

弱い寒気移流雲上に現れる「暗い縞」

Dark stripe found in undeveloped cumulus clouds resulting from cold air advection over the sea

麻生 正*
Tadashi Aso

Abstract

Narrow cloud-free band appeared as a dark stripe in the satellite imagery was newly found in undeveloped cumulus clouds resulting from cold air advection over the sea. Three distinct examples in 1988 are shown with GMS visible and infrared imagery. Seasonal frequency and geographical distribution of occurrence are investigated in this report.

Dark stripe occurs mainly in winter season in undeveloped cumulus clouds over the East China Sea, the Yellow Sea, the Sea of Japan, and off the coast of Honshu in the Pacific Ocean. One or more dark stripes appear simultaneously in a same area and their width extends up to 100 km. There seems to have no specific spacing between stripes, and therefore have no periodicity of occurrence. Most of the dark stripes are observed to advance upwind at speeds of 30~50 kts against a flow and have a lifetime of several hours.

I. はじめに

1987~1988年にかけて、これまで全く報告されていなかったタイプの雲パターンが観測された。これは海洋上の寒気移流雲の中に幅数十kmのほぼ直線状の暗い縞が生じて移動するものである。

衛星画像上で波状雲のような周期的雲パターンは大気の波動状態を表現している。このような雲パターンは冬期の大気成層状態が安定している時期に多く見られる。今回観測された暗い縞もその形状や移動から大気中の何らかの波動を示すと考えられるが、その詳細は良く分かっていない。

気象衛星センターの計算機システムは1987年3月に更新され、画像表示装置が導入されて、その後GMSが毎時観測へ移行したことによって、今回報告するタイムスケールの短い現象の検出と観測が容易になった。

この現象について過去の画像を調べると、同様の現象がかなり頻繁に生じているのが分かった。それまでは3時間観測で毎時画像が無かったために、タイムスケールの短いこの暗い縞の識別が出来なかったであろう。

