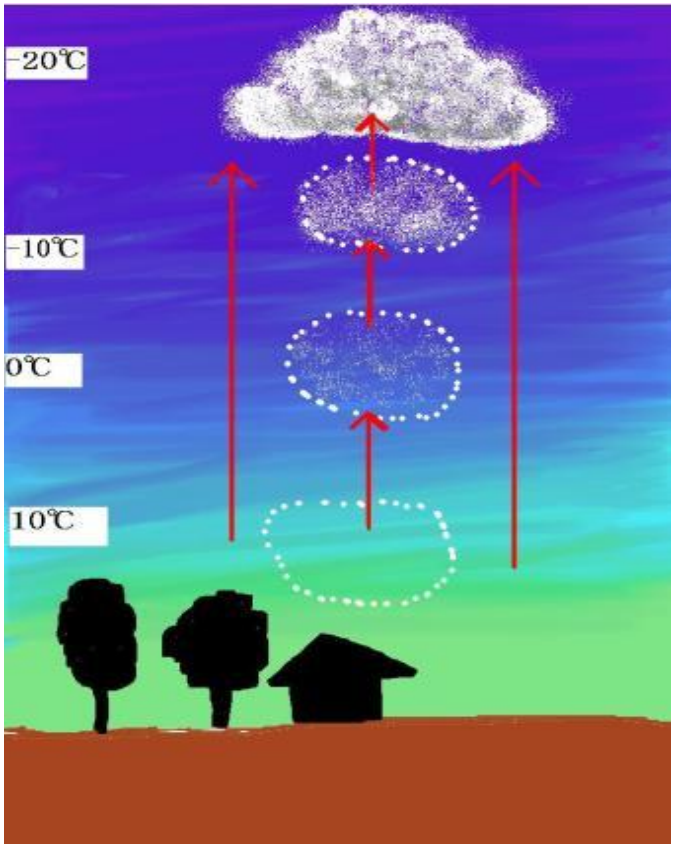
２．原理

2－1　宇宙線と空気シャワー

宇宙線はほとんどが超新星爆発や太陽などで起こる爆発などから発生する高エネルギーの粒子とされており、これは一次宇宙線と呼ばれている。約９０％が陽子、約８％がアルファ粒子（ヘリウムの原子核)、その他の粒子が約１％含まれる。これらの粒子が地球の大気圏に入ると、高度数十kmで空気中の窒素や酸素などの原子核と衝突して、中性子や陽子をはじき飛ばし、パイ中間子やＫ粒子を発生させ、さらに衝突を繰り返していくと、電子やγ線、μ粒子などが発生する。この様子のことを空気シャワーという。
大気を進むにつれて空気シャワーは発達し、空気シャワー中の粒子数が増加するが、それに伴って１粒子当たりのエネルギーは低くなっていく。やがて、エネルギーの低くなった粒子は新たに粒子を生成出来なくなり、空気シャワーは減衰する。 生成された粒子のうち、寿命の短いものは崩壊し、残ったガンマ線・電子・ミュー粒子などの粒子が地表に複数同時に到来する。
下図は空気シャワーの様子を表している。
「宇宙線雲仮説」では、高度 3km よりも低い雲である低層雲に宇宙線の変動がより関係しているとされているので、右図のμ粒子と関係してくると思われる。

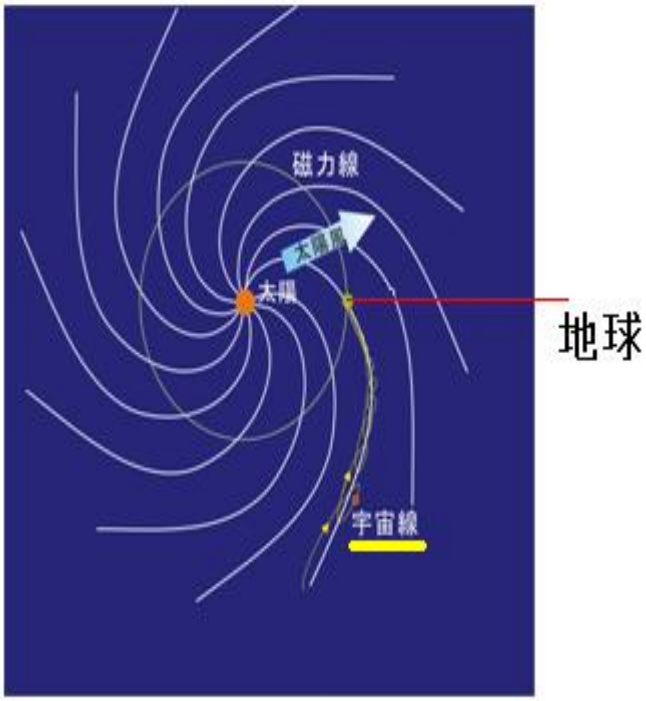
２‐２　雲の発生原理

太陽の日射により、地表付近の空気が暖められると、空気の塊は軽くなり上昇する上昇していく空気の塊は気圧が低くなるため膨張するが、同時に断熱膨張で冷却され温度も下がる。やがて露点温度に達し空気中に浮かんでいる塵やほこり、海塩粒子、土壌粒子、火山灰などが核となり、その周りに水蒸気の一部が凝結して水滴となる。１００nm 以上はエアロゾル、それより小さい粒子は Aitken 粒子と呼ばれている。これが気象学者に広く受け入られている雲の生成原理である。

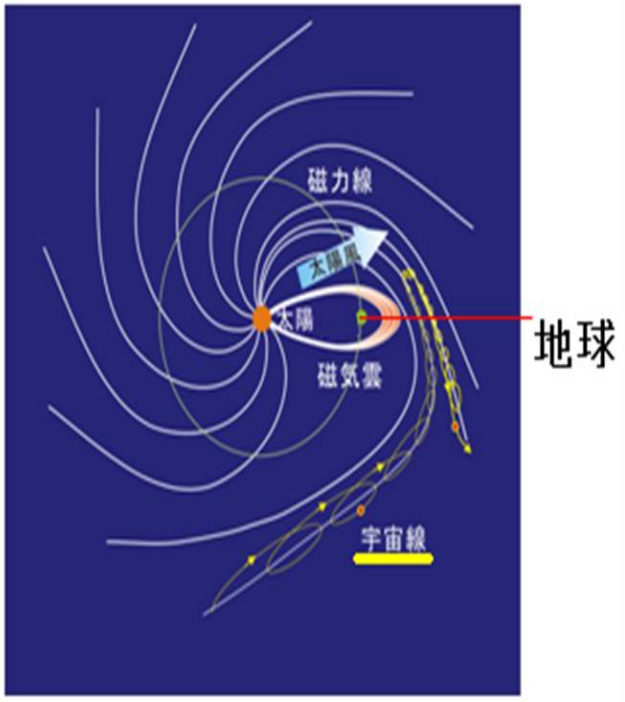


2‐3　太陽活動

銀河内から地球に飛来してくる宇宙線は、太陽活動によって異なってくる。太陽活動が活発なときは、太陽と地球の空間には太陽から磁気雲が満ちる。磁気雲は、太陽表面でフレアという爆発が起こったときに、太陽から磁場のエネルギーがプラズマの雲として飛び出して惑星間空間に放出されたものである。この磁気雲の影響で銀河宇宙線は散乱され、地球に侵入する銀河宇宙線の量は減少する。逆に太陽活動があまり活発でないときは、磁気雲が発生しないため、銀河宇宙線散乱により進む方向を変えられることが少なく、地球に侵入する銀河宇宙線の量は増加する。
地球に侵入する銀河宇宙線の量の違いを表したのが下図である。



