

NOAA 7号の AVHRR チャンネル3のデータの 雲解析への利用について*

—機械的原因によるデータの変動の実態とその除去—

赤枝 健治・武田 喬男**

要 旨

NOAA 7号の AVHRR チャンネル3のデータには、機械的な原因によると考えられる十数画素を周期とする機械的変動が認められる。このため、チャンネル3を本来の分解能で雲・海面・その他の解析に用いることはできない。しかし、測定値を数十～百数十 km の空間スケールで平均することにより、機械的変動の影響を、測定対象の変化よりはるかに小さくすることができ、このスケールでの現象の解析にはチャンネル3のデータを用いることが可能であることが示された。

1. まえがき

TIROS-N 衛星シリーズには、AVHRR と呼ばれる高分解能（直下点で約 1 km）の測器が搭載されている。AVHRR は、可視から赤外まで5チャンネルで構成されており、各チャンネルの観測目的は、アルビードの測定から地表面温度の測定までさまざまである。

これら5チャンネルのうち、チャンネル3（波長 3.55～3.93 μm ）は、チャンネル4（波長 10.5～11.5 μm ）に比べ、水蒸気吸収の影響が小さいことと、雲に対する透過性が高い（Weinreb・Hill, 1980; Deschamps・Phulpin, 1980）ことから、地表面温度算出には、チャンネル3が適している（Takashima・Takayama, 1981）。さらに、これら2チャンネルを使って水蒸気吸収補正を行うことにより地表面温度算出の精度の向上が期待される（Maul, 1981; Bernstein, 1982; Wobert, 1982; Legeckis Bane, 1983; Barton, 1983）。また、雲に対する透過性が異なることから、これら2チャンネルを用いて雲の層構造に関する情報を得ることも期待できる。さらに、黒体放射は

波長により異なるので、全視野が同一温度でない時はチャンネル3とチャンネル4とでは放射量に差が生じ、これを利用して、視野内の雲量を推定することも可能である（小平, 1980）。このように、チャンネル3は、チャンネル4と組み合わせることにより、多くの新しい情報を高分解能で得ることができる。

TIROS-N 衛星シリーズで現在利用可能なのは NOAA 7号である。ただし、NOAA 7号のチャンネル3のデータを本来の分解能で用いようとすると、十数画素を周期とする変動が常に現れたり、場所によっては放射量が負の値になるという奇妙な現象が生ずる。解析の結果、チャンネル3の測定値には、観測対象の変化に基づくものに、機械的原因と考えられる変動が重なっていることがわかり、このままでは雲・その他の解析に使用できない恐れがある。これまでにも NOAA 6号のチャンネル3に、機械的原因によるデータの変動が存在することは報告されている（Bernstein, 1982; Legeckis・Bane, 1983）。しかし、チャンネル3のこのような変動について詳しく解析を行った報告は見当たらない。また、チャンネル3はこれまで海面温度の推定に用いられることが多く、雲の解析に用いた例は少ない。海面の場合と雲の場合では機械的変動の及ぼす影響が異なり、雲の解析に用いるためには雲の測定に及ぼす機械的変動の影響を調べる必要がある。本論文においては、チャンネル3のこのような不安定性の実態を調べ、チャンネル3のデータを雲・その他の解析に用いる可能性の検討を、NOAA 7号のデータに

* The utilization of NOAA 7 AVHRR channel 3 data to infer the cloud structure.

—The behavior of mechanical noise contained in channel 3 data and exclusion of this mechanical noise.—

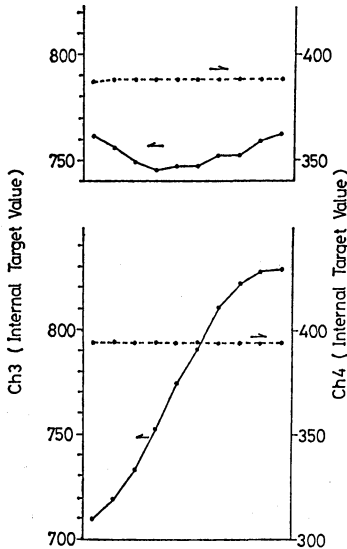
** Kenji Akaeda and Takao Takeda, 名古屋大学水圏科学研究所。

