

NOAA-HRPT データチェックプログラムの作成と TOVS 処理に関連する問題点について

Some Problems with Regard to the TOVS Processing Detected by Using NOAA-HRPT Data Check Program

竹内義明*
Yoshiaki Takeuchi

Abstract

The image data and calibration data that are included in some original HRPT data are investigated by using newly prepared HRPT check program. The results with regard to the TOVS processing at MSC are the followings: 1) The fluctuation of the difference between a HRPT time code and a TIP time code can not be disregarded in calculation of the latitude and longitude of a HIRS spot. 2) A detailed calibration of AVHRR Ch.4 and MSU verify the calibration method that is carried out in MSC at present. 3) Regular noise in HIRS Ch.1 and random noise in SSU are detected.

1. はじめに

気象衛星センターでは軌道衛星から送られてくる HRPT データを受信し、TOVS 業務に利用している。この HRPT データは HRPT 編集・校正処理によって AVHRR ファイルと TOVS ファイルに編集されると共に HRPT データ保存処理によって CT に保存される。この HRPT データをチェックするために HRPT チェックプログラムを作成した。本稿では HRPT チェックプログラムの紹介を兼ねて HRPT データの諸性質を調査した結果を述べる。

2. HRPT データ

オリジナル HRPT データファイルに格納されている HRPT データブロックは 6 ブロックで 1 HRPT マイナーフレームを構成していて、その中に 1 ライン分の AVHRR データと 5 マイナーフレームの TIP (TIROS Information Processor) データを含んでいる。TIP データの中には TOVS、SEM、DCS 等のデータや

キャリブレーション情報等が格納されており、0 から 319 の番号 (TIP マイナーフレームカウンタ) が付けられている。HRPT データのフォーマットの詳細については気象衛星センター技術報告特別号 (1983) を参照されたい。HRPT データは毎日、昼軌道と夜軌道毎に CT (2~3 軌道/1 本) に累積されている。

3. HRPT チェックプログラムの概要

本プログラムの目的は HRPT データをチェックするために AVHRR、HIRS、SSU、MSU データのダンブ、キャリブレーションデータの出力、HRPT フレームに含まれるタイムコードと TIP フレームに含まれるタイムコードとの差の出力などをおこなうことである。このプログラムを実行させることにより観測データの異常、キャリブレーションデータの異常の検出、現在使用しているキャリブレーション方法の妥当性確認、処理衛星を変更する時に必要なパラメータの抽出等が可能である。

本プログラムは以下の機能をもっている。

1) AVHRR、HIRS、SSU、MSU の各チャンネルデータ (校正前、校正後) を濃淡画像に変換し、NLP に出力する。

*気象衛星センターシステム管理課
Meteorological Satellite Center

2) AVHRR、HIRS、SSU、MSUの各チャンネルデータ(較正前、較正後)の値を出力する。

3) AVHRR、HIRS、SSU、MSUの各センサーに対するキャリブレーション用データを出力する。

4) AVHRR、MSUのキャリブレーション係数を各々100ライン、1ライン毎に計算し、グラフ出力する。

5) HRPTフレームに含まれるタイムコードとTIPフレームに含まれるタイムコードとの差を抽出して出力する。

なお、このプログラムは富士通作成のHRPT編集較正プログラム(EXNVA000)の機能、すなわち、抽出チャンネルの指定、AVHRRおよびTOVSファイルのヘッダ部、アノテーション部、時刻情報部、エラーライン情報部のリスト出力、キャリブレーションに必要な各種係数等のリスト出力ももっている。

4. 使用したデータ

今回チェックに用いたHRPTデータはNOAA 9号の12軌道分のデータである。これらの軌道はほぼ1ヵ月間隔で選んだ6つの昼軌道(06Z帯)と6つの夜軌道(18Z帯)からなり、すべて関東付近の上空を通過した軌道である。また、TOVSの画像出力には1987年5月8日のデータを用いた。

5. HRPTタイムコードとTIPタイムコードの差の抽出

HRPTデータの中にはHRPTマイナーフレーム毎に記録されているHRPTタイムコードとTIPデータに記録されているタイムコードの2種類がある。HIRSの各スポットの観測時刻を求めるためには両者の差を計算する必要がある。

HIRSのラインのスキャン開始時刻を T_H (単位:msec)とすれば、 T_H は次の式で求められる。

$$T_H = T_A - 167 \times (m - 1) + 100 \times (n - 4) - T_d \quad (1)$$

ただし

T_A : HIRSラインの第1エレメントを含むTIPが格納されているHRPTマイナーフレームの時刻(単位:msec)

m : HRPTマイナーフレームカウンター(1~3)

n : 1HRPT内のTIP番号(1~5)