この新しい現象について、その明瞭な事例を示し出現の地理的、季節的分布について報告する。この現象の更に詳細な解析は次の機会に行いたい。

II. 観測

1. 明瞭な事例

「暗い縞」の明瞭な3事例を以下に示す。

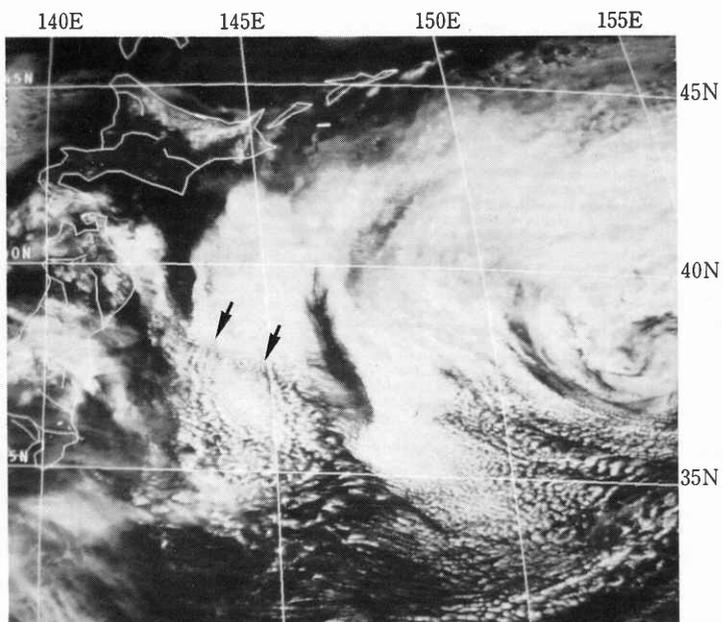
1) 事例1 三陸沖

三陸沖に現れた縞の例を1988年5月24日01~05 UTCの可視画像と赤外画像(03UTCのみ)でPhoto 1 a)~f)に示す。

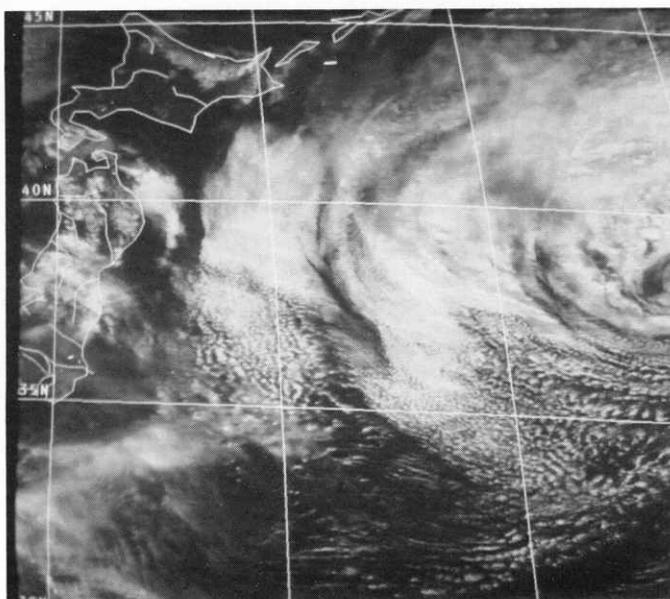
Photo 1 a)の矢印で示した三陸沖の寒気移流雲上に暗い縞が明瞭に現れている。

Fig. 1の24日OOUTCの地上天気図では、三陸沖に発達した低気圧が東へ移動している。写真の三陸沖の東経154度付近の雲渦がこの低気圧に対応しており、雲渦の西側は寒気移流による対流雲が広がっている。このなかにWNW-ESEに伸びる暗い縞が見られる。この暗い縞はOOUTC(写真略)ではあまり明瞭でなく、05UTCのPhoto 1-f)では消滅しかかっている。

* 気象衛星センター解析課



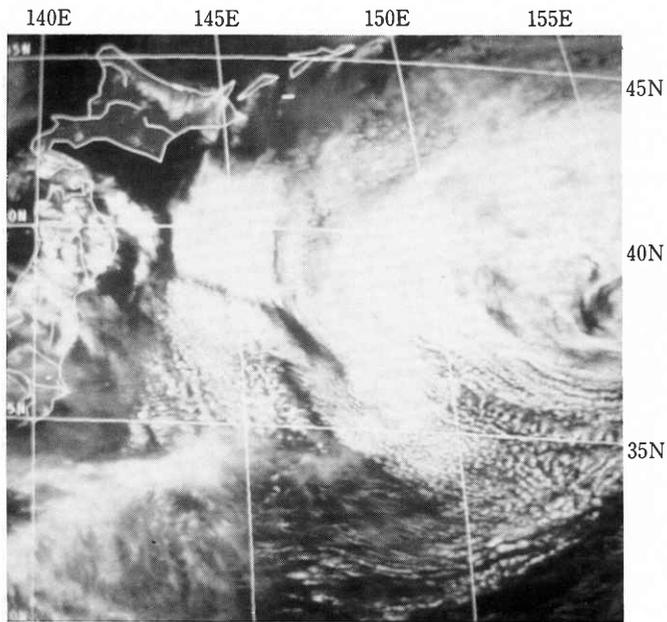
a) 01 UTC,



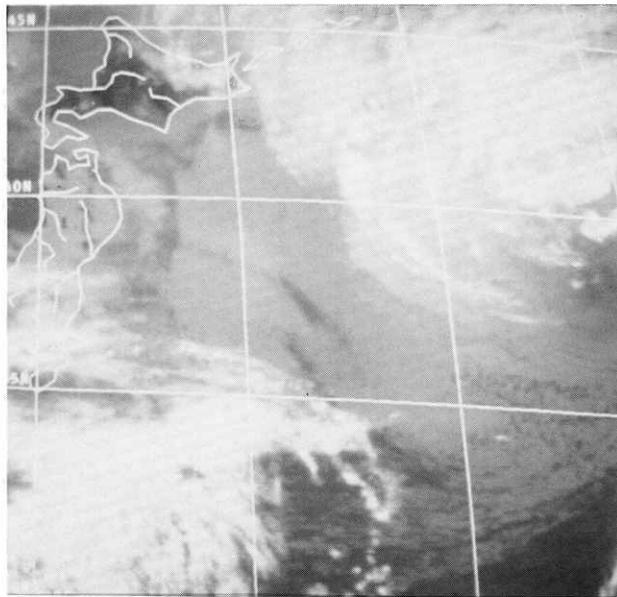
b) 02 UTC.

