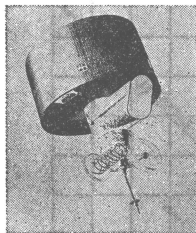


## 宇宙から見た気象——No. 36

赤外 2 チャンネル (11  $\mu\text{m}$ , 12  $\mu\text{m}$ ) で見た絹雲

ひまわり 2号

井上 豊志郎\*

## 1. はじめに

気候変動の研究の一環として雲と放射収支について種々の研究がなされている。絹雲については、その存在によって大気のコールド率が大きく減少することが指摘されている (Manabe・Strickler, 1964; Roewe・Liou 1978)。絹雲のグローバルな分布や高度及び射出率を調べることは気候変化に対する影響を知る上で重要である。ここでは衛星の赤外データ 2 チャンネル (11  $\mu\text{m}$  および 12  $\mu\text{m}$ ) を使って絹雲について調査したので報告する。

## 2. データ

極軌道衛星 NOAA-7 は日本付近を 06Z および 18Z の時間帯にそれぞれ北行 および 南行する。この NOAA-7 に搭載されている AVHRR は 5 チャンネルの放射計で直下点の分解能は 1 km である。第 1 表に AVHRR の特性を示す。チャンネル 4 および 5 は中心波長がそれぞれ 11  $\mu\text{m}$  および 12  $\mu\text{m}$  で、“ひまわり” に搭載されている VISSR の赤外チャンネル (10.5  $\mu\text{m}$  ~ 12.5  $\mu\text{m}$ ) を二つに分割したのになっている。この波長帯は従来大気のコールドと呼ばれていたが、大気中の水蒸気による吸収が大きいことが知られている。チャンネル 4 はチャンネル 5 に比して水蒸気による吸収が小さい。外に、この波長帯の放射特性としては Liou (1974) が簡単な氷晶モデルの絹雲について、散乱・吸収特性を理論計算しており、円柱の氷晶で構成されている絹雲については 11  $\mu\text{m}$  と 12  $\mu\text{m}$  で消散係数に 8% の違いがあることを指摘している。絹雲の射出率は、この消散係数を使って次式で近似できる。

$$\varepsilon_\lambda = 1 - \exp(-\beta_\lambda Z)$$

ここで、 $\varepsilon_\lambda$  は射出率、 $\beta_\lambda$  は消散係数、 $Z$  は雲の厚さを示す。

射出率の波長による違いは、チャンネル 4 と 5 で絹雲

第 1 表 AVHRR のチャンネル特性。

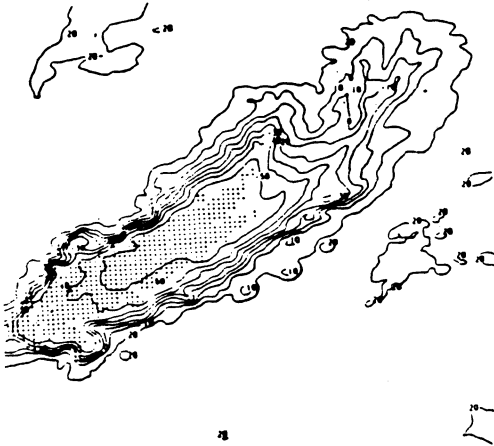
チャンネル番号	直下での分解能	波長 ( $\mu\text{m}$ )	目的
1	1 km	0.55~0.90	日中の雲画像 水・陸・氷・雪面の検出
2	1 km	0.725~1.10	チャンネル 1 と同じ
3	1 km	3.53~3.93	表面温度、夜の雲画像
4	1 km	10.5~11.5	表面温度、昼夜の雲画像
5	1 km	11.5~12.5	チャンネル 4 と同じ

