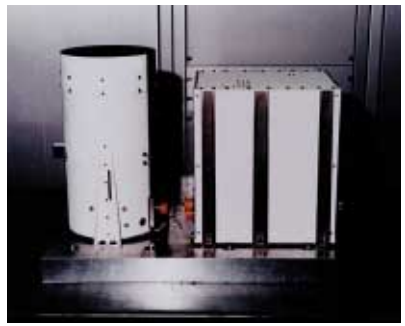


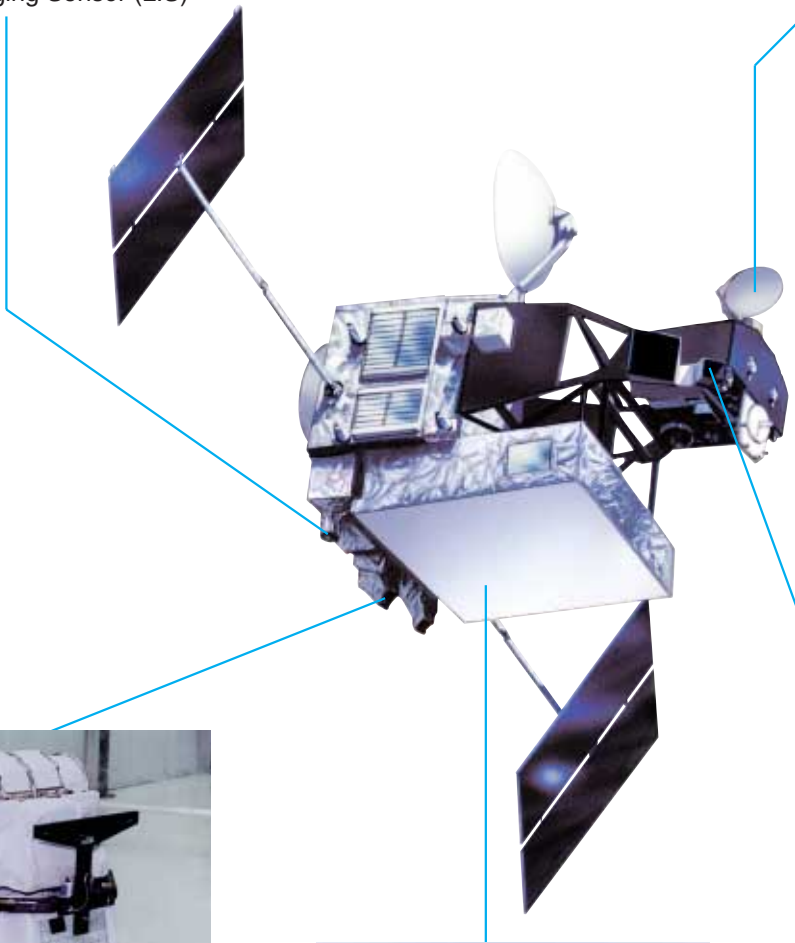
TRMM Instruments



Lightning Imaging Sensor (LIS)



TRMM Microwave Imager (TMI)



Clouds and the Earth's Radiation Energy System (CERES)



Visible Infrared Scanner (VIRS)



Precipitation Radar (PR)

センサ主要諸元 SENSOR Main Characteristics

センサ SENSOR	開発機関 Development Organization	観測目的 Objectives of Measurement	主要性能 Parameter / Value
PR 降雨レーダ Precipitation Radar	宇宙開発事業団 NASDA 通信総合研究所 CRL	降雨の3次元構造 3-D rainfall profile 海洋/陸域上の降雨量 Quantitative rainfall measurement over ocean and land	観測周波数 Observation Frequency 13.796 & 13.802 GHz 観測幅 Swath Width 215km 距離分解能 Range Resolution 250m 水平分解能 Horizontal Resolution 4.3km
TMI TRMMマイクロ 波観測装置 TRMM Microwave Imager	米航空宇宙局／ゴ ダード宇宙飛行セン ター NASA-GSFC	海洋上の降雨強度 Rain rate over ocean	観測周波数 Observation Frequency 10.7 & 19.4 & 21.3 & 37.0 & 85.5GHz 観測幅 Swath Width 790km 水平分解能 Horizontal Resolution 38.3 & 18.4 & 16.5 & 9.7 & 4.4 km
VIRS 可視赤外観測 装置 Visible Infrared Scanner	米航空宇宙局／ゴ ダード宇宙飛行セン ター NASA-GSFC	雲分布 Cloud distribution	観測バンド Observation Band 0.63 & 1.6 & 3.75 & 10.8 & 12.0 μm 観測幅 Swath Width 720km 水平分解能 Horizontal Resolution 2km
CERES 雲及び地球放 射エネルギー観 測装置 Clouds and Earth's Radiant Energy System	米航空宇宙局／ラ ングレー研究センタ ー NASA-LARC	大気放射エネルギー Atmospheric radiation energy	観測バンド Observation Band 0.3~5 & 8~12 & 0.3~50 μm 観測幅 Swath Width 全地球 Full Earth 水平分解能 Horizontal Resolution 25km
LIS 雷観測装置 Lightning Imaging Sensor	米航空宇宙局／マ ーシャル宇宙飛行セ ンター NASA-MSFC	雷分布 Lightning distribution	観測バンド Observation Band 0.7774μm 観測幅 Swath Width 600km 水平分解能 Horizontal Resolution 4km

TRMM Launch

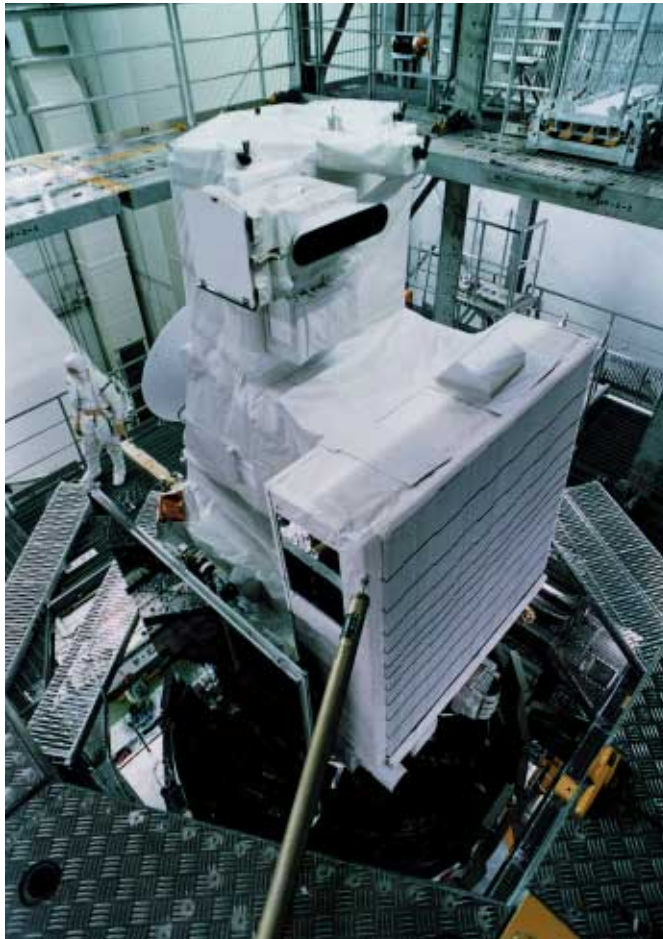


Fig.1 Mating the lower fairing with TRMM



Fig.2 TRMM lifts off on board H-II Launch Vehicle No.6

TRMM衛星のフェアリングへの取付

TRMM衛星は1997年8月21日NASA（米国）から輸送機C-5a“ギャラクシー”で鹿児島空港へ到着し、23日に種子島宇宙センターへ運ばれました。射場での最終テスト終了後、11月6日、TRMM衛星本体は技術試験衛星VII型（ETS-VII）が収納されている下部衛星フェアリングの上に取り付けられました。

TRMM搭載H-IIロケット6号機の打上げ

1997年11月28日午前6時27分（日本時間）、宇宙開発事業団は熱帯降雨観測衛星（TRMM）と技術試験衛星VII型（ETS-VII）を搭載したH-IIロケット6号機の打上げに成功しました。TRMM衛星は打上げ14分12秒後に分離され、その後所定の軌道に投入されたことが確認されました。

Mating the lower fairing with TRMM

TRMM observatory arrived at Kagoshima Airport, Japan, from NASA by a C-5a Galaxy on Aug. 21, 1997 and was shipped to Tanegashima Space Center, NASDA on Aug. 23, 1997. After final tests at the launch site, the TRMM observatory was mated with the top of the lower fairing in which ETS-VII was installed on Nov. 6.

TRMM lifts off on board H-II Launch Vehicle No. 6

On November 28, 1997 at 6:27 a.m. (JST), NASDA successfully launched TRMM and ETS-VII on board the H-II Launch Vehicle Flight No.6 from the Tanegashima Space Center. TRMM separated 14 minutes and 12 seconds after liftoff, and it was confirmed to have been placed in its predetermined orbit.



Tropical Rainfall Measuring Mission

First Images : December 8, 1997



TRMM Microwave Imager (TMI) 2-day (DEC. 7&8) composite. Image is a 3-channel combination to highlight cold temperatures (bright yellow) found in many tropical storms. White rectangle identifies Cyclone Pam.

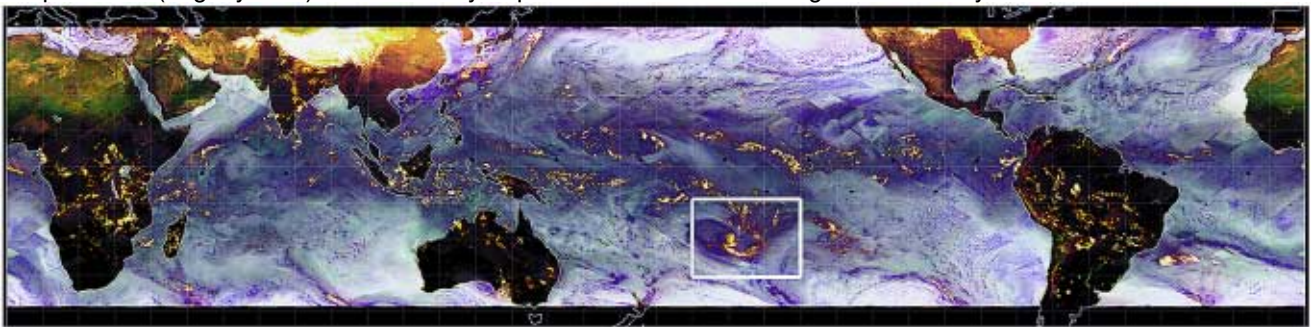


Fig.1

Precipitation Radar (PR) showing rainfall for Cyclone Pam 2.0km. above surface. Cloud image from GOES-09.

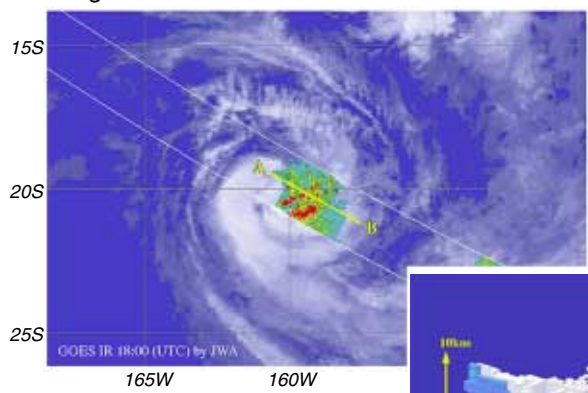


Fig.2

TRMM Microwave Imager (TMI) 85 GHz, horizontally polarized brightness temperature close-up of Cyclone Pam.

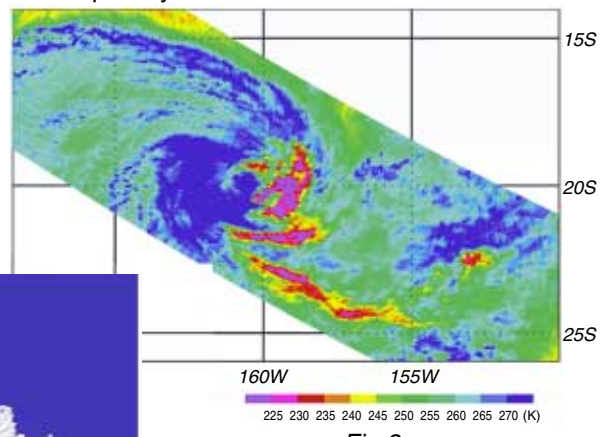


Fig.3

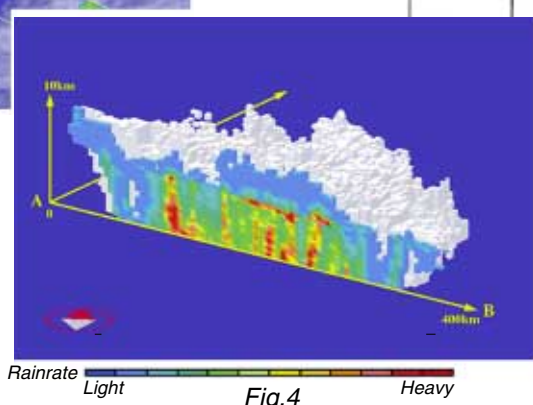


Fig.4

3-Dimensional Cross-section of Rainfall from PR Corresponding to Cyclone Pam

Lightning as seen by the TRMM Lightning Imaging Sensor (LIS)

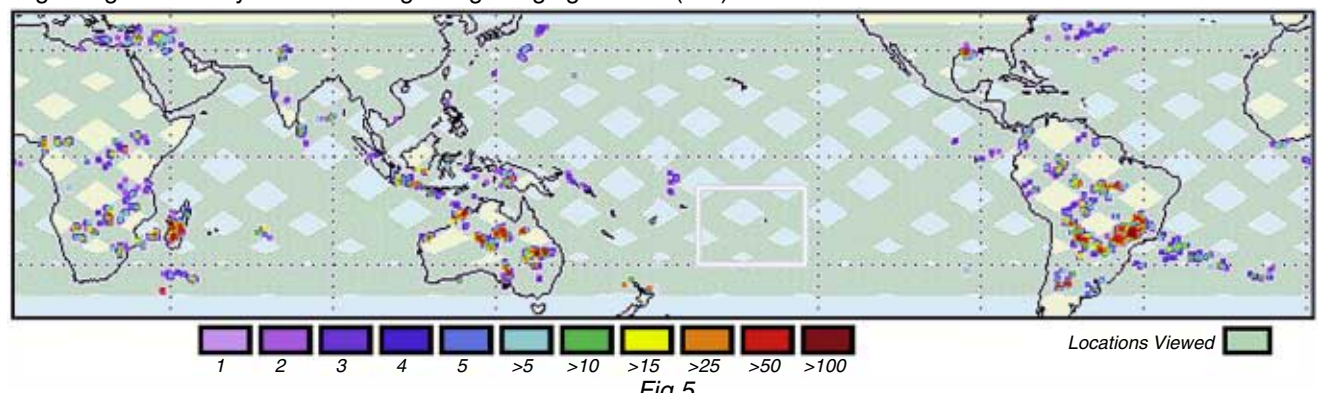


Fig.5

Tropical Cyclone Pam was captured by TRMM in the southern Pacific on the 2nd day of operations for the TRMM Precipitation Radar. Despite the distinctive spiral features seen in the GOES IR, the non-symmetric rainfall pattern about the eye seen in both the PR and TMI indicates that this cyclone is not well organized. No lightning was detected in connection with the cyclone.

熱帯降雨観測衛星(TRMM) 初画像:1997年12月8日(世界時)

サイクロン・パムは、降雨レーダ(PR)の観測開始より2日目に南太平洋で観測されました。米国静止気象衛星GOES 9号(赤外)では、サイクロン特有のうずまき構造が観測されているにもかかわらず、PRとTRMMマイクロ波観測装置(TMI)ではサイクロンの目に対して非対称な降雨パターンが観測されています。これは、このサイクロンが衰退期にあるためです。また、このサイクロンに伴う雷は観測されませんでした。

図1は、TMIによる2日間(12月7日、8日)の合成画像です。画像は、19GHzの垂直、85GHzの水平、垂直偏波の情報をカラー合成したものです。海上の白黄色の部分は雲の中の氷晶等の存在による低温域で、降水の強い領域に対応しています。また、海上の白色部分は大気が乾燥していることを示し、暗い色ほど水蒸気や雲が多いことを表しています。ヒマラヤや北米大陸などの特に明るい部分は地表の温度が低いか、もしくは積雪のあるところを示しています。

図2は、PRにより観測されたサイクロン・パムの高度2.0kmで降っている雨の強さを示しています。雲画像は米国静止気象衛星GOES 9号(赤外)によるものです。

図3は、TMIにより周波数85GHzの水平偏波を観測して得られた、サイクロン・パムの輝度温度の分布を示しています。

図4は、PRにより観測された降雨の3次元構造です。図2のA-Bにおける鉛直断面を示しています。

図5は、雷観測装置(LIS)により観測された雷の発生頻度分布(12月7日、8日の合成画像)です。LISで雷放電の確認できる位置と、TMI観測で温度が低く氷晶等の存在が期待できる位置とが一致していることが確認できます。また、日本、ニューヨーク州沖、地中海東部の冬季における雷の多発地帯での雷が明瞭に観測されています。



Rain over Argentina (VIRS, TMI, PR)

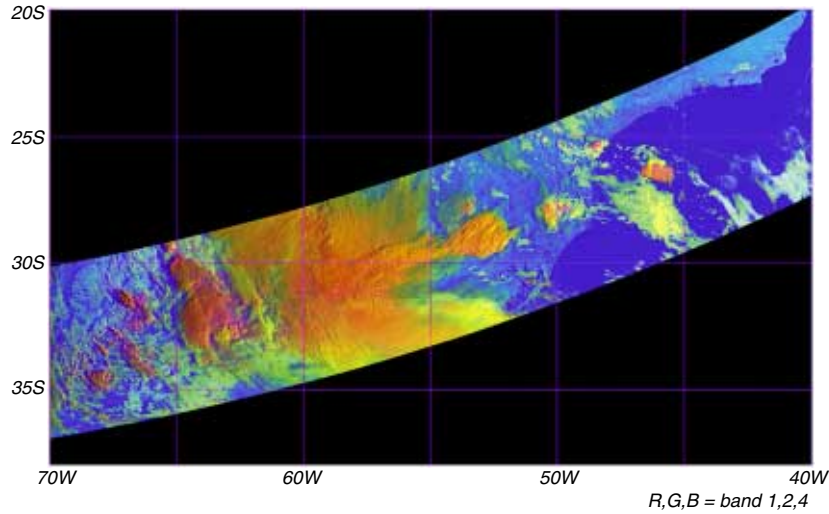


Fig.1 VIRS: RGB color composite

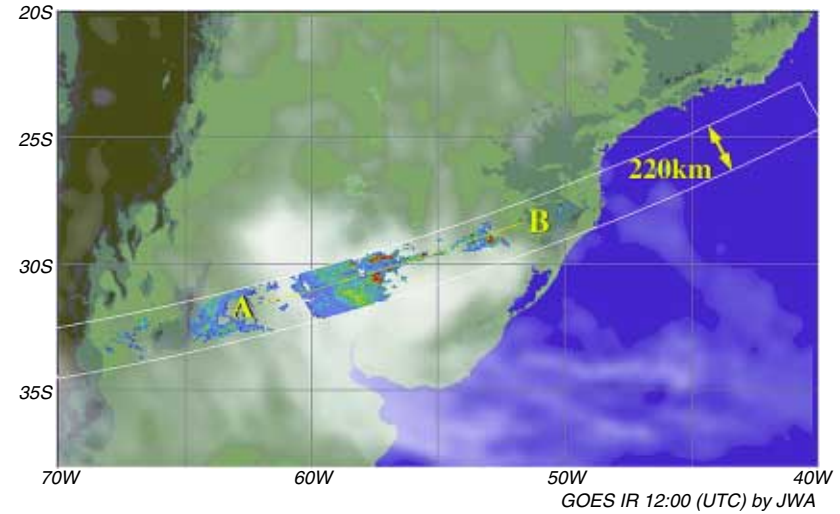


Fig.3 PR: Horizontal Cross Section of Rain at 2.0km Height

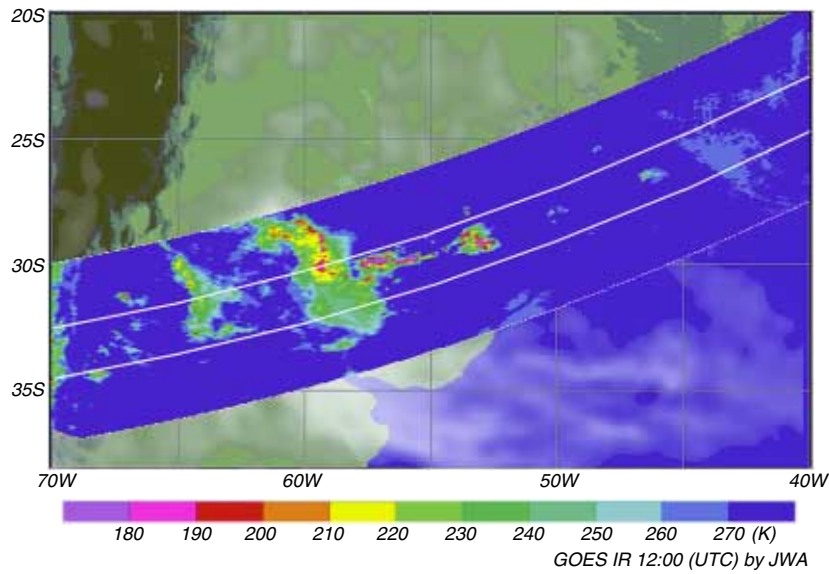


Fig.2 TMI: 85GHz V-POL. Brightness Temperature

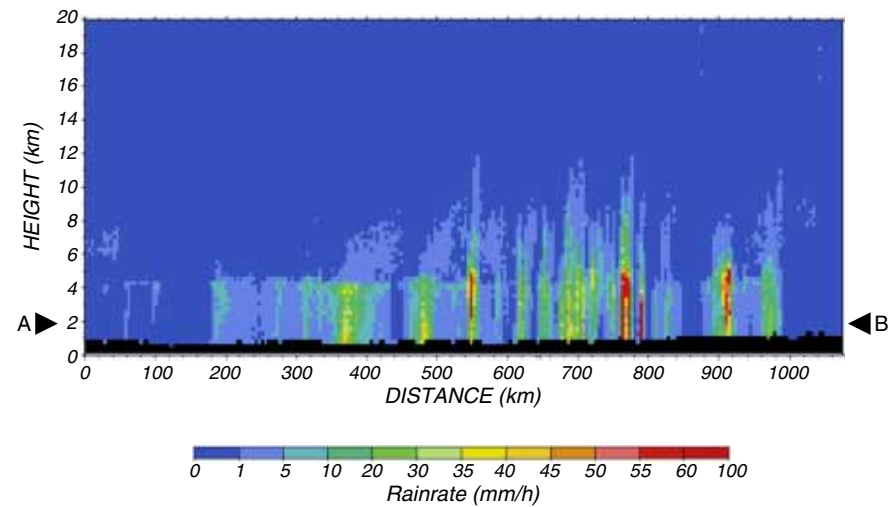


Fig.4 PR: Vertical Cross Section

アルゼンチンの降雨 (VIRS, TMI, PR)