—1983年9月30日受領—

—1983年11月21日受理—

Internal Target Data 10 words	Space Data 10 words	Earth View Data 2048 words
----------------------------------	------------------------	-------------------------------

第1図 AVHRR 1チャンネル1 走査データの構成。



第2図 チャンネル3と4の内部黒体の測定値10個の例。実線がチャンネル3、破線がチャンネル4。また、上の図が1982年7月23日、下の図が1983年2月24日の例。

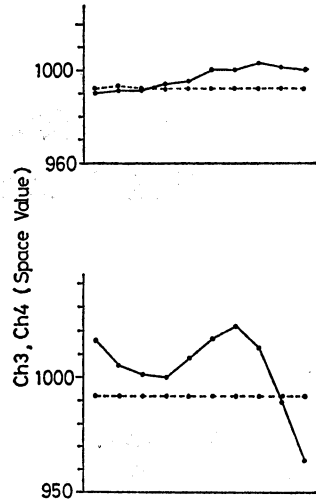
ついて行った。

なお、今回の解析には気象衛星センターで受信したNOAA 7号の HRPT 磁気テープデータを複写したものをを用い、処理には名古屋大学大型計算機センターを使用した。

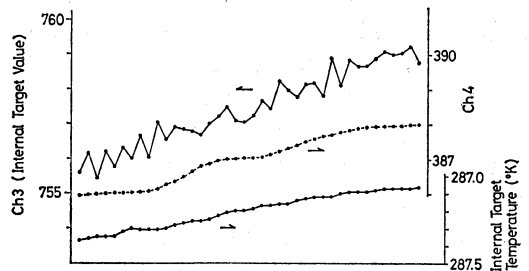
2. チャンネル3の測定値の変動

AVHRR 1チャンネル1 走査分の測定データの様式を第1図に示す。データは、衛星内部の黒体の測定値10個、宇宙空間の測定値10個、地球の測定値 2,048 個から構成されている。衛星内部黒体と宇宙空間の測定値は、地球の測定値を放射量に変換する時用いられる。

チャンネル3とチャンネル4の内部黒体の値10個の例を第2図に、宇宙空間の例を第3図に示す。それぞれ、上の図は1982年7月23日午前3時30分(日本時間)頃、日本付近を通過した時の例(軌道番号5566)、下の図は1983年2月24日午前3時45分(日本時間)頃、日本付近を通



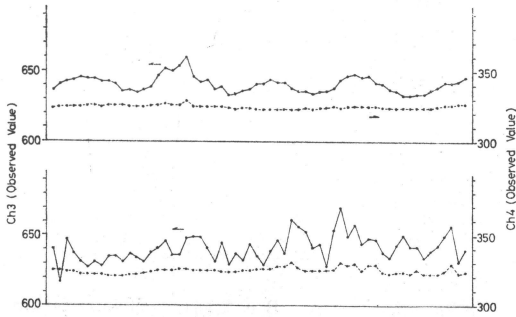
第3図 チャンネル3と4の宇宙空間の測定値10個の例。実線がチャンネル3、破線がチャンネル4。また、上の図が1982年7月23日、下の図が1983年2月24日の例。



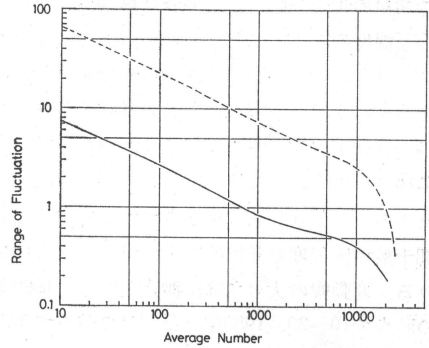
第4図 内部黒体の温度変化と、チャンネル3と4の内部黒体の測定値の変化。上の実線がチャンネル3、破線がチャンネル4、下の実線が内部黒体の温度変化。

