

NOAA 衛星画像との比較による気象衛星「風雲」赤外 APT 画像の温度変換

田中 護*・藤本 勉*・高浪 五男**

On the Temperature Conversion Method for Meteorological Satellite "Feng Yun"
Infra-Red Pictures by Comparison with NOAA Satellite Pictures.

Mamoru TANAKA*, Tsutomu FUJIMOTO* and
Itsuo TAKANAMI**

Abstract

The authors are striving to evolve computer procedures to utilize APT pictures that are transmitted by meteorological satellite, NOAA, more intensively. One of the results accomplished from the efforts is the production of sea surface temperature map drawn on the infra-red APT picture of NOAA.

To make the map more accurately, it is needed more pictures. The satellite, NOAA passes over the observing area of the ocean only twice a day. The authors have received APT pictures from Feng Yun-1B, the second Chinese polar orbiting meteorological satellite, to resolve the above problem. But as they know, the conversion procedure of Feng Yun-1B's infra-red APT picture into sea surface temperature has not been announced officially. They have established a calibration procedure of the picture of Feng Yun-1B by comparing to APT picture of NOAA. At first, the voltage values of each picture element of Feng Yun-1B APT picture are converted to its gray scale value and succeeding to the gray scale value of NOAA APT picture, that corresponds to sea surface temperature.

1. まえがき

気象衛星による海洋観測は、広く行なわれており、多くの有益な情報が得られることから漁業など多方面で利用されている。気象衛星 NOAA のように低高度の極軌道気象衛星から得られる画像は、静止気象衛星 GMS (ひまわり) から得られる画像に比べると高解像度である。

著者らは GMS の他に極軌道を周回する気象衛星 NOAA (アメリカ) シリーズ (9号, 10号, 11号), Y e n g Y u n (中国: 風雲) および M E T E O R (旧

ソビエト) シリーズ (II型, III型) などの衛星画像を直接受信している。なお, NOAA の APT 画像は 137 [MHz] 帯のファクシミリであり安価なシステムで受信することができる。受信した APT 画像の歪の修正を行い, より画質の良い画像への改善を図り⁽⁶⁾, NOAA の画像からは海表面温度分布図の作図などを試みている。⁽¹⁾⁽²⁾

NOAA は日本付近を一日に二回しか通過しないので, 観測機会が少ないのが欠点となっている。画像の時間経過に伴う変化を追跡するような場合には, 現状では GMS の W E F A X 画像 (1 時間毎に受信できる。) に頼らざるをえない。

この問題点を少しでも解消するには, 異種低高度極軌

*宇部工業高等専門学校電気工学科

**山口大学工学部

道気象衛星の画像を混合利用することが考えられる。

中国は1990年9月3日に2番目の極軌道気象衛星Feng Yun (風雲)-1B号(以後FY-1Bとする)を打ち上げた。FY-1BはNOAAシリーズ気象衛星と酷似した信号フォーマットで可視および赤外APT画像を送信しており著者らの受信システムを用いて画像を取得することができた。これらの画像が利用できれば上で述べた欠点を補うことができる。そのためにFY-1Bの画像の利用方法を検討した。FY-1BはNOAAと非常に良く似た性能を持つ衛星であり、放射計波長域もほぼ同じである。FY-1Bの赤外画像を温度画像に変換出来れば応用範囲も広がり前述の目的にも合致する。

NOAAに関する運行データ、画像送信の資料はアメリカ海洋大気庁が提示しており詳細に知ることができる。その手順に従えば、NOAAについては赤外APT画像から温度画像への変換ができる。しかし、FY-1Bの赤外画像を温度画像に変換する手続きは不明である。

そこでNOAAの温度画像と比較し、FY-1Bの赤外画像を温度画像に変換する為の変換式を求める。変換式が解れば任意のFY-1Bの赤外画像に対して適用できる。なお、変換式を求める為に使用するFY-1BとNOAAとは互いに画像受信時刻と通過軌道が接近している方が好ましい。そのため通過軌道の近いNOAA-9, NOAA-10の画像を用いた。これらの画像を用い、FY-1Bの赤外APT画像を温度に変換する手順を明らかにした。その結果、海洋観測の機会が増大し、精度の向上が期待できるようになった。

なお、1990/12/19~22の4日間に渡り、NOAA-9 NOAA-10, FY-1Bの画像を取得しているが、ページ数の制約により主に12/22の画像について処理した結果を報告する。

2. 画像処理過程の概要

図. 1によって画像処理過程を概説する。気象衛星の運行データに基づいて衛星の通過軌道を予測する。予測に従って受信アンテナを制御し、衛星を追尾して画像の受信を行なう。画像データは位相同期信号、テレメトリデータを合わせて連続して取得するので、受信後ソフトウェアによって位相同期検出を行い、走査線を再整理する。受信するAPT画像は衛星内において、走査放射計の走査角に応じて0~3画素の間引き走査を行なう簡易球面幾何歪補正処理が行なわれている。NOAA, FY-1Bの両衛星とも、1走査線当たり2048画素からなるAV