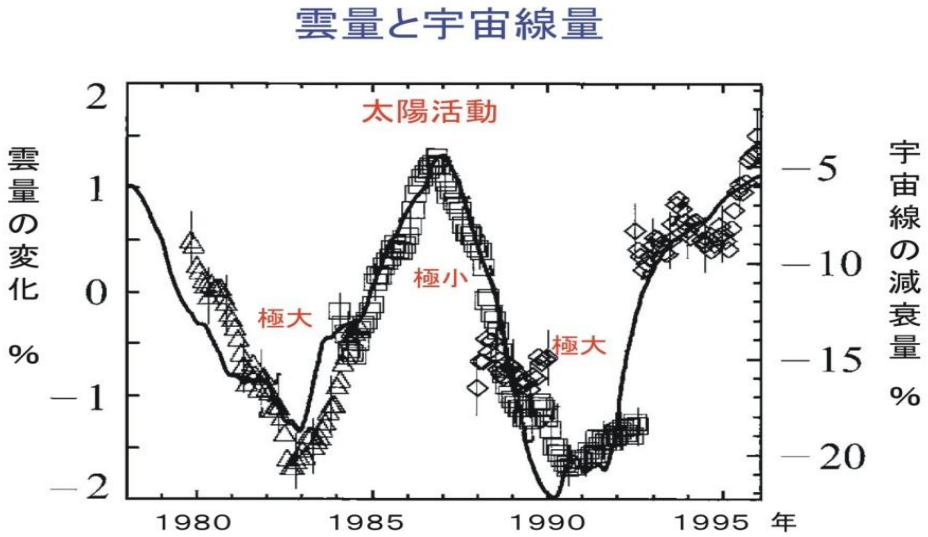
極小期



極大期

2 - 4　スベンスマルク　フリス・クリステンセンの仮説

スベンスマルクとフリス・クリステンセンは、地球の下層大気にある雲の総量を 1 年毎にグラフにとって見たところ、11 年周期で変動していることに気がついた。
太陽活動が活発なときは、銀河宇宙線は太陽からの磁気雲の影響を受けて進む方向が変わり、太陽活動が静かなときと比べて地球に降り注ぐ宇宙線の量は少なくなる。
銀河宇宙線が地球に侵入したとき大気中の分子をイオン化させ、それを核として霧が発生し、その霧が成長して雲になったのではないかとスベンスマルクとフリス・クリステンセンは考えた。
彼らは「宇宙線が大気中で電離損失をおこしイオン化し、それが核となって霧を発生させ、それが成長して雲となる。」という説を出した。

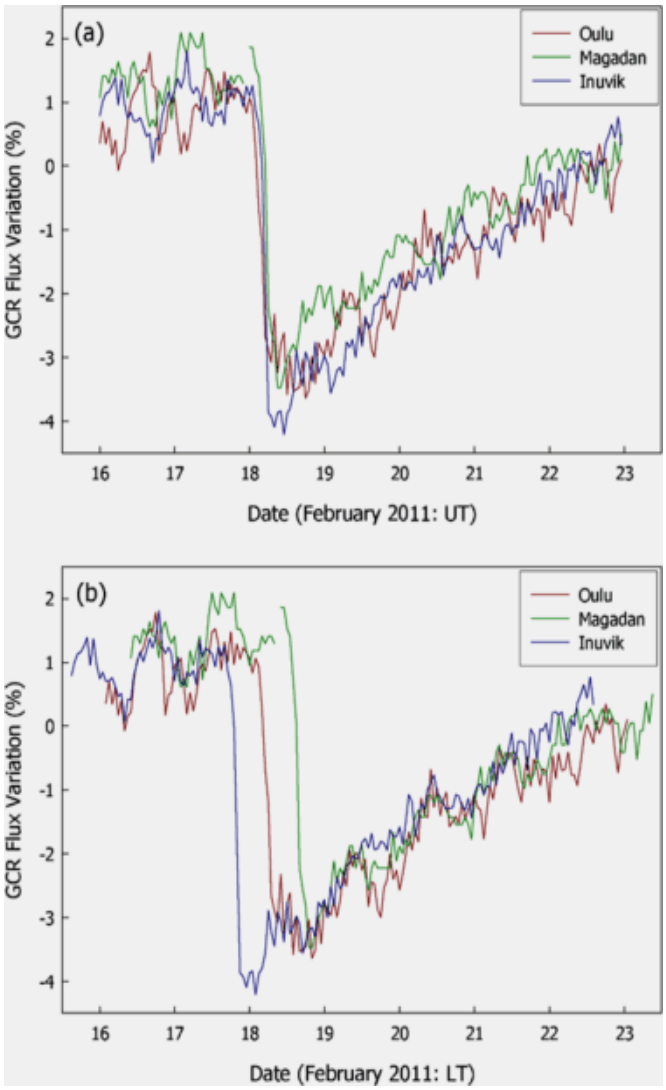


上図のことから太陽が極大、つまり、太陽活動が活発なときには地球に到達する銀河宇宙線の量は少なく、逆に太陽活動が極小、つまり、太陽活動があまり活発ではないときには、地球に到達する銀河宇宙線の量は多いということがわかる。また、銀河宇宙線の量と雲量にはよい相関関係があることがわかる。

2 - 5　フォーブッシュ減少

地球に到来する宇宙線フラックスが，ある日急激に減少し，数日かけて徐々に回復することがある。この現象は 1937 年にスコット・フォーブッシュによって発見され，Forbush decrease と呼ばれている。
物理的には、太陽フレアに伴って発生するコロナ質量放出の強い磁場が一時的に宇宙線バリアとなって、地球に降り注ぐことにより、宇宙線が減る現象をいう。
コロナ質量放出に伴う強い磁場は宇宙線から地球を守る新たなバリアとなり，地球に降り注ぐ宇宙線フラックスを約 1 週間も減少させ，地上の中性子検出器では通常の 1 割程度もカウントが減ることがある。これがフォーブッシュ現象の基本的な物理メカニズムである。

右図は２０１１年２月１８日に起きたフォーブッシュ減少での宇宙線の減衰量を表したグラフである。
縦軸は銀河宇宙線の減衰量、横軸は日付である。
二つのグラフのうち、上のグラフは時刻系が世界標準時であり、下のグラフは日本標準時で示されている。



３．解析方法

３-１　使用するソフト

① 静止衛星「ひまわり」画像ダウンロードソフト

人工衛星ひまわりから観測した赤外画像を取り込み GMT ファイルで表示する。1997 年から現在までの画像を表示できる。

②ImageJ

ImageJ は、パブリックドメインの Java による画像処理ソフトウェアである。ImageJ では、8 ビット、16 ビットまたは 32 ビットの画像を表示したり、加工、解析、処理、保存、印刷したりできる。計算できるのは、選択範囲または画像全体の面積、輝度の平均、標準偏差、最小・最大値など。濃度の標準サンプルを用いたキャリブレーションや濃度の分布のヒストグラム、プロファイルプロットを作成できる。

３‐２　解析方法

雲の画像を人工衛星ひまわりから全球赤外画像として取り込み、その画像を画像処理ソフト imageJ を使用し解析する。

↓

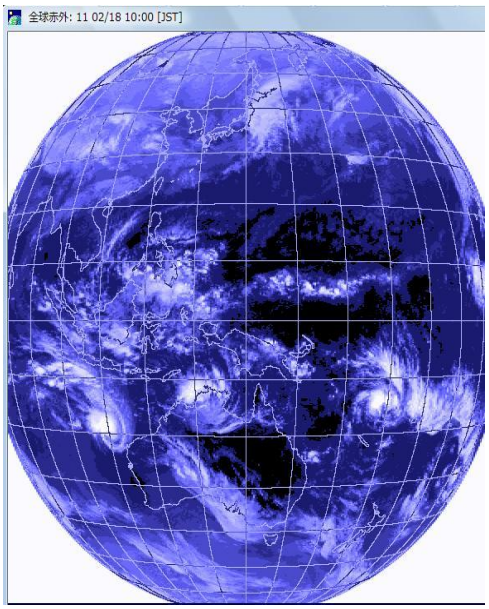
取り込んだ画像は GMT ファイルで表示されるが、imageJ ではこのファイルは対応していないので、JPEG イメージに変換した画像を用意する。
取り込む画像はフォーブッシュ減少が起きたときの前後あわせて２０日間の全球赤外画像を使用する。

↓

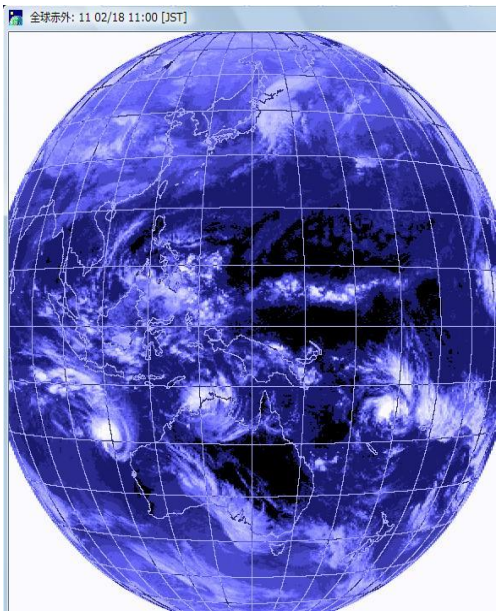
フォーブッシュ減少が起きた日とその前後１０日間の雲画像の輝度の分布を示したヒストグラムを imageJ を使用し表示する。
１時間毎の輝度の平均を読み取り、それをグラフにする。
またこのとき１日分（２４時間→１時間毎に）の輝度の平均のグラフにする。

