

水蒸気画像で観測された湿舌の特徴

鈴木 和史*

Features of Wet Tongue observed on water vapor imagery

Suzuki Kazufumi

Meteorological Satellite Center, Analysis Division

Abstract

"Wet Tongue" appeared at the heavy rain is observed as a long and slender bright area on the water vapor imagery. The bright area changes the shape to tongue-like pattern by "sandwich effect", which dark areas positioned on the both side of the bright area move to narrow the width of the bright area. The dark area on the north corresponds to the westerly trough and the dark area on the south corresponds to subtropical high. Vertical transport of water vapor by convective activity and horizontal convergence of water vapor by the "sandwich effect" of dark area is important for the formation of wet tongue.

要旨

大雨時に発現する湿舌が、水蒸気画像で細長い帯状の明域として観測された。明域は、トラフに対応した北側の暗域と亜熱帯高気圧に対応した南側の暗域とに挟まれるサンドイッチ効果により、幅を狭められ舌状パターンに変化した。湿舌の形成には、対流活動による水蒸気の鉛直輸送と暗域のサンドイッチ効果による水蒸気の水平収束とが重要である。

1. はじめに

GMS-5から取得できるようになった水蒸気画像は、水蒸気による吸収の大きな波長帯を用いて観測することにより、対流圏上・中層の乾湿分布を表す。水蒸気画像の乾湿分布から、様々な大気現象が解析できる。例えば、乾燥域を表す暗域と湿潤域を表す明域との境界（バウンダリー）はジェット気流の位置に対応していることが知られている。暗域の形状から上・中層のトラフの位置を推定することができる。上・中層での乾燥域は寒気を伴っていることが多く、暗域は寒冷乾燥の低相当温位の気塊を表す。従って暗域は不安定を助長させる効果を持ち、その動向は対流活動の監

視に重要である。このように水蒸気画像を利用した解析では、ほとんどは暗域に着目している。一方明域は、暗域との境界を画定する時に利用する程度で、解析上着目されることは稀であった。ここでは、梅雨前線や秋雨前線の活動が活発になるとき観測される現象である湿舌が、水蒸気画像での明域と結びついていた事例があることを示し、そのメカニズムを考察する。

2. 湿舌の性質

湿舌は、「大気の中・下層に舌状に延びた湿潤な領域」（気象庁、1999）と定義され、日本付近では低気圧や前線と結びついて発現する。湿舌の解析は、「天

* 気象衛星センター 解析課
(2000年11月15日受領、2000年12月20日受理)

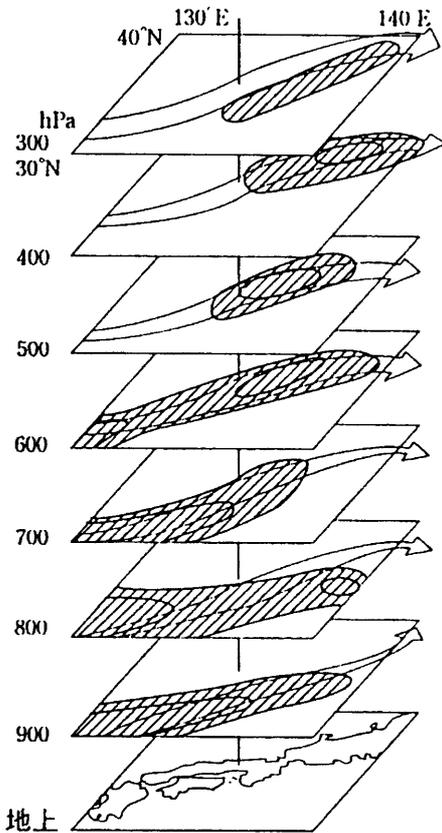


図1 湿舌のモデル図 (Matsumoto(1968)より). 矢印は各層での主要な流れ、斜線は高露点温度域を表す。

気図上で水蒸気量の多い気流域がかなりの広さで舌状に侵入している形で、700hPa 天気図では「はっきり認められる」(日本気象学会, 1998) ので、高層天気図が用いられてきた。しかし高層観測の時間的・空間的な分解能は、湿舌を監視するには十分なものとは言えない。

これまで衛星では、対流雲の発生・発達を画像で認識することで、間接的に湿舌を監視してきた。GMS-5 から得られている水蒸気画像は、主として上・中層の水蒸気分布を表す。従って、下層の特徴的な水蒸気分布として思われがちな湿舌を水蒸気画像から認識することは難しいと考えられていた。しかし、湿舌は下層の水蒸気の分布を表したものではなく、鉛直循環に伴い上層でも発現する現象である (図 1)。二宮 (1981) は、上昇運動により下層の水蒸気が上層に運ばれ湿舌を形成すると述べている。また「湿舌のすぐそばに、著しい乾燥域が生成されることがある」(日本気象学会, 1998)。このため上・中層で湿潤域である

湿舌と著しい乾燥域とが隣接していると、水蒸気画像では明域 (湿潤域) と暗域 (乾燥域) のパターンとして湿舌を認識できる可能性がある。

ここでは、水蒸気画像で帯状の明域が形成された事例を観測したので紹介するとともに、湿舌との関連やその形成について考察する。

3. 事例解析

1999 年の梅雨期に現れた湿舌と水蒸気画像の明域との関連について、事例解析を行う。湿舌は一般に「700hPa 天気図で認められる (日本気象学会, 1998)」ことから、湿舌の確認は 700hPa 天気図を用いる。湿舌はパターンによる主観的認識であり、客観的な定義はない。ここでは、700hPa 天気図において湿数 3 度以下の湿潤域 (以後高湿域と呼ぶ) が幅 500km 以下で幅と長さの比は 1:4 以上である細長いパターンを、湿舌と定める。なお、水蒸気画像との対応や上・中層における湿舌の動向をみるため、500hPa 天気図も利用する。

(1) 形成前 (7月2日 12UTC : 図2)

山陰沖にある低気圧から、温暖前線が関東地方へ、寒冷前線が九州を通って華南へ延びている。画像では寒冷前線付近とその暖気側にあたる南西諸島・九州・四国・東海沖で Cb が発生している。

