水蒸気画像の見方について*

岸本賢司**

1. はじめに

平成7年3月18日に気象衛星「ひまわり5号」が打ち上げられてすでに1年以上経った.「ひまわり5号」は従来の赤外,可視センサーの他に水蒸気センサーを搭載している.

衛星から送られる画像データは、現在の天気を一目で理解できる利点から、気象に関する論文の中でも衛星画像がしばしば用いられている。しかし、今のところ使われているのは赤外・可視画像で、水蒸気画像はまずお目にかかれない。その理由の一つとして、水蒸気画像の見方がまだ周知されていないことが挙げられる。読者も水蒸気画像について耳にしたことはあっても見たことのある人は決して多くないであろう。

今回,本誌に掲載する機会を得たので水蒸気センサーおよび水蒸気画像について紹介したい.

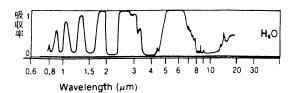
2. 水蒸気画像で何が見えるのか

2.1 水蒸気センサーで観測する赤外波長帯の特徴第1図は、地表から放射された赤外線について、赤外線の波長と大気中の一物質である水蒸気による吸収率との関係を示したものである。水蒸気センサーは6.5~7.0 μm 帯の赤外線の放射量を観測している。図の中で6.5~7.0 μm という波長帯に注目してほしい。水蒸気による吸収率が0.5~1と大きい。この波長帯の赤外線にとっては、"目に見えない"水蒸気があたかも雲のような障害物であることがわかる。

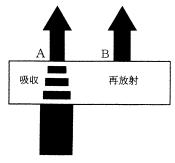
2.2 水蒸気センサーで観測する赤外線は主にどの 高度から放射されるのか?

- * The interpretation of water vapor imagery.
- ** Kenji Kishimoto, 気象衛星センターデータ処理部 (現:科学技術庁研究開発局海洋地球課)
- © 1997 日本気象学会

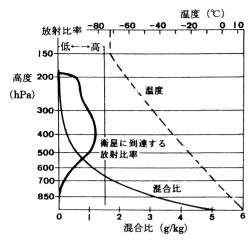
第2図は任意の高度の層について水蒸気と赤外線の放射の関係を示した図である。この層に水蒸気が含まれていると、下の層からこの層に到達した赤外線は水蒸気により一部分吸収される(図中のA)、吸収される赤外線の放射量は「層に含まれる水蒸気量」によって決まる。一方、この層に含まれる水蒸気から「層の温度、水蒸気量」に応じた赤外線が再放射される(図中のB)、大気全体は第2図で示した任意の高度の層が幾重にも重なってできているとみなせる。したがって、任意の層から再放射される赤外線が衛星に到達する量を求めるには、地上から大気上層までの水蒸気量と温



第1図 赤外線の波長帯と水蒸気による吸収率 (Fleagle, R.G. and Businger, J.A., 1963: An Introduction to Atmospheric Physics, Academic Press, New York. から転載).



第2図 水蒸気を含む層を通過 する6.5~7.0 µm 帯の 赤外線.



第3図 標準的な大気の混合比・温度分布・放射比率 (Weldon et. al., 1991: Water Vapor Imergery, NOAA Technical Report NESDIS 57の原図を元に作図)

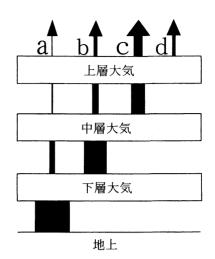
度の高度分布を知る必要がある.

標準的な大気についての混合比(大気1kg中に含まれる水蒸気量[g])・温度分布が第3図の実線・破線で示されている。混合比つまり、水蒸気量の分布は地上に近づくにしたがって指数関数的に増える分布となっている。また、温度分布については対流圏では高度が高くなるにつれ温度が低くなる。