↓

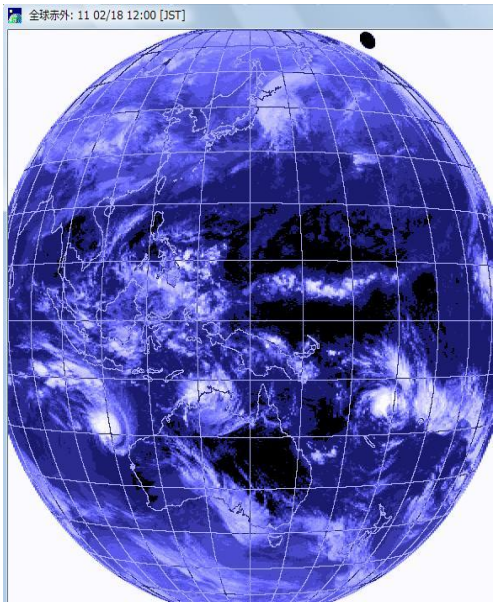
別の日に起きたフォーブッシュ減少についても上の工程で解析を行い、それらを比較し考察する。



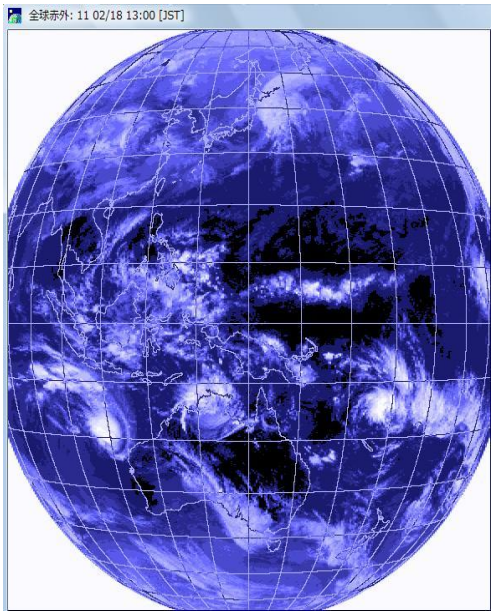
１８日１０時



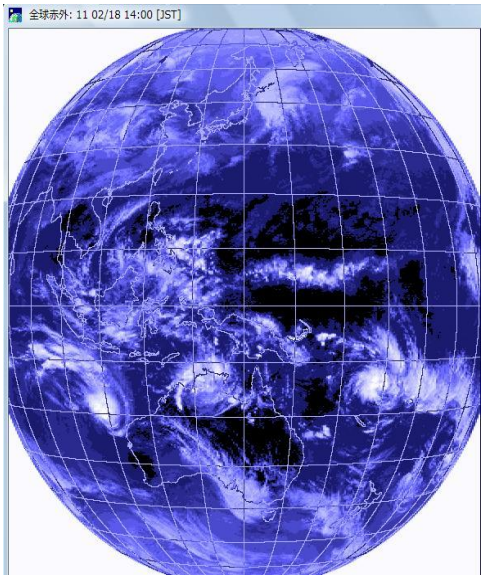
１１時



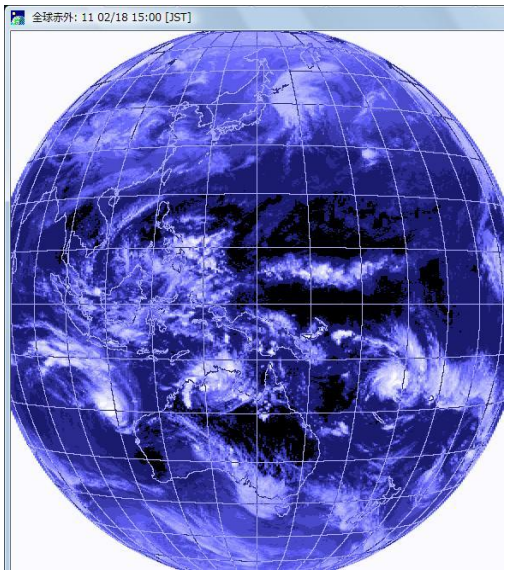
１２時



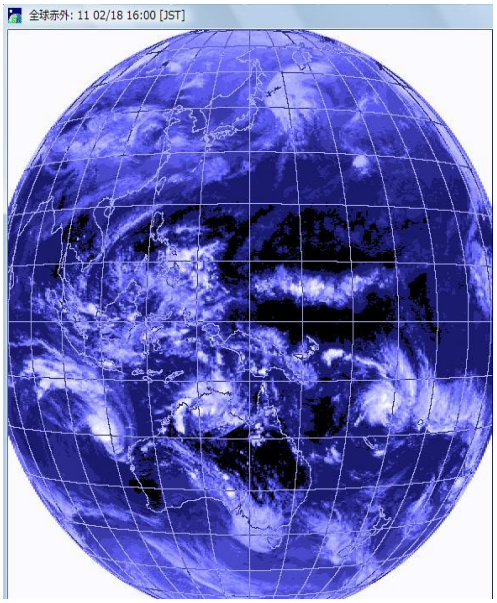
１３時



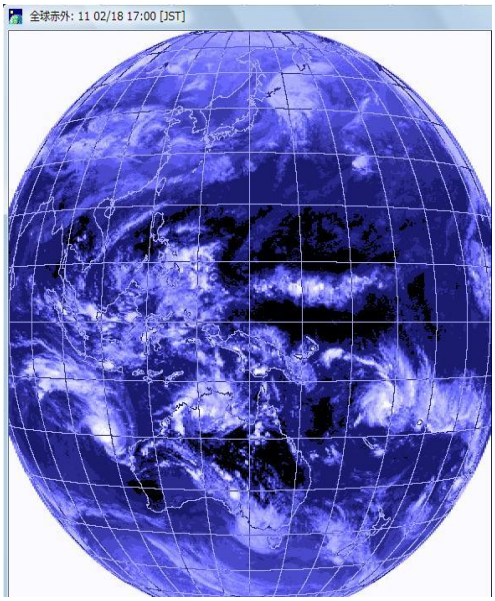
１４時



１５時

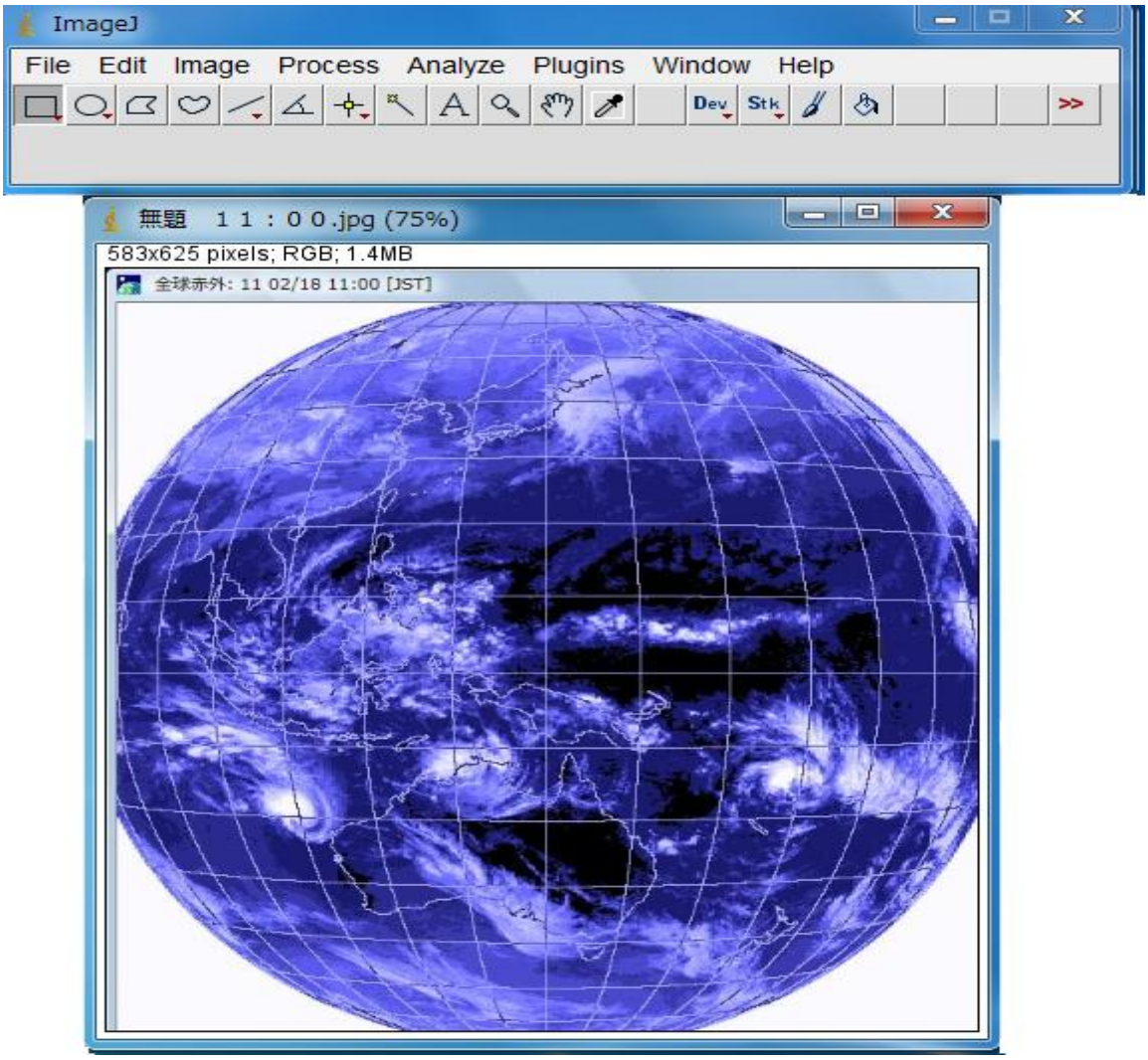


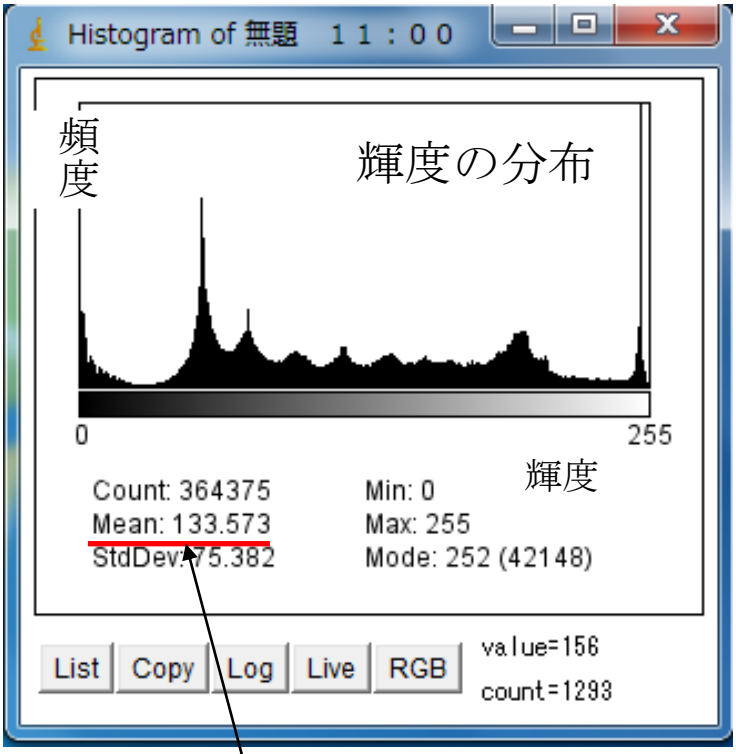
１６時



１７時

これはフォーブッシュ減少が起こったときの人工衛星ひまわりからとった全球赤外画像です。（２０１１年2月１８日１０時～２０１１年2月１８日１７時まで）
この画像を見ただけではフォーブッシュ減少が起きたときの雲量の変化はほとんどわからないので、画像処理ソフトを使用し解析する。