この図は1998年12月20日10:40~10:48頃のアルゼンチン北部からウルグアイにかけての降雨を、可視赤外観測装置 (VIRS)、TRMMマイクロ波放射観測装置 (TMI)、降雨レーダ (PR) が同時に観測した画像です。図1はVIRSのCh1 (可視) に赤、Ch2 (近赤外) に緑、Ch4 (赤外) に青を振り分けて合成した画像、図2はTMIの周波数85GHzの垂直偏波による輝度温度の分布、図3、4はPRの高度2.0kmの水平断面と線A-Bに沿った垂直断面です。

図1で、上層にある光学的に厚い雲はCh1の反射率が大きく、温度が低いために、赤系統の色に見えます。図3から、それに対応する領域で雨が降っていることが確認できます。図4より、下層の降雨が強い領域では、その上層にまで降雨が発達していることがわかります。一般に、高く発達した降雨の上層には氷晶等が存在しています。その氷晶等によるマイクロ波の散乱により、図2では、輝度温度が低下していることがわかります。

このように3つのセンサで同時に観測することによって、雲の中で起きている降雨のプロセスと降雨の特徴を把握することが出来ます。

Rain over Argentina (VIRS, TMI, PR)

These images are simultaneous images of rain over northern Argentina and Uruguay from the Visible Infrared Scanner (VIRS), TRMM Microwave Imager (TMI) and Precipitation Radar (PR) from 10:40 to 10:48 on Feb. 20, 1998 (UT). Figure 1 is a color-composite RGB image of channels 1 (visible), 2 (near infrared) and 4 (infrared) (for red, green and blue respectively) observed by VIRS. Figure 2 shows the 85GHz, vertically polarized brightness temperature observed by TMI. Figure 3 shows the horizontal cross section of rain at 2.0km height. Figure 4 shows the vertical cross section of rain along the line AB in Fig. 3.

Optically thicker clouds at the upper layers are reddish in Fig. 1 because of the high reflectivity of ch 1 and their low temperature. Figure 3 shows that rainfall was observed in these areas. It is clear in Fig. 4 that the heavy rain developed in the layers above the heavy rain which was in the lower layers. Generally, there were ice crystals over the rain which developed at high altitudes. The brightness temperature in Fig. 2 decreased due to microwave scattering caused by these ice crystals.

In this way, the rainfall process in the clouds and the characteristics of rainfall will be revealed by the simultaneous measurement by these three sensors.



VIRS Images

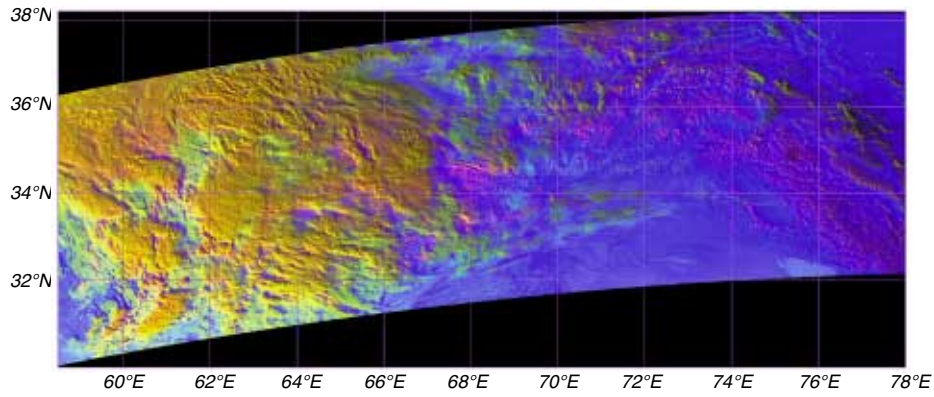


Fig.1 Color composite RGB Image (Tibetan Plateau)
R: ch1, G: ch2, B: ch4

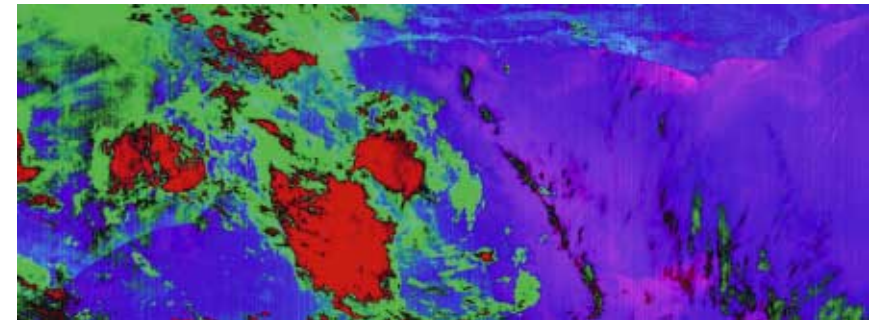


Fig.3 Color composite RGB Image (South of the Brazil)
R: smaller BTD between ch4 and ch5
G: larger BTD between ch4 and ch5
B: brightness temperature at ch4

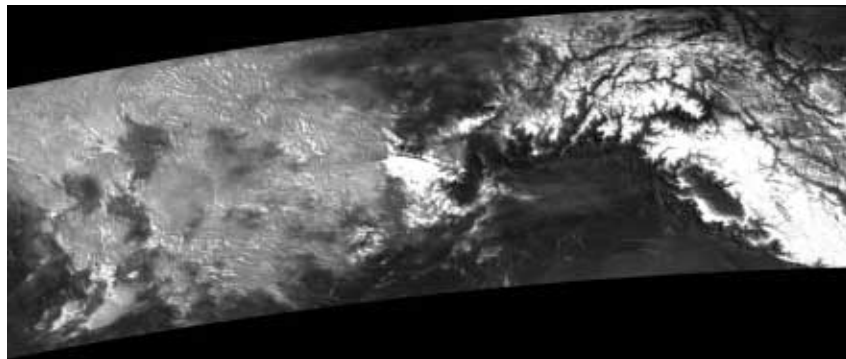


Fig.2 Gray-scale image for the ratio of ch1 and ch2 (Tibetan Plateau)

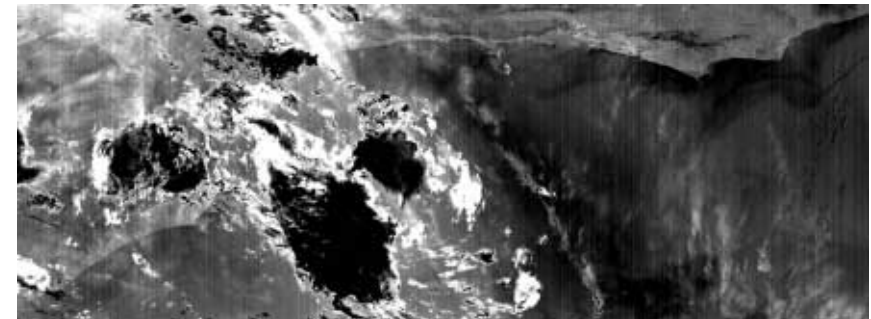


Fig.4 Gray-scale image for BTD between ch4 and ch5 (South of the Brazil)

可視赤外観測装置(VIRS)によるチベット及び南ブラジルの観測

図1は1997年12月21日に観測された、TRMMの可視赤外観測装置(VIRS)のch 1 (0.63 μm)に赤、ch 2 (1.6 μm)に緑、ch 4 (10.8 μm)に青を振り分け合成したチベット付近の画像です。ヒマラヤの山岳地帯の積雪域が赤系、水雲の領域は黄色系、ヒマラヤの谷や高原地帯が青系統の色に良好に判別できています。水雲はch 1及びch 2の反射がどちらも強く温度は低いために黄色になります。積雪域はch 1の反射率は大きいのですが、ch 2の反射率が小さく温度が低いために赤系統の色になります。他の陸域は温度が高く反射率が小さいために、青みがかって見えます。図2は図1と同じ領域のch 1とch 2の比(ch 1/ch 2)の白黒画像です。この比の値が大きいほど白くなります。水雲の領域とヒマラヤの積雪領域で白さに大きな違いが見られます。ch 1では氷と水で吸収の違いは小さいのですが、ch 2では氷による吸収のほうが大きいために反射が小さくなっています。このため比をとると、水雲と積雪の判別が良好にできます。図3は同じ日にブラジルの南で観測された、ch 4とch 5 (12 μm)の輝度温度差の小さい領域に赤、大きい領域に緑、ch 4に青を振り分け合成した画像です。光学的に厚い雲域は赤系統に、光学的に薄い氷雲は緑系統に、温度の高い陸地と海は青系統の色に見えます。積雲型の雲は光学的に厚いのでch 4とch 5の輝度温度差が小さく赤系統に、巻雲型の雲は輝度温度差が大きいので緑系統の色に見えます。また、海上の晴天域では水蒸気量が少ないほど輝度温度差が小さいので赤系統に、水蒸気量の多い領域は青系統の色に見えます。図4は図3と同じ領域のch 4とch 5の輝度温度差の白黒画像です。輝度温度差が小さいほど黒く、大きいほど白く表されています。雲であるか、晴天域かをch 4の温度やch 1の反射率で判別したのち、輝度温度差の情報をを用いると雲の種類、水蒸気量や水蒸気の吸収による減衰を補正した海面温度の情報を得ることができます。

VIRS Images

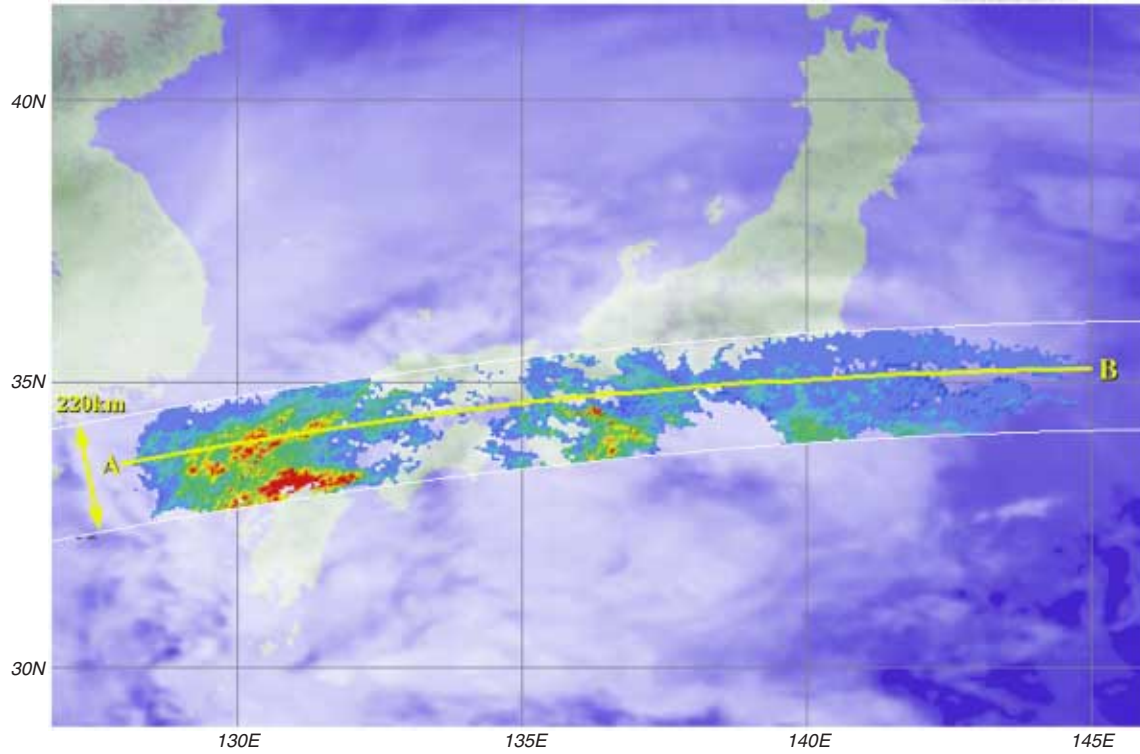
Figure 1 is a color composite RGB image (channel 1 [0.63 μm], 2 [1.6 μm] and 4 [10.8 μm] for red, green and blue, respectively) over the Tibetan plateau observed by the TRMM Visible Infrared Scanner (VIRS) on Dec.21,1997. The snow-covered Himalayan mountains are reddish, water cloud areas are yellowish, and Himalayan valleys and plain areas are bluish. The larger reflectivity for both ch 1 and ch 2 makes the water cloud yellowish, the larger reflectivity for ch 1 and smaller reflectivity for ch 2 makes snow areas reddish. The valleys and plain areas are bluish due to their relatively warmer temperature. Figure 2 is a gray-scale image for the ratio of ch 1 and ch 2. The observed region and time are the same as in Fig. 1. The larger region is white. Water reflectances for the ch 1 and ch 2 wavelengths are similarly, but ice reflectance is smaller for the wavelength of ch 2 than that of ch 1. Therefore, the ratio of ch 1 / ch 2 is larger for snow covered areas than water cloud areas. Figure 3 is a color composite RGB image (red for smaller brightness temperature difference (BTD) between ch 4 and ch 5 [12 μm], green for the larger BTD, and blue for the brightness temperature (TBB) at ch 4) over the south of the Brazil observed in the same day. Optically thicker cumulus clouds are reddish due to the smaller BTD, optically thin ice clouds are green and ocean and land are blue because of the warmer TBB. Regions with less water vapor are reddish due to the smaller BTD, and moist regions are bluish over the ocean because of the larger BTD and warmer TBB. Figure 4 is the gray-scale image of BTD. The observed region and time are the same as in Fig. 3. The larger BTD is shown in white. Optically thin cirrus clouds exhibit larger BTD, while optically thick cumulus clouds indicate smaller BTD. Over cloud free ocean areas, the BTD increases with the increase of water vapor. The BTD is useful for classifying clouds and deriving water vapor amount. The Sea Surface Temperature, which is corrected for water vapor absorption, can also be estimated using ch 4 and ch 5.



Heavy Snow, Kanto Area, Japan (PR)



TRMM Earth View
Second Edition



GMS IR 18:00 (UTC) by JWA

Fig.1 Horizontal Cross Section of Rain at 2.5km Height

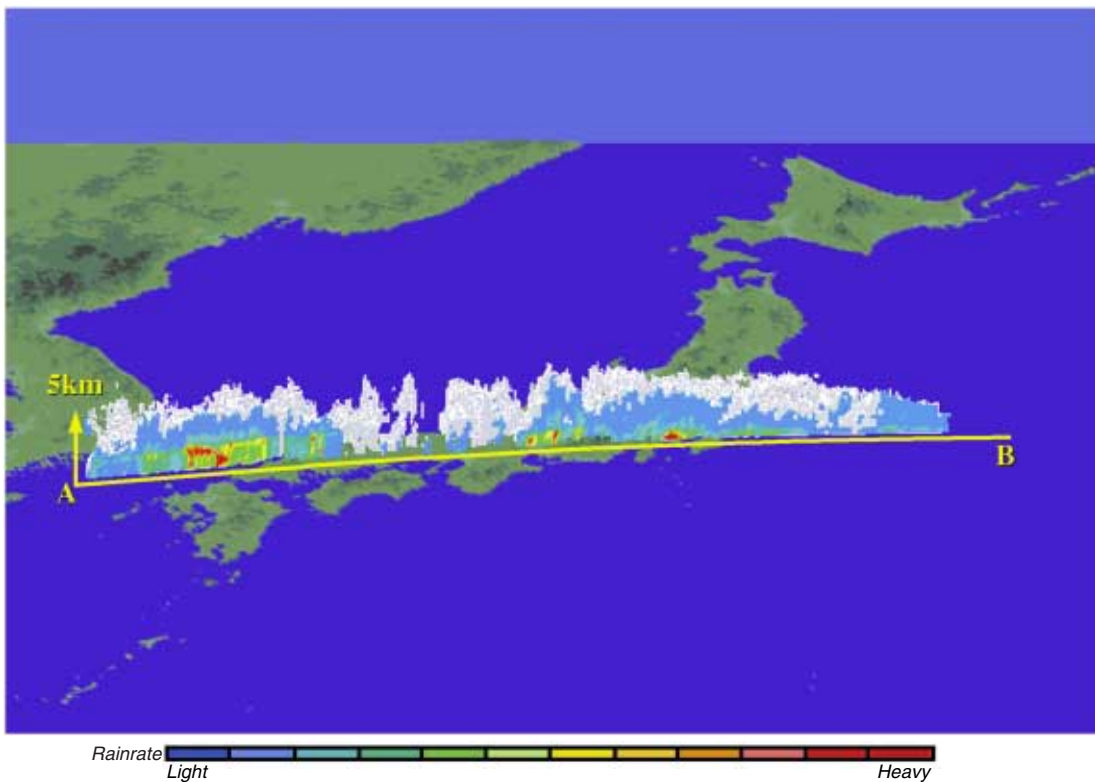


Fig.2 3-D Rain Structure

関東の大雪(PR)

図は1998年1月15日午前3時10分から15分(日本時間)に日本上空を通過したTRMM降雨レーダ(PR)で見た降雨の高度2.5kmの水平断面(図1)と立体図(図2)です。日本の陸地に沿って東西に約1500kmにわたる広い範囲の降水の3次元構造が観測されています。中国・九州地方で水平に分布する赤や黄色で示される層は、上空の雪が融けて雨になる融解層で、実際の降雨量よりもかなり強いレーダ反射が観測されています。関東甲信地方でこの層が地上付近に現れていることは、この地方でみぞれや雪が降っていたことを示しています。

この後、低気圧が四国沖から関東南岸に移動するのに伴い、首都圏の交通機関が大混乱するほど大雪をもたらしました。通常このような大雪をもたらすような低気圧の通過は春先に多いのですが、この年はエル・ニーニョの影響で暖冬傾向にあり、冬型の気圧配置が長続きしないため、1月でもこのときのような気圧配置が頻繁に見られました。

Heavy snow in the Kanto area of Japan

These figures show the horizontal cross section at a height of 2.5km (Fig. 1) and three-dimensional image (Fig. 2) acquired by the TRMM Precipitation Radar (PR) which passed over Japan from 03:10 to 03:15 (JST) on Jan. 15, 1998. The PR observed a wide area of the three-dimensional precipitation structure which extends approximately 1500km to the east and west over Japan. The red or yellow horizontal layer indicated by over Chugoku and Kyushu areas is a melting layer where snow melts into rain and much stronger radar reflectivity is observed than from real rain. Another melting layer near the surface reflects to the fact that sleet or watery snow fell over the Kanto-Koushin area.