第4図は、この標準的な大気を上・中・下層と代表 的な3つの層に単純化し、赤外線の放射量の吸収・再 放射を概念的に示した図である。下層では温度が高く 水蒸気量が多いので、放射される赤外線量も多いが同 時にそのほとんどが水蒸気に吸収され衛星に届く赤外 線量は少ない(図のa, b). 高度が増すにしたがい温 度が低く水蒸気量が少なくなるので、再放射される赤 外線量は減るが、水蒸気に吸収される量も減る(図の c) さらに上層では、温度が非常に低く水蒸気量も非 常に少ないので、再放射される赤外線はほぼ吸収され ずに衛星に到達するが、衛星に届く放射量自体が非常 に少ない(図のd) 第3図の太実線は、この標準大気 における衛星に届く赤外線の放射量の各高度の放射寄 与を計算したものである. これを見ると 400 hPa 付近 から放射される赤外線が最も衛星に届いていることが わかる。

2.3 水蒸気量の多寡と水蒸気画像上の白黒の濃淡との関係

前節で説明したのは雲のない標準的な大気の場合で



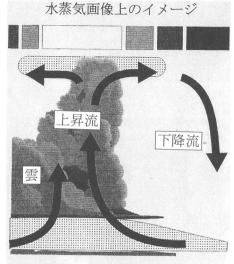
第4図 衛星に到達するまでの6.5 ~7.0 μm帯の赤外線の概 念図

あった. 上中層雲が存在したり水蒸気量が多いと,衛星に届く赤外線の放射量は少なくなる. 反対に上中層大気が乾燥していると,衛星に届く赤外線の放射量は多くなる. したがって,衛星で観測する赤外線の放射量の分布から,上中層大気に含まれる水蒸気量の分布を知ることができる. 画像では赤外線の放射量の多寡を黒白の濃淡で表現し,多い所は黒で,少ない所は白で割り付けている. したがって,画像上で黒く見える所は上中層大気が乾燥している領域、白く見える所は上中層雲があるか上中層大気が湿っている領域であることを意味する. この波長帯の赤外線の放射量を観測することで上中層大気中の水蒸気量の分布を可視化することができる.

2.4 大気現象と水蒸気画像上の濃淡のパターンとの関係

第5図は大気現象と画像で見える濃淡パターンとの 関係を示したものである。低気圧近傍や積乱雲など上 昇気流のある場所では,下層から大量の水蒸気が上層 に運ばれるために画像上では白く見える。一方,高気 圧の存在する下降気流のある場所では,上層大気は乾 燥し画像上では黒く見える。

水蒸気画像上で見られる特徴的な現象として上層大気の収束域が挙げられる.第6図はこの模式図である. 上層付近で収束する大気は下降するので,上層大気の収束域を水蒸気画像では黒い領域として観察することができる



ドット領域:水蒸気の多く含まれる領域 第5図 大気現象と画像上の白黒の濃淡パ ターン

また、水蒸気画像の動画を用いて画像上の濃淡パターンの動きを見ることで上中層大気の流れを観察できる。赤外・可視画像では雲を見ることができるが、水蒸気の分布を見ることはできない。したがって、雲の動きを通して雲周辺の大気の流れを観察できるが、雲がない場所では大気の流れを見ることはできない。しかし、水蒸気画像では雲の存在している所はもちろん、雲のない所でも上中層大気に含まれる水蒸気の分布が画像上に濃淡パターンとして現れるため、上中層大気の動きをより幅広くダイナミックに観察できる。

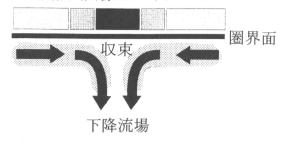
3. 水蒸気画像の実例

第2章で水蒸気画像についていろいろ説明したが, 「百聞は一見に如かず」で,実例でもって,水蒸気画像 を赤外画像と比較しながら見ていくことにする.

第7図は1996年4月19日12UTCの赤外画像である. 第8図はこの時刻の地上天気図である.特徴的なのは中国の華南地方から日本の南海上に東西に伸びる雲の帯Aである.この南端には非常に活発な積乱雲列Bが見られる.赤外画像,地上天気図からはこの雲域以外には目立った特徴が見られない.