700hPa では低気圧の前面及び寒冷前線の暖気側に高湿域があり、東日本・西日本・南西諸島の広い領域を覆っている。その形状は下流側でふくらみコマ型に近い形状をしている。700hPa の高湿域はまだ細長い形状をしておらず、湿舌の定義に当てはまらない。500hPa では、5820m の等高度線に沿って、幅 500 km 以上の高湿域が帯状になって延びている。

水蒸気画像では、日本列島にかかる低気圧前面の雲域 (L) と寒冷前線暖域で南西諸島に沿って延びる対流雲を多く含む雲域 (F) とに大別できる。雲域 F に対応して、明域が東シナ海や南西諸島を広く覆っており、九州の南でくびれたように狭まっている (図中矢印)。これから着目するのは、明域の“くびれ”の変化である。“くびれ”の北西側にはトラフ (500hPa 天

気図参照)がある。このトラフに対応して、円形状の明域で表されている上層渦 (V) とその上層渦を取り巻くように帯状の暗域 (D_N) がみられる。“くびれ”の南東側にも帯状の暗域 (D_S) があり、この暗域は太平洋高気圧の外縁にあたる。注目している明域の形状は、帯状にはみえない。

(2) 形成 (7 月 3 日 00UTC : 図 3)

低気圧は能登半島付近に移動し、寒冷前線は四国から九州南部を通過して華南に伸びている。画像では、寒冷前線に沿う雲域の中の九州南部や紀伊半島でテーパリングクラウドが発生するなど、対流活動が活発化している。

700hPa では、高湿域が東シナ海方面では消散し南西諸島から本州に伸びて、12 時間前より細長い形状に変わってきた。中でも南西諸島から西日本にかけての部分は、長さ 1500km 以上・幅 200 ~ 400km で幅と長さの比が 1 : 4 以上となったことから、湿舌が形成されたと判断する。この時 500hPa でも 700hPa と同じ形状を示し、湿舌は 500hPa 天気図にも現れていることがわかる。湿舌の長軸は、500hPa のほうが 700hPa よりわずかであるが南に偏している。700hPa でも 500hPa でも、湿舌内での風速は 12 時間前に比べ強くなり、水蒸気フラックスが増加したことを表す。一方、東シナ海では、乾燥域 (済州島や九州西海上の観測船のデータでは T-Td が 20 度以上) が明瞭になってきた。

水蒸気画像では、明域が幅 300km 程度の細長い帯状パターンに変化した。この変化には、二つの暗域の動向が影響している。一つは太平洋高気圧外縁の暗域 (D_S) の北上で、暗域の先端は日本の南海上にあり北緯 30 度を越えた。もう一つは、朝鮮半島付近のトラフの浅まりに対応した上層渦の消滅と暗域の東進である。上層渦に対応した明域は消滅し、それを取り巻いていた暗域 (D_N) は東進して九州西海上から日本海西部に達している。これらの暗域 (D_S , D_N) は、明域を挟んでその幅を狭める動きをしていた。こうして形成された帯状の明域は、500hPa の高湿域と同じパターンを表している。すなわち、700hPa 天気図で

認められた湿舌は、500hPa 天気図でも同じ高湿域パターンとして認められ、水蒸気画像でも帯状の明域としてとらえられている。

(3) 明瞭化 (7 月 3 日 12UTC : 図 4)

低気圧は秋田付近に達し、寒冷前線は低気圧中心から東海地方に伸び、停滞前線となって四国沖を通り東シナ海に達している。画像では、紀伊半島から伊豆半島にかけての東海沖と南西諸島沿いで、Cb が依然活発である。

湿舌は、700hPa では地上前線付近にあり、その幅は 300 ~ 400km と 12 時間前よりやや広がっている。一方 500hPa では 12 時間前より幅が狭くなり、700hPa の湿舌に比べ幅は半分程度となった。この時も、500hPa の高湿域の長軸は 700hPa の長軸より南に偏している。上層の高湿域の方が南に偏し幅が狭いのは、日本海側の観測データからわかるように、西風による乾燥気塊の移流が上層ほど強いためと考えられる。

水蒸気画像の細長い帯状の明域は、両側にある明瞭な暗域 (D_N , D_S) との対比によって、際だってきた。 D_N は九州北部から秋田沖に伸びている。 D_S は北東進しており、幅数十キロメートルの暗域 (図中矢印) が南西諸島から伊豆諸島に伸びている。 D_N の東進と D_S の北東進により、暗域 (D_S , D_N) は引き続き明域を挟んでその幅を狭める動きをしている。12 時間前に比べ明域の幅は狭まり、明域の形状や位置は 500hPa の湿舌とほぼ一致している。

(4) 衰弱 (7 月 4 日 00UTC : 図 5)

前線は本州南岸に南下した。画像では、引き続き活発な Cb が前線に沿っている。

前線の南下に伴い、湿舌も本州南海上に南下した。700hPa でも 500hPa でも、湿舌の幅は 100-200km に狭まっている。また湿舌の中の風速は弱まっており、水蒸気フラックスが減少してきたことを表す。湿舌としては、衰弱の傾向を表しているとみられる。

水蒸気画像では細長い帯状の明域を確認できるが、12 時間前に比べるとパターンはやや不明瞭となっている。不明瞭となってきた理由は、暗域の縮小・消滅

にある。北西側の暗域 D_N は、東進してくる上層雲の接近で暗域の領域が狭まってきた。南東側の暗域 D_S は帯状の明域に接近して、明域との区別ができなくなった。帯状の明域は明瞭度が低下していることから、水蒸気画像からも湿舌は衰弱していると推定される。

(5) 消滅 (7月4日 12UTC : 図6)

前線は本州南海上に停滞し、前線に沿った対流雲は減少し活動は弱まってきた(八丈島の南にある Cb は、前線の暖気側にあるもので、今まで述べてきた対流雲とは異なる)。700hPa でも 500hPa でも、前線に対応した高湿域は存在するが、スケールは小さくなり、もはや湿舌としての特徴は検出できない。水蒸気画像でも、明域やその両側にあった暗域は消滅し、湿舌に対応した帯状の明域は認められない。

4. 湿舌形成の特徴

水蒸気画像でみられた帯状の明域は、湿舌を表していることがわかった。特に 500hPa 天気図における高湿域と良い対応をしていた。この帯状の明域は、偏西風に伴うトラフの暗域 D_N の東進と亜熱帯高気圧外縁の暗域 D_S の北上により明域が狭められて形成された。また湿舌が形成されていた期間は、前線での対流活動が活発な期間と一致していた。

