

テーパリングクラウドの発生状況と発生時の雲パターン

Tapering Clouds and their Classification due mainly to the Surrounding Cloud Pattern in the GMS Imagery

伊藤 秀喜*・麻生 正**・桜田 正美*
Hideki Itoh, Tadashi Asoh, Masami Sakurada

Abstract

Active convective clouds developed into an elongated triangular pattern is called Tapering Cloud (later referred to TC) owing to the cloud shape in the satellite imagery. TC is closely associated with severe weather, such as heavy rain, tornado and so on. We investigated the meteorological conditions and sub-synoptical cloud pattern where TC is evolved, with GMS-4 satellite imagery over one year. From Nov. 1989 to Oct. 1990 around Japan ($N20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ in latitude, $E110^{\circ}\sim 160^{\circ}$ in longitude), we have 41 cases of TCs with the conditions that the life time is longer than 4 hours and the length of long axis is greater than 300km.

Main results from this survey are as follows.

- ① TC evolves mostly over the sea and occurred largely around Sakisima Islands in the southern part of the East China Sea.
- ② Latitudinal locations of TC occurrence show a seasonal variation. Equivalent potential temperature at 850mb, where TC evolves, has not a definite value and depends on the season and the latitude.
- ③ On about 80% of TCs, life time is shorter than 10 hours.
- ④ We classified TC into 3 types; namely L, F and S. TCs evolve mainly near the center of cyclonic cloud area (L-type) and secondly around frontal cloud band (F-type). 78% of TCs are the case of L and F-type. 12% of TCs evolve apart from cyclonic cloud area and frontal cloud band (S-type).
90% of L-type TCs evolve in the cloud area of weak cyclonic disturbance.
- ⑤ Approximately, 80% of TCs can be identified in the satellite imagery to have a Cu line extending windward from the point of elongated triangular TC.
- ⑥ According to the surface weather chart of JMA, approximately half of TCs evolve near the front and another half evolve in the warm sector.
- ⑦ All TCs evolve in the ascending area on the 700mb P-velocity map.
70% of TCs evolve between the zero-level line and 300km southwest to the line on the 500mb vorticity map.
- ⑧ Wind directions at 850mb in front of TCs are almost parallel to the long axis of TCs for the case of L and F-type. Wind speeds scarcely exceed 50knots from the data of the operational aerological observation.

* 気象衛星センター解析課

** 気象庁海上気象課

1. はじめに

テーパリングクラウド（毛筆状の対流雲域）は、風下に向かって伸びる細長い三角形の発達した対流雲域で、雲画像での形状に由来する名称であり、豪雨や竜巻などシビアウェザーと深く関係する重要な雲域である。テーパリングクラウドについて、これまでいくつかの事例解析は行われているが、その発生状況についての調査は下地（1986）の雲解析図を利用したものだけである。そこで本報告では、主として衛星画像を用い、年間を通して日本周辺で発生したテーパリングクラウドの発生状況及びテーパリングクラウドの発生時の雲のパターンについて調査した。以下その結果を報告する。

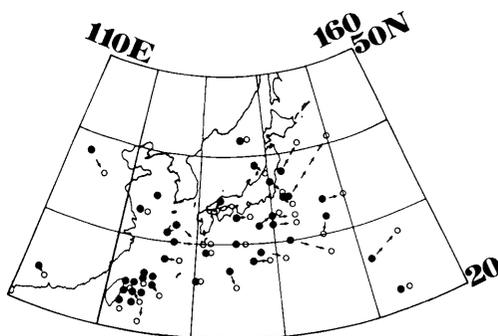


図1 テーパリングクラウドの発生（●）・消滅（○）位置の分布（先端部の位置）。1989年11月～1990年10月。矢印は発生から消滅までの移動を示す。

2. 使用データ及び調査方法

使用したデータは毎時の衛星画像、12時間毎の印刷地上天気図（6時間毎にはCDF配信された地上天気図も参考に）、数値予報天気図及び850mb実況図である。

1989年11月～1990年10月の1年間に、北緯20度～50度及び東経110度～160度の領域に発生したテーパリングクラウドの中で、テーパリング状の継続時間が4時間程度以上、かつ水平距離が300km程度以上の41例を衛星画像から抽出した。なお小規模で、短寿命のものは対象から除外したが、それはテーパリングクラウドとCbから単にアンビルCiが吹きだしたものととの区別が困難な場合が多いからである。

