

大地的辨識密碼 高光譜影像

地物對太陽光的光譜反射提供了我們辨識不同地物的機會，成像光譜儀則可對大範圍區域攝取高光譜影像，因此反射光譜可說是地物的辨識密碼。

徐百輝

光譜反射曲線

人類的眼睛之所以可以感受到周遭事物的顏色變化，是因為太陽光照射到物體後，雖然有些光線被吸收了，但有些光線會經物體表面反射到人眼，因此我們可以感受到不同的顏色。最明顯的例子是綠色樹葉，樹葉中因為含有葉綠素可以吸收大部分的可見光，但反射比較多的綠色光，因此樹葉會呈現綠色。事實上太陽光是由各種不同波長的電磁波所組成的，我們眼睛可以看見的部分叫做可見光，波長範圍約為0.4~0.7微米 (μm)。

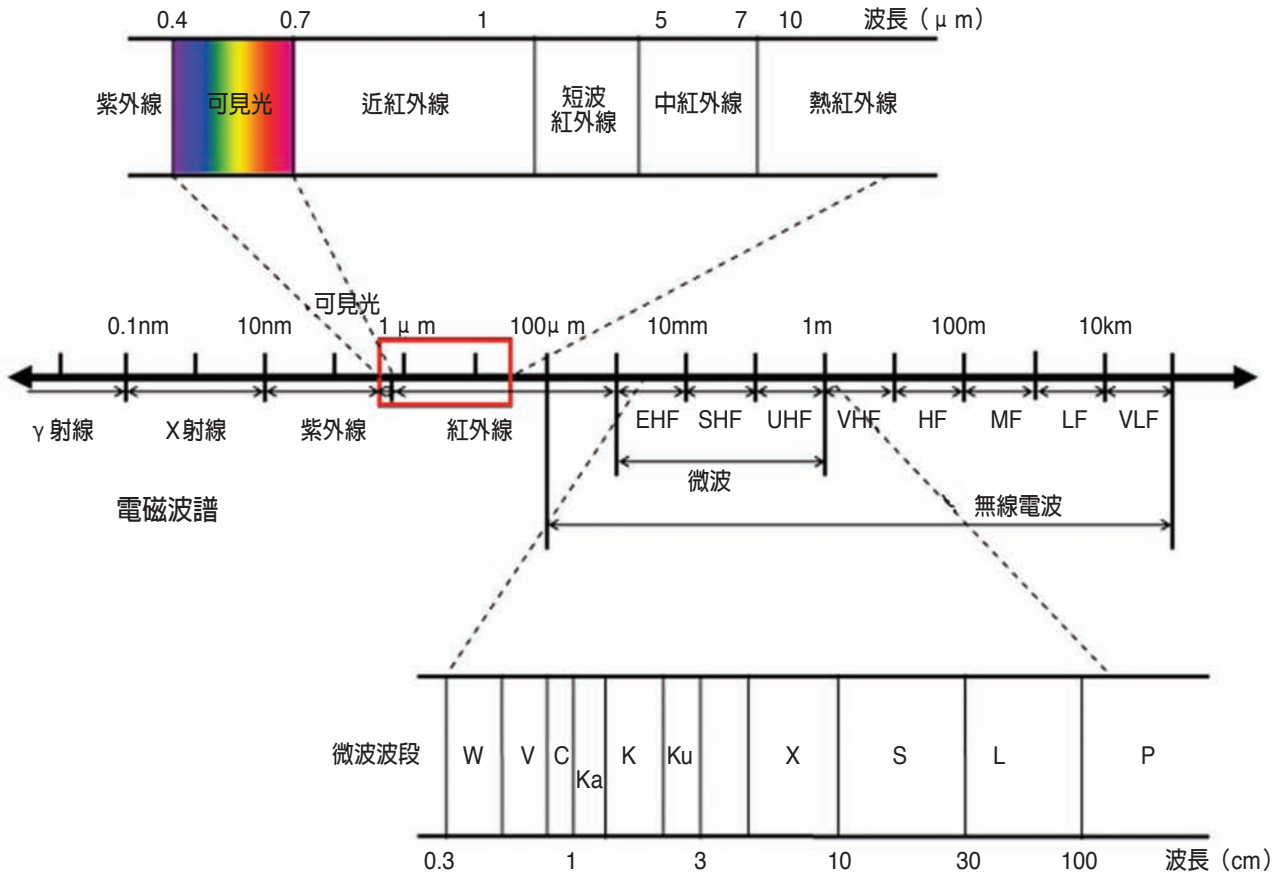
17世紀時，牛頓利用玻璃三稜鏡把可見光分解成一彩色光帶，發現「白光本身是由折射程度不同的各種色光所組成的非均勻混合體」，這就是牛頓的光色理論。之後牛頓更進一步發現，物體的顏色不同其實只是因為各自的反射性能不同，因此創立了光譜理論。