T_d : 遅れ補正時間(HRPTマイナーフレームのタ

イムコードとTIP内のタイムコードとのずれで、衛星によって異なる、単位:msec)

このようにしてHIRSのライン毎のスキャン開始時刻が得られる。この情報と軌道通過点の情報から衛星の位置が求まり、さらに衛星局所系でのHIRSスポットの位置の情報からHIRSの各スポットの緯経度が求められる。現在は遅れ補正時間 T_d を定数とみなしてTOVS処理をおこなっている。

TIPのタイムコードはマイナーカウンタ0のTIPフレームにだけ入っているので、 T_d はつぎの式を用いて抽出される。

$$T_d = T_{A0} - 167 \times (m_0 - 1) + 100 \times (n_0 - 4) - T_0 \quad (2)$$

ただし

T_{A0} : マイナーカウンタ0のTIPフレームが格納されているHRPTマイナーフレームの時刻(単位:msec)

m_0 : HRPTマイナーフレームカウンター(1~3)

n_0 : 1HRPT内のTIP番号(1~5)

T_0 : マイナーカウンタ0のTIPフレーム内に記録されているタイムコード、単位:msec)

Table 1は数日のHRPTデータから T_d を抽出した結果である。 T_d は211msec~294msecの間で変動している。HIRSは0.1secで1ステップ進むのでHIRSスキャン開始時刻の計算誤差は0.8ステップ分、距離にすると衛星直下点で約14km程度の誤差になる。これはその他の軌道予測誤差等に比べても無視できない大きさである。従って、 T_d は定数とみなすことはできない。

6. キャリブレーション方式の検証

衛星で観測されるエネルギーと観測データCの間には

$$N = GC + I \quad (3)$$

の関係が成立する。このG、Iをキャリブレーション係数と呼ぶ。

現在HIRSとSSUについては一定の間隔毎に設けられたキャリブレーションピリオド毎にキャリブレーション情報を取得し、係数を決定している。一方、MSUとAVHRRについては各ライン毎にキャリブレーション係数を決定できるにもかかわらず、AVHRRはデータの先頭の数10ライン、MSUは全ラインのデータをもとに係数を決定している。ここではAVHRR 100ライン、MSU各ライン毎にキャリブレーション係数を計算してその結果を考察する。

Table 1 Summary of data and extracted delay time Td in units (msec). The symbol D is daytime data and N is nighttime data.

月日	軌道番号	軌道種別	遅れ補正時間	月日	軌道番号	軌道種別	遅れ補正時間
7/15	13335	N	279	10/6	14506	N	294
7/17	13356	D	213	10/8	14527	D	228
8/12	13730	N	249	11/2	14887	N	232
8/14	13751	D	249	11/5	14922	D	266
9/8	14111	N	287	11/30	15282	N	243
9/11	14146	D	255	12/3	15317	D	211

Table 2 Number of samples of parameters required in calibration of AVHRR data.

データの種別	抽出される サンプル数	HRPT1マイナー フレーム当りの サンプル数	キャリブレーションを 行うために必要な 正常サンプル数
PRT1~4	各20	各1	各10
宇宙空間の観測データ	100	10	50
ICTの観測データ	100	10	50

6.1 AVHRRのキャリブレーション

衛星センターでは TOVS 処理の中で部分雲量等を計算するために、AVHRRの第4チャンネルを使用している。AVHRRのキャリブレーション係数は1軌道1回のみ決定される。AVHRRのキャリブレーションに必要な情報は4つの内部ターゲットの温度計の測定データ(PRT1~4)、宇宙空間、内部ターゲット(ICT: Internal Calibration Target)の観測データである。各々のデータはTable2に示したサンプル数まで抽出される。

抽出されたキャリブレーション情報のうち、伝送エラーによるビット化等による信頼性の低いデータを削除したのち、キャリブレーション情報のデータがPRT1~4、10サンプル、宇宙空間、ICTの観測データ50サンプル以上のとき、キャリブレーション係数の決定を行う。この結果、先頭から20ライン程度のキャリブレーション情報のみを用いて全てのラインのキャリブレーション係数を決めていることになる。

この方法の妥当性を確認するために、キャリブレーション係数を100ライン毎に計算した結果をFig.1に示す。一般的な傾向として、GとIは若干ふらつきな

がらラインの増加とともに線型的に変化し、互いに逆相関を持っている。この傾向は昼軌道、夜軌道を問わず全てのケースに対して同じであった。Table3は昼軌道と夜軌道に対する係数の違いと、軌道の先頭と最後の100ラインに対する係数の違いを示している。詳細に調べるとAVHRR4チャンネルではICTの温度が下がるとGが増加(絶対値は減少)、Iが減少する。日本付近ではICTの温度は昼軌道、夜軌道どちらの場合も下がるので2つの係数は図1のような変化をする。このような状況のもとで先頭の数10ラインのみのキャリブレーション情報から求めた係数で全てのデータを較正すると、衛星の進行とともに評価される等価黒体温度は高めに見積もられてしまう。ただし、この係数の値の変化に対する等価黒体温度への影響は290Kの温度を観測するときに0.2K程度であり、昼軌道と夜軌道間の係数に比べ、1/4程度である。部分雲量の評価がこの程度の係数の変化に影響されなければ、現在のようにキャリブレーション係数の計算を先頭の数10ラインのみで代表しても良いと考えられる。