過した時の例(軌道番号8616)である。これらの図から明らかなように、チャンネル4では、10個がほぼ同じ値であるのに対し、チャンネル3では10個の値が一定しておらず、系統的な増大あるいは減少を示している。さらに、変動幅は1982年7月の例では10程度、1983年2月の例では100程度と、半年で約10倍に増大している。

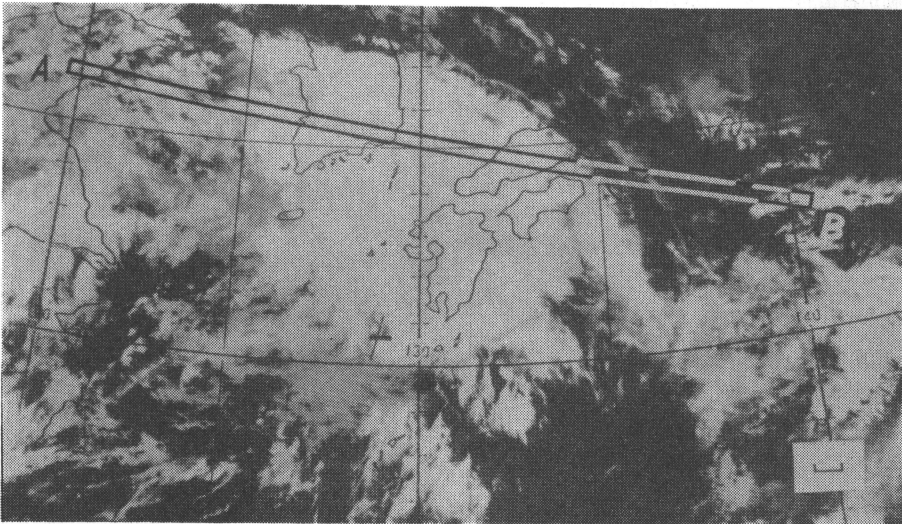
第4図は、内部黒体の温度変化と、それに対応する内部黒体の測定値の変化を、チャンネル3とチャンネル4について示したものである。第4図に示したのは、1982年7月の例で、各点は45走査分(即ち450個)のデータを平均したものである。この図より明らかなように、チャンネル4では測定値が温度に対応して変化しているのに対



第5図 海面の測定値の変化。実線がチャンネル3，破線がチャンネル4。また，上の図が衛星の走査方向に見た場合，下の図が走査方向に垂直な方向で見た場合の変化。



第6図 チャンネル3の宇宙空間の測定値より求めた，平均をとる個数と変動幅の関係。実線は1982年7月23日，破線は1983年2月24日の例。



第7図 1982年7月23日午前3時30分（日本時間）頃の，NOAA 7号 AVHRR チャンネル4で見た日本付近の画像。A～Bの領域が解析を行った領域。右下のスケールは，100 kmの大きさを示す。

し，チャンネル3では，温度に対応した変化に，他の変動が加わっている。この場合の変動幅は約1である。

このように，内部黒体と宇宙空間を見た時，チャンネル4では安定した一定値をとるのに対し，チャンネル3では不安定な値を示している。本来，測器が安定していれば，衛星内部黒体の値は，黒体の温度に対応して変化し，宇宙空間の値は常に一定であるはずである。このことから，チャンネル3の値の変化は測器の不安定性，即ち機械的原因に由来していると考えられる。

第5図は，1982年7月23日早朝の例の海面についての，チャンネル3と4の測定値である。上の図は，衛星の

走査方向に見た場合であり，下の図は走査方向に垂直な方向で見た場合である。早朝の場合 NOAA 7号は，日本付近を北から南に通過するので，衛星の走査方向はほぼ東西方向に相当し，走査に垂直な方向はほぼ南北方向に相当する。チャンネル4ではどちらの場合においても，値の変化はほとんどない。一方，チャンネル3については，走査方向には周期十数画素，変動幅10～20の変動が存在する。また，走査に垂直な方向については，顕著な周期は存在せず，ランダムに変動している。