の輝度温度が異なることを意味する。

## 3. チャンネル 4, 5 の輝度温度差画像

チャンネル 4 と 5 の輝度温度の差 (以下温度差とする) を画像にしたものを口絵写真 1 に示す。1982 年 8 月 26 日 06Z に観測されたもので、(28°N, 130°E) を中心におおよそ緯経度 10° × 10° の領域での台風 8213 に伴う雲を表示している。黒色はチャンネルの温度差 0 を、白色はチャンネルの温度差 3.5°C 以上を示し、中間を 6 階調で表した。このチャンネルの温度差画像では、絹雲域では射出率の違いによる温度差を示し、晴天域では大気中の水蒸気量に比例した温度差を示し、積雲等の光学的厚さの大きい雲に対しては温度差が 0 またはそれに近い値を示す。口絵写真 2, 3 に、対応する可視および赤外画像を、第 1 図に GMS の雲解析図 (四角形で対応領域を示す) を示す。可視および赤外画像から容易に絹雲と識別できる雲域 a で温度差が大きいことが分かる。また、可視・赤外両画像で高輝度のスパイラルバンドや CDO (Central Dense Overcast)、即ち濃密かつ活発な対流雲塊で温度差は 0 に近い値であり、その対流雲の雲頂から吹き出す絹雲に対応する雲域 b, c で温度差が大

\* Toshiro Inoue, 気象研究所。



第2図 積乱雲に伴う絹雲の輝度温度の等値線図。  
\*は温度差0.5°C以下の領域。

きいことが分かる。また、中国大陸上の層積雲系の雲域dでは温度差が小さい、一方、写真下部の可視画像で雲域eははっきりしないので見落してしまうが、赤外画像で絹雲と見られる筋状の雲域が見られ、対応する温度差画像では高温度差域となっている。以上、写真1~3から赤外波長域で黒体と見なすことのできない絹雲域で温度差が大きいことが分かる。

4. 絹雲の温度、射出率および雲量算定

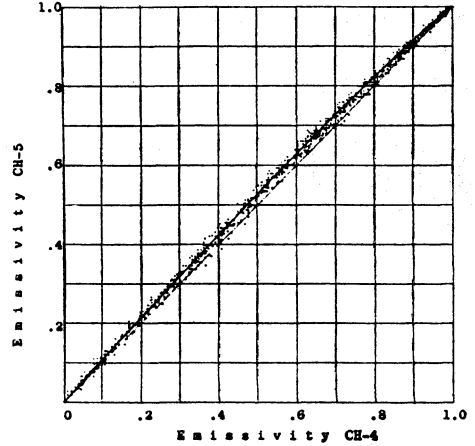
絹雲の射出率は散乱を無視した簡単な雲モデルから次式で表現される。

$$\epsilon = \frac{I(T_{CB}) - I(T_{BB})}{I(T_{CB}) - I(T_C)} \quad (1)$$

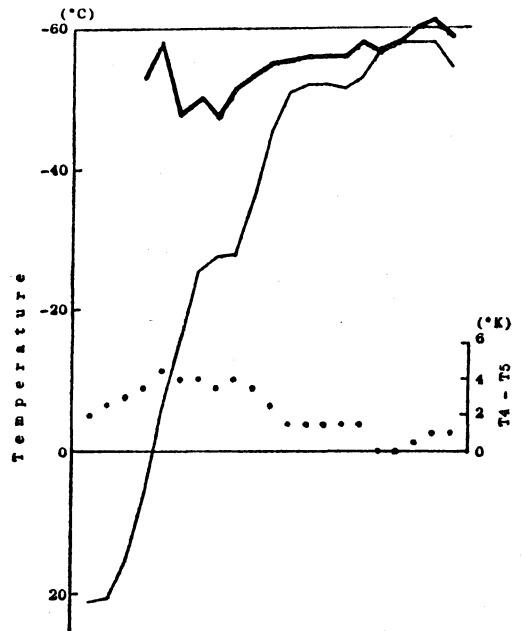
ここで  $I(T_{CB})$  は雲底に入射する放射量,  $I(T_{BB})$  は衛星で観測される放射量,  $I(T_C)$  は絹雲の温度に対応する黒体放射量を示す。