After that, the heavy snow that disrupted traffic in the metropolitan area fell after the movement of an extratropical cyclone from off Shikoku to the south coast of Kanto. Though many cyclones which bring heavy snow pass over Japan in early spring in a normal year, several pressure patterns identical to these could be seen in January this year because the winter pressure pattern could not be sustained due to the El Niño effect.

El Niño and La Niña Events Observed by TRMM

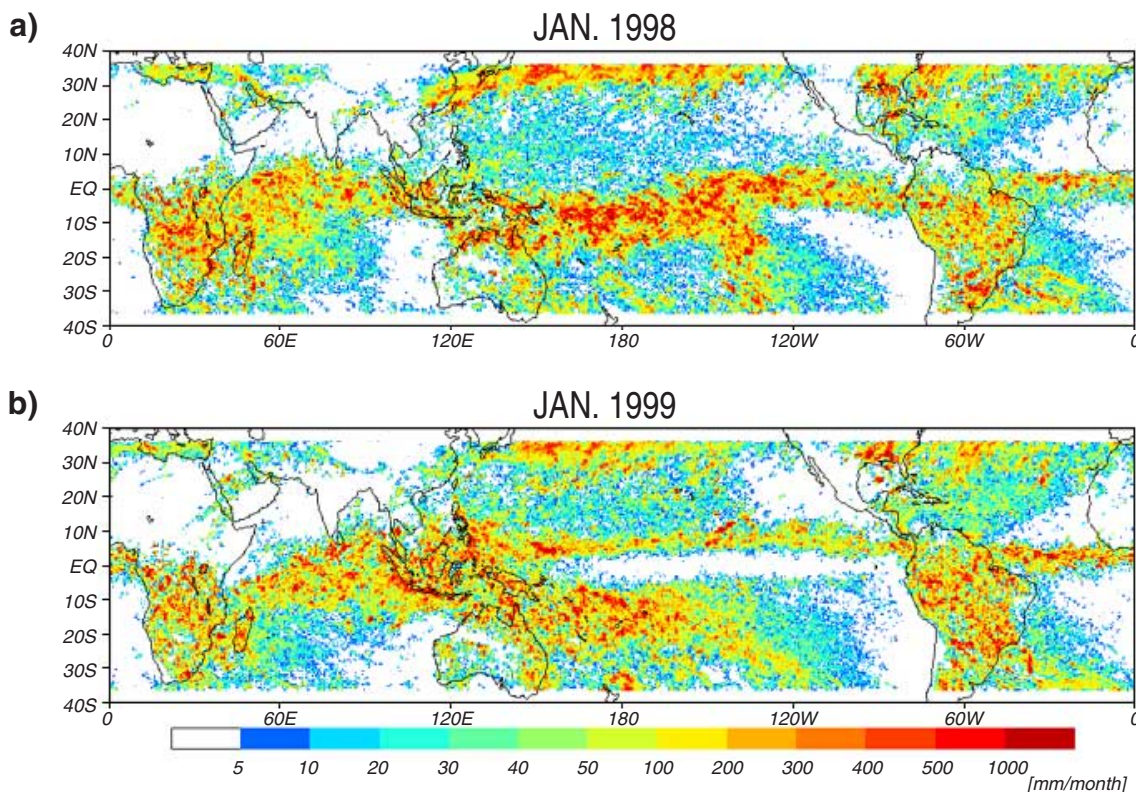


Fig.1 PR Monthly Rainfall Near the Surface

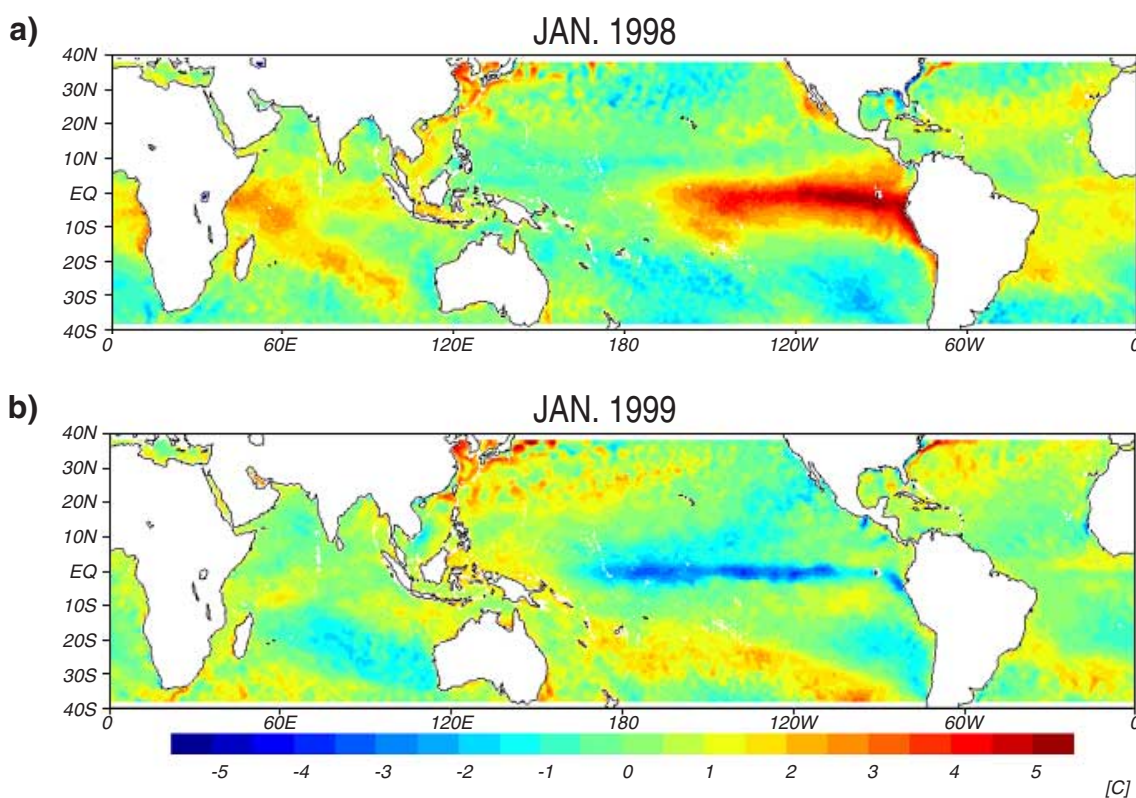


Fig.2 TMI SST Anomaly

TRMMで観測されたエルニーニョ

図1は、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載の降雨レーダ (PR) によって観測された1998年1月 (図1a) および1999年1月 (図1b) の、地上付近の月積算降水量の全球分布です。また、図2は、TRMMマイクロ波観測装置 (TMI) によって観測された1998年1月 (図2a) および1999年1月 (図2b) の月平均偏差 (気象庁による同じ月の海面水温気候値からの差) です。

1998年1月 (図1aと図2a) には、エルニーニョ現象が続いていました。このため、平年に比べて、太平洋上の降雨の多い領域が西太平洋から中部太平洋に移動しています。熱帯収束帯 (ITCZ) がエルニーニョの影響で、図1aではほぼ赤道上に位置し、南太平洋上の雨の多い領域も通常より東側にシフトしています。図2bでは、通常海面水温の低い南米ペルー沖に至る中東部赤道太平洋で平年より非常に海面水温が高くなっており、逆に西部赤道太平洋では平年よりも下がっていました。

一方、図1bと図2bはエルニーニョが終息した後の、1999年の1月の分布です。図1bでは中部赤道太平洋上での降水量が少なく、熱帯収束帯が通常の位置に見られます。またインドネシア周辺で降水が多く、対流活動の中心位置も通常の位置に戻っていることがわかります。図2bでは、図1bで降水量の少なかった中部赤道太平洋では平年よりも海面水温が低い領域が広がっており、エルニーニョ現象が終息し、逆の現象であるラニーニャの状態になっていることを示しています。

このように、エルニーニョやラニーニャによって、熱帯での対流活動に伴う降水域が移動することは、世界の気象に大きな影響を及ぼします。

El Niño and La Niña Events Observed by TRMM

Figures 1a and 1b show estimated monthly accumulated rainfall near the surface derived from the Precipitation Radar (PR) aboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite for January 1998 (Fig. 1a) and 1999 (Fig. 1b). Figures 2a and 2b show sea surface temperature (SST) anomaly derived from the TRMM Microwave Imager (TMI) for January 1998 (Fig. 2a) and 1999 (Fig. 2b), which are defined as deviations from the climatological monthly mean SST compiled by the Japan Meteorological Agency.

In January 1998, since El Niño still continued, heavy rainfall shifted from the western to the central Pacific (Fig. 1a), unlike the normal year. Due to the effects of El Niño, the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) was located along the Equator in Fig. 1a, and areas of heavy rainfall in the south Pacific shifted further to the east than in normal years. In Fig. 2a, there was a much higher (red) SST than normal over the central and eastern equatorial Pacific, but a lower SST over the western equatorial Pacific.

Figure 1b shows the rainfall distribution in January 1999, after the El Niño event. Unlike Fig. 1a, there was little rainfall amount in the central equatorial Pacific, and the ITCZ existed in the normal location. In addition, heavy rain was observed in Indonesia, and the center of active convection was observed in its normal location. Figure 2b shows that the strong El Niño disappears and a colder than normal (blue) SST year occurs over the central and eastern Pacific. This corresponds to the light rainfall region in Fig. 1b, and indicates the El Niño cold event (La Niña).

Such a shift of the maximum rainfall region in the tropics linked to convective activity variations, caused by El Niño and La Niña events, should significantly affect world weather.



LIS Images

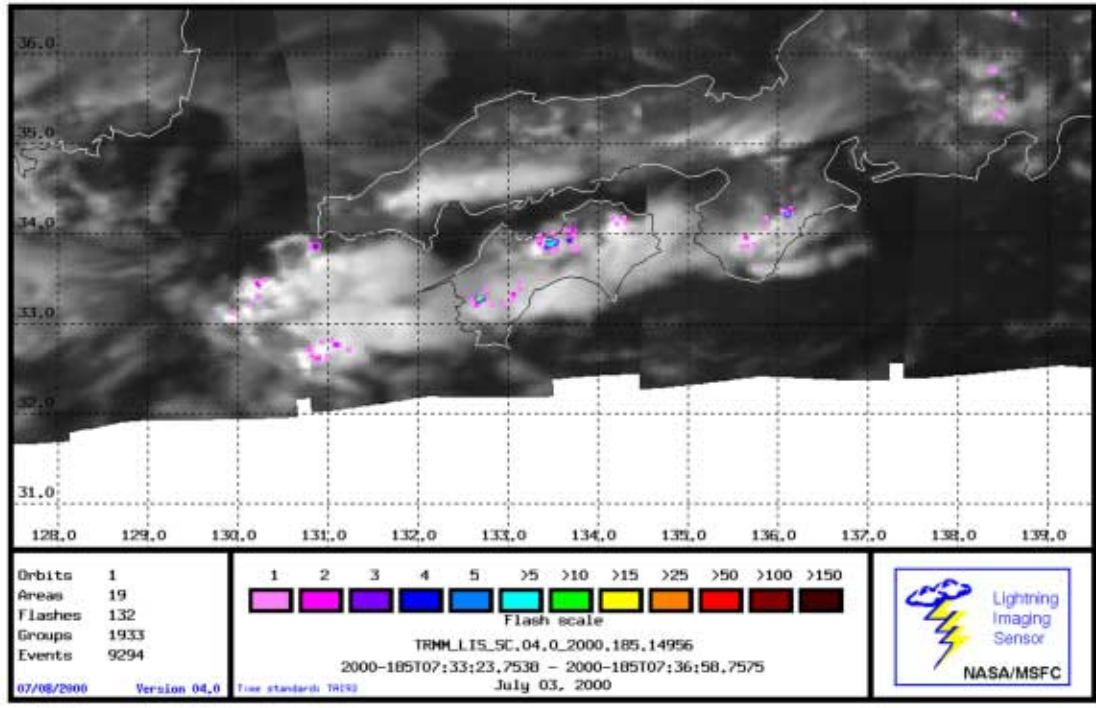


Fig.1 Lightning activity over western Japan during Baiu-Season

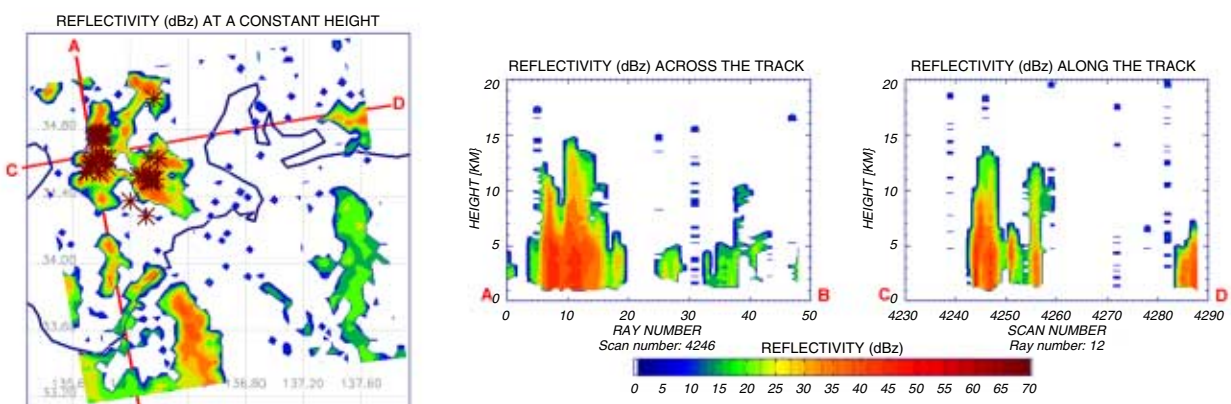


Fig.2 Simultaneous observations of radar reflectivity and lightning activity

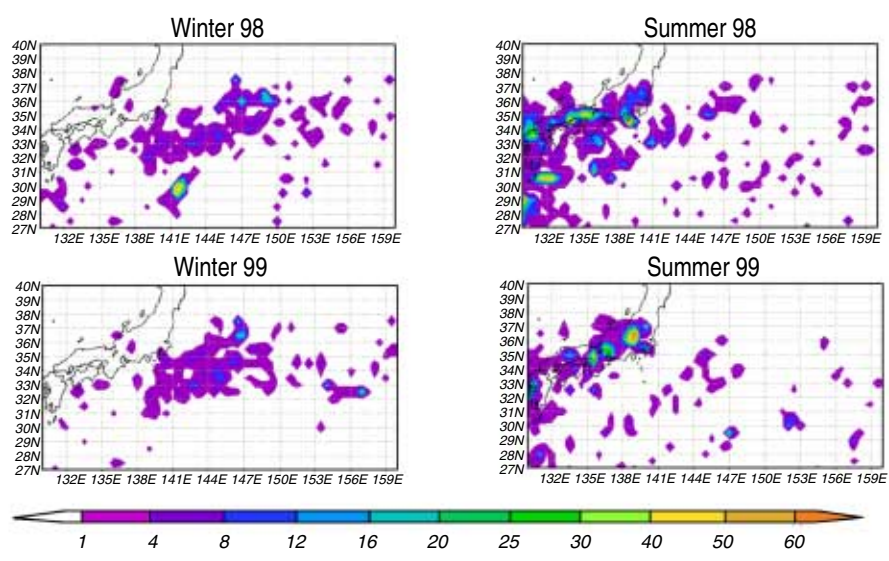


Fig.3 Lightning Distribution over Japan Islands and Pacific Ocean

雷観測装置(LIS)による観測

Figure 1

熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載の雷観測装置 (LIS) により観測された西日本の梅雨最盛期の雷活動。平成12年7月2日～4日の間ほぼ全国的に雷活動が活発であった。この雷活動は、TRMMが7月3日16時33～37分に西日本上空を通過した際に観測された結果で、九州から紀伊半島にかけての発達した積乱雲の様子 (可視画像) と雷活動位置が一致している様子がわかる。関東地方にも孤立した雷雲があり、そこでも雷活動が認められる。LIS はこの4分間に、19の雷雲とそれに伴う132の雷放電を観測している。

Figure 2

TRMM搭載の降雨レーダ (PR) と LIS の対比。TRMMの最大の長所は、レーダ観測が雷放電の発生に時間遅れなく可能となる点であり、ここでは高度2kmでのレーダ反射因子 (Z因子) 水平断面図に雷放電発生位置を重ねて示している。さらにそのZ因子の鉛直断面図から、これが対流性の降雨であったことがわかる。世界で初めて衛星から3次元で降雨を観測するPRでしか得られない観測結果であり、雷活動機構解明の貴重な資料を多数提供している。

Figure 3

LISにより観測された日本付近の雷活動。過去二年の統計では、冬季には太平洋上に、夏季にはほぼ日本列島上にと、まるで活動の拠点を移すような形で、雷が集中していることがわかる。これまで北陸の冬季に雷活動の多いことが知られていたが、LIS観測では、太平洋上に活発な雷活動が認められており、LISにより得られた新しい知見となっている。

(協力: 大阪大学 工学部 河崎研究室)

LIS Images

Figure 1

Lightning activity over western Japan during a late Baiu-Season observed by the Lightning Imaging Sensor (LIS) on board on the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Thunderstorms from July 2 through 4, 2000, were quite active all over Japan. Figure 1 presents the lightning activity captured by LIS as it passed over western Japan from 16:33 to 16:37 JST July 3. The active cumulonimbus clouds and lightning flash locations are found to be coincident. The cumulonimbus clouds seemed to develop along the Baiu front from Kyusyu district to the Kii Peninsula. An isolated thundercloud in Kanto area is also seen and lightning activity is noticed there. LIS recorded 132 lightning flashes over 19 thunderclouds during these 4 minutes.

Figure 2

Comparison of Precipitation Radar (PR) and LIS. TRMM satellite observations give us the unique simultaneous observations of radar reflectivity and lightning activity. Lightning activity captured by LIS is superimposed on the horizontal cross section at 2km above sea level in Fig 2. The vertical cross sections at lightning flash locations are also given in Fig. 2. The lightning flashes occurred in regions of strong convection. These results are expected to provide a comprehensive understanding of the mechanism of lightning discharges. The world's first 3D radar echo and lightning flash location without any time delay is presented in Fig. 2. This suggests the necessity of continuous satellite observations for the future deeper understanding of lightning discharge mechanisms.

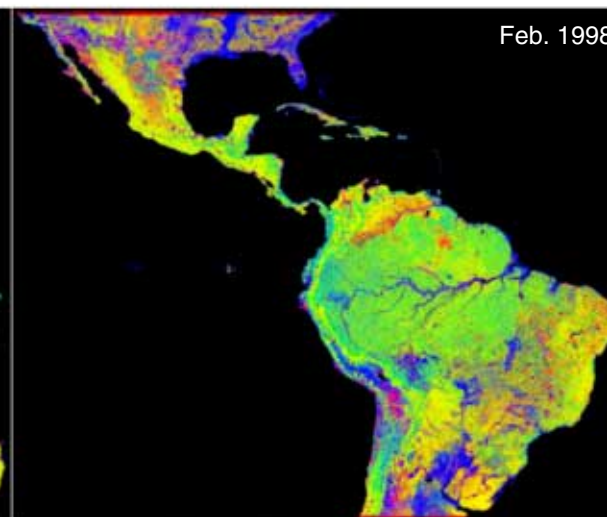
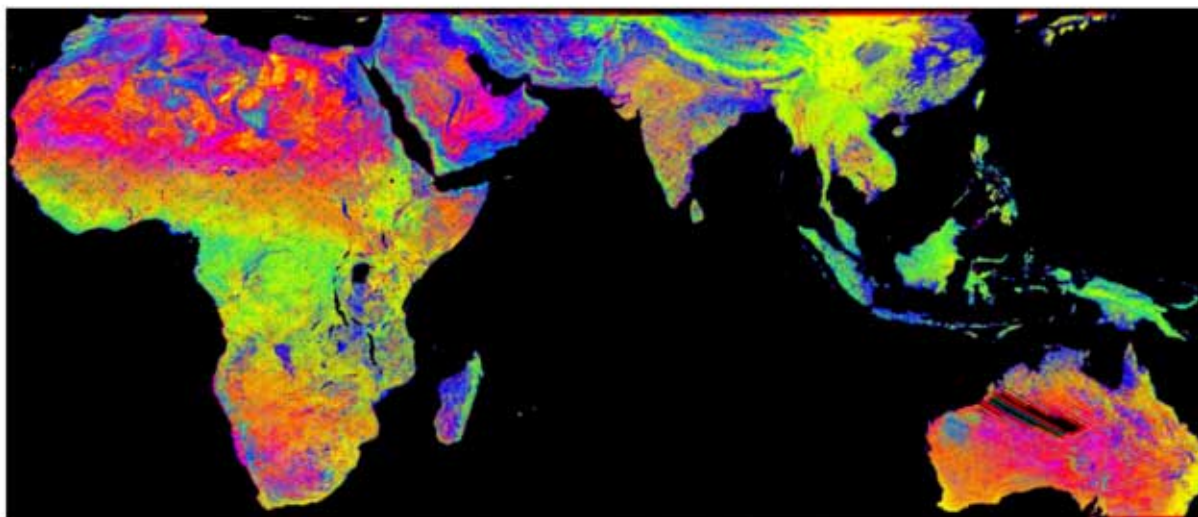
Figure 3

Statistical lightning activity near Japan. The last two-year observations by LIS indicate that thunderstorms are active over land during summer and active over the Pacific Ocean during winter. The lightning activity seems to migrate with the season, and this is an interesting new result. Since it has been noticed that winter thunderstorms are active along the Hokuriku Coast and over the Sea of Japan, Fig. 3 presents a new discovery.