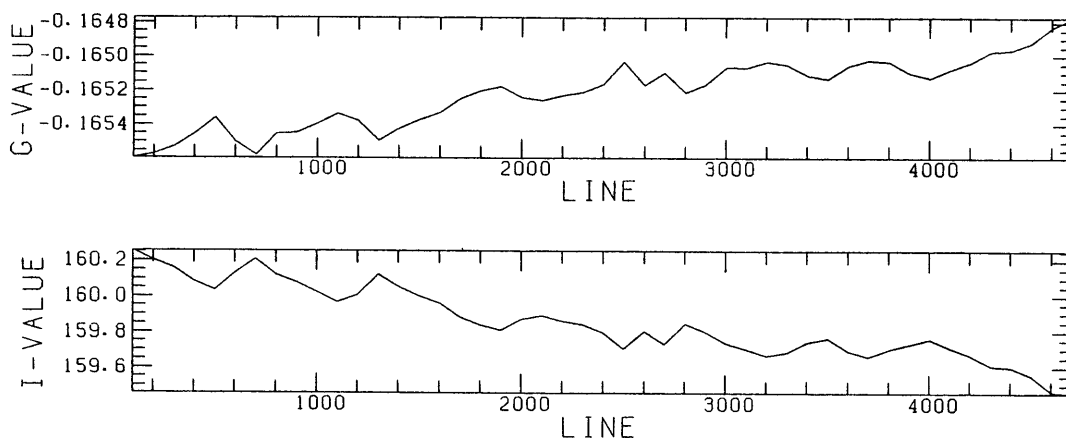


Fig. 1 Calibration coefficients of AVHRR Ch.4 calculated by every 100 lines at 18z 15 July 1987. G in units ($\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}\text{count}$) and I in units ($\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}$).

Table 3 Differences of estimated equivalent blackbody temperature of AVHRR Ch.4 between daytime data and nighttime data, and between first 100 lines and last 100 lines of receptions. G in units ($\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}\text{count}$) and I in units ($\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}$).

	G	I	カウント値370に対する 等価黒体温度 の差 (K)	等価黒体温度 の差 (K)
昼軌道の平均 (6サンプル)	-0.16883	163.4	290.9	0.9
夜軌道の平均 (6サンプル)	-0.16658	161.1	290.0	
軌道の先頭100ラインの 平均 (12サンプル)	-0.16771	162.2	290.5	0.2
軌道の最後100ラインの 平均 (12サンプル)	-0.16678	161.5	290.3	

6.2 MSUのキャリブレーション

MSUのキャリブレーションに必要なデータは宇宙空間の観測データ、衛星内部ターゲット (In-flight target) の観測データ、内部ターゲットの温度測定データである。現在、MSUについては全ラインのキャリブレーション情報を用いて1組のキャリブレーション係数を決定し、それを全ラインに適用している。しかし、MSUはHIRSやSSUと異なり、各ラインについてキャリブレーション係数を計算することも可能である。そこで各ラインについてキャリブレーション係数を計算し、全体のキャリブレーション情報から決定した係数と比較してみた。

Fig. 2はMSUの各ライン毎に計算したキャリブレーション係数である。ただし、MSUの第2チャンネルは87年3月8日以来障害を起こしており、キャリブレーションができない。さらに87年5月2日からはMSUの第3チャンネルの宇宙空間放射データのオリジナルカウント値が常に0で出力されるようになったため、係数Iの値は一定値になっている。

さて、Fig. 2から分かることは各ラインについて計算された係数はAVHRRの場合と異なり、Gの値とIの値の逆相関関係が不明瞭であることである。一般的にGの値は衛星内部ターゲットの観測データと逆相関をもち、一方Iの値は宇宙空間の観測データと逆相関をもっている。また、線型的な変化よりもランダムな

