

低分解能赤外衛星画像 (NOAA APT) のオンライン温度変換と精度評価

藤本 勉[†] 三池 秀敏^{††}

On-line Temperature Conversion and the Accuracy Evaluation for Low Resolution Infrared Satellite Image (APT) of NOAA

Tsutomu FUJIMOTO[†] and Hidetoshi MIIKE^{††}

あらまし TIROS-N以後ノアシリーズ衛星が送信する APT 画像の温度変換手順は、従来 Nelson 提案による図式解法が用いられてきた。本論文では、まず APT 画像の濃度値データを同画像が生成されるもとの AVHRR の出力レベルに等価なものに変換した後、AVHRR 温度較正法を準用するオンライン温度変換法を提案している。また、一般に APT 画像には非線形性の幾何学的ひずみが残留しており、ナビゲーションの精度に問題がある。我々は APT 画像が生成される過程を解析し、走査線の両端の領域では APT 画像と HRPT 画像は同一の空間分解能を有することに着目した。すなわち、この領域においては幾何学的ひずみ補正が回避できると共に、相互の画像データの比較を行うことで温度変換精度の検証が可能である。-40~+25°C の温度範囲について調査した結果、0~+25°C の範囲は標準偏差が 2°C 以内で、0°C 以下の観測対象は標準偏差が 4~7°C 程度であることを確認した。特に海表面温度観測等に限定した場合、APT 画像の有効活用が可能である。

キーワード NOAA, APT, 温度変換, 精度評価

1. まえがき

ノアシリーズ衛星は TIROS-N (1978) 以来、発展型高分解能走査放射計 (AVHRR) データの直接送信を、高解像度画像伝送サービス (HRPT) とデジタル化自動画像伝送サービス (APT) で行っている。HRPT では 4 又は 5 チャンルの分光感度域を有す AVHRR の出力データが、そのまま UHF 帯でデジタル伝送される。一方、APT では衛星内のコンピュータ (MIRP) により近赤外又は中間赤外および熱赤外の 2 チャンネルを選択し、走査線抜き取り、データ平均化等の情報量低減操作をデジタルのまま加えた後、システム補正用データと共に VHF 帯で時分割多重アナログ伝送される。APT 画像は比較的簡易なシステムで受信可能であり、APT 画像を受信して解析表示するシステムは、例えば海洋学分野 [1],[2]、漁業 [3]、気象 [4] 等、多方面

において活用されている。いずれの場合も主たる利用目的は、熱赤外チャネル輝度データを温度に変換することによって得られる海表面温度分布状況の把握にある。その際、APT 画像の濃度値データの温度への交換が必要となる。従来温度変換手順は、TIROS-N 衛星について Nelson により、NOAA-NESDIS から公表されている提案による方法が用いられてきた [5],[6]。同法は衛星搭載黒体炉 (ITT) の温度較正および、AVHRR の分光感度特性に基づく APT 画像の画素レベルを温度に変換する過程にグラフを多用する、いわゆる図式解法であり、そのままではオンライン化できないし、結果の精度も期待できない。更にこのグラフはその後更新されていない。APT 画像を物理情報として高度に利用する技術の開発にあたっては、まずこの温度変換過程を明確にする必要がある。また得られる温度の精度は、観測対象や AVHRR の視野角により異なるので、画像全体の平均精度 [7] よりはむしろ達成できる精度の最良値を掌握しておく必要がある。

本論文では Nelson の方法を解析し、まず APT 画像の濃度値データを副搬送波振幅変調度に変換してシステム補正を行い、つぎに APT 画像が生成されるも

[†] 宇部工業高等専門学校電気工学科, 宇部市
Department of Electrical Engineering, Ube National College of Technology, Ube-shi, 755 Japan

^{††} 山口大学工学部感性デザイン工学科, 宇部市
Department of KANSEI Design and Engineering, Yamaguchi University, Ube-shi, 755 Japan

との AVHRR の出力レベルに等価なものに変換した後、AVHRR 温度較正法を準用するオンライン温度変換法を提案する。この手法はその後打ち上げられたノアシリーズ衛星についても対応可能である。提案する温度変換法の精度検証のために行った Nelson の図式解法による温度との比較結果から、Nelson の図式解法は AVHRR の非線形性のため、高温域において 3°C 以上の誤差を含むことを明らかにする。