一般人常把可見光分成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫7種色光，事實上這只是一種簡單的量化方式，若進行更高解析度的量化，則可以獲得更多的顏色。例如在電腦顯示器上，常把紅 (R)、綠 (G)、藍 (B) 三原色再分別細分成256種不同的色階，則不同的RGB組合起來就可以形成16,777,216種顏色。

除了可見光之外，還有一些光線是人眼感受不到的，如波長比可見光還短的 γ 射線、X射線、紫外線，以及波長比可見光還要長的紅外線、熱紅外線、無線電波等，這些光線通稱為輻射線。在地球表面上，從可見光到中紅外線的輻射源通常來自太陽，熱紅外線則來自物體本身，而無線電波通常是由儀器發射之後再

雖然人眼感受不到可見光以外的光譜反射，卻可以利用精密的電子感光元件，透過光電效應記錄在電子儀器裡，記錄起來的資料便稱為光譜反射圖記。由於每一種物體的光譜反射圖記都不一樣，這種光譜圖記可以說是用來分辨地物的辨識密碼。

電磁波譜說明不同輻射線的波長範圍



由感測器測量其反射量。此外，因為無線電波可以攜帶一些額外的電子訊號，所以常常應用於通訊中。

如同物體對可見光的反射，不同物體對於不同波長的電磁輻射，其反射特性也不相同。雖然人眼感受不到可見光以外的光譜反射，卻可以利用精密的電子感光元件，透過光電效應記錄在電子儀器裡，這種記錄反射光譜的儀器便稱為光譜儀，記錄起來的資料便稱為光譜反射圖記。由於每一種物體的光譜反射圖記都不一樣，這種光譜圖記可以說是用來分辨地物的辨識密碼。

一般光譜儀記錄的光譜波長範圍大約在 0.4 ~ 2.5 微米之間，也就是記錄可見光、近紅外線及部分短波紅外線範圍的光譜反射量。記錄時因取樣間隔可以從 1 奈米 (nm) 到 10 奈米，也就是光譜波長的取樣點數 (簡稱波段) 可以從兩百多個到兩千多個，而