湿舌形成の特徴を調べる。湿舌が形成される前の状態(図7上)では、日本付近には低気圧に伴う雲域を含む明域が存在し、明域内の 300hPa では南西風が卓越している。朝鮮半島南部の暗域ではトラフ前面の南西風、太平洋高気圧外縁の暗域では南東(父島)～北東(南大東島)の風となっている。

湿舌のパターンが最も明瞭となった状態(図7下)では、明域内では相変わらず南西風が卓越している。一方、北西側の暗域では西北西風の流れに変わった。この西北西風は、西日本で北東に向かう流れと九州西海上で南に向かう流れに分流し、変形場を形成している。北東に向かう流れは、明域内の南西風と合流して風速を強めている。また南に分流した流れによって、暗域は東シナ海へ伸びた。このような変形場が、明域

を伸張軸方向に延ばし帯状パターンに移行させた一因と考えられる。南東側の暗域では、上流側(南大東島)で風向が南南西に変化し、暗域の北東進と符合している。水蒸気画像で細長い明域として表される湿舌の形成には、その両側にある乾燥域(暗域)の動向が強く影響している。

次に明域や暗域の構造を調べる。図8には、湿舌が最も明瞭だった3日 12UTCにおける湿舌の内外を代表する高層観測のプロファイルを示す。湿舌の中にあたる名瀬と館野では、ほぼ全層にわたって湿っており、風向もほぼ一様で湿舌の走向(南西—北東)に等しい。風速の強さの違いを除けば、湿舌の上流にあたる名瀬も下流の館野も風向や気温はほぼ同じプロファイルを示しており、湿舌内は均質で厚い湿潤層が形成されていることがわかる。館野の風速が強いのは、合流の影響であろう。北西側の暗域に対応したプロファイルを示す福岡では、600hPa までは湿潤層、それより上層では乾燥層となっている。この乾燥層は水蒸気画像の暗域に対応しており、600hPa より上層の西～北西風によって流入するトラフ後面の乾燥気塊によって形成された。この 600hPa より上層の乾燥層の流入が、700hPa 天気図と 500hPa 天気図との間における湿舌の長軸のずれ(「3 事例解析(3) 明瞭化」参照)の原因となった。また南東側の暗域に対応したプロファイルを示す八丈島では、850hPa 付近に逆転層があり、それより上層ではやや乾燥し風向や風速の鉛直シアは小さい。このように暗域は湿舌内の気層と異なる成層をしていて、上・中層での乾燥が特徴的である。

5. 湿舌形成の考察

二宮(1981)は、湿舌の形成に上昇流による水蒸気の鉛直輸送の効果が大きいことを指摘している。今回の事例でも湿舌内で多くの Cb が発生・発達していたことから、活発な対流活動により下層の水蒸気が上方に運ばれたことが、厚い湿潤層が形成された要因と考えられる。更に、湿舌の両側に存在していた乾燥域(暗域)は、両側から湿舌(明域)を押し延ばす動き

をしていた。こうした動きを「サンドイッチ効果」と呼ぼう。サンドイッチ効果により湿舌内で水平収束が強められ、収束による風速の強まりを通して水蒸気フラックスが増加し、対流活動を維持させたと考えることができる。

今まで述べたことをまとめ、湿舌の形成を概念的に示す(図 9)。亜熱帯高気圧外縁の暗域の北上と偏西風トラフにより変形場の形成を伴った暗域の東進が、前線や暖域側にある明域を狭める。このような水蒸気の水平収束により湿舌内の水蒸気フラックスが強まり、湿舌内の対流活動の維持につながる。対流活動は水蒸気を鉛直上方に輸送させ、湿舌内での厚い湿潤層を形成する。

小野里(1999)は、1998年の高知豪雨において同様な過程で形成された湿舌に言及した。図 10 にそのときの衛星画像を示す。南西諸島から日本南岸に伸びる帯状の明域が湿舌に対応し、その湿舌を挟むように亜熱帯高気圧に伴う暗域 D_S と偏西風トラフに伴う暗域 D_n がみられ、これらの暗域の動きが湿舌(帯状の明域)の形成に大きな役割を果たしたことを指摘している。

ここで示したタイプの湿舌は、大雨の原因というより大雨と同時に発現する現象と考えられる。また、この湿舌は鉛直方向に伸びた厚い湿潤層を持っており、下層だけでなく上・中層でも識別できる現象である。このことが、水蒸気画像で湿舌を認識できる理由である。

6. おわりに

いままで水蒸気画像では、上層乾燥域の流入により不安定を助長させることから、主に暗域の動向のみに着目してきた。ここでは、発達した対流活動を伴う湿舌は上層でも湿舌として認識することができることを示した。このことから上・中層の水蒸気分布を表す水蒸気画像でも、湿舌を認識できることがわかった。湿舌は天気図だけでは十分把握できないが、水蒸気画像の明域の形状に着目することで、時間的・空間的に細かな把握が可能となる。こうした観点は、衛星画像を利用した大雨監視として着目すべき点であろう。

参考文献

- 小野里幸司, 2000:平成 10 年新潟、栃木・福島、高知の豪雨調査報告「4.3 気象衛星から見た豪雨の特徴」, 気象庁技術報告台第 121 号, 気象庁, 71-73.
- 気象庁, 1999:予報作業指針 予報用語, 気象庁, 103pp.
- Matsumoto,S.,1968: Smaller scale disturbance in the temperature field around a decaying typhoon with special emphasis on the severe precipitation. J.Met.Soc.Japan, 46, 483-495.
- 二宮洸三, 1981:雨とメソシステム, 東京堂出版, 242pp.
- 日本気象学会(編), 1998:気象科学事典, 東京書籍, 637pp.