つぎに、提案する温度変換法を用いた APT 画像の温度精度を、HRPT 画像との比較により検証する。APT 画像の精度検証に関しては Wannamaker [7] の先駆的な報告が、我々の調査の限りにおいては、唯一である。彼は両画像を地図上にマッピングした後、同一地上点における観測精度を評価している。しかし、APT 画像には非線形性の幾何学的ひずみが残留しており [8]、このままではナビゲーションの精度に問題がある。我々は、APT 画像が生成される過程を解析し、走査線の両端の領域では APT 画像と HRPT 画像は同一の走査線方向の空間分解能を有し、この領域においては幾何学的ひずみ補正が回避できることに着目して相互の比較を試みた。 $-40\sim+25^{\circ}\text{C}$ の温度範囲について調査した結果、APT 画像で達成できる温度精度は、MIRP による平均操作や受信システムの動特性等により支配されることが判明した。すなわち、 $0\sim+25^{\circ}\text{C}$ の範囲は、海表面、陸域等比較的溫度こう配の緩い領域が観測の対象となるため、これらの影響が少なく標準偏差 2°C 以内で温度推定可能である。一方、 0°C 以下の観測対象は大部分が雲域であり、これらの影響によって急しゅんなレベル変動が鈍化してしまうため、標準偏差が $4\sim 7^{\circ}\text{C}$ に増加し推定精度が低下する。よって主たる利用を、例えば海表面温度観測等に限定すれば、有効に活用できることを述べる。

2. 研究の背景

まず、従来用いられてきた APT 画像の熱赤外チャンネルに対する Nelson の温度変換過程を概説する。APT 画像の温度変換は、本質的には AVHRR のものと同じく、約 17°C の ITT と宇宙空間の観測レベルをそれぞれ高温、低温の参照基準点にして行う。高温参照点は、ITT に取り付けられた 4 機の白金測温抵抗体 (PRT #1~#4) のレベルを標準階調値 (Gray scale wedge level) に変換したものを $GS_{T_1}\sim GS_{T_4}$ を、提示されている 4 種類のグラフを使って温度に変換し、平均して ITT の温度 T_{ITT} としたものと、AVHRR が ITT を

観測したレベル (back scan) を標準階調値に変換したものを $GS_{\text{back scan}}$ とにより、 $(GS_{\text{back scan}}, T_{ITT})$ を高温参照点として決定する。この 4 種類のグラフは、衛星ごとに打上げ前テストの結果に基づいて更新する必要がある。低温参照点は、AVHRR が宇宙を観測したレベル (space scan) の平均値を標準階調値に変換したものを GS_{space} を 0K とし、 $(GS_{\text{space}}, 0)$ とする。高温、低温参照点間を内挿することにより、標準階調値を温度に変換する。ところが、標準階調値と温度とは比例関係にないため、Nelson は TIROS-N の AVHRR チャンネル 3 およびチャンネル 4 の場合について、特殊な目盛り間隔を有すノモグラムを提示している。この用紙を用いると高温、低温参照点間が比例配分により直線内挿可能となる。しかし、Nelson 提案のノモグラムはその構成が公表されておらず不明であるため、Summers [9]、および我々 [10] もこの用紙をそのまま利用して、その後打ち上げられたノアシリーズ衛星に準用している。この場合、衛星のセンサの特性の違い等に起因して発生する誤差の程度を掌握できない。Nelson 提案は、現在のようなパーソナルコンピュータをベースにした受信システムの使用を想定していない図式解法であり、温度変換過程をオンライン化するうえでの難点である。

3. 温度変換

前章の Nelson の温度変換過程を解析し、後続のノアシリーズ衛星にも適用可能な、AVHRR 温度較正法を準用する温度変換法を提案する。以下、NOAA-11 衛星の北上パスを 1991/9/20 (周回番号 15388) および、1991/9/21 (周回番号 15402) に受信した APT 画像に適用した例を交えて述べる。

3.1 信号レベルの変調度による正規化

APT 画像はアナログ変調方式で伝送されるため、受信側で復調後 A/D 変換されてコンピュータに取り込まれる。復調器のゲイン、信号極性は受信側で任意に設定可能であり、デジタル伝送される HRPT 画像とは異なり A/D カウント値は絶対値ではない。我々のシステム [11] では、逆極性の復調器出力を符号付き 12 bit/sample で A/D 変換している。標準階調値と変調度との関係は受信システムにより異なる。よって、衛星側、受信側を含む全システムが有す非線形性および経時変化の排除を含めて、A/D カウント値を正規化するため、全データをテレメータフレーム中の標準階調値との比較によって変調度 (MI [%]) に変換し正

