

赤外画像で黒く見える亜熱帯高気圧内の晴天域

Black Cloud Free Area on IR image in subtropical High

鈴木 和史*
Suzuki Kazufumi

Abstract

Cloud free area of which scale is 500~1000km is sometimes observed in subtropical High on the western Pacific Ocean from GMS. This clear area can be distinguished from other clear area in a lower brightness on IR image and is named BCFA (Black Cloud Free Area).

BCFA has an oval pattern and is surrounded by active cumulus clouds. From the analysis of the conventional data, BCFA has a structure of anticyclonic cell and the subsidental inversion layer. Comparing the precipitable water observed out of and in BCFA, it is ascertained that the dry area is visualized as BCFA on IR image.

1. はじめに

亜熱帯高気圧内は、「ひまわり」の画像で見ると一様な晴天域になっている。しかし画像を子細に観察すると、それぞれ特徴を持った小領域が存在することがある。それは同じ晴天域でも、比較的多く積雲が存在する領域と積雲がほとんど存在しない領域である。一般的には、亜熱帯高気圧内は暖湿な気塊による条件付不安定のため積雲が発生しやすいが、時として雲のほとんどない晴天域が現れることがある。この雲のほとんどない晴天域は、多くの積雲が存在する晴天域に比べて、可視画像で識別できるだけでなく、赤外画像でも「より黒い」領域として認識できる。つまり他の晴天域より温度が高く観測される。

ここでは、赤外画像で輝度が低いため黒く見える晴天域を「黒い晴天域」と名付け、構造や成因を調査する。

2. 画像上での特徴

「黒い晴天域」は、「ひまわり」では北緯30度以南の太平洋上で観測されるが、それに類した現象の報告例はない。気象衛星センターでは、1987年3月から北半

球毎時観測を行っており、画像をVTRに録画し動画として繰り返し見ることができるようになった。この種の現象が比較的容易に検出できるようになった。

1988年のVTR画像から見た「黒い晴天域」の特徴を列記する。

(1) 出現頻度

1~3月は、見られなかった。4月から出現しはじめ、頻度は月1~2回である。

(2) 出現範囲

太平洋高気圧内の東風領域に現れる。

(3) 形状

形状は卵形あるいは半月形をして、周囲はやや活発な積雲に縁どられていることが多い。移動中その形状はほとんど変化しない。スケールは500kmから1000kmで、偏東風に流される。

3. 「黒い晴天域」の解析とその構造

「黒い晴天域」について衛星画像、地上観測、高層観測データを用いてその構造を調べる。1988年5月15日から18日を例として取り上げる。この例は非常に明瞭な「黒い晴天域」が出現し、数少ない海上の観測点である南鳥島、父島を通過したものである。

*気象衛星センター解析課

(1) 衛星画像による経過

初めに、可視画像により「黒い晴天域」の経過を観察する。

15日00UTC (Fig.1-a)、「黒い晴天域」の発生期で32N172Eと20N165Eを結ぶ線を長軸とする卵形の雲の少ない晴天域が形成されている。

16日00UTC (Fig.2-a)、「黒い晴天域」は形をあまり変えず東進している。「黒い晴天域」内の雲はほとんどなくなり、外縁に積雲がとぎれながら続いている。南側の積雲列が活発である。

17日00UTC (Fig.3-a)、「黒い晴天域」が最も明瞭になった時期である。外縁の積雲列・雲のない晴天域がはっきりわかる。形状は前日とほとんど変わっていない。

18日00UTC (Fig.4-a)、「黒い晴天域」は不明瞭になり始めた。内側の晴天域には依然雲はないが、外縁の積雲は弱まってきた。

ルーチンのFAX画像作成で使用している階調変換テーブル(気象衛星センター、1988)を用いた赤外画像は、「黒い晴天域」のように温度差が数度の現象は判別しにくい。Fig.1-b~Fig.4-bの赤外画像は、特に15°C~30°Cの範囲を強調した階調変換テーブルを用い、「黒い晴天域」を識別しやすくしている。この赤外強調画像で「黒い晴天域」の経過を観察する。

15日 (Fig.1-b)、20N165Eから30N170Eを長軸とする卵形の「黒い」領域を発生している。

16日 (Fig.2-b)、前日より領域を広げ東進しているのがわかる。進行頭部の20N158E付近で「黒さ」を増し、「黒い晴天域」が明瞭になり始めた。

17日 (Fig.3-b)、前日と形状や大きさは変わらないが、まわりとのコントラストが明瞭で期間中最も「発達」した時期である。

18日 (Fig.4-b)、輝度のコントラストは変わらないが、外縁はくずれてきた。

19日(写真略)、「黒い晴天域」は中緯度の低気圧に伴う雲域に吸収されて消滅した。

こうした「黒い晴天域」の外縁の移動を示したのがFig.5である。移動速度は約20KTで東進し、これはほぼ850mbから700mbの平均風に対応する。外縁の南側は北側に比べ動きが速く、全体としては時計まわりに回転している。外縁の積雲は、南側の部分が北側よりやや活発である。