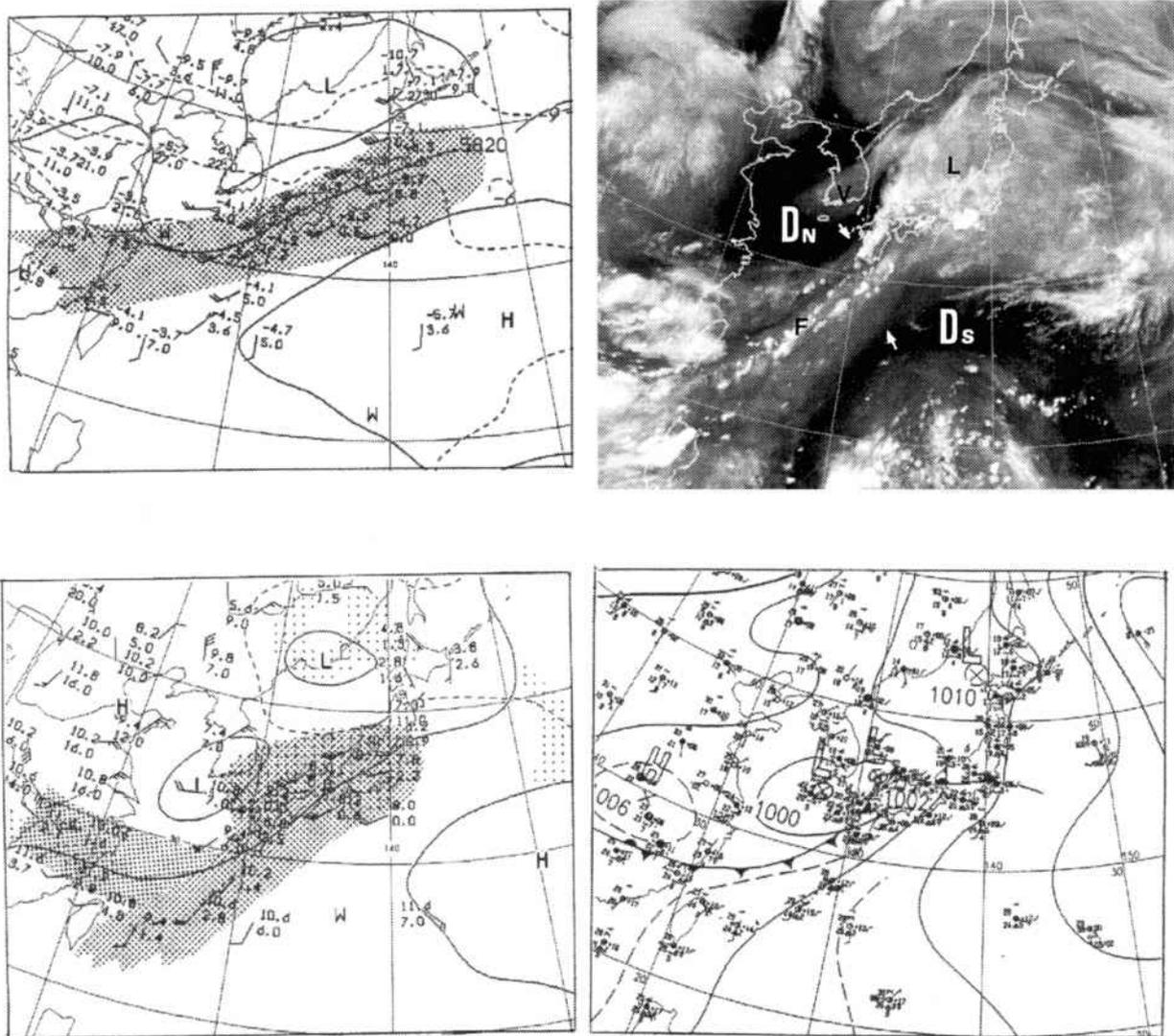


図2 湿舌形成前（1999年7月2日12UTC）。左上：500hPa天気図，左下700hPa天気図，右上水蒸気画像，右下地上天気図。700hPaや500hPaの点彩域は $T - T_d \leq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ の湿り域で日本付近のみを示す。