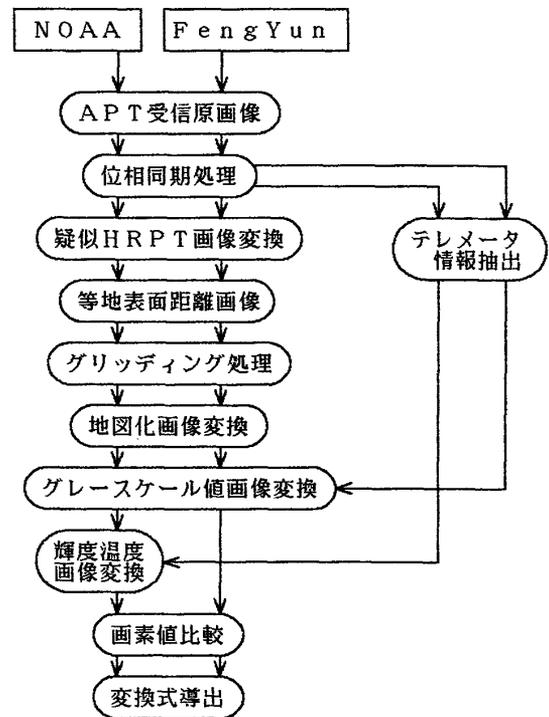


図. 1 処理過程フローチャート

HRR (高分解能放射計) データから、間引き操作により 909画素のAPTデータを生成するが、NOAAとFY-1Bでは生成の過程が少し異なっている。NOAAの場合にはAVHRRデータラインバッファの各アドレス毎に棄却や隣接アドレスとの平均などの固定した操作が行なわれ間引きが達成される。一方、FY-1Bの場合は、AVHRRデータストリームを走査放射計の走査角に応じてサンプリング周期を変えてリサンプリングする。そのため両画像とも特異な幾何学的歪が含まれており、このままでは画素の地理的位置を求める為には複雑な計算アルゴリズムが必要になる。

両画像ともそれぞれの簡易球面幾何歪補正手順を逆に辿って、疑似HRPT (高解像度画像伝送) データに戻す。戻した画像は衛星から地表面を見たままの状態であり、周辺が詰まる球面幾何歪を持っている。この球面幾何歪画像から地表面距離が等間隔となるように画素を再構築して等地面距離画像を作る。

グリidding処理により画素位置の東経、北緯が確定する。異なる軌道、異なる衛星の画像を比較する為に各画像を共通の地図上に射影する地図化を行なう。

NOAA画像については受信した原画像からテレメータ情報を抽出し、温度画像に変換する。

FY-1B画像についてはテレメータ各部の情報が不

明であったが、NOAAと比較することによりグレースケールの位置が確定できたので、画像をグレースケール値に変換する。FY-1Bのグレースケール値とNOAAの温度値を同一画素位置（地図上の東経、北緯が同じ点）どうしで比較して、FY-1Bのグレースケール値から温度値を求める為の変換式を確定する。求まった変換式を利用すれば任意のFY-1Bのグレースケール値画像から温度画像を作ることが可能である。

3. APT画像の受信

(1) 画像の受信と弓状歪の補正

GTSテレタイプ回線により受信した軌道情報に基づいて、予想通過軌道を計算した結果を図. 2に示す。

表1の受信開始時刻から約8分30秒間にわたり画像の受信を行う。受信した画像は連続した1本の画像データとなっているので、同期信号テンプレートをを用いて赤外画像を切り出す。⁽³⁾

受信した画像の同期信号部分の波形を図. 3 (1990 12/21 FY-1B), 図. 4 (1990 12/21 NOAA-10)に示す。両波形を比較するとNOAA, FY-1Bとでは同期信号波形が異なっている。このため、NOAAとFY-1Bとでは画像の走査線切り出しの際、異なる同期信号テンプレートをを用いることが必要となる。

写真. 1は1990 12/22のFY-1Bの受信画像である。

(2) テレメトリ・データ

12/22についてNOAA-9, NOAA-10, FY-1Bそれぞれのテレメトリ・データを検出した結果を表. 2に示す。但し、同一のデータ・ウェッジの平均値である。

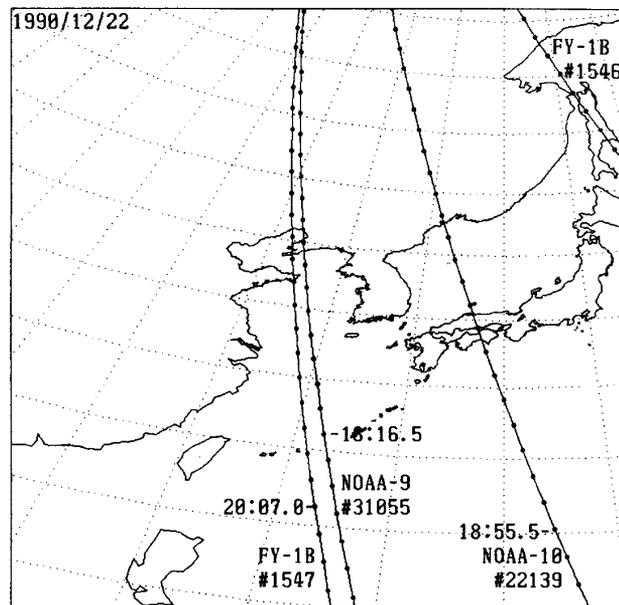


図. 2 予想通過軌道 (1990 12月22日)