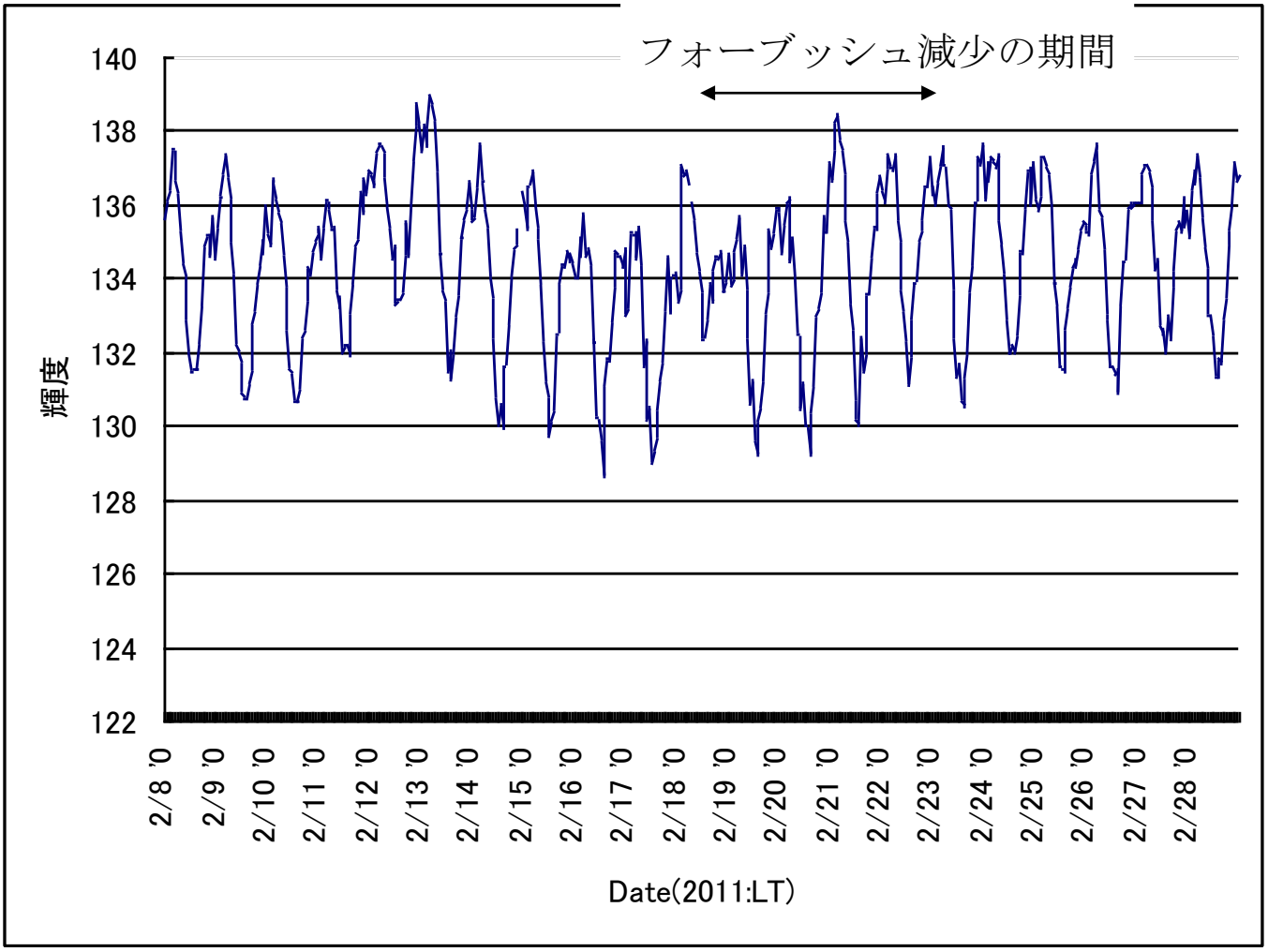




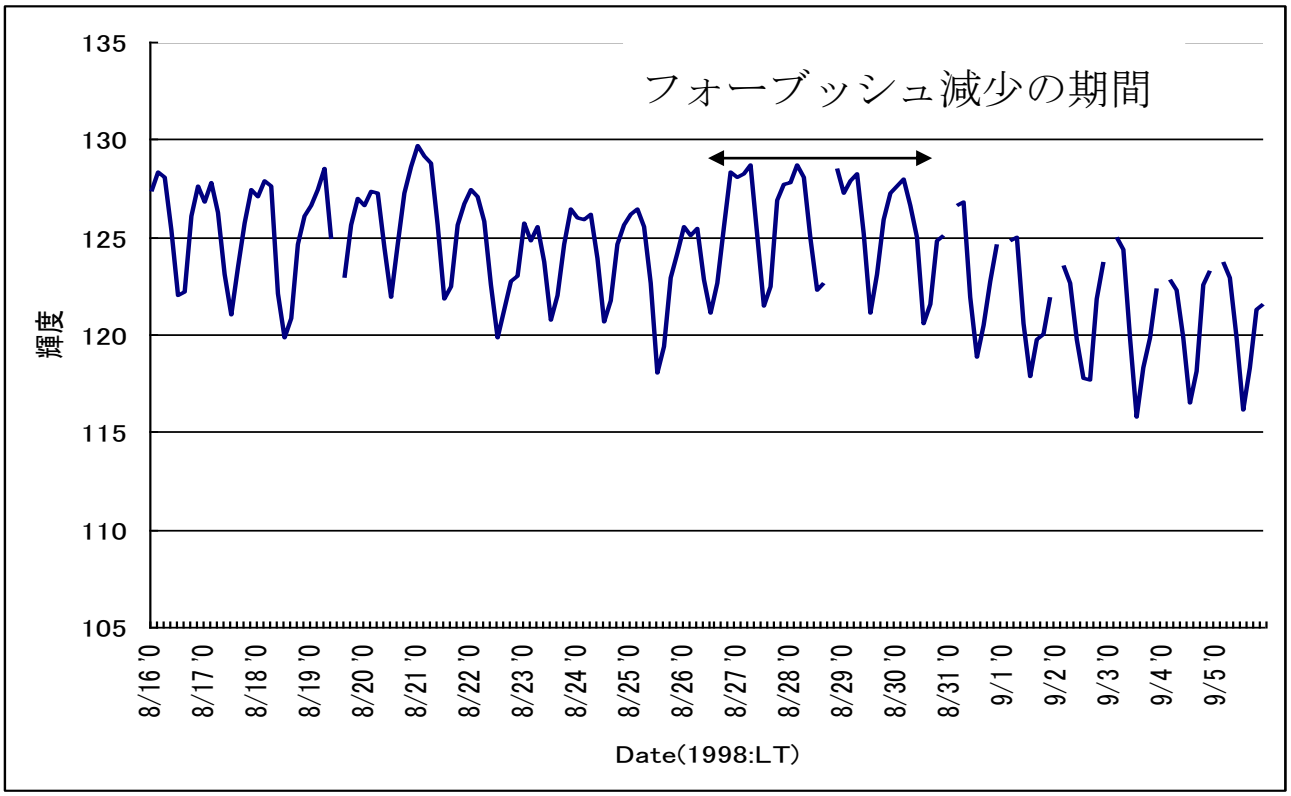
輝度の平均をプロットする。

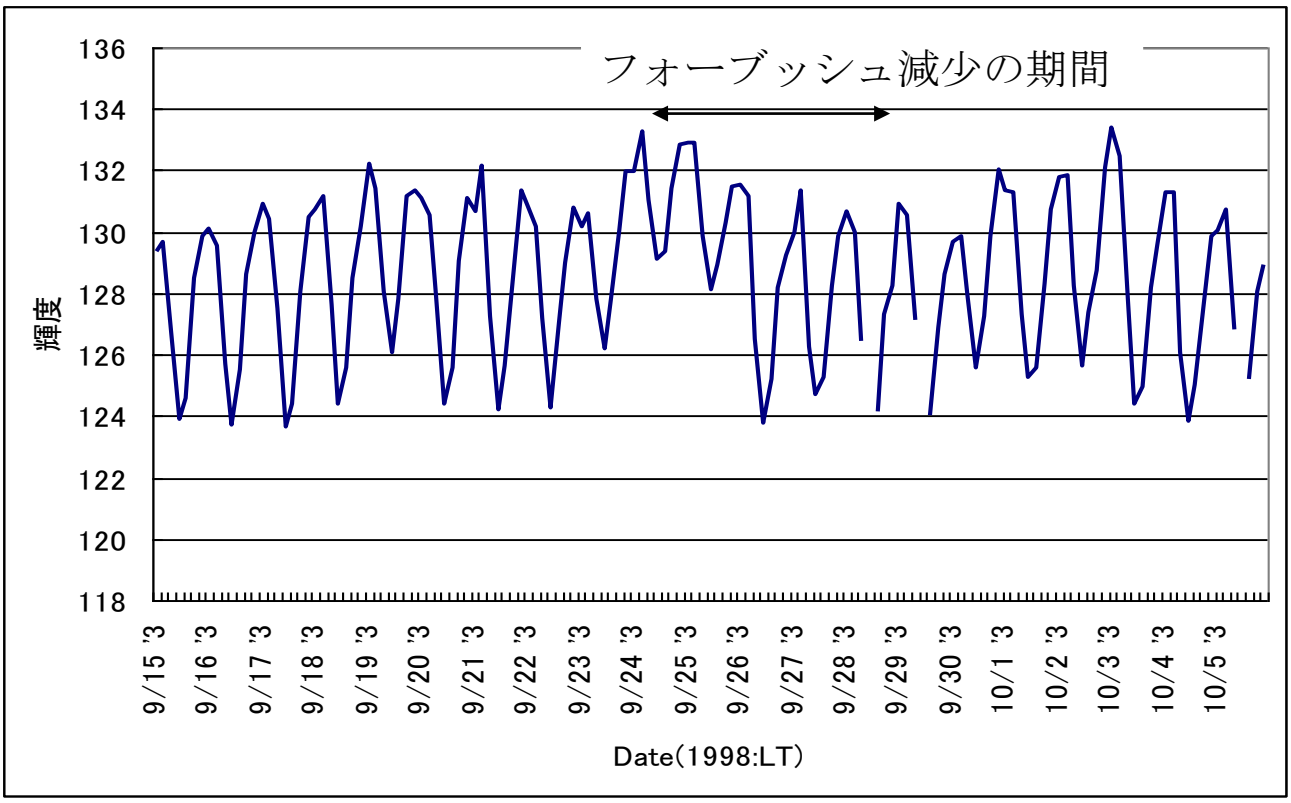
左図は輝度の分布をヒストグラムで表示したものである。
ここで表示される輝度の平均を１時間毎にプロットしグラフを作成する。