絹雲として、孤立した積乱雲に伴うアンビルを考える。輝度温度の等値線図を第2図に示す。領域は $\sim(120 \text{ km})^2$ で、\*で温度差が0.5°C以下の場所を示す。

ここでは第2図に見られるようにアンビルの中心部の黒体域と考えられる温度と薄い絹雲の温度が同じであると仮定する。また、大気中の水蒸気が絹雲の高さより上層では非常に少なく、海面温度および大気の状態がアンビルの直下とアンビルの周辺の晴天域で大きく違わないと仮定すると、絹雲底に入射する放射量は、アンビル周辺の晴天域の放射量で置換えられる。従って  $I(T_C)$  および  $I(T_{CB})$  が決定でき(1)式より絹雲の射出率が計

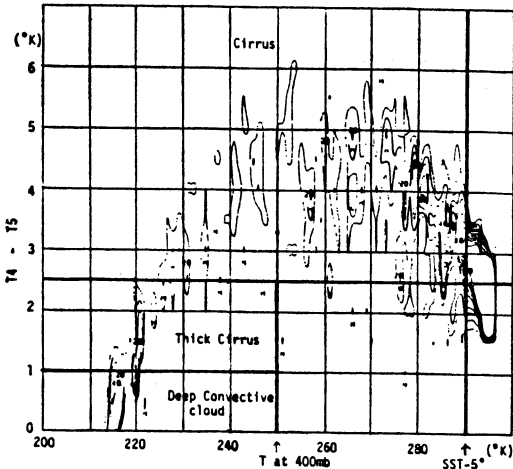


第3図 チャンネル4と5での射出率分布図。



第4図 第2図の絹雲の1スキャンラインでの輝度温度(細線)、算定された絹雲温度(太線)および温度差。

算できる。このような積乱雲に伴うアンビル8例についてチャンネル4と5のそれぞれについて射出率を計算した。第3図にチャンネル4と5での射出率のダイアグラムを示す。図中の曲線は最小自乗法で決定されたもので2つのチャンネルの射出率間に次の関係式が成り立つことを示す。



第5図 温度差・赤外2次元ヒストグラム。

$$\varepsilon_5 = 1 - (1 - \varepsilon_4)^{1.08} \quad (2)$$

ここで  $\varepsilon_4$ ,  $\varepsilon_5$  はそれぞれチャンネル4 および 5での射出率を示す。この関係式がどのような絹雲についても成り立つかは今後の調査が必要だが、(2)式と各チャンネルでの次の2式から絹雲の温度を算出することができる。

$$I_4(T_{BB}) = \varepsilon_4 I_4(T_C) + (1 - \varepsilon_4) I_4(T_{CB})$$

$$I_5(T_{BB}) = \varepsilon_5 I_5(T_C) + (1 - \varepsilon_5) I_5(T_{CB})$$

$I_4(T_{CB})$ ,  $I_5(T_{CB})$  については、絹雲の近傍の晴天域から前もって決定しておく。 $\varepsilon_4$ を数値的に0から1まで変化させる間、各ステップの  $\varepsilon_4$ ,  $\varepsilon_5$  に対して  $T_C$  を計算し、一致した  $T_C$  を絹雲の温度とした。第2図の絹雲について黒体域を通るスキャンラインについて算出さ

れた温度を第4図に示す。チャンネル4の輝度温度は $-59^{\circ}\text{C}$ から $10^{\circ}\text{C}$ まで大きく変化しているが算定された絹雲温度は良好な値を示している。ただし、射出率が0.5以下の薄い絹雲については精度が悪くなる。