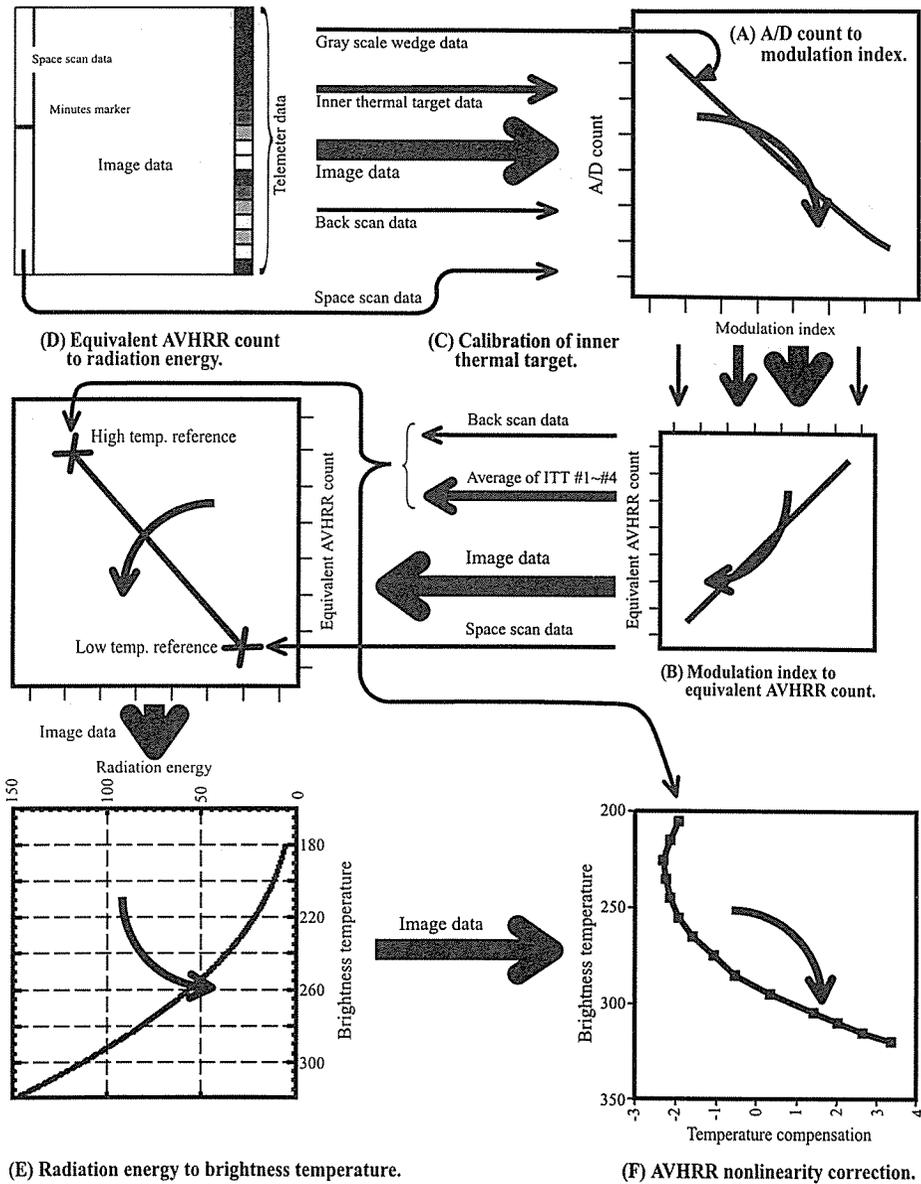


図1 APT画像の温度変換ダイアグラム
Fig.1 Temperature conversion diagram of APT image.

規化する [図 1(A)].

上と同じく、A/D変換のサンプリング周期は任意に設定される。我々のシステムでは $125 \mu\text{s}/\text{sample}$ でサンプリングを行っており、同期信号、宇宙走査、APT画像信号、およびテレメータを含むチャンネルAおよびチャンネルB、それぞれ1走査線当り2,000サンプルのデータを取得している。まず標準階調値と変調度の関係を調査した。テレメータの中央部30サンプルを取

り出し、各テレメータブロックごとに30フレーム、合計1,920サンプルの平均を行い、標準階調値のA/Dカウント値と変調度 (MI [%]) との関係求めた。その結果、4次式で非常に良い曲線当てはめ (相関係数 $r^2 \approx 1.000$) を行うことができた。