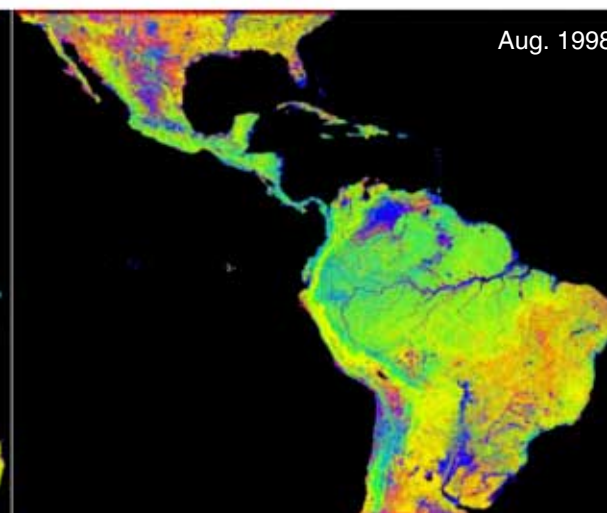
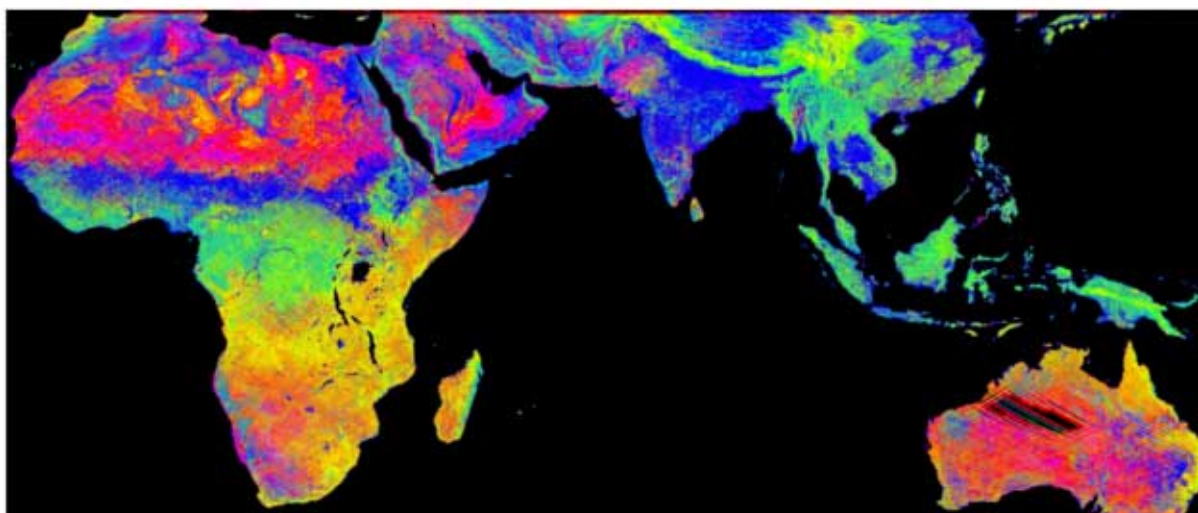
(Courtesy of Osaka University's Kawasaki Lab. in cooperation with NASDA)



Land Surface Observation by TRMM/PR



Feb. 1998



Aug. 1998

- Green : correspond to forest density (3 to 8 degree)
- Blue : correspond to wet surface (9 to 13 degree)
- Red : correspond to arid / desert areas (14 to 18 degree)



TRMM PRによる地表面観測

[三色合成]

これは熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の降雨レーダ (PR) で観測された地表面状態の合成カラー画像です。上図が1998年2月、下図が1998年8月の様子です。PRは真下から左右17度の範囲で電磁波のビームを左右に振りながら地面や降雨からの反射を観測しています。陸上では、3-8度の入射角に対する地表面からの反射は植生が多いほど小さくなるので、この範囲のデータについては反射が小さいほど緑色になるように色付けされています。入射角9-13度付近は地表面が湿っているほど反射が強くなるという影響が良く現れるので、反射が強いほど青色になるように色付けされています。また、入射角が14-18度付近では、砂漠のように地表面が鏡の様に滑らかであるほど反射が弱くなるので、反射が弱いほど赤くなるように色付けされています。

したがって、合成カラー画像は

- 緑色の領域は植生が多い
- 青色は湿っている領域に対応している
- 赤色は乾燥域や砂漠に見られる。
- 黄色い領域は青の逆であり、乾燥した草地である

と判読できます。乾燥地で植生が少なくなるに連れて、緑、黄緑、黄色、オレンジ、そして赤と変化していると考えられますし、地表面が湿ってくると青色の成分が混じり、紫(植生少)やシアン(植生大)等の色が見られます。これを模式的に示したのが[三角画像]です。

カラー合成画像の2月と8月を比較すると、南アメリカのアマゾン川流域、東南アジアモンスーン領域、アフリカのコンゴ川流域などで熱帯雨林が分布している様子、あるいはモンスーン林で雨季(北半球では8月)には緑色の領域が拡大し、乾季には減少する様子がわかります。砂漠や荒地を示唆する赤い色の領域は、北アフリカのサハラ砂漠、アラビア半島のルブアルハリ砂漠、そしてオーストラリア中央のグレートビクトリア砂漠などに特に顕著に現れています。耕地や草原の土壌の湿潤度、あるいは水面面積に対応していると考えられる青色は、アフリカ北部のサヘル地帯、インドやタイ、ベトナムの農耕地帯などで雨季に顕著に見られます。

なお、図におけるオーストラリアの欠測(黒い部分)は、PRの周波数帯(13.8GHz)が地上での利用周波数と重なっているため、この領域を通過する際には観測を停止しているためです。また、PR観測から明らかに水面であると判断される領域は除外しており、海洋や大規模な湖、太い河道などは黒く示されています。(協力: 東京大学 生産技術研究所 沖研究室)

Land Surface Observation by TRMM/PR

- False color composites map -

These images are the false color composites showing the land surface observed by the Precipitation Radar (PR) aboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite for February (above) and August (below) 1998. PR observes backscatter from rain and Earth's surface. It scans 17 degrees across the track. Since the backscatter from 3 to 8 incident angles is highly affected by the absorption (scattering) by vegetation canopy over the land, weaker backscatter corresponds to dense vegetation. Therefore, dark green is used for low backscattering areas to express more dense vegetation. Since more reflectance is observed from a wetter surface at incident angles of 9 to 13°, blue corresponds to stronger backscatter. At 14 to 18 degrees, weaker signals are from smoother surfaces such as deserts with mirror like surface. Dark red is used for weaker backscattering.

Thus in these false color composites,

- Green areas correspond to the areas with dense vegetation,
- Blue corresponds to wet surfaces,
- Red represents arid and desert areas, and
- Yellow represents dry grasslands (opposite to blue).

In dry areas, the color may change from green, yellow or orange to red, according to the vegetation amount. If the area is wet enough, blue may be mixed and change to purple (less vegetation) or cyan (more vegetation). These color changes are shown schematically as a triangle diagram in the figures.

Comparing the false color composites for February and August, the distribution of tropical rain forests in the Amazon river basin in South America, in the Asian Monsoon region, and in the Congo river basin in Africa is clearly seen. The increase and decrease of wet (blue) and vegetated (green) regions according to the rainy season are apparent as well.

Red, which corresponds to deserts and arid areas, is seen in the Sahara desert in Northern Africa, the Rub' al Khali desert in the Arabian Peninsula, and the Great Victorian desert in central Australia. Blue, which expresses soil wetness in cultivated fields and grasslands or water surface, is seen in Sahel in Northern Africa, cultivated areas in India, Thailand and Vietnam in the rainy season.

The black region in Northwestern Australia indicates the missing PR observation data due to a frequency conflict. Areas thought to be water surfaces from PR observation, such as oceans, big lakes and wide rivers, are shown in black.

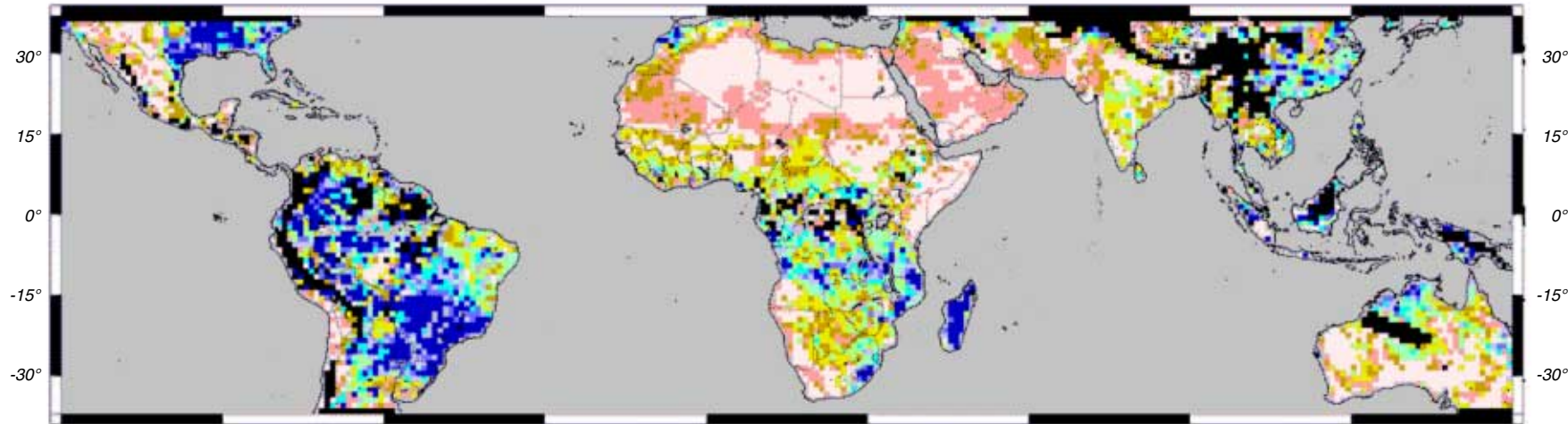
(Courtesy of Oki Lab. (IIS, University of Tokyo) in cooperation with NASDA)



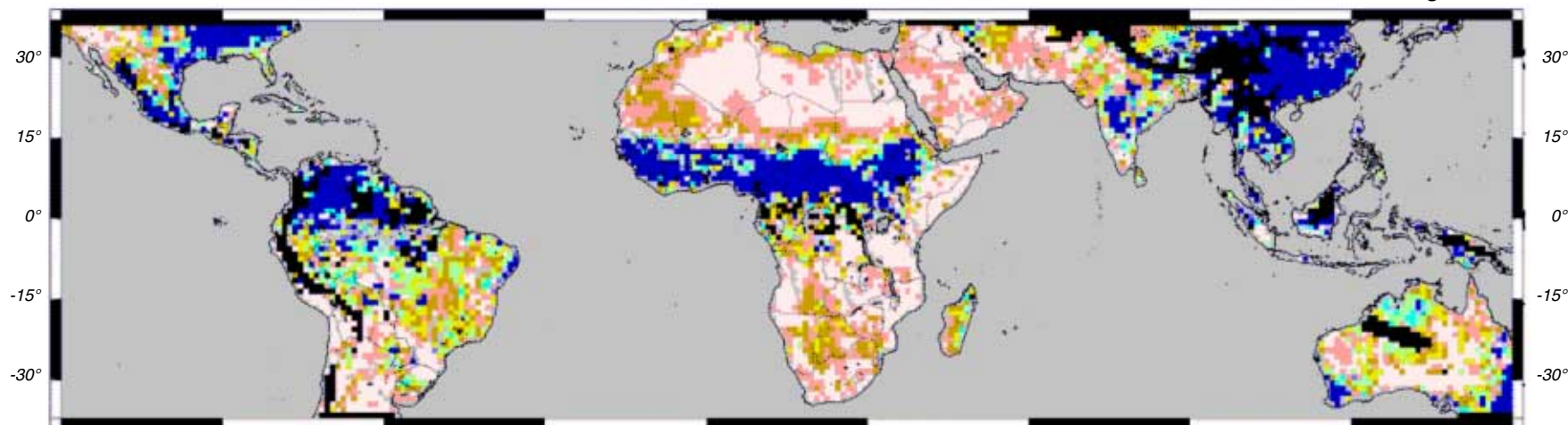
Soil Wetness Estimated from TRMM/PR



Feb. 1998



Aug. 1998



TRMM PRによる全球土壌水分の推定

[土壌水分]

熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の降雨レーダ(PR)による地表面観測データには地表面の乾湿の他に、植生量や表面のごぼご等の情報も含まれています。そこで、可視・近赤外センサから得られる植生指標やマイクロ波散乱理論等を用いてそうした効果を除去し、土壌水分量に変換したのが図です。上が1998年2月、下が1998年8月に対応しています。両者を比較すると、例えば8月には乾季の終りに近い南米のアマゾン川流域では乾燥化していますが、そのすぐ北のオリノコ川流域は雨季の最中であるため湿潤化していることがわかります。アジアモンスーン地域における8月の湿潤化も顕著です。地表面からの反射に色づけをしたカラー合成画像では砂漠地帯にも様々な模様が見られましたが、この定量的な土壌水分推定結果ではサハラ砂漠やルプアリ砂漠等はきちんと乾燥域として推定されています。なお、斜面の影響から散乱理論の入射角依存性をうまく利用することができない山岳部付近と、森林密度が非常に高い熱帯雨林領域については、現在のところ土壌水分を推定することはできず、図では欠測(黒い部分)となっています。

なお、図におけるオーストラリアの欠測(黒い部分)は、PRの周波数帯(13.8GHz)が地上での利用周波数と重なっているため、この領域を通過する際には観測を停止しているためです。

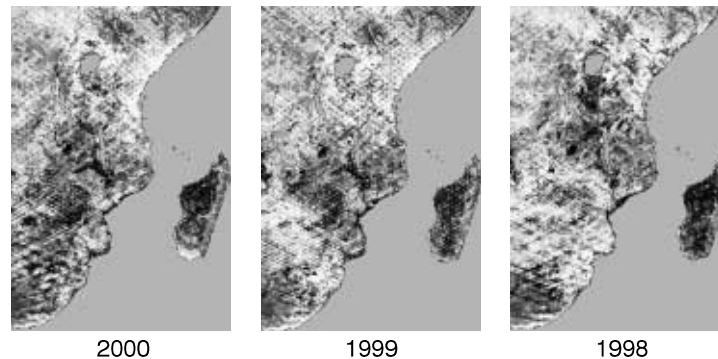
Soil Wetness Estimated from TRMM/PR

Backscattering data from the Precipitation Radar (PR) aboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite includes not only the information of soil wetness but also vegetation amount and land surface roughness. Using the information of NDVI from visible and infrared sensors and the theory of microwave scattering, the effects from vegetation and roughness were first subtracted, then soil wetness was estimated. The upper panel is the estimated soil wetness for February 1998 and the lower panel is for August 1998.

Comparing the estimates for February and August, the Amazon River basin in South America is wet in February during the rainy season and dries up in August, corresponding to the dry season. The Orinoco river basin, which is adjacent to north of the Amazon, behaves in the opposite manner. Wetting in the Asian Monsoon region is dominant as well.

In the false color composite maps of PR backscattering, various patterns are recognized in desert areas. However, the Sahara desert and the Rub' al Khali desert are classified as arid regions in these quantitatively estimated soil wetness maps. In some mountainous areas where the scattering theory of dependency of incident angle can not be applied due to the effects of steep slopes and in some tropical rainforest areas where the forest is extremely dense, soil wetness cannot be estimated by this algorithm. Such regions are shown in black as missing data areas.

The black region in the Northwestern part of Australia indicates missing PR observation data due to the frequency conflict.



[モザンビーク]

PRによる地表面観測のうち、主に地表面の乾湿の影響を強く受けている3-8度の入射角による1ヶ月間の合成画像です。陸上で反射が強いほど黒くなるように表示されており、黒い部分ほど湿っていることを示唆しています。ここではアフリカ南東岸の地域を切り出して示していて、右に見えるマダガスカル島の対岸にモザンビークが位置しています。一番左がモザンビークで大洪水があった2000年の2月、真ん中が1999年2月、一番右が1998年2月です。洪水の範囲が広がっているのがわかります。

Mozambique

These are monthly composite maps of PR backscattering from incident angles of 3° to 8°, which are sensitive to the land surface wetness. More black indicates stronger backscattering, (i.e., black corresponds to a wet area.) The area is near the Northeast coast of Africa and Mozambique and is located on the opposite side of the Madagascar islands, which are located in the right part of each figure. The left most figure is for February 2000, when a major flood occurred in Mozambique. The middle figure is for February 1999, and the right one is for February 1998. The extension of the flood is clearly seen in February 2000.