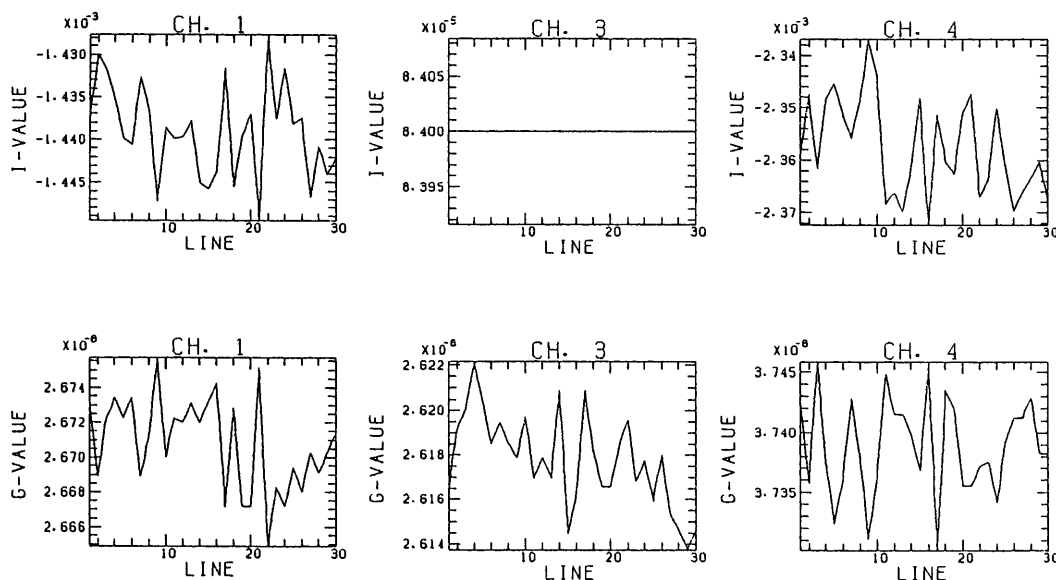


Fig. 2 Calibration coefficients of MSU Ch.1,3,4 calculated by each line at 18z 15 July 1987. G in units ($\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}\text{count}$) and I in units ($\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}$).

Table 4 Difference of estimated equivalent blackbody temperature of MSU due to calibration by each line at 18z 15 July 1987. G in units ($10^{-6}\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}\text{count}$) and I in units ($10^{-3}\text{mW}/\text{sr m}^{-2}\text{cm}^{-1}$).

	G	I	補正カウント値	補正カウント値に対する 等価黒体温度 (K)	等価黒体温度 の差 (K)
Ch. 1	2. 673	-1. 438	2 600	2 37. 8	1. 0
	2. 667	-1. 440		2 36. 8	
Ch. 3	2. 622	0. 084	2 400	2 26. 9	0. 8
	2. 614	0. 084		2 26. 2	
Ch. 4	3. 746	-2. 362	2 400	2 15. 3	0. 9
	3. 737	-2. 367		2 14. 4	

変化の方が卓越している。

このG、Iの値の変化が、評価される等価黒体温度に与える影響をTable 4に示す。MSUの場合(3)式のCには非線型の関係を考慮した補正カウント値が用いられる。代表的な値として、チャンネル1、3、4に対する係数の変化の影響はそれぞれ、 $\pm 0.5\text{K}$ 、 $\pm 0.4\text{K}$ 、 $\pm 0.5\text{K}$ 程度である。これは観測対象である大気や地表の信号にくらべて十分小さい。従って、MSUのデータを軌道毎に1組のキャリブレーション係数で処理しても大きな問題は起こらないと思われる。

7. 画像データのチェック

Fig. 3、4は1987年5月8日のHIRS、SSU、MSUデータの画像をNLPに出力した図である。HIRSおよびSSU画像の3本の縞はキャリブレーションピリオドの部分である。図では不明瞭にしか見えないが画像のほぼ中央に朝鮮半島が位置している。