Photo 1 GMS visible images on 24 May 1988

One dark stripe appears in cumulus clouds resulting from cold air advection off the coast of Sanriku, Japan.

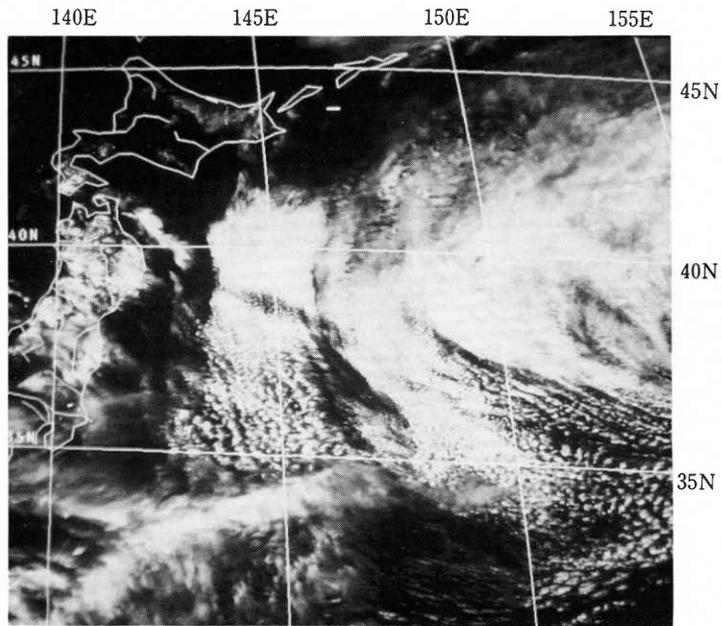


c) visible,

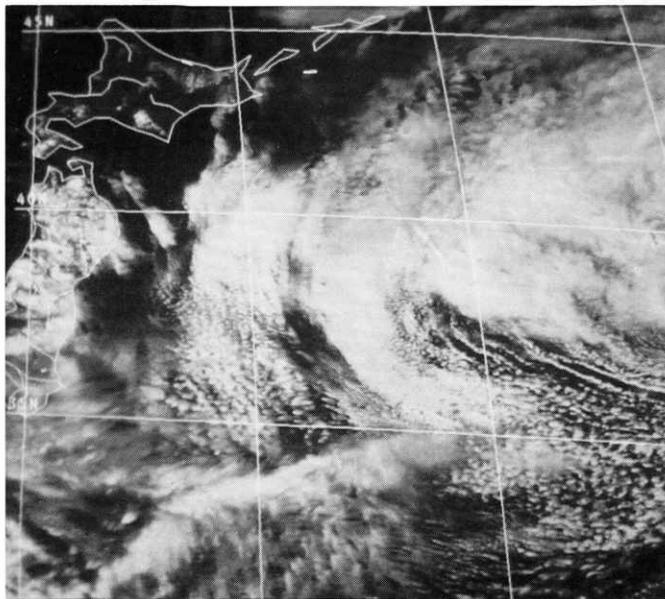


d) infrared.

Photo 1 GMS images at 03 UTC on 24 May 1988



e) 04 UTC.



f) 05 UTC.

Photo 1 GMS visible images on 24 May 1988

赤外画像 (Photo 1-d) から分かるように、暗い縞のある寒気移流の雲域は背の低い積雲のみで構成されている。毎時の画像を比較すると、この寒気移流の雲域は広がり減少して衰弱中であった。仙台の高層観測によると850mbで1°C前後の寒気が南下しており、780mb付近に強い逆転層があってその下は湿潤域で