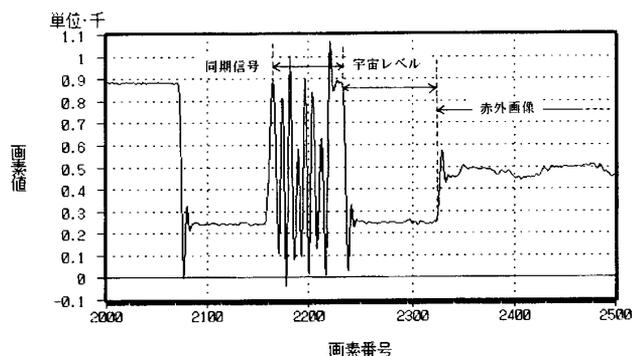


図. 3 同期信号波形 (FengYun-1B 1990 12/21)

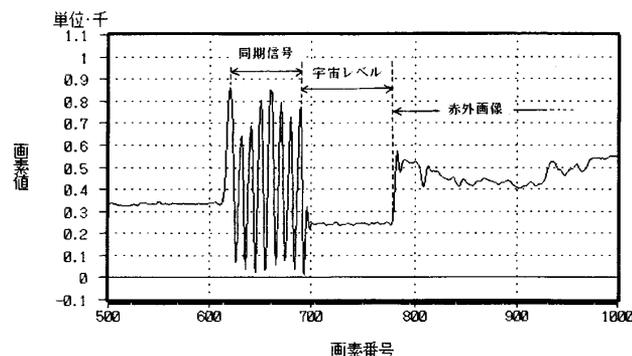


図. 4 同期信号波形 (NOAA-10 1990 12/21)

画像入力日時	1990 12/22		
衛星種別	NOAA9	NOAA10	FY-1B
衛星公転番号	#31055	#22139	#1547
昇交点通過経度	132.70E	141.91E	132.51E
昇交点通過時刻	18:09:08	18:49:33	20:01:02
受信開始時刻	18:15:38	18:56:33	20:07:02

表. 1 受信衛星

FRAM NO.	GRAY LEVEL	NOAA-09	NOAA-10	FY-1B
		12/22 [V]	12/22 [V]	12/22 [V]
1 MI=10.6%	1	3.7507	3.8586	3.8167
2 MI=21.5%	2	3.1734	3.3306	3.2791
3 MI=32.4%	3	2.6250	2.8195	2.7569
4 MI=43.4%	4	2.1252	2.3389	2.2765
5 MI=54.2%	5	1.7161	1.9242	1.8743
6 MI=65.2%	6	1.3813	1.5855	1.5596
7 MI=76.0%	7	1.1312	1.3132	1.2966
8 MI=87.0%	8	1.0534	1.1613	1.1078
9 MI= 0.0%	0	4.3405	4.3726	4.3216
10 PRT #1		3.0576	2.7570	
11 PRT #2		3.0433	2.7286	
12 PRT #3		3.0599	2.7762	
13 PRT #4		3.0331	2.7216	
14 P. TEMP		2.2908	2.7499	
15 B. SCAN		2.6919	3.1798	
16 C. IDENT		2.1259	2.344	
SPACE LEVEL [V]		1.0468	1.2143	
PRT TEMP(MEAN) [°K]		291.22	296.76	
BACK SCAN [GRAY.L]		2.7741	2.2965	
SPACE LEVEL [GRAY.L]		7.6801	7.5939	

表. 2 テレメトリフレームデータ (1990 12/22)

4. 球面幾何歪補正⁽⁴⁾

(1) 球面幾何歪の発生と簡易補正について

図. 5 は球面幾何歪の発生原理を示す。

h : 衛星高度, θ : 衛星の走査角
 R : 地球半径, $\Delta \ell$: 地表面距離分解能

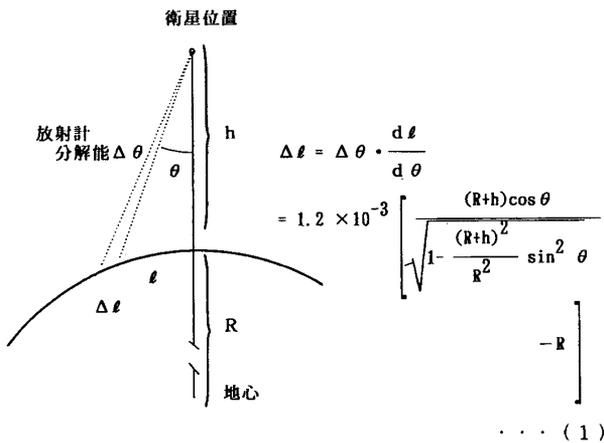


図. 5 球面歪の発生

図中の式 (1) によって走査角に対する地表面距離分解能を計算すると衛星直下点付近では分解能は約 1 Km であるが, 画像の周辺ほど分解能が悪くなる。NOAA から地表を観た場合, 写真. 2 のように周辺が詰まって見える球面歪画像となる。

A P T 画像では簡易補正を行って送信してくる。簡易幾何補正では衛星直下点を中心とした 5 つの領域に分割し, 領域毎に画素の間引きを行い, 解像度のある範囲に保っている。このような補正では分解能が直線的でなく, 領域の境界付近や外側の領域で歪が大きい。そのままでは A P T 画像をなんらかの測定に用いるには適さない。

