

# 気象衛星 NOAA-6 号における HIRS と AVHRR の画像ズレについて

## On Misalignment between HIRS and AVHRR Pictures of NOAA-6 Meteorological Satellite

青木 忠生\*・中島 忍\*  
Tadao Aoki\* and Shinobu Nakajima\*

### Abstract

Using the method of Aoki (1980) the misalignment between the HIRS and AVHRR pictures observed from NOAA-6 satellite has been determined. It has been found that the misalignment between the HIRS and AVHRR pictures is  $-3.3$  pixels of AVHRR in the direction of AVHRR scanning and  $-3.4$  lines of AVHRR in the direction of the subsatellite track. In addition, it has been found that the directions of the scanning of AVHRR and HIRS differ by about  $0.023$  degree with each other.

Finally, although its uncertainty is very large, a periodic variation of the direction of AVHRR scanning has been detected.

### 1. はじめに

気象衛星センターにおける極軌道気象衛星データ処理システム（通称 TOVS 処理システム）においては、各 HIRS (High Resolution Infrared Radiometer Sounder) の視野に含まれる AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) の画素データを使って、視野内の雲量、AVHRR の最高、最低、平均、雲域平均放射量などを計算して、その情報を使うことにより HIRS 各チャンネルの晴天放射算出の精度を上げている。又、同時に、温度や水蒸気量等の算出においては、AVHRR 第4チャンネルの晴天放射をも使用し入力情報を多くしている。この場合、AVHRR 第4チャンネルの荷重関数のピークは地表にあるので、地表温度や地表付近の温度や水蒸気量の精度向上が期待できる。

この例のように、一般に、HIRS と AVHRR の両方のデータをその地点の sounding に使うためには AVHRR と HIRS の画像の相対的位置関係を知らなければならぬ。ここでは青木 (1980) によって開発された AVHRR と HIRS の画像位置合せの方法を NOAA-6 衛星に対して適用し、両者の画像ズレ量を算定したので、その結果を報告する。

### 2. HIRS—AVHRR 画像マッチング法の概要

青木 (1980) によると、ズレ量を算出するには、まず、AVHRR と HIRS の位置関係を適当に仮定し、各 HIRS 視野内の AVHRR 画素の平均放射量  $\bar{R}_A$  を計算する。すると両者の真の位置関係は次の量を最小にするようなところとして求まる。

$$\sigma = -\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L [\bar{R}_A(l) - R_H(l)r]^2 \quad (1)$$

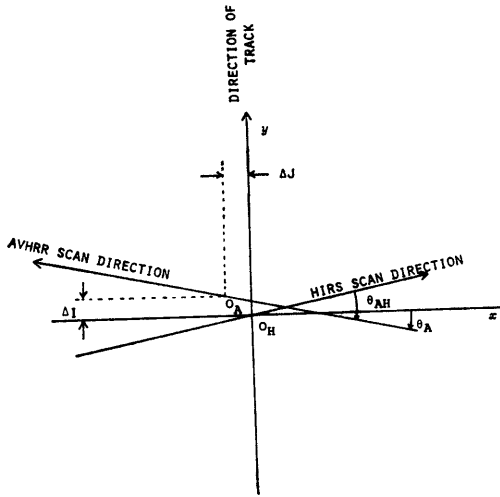
ここで、 $\bar{R}_A(l)$ 、 $R_H(l)$  は各々  $l$  番の HIRS 視野の  $\bar{R}_A$  および HIRS 放射量である。 $L$  はマッチングに使う視野の数で、ここでは HIRS の 1 ライン分、すなわち、56 である。 $r$  は HIRS と AVHRR の放射量の絶対値が異なることによって生ずる誤差を極力小さくするために、HIRS の放射量の値をほぼ AVHRR のそれに合わせるための係数で次のように与える。

$$r = \frac{\bar{R}_A(\max)}{R_H(\max)} \quad (2)$$

ここで  $\bar{R}_A(\max)$ 、 $R_H(\max)$  は、それぞれ AVHRR、HIRS の  $L$  個の値の中の最大値である。

さて衛星が静止していると仮定したとき、AVHRR

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



**Fig. 1** Parameters representing the displacement of AVHRR picture relative to HIRS picture. The directions of HIRS and AVHRR scan line are those when the satellite is standing on the orbit.  $O_H$ ,  $O_A$  are the centers of the HIRS and AVHRR scan lines.