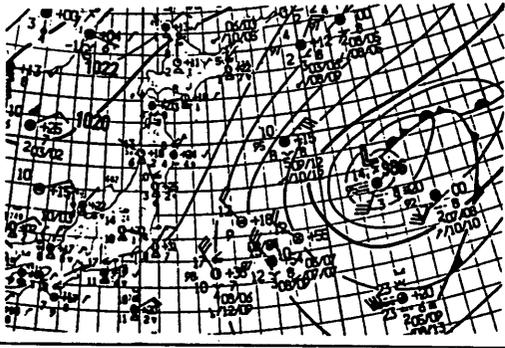


Figure 1 Surface Chart at 00 UTC 24 May 1988

北よりの風が吹いている。

Fig. 2は東経145度を中心とした暗い縞のある領域に対して、可視画像の輝度レベル40以上だけを切り出し(00UTCだけは輝度レベル30以上)、00から05UTCまでの6時間分の変化をみたものである。暗い縞はこの図で矢印で示した間の、可視の輝度レベルの低い空白の領域にあたる。これから暗い縞は01UTCに明瞭になって、05UTCには分かりにくくなっていることが分かる。縞の幅は約70~80kmで、移動速度は北へ約10ktである。寒気移流は北よりで風速20kt程度なので、この縞は流れに対して30kt程度で上流へ移動していることになる。

2) 事例2 東シナ海

東シナ海に現れた暗い縞の例を1988年10月14日06 UTCの可視画像でPhoto 2に示した。場所は九州の東海上で、可視画像に二本の暗い縞が明瞭に現れている。

Fig. 3の14日00UTCの地上天気図で見ると、南に台風26号があって北東へ移動している。写真の南側の雲渦がこの台風で、この北側には寒気の南下によって海

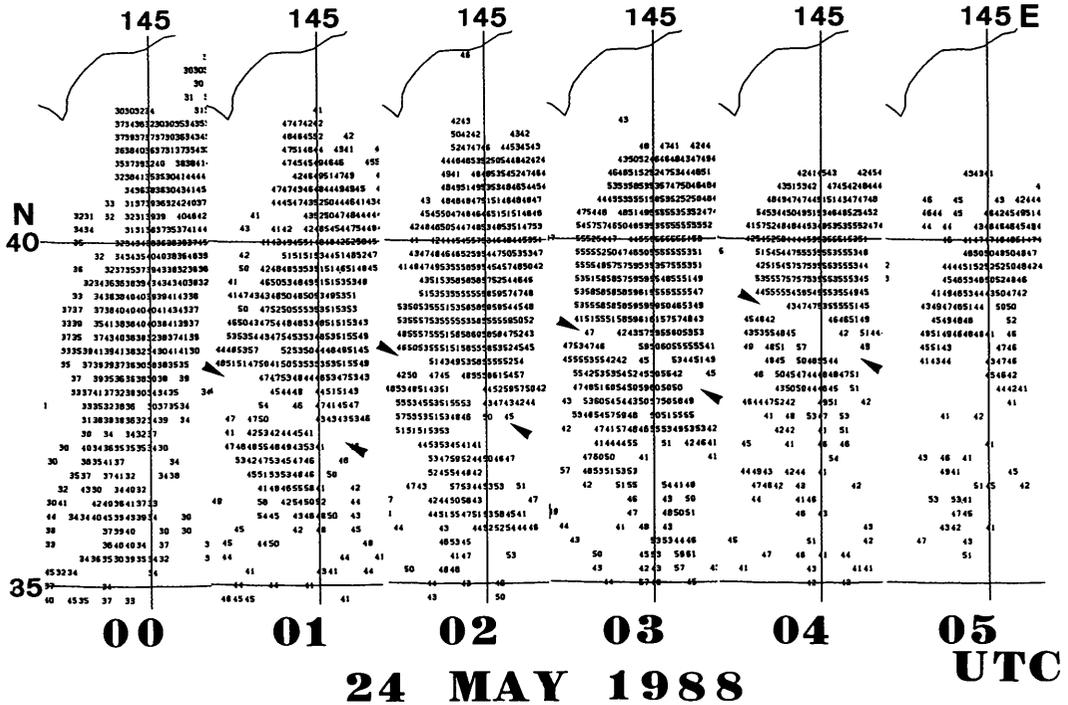
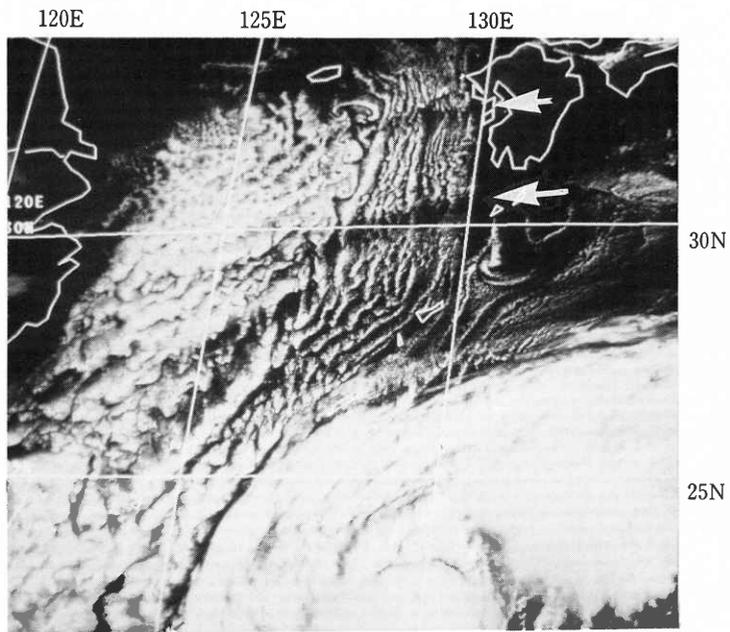
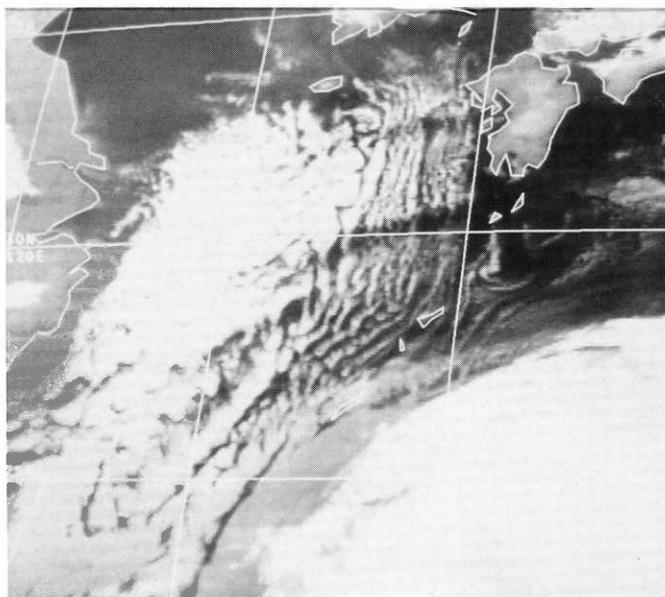