これらの図では画像の濃い部分が大きい観測放射量に対応している。また、各画像の濃淡は画像データの最大値と最小値との差で規格化してあるのでそのチャ

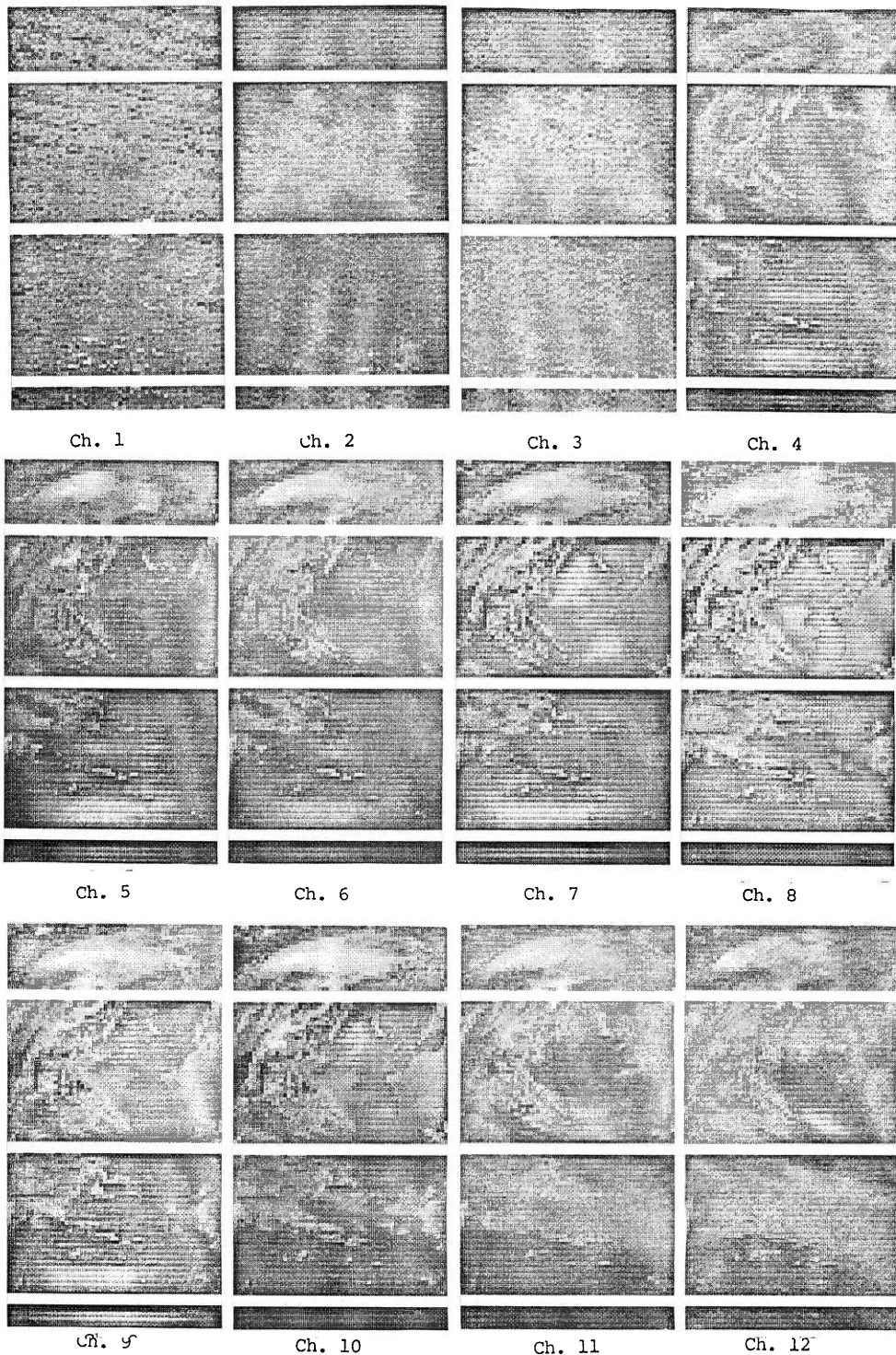


Fig. 3 HIRS images at 06Z 8 May 1987. Korea locates near the center of the images.