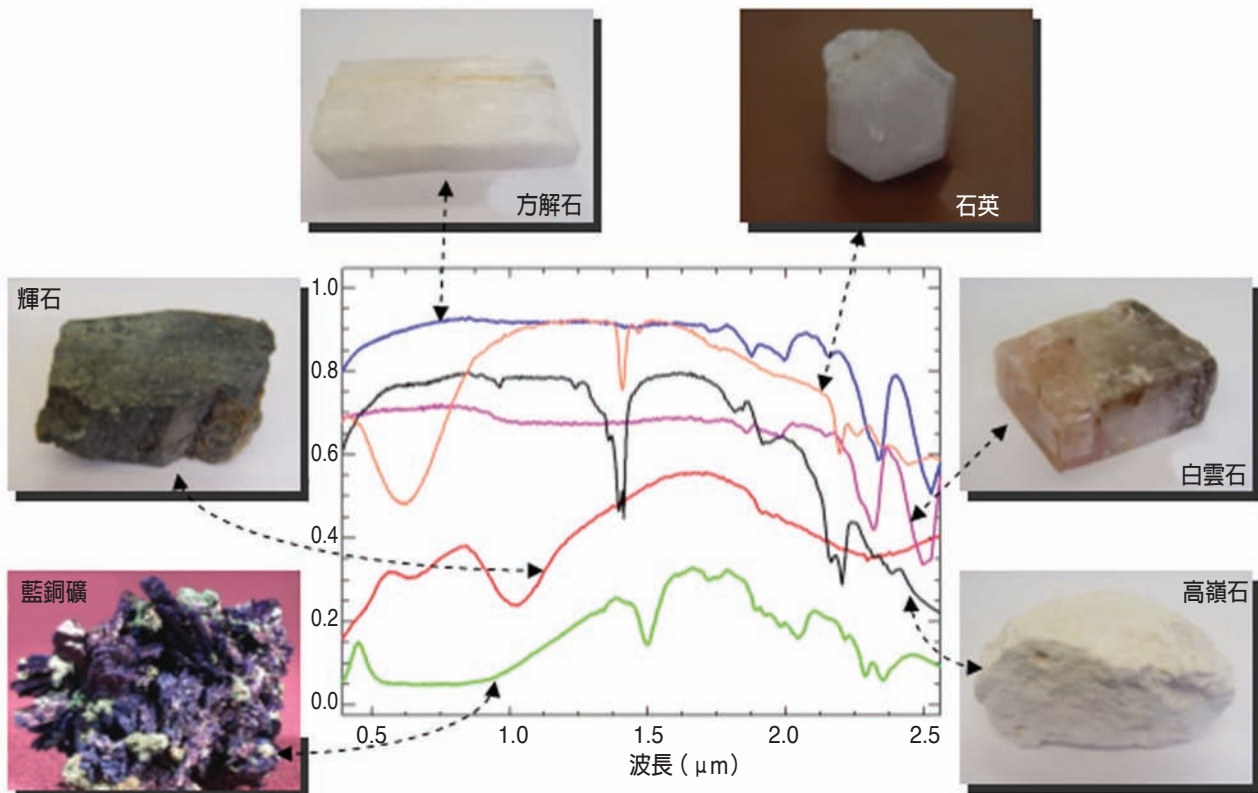
ASD 光譜儀及利用它來測量地物(圖中是牧草)光譜反射的方式

把每一個波段的光譜反射量連起來便形成所謂的光譜曲線。

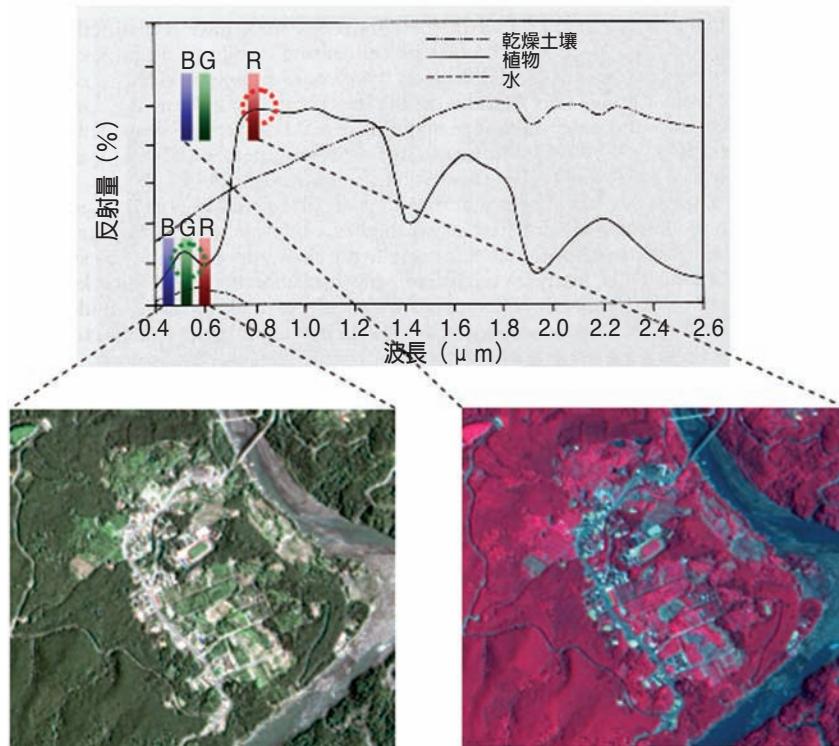
由於不同的物體在不同波長的地方有不同的反射特性，造成光譜反射曲線隨著波長改變而有高低起伏的變化。當反射量較低時會形成所謂的吸收帶，吸收帶的位置會隨著地物不同而改變。例如高嶺石在1.42微米處有一個很深的吸收帶，輝石的吸收帶則出現在波長1.0微米的地方，石英的最大吸收帶卻出現在0.6微米處，這些吸收帶位置與深度都可以用來辨識不同礦物的特徵。