(2) NOAA の球面幾何歪補正

NOAA 衛星では H R P T 画像から A P T 画像を生成する場合, 簡易補正領域毎の画像の間引きが行われる。この様子を図. 6 に示す。H R P T 画像の一走査は 2048 画素からなる。A P T 画像はハードで固定した操作によって 909 画素に間引きされる。このように画素間の対応関係が固定しているので走査角を用いて補正領域を計算する必要がない。画像の順番のみ解れば良い。

A P T 画像の生成における間引き操作は次のように行われる。画像を走査角によって次のような五つの領域に分ける。

- ZONE-1では 4 画素の平均
- ZONE-2では 3 画素の平均
- ZONE-3では 2 画素の平均
- ZONE-4では 1.5 画素の平均
- ZONE-5では そのまま

のような平均操作が行われている。

このようにして 2048 画素から 909 画素に間引かれた画像データに同期信号, 宇宙データ, テレメトリ・データを時分割多重して A P T データが合成される。2400 Hz の副搬送波を A P T データで振幅変調し, さらに V H F の搬送波を F M 変調する。これを 137 M H z 帯で送信してくる。これを受信時に A D 変換器の通合で一走査線 2000 画素でサンプリングしている為, A P T 画像データに相当する画素数が 909 画素でなく, 1747 画素となる。

(3) F e n g Y u n の球面幾何歪補正⁽⁷⁾⁽⁸⁾

NOAA と同じように走査角によって 5 つの領域に分割し, 領域毎に画素の間引き操作を行ない簡易補正を行っている。間引き操作は 2048 画素の A V H R R データから

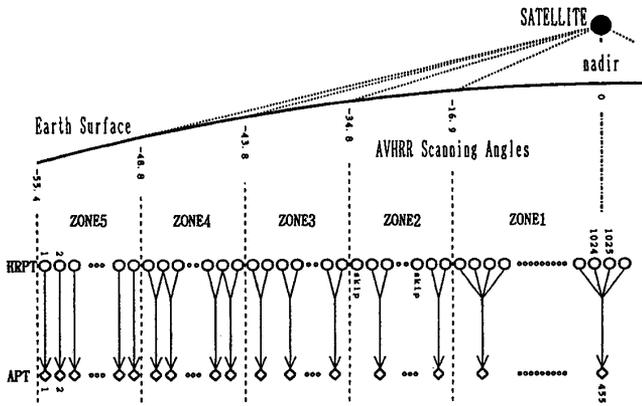
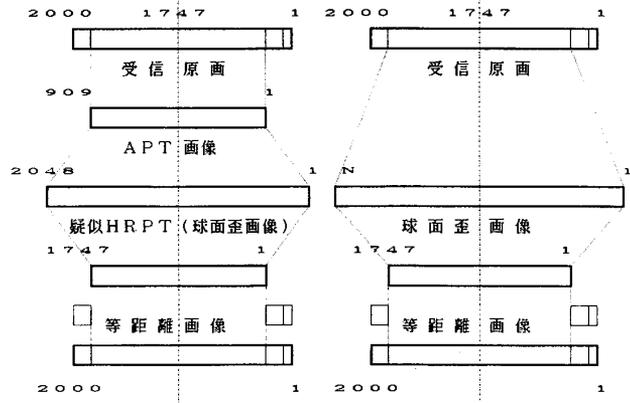


図. 6 NOAA APT 画像の簡易補正



(a) NOAAの場合 (b) Feng Yunの場合

図. 7 逆手順による等距離画像への変換

画素の間引き操作によって簡易補正が行われており、逆補正するには、間引き画素数に相当する画素を挿入して、その画素位置を修正する。図. 7は逆手順による等距離画像への変換過程を示す。

① NOAAの場合

受信APT画像の1走査線分の画像データ部1747画素を単純比例関係で909画素に変換し、図. 6の間引き関係を逆にして各ZONE毎に画素を補間する。たとえばZONE-1では1画素が4画素に、ZONE-4では2画素が3画素に増える。このようにして1走査線909画素のAPT画像から1走査線2048画素の疑似HRPT画像が作られる。疑似HRPT画像は写真. 2のような球面歪画像である。

② FY-1Bの場合

各ZONEの領域を決定する走査角から、各領域の分離点の地表面距離を計算する。地表面距離は衛星の高度によって異なる。受信APT画像の画像データ部1747画素を各ZONEの地表面距離の比で分割し、それぞれの領域で次の操作を行う。

- ZONE-5 : 同一画素を2個繰り返して補間する。
- ZONE-4 : 同一画素を3個繰り返して補間する。
- ZONE-3 : 同一画素を4個繰り返して補間する。
- ZONE-2 : 同一画素を6個繰り返して補間する。
- ZONE-1 : 同一画素を8個繰り返して補間する。

このようにして補間された画像は1747画素数からN画素数(走査線によって変化する)に拡大される。この画像は球面歪画像である。

簡易補正領域	放射計走査角 [度]	
	FengYun	NOAA
ZONE 1	±16.8	±16.9
ZONE 2	±34.7	±34.8
ZONE 3	±43.6	±43.8
ZONE 4	±48.6	±48.8
ZONE 5	±55.4	±55.4

表. 3 簡易球面補正領域

補正領域毎にサンプリング周期を変化させてリサンプルし、909画素のAPTデータを生成する。結果的に各領域は画素の間引きの比を

$$\text{ZONE-5} : \text{ZONE-4} : \text{ZONE-3} : \text{ZONE-2} : \text{ZONE-1} = 1 : 1.5 : 2 : 3 : 4$$