Figure 2 Upwind advancement of dark stripe detected by visible images on 24 May 1988 off the coast of Sanriku. Arrows indicate the location of dark stripe in cumulus clouds. Brightness levels greater than 40 (30 for only 00 UTC) are plotted.



a) visible,



b) infrared.

Photo 2 GMS images at 00 UTC on 14 Oct. 1988

Two dark stripes are seen in cumulus clouds to the east of Carman vortex chain on the East China Sea.

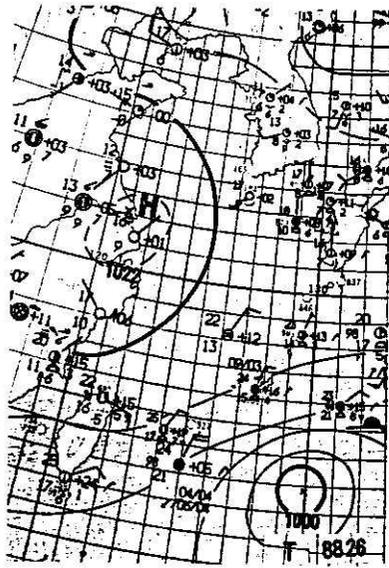


Figure 3 Surface Chart at 00 UTC 14 Oct. 1988

上に発生した対流雲が広がっている。このなかに Photo 2-a に矢印で示した WSW-ENE に伸びる暗い縞が見られる。この暗い縞は00UTC (写真略) でも明瞭であった。

赤外画像から分かるように、暗い縞のある寒気移流の雲域は下層の積雲のみで構成されている。毎時の画像を比較すると、この寒気移流の雲域は広がりが減少して衰弱中であった。那覇の高層観測によると800mb 付近に強い逆転層が有ってその上は西よりの乾燥した風が吹いている。