(2) 地上観測による経過

「黒い晴天域」の内と外における気象状態を調べる

ため、「黒い晴天域」が通過した父島と南鳥島の天気経過をFig.6に示す。

南鳥島では、「黒い晴天域」への「入」は5月17日18Z、「黒い晴天域」からの「出」は5月18日15Zである。この間、雲量に大きな変化はなく晴天が続いているが、「入」の前に現れていた中層雲が消えて下層雲だけになったのが特徴的である。「出」にあたる18日18Zから19日00Zに降水があり雲量が増加している。「入」の時風向はESEからSSEに、「出」の時SSEからSSWへと変化し、風向は順転している。気温や露点温度は日変化が卓越しており、「入」や「出」に関係した顕著な変化はない。

「入」と「出」の時に中層雲が現れたり降水を伴い、「内」では雲量の少ない晴天という天気経過は、積雲に囲まれた「黒い晴天域」の構造を反映している。風向の変化は、南鳥島の南側を高気圧セルが通過したことを示唆する。

父島では、「黒い晴天域」への「入」は18日09Zである。その後「黒い晴天域」が消滅したため「出」は不明だが、19日18Zまでは「黒い晴天域」の内であったことは画像から確認できる。「入」の前には雨が続けていたが、「入」の後には雨が止み雲量もしだいに減少して晴天となった。「入」の前に悪天その後晴天という経過は、南鳥島と同様である。風向の変化は南鳥島ほど明瞭でなく、気温や露点温度も日変化し「黒い晴天域」に伴う変化は見られない。

(3) 高層観測の経過

Fig.7に高層観測データの時間断面を示す。

風の変化をみる。南鳥島では、600mbより下層で時間の経過に伴い風向の順転が見られる。父島は地上での風向の変化は明瞭ではなかったが、1000mbから800mbにかけての層では、時間経過に伴い風向の順転が明瞭に現れている。

気温や露点温度の変化を比べる。南鳥島では「黒い晴天域」内にあった18日00Zと18日12Zには、850mbから500mbにかけて非常に乾燥した気層となっており、顕著な沈降性逆転を示している。外にあった17日12Zや19日00Zは、全層にわたって非常に湿っている。父島でも同様に、「黒い晴天域」内では中下層に顕著な乾燥層を持つ沈降性逆転、外では全層にわたって非常に湿った状態を示している。このように「黒い晴天域」の内と外では大気の成層に際立った違いが認められた。

Fig.8は「黒い晴天域」が期間中ほぼ同じ形状を維持

していたことから、大気構造の定常を仮定し時間空間変換を行って得た風の水平分布である。その方法は、各時刻の「黒い晴天域」に相対的な各観測点（父島、南鳥島、グアム）の850mbの風のデータを、5月17日00Zの「黒い晴天域」に対応した位置に変換してプロットしたものである。この図では「黒い晴天域」の内でSE風系、外でSW風系で明らかに風向の違いが認められる。「黒い晴天域」の外縁を構成する積雲は、このシャープラインに沿って形成維持されていたと考えられる。

4. 赤外画像上での「黒さ」の考察

赤外画像で晴天域が黒く見えるのは、晴天域を通した海面からの放射温度が周囲に比べ高く観測されるからである。海面水温は「黒い晴天域」が通過する程度の時間スケールでは変動しないので、赤外画像上でのこの温度差は放射吸収の差と考えられる。

長波放射の主な吸収物質に、水蒸気がある。観測点と測器との間に多量の水蒸気が存在すると、観測点からの放射エネルギーは水蒸気に吸収され、到達するエネルギー量は減少する。即ち実際より温度が低く観測されることになる。大気中には他にも炭酸ガス、オゾン、エアロゾルなどの吸収物質があるが、水蒸気に比べると吸収量は一桁小さいといわれている（井上、1979）。今回の例について、水蒸気吸収の立場から「黒い晴天域」の内と外の温度差を見積もってみる。

大気減衰の補正量 ΔT を簡便に求める経験式として次式を用いる（阿部、1979）。

$$\Delta T = \sec \theta * (0.189 * w + (1 - 1400 / ((310 - TBB)^2 + 1400)) * 4)$$

θ : 衛星天頂角

w : 水蒸気量（可降水量；mm）

TBB : 観測輝度温度（K）

Fig. 9は、20N150Eを中心とした6°×6°の領域（格子間隔が0.1°で61×61の格子で構成される）について、5月15日から18日の温度ヒストグラムを求めたものである。「黒い晴天域」はこの領域を通過しているので、「黒い晴天域」の内と外での海面水温を求めることができる。外の例として15日00Z、内の例として17日00Zをとりあげた。いずれの日も対象領域内は晴天で雲が少なく、赤外データでは海面水温を観測したことになる。

海面水温としてヒストグラムで15°C以上の平均値をとると、「黒い晴天域」の外では17.6°C、内では20.2°Cの温度差となる。また、17日00Zは「黒い晴天域」の外

の領域も含んでいるため2つのモードを持つ。それぞれのモード値が内と外の海面水温を表しているとする、温度差は4°Cになる。平均値やモード値から、「黒い晴天域」の内と外の温度差は3~4°Cであると推定される。

水蒸気量を見積もるため可降水量を計算する。「黒い晴天域」の外として5月16日12Zの南鳥島の観測値を用いると、可降水量は41mmになる。「黒い晴天域」の内として5月18日00Zの南鳥島の観測値を用いると、可降水量は26mmになる。天頂角20度、TBB290Kを与えると、水蒸気吸収による温度補正値は外内でそれぞれ8.1°C、5.5°Cである。これら補正値の温度差は2.6°Cになり、「黒い晴天域」内外の温度差にほぼ等しい。「黒い晴天域」は、水蒸気量の違いが赤外画像で黒く可視化されたものであることがわかる。