のスカンラインの HIRS のそれからのズレを  $\Delta I$  (AVHRR のラインの間隔を単位として計った衛星の進行方向へのズレ量),  $\Delta J$  (AVHRR 画素間隔を単位として計ったビクセル方向へのズレ量),  $\theta_{AH}$  (AVHRR ラインの HIRS ラインに対する時計まわりに計った角度) とし, さらに  $\theta_A$  を AVHRR ラインの衛星進行方向と直角な直線から計った時計まわりの角度とする。(Fig. 1 参照)。ここで AVHRR は Fig. 1 の右から左に向ってスキャンされるので,  $\Delta J$  は左方向に正にとつてある。

簡単のため, これらを  $X_1, X_2, X_3, X_4$  と書き, その初期推定値  $X_i^0 (i=1 \dots 4)$  からの偏差を  $x_i (i=1 \dots 4)$  とすると  $x$  は

$$x = k^t (k k^t + \gamma)^{-1} y \quad (3)$$

として求まる。ここに

$$y_m = \sum_l [R_H(l)r - \bar{R}_A(X^0, l)] \frac{\partial \bar{R}_A(X^0, l)}{\partial x_m} \quad (4)$$

$$k_{mi} = \sum_l \frac{\partial \bar{R}_A(X^0, l)}{\partial x_m} \frac{\partial \bar{R}_A(X^0, l)}{\partial x_i} \quad (5)$$

である。 $\gamma$  は解  $x$  があまりあばれすぎないようにするための抑えの定数である。ここでは

$$\gamma = 10^{-3} \sigma \quad (6)$$

で与えた。 $x$  が求まると

$$X_i = X_i^0 + x_i \quad (i=1 \dots 4) \quad (7)$$

を新たな初期値として収束するまでくり返した。収束条件は

$$\frac{|\sigma^{(n)} - \sigma^{(n-1)}|}{\sigma^{(n-1)}} < 10^{-3} \quad (8)$$

で与えた。 $\sigma^{(n)}$  は第  $n$  回の  $\sigma$  の値という意味である。ただし  $r$  の値はくり返しの度に更新し, くり返し回数  $n$  の 2 回目以降は

$$\gamma^{(n)} = 4\gamma^{(n-1)} \quad (9)$$

として与えた。

マッチングには AVHRR の 4 チャンネルと HIRS の 8 チャンネルを使ったが, このほかにも, (AVHRR 4)-(HIRS 19) チャンネル, (AVHRR 3)-(HIRS 19) チャンネルの組み合わせについても行なった。ここで AVHRR 4, HIRS 8 チャンネルは 11 ミクロン帯の大気の窓, AVHRR 3, HIRS 19 チャンネルは 3.7 ミクロンの窓領域にあるのでいずれも大気の影響をあまり受けず, 雲や, 海陸パターンに敏感に反応するので, マッチングをとるチャンネルとしては最適である。

### 3. 結 果

衛星センターで受信できる HIRS 画像は最大 120 本くらいであり, この中から 15~20 本くらいの HIRS ラインを 5 本おきを選び, 各ラインについて AVHRR と HIRS の位置ズレを決定し, それを選ばれた全ラインについて平均したものをプロットしたものが Fig. 2 及び Fig. 3 である。各点を中心に上下につけられた棒線はデータのバラつき (分散) を示す。Fig. 2 は  $\Delta J, \Delta I$   $\theta_{AH}$  に対する結果であり, Fig. 3 は  $\theta_A$  に対するもので,  $\theta_A$  については南下 (descending) と北上 (ascending) 軌道について分けて書いてある。期間は 1979 年 8 月から 1980 年 4 月まで, 又, マッチングに使ったチャンネルは, AVHRR が 4 チャンネル, HIRS が 8 チャンネルである。

画素方向に対するズレ  $\Delta J$  の図を見ると, すべての結果はほぼ 1 画素の範囲に収まっている。ちなみに画素間の距離は直下で 1 km くらいである。ライン方向のズレ  $\Delta I$  についてはほぼ 0.5 ラインくらいの範囲に収まっており, これは地上の距離にすると 0.5 km くらいである。AVHRR と HIRS スキャン軸のズレ  $\theta_{AH}$  は  $0.1^\circ$  くらい