海面温度がチャンネル3でみられるように周期十数画素（距離にして約10 km）で変化しているとは考えにくく，

さらに衛星の走査方向にのみ顕著な周期が存在することも、海面温度の変化とは考えがたい。また、このようなチャンネル3と4の違いが、水蒸気水平分布を表していると考えれば、水蒸気吸収の影響をより強く受けるチャンネル4に、変動が大きく現れるはずであるが、実際は、その逆になっている。

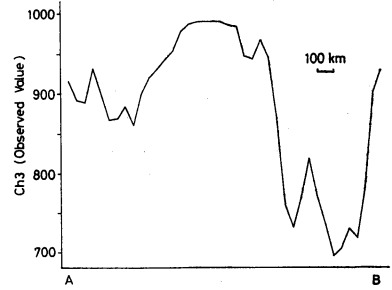
これらのことより、チャンネル3では、走査時に測定値に周期十数画素程度の機械的な変動が重なっていると考えられる。変動幅の大きさは、測定値にして1982年7月23日の時点で10~20、1983年2月24日の時点で100程度の値である。

3. 機械的変動の除去

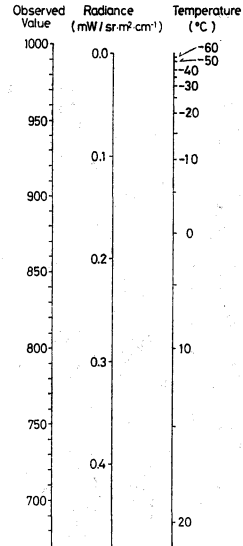
機械的変動が特徴的な正弦振動の場合には、バンドパスフィルターを用いて、その周期だけを取り除くことは可能である。しかし、第2、3、5図に示されているように、チャンネル3の変動は十数画素を中心としながらも一定しておらず、また変動幅も一定していない。

そこで、ここでは十数画素より大きい領域で平均をとり、機械的変動を除去することを試みた。第6図は、宇宙空間の測定値を用い、平均をとる個数と平均値の変動幅の関係を示したものである。変動幅の値としては、測定値の標準偏差の4倍の値を用いた（正規分布の場合、 $\text{平均値} \pm 2 \times \text{標準偏差}$ の範囲に全データの95.4%が含まれる）。実線は1982年7月の例、破線は1983年2月の例である。この図より、1982年7月の例では700個以上のデータを平均すると、また1983年2月の例では20,000個以上のデータを平均すると、変動幅を1以下におさえられることがわかる。即ち、1983年7月の例では、地球の測定値を700個以上平均した場合、平均値に1以上の変化があれば、それはもはや機械的原因ではなく観測対象の違いによるものであると考えられる。

第7図は、1982年7月23日早朝のチャンネル4で見た日本付近の画像である。図中のA~Bの領域（南北50km、東西2,000kmの領域）について、上述の考察をもとに解析を行った。第8図は、第7図のA~Bの領域で変動幅を充分1より小さくするため、50km×50kmの領域（観測値2,500個に相当）で測定値を平均し、その分布を示したものである。第6図より2,500個で平均をとる場合、機械的変動の幅は0.64であり、場所による値の変化は、機械的変動の幅より充分大きく、1982年7月の例では50km以上の空間スケール（同様に1983年2月の例では、150km以上の空間スケール）の解析にチャ



第8図 第7図のA~Bの領域を、50km×50kmの領域で平均したものの。

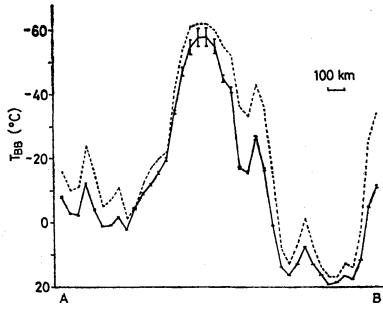


第9図 NOAA 7号の AVHRR チャンネル3における測定値、放射量、等価黒体温度の関係。

ネル3のデータを用いることは可能であると考えられる。

4. 測定値の放射量、温度への変換

実際の解析において、測定値は、まず放射量に変換される。さらに、海面温度の測定、他のチャンネルとの比較等の場合、通常放射量から等価黒体温度に変換される。前章で見たように、数十km~百数十kmスケールでの平均値をとると、測定値に及ぼす機械的変動の誤差は充分小さい値となる。しかし、測定値の放射量への変換には、地球の測定値自身に含まれる誤差に加え、宇宙空間と内部黒体の測定値に含まれる誤差も影響する。さらに、放射量を等価黒体温度に変換する際、放射量の誤差が一定でも、温度によって誤差の大きさが異なる。