次に絹雲の分布を知る為の雲量(例えば緯経度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ で絹雲のみの占める割合)の算出について考える。温度差画像で分かるように高温差域と絹雲が良い対応を示している。そこで第2図の領域での温度差・赤外2次元ヒストグラムを第5図に示す。295°Kのクラスターは晴天域に対応し温度差 $2.5^{\circ}\text{C}$ は大気中の水蒸気の吸収特性の違いによる。この晴天域の温度差以上の領域に絹雲が分布している。220°Kのクラスターは積乱雲に対応している。上層雲を判別する閾値として400mbの気温を、また積雲系の雲を判定する閾値として温度差 $1^{\circ}\text{C}$ を採用すれば、温度差・赤外2次元ヒストグラムで示した絹雲の領域の個数を全個数で除すことによって絹雲の雲量を算定できる。

## 文献

- Liou, K.N., 1974: On the radiative properties of cirrus in the window region and their influence on remote sensing of the atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 31, 522-532.
- Manabe, S., and R.F. Stricker, 1964: Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment, *J. Atmos. Sci.*, 21, 361-385.
- Roewe, D., and K.N. Liou, 1978: Influence of cirrus clouds on the infrared cooling rate in the troposphere and lower stratosphere, *J. Appl. Met.*, 17, 92-106.

# 宇宙から見た気象 赤外2チャンネル (11 $\mu$ m, 12 $\mu$ m) で見た絹雲

(説明は 757 ~ 759 ページ参照)

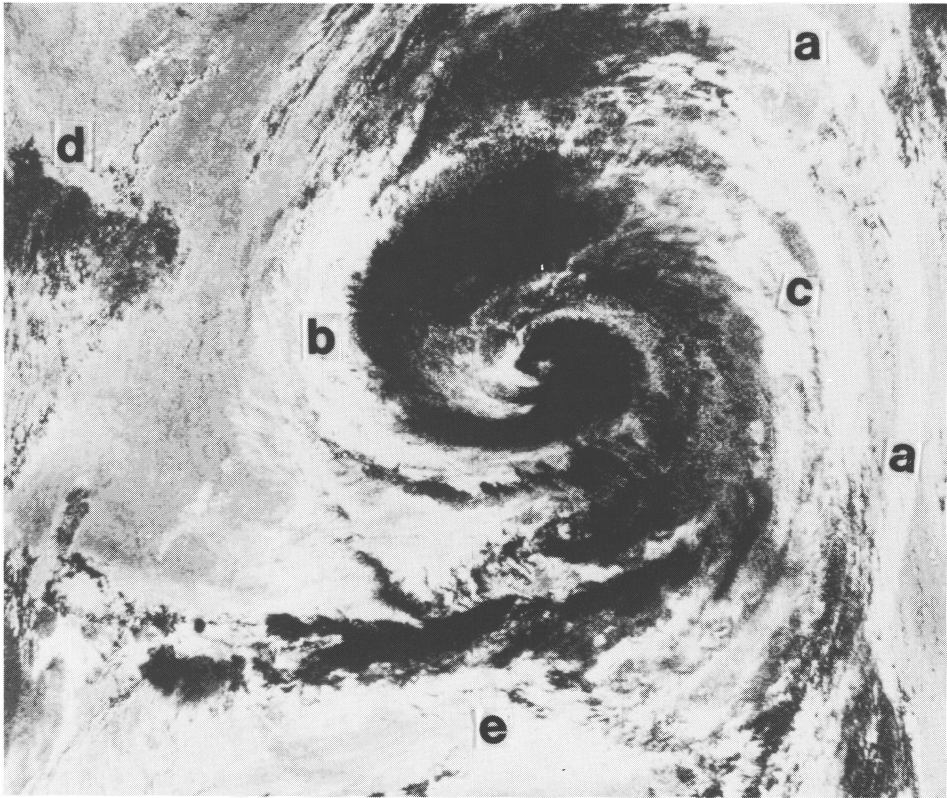


写真1 AVHRR チャンネル4とチャンネル5の輝度温度差図。  
(1982年8月26日06Z) 黒は温度差0, 白は温度差3.5 $^{\circ}$ C以上を示す。