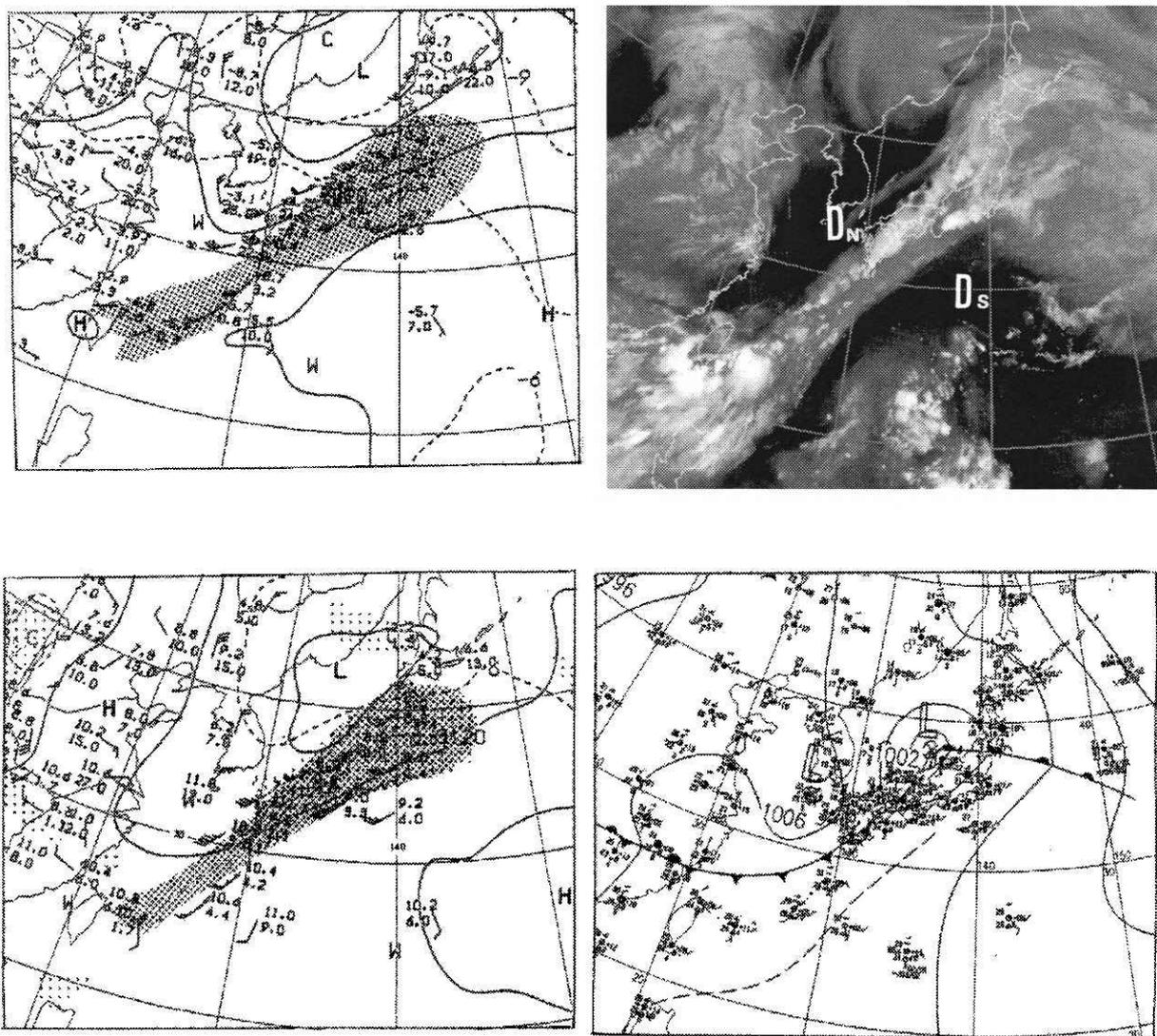


図 3 湿舌形成 (1999 年 7 月 3 日 00UTC)。左上：500hPa 天気図，左下 700hPa 天気図，右上水蒸気画像，右下地上天気図。700hPa や 500hPa の点彩域は $T-T_d \leq 3$ °C の湿り域で日本付近のみを示す。

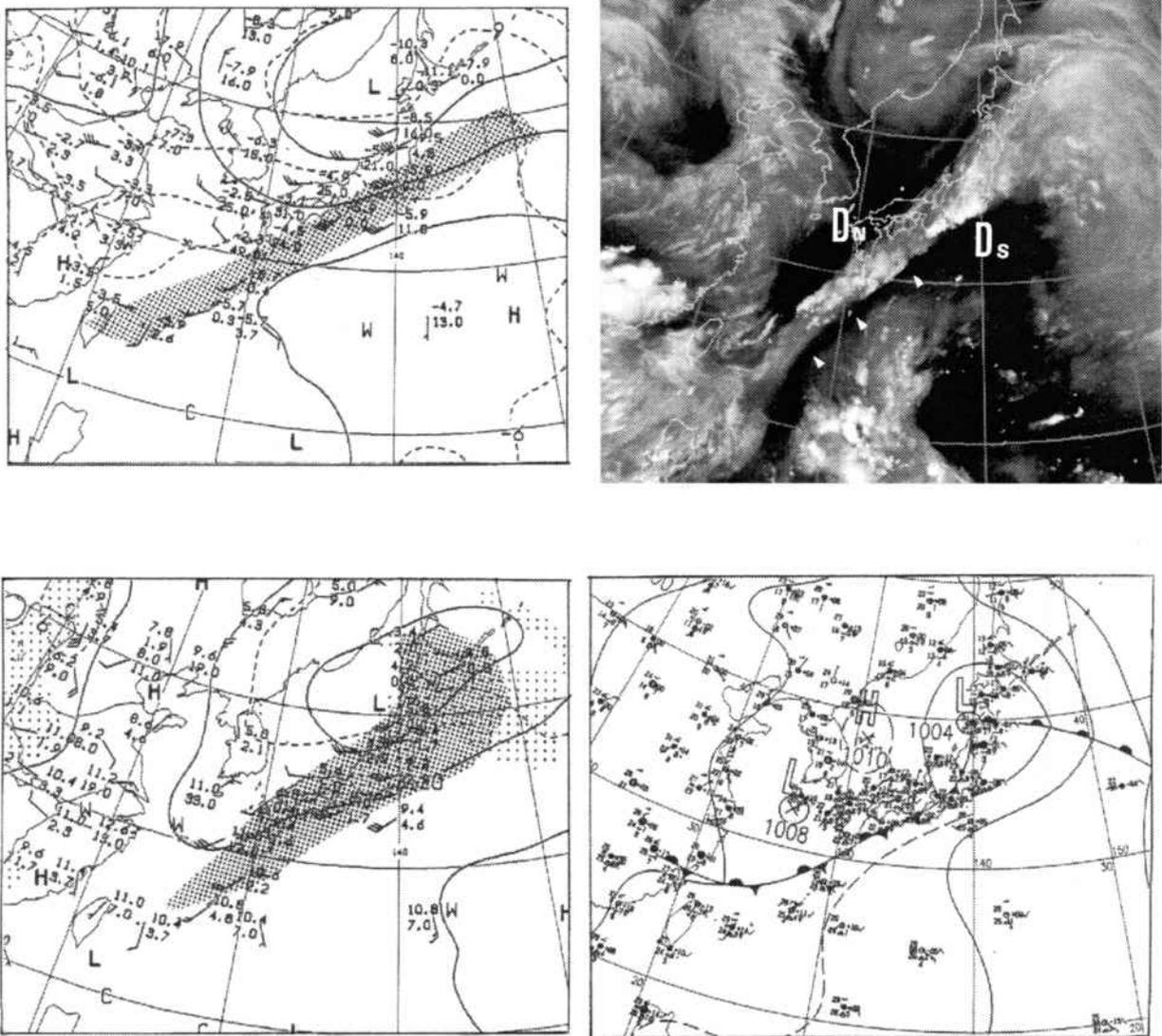


図4 湿舌明瞭化 (1999年7月3日12UTC). 左上: 500hPa 天気図, 左下 700hPa 天気図, 右上水蒸気画像, 右下地上天気図. 700hPa や 500hPa の点彩域は $T-T_d \leq 3^\circ\text{C}$ の湿り域で日本付近のみを示す.