濟州島下流の西と東ではカルマン渦列を境にして積雲と層積雲とに雲型が異なっており、暗い縞はこの積雲側に明瞭である。層積雲上でこの暗い縞が観測されないのは他の場合でも共通で、これはこの縞の構造を考える時に重要な観測である。

縞の幅は約50~60kmで、この縞は上流(北)へ移動しており、その移動速度は25~30ktである。縞と雲列とのなす角度は大体直交している。

この海域での暗い縞の事例を調べると、縞の数は数

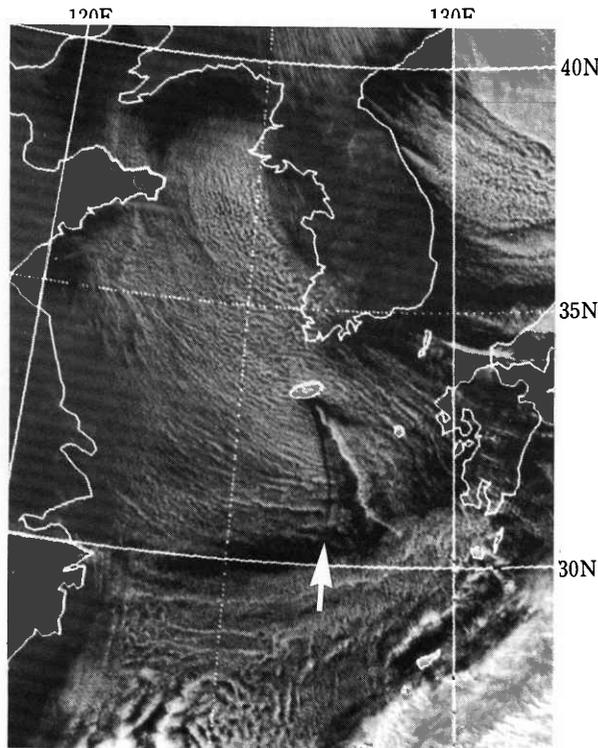


Photo 3 GMS visible image at 06 UTC on 2nd Feb. 1988.
A narrow cloud-free band is seen to the south of Cheju island.

Table 1 Characteristics of dark stripe and its surroundings

No.	date	Sea	Synoptic feature	jet core above	700mb	movement against the ground	number of stripes
1.	28 NOV 1987	Yellow Sea	weak cold air advection	yes	subsidence dry	up wind ~15kt	3 ?
2.	16 DEC 1987	” ”	” ”	”	” ”	up wind ~30kt	3~4 ?
3.	21 DEC 1987	off Shikoku	” ”	”	” ”	up wind ~10kt	2~3
4.	24 MAY 1988	off Sanriku	” ”	”	” ”	up wind ~10kt	1
5.	13 OCT 1988	East China Sea	” ”	no	” ”	up wind ~30kt	2

本であることも多く一定していなかった。

3) 事例3 済州島付近

済州島付近に現れた暗い縞の例として1988年2月2日06UTCの可視画像をPhoto 3に示す。黄海から東シナ海は寒気移流雲で覆われ、済州島の南に明瞭な一本の暗い縞がある(済州島～写真矢印まで)。寒気移流雲の走向からこの暗い縞は風向にほぼ直交している。

この暗い縞は済州島から発しているように見え、12 UTCの画像までほぼ同じ場所に位置しているの、暗い縞の成因として地形の影響が重要であることを示している。幅は10~20km程度で他の場合に較べて非常に狭く、成因が事例1、2と異なることも考えられる。

2. 暗い縞発生時の総観的特徴

事例1と2で述べたように、この暗い縞はいずれも寒気吹き出しの後半の発達程度の低い寒気移流雲上に現れている。1987~1988年にかけての明瞭な5事例で総観的な特徴をまとめたのがTable 1である。この表

から多くの場合、上空にジェットの強風軸があり、700 mbでは下降流域で800~850mb付近に強い逆転層がある。暗い縞の移動はこの五例では全て上流で、風速が周囲の観測から推測して大体20kt前後なので流れに対しては30~50ktぐらいである。

