

氣象教室

翻譯自日本氣象業務支援中心發行之『 $3.7\mu\text{m}$ 帶画像之解析與利用』

翻譯：陳玉芬 編審：童茂祥

本書共六章本文為第一與第二章，第三章之後將陸續刊印在半年刊上

$3.7\mu\text{m}$ 帶画像之解析與利用

第一章 氣象衛星

1-1 氣象衛星的觀測

在 2005 年當時氣象衛星構成的觀測網如圖 1-1 所示。在日本方面，於 1977 年發射向日葵 1 號(以下簡稱 GMS)。此 GMS 系列 1 號至 5 號氣象衛星依序被運用在觀測上，直到 2003 年 5 月 22 日 09 時 (JST, 日本標準時間) 為止完成所扮演的角色。而從 2003 年 5 月 22 日 15 時 (JST) 開始，藉由 GOES-9 繼續觀測作業直到 2005 年 2 月 26 日 GMS 系列後續機種的運輸多目的衛星新 1 號(以下稱為 MTSAT-R1)發射升空為止。

從上述氣象衛星(以下簡稱衛星)的氣象觀測網之優點來看，地球上的所有區域在空間上已構成高密度觀測之狀況下，可以針對伴隨於颱風和低氣壓之雲層的變化和移動等等，進行短時間大氣現象的監視。其他，長期儲存所傳回來的整個地球資料可利用在監視氣候的變遷。

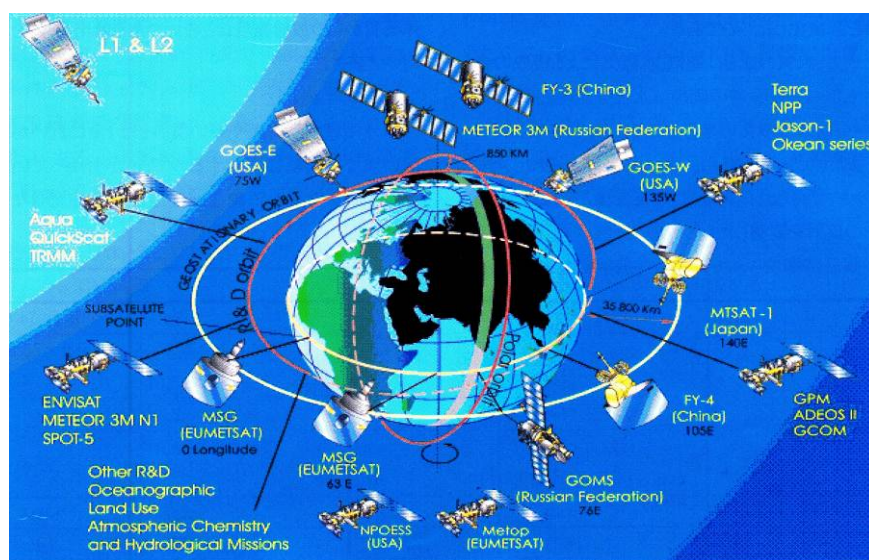


圖 1-1：2004 年氣象衛星觀測網(WMO 提供)

1-2 衛星的軌道

依據衛星運行軌道的不同，衛星分成靜止軌道衛星以及與太陽同步的繞極軌道衛星。靜止軌道衛星，是因為位處於赤道垂直點上方，而且與地球自轉週期相同的速度回轉，所以從地球表面往上看幾乎是靜止在同一點（GMS 位處於在東經 140°、GOES-9 是在東經 155° 之赤道上空的 36,000km 處）。GOES-9 能夠在 25 分鐘內執行從北極到南極範圍的觀測，對氣象擾動等現象發揮監視及追蹤的功能。而 MTSAT 系列位在東經 140° 的赤道上空 35,800km 處的靜止軌道上，例行作業是每小時掃瞄一次，但根據情況需要也可重新設定施行每 30 分鐘掃瞄一次。由以上的情形看來，要連續性地掌握颱風和其他雲系的移動也變得可能了。