とした場合と同じになる。これはNOAAの場合と相似である。しかし、表. 3のように簡易補正領域を決める走査角の値がNOAAと異なっている。従って、各領域の幅が異なっているため簡易補正によって発生する不連続な幾何歪の位置もNOAAと異なる。

(4) 逆手順による球面歪画像への変換および等距離画像への変換

簡易補正画像は不連続な幾何歪が簡易補正によって発生するし、球面歪も残存している。歪を取り除くには簡易補正手順を逆に辿って補正前の画像に戻す操作を行う。但し、NOAAがAPT画像へ変換する時に間引き操作により一度解像度を落としており、補正前の画像に戻しても、解像度が良くなるわけではない。幾何歪の補正のみが行われる。

①②によって作られる球面歪画像から地表面距離に比例した等距離画像に変換する。球面歪画像の画素位置は衛星の走査角に比例している。

(5) グリッディング処理⁽⁵⁾

等距離画像が正しく生成されているかを確認する方法として、等距離画像に地形図を挿入して陸地部分をグリッディングする。

写真, 3 1990 12/22 NOAA-9 赤外画像

写真, 4 1990 12/22 NOAA-10 赤外画像

写真, 5 1990 12/22 FY-1B 赤外画像

これらはそれぞれグリッディングの結果である。

これらの写真からFY-1Bについては部分的に経度方向にわずかなずれが確認できる。これは次の地図化の際に修正する。

5. 地図化処理

複数の衛星の画像を利用する場合、画像の各画素毎に地理位置を確定して画素間演算を行う。

1000×768画素からなる地図化画像に変換する。地図化画像の地理範囲を

東経 115度 ~ 135度

北緯 24度 ~ 42度

とする。

地図化画像の画素値の決定は

①地図化画像上の各画素の東経、北緯の値から、その点に対応する等距離画像上の位置を計算する。

②計算位置は等距離画像の画素位置に完全に一致することとはほとんど無い。等距離画像の計算位置周辺の4画素値から地図化画像の画素値を求める。

このようにして地図化画像に変換する。FY-1Bで生じていた緯度方向への一率なずれは、地図化によってさらに顕著となる。地図化の際に8画素東側へシフトすることで修正した。このずれは主に軌道計算結果とFY-1Bの観測位置との違いから発生するものと思われる。

写真, 6はNOAA-9, NOAA-10, FY-1Bの3つの地図化画像を重ねて表示したものである。グリッディングおよび地図化が正常であるか確認する。各画像表示にはそれぞれに別のカラーを割り当てる。

NOAA-9: GREEN, NOAA-10: RED, FY-1B: BLUE
写真, 6では各画像同一画素位置の値がグレースケール値で一致すれば無彩色となり、レベルの差があればカラーで表示される。雲域のように画素値が大きく変動するよ

うな部分では地理位置の微妙なずれが影響している。海面や陸の部分ではほぼ無彩色となっている。

6. 輝度温度画像への変換

(1) グレースケール値画像への変換

画像の画素値をグレースケール値で表し、受信衛星、受信時刻の違いによる影響を取り除く。

受信画像は受信機復調出力(電圧)を11ビットのA/D変換器を経由して取得する。従って、+2047~-2048を±10[V]に置き換えることで電圧値になる。各衛星のテレメトリ・データから求めた表, 2よりFRAM番号1~9のグレースケールに対する電圧値を用い、最小二乗法によって受信画像画素値をグレースケール値に変換する式を求める。

PIX: 各画像の画素値

G0921:NOAA-9 12/21のグレースケール値

$V[V]=10.0 \times \text{PIX} / 2047$

$G0921=15.1987-9.2638V+2.4082V^2-0.2491V^3$

$G0922=14.9053-9.1238V+2.3810V^2-0.2473V^3$

$G1021=15.1639-8.1897V+1.9157V^2-0.1911V^3$

$G1022=15.5176-8.8483V+2.1835V^2-0.2228V^3$

$G1B21=16.1536-9.4420V+2.3547V^2-0.2399V^3$

$G1B22=15.2400-8.7190V+2.1541V^2-0.2209V^3$

.....(2)