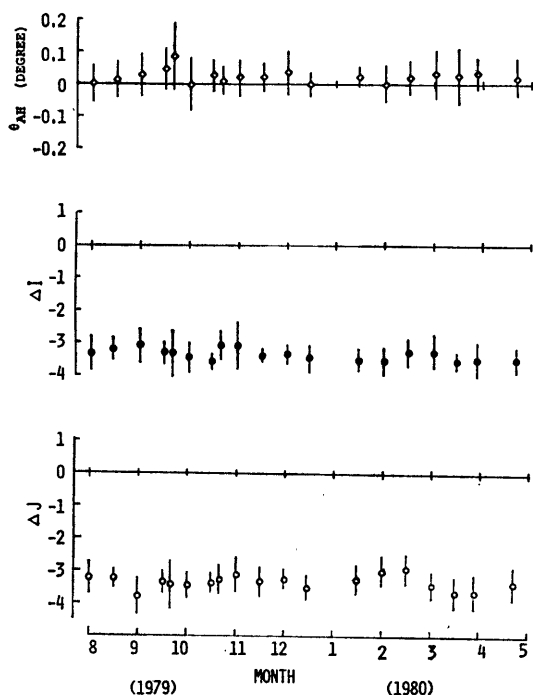


Fig. 2 The mean values of  $\theta_{AH}$ ,  $\Delta I$  and  $\Delta J$  obtained for 15~20 lines of HIRS observed in an orbit. The vertical bars are the standard deviations. HIRS 8th and AVHRR 4th channels were used for matching.

らしい範囲に収まっている。これら3つのパラメーターの各点のバラつきも非常に小さい。

これに比して Fig. 3 の  $\theta_A$  の値についてはそのバラつきが非常に大きい。これは青木 (1980) で述べられているように、 $\theta_A$  の値が少々変わっても AVHRR と HIRS の地上での画像の相対位置関係はほとんど変わらないこと、換言すれば、(1)式で表わされる量には  $\theta_A$  の情報はほとんど含まれないため  $\theta_A$  の推定精度が悪くなることによる。しかし、これも(3)式の  $r$  の値のとり方によってかなり異ってくる。 $r$  というのは、言ってみれば(1)式を最小にするところの  $x$  の値と  $x$  の初期値(ここでは0)のどちらにどれだけの重みをつけるかを定めるパラメーターで、この値を大きくすると初期値の重みが大きくなり、 $x$  の値が大きくあばれるということがなくなる。Fig. 3 の上の図 (ascending) の中で、黒くぬりつぶした三角形は  $r$  の値を(6)式より大きくした場合の結果である。この場合は各点の分散が小さくなっていることがわかる。ここでおもしろいのは、大きい  $r$  の値を使った場合について見ると、点線で示すように、非常にきれいな周期変化をしていることである。この結果が何らかの物

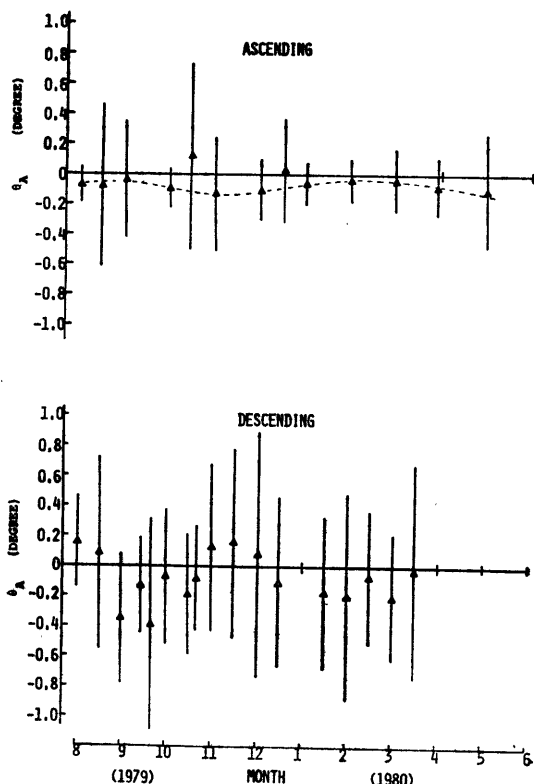


Fig. 3 As in Fig. 2 except for  $\theta_A$ . The data are separately plotted for the ascending and descending orbits.