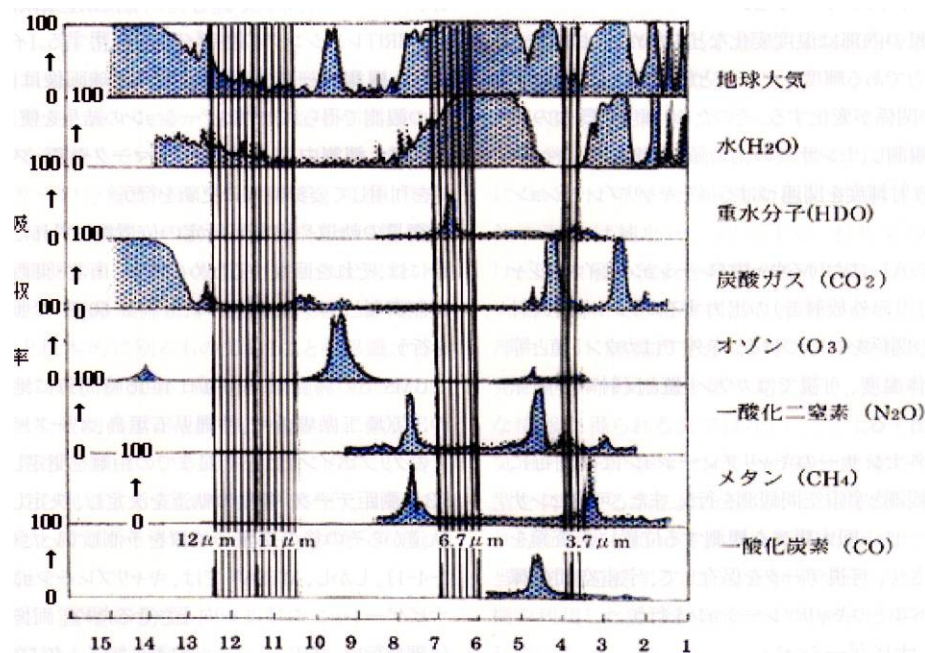
繞極軌道衛星是在比較低的高度（NOAA 的情形是 850km）以短週期（NOAA 的情形是約 100 分鐘）做南北向的回轉，且以軌道垂直向下距中心約 2000km 的幅度做觀測。雖然繞極軌道衛星在同一地點一天只通過 2 次，但可以做靜止軌道衛星所不能施行的南北兩極地方觀測，並且還有提供更佳解析度等等的優點。

第二章 運輸多目的衛星新 1 號（MTSAT-1R）

2-1 輻射觀測

從太陽放射出來的光（電磁波），將通過包圍地球的大氣層，光由於部分波長帶被大氣所吸收，因此無法全部反射到達衛星。大氣吸收較少的波長帶，由於不受大氣影響而可以測得從地球表面的輻射，稱為“大氣天窗”，一般來說，這樣的波長帶被用在雲和地表面的觀測。

圖 2-1-1 是針對輻射波譜來顯示大氣中各種吸收物質的吸收率，Y 軸是表示吸收率（%），X 軸是波長（ μm ）。



MTSAT-1R 觀測使用的可見光波長 $0.55\sim 0.90\ \mu\text{m}$ 帶和紅外線使用的 $3.5\ \mu\text{m}\sim 4.0\ \mu\text{m}$ 帶 · $10.3\sim 11.3\ \mu\text{m}$ 帶 · $11.5\sim 12.5\ \mu\text{m}$ 帶，就是大氣天窗。

$10.3\sim 11.3\ \mu\text{m}$ 帶和 $11.5\sim 12.5\ \mu\text{m}$ 帶觀測到的圖像，分別被稱為紅外線 1 號圖像與紅外線 2 號圖像，是將物體所放射的輻射量加以圖像化。通常，所謂的紅外線圖像指的是紅外線 1 號圖像。

利用 $3.5\sim 4.0\ \mu\text{m}$ 波長域的感應器觀測所得到的圖像，稱為 $3.7\ \mu\text{m}$ 圖像，白天是由太陽光線的反射和物體的放射，夜晚是從物體的放射所做成的圖像化。