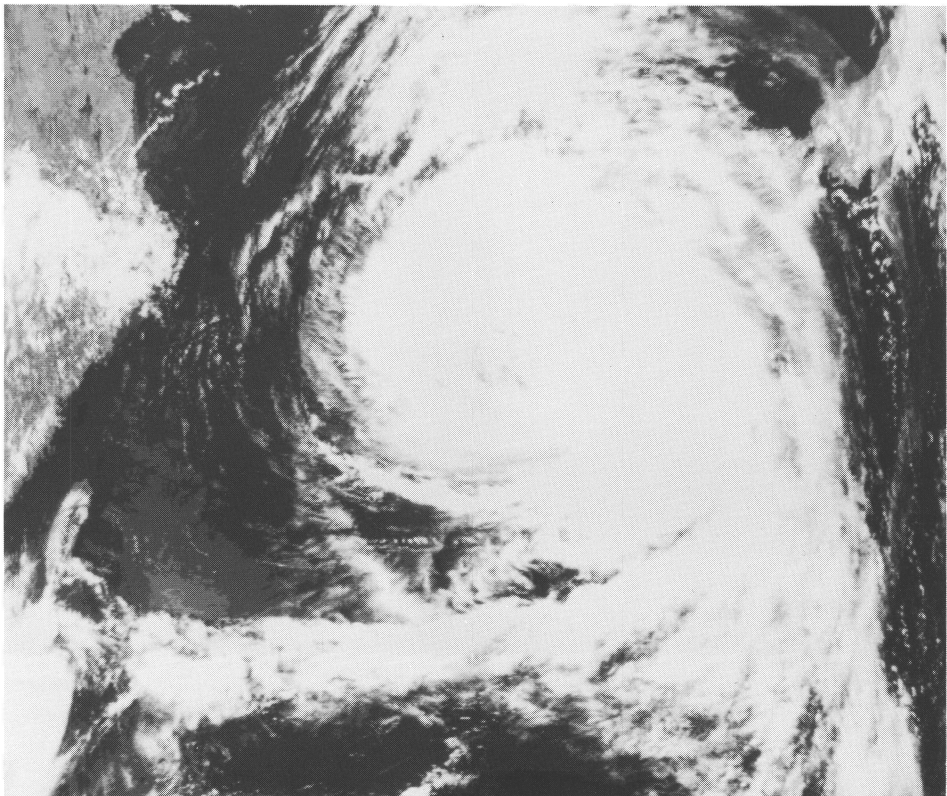


写真2 可視画像。

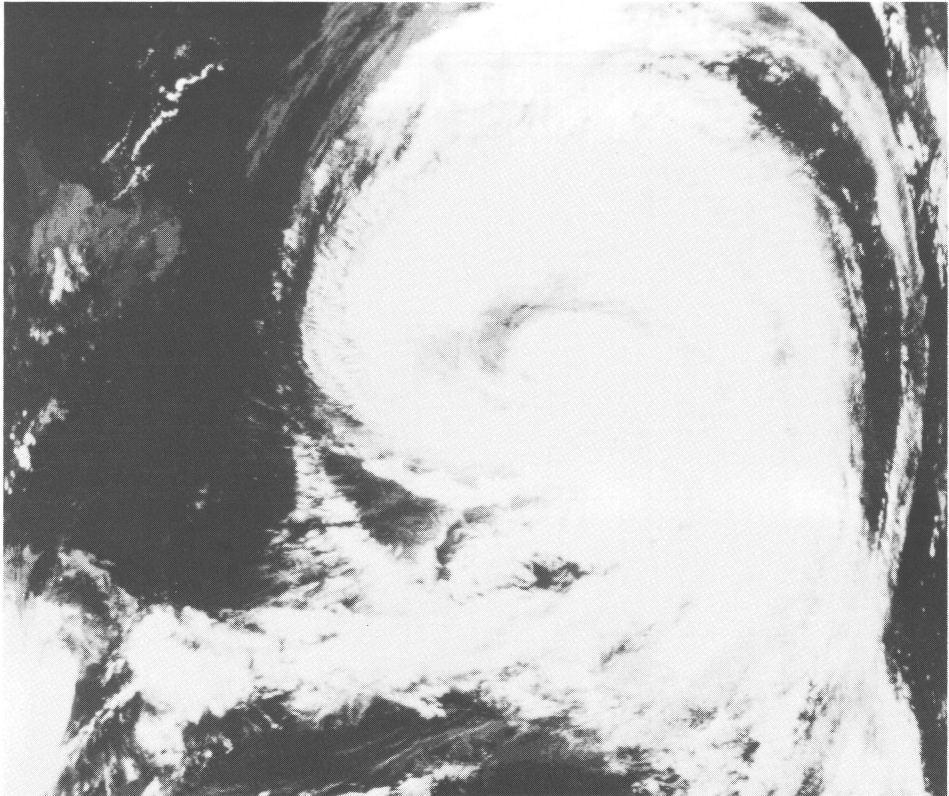