第10図 実線は、第8図に示したチャンネル3の測定値を等価黒体温度に変換し、誤差範囲と共に示したもの。破線は、同じ領域のチャンネル4の等価黒体温度。

第9図は、チャンネル3の測定値、放射量、温度の関係を示したものである。この場合、測定値から放射量への変換については1982年7月の例を参考にし、宇宙空間の測定値993.8、内部黒体の測定値757.0、内部黒体の温度287.2Kを用いた。測定値と放射量は直線関係にあり、測定値が大きいほど放射量は小さい値となる。そして測定値がある値(第9図の場合993.8)で放射量が0になり、この値より大きい測定値は意味をもたない。

第9図において、例えば測定値750に±10の誤差がある場合、温度に変換すると、15°Cに対して±1°Cの誤差となる。一方、測定値980に±10の誤差がある場合、温度に変換すると、-38°Cに対して±15°Cの誤差となる。すなわち、チャンネル3の機械的変動は、測定値を温度に変換した場合、低温で大きく増幅される可能性がある。

これらのことより、測定値を放射量あるいは温度に変換する場合、放射量あるいは温度での誤差を定量的に見積もる必要がある。

一般に、測定値 X と放射量 $N(\text{mW}/\text{sr}\cdot\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-1})$ との間には次の関係がある (Lauritson *et al.*, 1979)。

$$N = \frac{N_{Sp} - N_T}{X_{Sp} - X_T} (X - X_{Sp}) + N_{Sp} \dots\dots\dots(1)$$

- 但し X_{Sp} : 宇宙空間の測定値
- X_T : 内部黒体の測定値
- N_{Sp} : 宇宙空間の放射量 ($\text{mW}/\text{sr}\cdot\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-1}$)
- N_T : 内部黒体の放射量 ($\text{mW}/\text{sr}\cdot\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-1}$)

N の誤差を δN とし、 X, X_{Sp}, X_T に各々 $\delta X, \delta X_{Sp}, \delta X_T$ の誤差が含まれているとすると、次のように表せる。

$$|\delta N| \leq \left| \frac{\partial N}{\partial X} \delta X \right| + \left| \frac{\partial N}{\partial X_{Sp}} \delta X_{Sp} \right| + \left| \frac{\partial N}{\partial X_T} \delta X_T \right| \dots(2)$$

(2)式右辺の第1項は、地球測定値に含まれる誤差、第2、3項は地球測定値を放射量に変換する時用いる宇宙空間と内部黒体の測定値に含まれる誤差を示す。(1)より

$$\frac{\partial N}{\partial X} = \frac{N_{Sp} - N_T}{X_{Sp} - X_T}$$

$$\frac{\partial N}{\partial X_{Sp}} = \frac{(N_T - N_{Sp})(X - X_T)}{(X_{Sp} - X_T)^2}$$

$$\frac{\partial N}{\partial X_T} = \frac{(N_{Sp} - N_T)(X - X_{Sp})}{(X_{Sp} - X_T)^2}$$

となる。

第8図の測定値を等価黒体温度に変換したものを、誤差範囲と共に第10図に実線で示す。第8図のデータは、測定値2,500個の平均に相当しているの、キャリブレーションデータも2,500個の平均値を用いた。また第2、3、5図より内部黒体の測定値、宇宙空間の測定値、地球の測定値に含まれる機械的変動の幅は同じであると考え、第6図より $\delta X = \delta X_{Sp} = \delta X_T = 0.32$ を用いた。

δN の値は、 9.3×10^{-4} である。また、第10図より温度 -40°C 以上では、誤差は $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内であるが、 -50°C では約 $\pm 2^\circ\text{C}$ 、 -60°C では約 $\pm 3^\circ\text{C}$ の誤差が生じていることがわかる。