另外，植物的光譜反射曲線也呈現出其獨特的性質。除了葉綠素會反射較多的綠色光之外，它對於近紅外線有很強的反射效應，而且反射強度與植物的種類及健康狀況有關，這個特性常被用來進行森林或植被的分析。當利用

不同礦物的光譜反射曲線



遙感探測技術是指從衛星上拍攝含有物體光譜反射資料的地表影像，再進行光譜的處理及分析，來辨識地表的物種類及變化。傳統的遙測技術因波段數只有3~7個，因此稱為多光譜遙測，這些波段範圍大都在可見光及近紅外線上。



植物的光譜反射曲線有獨特的性質，其中對近紅外線的高反射特性常用在森林或植被的分析上。(左圖)真實影像：相對於紅色及藍色光，綠色光反射量較多，因此植物呈現綠色；(右圖)假色影像：植物在近紅外線波段反射量較高，顯示時把它當作RGB組合中的紅色光，植物會呈現紅色。

影像顯示地表的光譜資料時，如果把紅外線波段當作RGB組合中的紅色光(R)，則影像中的植物會呈現紅色，這種影像又稱為假色影像，常用來判斷植物的分布狀況。

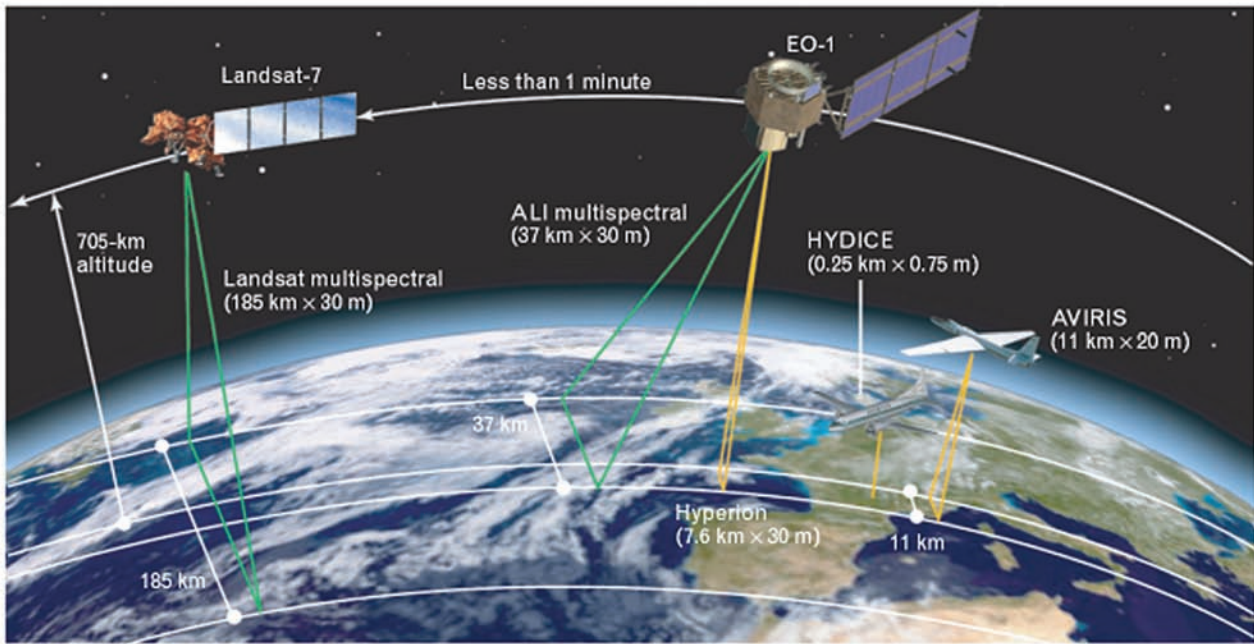
爲了可以利用物體的光譜反射特性來辨識不同的礦物、植物及其他種類的物體，美國國家地質調查局、噴射推進實驗室及其他研究單位紛紛利用精密光譜儀爲各種地物建立了完善的光譜庫。將來若有未知的物體需要辨認，只需把它的光譜反射曲線與光譜庫中已知的地物光譜圖記進行比對，就可知道該地物的種類。這就好像事先對每一個人建立指紋資料庫一樣，可以用來進行人的辨識。