5. 「黒い晴天域」の成因

Zipser (1969) は、東太平洋で「黒い晴天域」に類似した現象を報告している。彼は地上実況の詳細な解析から、内側が晴天域で外縁は楕円形の繋がりを持つ積雲列の存在を示した。そのモデルによると、発達した積乱雲から吹き出す下降流の先端付近で収束が起き、積雲列が生成される。下降流は偏東風で流れ広がっていくので、下降流の先端を示す積雲列は、積乱雲を点源として風下側に広がっていく。そしてその内側は晴天域になるというメカニズムである。

「黒い晴天域」の場合は、点源となる積乱雲はさかのぼって画像を探しても見つからないこと、晴天域の領域も大きく時間的にも変化しなかったなど、Zipserのメカニズムとは異なる。また、沈降性逆転の存在や風向の順転は、高気圧セルの特徴である。

「黒い晴天域」の成因としては、次のように考えられる。太平洋高気圧の中で小規模な高気圧セルが発生し、乾燥した下降流のため雲が消散して晴天域が広がる。「黒い晴天域」の外縁を形づくる積雲は、高気圧セルの下降流と一般流とのシアライン上に形成される。積雲列が Zipser の例ほど活発でないのは、積乱雲に比べるとスケールの大きな高気圧セルのため下降流が弱く、従ってシアラインの収束が小さくなるからである。大きな高気圧の中に小スケールの高気圧セルを考えた時（Fig. 10に模式図を示す）、収束が強くなるのは高気圧セルの南側である。これは高気圧セルの南側の積雲が活発であった観測事実と一致する。

6. まとめ

「黒い晴天域」(赤外面像で周囲より黒く見える晴天域)は、次の特徴を持つ。

- 可視画像では、雲がほとんどない晴天域で、外縁は積雲に囲まれている。
- 「黒い晴天域」を通して観測した海面水温は、周りより3～4°C温度が高く観測される。
- 850mbに沈降性逆転を持ち、500mbにかけて顕著な乾燥層を持つ。

可降水量から水蒸気吸収を見積もった結果、「黒い晴天域」は、水蒸気量の少ない領域が赤外面像で可視化されたものであることがわかった。「黒い晴天域」は、亜熱帯高気圧内に発生した500km～1000kmのスケールを持つ高気圧セルの下降流により形成されたと考えられる。

謝辞

赤外強調画像は原田知幸技術専門官のプログラムを、高層観測の時間断面図は伊藤秀喜技術専門官のプログラムを、それぞれ借用して作成した。謝意を表する。

参考文献

- 阿部勝宏、山本孝二、1979：静止気象衛星“ひまわり”の赤外放射データによる海面水温の算出、天気、26、493-507。
- 井上豊志郎、1979：大気補正、GMSシステム総合報告 II データ処理解説編その2、7-14
- 気象衛星センター、1988：雲画像、気象衛星資料利用の手引き、49-65。
- Zipser, E., 1969: The role of organized unsaturated convective downdrafts in the structure and rapid decay of an equatorial disturbance, J. Appl. Meteor, 8, 799-814.

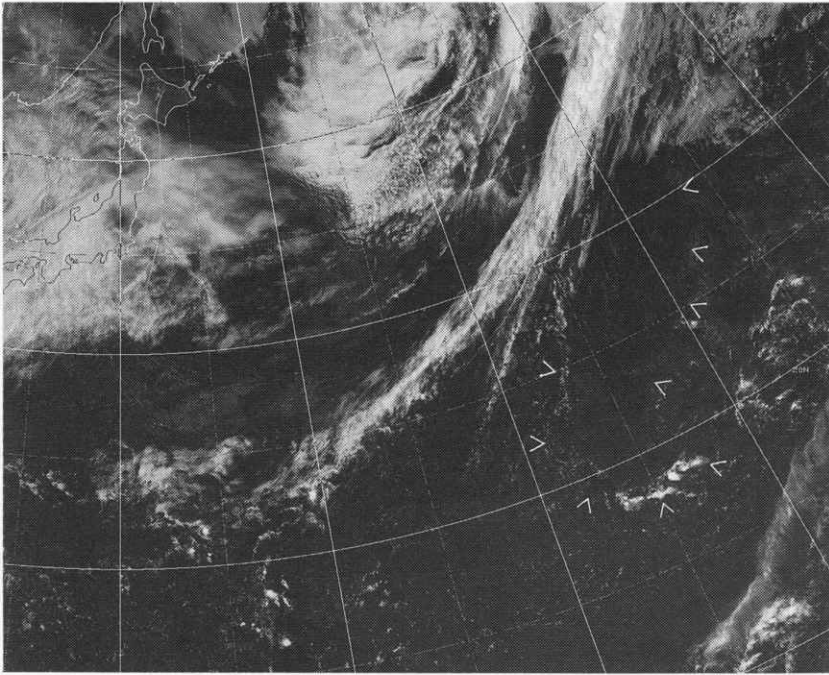


Fig.1-a 1988 MAY 15 00UTC Visible image. Symbol V denotes the outline of BCFA.