抽出したテーパリングクラウドについて、その発生場所、継続時間及び発生時刻などを調べた。次にテーパリングクラウドが大きなスケール（メソ α ～総観規模）の雲域のどこに発生するかによって、発生時の雲パターンを分類した。その分類した型毎に、地上低気圧の強さ、前線との位置関係、700mb上昇流、500mb渦度、850mb相当温位及び850mbの風について調べた。

3. テーパリングクラウドの発生状況

3.1 発生場所

図1はテーパリングクラウドの発生（●印）・消滅（○印）時の先端部の位置を示したものである。消滅は発生位置と離れている場合のみ示し、発生から消滅までの移動は矢印で示してある。

図1によるとテーパリングクラウドは主に海上で発生している。最も多く発生する地域は台湾東岸から先

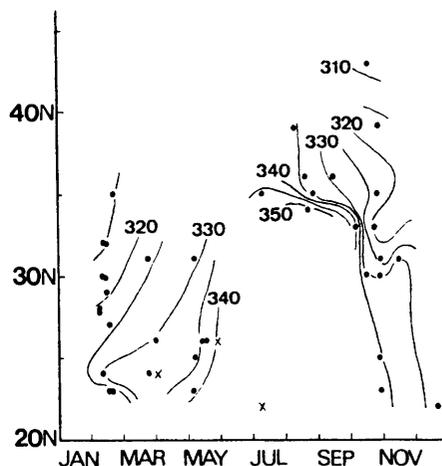


図2 テーパリングクラウドの発生緯度（先端部）及びその位置の850mb相当温位（12時間予想値）。●印及び×印はテーパリングクラウドの発生緯度を示し、●印は日本域モデルから850mbの相当温位が求められたこと、×印は日本域モデルの範囲外で相当温位が不明であることを示す。実線は●印における相当温位の値から等値線を引いたもの。

島諸島周辺の海上である。九州の西から関東の南東海上までは比較的多く、ほぼ一様に分布している。一方大陸上、日本海及び北緯40度以北には発生が少ない（継続時間が4時間未満のものも含めると、これらの地域にも分布域が広がる）。

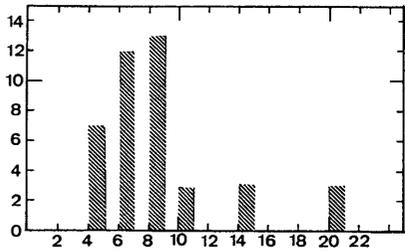


図3 テーパリングクラウドの継続時間
縦軸は発生回数、横軸は継続時間
(2時間毎にまとめてある)

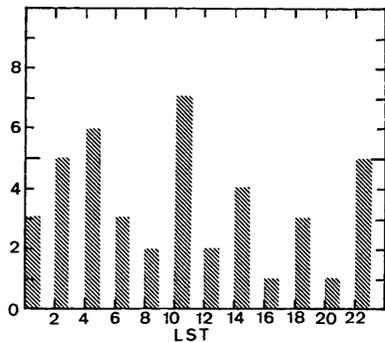


図4 テーパリングクラウドの発生時刻
縦軸は発生回数、横軸は発生場所での地方時

発生から消滅までの移動を見ると、東緯140°以東で発生から消滅までの移動距離が大きい。一方先島諸島周辺の海上に発生したテーパリングクラウドは移動距離の小さいものが多い。

下地 (1986) によると (雲解析図を利用した北緯17~35度、東経110~140度、1978年6月~1985年5月の7年間の統計)、テーパリングクラウドの発生分布は、台湾周辺の東シナ海南部からパシー海峡にかけて最も多く、全体の65%を占めている。これは、図1の分布で台湾東岸から先島諸島周辺の海上で多いという点で一致している。

東シナ海は冬から春にかけて低気圧の発生が多いところである (例えば長浜等: 1978、Hanson and Long: 1985)。またKuo and Chen (1990) によれば、Chenは台湾南東部の沿岸部は台湾の地形効果により西風または南西風下でメソ低気圧の発生頻度の高い領域であることを示した。台湾東岸から先島諸島周辺でテーパ