４．解析結果

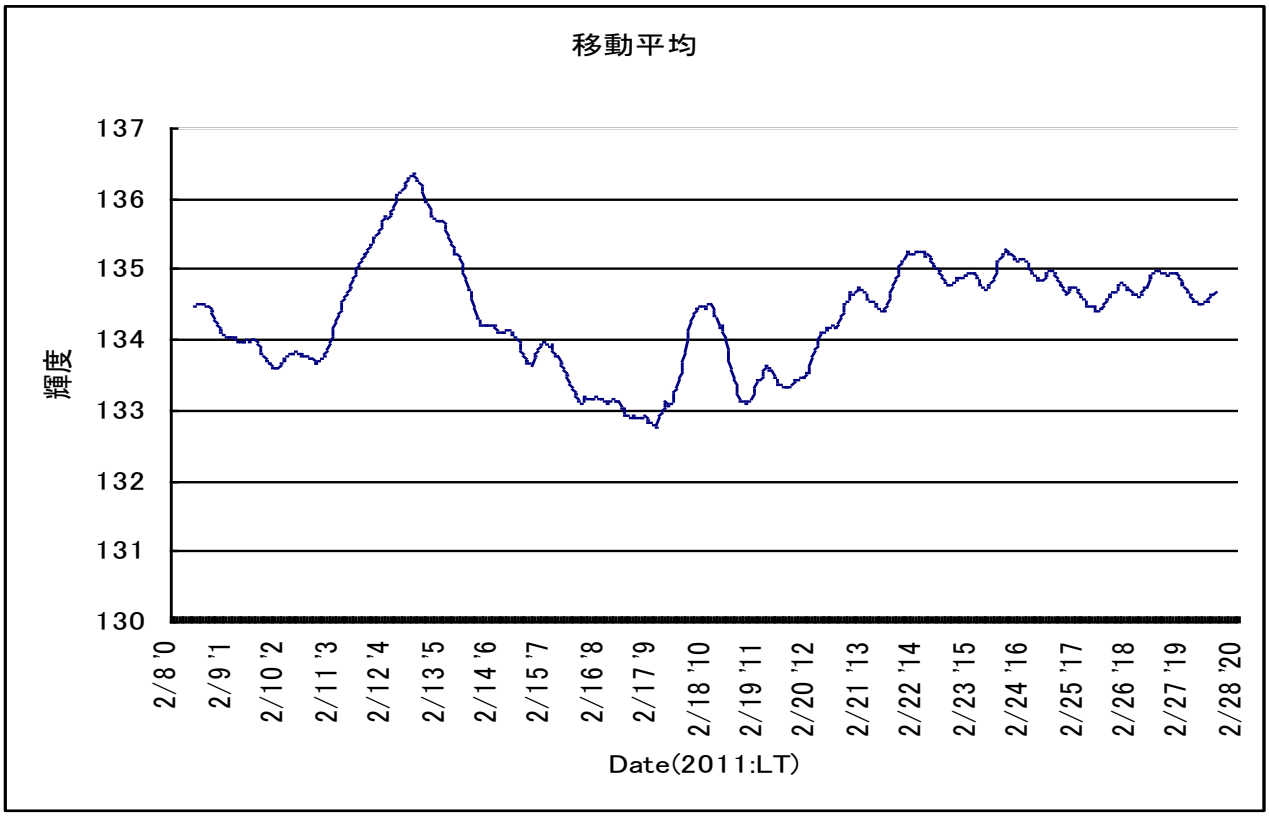


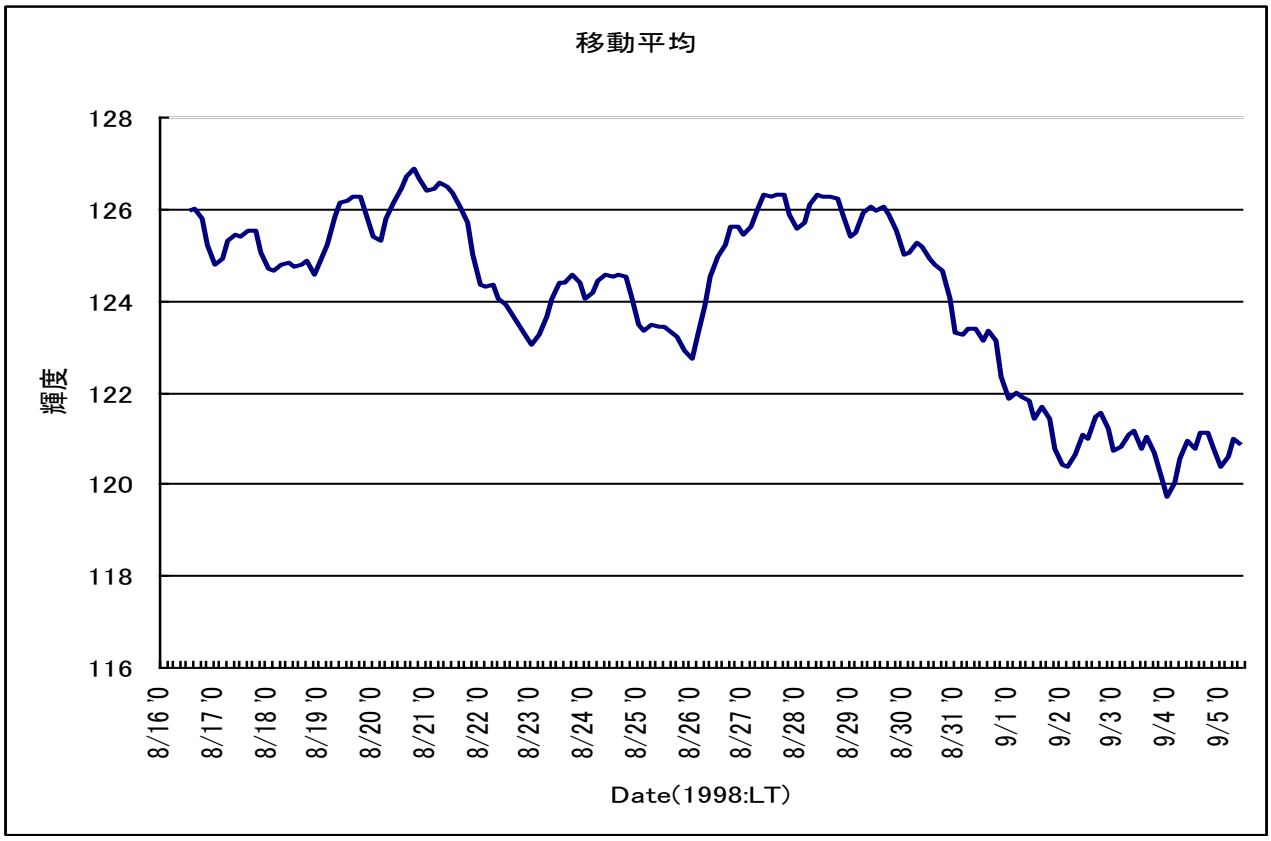
上図は 2011 年 2 月 18 日から約 5 日間にわたり起きたフォーブッシュ減少とその前後 10 日間の雲画像の輝度を 1 時間毎にプロットしたものである。グラフを見ると定期的に昼ごろの値が下がっていることが読み取れる。このグラフだけではフォーブッシュ減少と雲量との相関関係はまだはっきりとわからない。

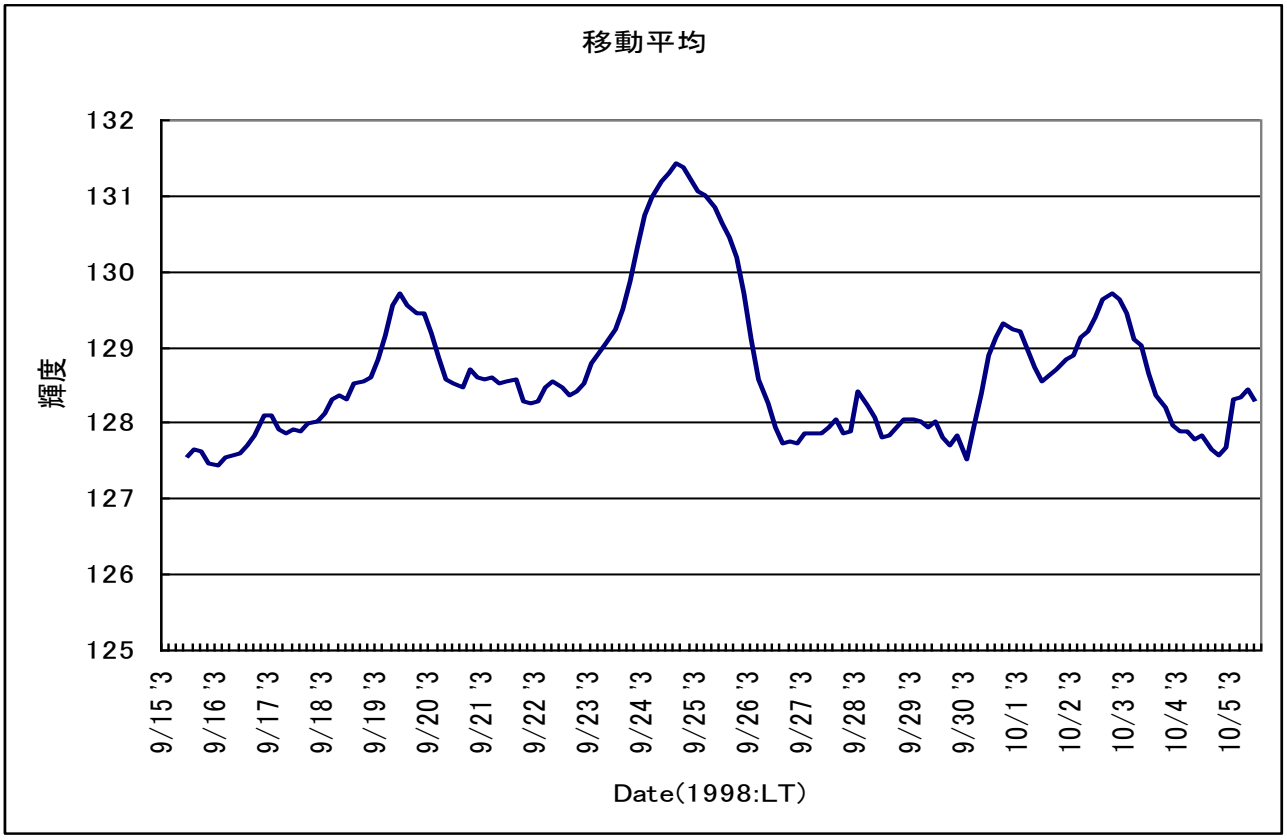




上図は１９９８年８月２６日、１９９８年９月２５日に起こったフォーブッシュ減少とその前後１０日間の雲画像の輝度を３時間ごとにプロットしたものである。


移動平均
137
136
135
134
133
132
131
130
輝度
2/8 '0
2/9 '1
2/10 '2
2/11 '3
2/12 '4
2/13 '5
2/14 '6
2/15 '7
2/16 '8
2/17 '9
2/18 '10
2/19 '11
2/20 '12
2/21 '13
2/22 '14
2/23 '15
2/24 '16
2/25 '17
2/26 '18
2/27 '19
2/28 '20
Date(2011:LT)


移動平均
128
126
124
122
120
118
116
輝度
8/16 '0
8/17 '0
8/18 '0
8/19 '0
8/20 '0
8/21 '0
8/22 '0
8/23 '0
8/24 '0
8/25 '0
8/26 '0
8/27 '0
8/28 '0
8/29 '0
8/30 '0
8/31 '0
9/1 '0
9/2 '0
9/3 '0
9/4 '0
9/5 '0
Date(1998:LT)



この図は一日分の輝度の平均を出し、それをそれぞれグラフにしたものです。
このグラフでは輝度の変化の増減が大きいので、これをわかりやすくするためにそれぞれの移動平均を取ることにした。

移動平均について

移動平均とは、時系列データにおいて、ある一定区間ごとの平均値を区間をずらしながら求めたものです。移動平均を用いてグラフを作成すると、長期的な傾向を表す滑らかな曲線が得られます。移動平均の計算方法は区間が奇数か偶数かによって異なります。