(協力: 東京大学 生産技術研究所 沖研究室)
(Courtesy of Oki Lab. (IIS, University of Tokyo) in cooperation with NASDA)



Tropical Cyclone PAM (PR)

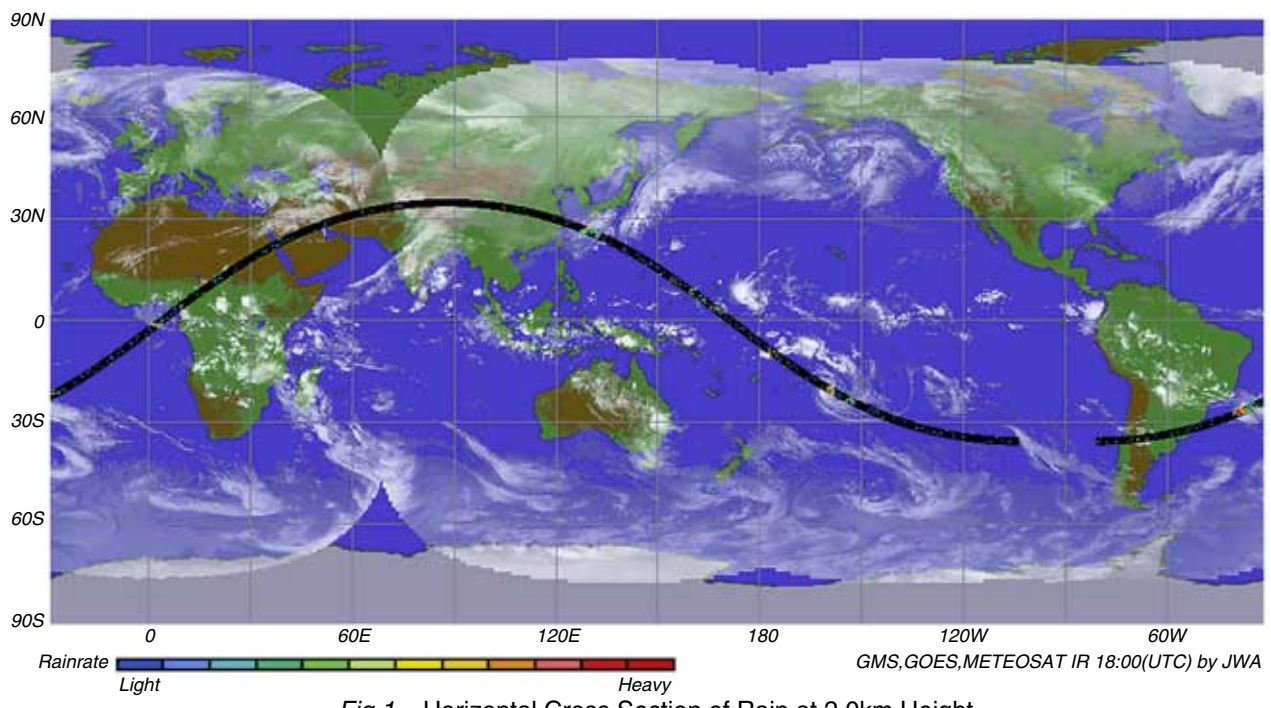


Fig.1 Horizontal Cross Section of Rain at 2.0km Height

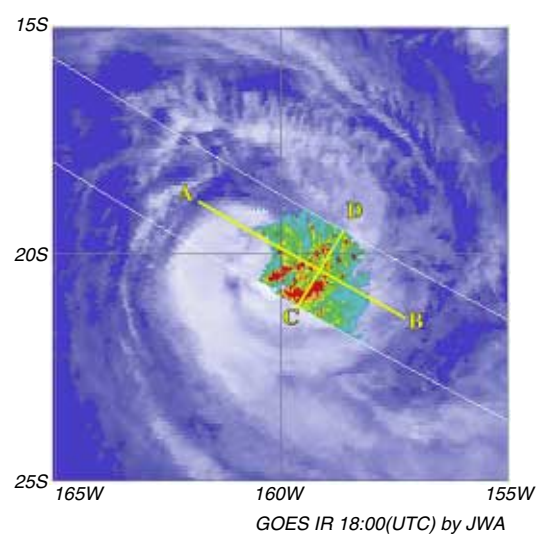


Fig.2 Horizontal Cross Section of Rain at 2.0km

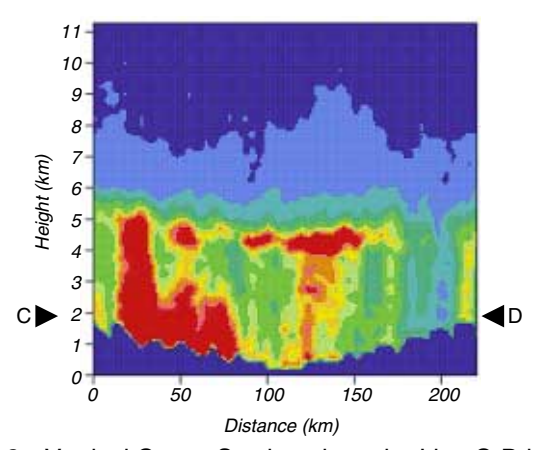


Fig.3 Vertical Cross Section along the Line C-D in Fig.2

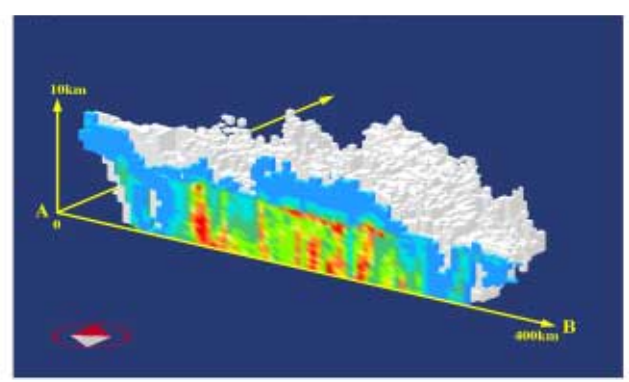


Fig.4 3-dimensional Cross Section along the Line A-B in Fig.2

サイクロン・パム(PR)

図1は、サイクロン・パム(白枠で囲まれた部分)を観測した1997年12月8日(世界時)の、1軌道における降雨レーダ(PR)の観測域です。この軌道ではTRMMは沖縄の上空を通過し、12月8日18時にニュージーランド北東に見えるサイクロン・パムの中心付近を観測しました。図中の軌道は帯状に表現されていますが、これは降雨レーダの観測幅(約220km)を示しています。図中の雲画像は日本の静止気象衛星「ひまわり」(GMS)、米国の静止気象衛星GOES及びヨーロッパの静止気象衛星METEOSATにより取得されたものです。

図2は、図1の白枠で囲まれた部分を拡大したもので、降雨レーダが観測した高度2.0kmにおける降雨の水平分布です。暖色系の色ほど多くの降雨があることを示しています。図中の2本の線ABとCDで切った鉛直断面をそれぞれ図3および図4に示します。

図3では、サイクロンの中心付近を取り巻いている渦巻き状の降雨帯の鉛直断面が明瞭に観測されています。また、Aから175kmあたりの雨のとぎれているところはサイクロンの「目」の一部と思われます。

図4は図2の線ABで切った降雨強度の3次元構造です。サイクロンの目の付近では降雨が高さ10kmにまで及んでいます。

Tropical Cyclone PAM (PR)

Figure 1 shows the single-orbit observation on Dec. 8, 1997(UT) when the PR observed the tropical cyclone PAM (inside the white rectangle). TRMM passed over Okinawa and observed the center of the cyclone PAM which can be seen to the northeast of New Zealand at 18:00 on Dec. 8. The orbit in this figure shows a swath width (about 220km) of PR observation. The infrared images in this figure are from geostationary meteorological satellites of Japan (GMS), the U.S. (GOES) and Europe (METEOSAT).

Figure 2 shows a close-up rainfall image at a height of 2.0km inside the white rectangle in Fig. 1. Red indicates the highest rainrate. The vertical cross section of rain along the lines AB and CD are shown in Fig. 3 and Fig. 4.

Figure 3 shows a clear view of the vertical cross section of vortex-like rain bands around the center of the cyclone. The rainless column about 175km from A seems to be a part of the eye of the cyclone.

Figure 4 shows the three-dimensional structure of rain rate along line AB in Fig. 2. Rainfall at a height of 10 km is observed near the eye of the cyclone.



TRMM Precipitation Radar Products

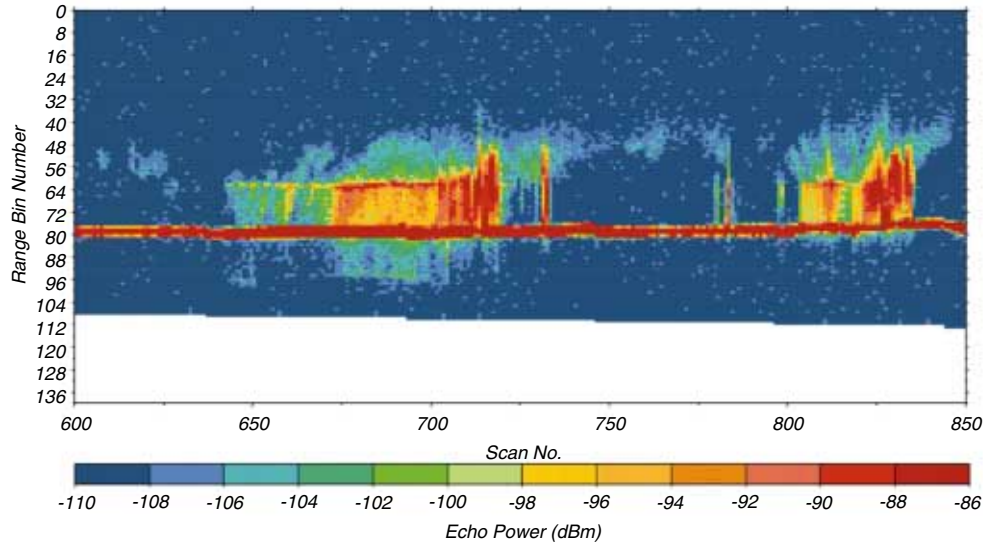


Fig.1 1B21:Power

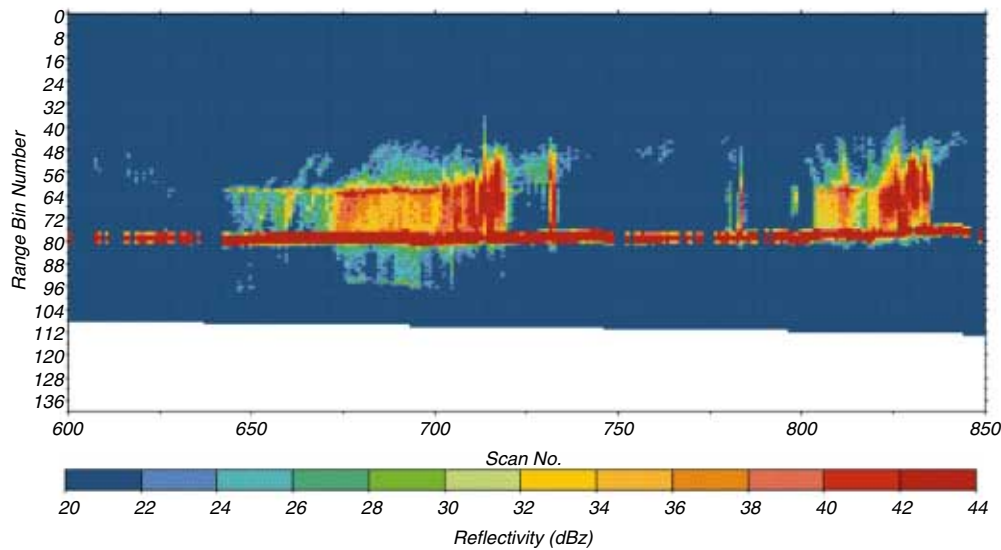


Fig.2 1C21:Z-factor

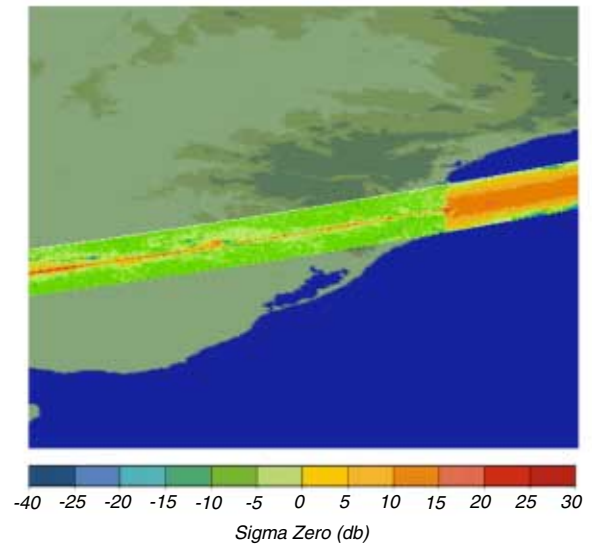


Fig.3 2A21:Radar Surface Cross Section (Sigma 0)

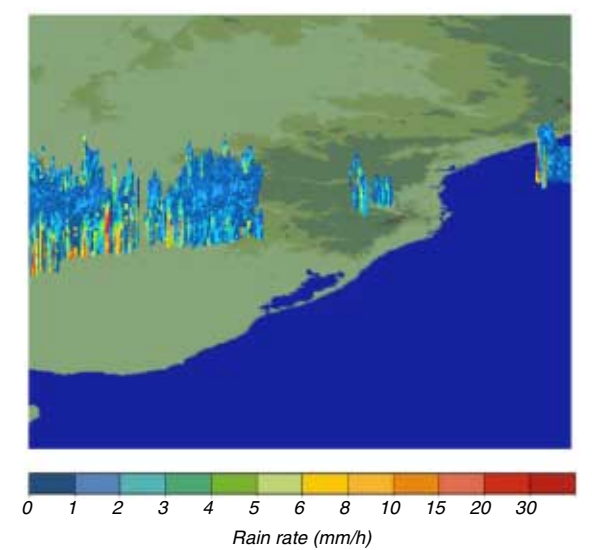
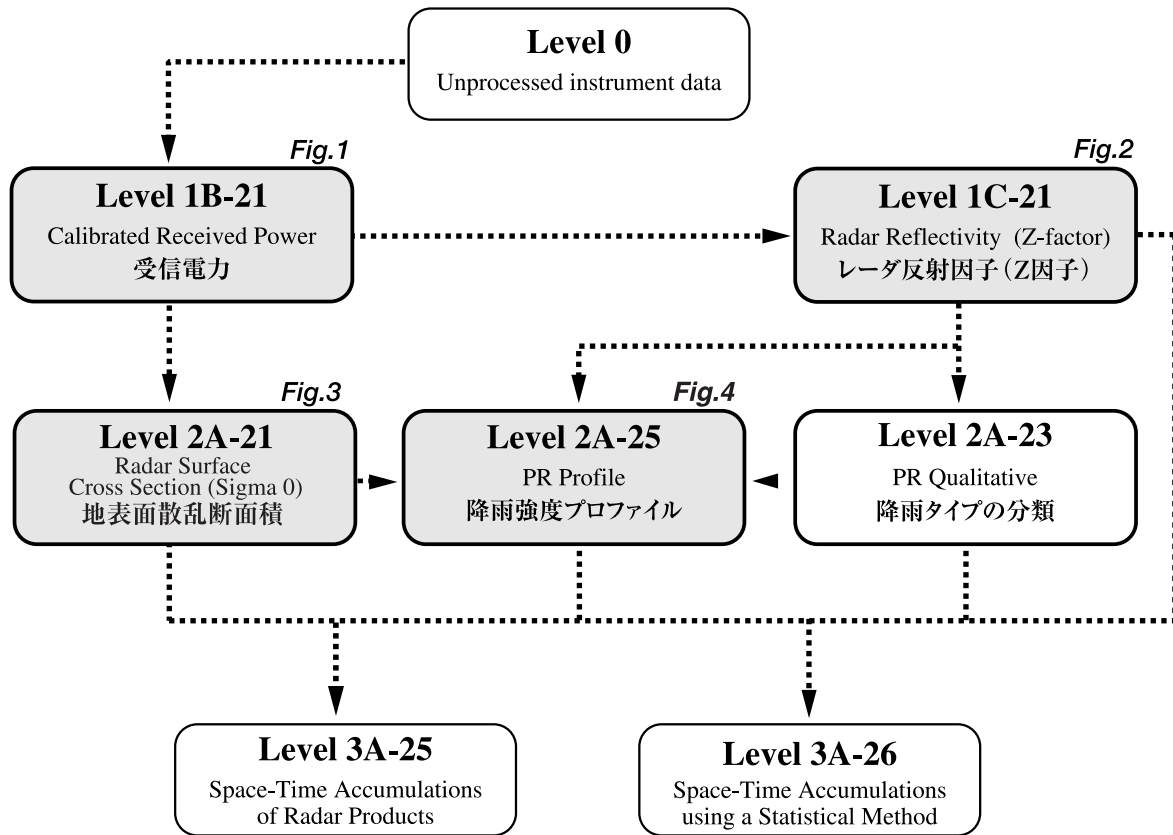


Fig.4 2A25:Rain

TRMM PR Algorithms Flow



(a) 1B-21 PR 受信電力

このアルゴリズムは、PRの出力であるデジタルカウント値を受信電力値ならびにノイズレベル値に変換することを目的とする。また、受信電力値よりレーダ反射因子 (Z 因子) に変換する際の校正係数や緯度経度情報を付加する。出力データには、地表面からのエコーとミラーイメージが含まれる。

(b) 1C-21 レーダ反射因子 (Z因子)

このアルゴリズムは、1B-21で求めた受信電力値とノイズレベル値をレーダ反射因子 (Z因子) に変換することを目的とする。Z因子への変換は、降雨ありと判定されたデータに対してのみ実行されるため、出力データはレーダビーム単位となる。

(c) 2A-21 地表面散乱断面積

このアルゴリズムは、1B-21の受信電力値から、陸上/海上、雨域/無降雨域に分類される地表面の散乱断面積の時空間平均値を算出する。また、降雨時には、散乱断面積の降雨減衰量が算出される。この降雨減衰量は、Surface Reference Dataとして2A-25の降雨プロファイル算出に用いられる。

(d) 2A-23 降雨タイプの分類

このアルゴリズムは、降雨プロファイル (2A-25) の算出に必要な降雨の有無および高さ、プライトバンドの有無および高さ、層状性降雨、対流性降雨等の降雨タイプの分類を行う。

(e) 2A-25 降雨プロファイル

1C-21, 2A-21, 2A-23プロダクトを入力とし、海上/陸上、降雨タイプ等に応じ求まる降雨強度 (mm/h) のプロファイルを算出する (降雨強度の分解能は水平4km、垂直250m)。また、高度2kmおよび4kmにおける平均降雨強度を算出する。

(f) 3A-25 時間空間平均降雨

このアルゴリズムは、高度2km、4kmの緯度経度0.5°、5°の領域における月単位の積算降雨量 (mm) および月平均降雨強度 (mm/h) を算出すると共に、降雨パラメータのヒストグラム、相関係数を算出する。

(g) 3A-26 統計的平均降雨

このアルゴリズムでは、Multiple Threshold Methodと呼ばれる統計的手法を用いて緯度経度0.5°、5°の領域における月単位の積算降雨量 (mm) および月平均降雨強度 (mm/h) を求める。

(a) 1B-21 PR Calibration

This routine involves converting the count values of radar echoes and noise levels into engineering values (powers); it outputs the radar echo power and the noise power separately. This routine appends geometric information and the calibration constants for converting the received powers to reflectivity factors.

(b) 1C-21 PR Reflectivities

This routine will convert the power and noise estimates from 1B-21 to radar reflectivity factors (Z-factors).

(c) 2A-21 Sigma 0

This routine estimates the path attenuation and its reliability using the surface as a reference target. It also computes the spatial and temporal statistics of the surface scattering coefficients (sigma 0), and classifies the coefficients into land/water, rain/no-rain categories.

(d) 2A-23 PR Qualitative

This routine will output the rain/no-rain information. When rain is present, its height and type will be given. It also tests whether a bright band exists in rain echoes and determines the bright band height when it exists.

(e) 2A-25 PR Profile

This algorithm estimates rain rate profiles for each radar beam. The rain rate estimate is given for each resolution cell (4 km by 4 km by 250 m) of the PR radar. This routine will also output an average rain rate between two height levels (2 and 4 km) for each radar beam.

(f) 3A-25 Space-Time Accumulations of Radar Products

This routine will accumulate several important parameters derived in 1C-21, 2A-21, 2A-23 and 2A-25. It will calculate the statistics of the parameters over a space-time region. The most important output products are the monthly rainfall accumulations and monthly average rain rates over 0.5 deg. by 0.5 deg. and 5 deg. by 5 deg. boxes at fixed heights of 2 and 4 km.

(g) 3A-26 Space-Time Accumulations using a Statistical Method

This routine will compute rainfall accumulations and rain rate averages over 0.5 deg. by 0.5 deg. and 5 deg. by 5 deg. by 1 month boxes using a statistical method (multiple threshold method).