リングクラウドの発生が多いのは、それらと関連して発生するためと見られる。

3.2 発生緯度の季節変化

図2は、横軸を月日、縦軸を緯度とし、テーパリングクラウドの先端部の分布を●印及び×印で示したものである。図によると、テーパリングクラウドの発生緯度は明瞭に季節変化している。すなわち、11月~5月には北緯22°~32°で、6月~9月には北緯34°以北でほとんどが発生している。この結果は、北緯35度以南を対象とした下地 (1986) の調査で7~11月に発生が少ないという結果と一致している。このような季節変化は、暖後期に前線帯が北上して太平洋高気圧におおわれた領域では発生の条件が揃わないことを示唆している。

3.3 継続時間

図3にテーパリングクラウドの発生から消滅までの継続時間を示した。これによると約8割が10時間未満の寿命である。20時間以上のものは3例で、そのうち2例は先島諸島周辺の海上で発生したS型 (4章で分類する) のテーパリングクラウドである。

3.4 発生時刻

図4に時刻 (発生場所における地方時) 別のテーパリングクラウドの発生頻度を示した。これによると、真夜中から午前中にかけての発生がやや多い。しかしその傾向は明瞭なものではない。

4. テーパリングクラウド発生時の雲パターンの分類

4.1 雲パターンの分類

1年間の衛星画像を観察した結果、テーパリングクラウドがより大きなスケール (メソ α ~総観規模) の雲域のどこに発生しているかによって、雲パターンを次のように分類した。分類した各型についての模式図を図5に示す。

L型: 雲画像で雲域の膨らみや雲列の曲率等から推定される低気圧性擾乱の中心付近に発生するテーパリングクラウドをL型とした。低気圧性擾乱が推定された雲域には地上天気図で低気圧、前線のキック及び前線が解析されている場合が多い。それらが解析されていない場合、低気圧性擾乱と推定される雲域は、数100kmとメソ α スケールの雲域であり、総観規模低気圧の暖域に発生している。L型を更にL1型~L3型に細分した (説明は図5)。