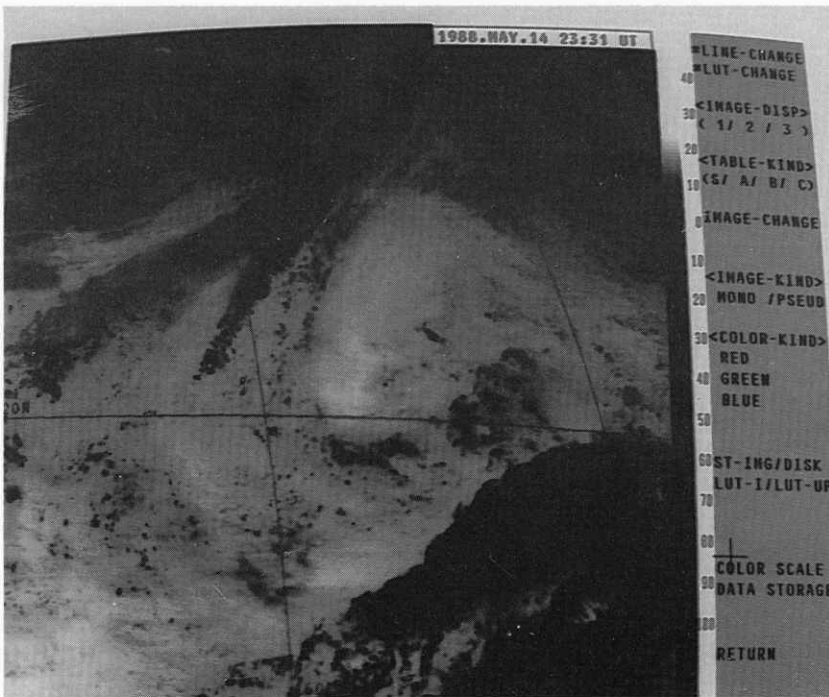


Fig.1-b 1988 MAY 15 00UTC Enhanced IR image.

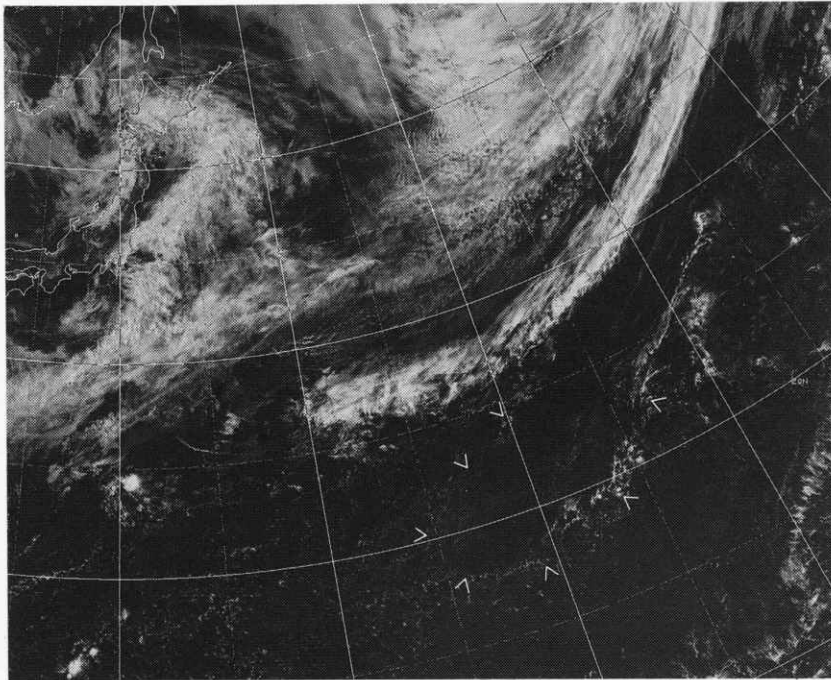


Fig.2-a 1988 MAY 16 00UTC Visible image. Symbol V denotes the outline of BCFA.

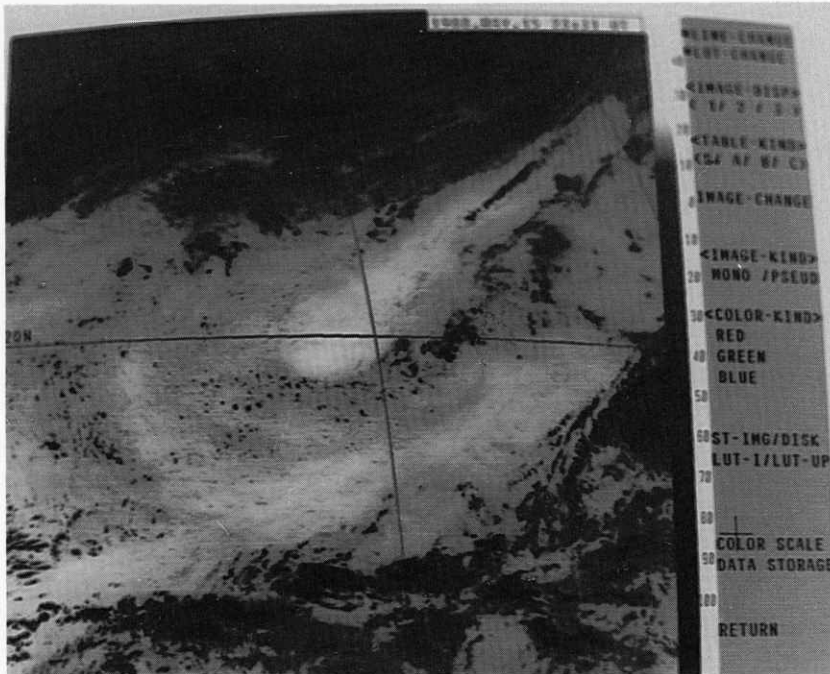


Fig.2-b 1988 MAY 16 00UTC Enhanced IR image.