理的な意味を持っているのかどうかは今のところ分らない。分散の値とこの周期現象の振幅を比較すれば前者の方がはるかに大きいので、単なる偶然として片付けてもおかしくない。しかし  $r$  の値を大きくし、ノイズをおさえたために、今までよく見えなかった周期性が顕在化したとも考えられる。

もしこの現象が真実だとしたらその理由として何か考えられることがあるだろうか?  $\theta_A$  は軌道方向と AVHRR ライン方向(静止時の)の角度だから1つには衛星の姿勢が太陽放射等の影響で季節変化しているのかもしれない。あるいは、本来、衛星本体と AVHRR 測器の相対位置関係は固定されているはずなのであるが、太陽放射熱の影響が衛星の場所によって異なり、機材の伸縮等のアンバランスから、AVHRR のライン方向がズレるというようなことがあるのかもしれない。後者のような可能性がもしあるとすれば、このような季節変化は  $\Delta J$  や、 $\Delta I$ 、 $\theta_{AH}$  にも現れて不思議はない。実際、そのような疑いの目で改めて Fig. 2 を見ると何やら、確かに周期性があるようにも見えてくる。

**Table 1** The values of  $\Delta J$ ,  $\Delta I$ ,  $\theta_{AH}$  and  $\theta_A$  obtained from the matching between pictures of AVHRR-4th and HIRS-19th channels

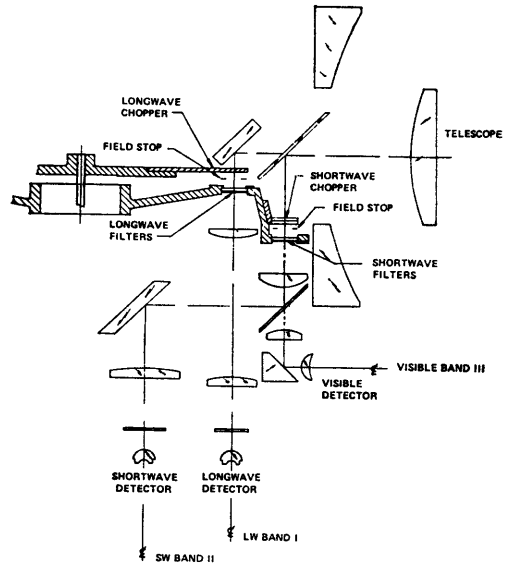
date	$\Delta J$	$\Delta I$	$\theta_{AH}$ (deg)	$\theta_A$ (deg)
1979 8 8	-4 02	-3 65	0 1304	0 3484
9 1	-4 23	-3 42	-0 2406	0 0614
10 1	-3 67	-3 55	0 1229	-0 6461
MEAN	-3 97	-3 54	0 0042	-0 0788

**Table 2** As in Table 1 except for AVHRR-3rd and HIRS-19th channels

date	$\Delta J$	$\Delta I$	$\theta_{AH}$ (deg)	$\theta_A$ (deg)
1979 8 8	-5 14	-3 49	-0 0586	0 0586
9 1	-4 85	-3 41	-0 0799	0 0722
10 1	-5 07	-3 54	0 0162	-0 2857
MEAN	-5 02	-3 48	-0 0408	-0 0516

しかしいずれにせよ、それらが事実かどうかを判定するには、その振幅が分散の値に比べて小さすぎるようである。今後もう少しデータを集めることによって事実関係がはっきりするかもしれない。とにかく、これらのデータを単純平均すると  $\Delta J = -3.33$ ,  $\Delta I = -3.36$ ,  $\theta_{AH} = 0.023^\circ$ ,  $\theta_A = 0.07^\circ$  となる。