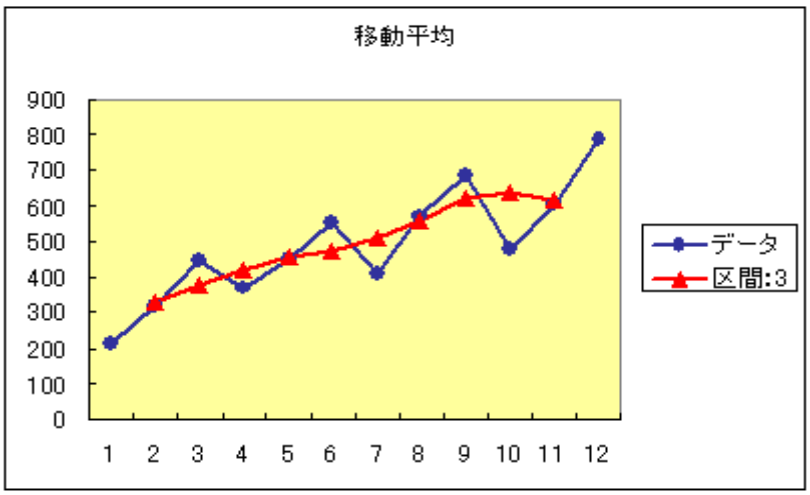
区間が奇数の場合

区間を 2n＋1（n≧1）とすると、第 a 期（a≧n+1）の移動平均値は、第 a－n 期から第 a＋n 期の平均値となります。

下図では、第 1 期から第 12 期までのデータに対し、区間 3 で第 2 期から第 11 期までの移動平均を求めたものです。

	A	B	C	D	E
1					
2		移動平均			
3		期	データ	区間:3	
4		第1期	212		
5		第2期	319	=AVERAGE(C4:C6)	
6		第3期	445	378.0	
7		第4期	370	422.0	
8		第5期	451	457.7	
9		第6期	552	471.3	
10		第7期	411	512.3	
11		第8期	574	558.0	
12		第9期	689	625.2	
13		第10期	477	638.0	
14		第11期	601	621.0	
15		第12期	785		
16					

グラフに表すと下図のようになります。



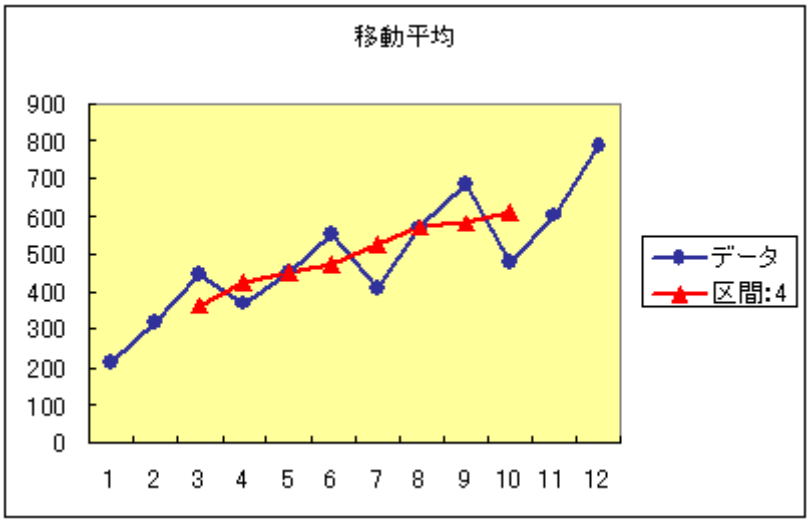
区間が偶数の場合

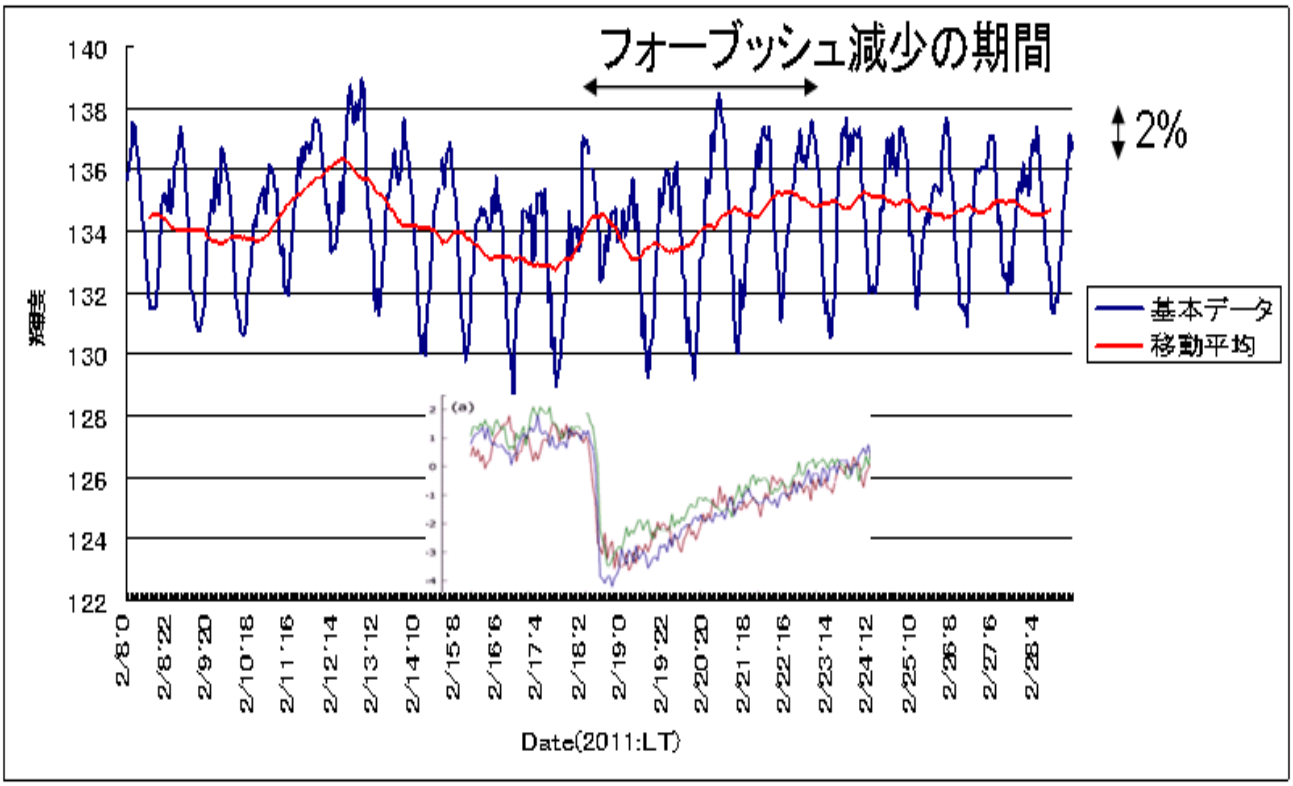
区間を 2n（n≧1）とすると、第 a 期（a≧n+1）の移動平均値は、第 a－n 期から第 a＋n－1 期の平均値と第 a－n＋1 期から第 a＋n 期の平均値の平均となります。