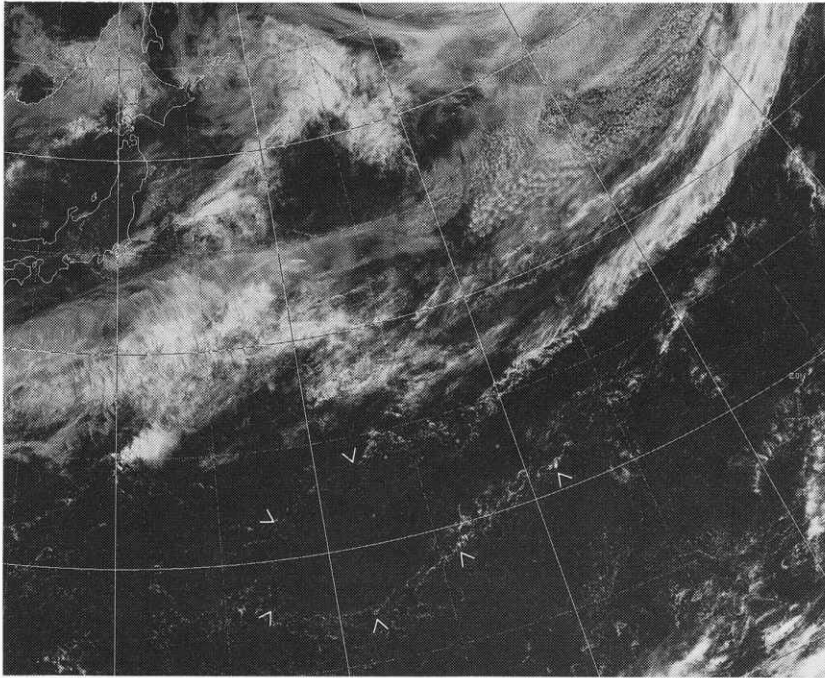


Fig.3-a 1988 MAY 17 00UTC Visible image. Symbol V denotes the outline of BCFA.

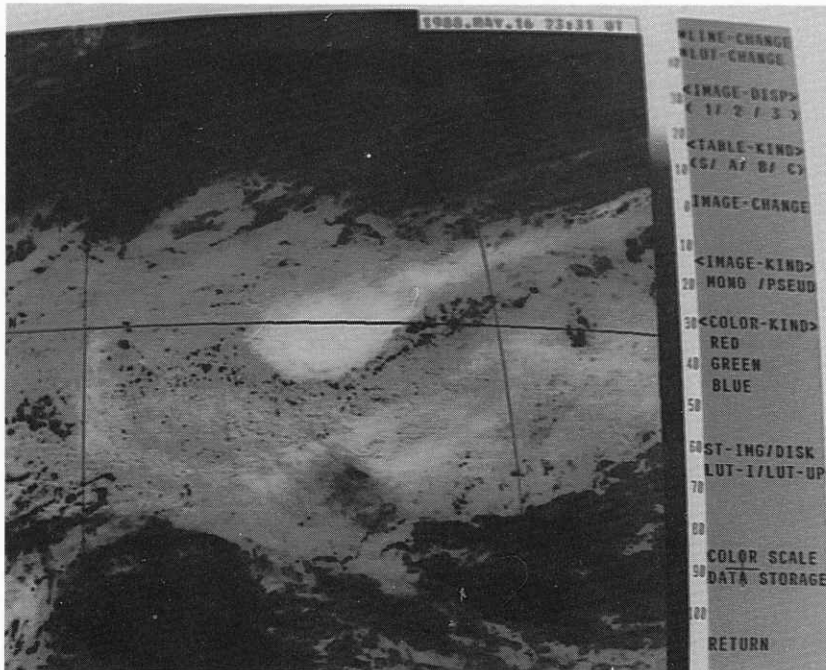


Fig.3-b 1988 MAY 17 00UTC Enhanced IR image.

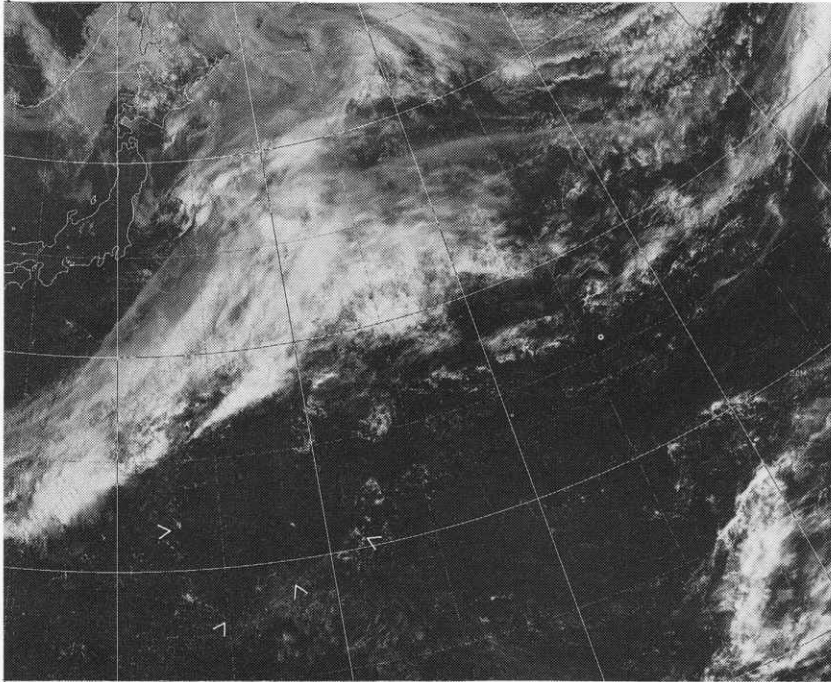


Fig.4-a 1988 MAY 18 00UTC Visible image. Symbol V denotes the outline of BCFA.