3.2 等価 AVHRR カウントの推定と HRPT 温度較正手順の準用

つぎに、前節で変換した変調度 (MI) と、対応する

AVHRRのカウント値 (X) との関係を明らかにしなければならない。MIRPで、画素当たり10ビットであるAVHRRデータの上位(MSB)8ビットを取り出してD/A変換前のAPT画像が生成される。Summersは、標準階調値8(変調度 $87.0 \pm 5\%$)がフルレンジ(11111111₍₂₎)であるとしている。我々は独自に周回番号15388, および周回番号15402のNOAA-11衛星のAPT画像と、これが生成されるもととなった同じパスのHRPT画像の同一サンプルを次章に述べる方法により特定して調査し、周回番号15388, APTチャンネルA(AVHRR CH.2)に対して $X = 11.5667MI + 1.1211$, 周回番号15402, APTチャンネルA(AVHRR CH.2)に対して $X = 11.6667MI - 1.61778$ を得た。この調査はチャンネルA, Bの違いには関係しない。よって、表1は公称値[6]と一致するため、AVHRRデータの上位(MSB)8ビットを同表に示すように推定する。標準階調値8に対するMSB8ビット(推定値)を10ビット化して、

$$X = \frac{11111111_{(2)} \times 2^2}{87.0} MI = 11.7241MI \quad (1)$$

として、変調度 MI を相当する AVHRR カウント X

表1 標準階調値と変調度推定値
Table 1 Gray scal wedge level and modulation index estimated.

	Modulation index (nominal)	MSB 8bit (estimated)	Modulation index (estimated)
Zero modulation	0.0	00000000	0.00
Wedge1	10.6	00011111	10.58
Wedge2	21.5	00111111	21.49
Wedge3	32.4	01011111	32.41
Wedge4	43.3	01111111	43.33
Wedge5	54.2	10011111	54.25
Wedge6	65.2	10111111	65.16
Wedge7	76.0	11011111	76.08
Wedge8	87.0	11111111	87.00

表2 衛星搭載黒体炉温度の比較
Table 2 Comparison of the inner thermal target temperature.

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{ITT}
MI [%]	24.2	24.8	24.7	25.5	
T_{ITT} [K], obtained from ours.	291.2	291.6	291.6	292.1	291.6
T_{ITT} [K], obtained from Nelson's.	291.4	291.8	291.8	292.2	291.8

に直し、以後 AVHRR の温度較正手順を準用する [図1(B)]. すなわち、等価 AVHRR カウントに変換した画素レベルを、高温、低温参照点間の直線内挿により放射エネルギー量に変換する [図1(D)]. つぎに、放射エネルギー量を温度に変換する [図1(E)]. 更に、Nelson は全く考慮していないが、AVHRR の非線形性の補正を行う [図1(F)]. この補正量は僅少であることと、ITT の温度に依存して変動するため手順が複雑になり、Nelson は温度変換過程に盛り込まなかったものと思われる。シーン温度 $T_{scene} (= 205, 215, \dots, 320 \text{ K})$, ITT の温度 $T_{ITT} (= 10, 15, 20^\circ \text{C})$ に対する AVHRR の非線形補正量 $\Delta T_{Error}(T_{scene}, T_{ITT})$ が、NOAA-NESDIS から公表されている [6], [12], [13]. これより次の手順により、内挿して図1(F)の温度に対する補正量を求める。

- (1) 各 $T_{scene} (= 205, 215, \dots, 320 \text{ K})$ ごとに、 $\Delta T_{Error}(T_{scene}, T_{ITT})$ を最小2乗法により $T_{ITT} (= 10, 15, 20^\circ \text{C})$ の2次式で近似し、 $T_{ITT} = T_{ITT}$ の場合の補正量を内挿して求める。
- (2) $\Delta T_{Error}(T_{scene}, T_{ITT})$ を最小2乗法により $T_{scene} (= 205, 215, \dots, 320 \text{ K})$ の4次式で近似する。
- (3) 図1(E)から得られる温度 T に、この近似式より求まる補正量 $\Delta T_{Error}(T, T_{ITT})$ を加える。

3.3 温度変換法の精度検証

以上により、Nelson の図式温度変換法を使わないアップデート可能なオンライン処理に適した温度変換手法が確立できた。この変換法の精度を ITT の温度

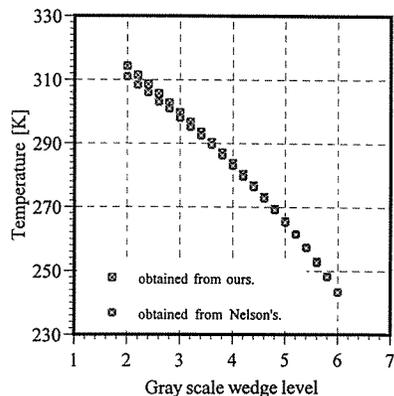


図2 Nelson の図式解法 [5] と提案法により得た温度の比較: NOAA-11 1991/9/20, 周回番号 15388

Fig.2 Comparison of the temperature derived from Nelson's chart oriented method [5] with our proposed method: NOAA-11 20 Sept. 1991, revolution number 15388.