III. 発生の地理的・季節的分布

1. 季節的分布

「ひまわり」の観測される領域で、この暗い縞がどのような空間的、季節的分布をもって発生しているか3時間毎の北半球ポーラーステレオ写真を用いて調査し、その結果をTable 2に示した。調査期間は1988年の1年間である。調査をした海域は、東シナ海、南シナ海、日本海、黄海、日本の太平洋側海域、オホーツク海、北太平洋である。低緯度海域も一応調査したが寒気移流雲が存在しない領域では出現していなかった。

オーストラリア周辺海域も北半球の結果から冬期の半年間調査したが、3時間毎の全球画像写真を用いて

Table 2 Seasonal frequency of dark stripe found in cumulus clouds over the sea in 1988

Area	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sea of Japan	3	5	1	—	—	—	—	—	—	—	1	6
East China Sea	5	6	5	1	—	—	—	—	—	5	6	10
Yellow Sea	6	3	1	—	—	—	—	—	—	3	4	6
Pacific Ocean	3	4	4	4	1	—	—	—	1	1	1	5
Off Sanriku	3	7	3	1	1	—	—	—	—	—	—	1
Taiwan Channel	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
Total	20	25	14	6	2	0	0	0	1	9	12	30

行ったため、発生は確認出来なかった。しかし、現業で行っている風計算の品質評価の際の30分間隔の可視ループ画像でたまたま観測出来た例があったことからみると、オーストラリアの南海上の寒気移流雲上にも発生していることは確かなようだ。

発生回数の数え方としては、ある海域で出現すれば1回とするが、同じ場所で長く持続しているものも1回と見なす。このため、1日中出现していても同じ海域なら1回となる。

この調査では写真で暗い縞の出現を検出したが、雲域の輝度の不均一を暗い縞ととるか否かの判断には主観が入る。従って、この統計は一応の目安に過ぎないことを断っておく。

寒気の南下の状況が個々に違うので、回数の違いがその海域での出現のし易さに直にはつながらないが、発生は12～3月の冬期に最も多く、10～11、4月にもかなりの頻度で発生する。東シナ海、黄海が最も多く発生する海域である。三陸沖、四国沖、本州の南にもかなりの頻度で発生している。日本海では寒気移流雲域の大陸側からの離岸距離が小さい、積雲が発達し始める場所に発生している。

Table 2とは別に、一度の寒気吹き出しで暗い縞が発生したかどうかを数えて発生し易さを見た。1988年12月は寒気の吹き出しによる寒気移流雲の発生が7回有り、そのうち全てについて東シナ海～黄海にかけて暗い縞が観測されている。日本海での出現は4回、四国沖は3回、三陸沖は1回、中部沖は1回、台湾海峡は2回である。従って、東シナ海、黄海は寒気移流雲が海上に発生すれば、そのいずれかの時期・場所で暗い縞が発生していることになる。

2. 地域毎の縞の特徴

1) 東シナ海

全域に出現するが、一面同時に出現する事はない。寒気移流場の中の発達度の低い積雲域で出現し、層積雲上では殆ど見られない。多く出現する場所は、黄海よりの北部と、九州西海上の済州島のカルマン渦の軸から東、台湾の北から上海沖までで、稀に台湾海峡にも見られる。

2) 対馬海峡

済州島のすぐ西側或いは南側に明瞭な形で発生し、その位置が定常的であるので済州島による地形の効果重要と思われる。筋状雲の方向とは大体直交している。

3) 黄海

寒気吹き出しの筋状雲に数本の縞(4～5本ぐらい)が見られることが多く、他の領域に比べて最も本数が多く出現する。しかし、暗い縞と周囲の雲分布との差異はあまり明瞭でないことが多い。走向は西南西～東北東が殆どである。

1988年2月5日21UTCの例では、18UTCにCiストリークが通過してから、ほぼ同じ場所に明瞭な縞が見られている。

4) 日本海

ウラジオ沖、日本海北部、西部で、寒気移流雲域の上流付近に多い。このなかではウラジオ沖で最も多く、離岸距離の小さい、発達程度の低い積雲域に見られる(このときは寒気の吹き出しの強い時である)。