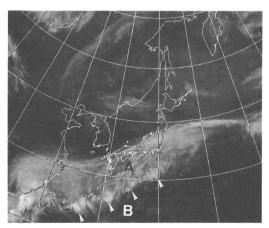
第9図は同時刻の水蒸気画像である。雲の帯Aや積 乱雲列Bは赤外画像と同様、水蒸気画像でも見ること ができる。一方、赤外画像では見ることのできない渦 V1, V2 が見られる,第10図は 500 hPa 高層実況図であ

水蒸気画像上のイメージ



地上ドット領域:水蒸気の多い領域

第6図 上層の収束域における画像上の白黒の濃淡パターン



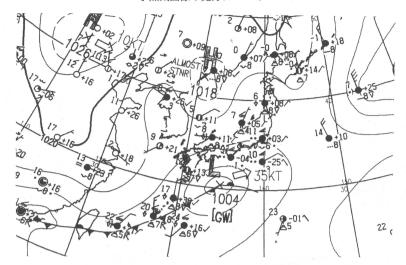
第7図 赤外画像 (1996年4月19日12UTC)

る. この図を見ると寒気を伴った低気圧(図中のL)が見られ, これら低気圧と渦との位置が良く対応することがわかる

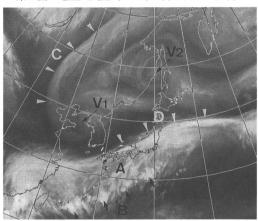
また、ライン状に伸びる黒い領域C、Dに注目して欲しい。この黒い領域は赤外画像では不明瞭である。 第11図は300 hPa 実況図に流線を加えたものである。 さらにこの図に第9図のC、Dに対応したラインC、 dを記入してある。

まず、ライン c 付近の風を見ていくと、東風と西風とがぶつかっていることがわかる。これは前章でも説明した上層大気の収束域の実例である。

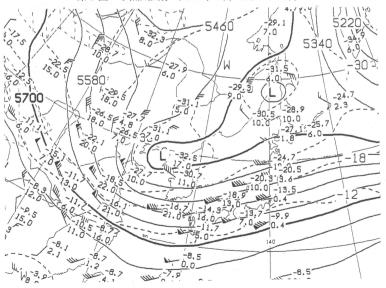
次に、ラインd付近ではラインに沿って100kt以上の強風が観測され、ジェット気流が解析できる。なぜ



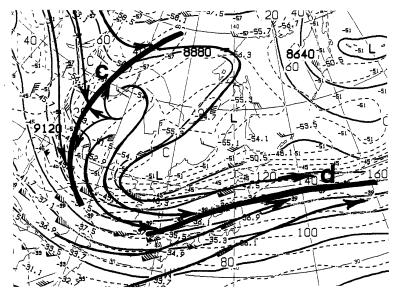
第8図 地上天気図 (1996年4月19日12UTC).



第9図 水蒸気画像 (1996年4月19日12UTC).



第10図 500 hPa 高層実況図 (1996年 4 月19日12UTC).

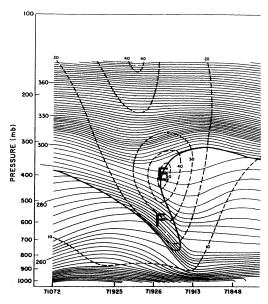


第11図 300 hPa 高層実況図 (1996年 4 月19日12UTC).

ジェット気流に沿ってライン状の黒い領域が見えることが多いのかを説明しよう。第12図は顕著なジェット気流が存在していた時にジェット気流を真横から切った高層断面図である。この図で太実線(圏界面)と破線(等風速線)に注目して欲しい。図のEに示されるジェット気流のすぐ北側では圏界面高度が非常に低くく,成層圏大気が高度 700 hPa 付近まで降下していることがわかる(図のF)。このような現象は、ジェット気流の強まりにより新たな鉛直循環が生じ、下降流が卓越するために起こると考えられている。図のFの部分に対応した成層圏大気に含まれる水蒸気は非常に少ない。その結果、水蒸気画像上ではジェット気流に沿って黒い領域が現れることが多い。

4. おわりに

簡単に水蒸気画像の見方の説明をしたが、「ひまわり」で水蒸気画像を見ることができるようになってまだ間もない。画像の見方についてもすべてが解明されているわけでなく、その意味では水蒸気画像は未知の可能性を秘めた「宝の山」である。今後、我々は水蒸気画像の解析の研究を進め、その見方・使い方を一般に広め、さらには水蒸気画像データを用いた定量的なプロダクトの開発に努めていかなければならない



第12図 ジェット気流付近の断面図 (Shapiro *et al.*, 1987: The Arctic Tropopause Fold, Mon. Wea. Rev., 115 に加筆修正).