地図化画像を(2)式の入力特性によりグレースケール値画像に変換する。

(2) NOAA画像の輝度温度画像への変換⁽⁹⁾

NOAAの地図化画像を輝度温度画像に変換する。

図, 8により温度変換過程を説明する。

(a) のように画像の校正用データが画像の両端にある。

各衛星画像から求めたテレメトリ・データを表, 2に示す。

(b) のように各パラメータは式(2)によってグレースケール値に変換される。

(c) のようにT1~T4の平均値は衛星内高温参照点を決める。また、衛星が宇宙を観測した時の値 Back Scanより低温参照点が決まる。

(d) のようにアメリカ海洋大気庁の変換グラフにより画像のグレースケール値を温度に変換出来る。

以上の方法によってNOAAの赤外画像を輝度温度画像に変換した結果を写真, 7に示す。

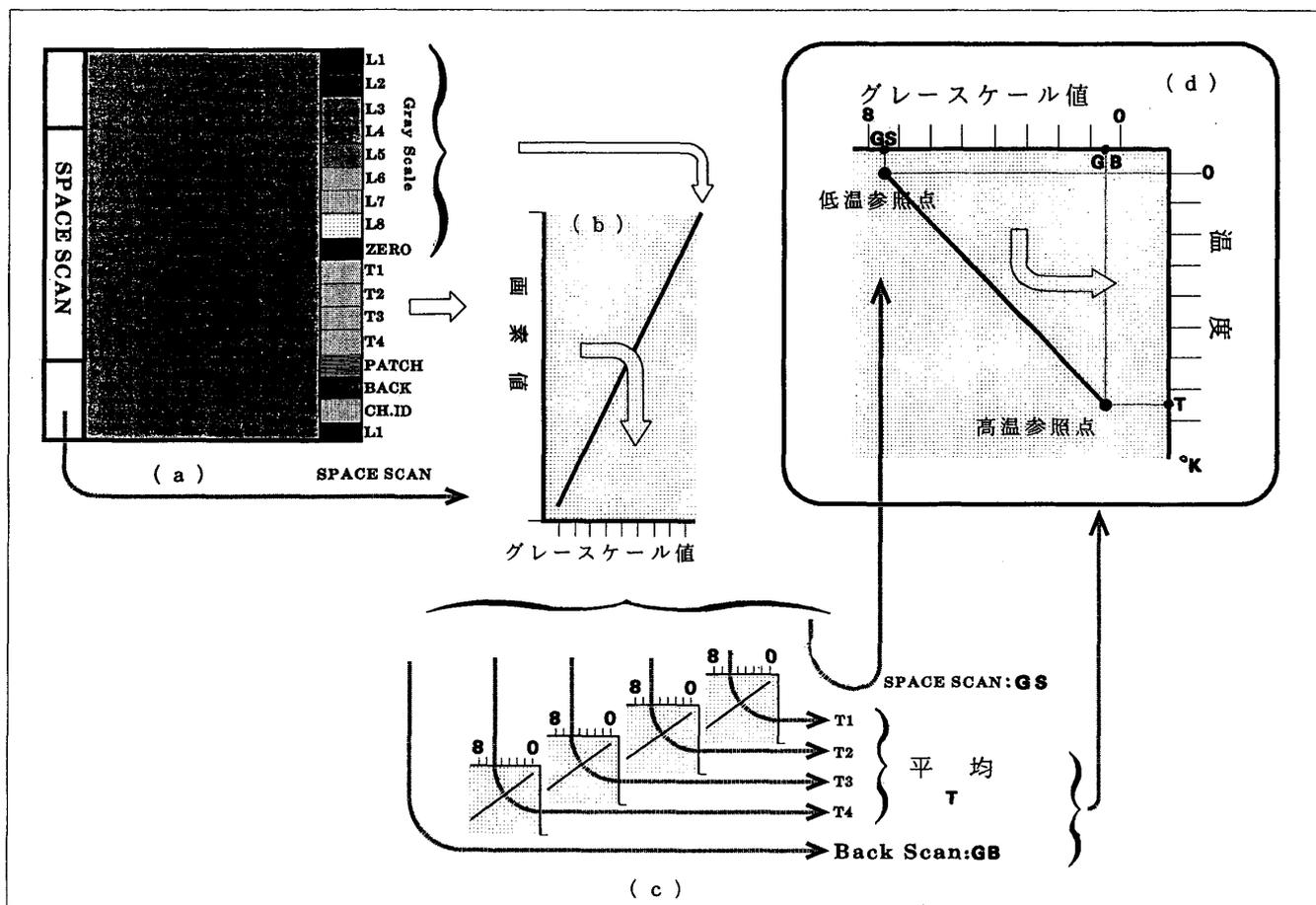


図. 8 NOAA 温度変換過程

表示は1990 12/22 NOAA-9 地図化温度画像である。疑似カラーは 白：-5 0℃，黒：+3 0℃の範囲を5℃幅で表示してある。

(3) 温度変換式の決定⁽⁶⁾

FY-1 Bの画像を温度画像に変換するために、FY-1 Bと地理位置が同一なNOAA画像の温度値と比較する。それぞれの地図化画像上で地理位置が同じである経度0.4度(20画素)間隔、緯度0.375度(16画素)間隔の格子点を中心に経度±0.4度、緯度±0.047度の領域(5×5画素)を平均した2400画素値を抽出し比較した。

写真. 6において無彩色でない低温域では各画像間のバラツキが生じている。これは画像取得時刻の差の間に移動した雲域を表している。画像上の同一対象を観測したものではないので、温度校正データとして採用できない。図. 9にFY-1 Bのグレースケール値とNOAA-

9, NOAA-10の温度値との12/21, 12/22の2日分の散布図を示す。この散布図上で半径Rの円内に存在する点をカウントし、ゼロなら近似の対象から除く。図. 9はR=0.002とした結果である。散布図より最小二乗法によって変換式を決定した。

$$Temp = -11.798 \cdot GS \text{ value} + 45.270 \dots (3)$$

GS value : FY-1 Bグレースケール値
Temp : 温度 [°C]