另一方面，與大氣天窗相反，吸收水汽很多的 $6.5\sim 7.0\ \mu\text{m}$ 帶的圖像，而被稱為水汽圖像，可以知道上 · 中層水汽的多寡。

而且，用 $0.55\sim 0.90\ \mu\text{m}$ 波長域的感應器觀測所得到的圖像，稱做可見光圖像，是觀測太陽光線反射所製成的。

利用衛星所搭載的紅外線輻射計來測量輻射能量，運用普朗克定律 (Plank's Law) 轉換溫度為亮度溫度或所謂的相當黑體溫度。亮度溫度 (感應器所捕捉到的能量) 是以地表面的黑體輻射做基準，雖然經過自太陽的

反射光和從地表的感應器之間所存在物體，所放射加以吸收以及再放射所得出的結果，但由於各個感應器的波長領域不同，所以即使是測得同一物體的輻射，還是會觀測到不同的亮度溫度。

紅外線圖像的 $11\mu\text{m}$ 、紅外線 4 號圖像的 $3.7\mu\text{m}$ ，兩波長領域可同時由地表輻射通過大氣天窗。提到紅外線圖像、紅外線 2 號圖像、水汽圖像、以及夜間 $3.7\mu\text{m}$ 圖像，其測得的紅外線輻射量轉換為亮度溫度，然後以所變換的色調梯度來表現。亮度溫度是相當於黑體或從所假定物體的輻射溫度。

黑體物質的輻射量 I_B 利用史蒂芬·波茲曼定律來表示。

$$I_B = \sigma T^4 \quad (\sigma : \text{史蒂芬·波茲曼常數、} T : \text{黑體的絕對溫度})$$

不是黑體物質所發射出的輻射量，和黑體物質的輻射量 I_B 的比值用發射率 ε 表示。

$$I = \varepsilon I_B$$

在紅外線領域上，雖然海面和較厚的雲層，其 ε 接近為 1，但因為較薄的雲層會大幅度的變化，所以無法得知其 ε ，也無法決定海面和雲的正確亮度溫度。

2-2 解析度

GMS-5 和 MTSAT-1R 所搭載的感應器特性如表 2-2-1 所示。GMS-5 的水平距離解析度在衛星垂直向下的點，可見光圖像是 1.25km 、紅外線圖像是 5km 。但由於地球表面的傾斜，隨著離開衛星垂直向下的點之距離越遠，其解析度就越低。在日本附近，可見光圖像的解析度大約變成為 1.8km 、而紅外線圖像為 7km 。GMS-5 圖像的色調梯度，可見光圖像的情況是 6 位元（64 色調梯度），而紅外線圖像為 8 位元（256 色調梯度），溫度解析度大約是 $0.5\sim 1.0^\circ\text{C}$ 程度。

而 MTSAT-1R 的色調梯度，可見光及紅外線圖像都是 10 位元（1,024 色調梯度），因此衛星垂直向下點的水平解析度，也被改良的如同表 2-2-1 所示。

GMS-5		MTSAT-1R		備註
可見光	紅外線	可見光	紅外線	圖像種類
0.55~0.90		0.55~0.9		波長 μm
	10.5~11.5(紅外線)		10.3~11.3(紅外線)	
	11.5~12.5(紅外線 2)		11.5~12.5(紅外線 2)	
	6.5~7.0(水蒸氣)		6.5~7.0(水蒸氣)	
			3.5~4.0(3.7 μm)	
1.25km	5km	1km	4km	衛星直下點解析度
64	256	1024	1024	色階

表 2-2-1：GMS-5 與 MTSAT-1R 感應器特性

2-3 校正

由於衛星內部溫度變化等因素會影響感應器的輸出功率，而導致亮度級別值和輻射亮度（能量）間的關係發生變化。為此，藉由已知物體的觀測亮度，再由感應器測得的輸出功率，將亮度級別值和輻射亮度的關係做校正。

在 MTSAT 的校正是調查影像計（可見光紅外線輻射計）之輸出讀數和輻射量的對應關係。以紅外線來說，是計算出讀數和等值黑體溫度的關係，而可見光則是讀數和反射率的關係。

紅外線感應器的校正，其每次觀測是在執行黑體觀測和宇宙空間觀測。然後，可見光感應器會讓掃描鏡隨著每天一次觀測太陽光的位置移動，而保存可見光的資料，用來和宇宙空間的亮度級別做校正。