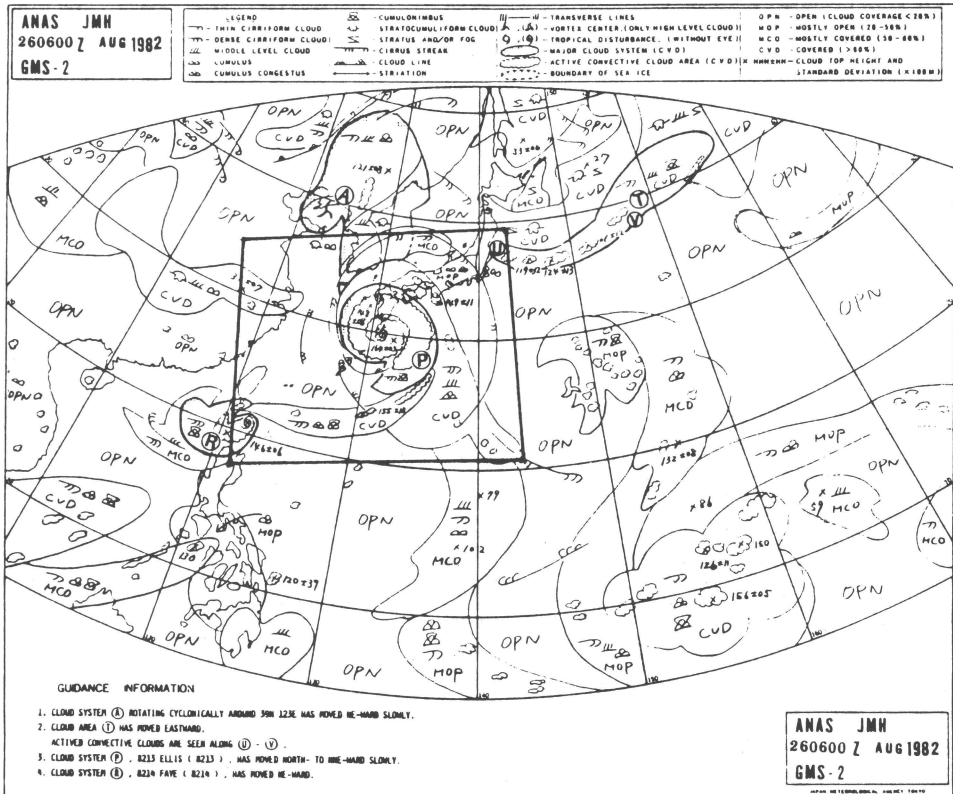


写真3 赤外画像.



第1図 雲解析図(四角形で写真1~3の対応領域を示す)。