(4) Feng Yun画像の輝度温度画像への変換式(3)によってFY-1 Bの画像から輝度温度画像に変換した結果を写真. 8に示す。

写真. 7と比較しほぼ同等な温度画像となっている。

(5) 等温度線の作図

写真. 9は写真. 8から求めた等温度線画像である。

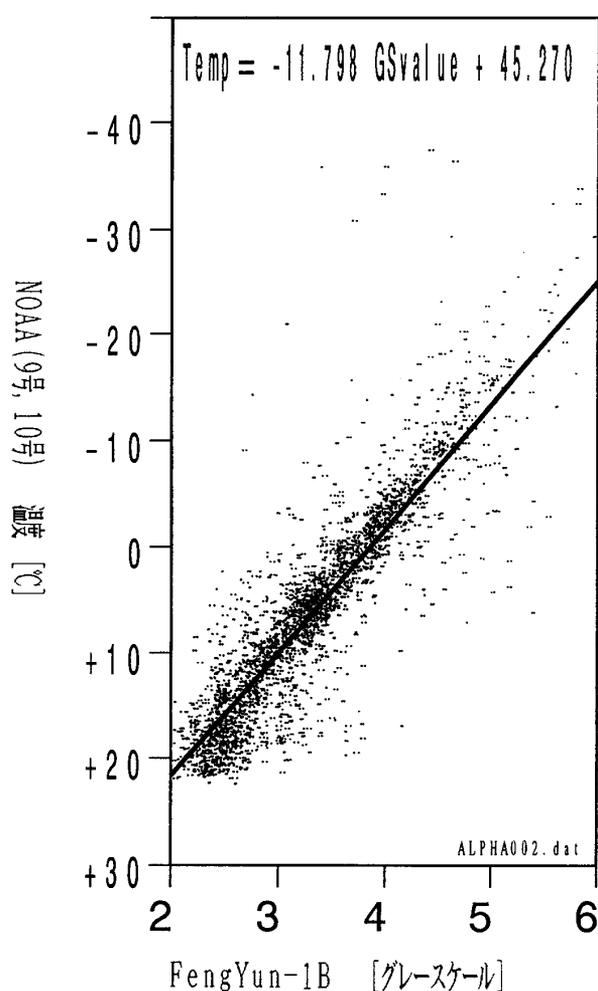


図. 9 NOAA 温度—Feng Yun グレースケール散布図
(1990 12/21, 12/22)

−10 [°C] ~ +20 [°C] を 5 [°C] 段階で分割し、境界線を表示してある。海面温度分布、分布の時間経過による変動などを知るのに役立つものと思う。

7. むすび

異種気象衛星画像の混合利用を進めるために、Feng Yun 赤外 APT 画像を温度画像に変換する手法の開発を行った。

温度画像に変換するまでに

- ①幾何歪を除去する為に、受信原画→球面歪画像→等距離画像→地図化→温度画像のように何回かの画像変換

過程を踏む。このとき画素値の決定に補間計算を伴う。

画素値の補間が適切に行われることが必要である。

- ②入力時の特性が(2)式のように受信画像によって変わる。また、特性が直線とならない。
- ③緯度が高くなるとアンテナ方向が水平に近くなり、ノイズを受け易くなる。
- ④わずかではあるが 2400 Hz の副搬送波の成分が残留しており、その周期は画像そのもの高周波成分周期に近いなど、画質を落とす原因となり得る。これらの点で少し改善の余地がある。しかしながら、安価なシステムで受信出来る APT 画像を、歪を修正して質の良い画像として供給し、応用範囲を拡大、拡充する目的に微力ながら寄与出来るものと確信する。

参考文献

- 1) 田中, 藤本: 気象衛星 (NOAA) 画像の処理 (海面温度の推定と雲域除去) 宇部高専研究報告 35号 平成元年 3月
- 2) 田中, 藤本: 気象衛星ノア画像処理 (可視情報を利用した海霧発生域の抽出と海表面温度分布図の作成) 宇部高専研究報告 36号 平成2年 3月
- 3) 田中, 藤本, 高浪: 気象衛星ノア画像の弓状ひずみの補正 宇部高専研究報告 37号 平成3年 3月
- 4) 田中, 藤本, 高浪: 気象衛星ノア APT 画像の球面幾何歪補正 宇部高専研究報告 38号 平成4年 3月
- 5) 藤本, 田中, 高浪: NOAA-APT 画像の精密グリディング処理 日本リモートセンシング学会 11 回学術講演会論文集 P237-240 (1991/11)
- 6) 藤本, 田中, 高浪: 気象衛星「Feng Yun」赤外 APT 画像の温度変換 日本リモートセンシング学会 12 回学術講演会論文集 P (1992/5)
- 7) 翁垂駿, 李正常, 周言木: 遥感信号星上預処理 (in chinese) 紅外研究 vol.9, No.2, p99-107 (1990)
- 8) 龚惠兴 **风云一号气象卫星可见红外扫描辐射计的技术发展** 紅外研究 vol.9 p81~p90 (1990)
- 9) The TIROS-N/NOAA-A-G Satellite Series NOAA Technical Memorandum NESS 95, p15-16 (1978) (平成5年9月24日受理)