次に、同じような調査を HIRS の 19チャンネルと AVHRR の 4チャンネル及び3チャンネルとの間で行なってみた。結果を Table 1 と 2 にまとめてある。(HIRS 19)-(AVHRR 4)の結果は、(HIRS 8)-(AVHRR 4)の場合とほとんど同じである。しかし (HIRS 19)-(AVHRR 3) では  $\Delta J$  の値が 1.5ピクセル分ほど小さい。Fig 3 は NIMBUS-6 に搭載された HIRS 型放射計の光学系を示している。TIROS-N 衛星シリーズに搭載された HIRS もこれと同型のものと考えられる。図のように HIRS 20チャンネルのうち長波長のチャンネルと短波長のチャンネルでは検知器に入るまでの光路が異なっているため、HIRS の 8チャンネルと 19チャンネルを使った場合には、AVHRR との画像スレ量に異なる結果が出る可能性があったのであるが、上の結果によると長・短波長系の2つの光学系、視野の大きさ等間の不一致はほとんどないようである。しかし AVHRR の 4と3チャンネルの光学系の間には 1.5画素分くらいのスレがあるようである。このことは AVHRR の 3チャンネルが AVHRR 4チャンネルより 1.5画素分ほど右側にズレていることを示す。



**Fig. 4** The Optical system of HIRS on NIMBUS-6

いくつかのチャンネルを使って、小さいスケールの画像の解析をする場合には、このようなチャンネル間の画像ズレも頭に入れて行なわなければならない。ただし Table 1, 2 に示したデータ数は非常に少ないので、より確かな数値を知るにはもう少しデータを増す必要がある。

衛星センターの TOVS 処理における晴天放射計算においては、HIRS 各視野中の AVHRR の最高、最低、及び平均輝度が初期値決定のために使われるが (Aoi, 1981), これはあくまでも初期値であるので、各 HIRS チャンネルの視野間に多少のスレがあったとしても最終結果にはほとんど影響がない。しかし、各 HIRS 視野内の雲量やそれから導かれる雲の射出率はこのズレの影響を直接受けるので、たとえば長波長系のチャンネルと AVHRR とのマッチングをとった場合、短波長系の各チャンネルのスポット中の雲量は実際は少し異なる可能性があるわけである。したがって各 HIRS スポット中の雲量を使ってあるチャンネルの何らかの物理量を計算しようとするときには注意を要する。

ちなみに、ズレ量の決定誤差が雲量に及ぼす影響をみると、青木 (1980) の Fig 8 より、 $\Delta I$  の 1ライン分の誤差は最大で 5~8%,  $\Delta J$  の 1画素分の誤差は 4~5% の誤差として雲量に効いてくることが分る。これは視野の境界まで雲があってその外には全くないというような極端な場合の話であって、雲が視野の内外にほぼ均等にバラついているときには、この見積りはもっと小さくなり、完全に均等なら誤差はゼロである。

Fig. 2 の  $\Delta I$ ,  $\Delta J$  の分散の大きさからみて, TOVS 処理で算出される各 HIRS スポット中の雲量というのは, 最大で数パーセントの誤差があり得ることが分る。

又, Table 1 と Fig. 2 の結果から長波長系と短波長系の HIRS 各チャンネルのスポット中の雲量はほとんど同じと考えてよさそうである。

なお,  $\theta_{AH}$  や  $\theta_A$  の誤差の影響については触れなかったが, この影響は軌道の中心付近ではほとんどなく, 端に行くにしたがって大きくなる。たとえば  $\theta_{AH}$  の 0.05 度の誤差は軌道中心から数えて 20 スポット目で 0.5 km くらいの差になり, これは AVHRR 0.5 ライン分の誤差に相当する。又  $\theta_A$  の変化は衛星の対地方向が変化したことに相当し, 自転効果を入れた場合と入れない

場合 ( $\theta_A$  で  $4^\circ$  程度に相当) とで AVHRR 1 画素程度 (雲量では 1%程度) のちがいにしかならないので (青木 (1980) を参照), Fig. 3 に示された程度のバラつきなら, ほとんど問題にならない。

#### References

青木忠生, 1980: 極軌道気象衛星 (TIROS-N) における HIRS/2 と AVHRR 画像の位置合せについて, 気象衛星センター技術報告, 第2号, 15-26.

Aoki, T. 1981: An improved method to retrieve clear column radiance from partially cloudy spots of radiometer on board satellite (to be published).