F型: 前線性雲バンド又は対流雲列付近で発生するテーパリングクラウドをF型とした。雲バンド又

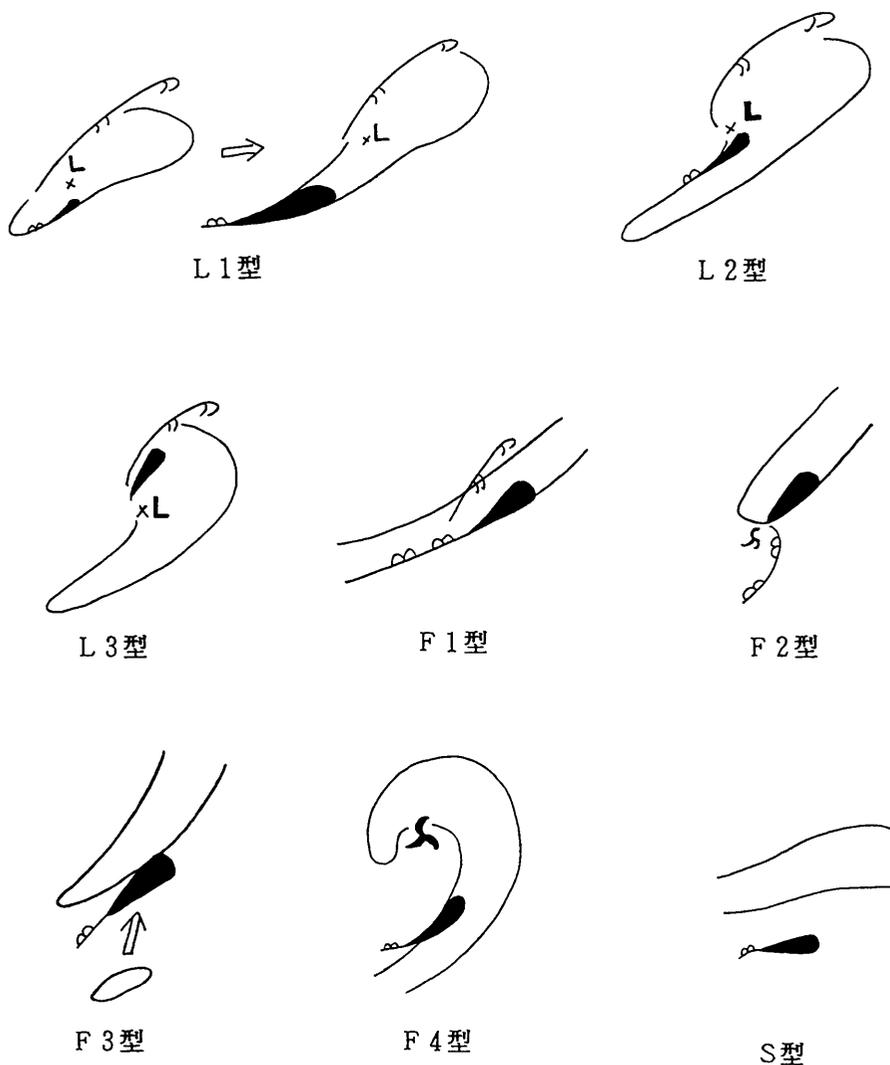


図5 テーパリングクラウドの発生時の雲パターンの分類の模式図

L1型：画像から見た低気圧性擾乱の雲域の中心付近で発生し、その中心に相対的に南西に移動するもの。

L2型：画像から見た低気圧性擾乱の雲域の中心付近で発生し、その中心と共に移動するもの。

L3型：画像から見た低気圧性擾乱の雲域の中心の北又は北東側で発生するもの。

F1型：雲バンドの南縁又は雲列上に発生するもの。

F2型：小規模な下層雲の渦の北または北東にある雲バンド南縁で発生するもの。

F3型：雲バンドに向かって北上する下層雲域に発生するもの。

F4型：コマ状の雲域でスパイラル状に発生するもの。

S型：低気圧性擾乱の雲域または前線性雲バンドの南側で発生するもの。

は雲列付近には地上天気図で前線が解析されている場合が多い。F型を更にF1型～F4型に細分した(説明は図5)。

S型：低気圧性擾乱の雲域又は前線性雲バンドと明瞭に離れているテーパリングクラウドをS型とした。上記の方法で分類した結果を表1に示す。41例のテーパリングクラウドのうち、L型で46%、F型で32%が発生し、L型とF型で全体の78%が発生している。S型では5例発生している。テーパリングクラウド発生時の雲パターンが不明瞭であった4例については、そのパターンを不明とした。各型毎の特徴は以下の通りである。

(a) L型の特徴

L型のほとんどが擾乱中心からその南西側で発生するL1型またはL2型である。この領域は低気圧の中心から寒冷前線またはそのすぐ前面で、一般的に対流雲が発生し易い所である。またそれらのうちでL1型が多いが、これはテーパリングクラウドがその先端部の風上側に伸張り発達することと対応していると見られる。このことはまた擾乱中心付近がテーパリングクラウドの発生しやすい場所であり、一旦発生したらテーパリングクラウド自身が維持する機構を持っていることを示唆している。

擾乱中心の北側で発生するL3型は2例発生している。この領域は、一般的には対流雲が発生しにくい所と見られるが、これらの例を日本域モデルで見ると、地上低気圧の前面から北側に回り込んだ850mb高相当温位域で発生している。

(b) F型の特徴

F型では、F1型が5例と最も多く、F2型で3例、F3型とF4型でそれぞれ2例である。

F1型の例では、明瞭な対流雲列上にテーパリングクラウドが発生するか、テーパリングクラウド発生と同時に対流雲列が明瞭化している。

F1型の5例のうち3例では雲バンドの中の雲域の膨らみやCiバルジ等からごく弱い低気圧性擾乱の存在が推定される。又F3型の1例ではテーパリングクラウド発生後、次第に組織化を強め低気圧性擾乱の雲域に発達した。これらとF2型を合わせると、13例中7例は雲バンドの中のごく弱い低気圧性擾乱付近で発生したことになる。

(c) S型の特徴

S型は低気圧性擾乱の雲域又は前線性雲バンド

南縁から200～700km南で発生し、低気圧性擾乱の雲域又は前線性雲バンドとは明瞭に分離されている。5例のうち4例は、寒冷前線に対応する850mb相当温位の集中帯から400～1000km南東または南に位置した高相当温位域で発生している(1例は日本域モデルの領域外で不明)。