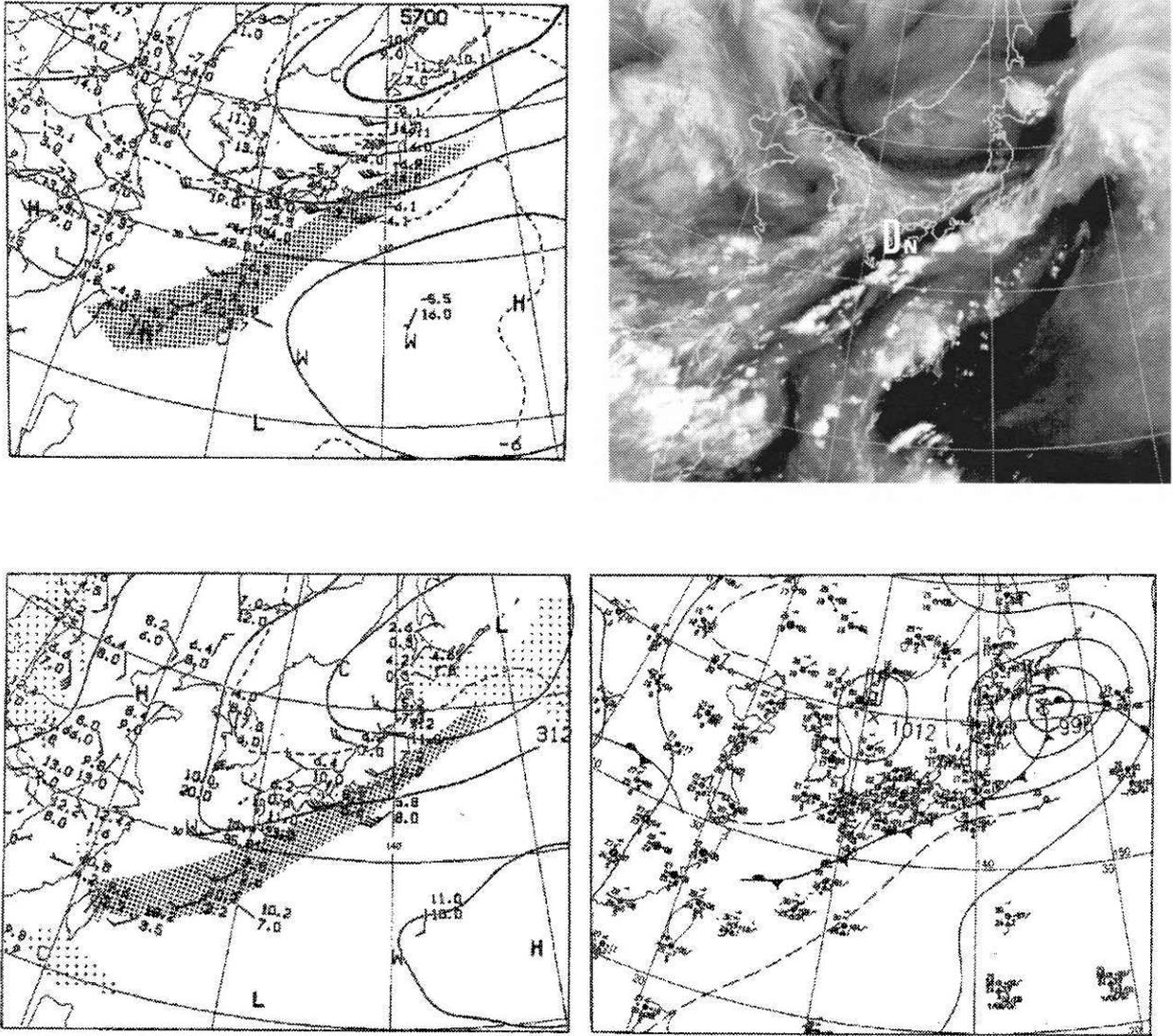


図 5 湿舌衰弱 (1999 年 7 月 4 日 00UTC). 左上: 500hPa 天気図, 左下 700hPa 天気図, 右上水蒸気画像, 右下地上天気図. 700hPa や 500hPa の点彩域は $T-T_d \leq 3^\circ\text{C}$ の湿り域で日本付近のみを示す.