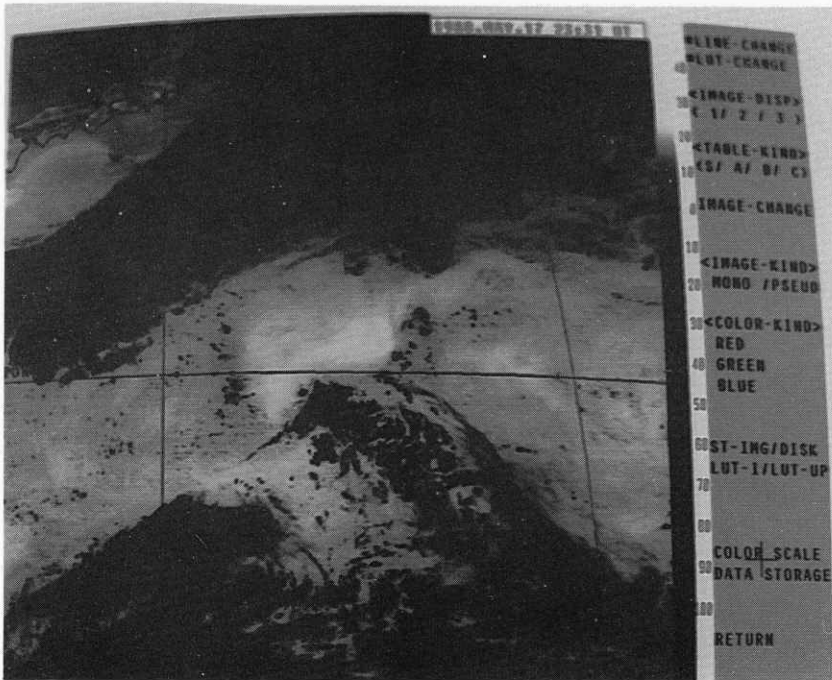


Fig.4-b 1988 MAY 18 00UTC Enhanced IR image.

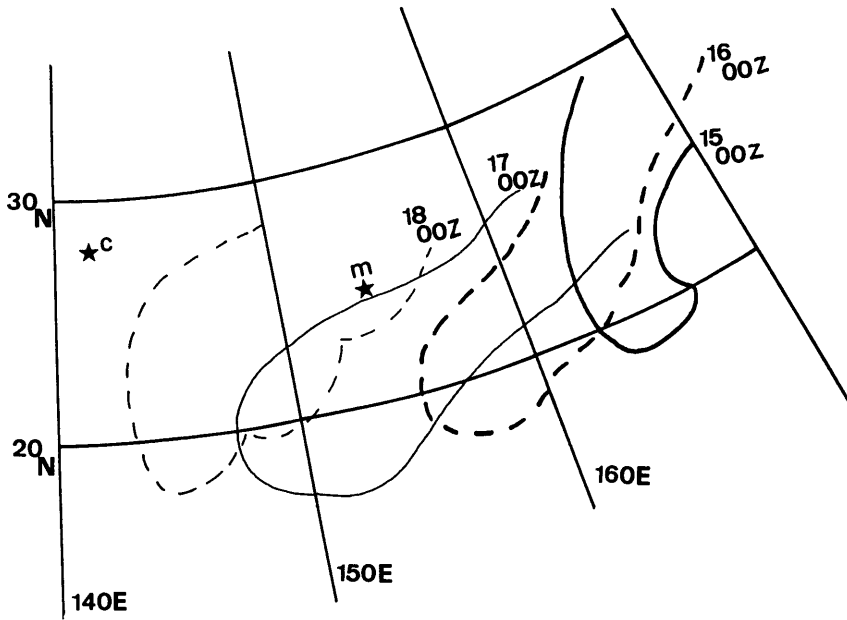


Fig.5 Time sequence of the outline of BCFA. ★ shows the locations of Minamitorishima(m) and Chichijima(c).