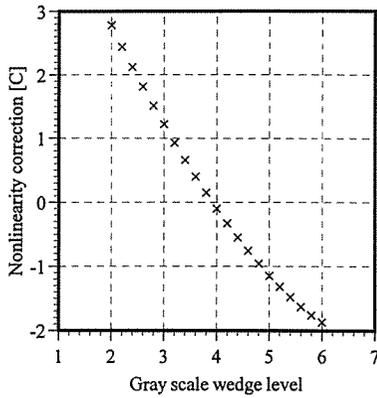


図3 非線形補正量: NOAA-11 1991/9/20, 周回番号 15388
 Fig.3 Nonlinearity corrections: NOAA-11 20 Sept. 1991, revolution number 15388.

において検証した。周回番号 15402 の NOAA-11 衛星の APT チャンネル B (AVHRR CH.4) に適用して ITT の温度 $T_1 \sim T_4$ K を推定した結果と、Nelson の図式解法により得た結果とを表 2 に比較している。4 機ある白金測温抵抗体の平均値は非常によく一致しており、その差は約 0.2K である。

つぎに図 2 に周回番号 15388 の NOAA-11 衛星の APT チャンネル B (AVHRR CH.4) に適用して、各標準階調番号に対して両温度変換法により得られた温度を比較している。Nelson の図式解法は AVHRR の非線形補正を行わないため、図 3 に示す AVHRR の非線形補正量がそのまま誤差に反映しており、標準階調値が 2.6 より小さい (温度が約 30°C より高い) 場合には、約 3°C 以上低い温度を示す。

4. 温度精度推定

APT 画像から得られる温度の精度は観測対象や AVHRR の視野角により異なる。よって、画像全体の平均精度よりはむしろ精度の最良値を掌握しておく必要がある。気象庁気象衛星センタから CCT で提供された HRPT 画像を比較の基準とし、我々が直接受信した APT 画像の温度精度を検証した。

4.1 比較データの準備

データの比較にあたっては、APT 画像が生成されるもととなった HRPT 画像の画素を特定しなければならない。APT 画像は MIRP によって AVHRR から間引き操作によって生成される。すなわち MIRP で、3 本ごとに走査線が抽出され、地球の球面ひずみを除去するため、走査線データは図 4 に示すように AVHRR

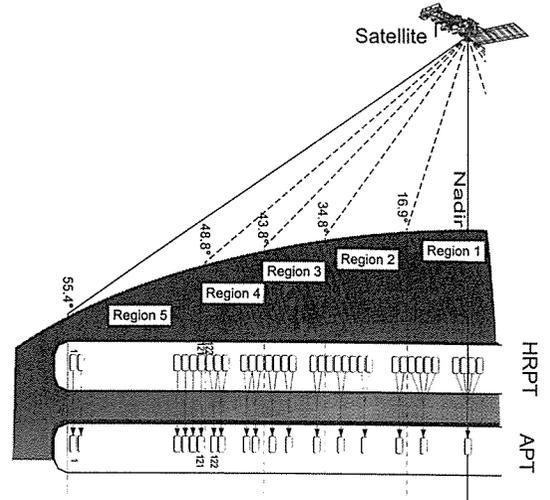


図4 MIRP における HRPT (AVHRR) から APT を生成する間引き操作の概念図
 Fig.4 Conceptual illustrations of the thinning out operation to produce APT from HRPT (AVHRR) by MIRP.

の走査角により五つの領域ごとに独立した平均化処理が行われる。このとき、走査線の両端領域 (第 5 領域) では平均化処理は行われず、低域フィルタにより高周波成分が除去された後、APT 画像が送出される。よって、APT 画像の第 5 領域はフィルタによって除去される高周波成分を除いて、HRPT 画像と同じ走査線方向の空間分解能を有す。我々は、ここに着目して AVHRR の走査角の $\pm 48.8^\circ$ から $\pm 55.4^\circ$ の範囲で得られる第 5 領域において比較を試みた。走査線当たり 909 画素から構成される APT 画像においては、この領域は画素番号 1-121 および 789-909 に相当する。また、2048 画素から構成される HRPT 画像においては、画素番号 1-121 および 1928-2048 に相当することになる。

我々は、APT 画像データを独立同期方式の受信システムで、1 次元時系列データとして取得している。受信完了後、テンプレートマッチングにより各走査線の開始端にある位相同期信号を検出して、2 次元画像として再配置し、ドップラー弓なりひずみのない画像を構成する。受信信号レベルは、受信システムの復調器の非線形性、経時変化等の影響を補償するため、画像データのテレメータフレームに含まれている標準階調を使って階調値に変換する。比較のため、まず対応する走査線対を抽出する。APT 走査線と、すべての HRPT 走査線との間の相互相関係数を算出し、