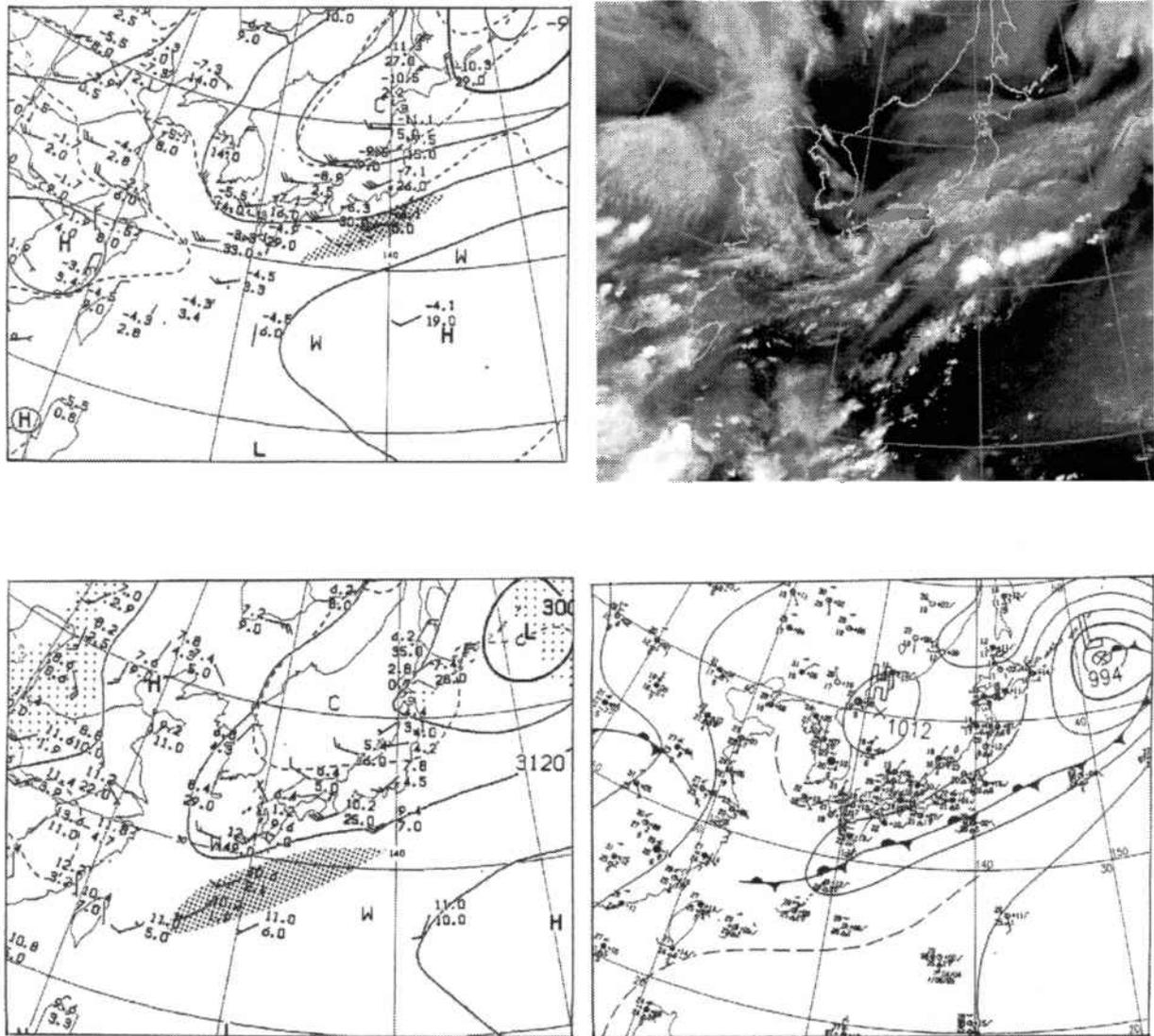
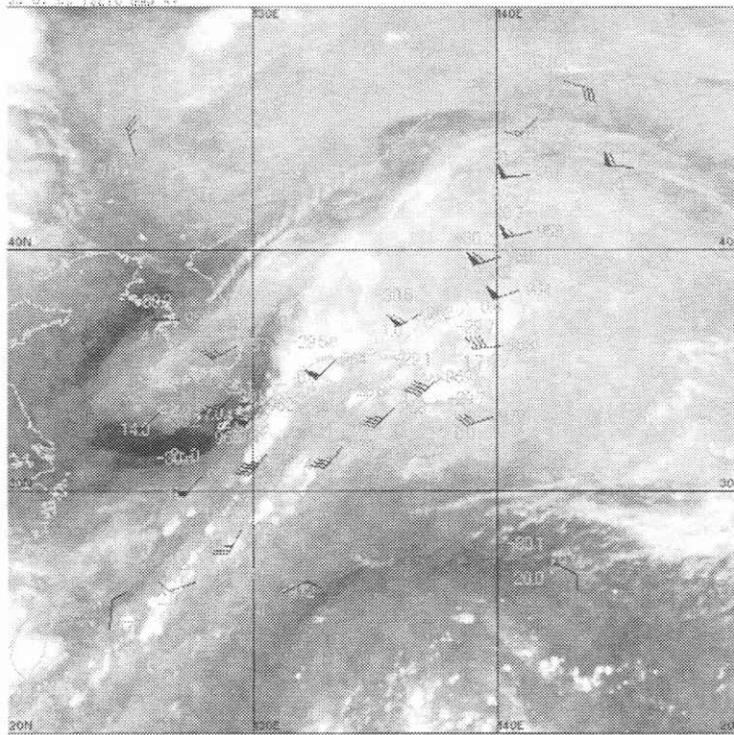


図6 湿舌消滅 (1999年7月4日12UTC)。左上：500hPa天気図，左下700hPa天気図，右上水蒸気画像，右下地上天気図。700hPaや500hPaの点彩域は $T-T_d \leq 3\text{ }^\circ\text{C}$ の湿り域で日本付近のみを示す。

99-07-02 12UTC GMS-WV



99-07-03 12UTC GMS-WV

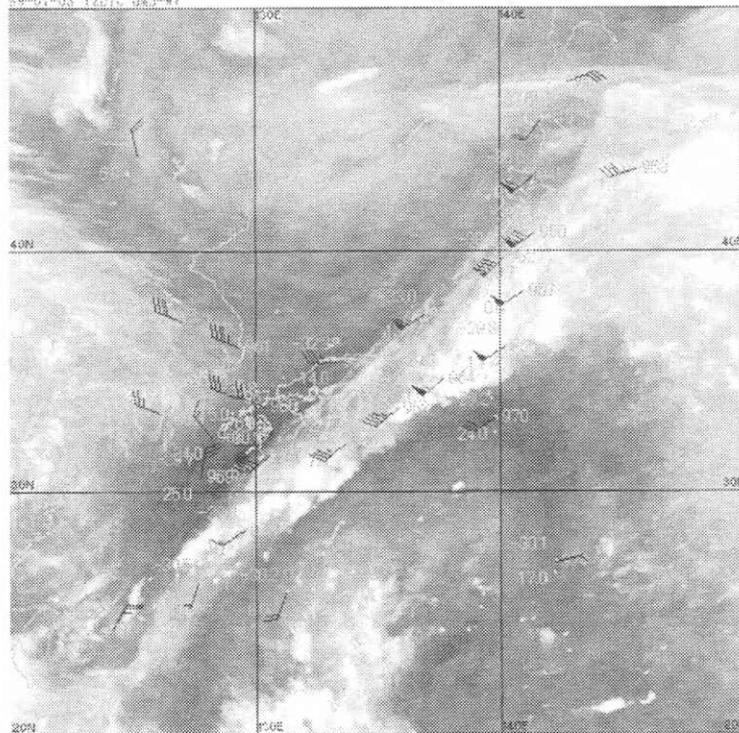


図 7 上 1999 年 7 月 2 日 12UTC の水蒸気画像と 300hPa 観測値 (風、気温、湿数、高度)
下 1999 年 7 月 3 日 12UTC の水蒸気画像と 300hPa 観測値 (風、気温、湿数、高度)
図では観測点の気温や湿数など数字が見難いが、本文の議論とは関係ない。