5) 四国沖

走向は東西か、西南西～東北東が殆どである。出現場所は四国の直ぐ南から、4～5度南の北緯30度付近までである。多くの場合、上層のCiの走向と大体一致している。また、出現は四国沖の狭い領域だけではなく、東シナ海と共通の位相で見られることが多い。

6) 三陸沖

上層Ciの走向と同じ場合と全く違う場合とがある。他の海域と較べて縞の数が少なく一本の場合が多い。いずれも東北地方の海岸近くから伸びていることが多い。縞の走向は東西走向、北西～南東、西南西～東北東の三種類が多い。北西～南東へ伸びる一本の縞の場合は風向と直交して、その位置がほぼ同じなので、地形の影響もあると思われる。

7) 千島列島の東海上、カムチャッカの東・アリューシャンの南海上

出現していない。(一般にはオープンセル状積雲上には縞は出現していない。カムチャッカの東・アリューシャンの南海上では移流雲は筋状の積雲列にならずにオープンセル状積雲になる。)

8) 南シナ海

出現していない。(一般には層積雲上には縞は出現していない。南シナ海では寒気移流雲は全て層積雲化している。)

IV. 考察

・寒気移流の層積雲上、オープンセル状積雲上には出現していない。これは大気の鉛直構造の違いが暗い縞の出現にクリティカルに効いていると考えられる。暗い縞が生ずるのは、筋状の積雲列とは限らず、ごく弱

い寒気移流による積雲域（例えば台湾海峡）の場合もある。

・縞の数が一定していないこと、縞と縞との間隔が一定していないこと、筋状雲と縞とがなす角がいろいろあることから、雲域の外部にその励起源があると考えられる。雲域外部から励起されて形成された波動が、冬期の逆転層を持つ積雲の雲頂付近に雲量の減少する暗い縞を短い期間維持すると考えられる。

・事例の中で縞の走向と上層の流れの走向とが同じ場合が多いこと、また、上層のCiストリークの通過後に同じ走向で出現する例がある。これらのことから、この場合は雲域の上方にその励起源がある可能性がある。

・事例3では縞発生後数時間もその位置が移動しなかった。これは済州島の地形による効果と考えられる。

V. まとめ

観測結果をまとめると、以下のようになる。

1) 出現場所：海上の弱い寒気移流雲上で、寒気移流の積雲列、或いは積雲域に現れ、オープンセル状の積雲、層積雲上には出現しない。

2) 縞の数と幅：1～数本。何本出現するかは一定していない。複数の場合、縞と縞との間隔は一定していない。幅は10～100km。

3) 移動：移動を追跡できたものでは、その殆どが上流方向で移動速度は10～30kt、流れに対しては30～50kt。

4) 縞と寒気移流の方向との関係：縞の方向と積雲列の方向との交差角は一定していないが、ほぼ直交するものが最も多い。

5) 総観的状況：寒気移流場で、逆転層が850mb付近に有る。逆転層の上は下降流場で乾燥しており、この下層は湿潤域。上空にジェット軸が有ることが多い。

6) タイムスケール：発生から消滅まで大体6時間程度。画像上では1日位継続して同じ場所に縞が観測されることがあるが、この場合も発生、消滅を繰り返している。

7) 地理的分布：東シナ海・黄海・四国沖から太平洋に最も多く、三陸沖、日本海（殆どがウラジオ沖、元山沖）にも出現する。千島列島の南東海上、オホーツク海、カムチャッカ半島の東には出現しない。南半球ではオーストラリア大陸の南海上のやはり寒気移流場に出現している可能性がある。

8) 季節的分布：海上の弱い寒気移流雲上に出現するので、発生は冬期に最も多い。一度の寒気吹き出して

みると、黄海～東シナ海に寒気が南下すると、そのどこかで少なくとも一回は発生しており、寒気移流に伴った、ありふれた現象のようである。

謝 辞

この報告をまとめるにあたって、議論と草稿の校閲をして頂いた気象衛星センター能美武功データ処理部長、解析課萩原武士課長、竹村行雄・木場博之両調査官に、また、写真作成・撮影の際、画像表示の計算機プログラムを使用させて頂いたシステム管理課の原田知幸補佐官に謝意を表す。