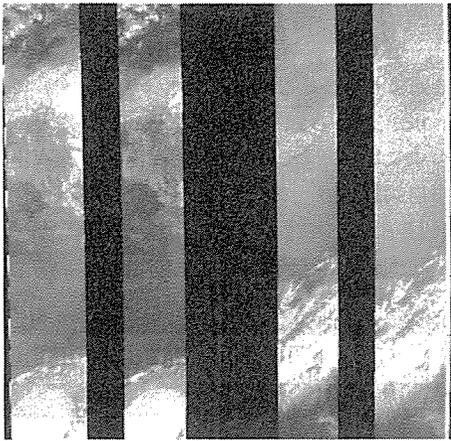


図5 NOAA-11 赤外チャンネル画像の第5領域：左から，APT, HRPT, HRPT, APT. 1991/9/20, 周回番号 15388

Fig.5 The region number five of NOAA-11 infrared channel imagery: from left to right, APT, HRPT, HRPT and APT. 20 Sept. 1991, revolution number 15388.

相関係数の最も大きい HRPT 走査線を，対応する走査線として抽出する．つぎに各走査線の第5領域に属す画素を抽出する．NOAA-11の北上パス（周回番号 15388）から選択した領域の，APT チャンネル B と HRPT (AVHRR) チャンネル 4 を図5に示している．左からそれぞれ，APT の走査終了端，HRPT の走査終了端の第5領域，HRPT の走査開始端，APT の走査開始端の第5領域である．

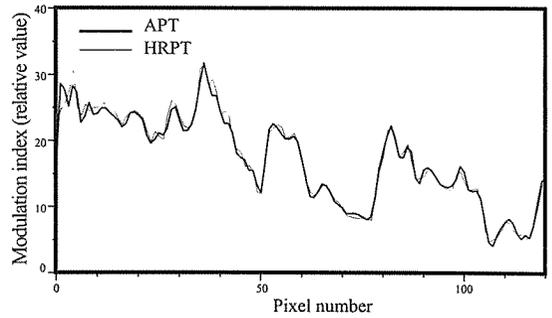
比較のために準備した走査線データのプロフィールを図6に示している．

4.2 比較実験

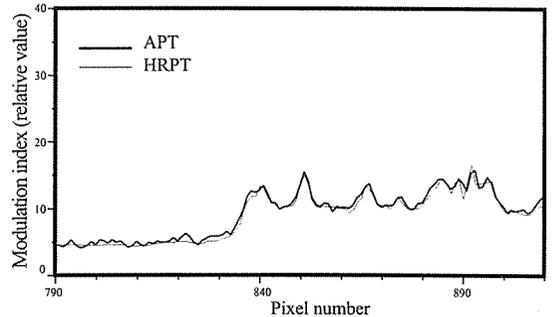
走査線の第5領域の全データ値を相互に調査し分布図を描いた．領域縁部の10画素を除外し，APT 画像の画素番号 11-111，および 799-899 に相当する画素，HRPT 画像においては画素番号 11-111，および 1938-2038 の画素を相互に比較した．1,024本の走査線を比較し図7，図8に示す A/D カウント値の分布図を得た．図9，図10には，APT 画像と HRPT 画像から得られた温度を比較している． $-40 \sim +25^{\circ}\text{C}$ の温度範囲について調査した結果， $0 \sim +25^{\circ}\text{C}$ においては標準偏差 2°C 以内で温度推定可能であるが， 0°C 以下においては，標準偏差が $4 \sim 7^{\circ}\text{C}$ に増加することが明らかになった．

4.3 議論

(1) 調査したデータは1991年6月期のものであ



(a) Profile of scanning line, the beginning portion of the scan.



(b) Profile of scanning line, the trailing portion of the scan.

図6 APT と HRPT の走査線プロフィール：NOAA-11 1991/9/20, 周回番号 15388

Fig.6 Profile of scanning line of APT and HRPT: NOAA-11 20 Sept. 1991, revolution number 15388.