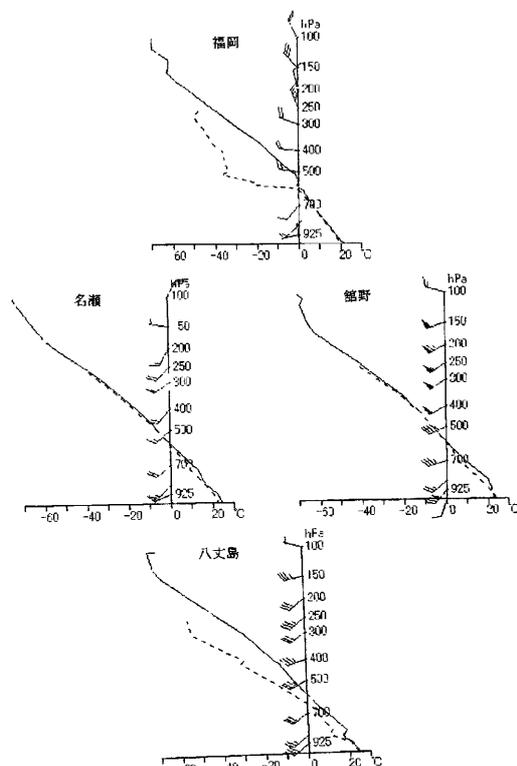


図8 暗域や明域を代表する高層観測点のプロファイル (1999年7月3日12UTC)。矢羽根は風、実線は気温、波線は露点温度を示す。福岡はトラフ対応の暗域、名瀬・館野は湿舌を示す明域、八丈島は亜熱帯高気圧対応の暗域を代表している。

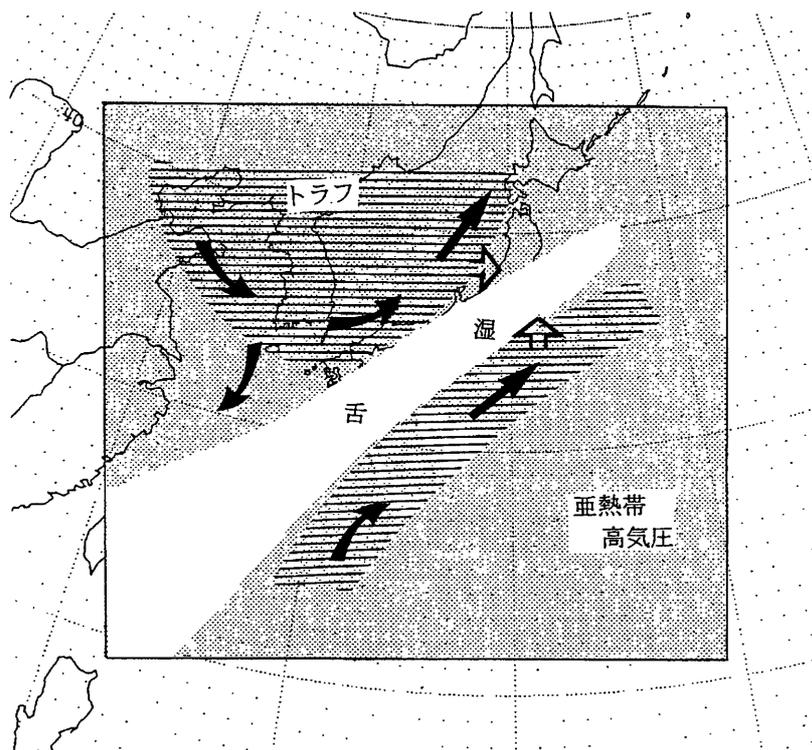


図9 サンドイッチ効果を示す水蒸気画像の概念モデル。横線域は暗域、白抜き域は明域、黒矢印は上・中層の流れ、白抜き矢印は暗域の動きを表す。

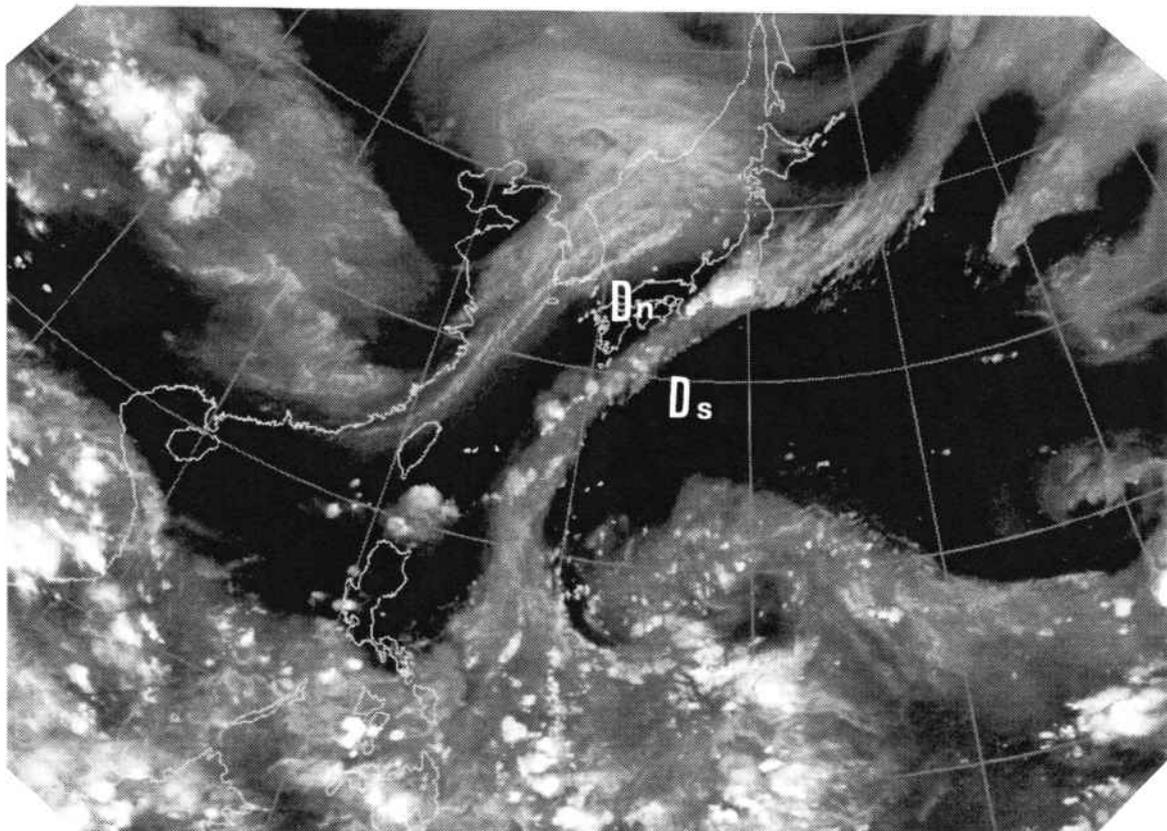


図 10 高知豪雨時の水蒸気画像（1998 年 9 月 23 日 12UTC）。 D_s 、 D_n は暗域を表す。詳細は本文参照。