高光譜影像的成像原理

遙感探測技術是指從衛星上拍攝含有物體光譜反射資料的地表影像，再進行光譜的處理及分析，來辨識地表的物種類及變化。傳統的遙測技術因波段數只有3~7個，因此稱為多光譜遙測，這些波段範圍大都在可見光及近紅外線上。

我國自行研發的福爾摩沙衛星二號就是屬於多光譜遙測衛星，它的4個波段分別是藍色波段(0.45~0.52 μm)、綠色波段(0.52~0.60 μm)、紅色波段(0.63~0.69 μm)及近紅外線波段(0.76~0.90 μm)。美國航空暨太空總署的Landsat七號衛星則擁有7個波段，包括1個熱紅外線波段。這些影像的波段數目較少，所能提供的光譜資訊也較爲缺乏。

近代遙測衛星技術除了朝高空間解析度發展之外，也朝向高光譜解析度發展，也



圖片來源：美國航空暨太空總署

Landsat-7、EO-1及 AVIRIS 成像光譜儀的飛行姿態、高度及它們的成像涵蓋範圍。

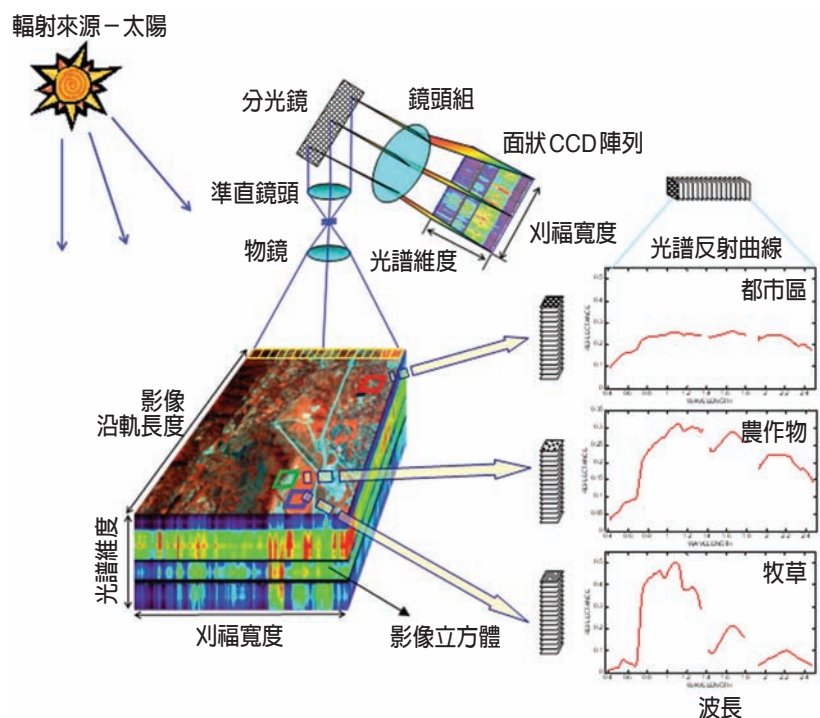
就是把單點的地面光譜觀測組成陣列式的空載或星載影像觀測，所獲得的影像每一個像元都包含完整且連續的光譜資料，因此這種儀器又稱為成像光譜儀。由於獲得的影像通常具有數十至數百個較窄的波段資料，含有豐富且細緻的地物光譜反射資訊。為了與只有數個波段的多光譜影像有所區分，成像光譜儀所獲得的影像又稱為高光譜影像。

成像光譜儀技術發展至今已二十幾年的歷史，其中高光譜影像的成像原理可說明如下。一般而言輻射來源都是太陽，太陽輻射線經過大氣層後與地表產生交互作用，有些被吸收，有些被反射，被反射的輻射線再經過一次大氣層的影響後到達遙測衛星的感測器中。當輻射線經過目鏡後，必須經由分光鏡把它分成不同的光譜波段，跟牛頓利用三稜鏡把可見光分解成彩色光帶的原理類似，因此每一個像元都可以形成一連續的光譜曲線。