写真. 1 受信原画
FY-1B 1990 12/22



写真. 3 等距離画像
NOAA-9 1990 12/22



写真. 2 ひずませ画像
FY-1B 1990 12/22

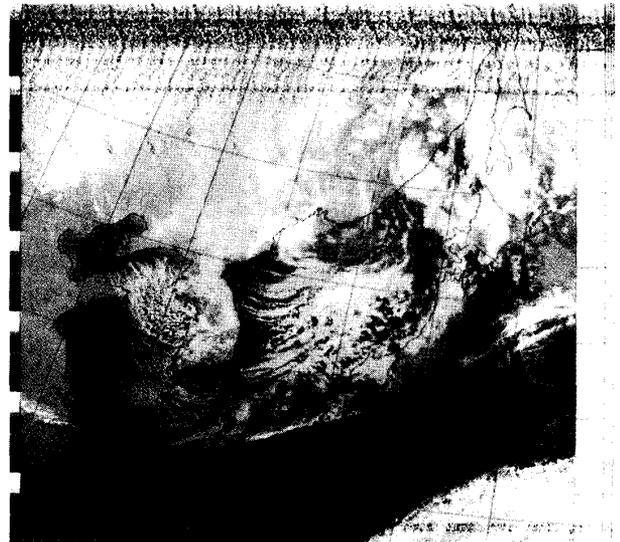


写真. 4 等距離画像
NOAA-10 1990 12/22

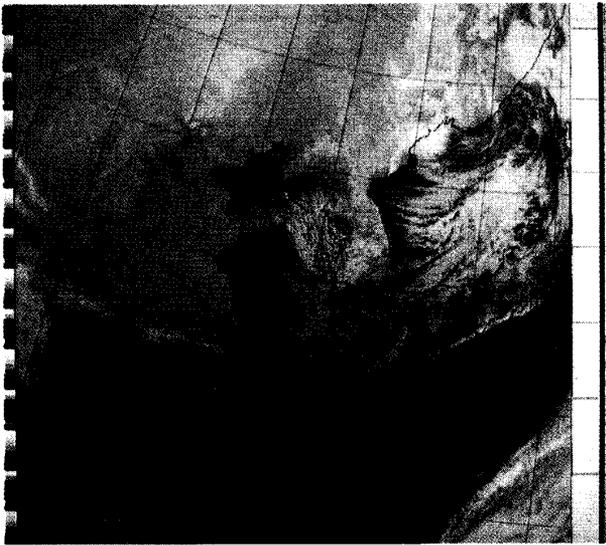


写真. 5 等距離画像
FY-1B 1990 12/22

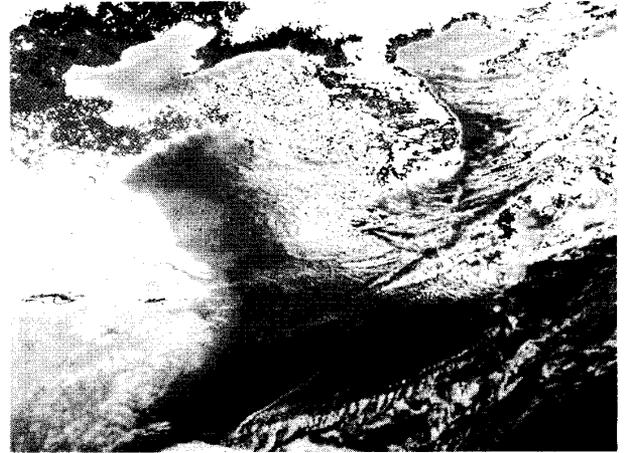


写真. 7 地区化温度画像
NOAA-9 1990 12/22



写真. 6 マルチカラー画像
1990 12/22 RED : NOAA-10
GREEN : NOAA-9
BLUE : FY-1B

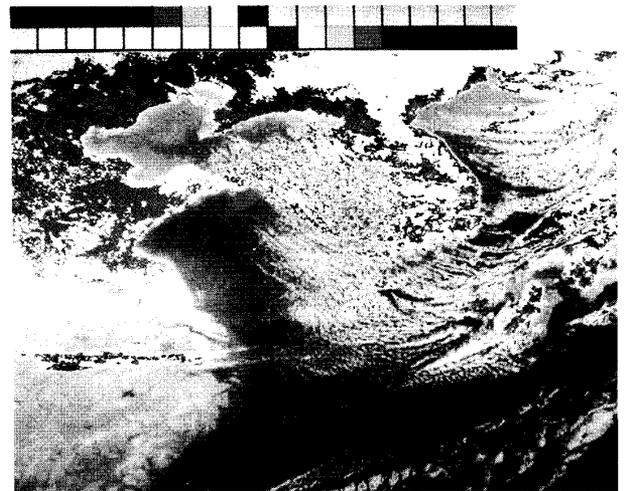


写真. 8 地区化温度画像
FY-1B 1990 12/22

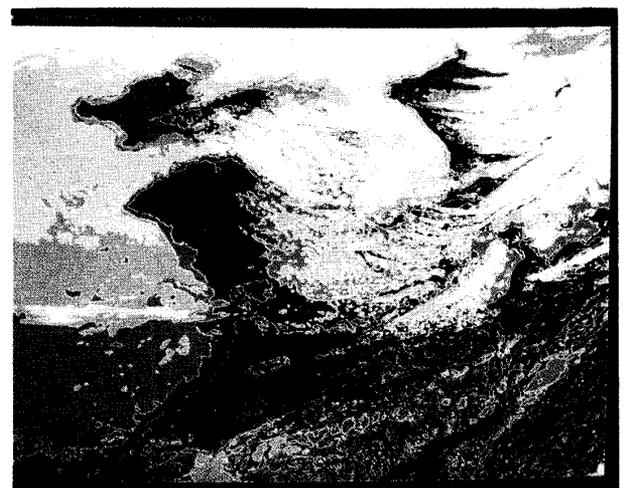


写真. 9 等温度線画像 (-10°C +20°C, 5°C step)
FY-1B 1990 12/22