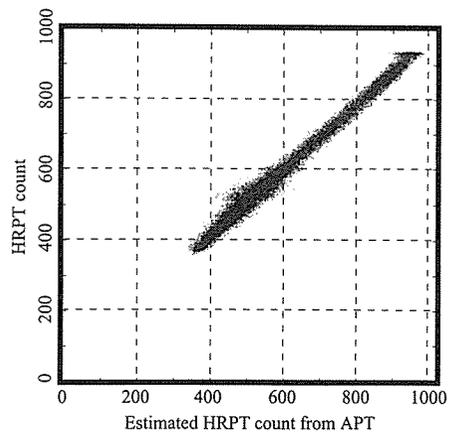


図7 APT チャンネル B と HRPT チャンネル 4 の A/D カウント値散布図：NOAA-11 1991/9/20, 周回番号 15388

Fig.7 Scatter chart of A/D counts obtained from APT-CH.B and HRPT-CH.4: NOAA-11 20 Sept. 1991, revolution number 15388.

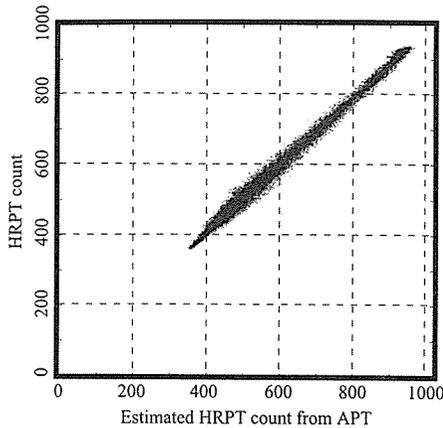


図8 APTチャンネルBとHRPTチャンネル4のA/Dカウント値散布図：NOAA-11 1991/9/21, 周回番号 15402
 Fig.8 Scatter chart of A/D counts obtained from APT-CH.B and HRPT-CH.4: NOAA-11 21 Sept. 1991, revolution number 15402.

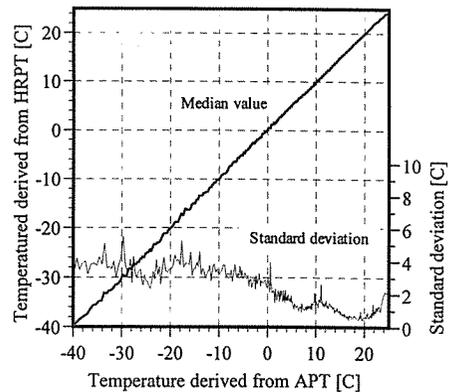


図10 APTチャンネルBとHRPTチャンネル4から得た温度と標準偏差：NOAA-11 1991/9/21, 周回番号 15402
 Fig.10 Brightness temperature and its standard deviation obtained from APT-CH.B and HRPT-CH.4: NOAA-11 21 Sept. 1991, revolution number 15402.

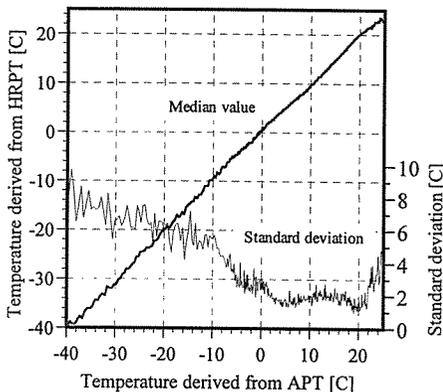


図9 APTチャンネルBとHRPTチャンネル4から得た温度と標準偏差：NOAA-11 1991/9/20, 周回番号 15388
 Fig.9 Brightness temperature and its standard deviation obtained from APT-CH.B and HRPT-CH.4: NOAA-11 20 Sept. 1991, revolution number 15388.

る。得られた結果は季節変動にはほとんど影響されない。

(2) 調査は走査線の第5領域に限定した。他の領域はMIRPによる平均化操作が加わるため、推定精度は更に低下する。よって本論文の目的には十分である。

(3) APT画像はアナログ方式で伝送されるため、温度推定精度は受信システムの特性に依存する。特に主搬送波(FM)復調器、副搬送波(DSB)復調器、およびそれに続く低域フィルタの仕様設計が問題になる。我々は、これらの定量化が困難であるため、全走査線の比較を試み問題を回避した。得られた結果は受信シ

ステムのシステム誤差を含んだものになっているが、0~+25°Cの範囲は海表面、陸域等比較的この配の緩い領域が観測の対象であるので、これらの影響が少なく結果の信頼性は高い。しかし0°C以下の観測対象は大部分が雲域であり、これらの影響が相対的に大きい。

5. むすび

APT画像を科学計測用データとして高度に利用するためには、解明しなければならない点が多く残留している。本論文では、まず温度変換過程について検討し、AVHRRの温度校正手順を準用した温度変換手法を提案した。APT画像の温度変換法は、TIROS-Nに対するNelson提案以来更新されていない。本手法は、その後打ち上げられたノアシリーズ衛星に適用でき、パーソナルコンピュータをベースにした受信システムでオンライン温度変換が可能である。