Sea Surface Temperature Observations from TMI and VIRS



13 February 2000, orbit=12733

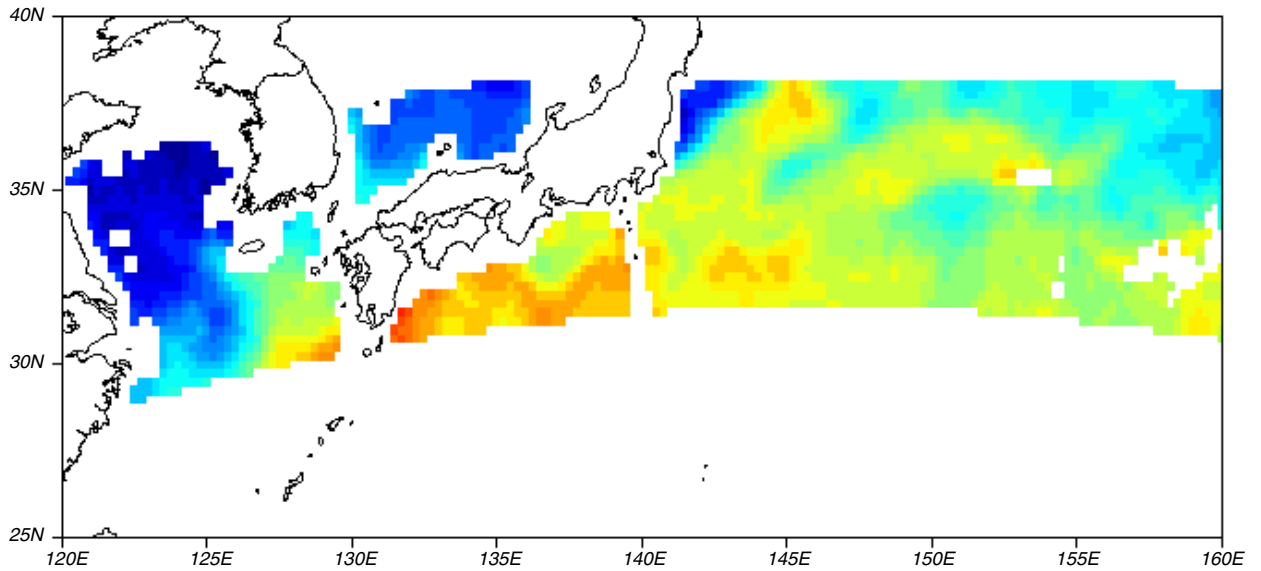


Fig.1 TMI Sea Surface Temperature

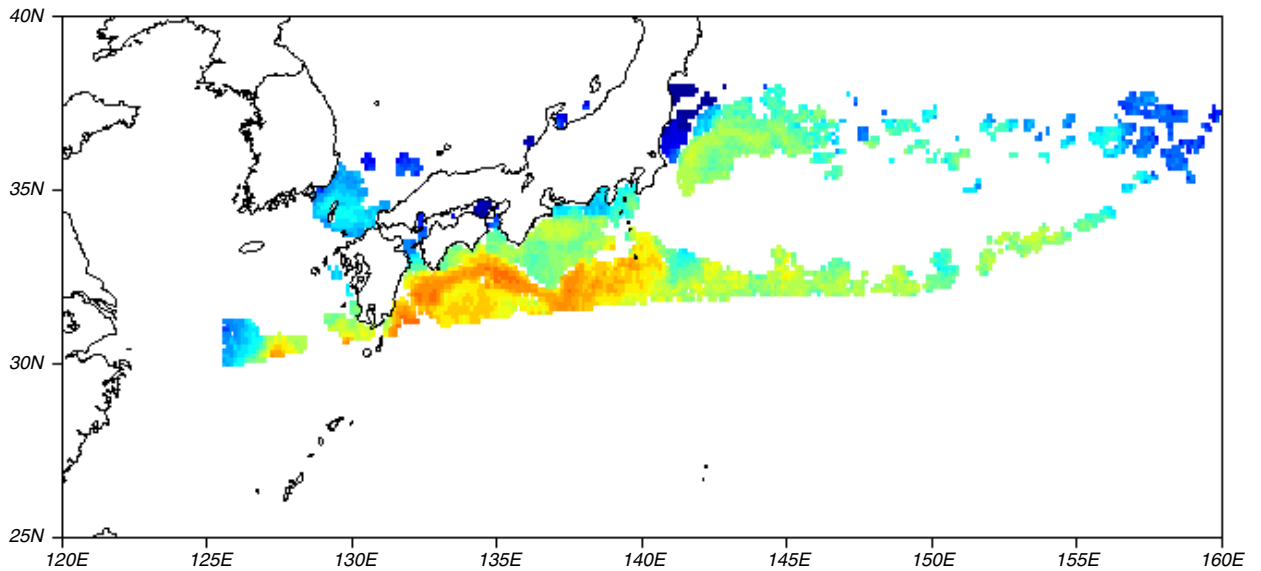
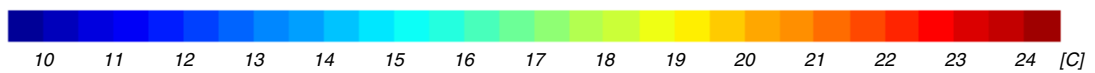


Fig.2 VIRS Sea Surface Temperature



TMIとVIRSの海面水温

これらは熱帯降雨観測衛星 (TRMM) による、2000年2月13日8時頃 (日本時間17時頃) における日本付近の海面水温です。上図がマイクロ波観測装置 (TMI) による海面水温観測、下図が可視赤外観測装置 (VIRS) による観測です。

これまで、衛星からの観測データとして主にNOAAの赤外センサ等による海面水温観測データが利用されてきましたが、赤外センサは雲の下の海面水温を観測できないため、雲の多い時期や海域について有効な情報を得ることができませんでした。マイクロ波放射計による海面水温観測は、分解能は赤外に比べると粗いものの (30-40km程度)、雲の下の海面水温を測定することができるという大きな利点を持っています。図を見ても明らかなように、赤外 (下図) で欠測となっている雲域の大部分がマイクロ波 (上図) では観測可能になっています。このため、TMIによる海面水温観測の漁場予測などへの利用が期待されています。

Sea Surface Temperature Observations from TMI and VIRS

Those figures show that sea surface temperature (SST) observations near Japan from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite on February 13, 2000 (8UTC). Upper figure shows SST observation by the TRMM Microwave Imager (TMI), and lower by the Visible Infrared Scanner (VIRS).

SST is often estimated using infrared sensors such as the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on the NOAA series of spacecraft. Since infrared sensors cannot measure SST under clouds, it is hard to obtain information for SST during cloudy seasons or over convective regions. Although SST observation by microwave sensor has coarse horizontal resolution (30 to 40 km) compared to that by infrared sensor, there is a major advantage that microwave sensors are not influenced by clouds. As seen in those figures, a microwave sensor (upper panel) can measure SST in almost all regions with missing value (white) from infrared observation (lower panel) because of clouds. SST observed by TMI is expected to be used for forecasts of fisheries.

Two-year Global Rainfall Distribution Measurements Using the TRMM PR

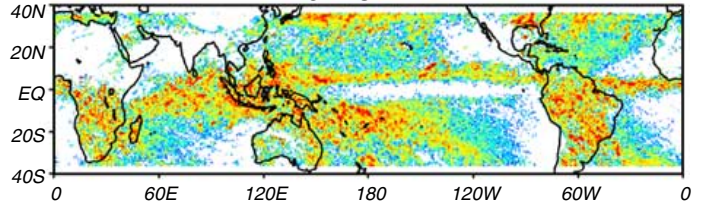
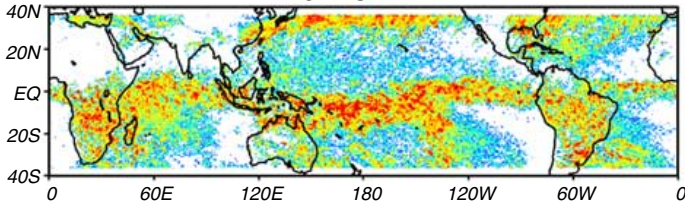


1998

1999

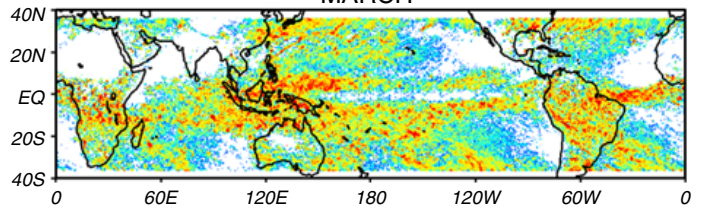
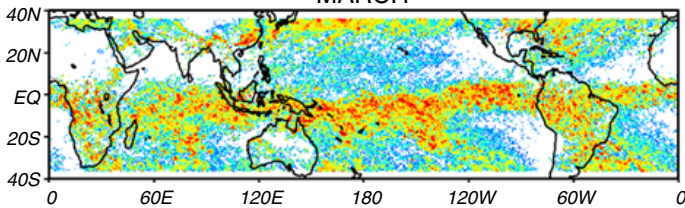
JANUARY

JANUARY



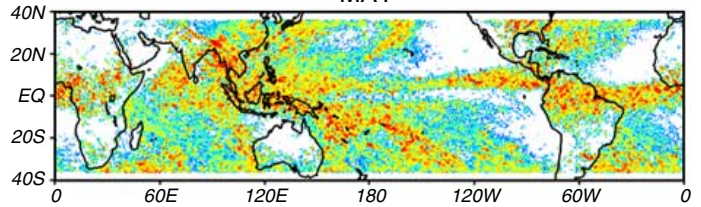
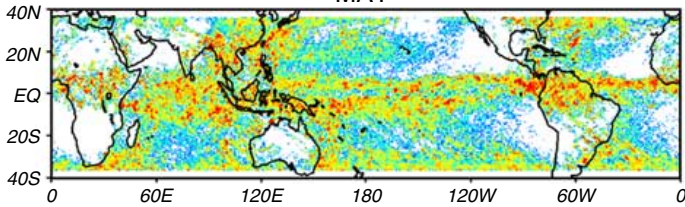
MARCH

MARCH



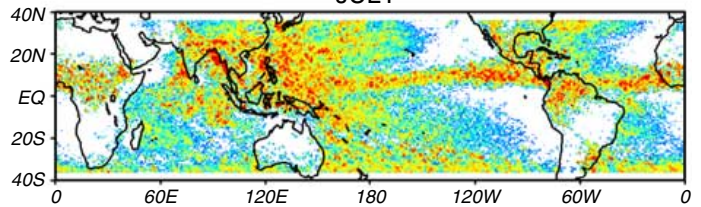
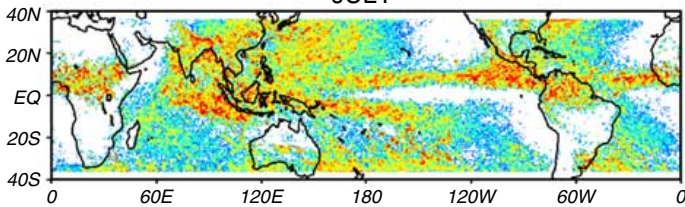
MAY

MAY



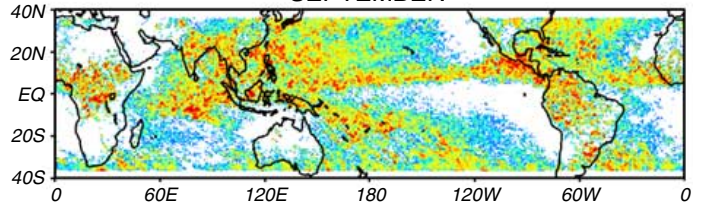
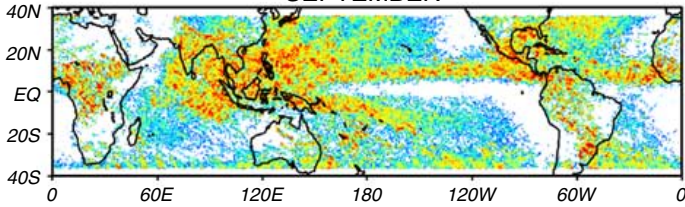
JULY

JULY



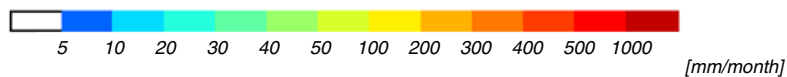
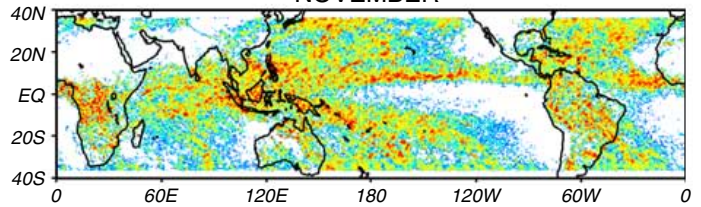
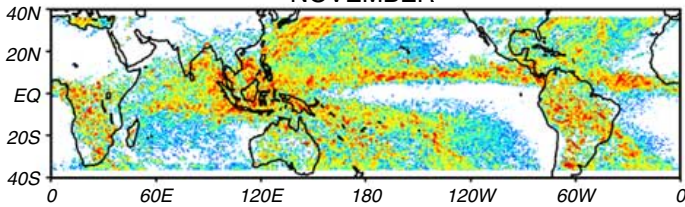
SEPTEMBER

SEPTEMBER



NOVEMBER

NOVEMBER



TRMM PRによる2年間の月降水量観測

これらは熱帯降雨観測衛星(TRMM)に搭載された降雨レーダ(PR)によって観測された、1998年と1999年の奇数月の降水量全球分布です。ここでは地上付近月積算降水量のデータを示しています。PRは、これまでの衛星搭載センサと異なり、降雨を3次元的に観測できること、海上陸上を問わず定量的な観測ができることが大きな特長です。これにより全球的な降雨分布の季節変化および年々変動がわかります。

これらの図をみると、低緯度地域では降水が多い領域が夏半球側に集中していることがわかります。このような季節変化の他に、1998年初めにはエルニーニョの影響により、通常は西太平洋に見られる降雨の多い領域が中部太平洋にシフトしています。1998年5月には、モンスーンの開始に伴いアジアモンスーン域で急激に降水量が増加しています。またこの頃エルニーニョは急速に終息しました。熱帯において帯状に降水量の多い領域である、熱帯収束帯(ITCZ)の位置の変化も、この間に急激に起こっている様子が、1998年と1999年の同じ月の観測を比べるとよくわかります。

1997年から1998年にかけては、ペルー沖の海水温度が上昇するエルニーニョ現象が起こっていました。エルニーニョが起こると、大気対流活動の活発な領域が変わります。降雨が生成される過程で潜熱が大気に放出され、その場所や高度の違いが大気循環に影響を及ぼします。その結果、世界の各地で異常な天候が起こることは知られていますが、PRによって、大気循環の駆動源である降雨の3次元分布を初めて定量的に測定できるようになりました。このことにより、大気循環の駆動源の実態をより正確に把握することができるため、エルニーニョ発生終息の過程の解明を含め、異常気象の解明など科学的理解に役立つことが期待されています。

Two-year Global Rainfall Distribution Measurements Using the TRMM PR

These figures show the global rainfall distribution of odd months for 1998 and 1999, measured by the Precipitation Radar (PR) aboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. This is a graphic representation of monthly accumulated rainfall data near the surface. Unlike existing satellite sensors, a major characteristic of PR is its ability to measure rainfall three-dimensionally and to make quantitative measurements over both the land and ocean, thereby making it possible to comprehend seasonal changes and annual fluctuations in the distribution of rainfall.

It is clear that heavy rainfall in low latitudes is zonally concentrated in the summer hemisphere in these figures. In addition to such seasonal changes, heavy rainfall areas that are normally observed in the western Pacific shifted to the central Pacific during early 1998 because of the El Niño event. In May 1998, the amount of rainfall in the Asian monsoon region rapidly increased with the onset of the monsoon season. Also the El Niño event rapidly decayed at this time. Rapid changes of the location of the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ), which is a zonal heavy rainfall area in the tropics, occurred during this period. Comparison of the same month in 1998 and 1999 shows obvious effects of El Niño and La Niña on the global rainfall distribution.

An El Niño phenomenon, which is warmer sea surface temperature than normal years over the eastern equatorial Pacific, occurred in 1997 to 1998. When an El Niño event occurs, locations of active convective areas can be changed. Latent heat is released into the atmosphere during the process, generating rainfall. Differences in location and altitude of latent heat release affect atmospheric circulation, and, as a result, abnormal weather is known to occur around the world. PR has made it possible for the first time to quantitatively measure the three-dimensional distribution of rainfall. Since it will be possible to understand the driving source of atmospheric circulation more accurately from those observations, they should be useful for future understanding of the climate, such as El Niño and abnormal weather.



TRMM Level 3 Monthly Rainfall Products (MAY 2000)

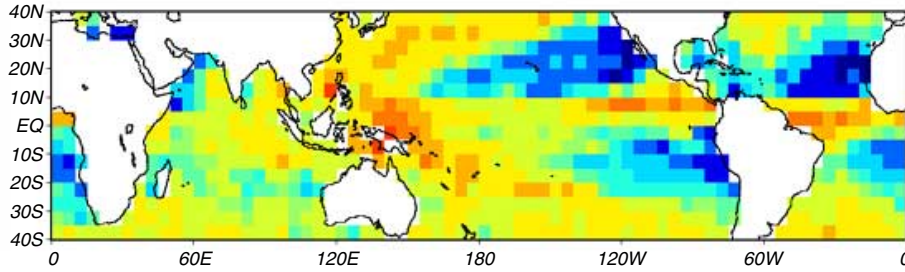


Fig.1 TMI 3A11

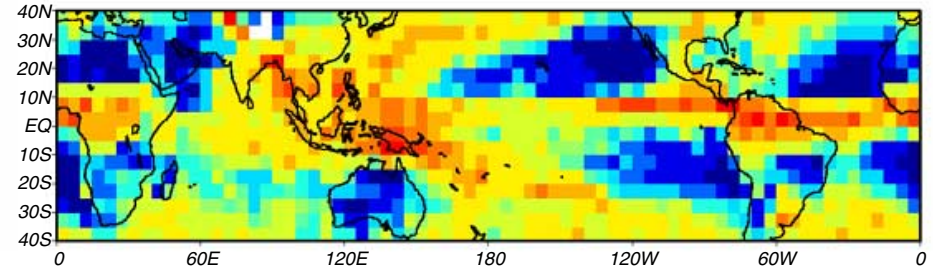


Fig.4 COMB 3B31 from TMI 2A12

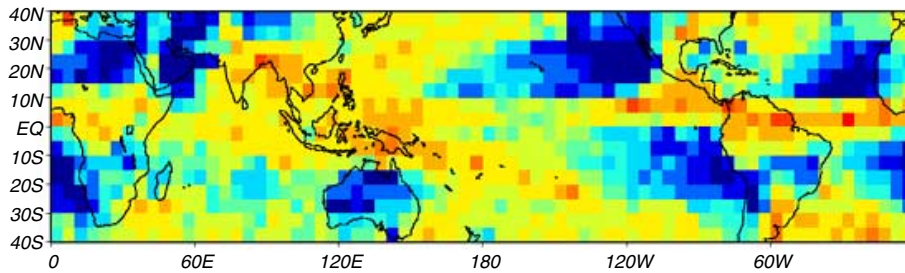


Fig.2 PR 3A25 (Grid 1)

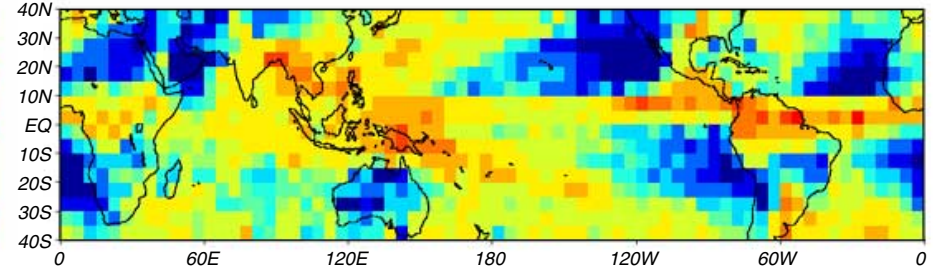


Fig.5 COMB 3B31 from COMB 2B31

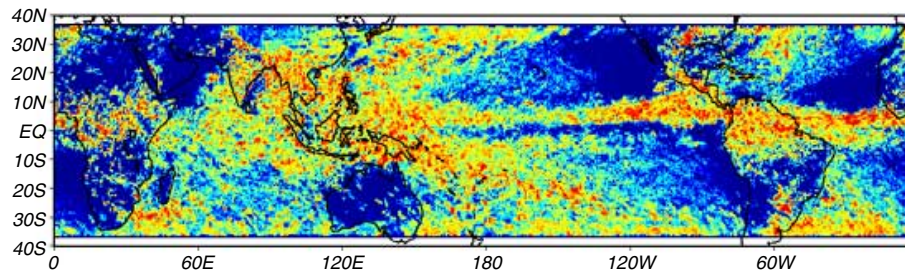


Fig.3 PR 3A25 (Grid 2)

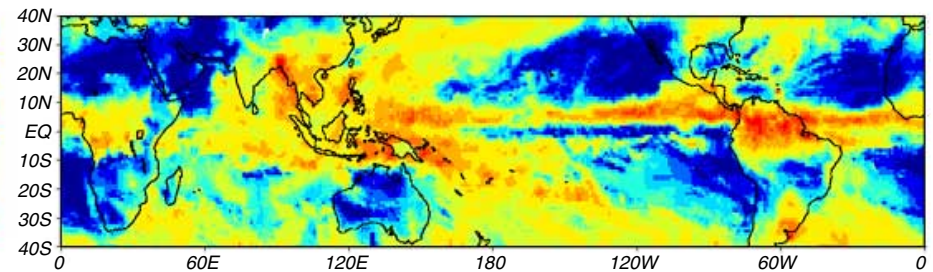
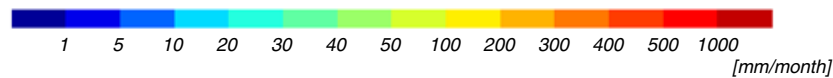


Fig.6 3B43 TRMM & Other Data Sources



2000年5月のTRMM全球月降水量プロダクト (レベル3)