また5例のうち3例は台湾のすぐ東海上で発生し、そのうち2例は約1日と長寿命であった。これらの3例は、テーパリングクラウドの先端が台湾東岸～200km東にあり、そこから東～東北東に伸び、ほぼ停滞している。また先端からは台湾南部の東岸にCuラインが伸びている。このような発生状況は、台湾の地形効果がテーパリングクラウド形成に直接関与していることを示唆している。

4.2 Cuライン(芯)の存在

図5の模式図で示したように、テーパリングクラウドの南西側に芯状のCuラインが伸びている例が多く見られる。このCuラインは雲頂高度が低いいため、赤外画像では判別できない場合が多いが、可視画像ではその存在を確認できる場合が多い。可視及び赤外画像により、41例のテーパリングクラウドのうち32例(80%)でその存在が確認できた。これらのCuラインは、テーパリングの形状が形成される以前から存在するものもあるが、テーパリングクラウドの発生と同時にCuラインも発生や強化される例も多いことから、テーパリングクラウドの形成・維持と密接に関連していると考えられる。

5. 天気図等との比較

5.1 L型のテーパリングクラウドと地上低気圧の強さ

表2はL型のテーパリングクラウド発生時の地上低気圧の強さ、表3はテーパリングクラウドの発生時から消滅時までの低気圧の強さの変化を見たものである。低気圧の強さは4mb毎に描いた等圧線の閉じた本数で見ることにする。低気圧が解析されていないか、閉じた等圧線の数が2本以下の低気圧に対応する雲域を弱い低気圧性擾乱の雲域とすると、L型の90%は弱い低気圧性擾乱の雲域で発生している。また表3で、テーパリングクラウド発生から消滅までの低気圧の発達・衰弱を見ると、急速な発達中の低気圧に伴って発生した例は1例のみであることがわかる。

5.2 テーパリングクラウドと地上前線の位置関係

表4は、全てのテーパリングクラウドについて、その発生した位置と印刷天気図で解析された地上前線と

表1 テーパリングクラウドの型と発生数

| 型 | | 例数 | |
|----|-----|----|----|
| L型 | L1型 | 16 | 19 |
| | L2型 | 1 | |
| | L3型 | 2 | |
| F型 | F1型 | 5 | 13 |
| | F2型 | 3 | |
| | F3型 | 2 | |
| | F4型 | 2 | |
| | 不明 | 1 | |
| S型 | | | 5 |
| 不明 | | | 4 |
| 計 | | | 41 |

表2 L型のテーパリングクラウド発生時の地上天気図の分類

| 地上天気図 | | 例数 | |
|--------|-----------|----|----|
| 低気圧 | 閉じた等圧線の本数 | | |
| | 4.5 | 1 | 10 |
| | 2.5 | 1 | |
| | 2 | 3 | |
| | 1.5 | 3 | |
| | 1 | 1 | |
| | 0.5 | 1 | |
| 前線のキック | | 2 | |
| 前線 | | 3 | |
| なし | | 4 | |
| 計 | | 19 | |

表3 L型のテーパリングクラウド発生時から消滅時までの低気圧の閉じた等圧線の本数の増減

| 閉じた等圧線の本数の増減 | 例数 |
|---------------|----|
| +3.5 (/ 6時間) | 1 |
| +0.5 | 3 |
| -0.5 | 2 |
| -1.0 | 3 |
| その他 | 1 |
| 計 | 10 |

表4 テーパリングクラウドの発生位置と前線との位置関係 (数字は例数)

| 位置 型 | 前線 | | | | | 暖域 | 寒気側 | 前線なし | 計 |
|---------|----|----|----|----|---|----|-----|------|----|
| | CF | OF | SF | WF | K | | | | |
| L型 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 9 | 1 | 1 | 19 |
| F型 | 7 | 1 | | | 1 | 2 | | 2 | 13 |
| S型 | | | | | | 5 | | | 5 |
| 不明 | 1 | | | | | 2 | | 1 | 4 |
| 計 | 11 | 2 | 2 | 1 | 2 | 18 | 1 | 4 | 41 |