2-4 導航

利用衛星圖像去了解圖像上的位置和地球座標上的位置對應是相當重要的，而為此目的之作業稱為導航（圖像位置的整合）。對於導航來說，知

道在攝影圖像的時刻，當時衛星的正確位置和姿勢是必要的。因此，知道衛星位置的作業就稱作測距。以 MASAT 的情形，要使用到所測出的地球邊緣、拿掉地標、星星觀測以及 HRIT ranging 的各種資料。從影像計的觀測資料所作成的地球圖像，是使用過去時間的觀測所得到的校正結果。而且，在觀測中，每 2 分鐘就要利用地標和地球邊緣來執行姿勢情報的更新。

對於從衛星軌道和姿勢所定的位置之偏離，要執行回復此偏離的操控（南北・東西軌道操控等等“專欄：衛星的軌道操控 60-P-參照”）。

以 GMS-5 的情況來說，首先一天 4 次每 6 小時從地面上的 3 個測距站（埼玉縣鳩山町、沖繩縣石垣島、澳大利亞的 Crib point）測得到達衛星的距離（3 個點的測距資料），然後決定衛星的軌道，然後從決定好的衛星軌道再來預測之後衛星的位置（圖 2-4-1）。但是，以 MASAT 來說，為了提高校正和導航的精確度，執行圖像前置處理，對於影像計所取得的資料，採用自律的即時處理。

* HRIT ranging

從 CDAS（埼玉縣鳩山町）送資料到衛星，計算它的往返時間，來執行距離測定。

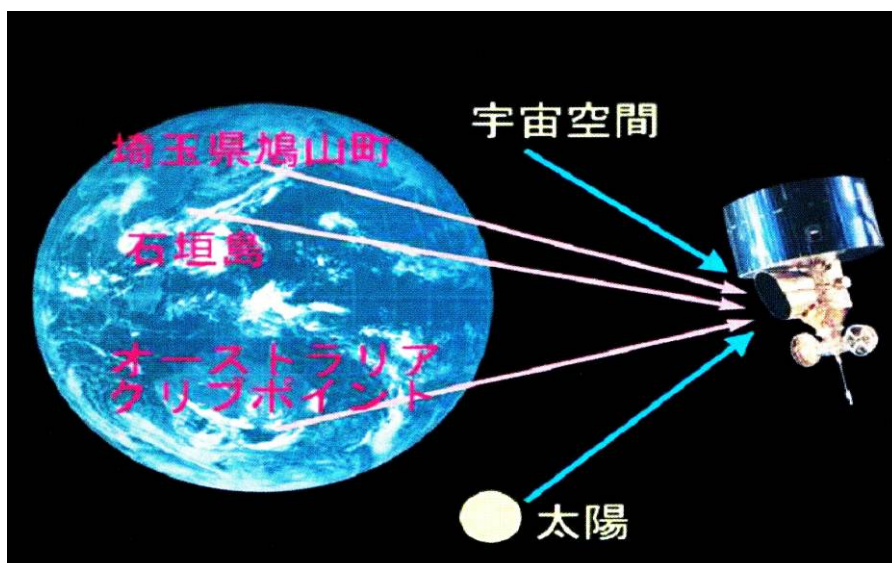


圖 2-4-1：GMS-5 使用地上三個測距點

2-5 根據衛星圖像來判別雲型

2-5-1 判別雲型的特徵

衛星是從遙遠的地球上空觀測到雲頂的樣子和在地表面用目視所觀測到雲型是不同的。而且衛星所搭載的感應器之解析度（以 GMS-5 來說，用可見光約 1km，用紅外線約 5km）和人的眼睛相比是比較粗糙的，是不可能做出像地面觀測一樣詳細的雲狀分類。因此，用衛星所判別的雲型，和地面觀測的雲狀在基本上是有差別的認知是必要的。而且為了方便，對於衛星觀測的結果，只不過是採用了和地面觀測的雲型與成因相類似的雲型名稱而已。爾後，從衛星所判別出雲的類型「雲型」，和根據目視的地面觀測所得到雲的類型「雲型」是有區別的。