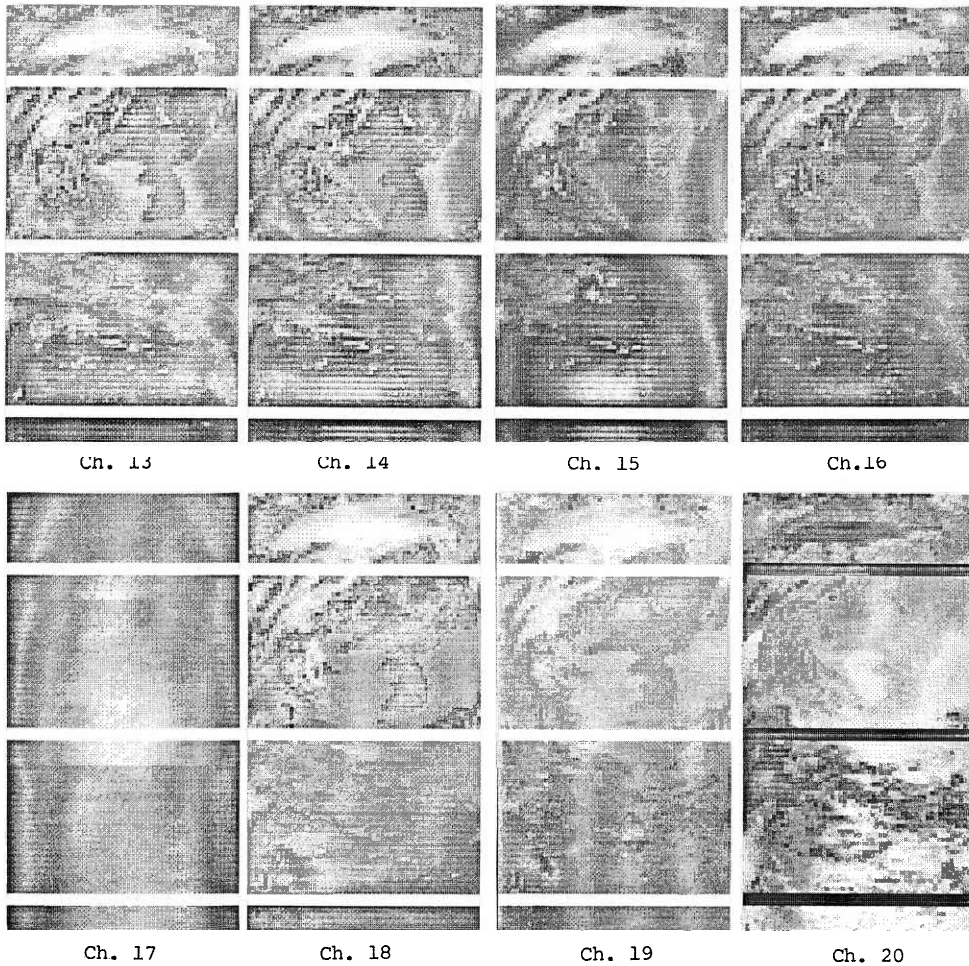


Fig. 3 (continued)

ンネルでの実際の放射輝度値には対応していない。しかし、コントラストが強調されているため、センサー出力のスキャン角によるリムダークニング、リムブライトニング等の現象を検出することができる。例えば、成層圏に荷重関数を持つSSUやMSU第4チャンネルは緑の方が輝度が高く、反対に対流圏中層に荷重関数を持つチャンネルでは緑の方が輝度が低い。

この現象は次の様に説明される。TOVS測器は約850kmの高度から $\pm 40^\circ \sim 49.5^\circ$ の走査幅で大気を観測している。これに地球の曲率の影響が加わり、観測されている地表から見た衛星天頂角は大きい所で 60° にも達する。従って各センサーはスキャンラインの両端では中央付近に比べて大気の高い部分を観測すること

になる。ところで、気温が高度とともに下降している対流圏を観測するチャンネルでは両端の輝度は低く、一方気温が高度とともに上昇している成層圏を観測するチャンネルでは両端の輝度は高くなる。なお、現在のTOVS処理ではこの影響を温度や湿度を求める回帰係数の中に組み込んでいる。

今回、特に問題にしたいのはHIRSの第1チャンネル、およびSSUの画像に重なっているノイズである。Fig. 5、6にHIRSの第1チャンネルとSSUの第3チャンネルについて6軌道のデータを並べて比較してみた。HIRSの第1チャンネルについては規則的な縞模様は10月8日のデータまで顕著にみられ、その強さや傾きは場合によって異なっている。ここには掲載し