CF:寒冷前線 OF:閉塞前線 SF:停滞前線 WF:温暖前線
K:前線の波動

の位置関係を見たものである。この表によると、全体の44%が前線近傍（寒冷前線：11例、閉塞前線：2例、停滞前線：2例、温暖前線：1例、前線の波動付近：2例）で発生し、44%が暖域で発生している。残りは、前線が解析されていない4例と寒気側の1例である。

各型毎に見ると、L型は19例中8例が前線近傍で発生し、9例が暖域で発生している。暖域のテーパリングクラウドの9例中4例は総観規模低気圧の暖域に発生したメソ α スケールの雲域に発生し、4例は前線の100km程度暖域側に発生している。F型は、13例中9例が前線近傍で発生し、暖域で2例（F2及びF3型で1例ずつ）が発生している。S型は全て（5例）暖域で発生している。

5.3 テーパリングクラウドの発生位置の

700mb上昇流と500mb渦度

テーパリングクラウドが発生した位置を数値予報天気図（アジアモデル）の初期値（00、12UTC）で見ると、全ての例が700mbの上昇流域で、また約70%が500mbの正渦度域の東から南側のゼロ線付近～300km暖気側に位置していた（L及びF型では、その約80%）。このことはテーパリングクラウド発生条件として、大規模場の上昇流が必要であり、また前線帯付近がテーパリングクラウドの発生に好都合なことを示している。上昇流については、植村（1979）が、多くの場合活発

な対流雲域はファインメッシュモデルでの弱い上昇流域に現れていると述べている事と一致している。

5.4 テーパリングクラウド発生位置の相当温位

図2の実線はテーパリングクラウド先端部（風上側）の位置の850mbにおける相当温位（日本域モデルによる12時間予想値）を示したものである。この図によると、暖候期ほど及び低緯度ほど高相当温位でテーパリングクラウドが発生している。従って、相当温位の値そのものには意味はないようだ。

5.5 テーパリングクラウドの走向と周囲の850mbの風

テーパリングクラウドの前面の850mb付近には約50ノットの下層ジェットが見られ、その風向とテーパリングクラウドの走向とがほぼ一致するとした調査例が多い（猪川等1980、長谷川・中村1981、中本1988）。このことを確かめるため、12時間毎の850mb天気図によりテーパリングクラウド周辺（テーパリングクラウドの先端を中心として、緯度差で距離を示した5°×5°の領域内（1°は110km））の実測風について調べた。図6はテーパリングクラウドの走向O-Lに相対的な風向を求めて図示したものである。（A）はL型、（B）はF型のテーパリングクラウドの場合である。

L型及びF型とも、テーパリングクラウドの前面（図でテーパリングクラウドの右側）での風向はテーパリングクラウドの走向にほぼ沿っている。風速はF型の

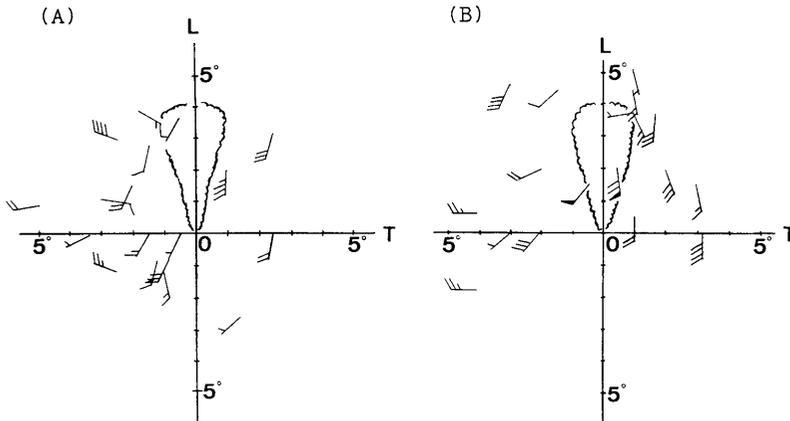


図6 テーパリングクラウドの走向（O-L）を基準にした850mbの実測風
 (A)はL型、(B)はF型のテーパリングクラウド周辺の風である。短い羽根は5ノット、長い羽根は10ノット、ペナントは50ノットを表す。

1例で70ノット（後面の50ノットも同一事例のものである）と強いが、その他は5ノットから40ノットである。後面での風向はL型とF型で異なるのでL型とF型を分けて述べる。