2-5-2 雲型的分類

根據衛星所判別的雲型，一般分類成 Ci（上層雲）、Cm（中層雲）和做為下層雲的 St（層雲/霧）、Cu（積雲）、Sc（層積雲）以及其他雲的 Cb（積雨雲）、Cg：Cumulus Congestus（濃積雲）的 7 個種類。

這些雲型須針對層狀性的雲（Ci、Cm、St）和對流性的雲（Cb、Cg、Cu）掌握其特徵。Sc 是有著層狀性雲和對流性雲的中間性格。以層狀性的雲來說，雲區在水平方向的伸展與垂直方向的伸展相比會大得多。層狀性的雲是有「被認知為有一致性延伸的雲區」「雲的表面平滑，雲頂高度的凹凸較少」等特徵。另一方面，對流性的雲和層狀性的雲相比，雲層較厚但雲區較小。對流性的雲是有「被容易認知為有獨立胞狀的雲區」、「雲區的表面凹凸不平」等等的特徵。

從衛星所觀測的雲也可以分類成上·中·下層雲。在這種情形下，和根據雲底高度分類成上·中·下層雲的地面氣象觀測是不同的，以衛星來說，因為是根據雲頂高度分類成上·中·下層雲，所以必須特別留意。利用雲頂高度來做分類，上層雲是 400hPa 以上、中層雲是 400~600hPa、下層

雲是 600hPa 以下，則成為大約的標準。

2-5-3 判別雲型

通常是使用紅外圖像來判別雲型（關於在白天也使用可見光圖像做補助），其他的圖像用來補助地使用。水汽圖像雖然被使用於理解上、中層的流動，但是根據人的眼睛所判別的雲型在這是沒有用處的，其原因是因為看不到下層雲，而且上、中層雲的看測法和使用紅外圖像相比更難看見，一點也得不到特別的情報。因此，也有利用水汽感應器和紅外線感應器的差分圖像來判別雲型的手法。但是對於用人的眼睛去運用這些手法來辨別雲型，是需要相當熟練的。這樣的利用計算機的雲型判別演算法一直被採用著。

2-5-4 根據可見光圖像和紅外圖線的判別

可見光圖像是表示被反射的太陽光強度。以雲來說，雲含水量越多且越厚的雲其反射越強。對流性的雲和層狀性的雲相比，因為雲粒多且厚，所以看起來很明亮。即使同樣是對流性的雲，其雲頂高度變得很高的話則雲變得很厚，會增加其反射強度。也就是說，Cg 比起 Cu，和 Cb 比起 Cg 會更明亮。在下層所形成的雲因為雲密度變得較厚的情形很多，所以和在上層所形成的雲相比，明亮的情形也較多。也就是說，St 會比 Ci 來得明亮。但是，初春時在大陸多出現非常濃密 Ci (dense Ci) 的情形，因為雲密度很厚且看起來很明亮，所以必須注意和其他雲做區別。還有說到很薄的 Ci，透過 Ci 下方所存在的中、下層雲也有可以看得見的情形。在這種情況下，加上從所存在的雲之反射，會比單獨只有 Ci 時看起來更明亮些。

通常利用紅外線感應器所捕捉到物體的溫度情報，以人的眼睛來看，溫度高的物體越明亮越白，溫度低的物體則看起來較黑。但是，氣象衛星所捕捉到的紅外線情報是做效世界的趨勢，亮度溫度越低的物體，如雲等，會顯現越白；而溫度越高的海面和陸面則顯現得越黑，就像色調梯度變換

表一直利用在解析上。這樣做的話，以紅外線圖像來說，雲頂高度越高的雲越明亮，而雲頂高度越低的雲則像是看起來越暗的圖像化。

一般層狀性雲的情形，Ci 是最為明亮的，接著明亮度向下依序是 Cm、St。但是在薄雲的情況下，除了雲本身的放射，因為還有從雲下方透過雲層被觀測到的放射，所以比起實際的雲頂溫度變得更高溫，以至於有雲頂高度判斷錯誤的情形。例如說，Ci 是薄雲層的情形很多，只是用紅外圖像很容易和 Cm 弄錯。相反的，如果是非常濃密的 Ci，會和 Cb 有著同等程度的雲頂溫度，則和 Cb 的識別會較為困難。而雲頂高度低的 St，和地面溫度的溫度差很小，只用紅外圖像也很難檢測出。以對流性的雲來說，發展的程度可以使用雲頂高度來做分類。也就是說發展的對流性雲的雲頂高度，Cb 是最高，其次是 Cg，而發展程度低的 Cu 是最低的。