また、第10図の破線は、第7図のA~Bの領域について、チャンネル4のデータを $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ の領域で平均し等価黒体温度に変換したものである。チャンネル3と4の値の差は、雲のタイプ・海面等によって系統的に変化していると考えられる。このことについての詳しい解析は、別の論文で行う。

5. 結論

NOAA 7号の AVHRR チャンネル3のデータには、十数画素を周期とする機械的振動が存在し、本来の分解能で使用すると、誤差がかなり大きくなる。数十km~百数十km以上の空間スケールで平均をとることにより、機械的振動の誤差の影響を充分小さくすることができ、このスケールの現象の解析にチャンネル3のデータを用いることは可能であると考えられる。この場合、測定値を温度に変換した場合の誤差は -40°C 以上で $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内、 -60°C 付近で $\pm 3^\circ\text{C}$ である。

機械的振動の振幅は時期によって大きく変化しており、チャンネル3のデータを用いて解析を行う場合、誤差の大きさを見積もる必要がある。

6. 謝辞

この研究を行うにあたり、NOAA 7号のデータに関して気象衛星センターにお世話になりました。また、気象衛星センターの青木忠生・中島忍両氏には、データの解析にあたりいろいろと有益なコメントをいただいたことを感謝いたします。

文献

Barton, I.J., 1983: Dual channel satellite measurements of sea surface temperature, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **109**, 365-378.
 Bernstein, R.L., 1982: Sea surface temperature estimation using the NOAA 6 satellite advanced very high resolution radiometer, *J. Geophys. Res.*, **87**, 9455-9465.
 Deschamps, P.Y. and T. Phulpin, 1980: Atmospheric correction of infrared measurements of sea surface temperature using channels at 3.7, 11 and 12 μm , *Bound. Layer Met.*, **18**, 131-143.
 小平信彦, 1980: リモートセンシングシリーズ「気象」, 朝倉書店, 21-22.

Lauritson, L., G.J. Nelson and F.W. Porto, 1979: Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers, NOAA Technical Memorandum NESS 107.
 Legeckis, R. and J.M. Bane, Jr., 1983: Comparison of the TIROS-N satellite and aircraft measurements of Gulf Stream surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, **88**, 4611-4616.
 Maul, G.A., 1981: Application of GOES visible-infrared data to quantifying mesoscale ocean surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, **86**, 8007-8021.
 Takashima, T. and Y. Takayama, 1981: Estimation of sea surface temperature from remote sensing in the 3.7 μm window region, *J. Met. Soc. Japan*, **59**, 876-891.
 Weinreb, M.P. and M.L. Hill, 1980: Calculation of atmospheric radiance and brightness temperatures in infrared window channels of satellite radiometers, NOAA Technical Report NESS 80, Washington, D.C., 40 pp.
 Wobert, M.V., 1982: The subtropical front-satellite observation during FRONTS 80, *J. Geophys. Res.*, **87**, 9523-9536.

支部だより

関西支部発足30周年記念講演会について

関西支部では昭和58年10月7日(金)に、大阪府労働センターに於いて、下記の通り、日本気象学会関西支部発足30周年記念講演会を開催し、近在から会員ならびに一般から80数名の参会者があった。

また10月28日(金)には広島女子大学に於いて第1回月例会(テーマは「局地気象」……講演要旨集第27号)を開催し、昭和59年1月27日には神戸海洋気象台に於いて海洋気象学会との共催で第2回月例会(テーマは「海洋と気象」)を開催の予定である。

記

関西支部発足30周年記念講演会

1. 30周年記念式典
 2. 記念講演会
 - (1) 支部長のあいさつ
 - (2) 最近の数値予報の話題
岸保勘三郎(東京大学)
 - (3) 世界の気候はどう変わるか
山元龍三郎(京都大学)
 - (4) 気象災害を防ぐ
中島暢太郎(京都大学)
 3. 記念祝賀会
- 注) なお、講演要旨については、後日「天気」に掲載する予定である(「天気」編集委員会)。