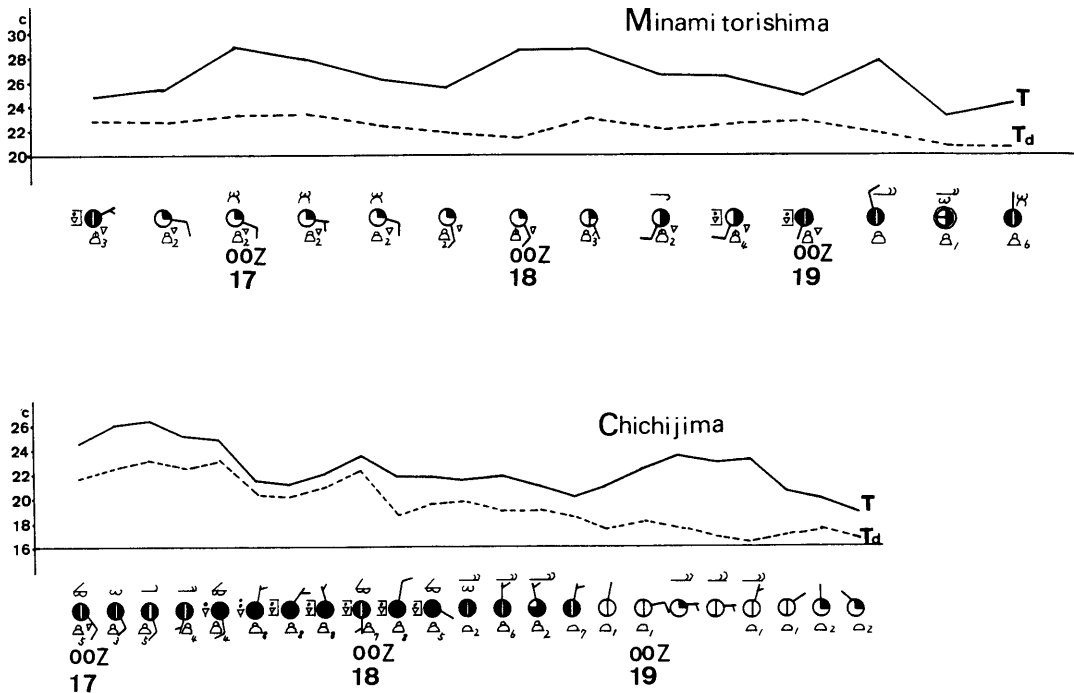


Fig.6 Time series of surface synoptic reports at Minamitorishima and Chichijima. Solid Lines and broken Lines show surface temperatur and dew-point temperature respectively.

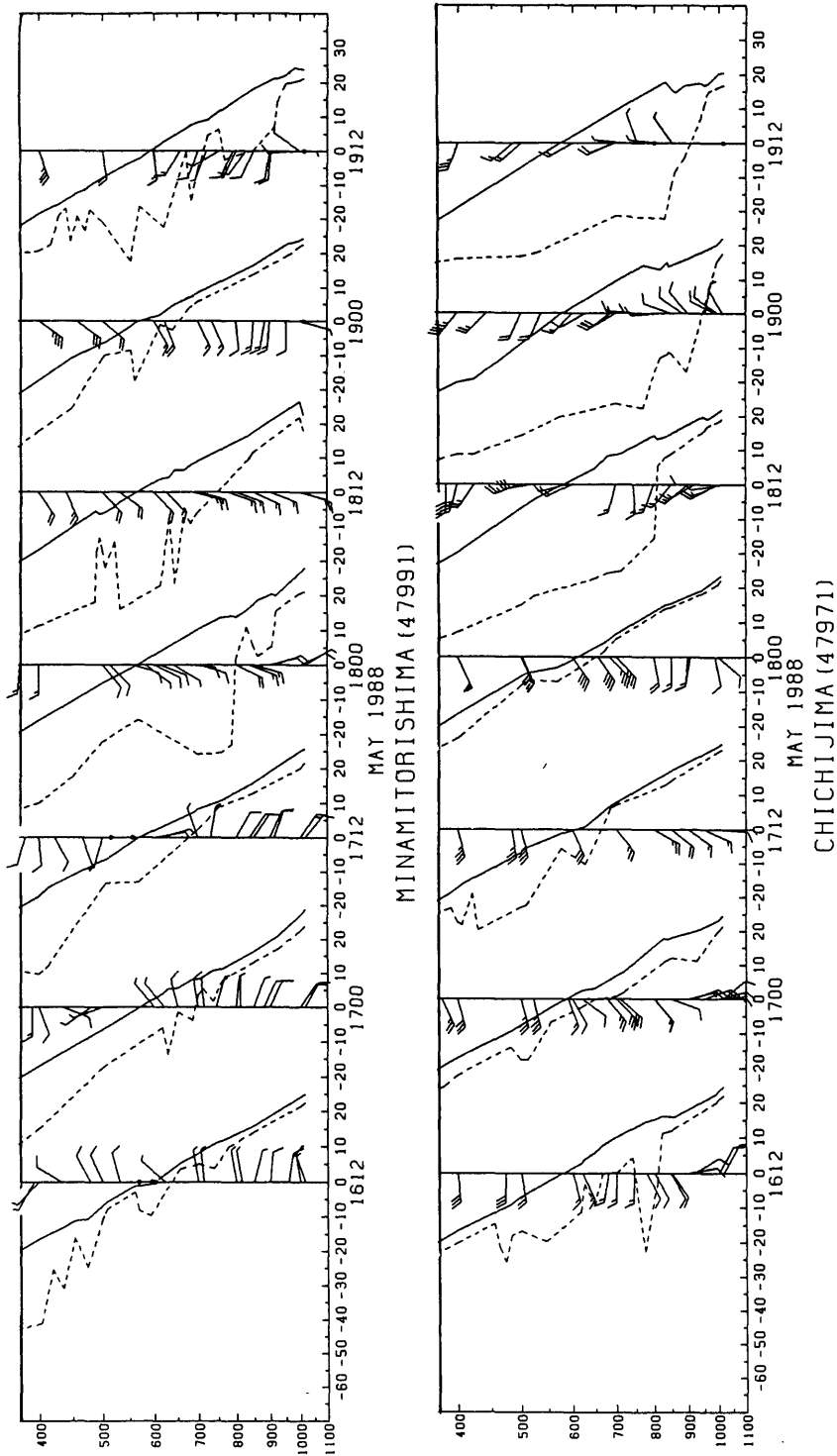


Fig.7 Vertical time section of upper winds, temperature and dew-point temperature at Minamitorishima and Chichijima.