L型：テーパリングクラウドの後面2°以内での風向は、ほぼテーパリングクラウドの走向に沿うか30deg程度の角度で交差している。後面2°以上での風向は、テーパリングクラウドの走向にほぼ直角に後面からテーパリングクラウドに向かう場合と、その逆の場合がある。このことは、L型のテーパリングクラウドが寒冷前線付近から暖域側に渡って発生していることを示唆している。

F型：テーパリングクラウド後面の風向は40~60deg程度の角度で交差し、テーパリングクラウド付近は風向シアアの大きい所になっている。このことは、テーパリングクラウドが前線付近で発生している事を示している。

6. まとめ

衛星画像を用い、継続時間が4時間程度以上で長さが300km程度以上のテーパリングクラウドについて、その発生状況や発生時の雲パターン等について調査した。その結果は以下の様にまとめられる。

- ① テーパリングクラウドは主に海上で発生し、特に台湾東岸から先島諸島周辺での発生が多い。
- ② 発生する緯度は季節変化し、発生場所の850mb相当温位は季節及び緯度によって異なる。
- ③ 継続時間は約8割が10時間未満である。発生時刻に明瞭な特徴はない。
- ④ テーパリングクラウド発生時の雲パターンを大きく3つの型に分類した。低気圧性擾乱の雲域の中心付近で発生しているもの（L型）が多く、次に前線性雲バンド付近で発生しているもの（F型）が多い。これらの雲域で全体の78%が発生している。低気圧性擾乱の雲域または前線性雲バンドの南側（S型）では12%が発生している。
L型のテーパリングクラウドのうち90%は弱い低気圧性擾乱に伴う雲域で発生している。
- ⑤ テーパリングクラウドの先端から南西に芯状のCuラインが伸びている例が多く見られる（全体の約80%でその存在が確認できた）。
- ⑥ 気象庁印刷天気図によると、前線近傍で約半数が発生し、暖域側で約半数が発生している。
- ⑦ 全ての例が大規模場の700mb上昇流域で、また

約7割が500mb正渦度域の東側から南側の渦度ゼロ線付近~300km暖気側で発生している。

- ⑧ L型とF型のテーパリングクラウドの進行前面の850mbの風向はテーパリングクラウドの走向にほぼ沿っている。今回の事例では、定時の高層観測で50ノット以上の強風（下層ジェット）が観測されたのは1例のみであった。

7. 謝 辞

本稿をまとめるにあたり、気象衛星センターの黒田雄紀解析課長、中島忍システム管理課長、解析課内藤成規調査官から貴重な意見を頂きました。記してお礼申し上げます。

《参考文献》

- 猪川元興、加藤一靖、中島忍（1980）：1978年4月6日、「ひまわり」の画像に見られた「にんじん」状雲パターン、天気、27、219-224
- 植村八朗（1979）：梅雨前線近傍における活発な対流雲、天気、26、651-652
- 太田 喬、当間 浩、東 政秀（1987）：シビアウェザーを誘発するテーパリング・クラウドの発生と持続性について、昭和60年度沖縄気象研究会誌、9-10
- 下地朝勇（1986）：TAPERING CLOUDの発生源の分布、昭和60年度沖縄気象研究会誌、6
- 下地朝勇（1986）：TAPERING CLOUD SYSTEMの構造と大雨（1985年4月6日~7日の事例）、昭和60年度沖縄気象研究会誌、7-8
- 中本正隆（1988）：マイクロバーストを伴ったテーパリング・クラウドの環境解析、昭和63年度沖縄気象研究会誌、36-37
- 長浜宗政、石垣和雄、伊豆味正吉、金城博明、東江秀明、上江州久雄（1978）：東シナ海および沖縄地方の低気圧、気象庁技術報告、第93号、295-326
- 長谷川隆司、中村和信（1981）：寒冷前線に伴うCarrot-shaped cloud、天気、28、865-868
- Kuo, Y.-H., and G.T.-J. Chen, 1990: The Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX): An overview. Bull. Amer. Meteor. Soc., 71, 488-503
- Hanson, H.P., and B. Long, 1985: Climatology of Cyclogenesis over the East China Sea. Mon. Wea. Rev., 113, 697-707