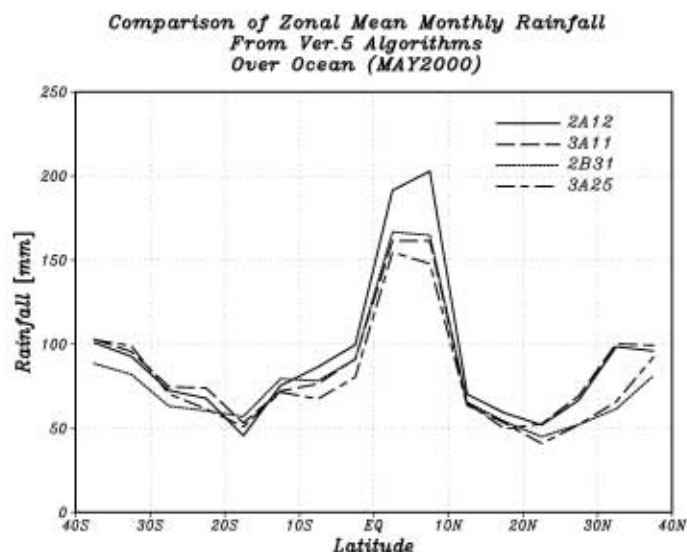
これらは、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載の降雨レーダ (PR)、TRMMマイクロ波観測装置 (TMI)、PRとTMIを組み合わせた複合アルゴリズム (COMB)、TRMMと静止気象衛星および地上雨量計のデータを組み合わせたアルゴリズム (TRMM and Others Combined) などのレベル3標準プロダクト (月平均、緯度経度格子データ) から求めた、2000年5月の地表面での月積算降水量分布を示しています。このページの図7はこれらのうちの、5度×5度緯経度格子のプロダクト (図1, 2, 4, 5) について、海洋上でのみの降雨の緯度平均をとったものです。以下にそれぞれのアルゴリズムの説明を示します。

- (a) 3A11 (TMI Emission) : TMIレベル1データ (輝度温度) を用いて、5度×5度格子の海洋上の月積算降水量分布 (図1) を作成します。
- (b) 3A25 (PR Rainfall) : PRレベル2データ (降雨強度) を用いて、低分解能 (5度×5度格子、地表面および鉛直5層) および高分解能 (0.5度×0.5度格子、地表面および鉛直3層) の月平均降雨強度を作成します。ただし、図2 (低分解能) および図3 (高分解能) は、他のプロダクトと比較するため、月積算降水量を別途計算して示しています。
- (c) 3B31 (Rainfall Combined) : TMIとPRの複合プロダクト (2B31) に含まれる、PRの観測幅 (220km) のデータで作成された高品質の降水量を用いて、TMI2A12プロダクト (降水量) の広い観測幅 (760km) のデータの校正を行い、5度×5度格子の月積算降水量分布 (図4) を地表面及び鉛直14層について作成します。また、2B31プロダクトから計算した5度×5度格子の月積算降水量分布 (図5) についても、地表面及び鉛直14層のデータを作成します。
- (d) 3B43 (TRMM and Other Data Sources) : TRMM、静止気象衛星の赤外面像および雨量計のデータから、TRMM観測領域内の「最良」の月平均降水量を1度×1度格子で提供します。ただし、図6は他のプロダクト比較するため、月積算降水量を別途計算して示しています。

TRMM Level 3 Monthly Rainfall Products

Figures 1 to 6 show monthly accumulated surface rainfall in May 2000, selected from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Level 3 standard products (monthly and latitude-longitude grid); the Precipitation Radar (PR), the TRMM Microwave Imager (TMI), the PR and TMI combined algorithm (COMB) and "TRMM and Others Combined" algorithm. Figure 7 on this page compares zonal mean monthly rainfall over ocean only for 5° x 5° products (Figs. 1, 2, 4 and 5). Each algorithm is briefly described below.

- (a) 3A11, "TMI Emission," produces 5° x 5° monthly oceanic rainfall maps (Fig. 1) using TMI Level 1 data.
- (b) 3A25, "PR Rainfall," computes monthly mean rain rate from PR Level 2 data at both a low horizontal resolution (5° x 5° latitude/longitude for near surface and five vertical layers) and a high resolution (0.5° x 0.5° latitude/longitude for near surface and three vertical layers). Note that Figs. 2 (low resolution) and 3 (high resolution) show monthly accumulated rainfall calculated from original data in order to compare with other Level 3 products.
- (c) 3B31, "Rainfall Combined," uses the high-quality retrievals done for the narrow swath in combined Level 2 (2B31) data to calibrate the wide swath retrievals generated in TMI Level 2 (2A12) data. It calculates monthly accumulated rainfall at each 5° x 5° latitude/longitude box for near surface (Fig. 4) and 14 vertical layers. Monthly accumulated rainfall at each 5° x 5° latitude/longitude box for near surface (Fig. 5) and 14 vertical layers calculated from 2B31 is also included.
- (d) 3B43, "TRMM and Other Data Sources," provides a "best" precipitation estimate in the TRMM region from all global data sources, namely TRMM, geosynchronous IR, and rain gauges, at each 1° x 1° latitude/longitude box. Note that Fig. 6 shows monthly accumulated rainfall calculated from original data (monthly mean) in order to compare with other Level 3 products.

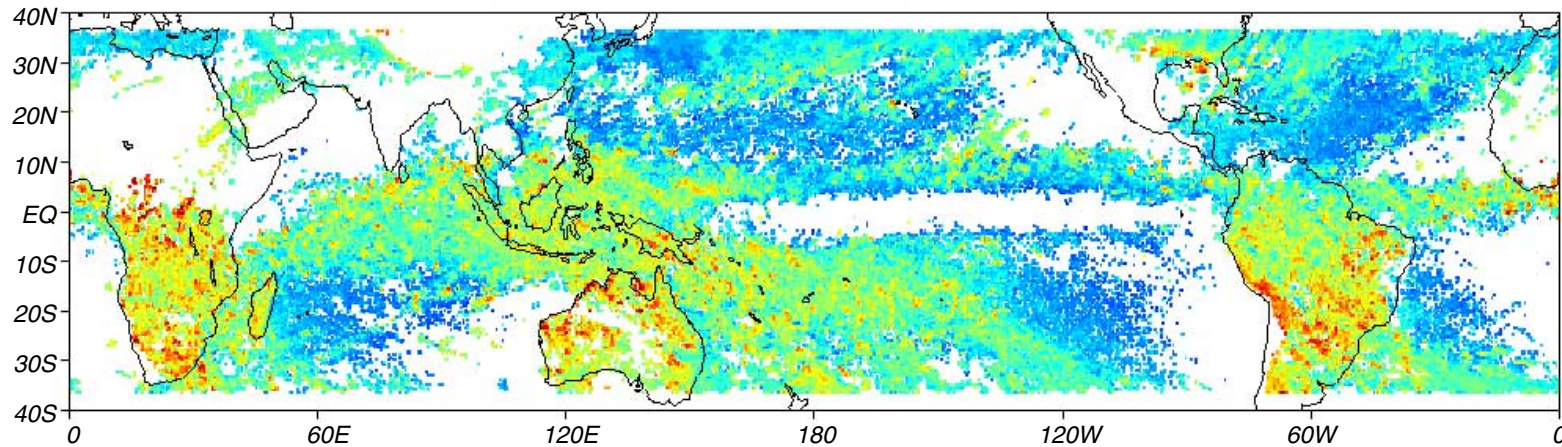




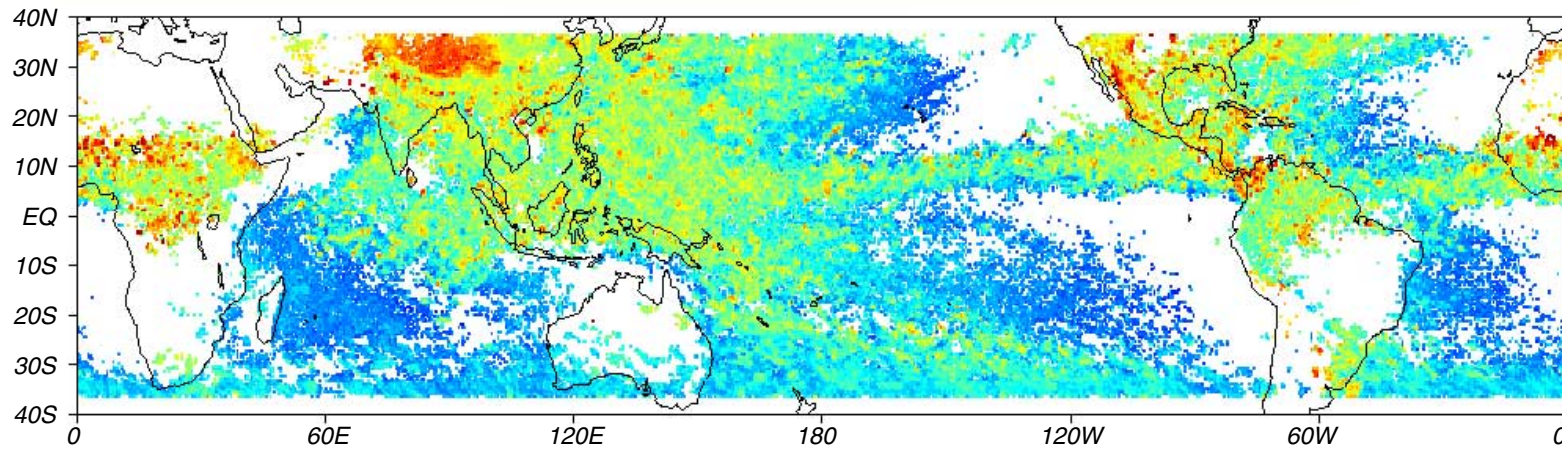
Global Storm Height Distribution Observed by the TRMM Precipitation Radar



Jan. 1999



Jul. 1999



TRMM降雨レーダによって観測された降雨頂の全球分布

この図はPRにより観測された降雨頂 (降雨の最上端で、海面からの高度を示しています)の全球分布で、上図が1999年1月、下図が1999年7月のものです。

例えば上図のアフリカなどの大陸に見られるように、陸上では海上よりも降雨の頂が高い雨が観測されていることがわかります。これは陸上では海上よりも地表面が暖められやすく、対流活動が発達しやすいことによります。

南太平洋では南米の沿岸から遠ざかるに従い、徐々に降雨頂が高くなっています。このような傾向は今まで船舶の観測等によって指摘されていましたが、このような広い範囲にわたって観測されたのは初めてです。

またチベット高原のような標高の高い地域でも夏期に降雨が観測されています。この降水によって高い高度に放出される潜熱は、モンスーンをはじめとした大気の大循環に大きな影響を与えます。

これまで雲の高さについては気象衛星などで観測することは可能でしたが、PRによって初めて雲の内部で降水がどの高さまで存在しているかを、直接グローバルに観測することが可能になりました。これは、大気科学研究への利用のみならず、降雨減衰の影響を受ける衛星通信システムの設計にも役立つなど、幅広い分野への貢献が期待されます。

Global Storm Height Distribution Observed by the TRMM Precipitation Radar

These figures show the global distribution of storm height from sea level observed by the Precipitation Radar (PR) aboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite in January 1999 (upper panel) and July 1999 (lower panel).

As observed in Africa and other continents in the lower panel, the storm height over the land is higher than that over the sea because ground surfaces tend to be heated and convections are more easily developed over the land than over the sea.

The storm height gradually increased in the south Pacific as the distance from the coast of South America increased. Such trends have been partly reported from ship observations, but this is the first observation on such a large scale.

In addition, rainfall is observed in high elevation areas such as the Tibetan plateau in the summer season. The latent heat release at high elevations with rain generation has a considerable effect on the monsoon and other atmospheric circulations.

While it has been possible to observe cloud height by using weather satellites, PR directly observes the rain top height inside clouds for the first time. It is expected to contribute not only to scientific research of the atmosphere but also to various fields such as the design of satellite communication systems affected by rainfall attenuation.



PR and TMI observations of Typhoon No. 18, 1999 “Bart”

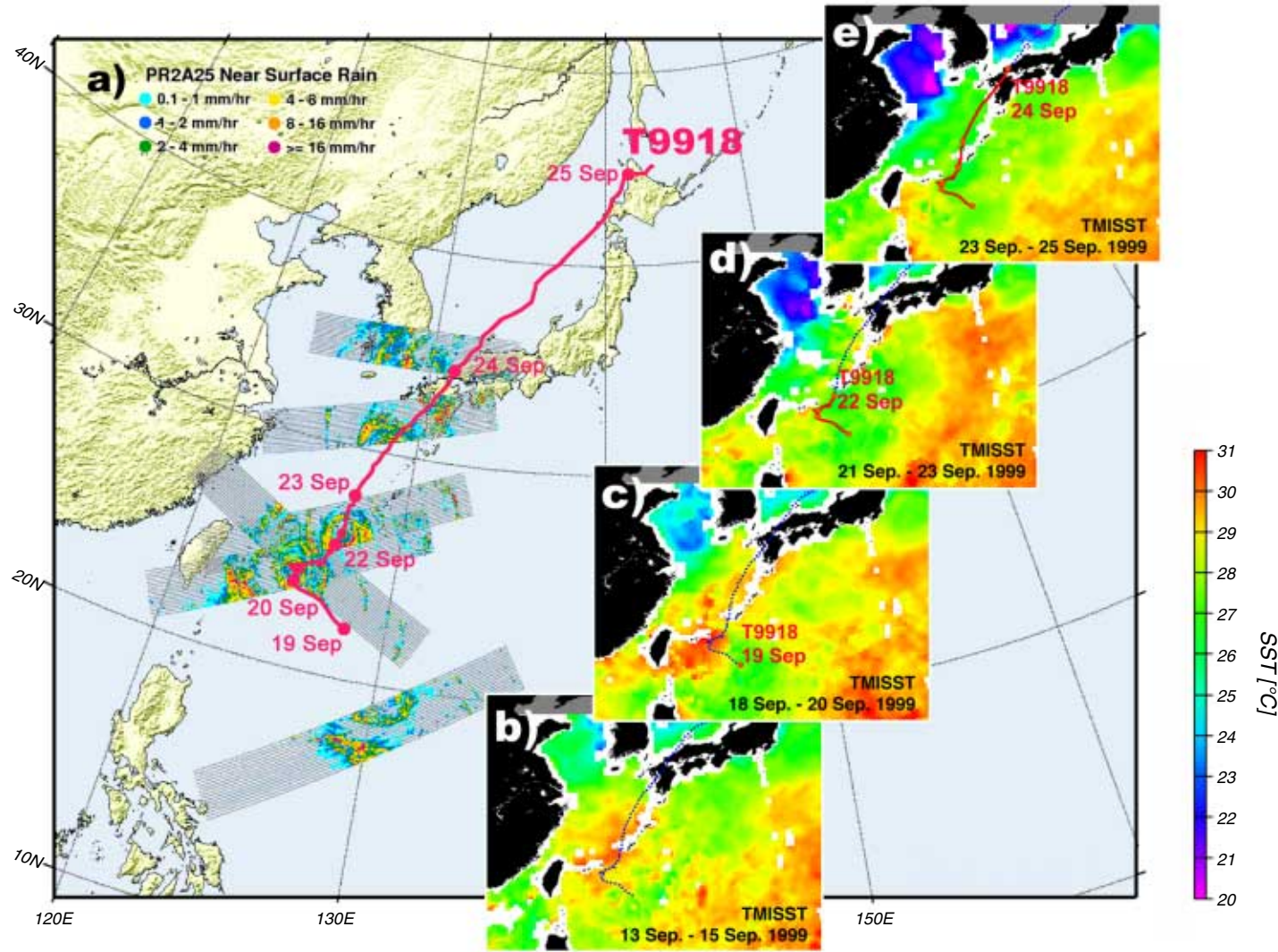


Fig.1 Rainfall Observation of Typhoon “Bart” by PR and Related Sea surface Temperature Variation by TMI

PR (降雨) とTMI (海面水温) による1999年台風18号の観測

図aは、1999年9月の台風18号について、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載の降雨レーダ (PR) によって捉えられた地表付近の降雨強度 (単位はmm/hr) の水平分布です。9月19日に発生した台風18号が日本付近を通過する間に、PRはこれを5回観測しました。また、台風が発生する以前にも、フィリピンの東海上で渦状のまとまった降雨域が観測されています。台風18号の経路は赤の実線で示されており、赤丸はそれぞれの日付の午前9時 (日本時間) における台風の位置をあらわしています。これらの観測から、台風の北上に伴う降雨域の形状の変化や、九州や四国の山地斜面で発生した強い降雨の様子がわかります。

図b-eは、TRMMマイクロ波観測装置 (TMI) から求められた、この台風の通過に伴う海面水温の変化を連続的に示したものです。それぞれ、(b) 9月13-15日 (台風発生前)、(c) 18-20日 (台風発生直後)、(d) 21-23日 (台風通過中)、(e) 23-25日 (台風通過後) の3日平均です。それぞれの図中の赤い実線は、図中の日付を現在とした台風の進路で、青い点線はその後の進路を示しています。これらの図から、台風の通過に伴って、経路に沿った広い領域の海面水温が低下していることがわかります。特に南西諸島付近では、台風通過後は通過前に比べて海面水温が3°C近く下がっています。

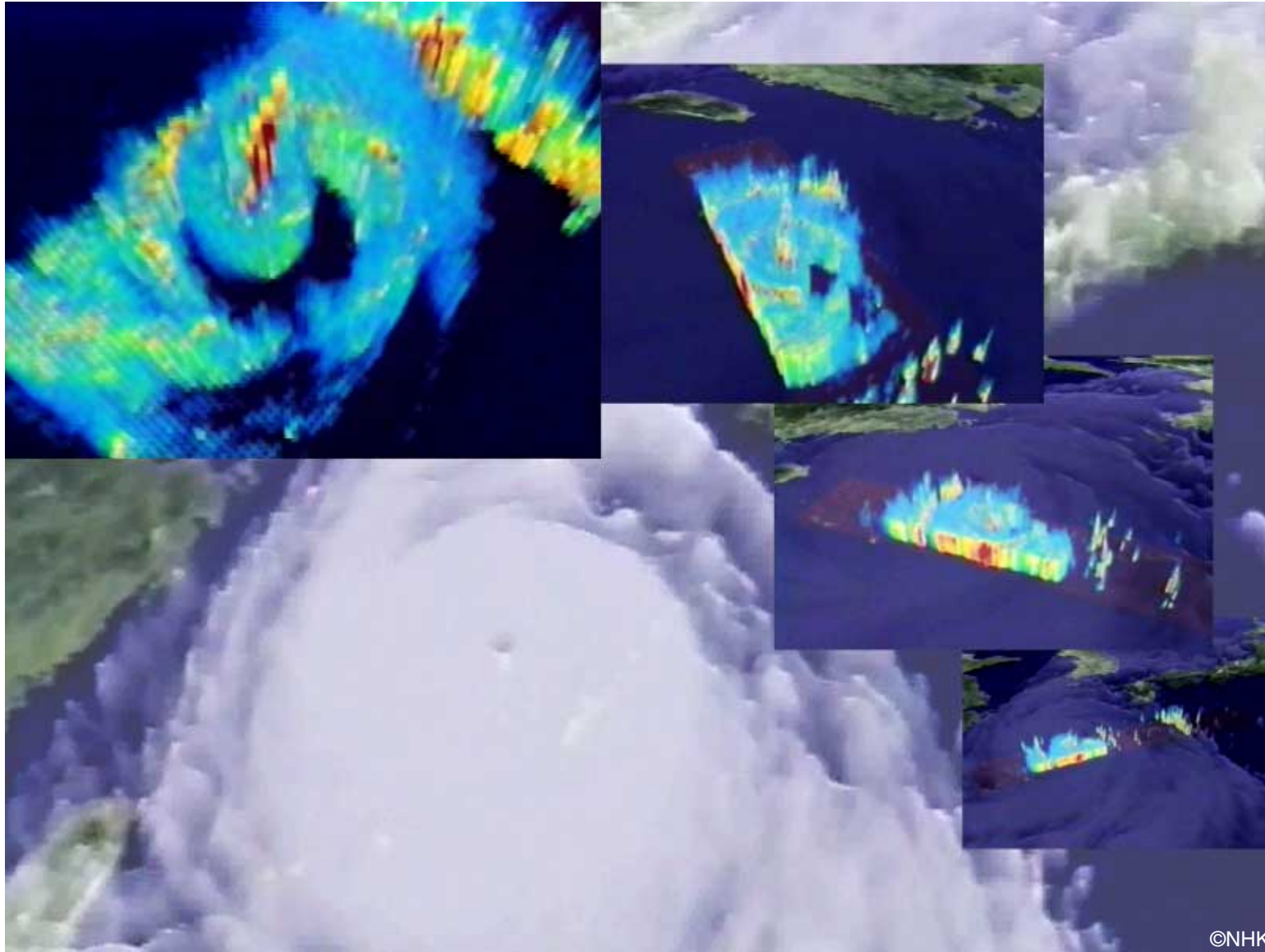
PR and TMI observations of Typhoon No. 18, 1999 "Bart"

Figure 1 shows horizontal distributions of rain rate near the surface (unit is mm/hr) observed by the Precipitation Radar (PR) aboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite for Typhoon "Bart" (No. 18) in September 1999. Typhoon "Bart" developed on September 19, and PR observed it five times as it passed through near Japan. Organized rainfall distribution east of the Philippines was also observed by PR before the typhoon developed. The storm track of Typhoon "Bart" is shown as the red line in the Fig. 1, and red dots indicate the center of the typhoon at 00UTC (09JST) in each date. There are changes of rainfall distributions as the typhoon moved north, and heavy rainfall developed at the slopes of mountains in Shikoku and Kyushu islands.