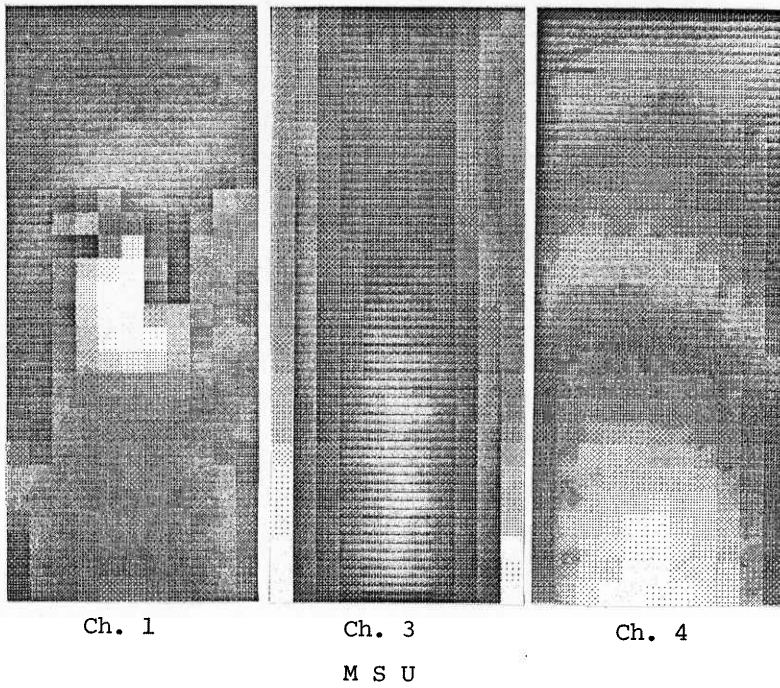
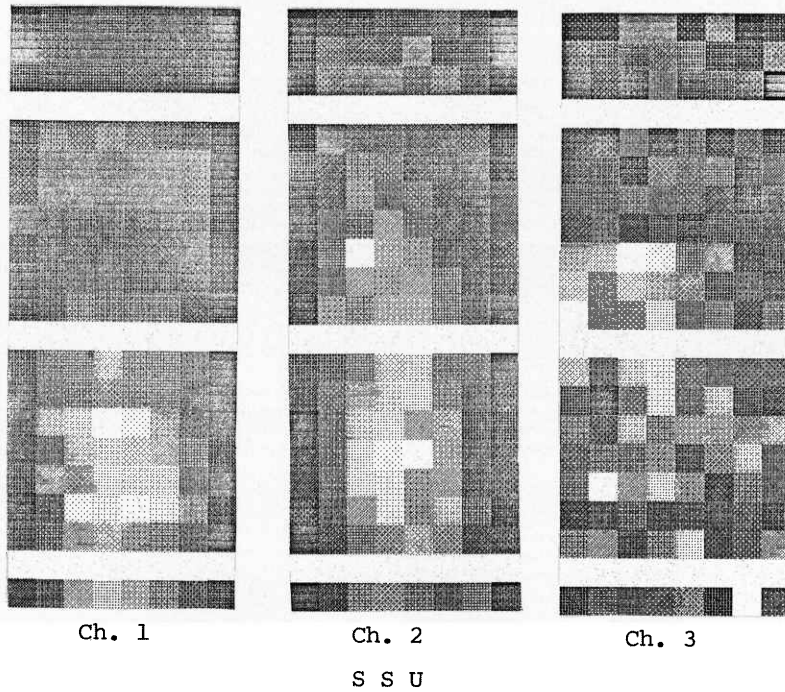
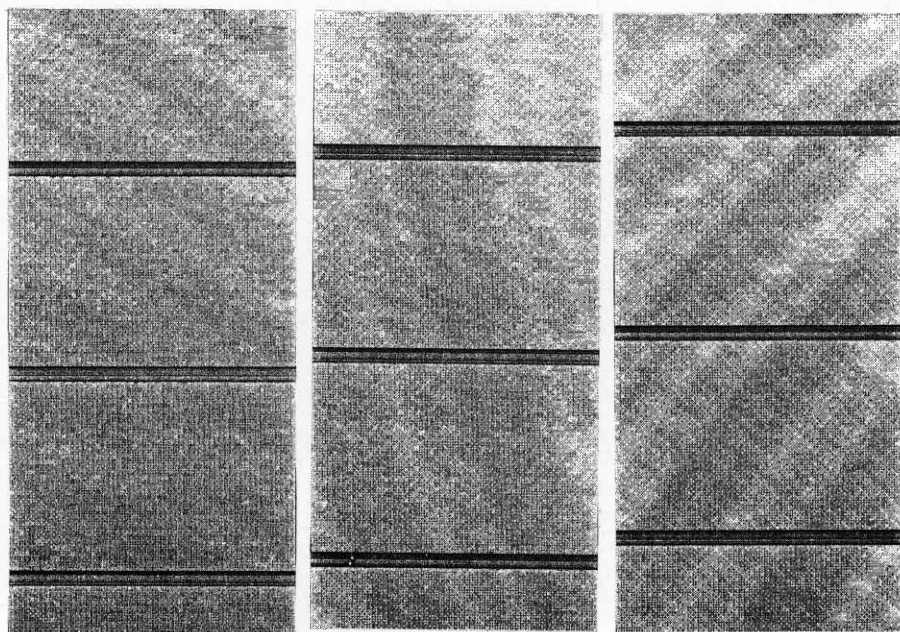


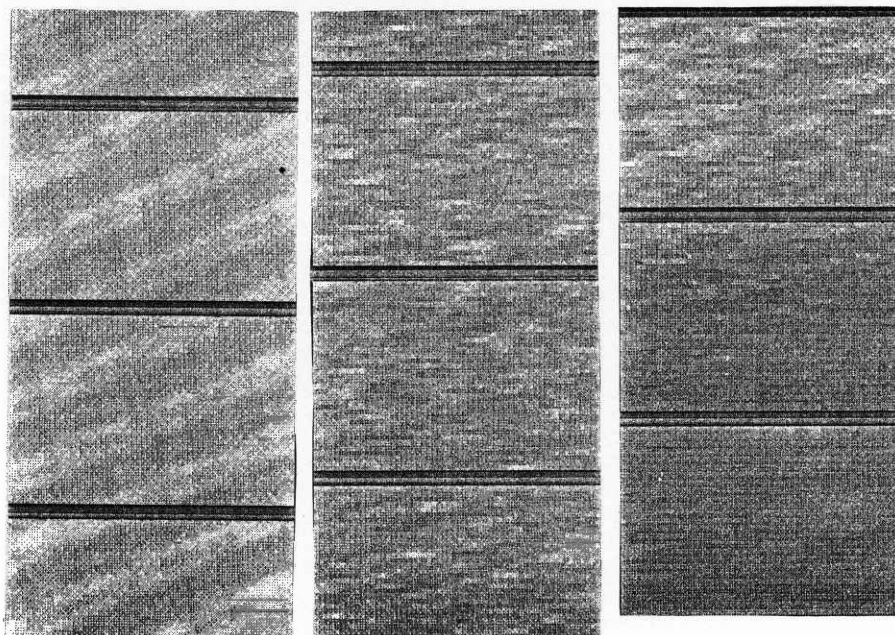
Fig. 4 SSU and MSU images at 06Z 8 may 1987.