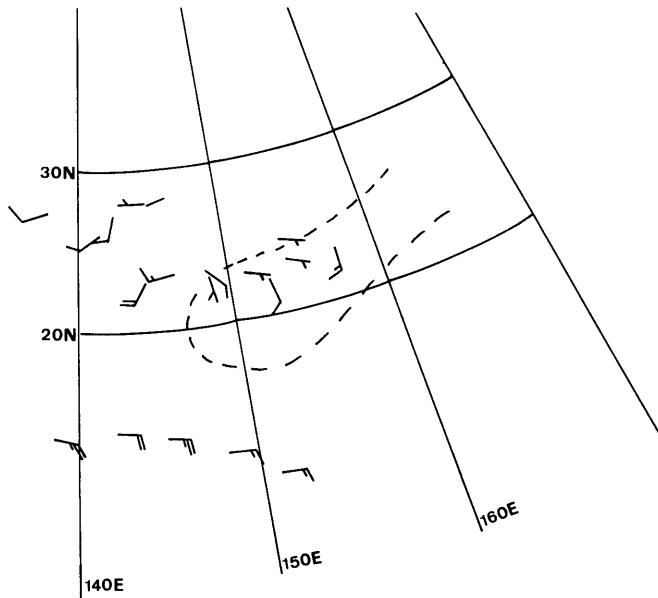


Fig.8 850mb wind distribution relative to the outline of BCFA at MAY 17 00 UTC. Wind data are observed at Guam, Minamitorishima and Chichijima during the period from 00UTC 17 MAY to 00UTC 19 MAY 1988.

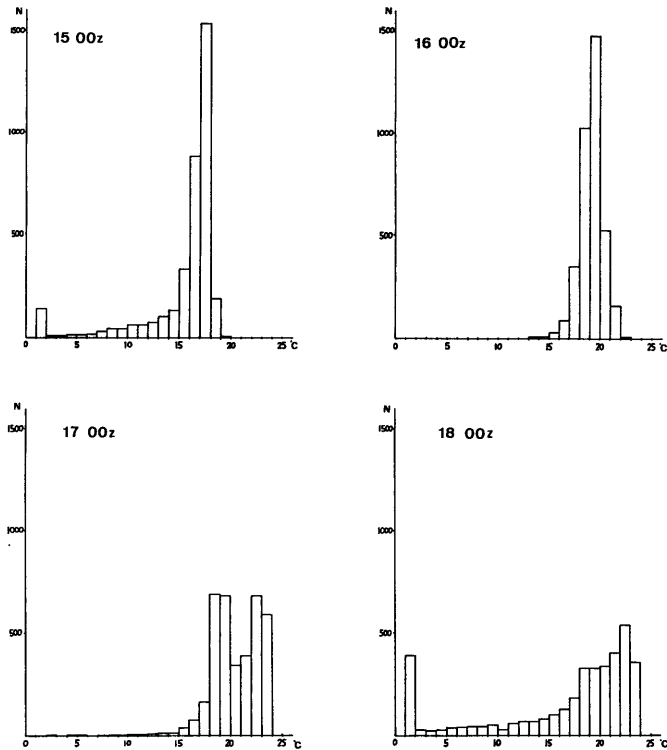


Fig.9 TBB histograms in the box of 6° lat. × 6° lon. centered on 20N 150E.

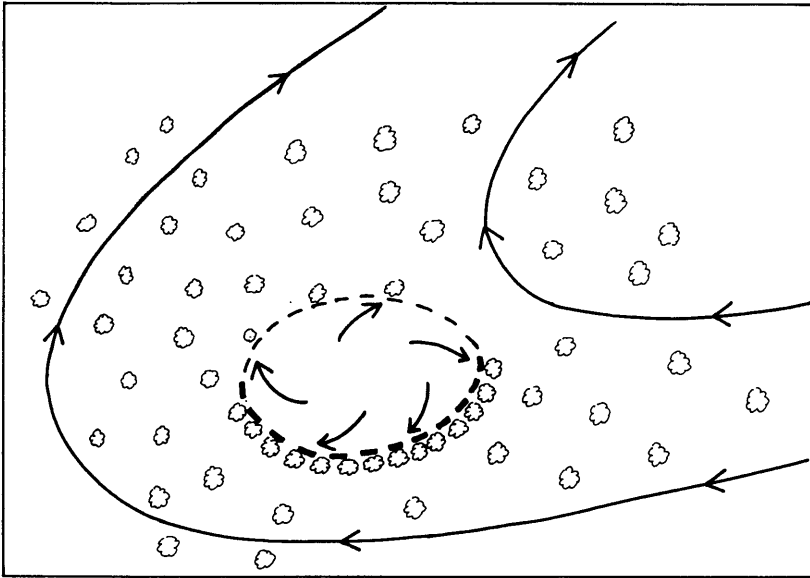


Fig. 10 Schematic chart of BCFA. Arrows, broken lines and scallops show outline of BCFA, convergence line and cumulus clouds respectively. Thick broken lines represent stronger convergence than thin broken lines.