APT画像により得られる温度精度は、観測対象やAVHRRの視野角により異なるので、画像全体の平均精度よりはむしろ精度の最良値を掌握しておくほうが有用である。我々は、APT画像が生成される過程を解析し、走査線の両端の領域ではAPT画像とHRPT画像は同一の走査線方向空間分解能を有し、精度の最良値はこの領域において得られること、更にこの領域においては幾何学的ひずみ補正が回避できることに着目して相互の比較を試みた。-40~+25°Cの温度範囲について調査した結果、APT画像で達成できる温

度精度は、MIRP による平均操作や受信システムの特性等により支配されることが判明した。すなわち、 $0 \sim +25^{\circ}\text{C}$ の範囲は、海表面、陸域等比較的溫度こう配の緩い領域が観測の対象となるため、これらによる影響が少なく、標準偏差 2°C 以内で溫度推定が可能である。一方、 0°C 以下の観測対象は、大部分が雲域であり、これらの影響によって急しゅんなレベル変動が鈍化してしまうため、標準偏差が $4 \sim 7^{\circ}\text{C}$ に増加し、推定精度が低下することが判明した。よって主たる利用を、例えば海表面溫度観測等に限定すれば有効に活用できる。

謝辞 比較の基準として使用した HRPT データは、気象庁気象衛星センタから提供された。宇部工業高等専門学校の中中護氏には、測定実験に御援助頂いた。ここに深く感謝する。

文 献

- [1] 西村 司, "NOAA/APT 直接受信による黒潮のモニタリング," リモートセンシング学誌, vol.6, no.1, pp.57-62, March 1990.
- [2] 大倉 光, 西 亮, 三輪 了, 三嶋宣明, "人工衛星データによる海面溫度の推定," 信学技報, no.EID93-1, July 1993.
- [3] 山本章義, "船上用 NOAA-APT 受信装置 (カラー海象ディスプレイ)," 航水研ノート, 空と海, no.8, pp.81-95, 1986.
- [4] 藤本 勉, "インターレース NOAA-APT による海霧域の観察と, 統計的テクスチャ特徴に基づく定性化," リモートセンシング学誌, vol.15, no.5, pp.34-44, Jan. 1996.
- [5] G. Nelson, "APT IR Channel Calibration," National Environmental Satellite Service, NOAA, U.S. Dept. of Commerce, 1978.
- [6] W. Planet Ed., "Data Extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers," NOAA TM NESS 107-Rev.1, NESDIS, NOAA, U.S. Dept. of Commerce, 1988.
- [7] B. Wannamaker, "An evaluation of digitized APT data from the TIROS-N/NOAA-A, -J series of meteorological satellites," Int. J. Remote Sensing, vol.5, no.1, pp.133-144, 1984.
- [8] 藤本 勉, 田中 護, 高浪五男, "画素再配置による気象衛星 NOAA-APT 画像の精密グリidding法," 1992 信学春季全大, 分冊 2, no.B-144, p.144, Nov. 1992.
- [9] R. Summers, "Educator's guide for building and operating environmental satellite receiving stations," NOAA-TR-NESDIS 44, NESDIS, NOAA, U.S. Dept. of Commerce, Feb. 1989.
- [10] 藤本 勉, 田中 護, "気象衛星ノア画像処理-海面溫度の推定と雲域の除去-, " 昭 62 中国連大, no.112210, p.252, Nov. 1987.
- [11] 藤本 勉, 田中 護, "気象衛星画像受信システム," 昭 59 中国連大, no.62106, p.112, Nov. 1984.
- [12] W. Popham, "Appendix B to NOAA TM 107 for NOAA-H/11," NESDIS, NOAA, U.S. Dept. of Commerce, Sept. 1988.
- [13] M. Weinreb, G. Hamilton, S. Brown, and R. Koczor, "Nonlinearity corrections in calibration of Advanced Very High Resolution Radiometer infrared channels," J. Geophys. Res., vol.95, no.C5, pp.7381-7388, May 1990.
(平成 8 年 4 月 15 日受付, 6 月 10 日再受付)



藤本 勉 (正員)

昭 44 山口大大学院修士課程了。現在、宇部高専・電気助教授。衛星リモートセンシングに関する研究に従事。電気学会、他 9 学会各会員。



三池 秀敏 (正員)

昭 51 九大大学院博士課程了。現在、山口大・工・感性デザイン工学科教授。動画像計測処理に関する研究に従事。工博、情報処理学会、IEEE、形の科学会、AAAS、他 3 学会各会員。