17 JUL 1987

14 AUG 1987

11 SEP 1987



8 OCT 1987

5 NOV 1987

3 DEC 1987

H I R S C h . 1

Fig. 5 Sequence of daytime images of HIRS Ch.1.

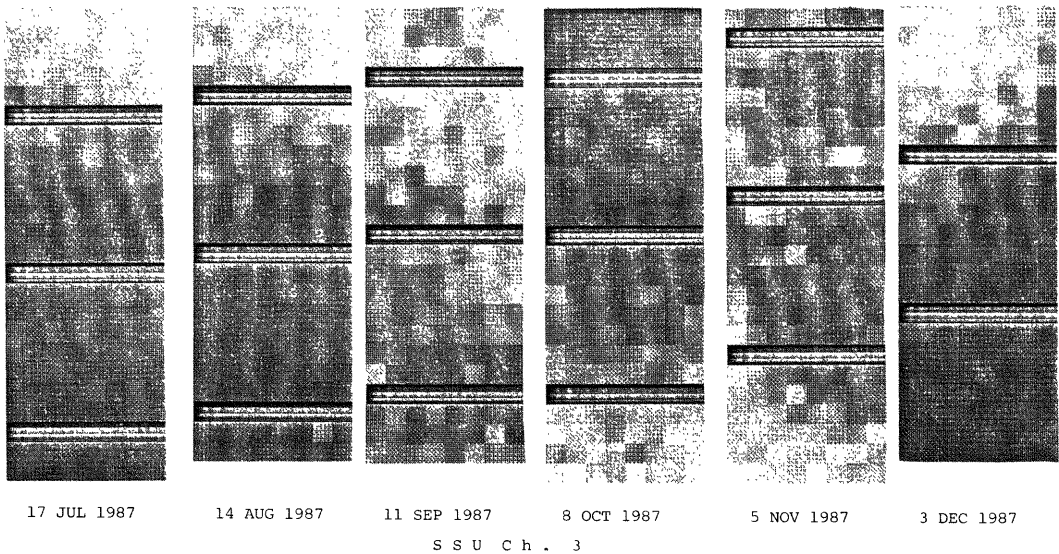


Fig. 6 Sequence of daytime images of SSU Ch.3.

なかったが、HIRSの第2～3チャンネルにも同様なノイズが検出された。一方SSUのノイズはランダムで規則性は見られない。これらセンサー特有のノイズはTOVS処理に無視できない影響を与えている可能性があり、より詳細な調査が必要である。

8. まとめ

新しく開発したHRPTチェックプログラムを用いてキャリブレーションの問題点、センサー特有のノイズ等を調査した。今回は特にTOVS処理に関連する3つの問題に焦点を当てて考察した。

1. 遅れ時間の経時変化
 2. AVHRR、MSUのキャリブレーションの方式
 3. HIRS、SSUのいくつかのチャンネルのノイズ
- AVHRR、MSUのキャリブレーション方式については現状のままでも特に問題はないとおもわれるが、遅れ補正時間の変化やHIRS、SSUのノイズについてはHIRSのスポットの緯経度の計算や鉛直分布計算に影響を及ぼす可能性があるのでさらに検討を重ねる必要がある。

9. おわりに

本プログラムは気象衛星センターの計算機更新をきっかけに、遅れ補正時間を抽出することを主目的にしていた従来のプログラムを機能拡張したものである。HRPTに含まれる基礎的なデータを取得しておくことはTOVS処理の製品の品質管理、精度向上の面から不可欠であり、今回の調査でその重要性を改めて認識した。しかし、今回の調査はデータ数も少なく、詳細な検討ができなかったため今後も継続してAVHRRおよびTOVSデータのチェックをおこなうつもりである。

10. 謝辞

最後に本稿をまとめるに際して、またHRPTチェックプログラムを開発するに際して貴重な助言を頂いたシステム管理課の三田昭吉氏、本庁予報課の中島忍氏に深く感謝致します。

参考文献

1. 気象衛星センター、1983：TOVSデータ処理システムの解説、気象衛星センター技術報告特別号、pp.156.