Figure 2 shows variations of sea surface temperature (SST), retrieved from the TRMM Microwave Imager (TMI), related to the typhoon passage. The figures show the three-day mean SST from September 13 to 15 (before the typhoon developed), from 18 to 20 (just after the typhoon developed), from 21 to 23 (typhoon passing), and from 23 to 25 (after typhoon passed). The red solid line indicates the past and present storm track of the typhoon in each figure, and the blue dashed line indicates future ones. It is clear that SST along the storm track decreased as the typhoon passed. In particular, the SST around the Southwest islands decreased about 3 °C after the typhoon passed.



3-D Virtual images of Typhoon No. 18, 1999 "Bart"



1999年台風18号の立体イメージ図（1999年9月22日）

この図は、1999年9月22日18時17分（日本時間）頃に熱帯降雨観測衛星（TRMM）に搭載された降雨レーダ（PR）が捉えた沖縄近海にある台風18号の立体イメージです。この時、中心気圧が930hPaまで下がり、台風として最も発達していた時期に当たります。またこの時の那覇の風速は30m/sを超えていました。この台風の接近により、熊本県不知火町で高潮による死者が出た他、愛知県豊橋市で竜巻が発生するなど、各地に大きな被害をもたらしました。

気象衛星ひまわりの雲画像では、台風の目がはっきりと見えています。雲画像ではこの目の周りは一様に雲が広がっていますが、PRで見ると目の回りに、非常に背が高く、強い降雨が発達していることがわかります。その外側は反対に全く降雨のない領域があり、さらにその回りに螺旋状に強い降雨の帯が発達していることがわかります。立体画像でいろいろな角度から見ると、この降雨の帯は垂直に立っていて、はっきりとした降雨の壁となっていることがわかります。

3-D Virtual images of Typhoon No. 18, 1999 "Bart" (22 September 1999)

These are virtual images of Typhoon No. 18 observed by TRMM Precipitation Radar (PR) at 1817 JST on 22 September 1999. The center pressure was 930hPa. This typhoon was in the strongest stage, and wind speed at Naha exceeded 30m/s. This typhoon brought disaster to the Japan Islands. A flood tide killed 18 people at Shiranui-cho, in Kumamoto prefecture and large tornadoes appeared at Toyohashi, Aichi prefecture, with the approaching of the Typhoon.

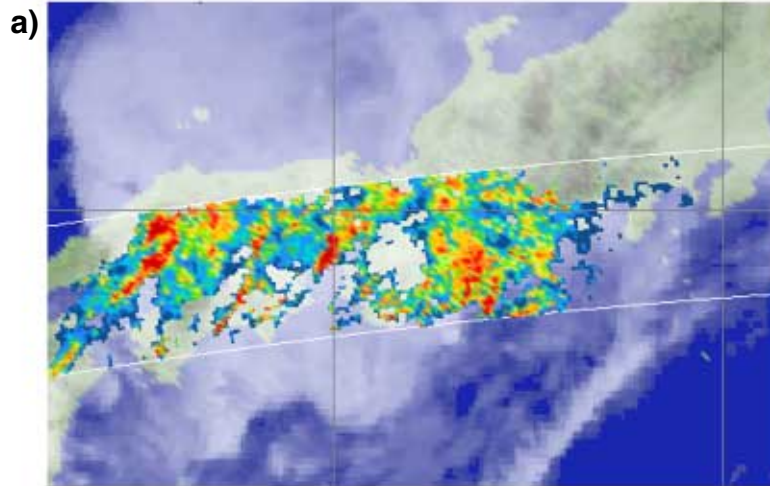
A clear eye of the typhoon and surrounding high clouds can be detected in the cloud image revealed by Geostationary Meteorological Satellite (GMS). Very high and strong rain developed just around the eye, and a rain-free area existed just around the strong rain. Spiral rainbands also developed around the rain-free area. Clear walls of rainbands can be seen in three-dimensional images from various points of view.



Heavy Rains in West Japan on June 29, 1999



June 29, 1999 6:57 - 7:00 (UTC)



June 29, 1999 8:32 - 8:36 (UTC)

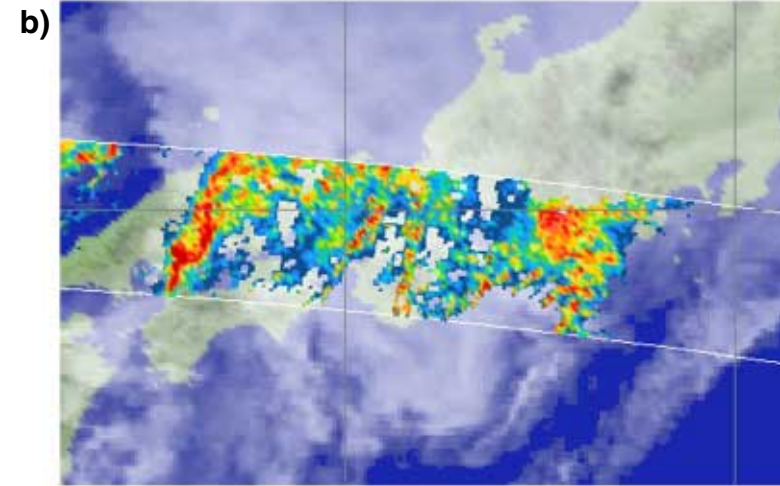


Fig.1 Horizontal cross section of rain at 2.0km height

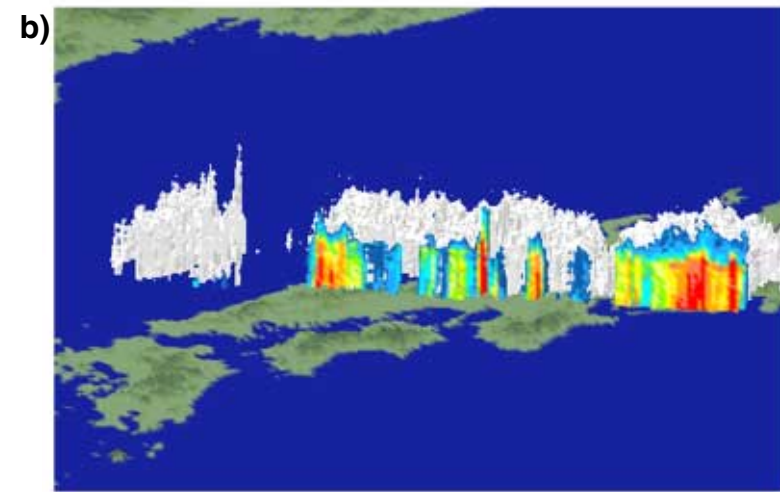
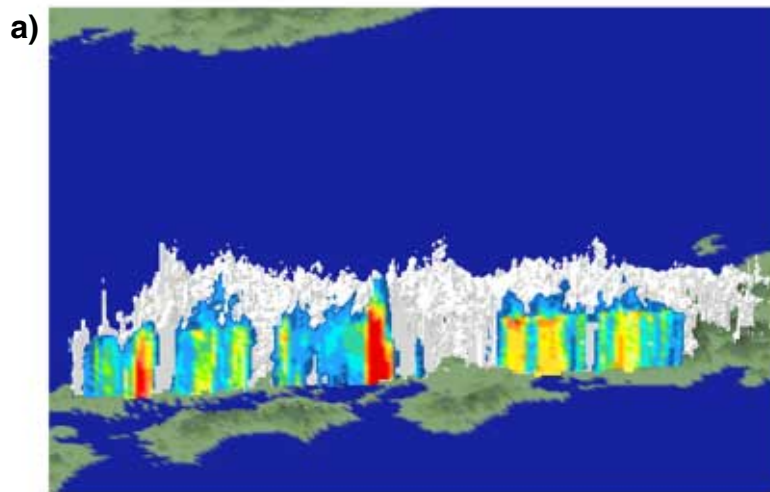
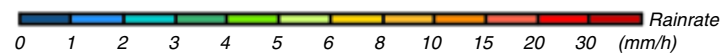


Fig.2 Three-dimensional Image of precipitation



西日本豪雨 (1999年6月29日)

この図は、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) に搭載された降雨レーダ (PR) が捉えた1999年6月29日の西日本豪雨の様子です。梅雨前線の活発化に伴うこの豪雨によって大きな被害がもたらされました。

TRMMはこの日の午後4時頃 (図1a,2a) と午後5時半頃 (図1b,2b) (ともに日本時間) に西日本を2回観測しました。2回の観測の図を比べると、対流性の強い雨域 (赤系の色で示された領域) が北東から南西にかけてライン状に何本も伸び、その位置が時間とともに西から東に移動していったことがわかります。この時の立体図を見ると、降雨の高さは高いところでも7km程度となっていました。この高度はそれほど高くはありませんが、非常に激しい雨をもたらしました。

PRの観測では、1時間の降雨強度がところによって60mmを超えていました (図2b)。この時地上雨量計でも、広島県地方で1時間の降水量が60mm以上を記録しており、PRによる降雨の推定がおおむね正しいことを示しています。

Heavy Rains in West Japan on June 29, 1999

These are images of concentrated heavy rain over western Japan observed by TRMM Precipitation Radar (PR) on June 29, 1999. Much damage was brought by this heavy rain caused by the activated seasonal rain front (Baiu front).

TRMM observed western Japan twice at 15:57-16:00 (Fig. 1a and 2a) (local time) and 17:32-17:36 (Fig. 1b and 2b) (local time) in the afternoon on that day. In these two images, heavy rain bands crossing from northeast to southwest were moving in the eastward direction. The three-dimensional images of rainfall show the rain height reaches approximately 7km. Although the rain top is not so high, it brought very heavy rain.

In the PR observation, rain rates exceeding 60mm/hour were observed over Hiroshima (Fig. 2b). According to the AMeDAS rain gauge observation, rain rates of more than 60mm/hour were recorded at Hiroshima. This shows that rain estimates by PR agree with ground-based measurements.

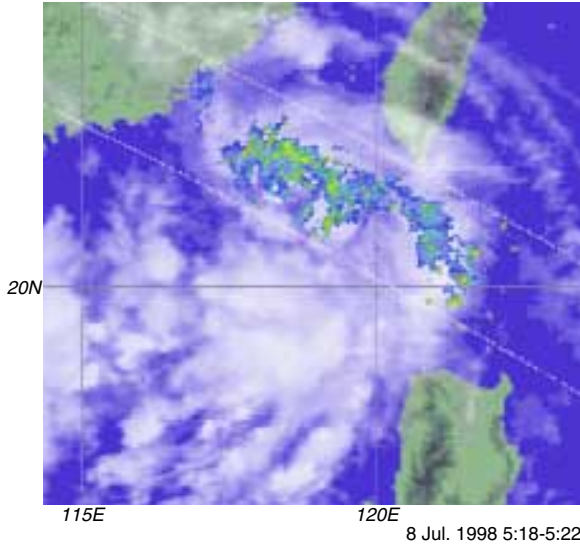


Evolution of Tropical Cyclone

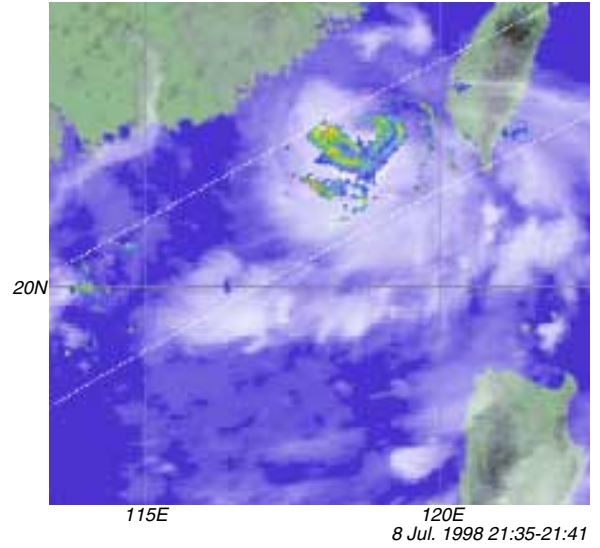


Formation and developing stage

GNS IR 5:00 (UTC) by JWA

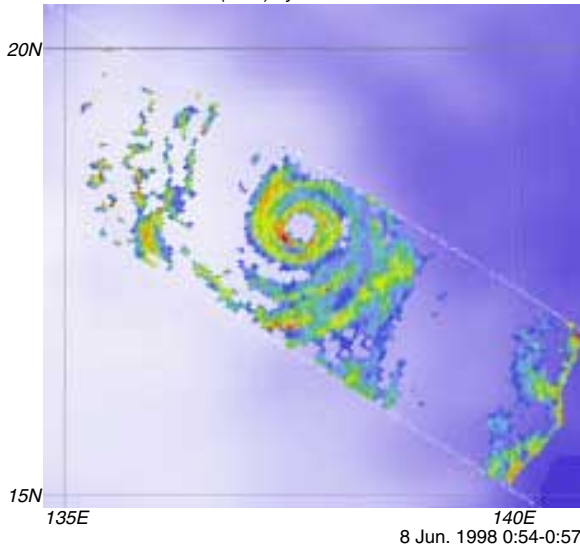


GNS IR 21:00 (UTC) by JWA

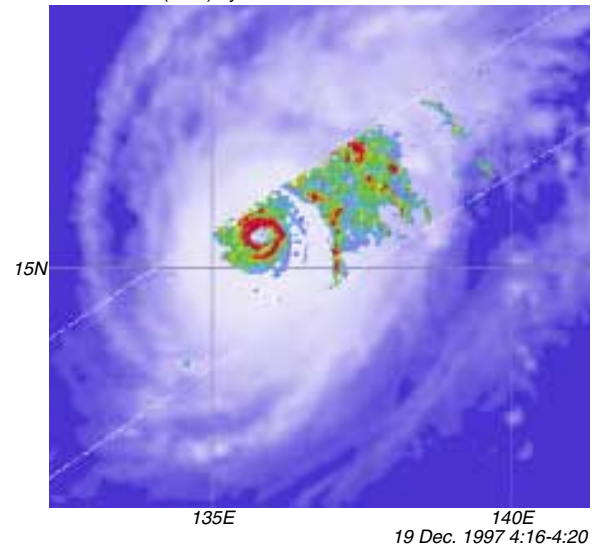


The Mature stage

METEOSAT IR 0:00 (UTC) by JWA

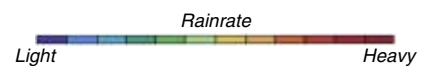
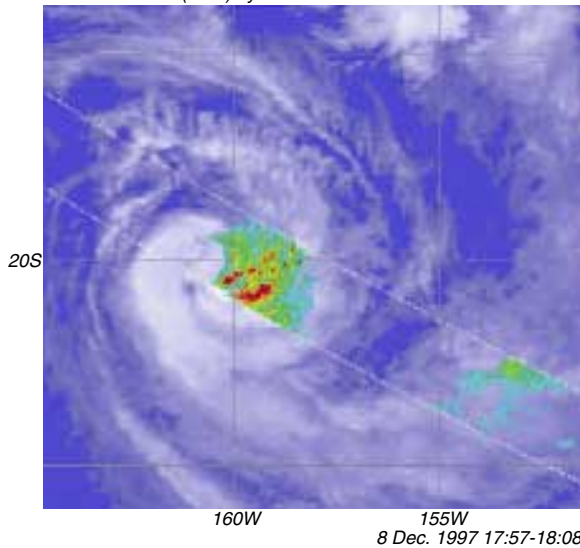


GNS IR 4:00 (UTC) by JWA



Decaying stage

GOES IR 18:00 (UTC) by JWA

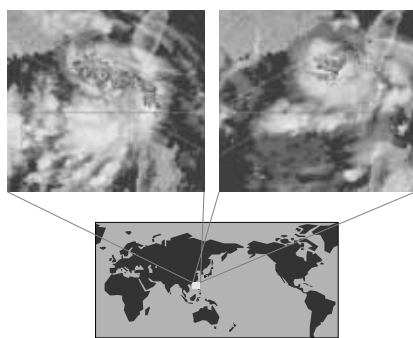


TRMMが捉えた熱帯低気圧の一生

南北35度の緯度の間を昼夜、陸上・海上を問わず観測しているTRMMによってさまざまな発達段階の熱帯低気圧を観測することが可能です。特に熱帯低気圧が発生するのは観測網のない熱帯の海洋上であることが多く、これまで観測が困難だったのですが、TRMMはこのような海洋上でも低気圧の内部構造を鮮明に見せてくれます。ここでは熱帯低気圧のさまざまな発達のステージを、降雨レーダ (PR) による高度2kmの水平断面に、気象衛星の雲画像を重ねて示しています。

Evolution Tropical Cyclone

TRMM can detect various evolution stages of tropical cyclones. It is especially difficult to observe the occurrence and developing stages over tropical oceans, where surface radars are not available. TRMM clearly shows the internal structure of the cyclone in detail over such oceans. In these maps, the various evolution stages of the cyclone are shown by horizontal cross section of the Precipitation Radar (PR) rain maps at an altitude of 2.0 km superposed on cloud maps of the meteorological satellites.

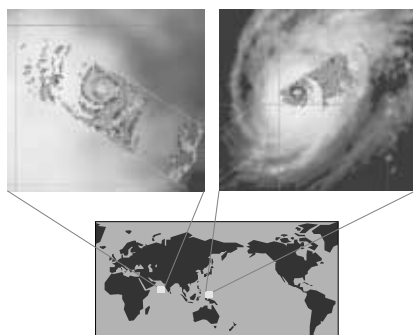


発生・発達期

これは1998年7月8日に台湾の南西に発生した熱帯低気圧です。最初は広い範囲に分布していた降水域 (左図) が、その16時間後には低気圧が発達するにつれて小さくまとまり、その分赤く示されている強い降水域が発生していることがわかります (右図)。この低気圧はこの10時間後に台風1号に成長しました。

Formation and developing stage

These images show a tropical cyclone that formed at the southwest of Taiwan on 8 July 1998. Light rain is indicated in blue, broadly north and east of eye (left image). It then gathers and develops after 16 hours (right image). It has some strong rain parts indicated red color. After 10 hours, this cyclone grew to become Typhoon No. 1 in 1998.



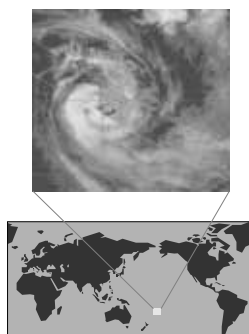
最盛期

右の図は1997年12月にグアム島に大きな被害をもたらした台風28号 (パカ) です。台風の目の部分では雨が降っていないことがわかります。ほぼ同心円状をしている雲に対して、雨は目の東側だけで降っています。台風の目の周縁部、および東側の降水域の中には、台風の「レインバンド」と呼ばれる線状の非常に強い雨域が何本もあることがわかります。

左の図は1998年6月にインド半島の西岸で発達した熱帯低気圧です。この地域は気象衛星の観測領域の端にあたるため雲の様子ははっきりしませんが、降水域の構造は台風28号と非常によく似ていて、このような構造が最盛期の熱帯低気圧に典型的なものであることがわかります。

The Mature Stage

Left image shows a strong tropical cyclone west of the Indian Peninsula. The structure of rain is similar to that in Typhoon PAKA. This indicates that the structure is typical for mature tropical cyclone. The cloud image is not clear because this area is located at the edge of the meteorological satellite observation area. The right image shows the typhoon PAKA that did great damage to the Guam Island in December 1997. There is no rain in the eye of this cyclone. The cloud was round, and rain existed only on the eastside of the eye. There are several strong linear rain areas, called 'rain bands' around the eye and in the rain area on the east side of the eye.



衰退期

これは1997年12月に観測されたサイクロン・パムです。これは南半球の熱帯低気圧であるため、渦巻きが北半球とは逆方向になっています。目の東側にだけ降水域があり、その中にレインバンドがある様子は最盛期と同じですが、最盛期の熱帯低気圧でははっきりしていた目の中の無降雨域とその回りの強い降雨域は衰えてしまってほとんど見えません。

Decaying stage

This image shows the cyclone PAM observed in the December 1997. This cyclone had a clockwise spiral because it was located in the Southern Hemisphere. This tropical cyclone had some rain bands in the eastern rain area like a mature-stage cyclone. However, the eye and strong rain around the eye cannot be detected.