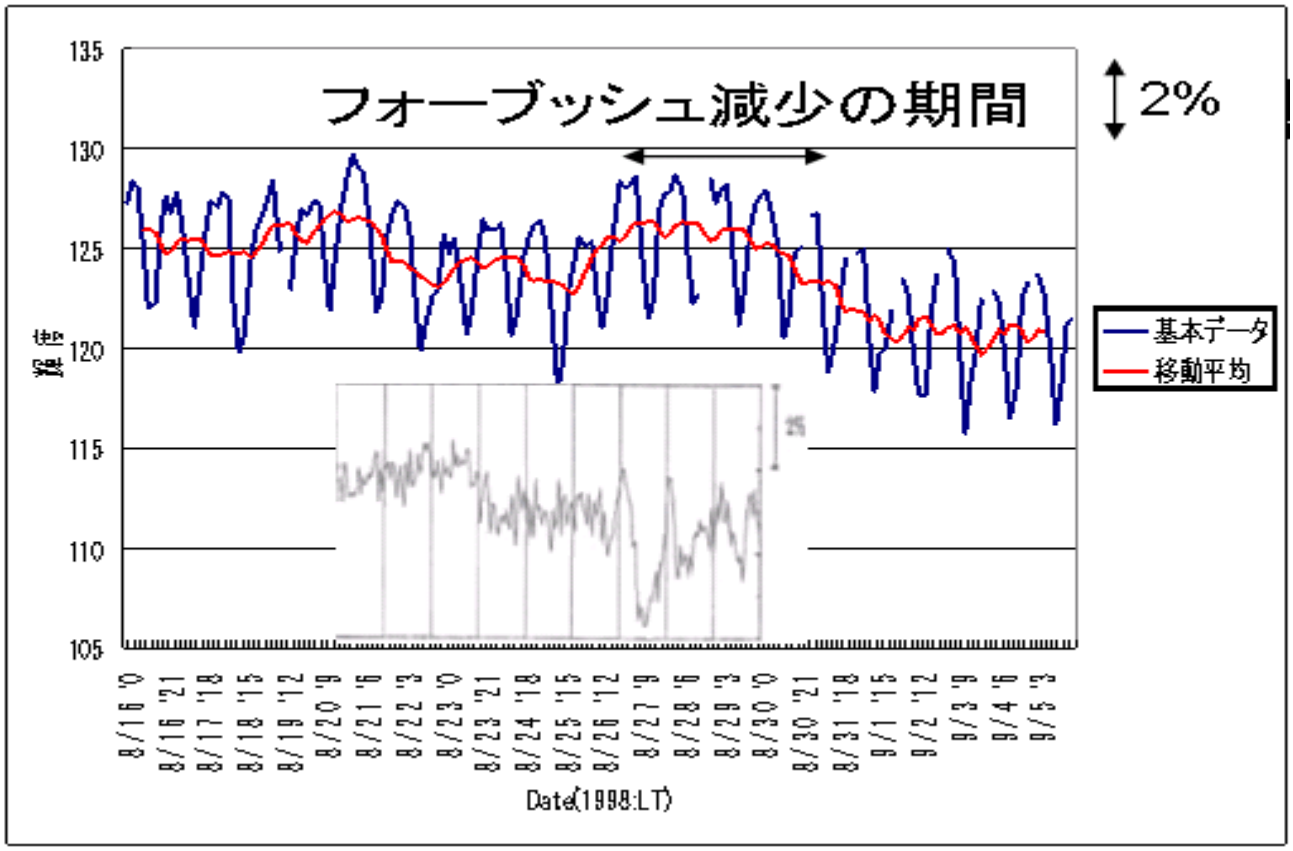
下図では、第 1 期から第 12 期までのデータに対し、区間 4 で第 3 期から第 10 期までの移動平均を求めたものです。

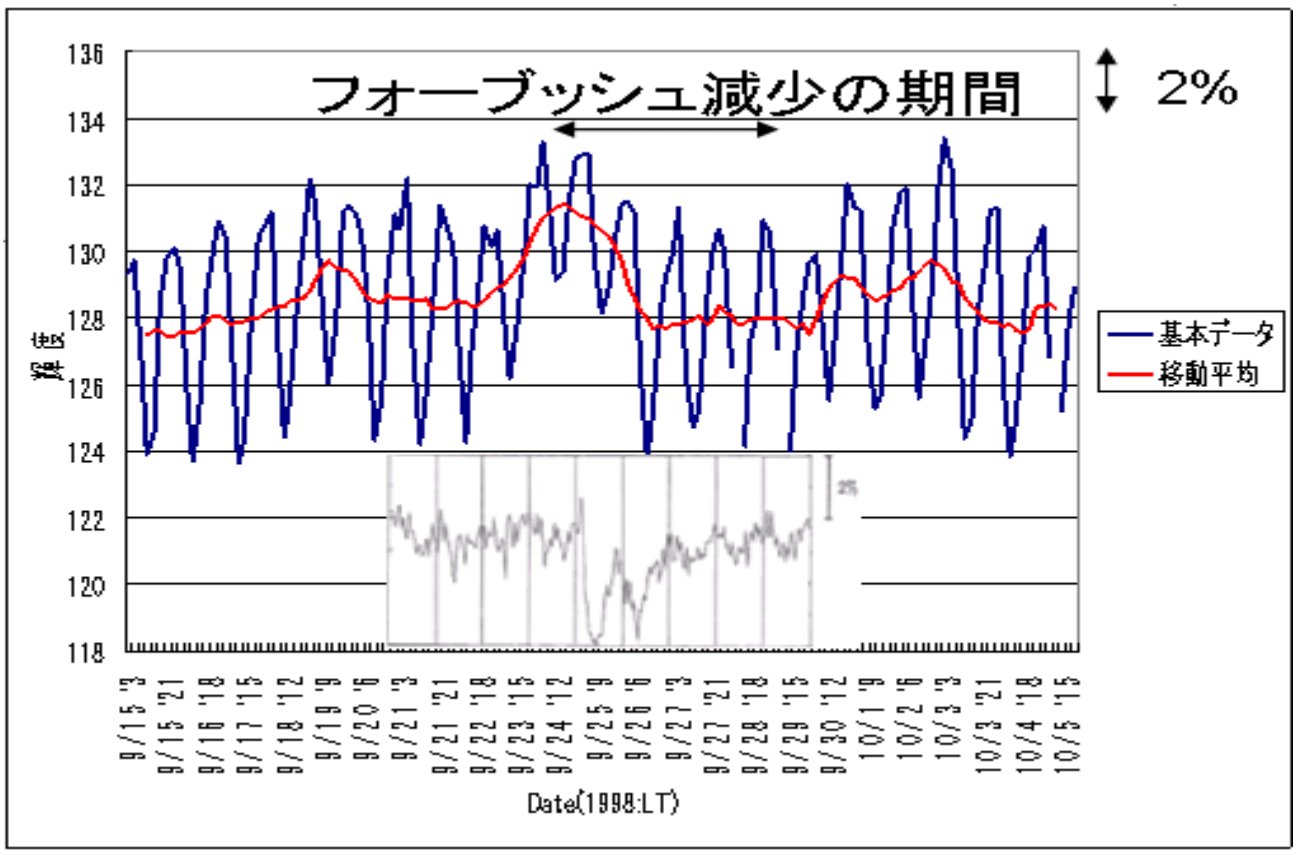
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		移動平均						
3		期	データ	区間:3	区間:4			
4		第1期	212					
5		第2期	319	325.3				
6		第3期	445	378.0	=(AVERAGE(C4:C7)+AVERAGE(C5:C8))/2			
7		第4期	370	422.0	425.4			
8		第5期	451	457.7	450.3			
9		第6期	552	471.3	471.5			
10		第7期	411	512.3	526.8			
11		第8期	574	558.0	573.0			
12		第9期	689	625.2	581.5			
13		第10期	477	638.0	611.6			
14		第11期	601	621.0				
15		第12期	785					
16								

グラフに表すと下図のようになります。




フォーブッシュ減少の期間
2%
140
138
136
134
132
130
128
126
124
122
輝度
基本データ
移動平均
(a)
2/8 0
2/8 22
2/9 20
2/10 18
2/11 16
2/12 14
2/13 12
2/14 10
2/15 8
2/16 6
2/17 4
2/18 2
2/19 0
2/19 22
2/20 20
2/21 18
2/22 16
2/23 14
2/24 12
2/25 10
2/26 8
2/27 6
2/28 4
Date(2011:LT)


フォーブッシュ減少の期間
2%
135
130
125
120
115
110
105
輝度
基本データ
移動平均
8/16 0
8/16 21
8/17 18
8/18 15
8/19 12
8/20 9
8/21 6
8/22 3
8/23 0
8/23 21
8/24 18
8/25 15
8/26 12
8/27 9
8/28 6
8/29 3
8/30 0
8/30 21
8/31 18
9/1 15
9/2 12
9/3 9
9/4 6
9/5 3
Date(1998:LT)



上図はそれぞれの日に起きたフォーブッシュ減少とその前後 10 日間のグラフと移動平均をグラフにしたものです。
2011 年のデータでは 1 時間毎に 24 時間分で 24 区間の移動平均を取り、1998 年のグラフでは 3 時間毎に 24 時間分で 8 区間の移動平均を取った。

2011 年のデータでは約 5%、1998 年のデータでは約 4%宇宙線量は減少しているので輝度はそれぞれ約 1%減少することが見込まれる。
それぞれのグラフを見るとフォーブッシュ減少が起きたあと約 1%程減少しているように読み取れる。
しかし全体的に見ると輝度の増減にはばらつきがあり、宇宙線量と雲量の関係性はまだ見えてこない。

５．まとめ

・フォーブッシュ減少が起きた日とその前後 10 日間の雲画像の輝度の変化を解析した。

・現段階ではフォーブッシュ減少と雲量との相関関係ははっきりとわからない。別の日に起きたデータも多く取り、考察する必要がある

・ GMT ファイルの画像を JPEG イメージに変換する際、手動で行ったため時間も掛かり誤差も生じるので、これを手軽に行えるソフトがあれば効率もよく、より誤差の少ないデータが取れるのではないかと考えられる。

７．　謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた指導教員の梶野文義教授並びに山本常夏准教授に感謝致します。特にわからないことだらけの僕の研究の指導を丁寧かつ熱心にして下さった梶野先生には本当にお世話になりました。本当にありがとうございました。
また、多くの知識や示唆を頂いた宇宙粒子研究室の皆様に感謝致します。
ありがとうございました。