根據可見光圖像和紅外圖像的雲型判別圖解如 2-5-1 所示。這個圖是上述關係的定性表示。

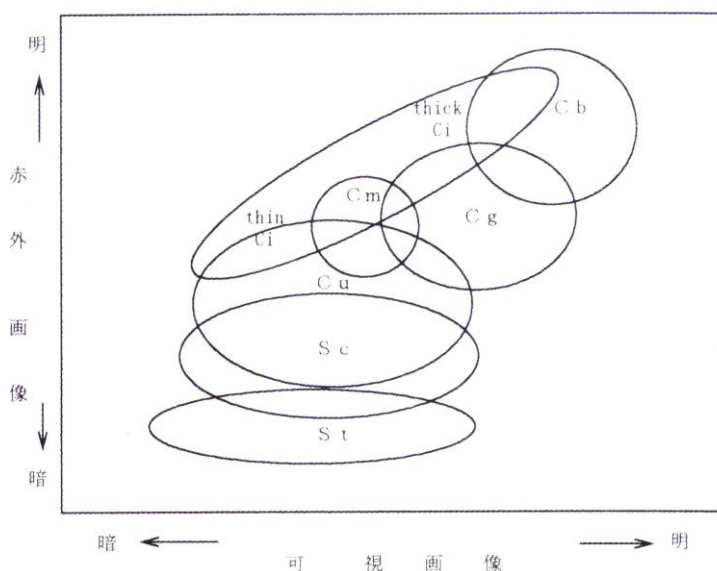


圖 2-5-1：可見光圖像和紅外圖像的雲型判別圖解

2-5-5 根據形狀的判別

層狀性的雲是容易存在著有一樣的雲頂高度和相當寬廣的雲區。譬如說，因為 St 一直有著一定的雲頂高度，所以雲的邊緣是順著地形的等高線

維持形狀的情形很多。Ci 可以顯示出絲狀 (Ci streak)、從 Cb 吹出砧狀或羽毛狀 (anvil Ci)、流動且垂直相交較小的雲列 (transverse line) 等等的特徵形狀。

對流性的雲個別以比較小的雲塊存在較多。當對流性的雲進一步發展時，因為雲的厚度會增加並且合併，所以從衛星看到雲區的面積會增大。根據各個雲的大小，一般是依序為 Cb、Cg、Cu。對流性雲可以顯示出雲列、倒三角形狀的型態、胞狀型態等等的特徵類型。

2-5-6 根據狀態的判別

可見光圖像和其他圖像相比，因為畫素的空間解析度很高，所以可以知道雲表面較細緻的紋理 (texture)。由於從太陽光斜照的一方呈現出凹凸的影子，因此可以很容易地看出雲表面的狀態。層狀性的雲平滑且和雲的表面一樣。另一方面，對流雲的表面則有著凹凸的不平滑。

對流性的雲和下層雲的邊緣是清楚明瞭的。另一方面，上層雲之雲的邊緣，由於上層強風的影響，呈絨毛狀散亂的樣子，是不清楚的。

2-5-7 根據移動的判別

在大氣中一般由於上層的風較強，所以上層的雲移動快速，而下層的雲移動緩慢。因此 St、Sc、Cu 等下層雲和 Ci 相比移動較慢。而像 Cb 和 Cg 這種伸展又高又厚的雲層，大體上因為用雲層的平均風速來移動，所以和 Ci 相比移動較慢。

2-5-8 根據時間變化的判別

對流性的雲因為生命期很短，所以在短時間內雲層的形狀和雲頂高度都會有變化。另一方面，層狀性雲的形狀和雲頂高度的變化較小。譬如說，當Cb和Ci相比時，著眼於形狀和形態，在短時間內變化較少的是Ci。