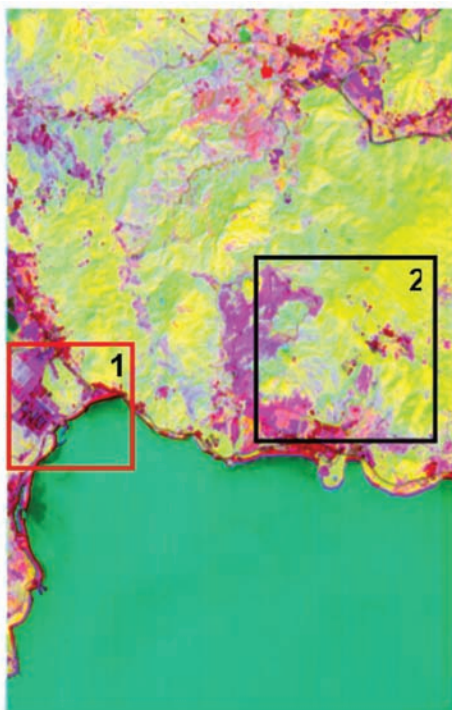
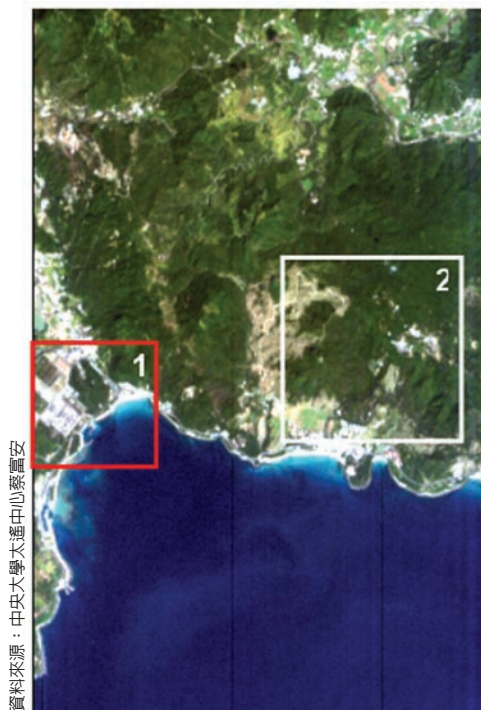
當地物不同時，所對應的光譜曲線形狀也不相同，也由於不同的物體在不同波長處具有不同的光譜輻射量反應，因此提供了一個利用高光譜影像辨識地物的絕佳機會。

現今成像光譜儀已日趨發展成熟，例如美國航空暨太空總署噴射

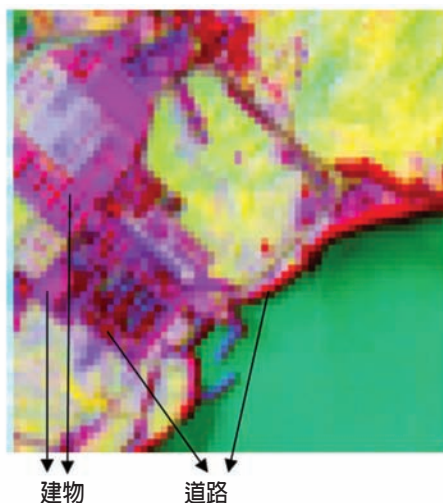
高光譜影像的成像原理



地物的光譜反射圖記提供我們辨識不同地物的機會，可以說是地物的辨識密碼。把光譜儀放到空中或外太空的載具中，再對大範圍地表區域進行攝像，便能獲取含豐富光譜資訊的高光譜影像。相較於傳統的多光譜影像，高光譜影像可以辨識更多種類的地物。



左圖是墾丁地區的真實現像，以模擬人眼所能看見的狀況，可以發現所有的森林、農作物等植被大致呈現綠色，而建物、道路等呈現白色。右圖是該影像資料經過轉換，去除掉雜訊及一些不重要的資訊之後，所形成的假色影像，可以發現在森林當中，面光（黃色區域）及背光（淺綠色區域）的植被區變得更明顯，且農作物與森林也更容易區分出來。

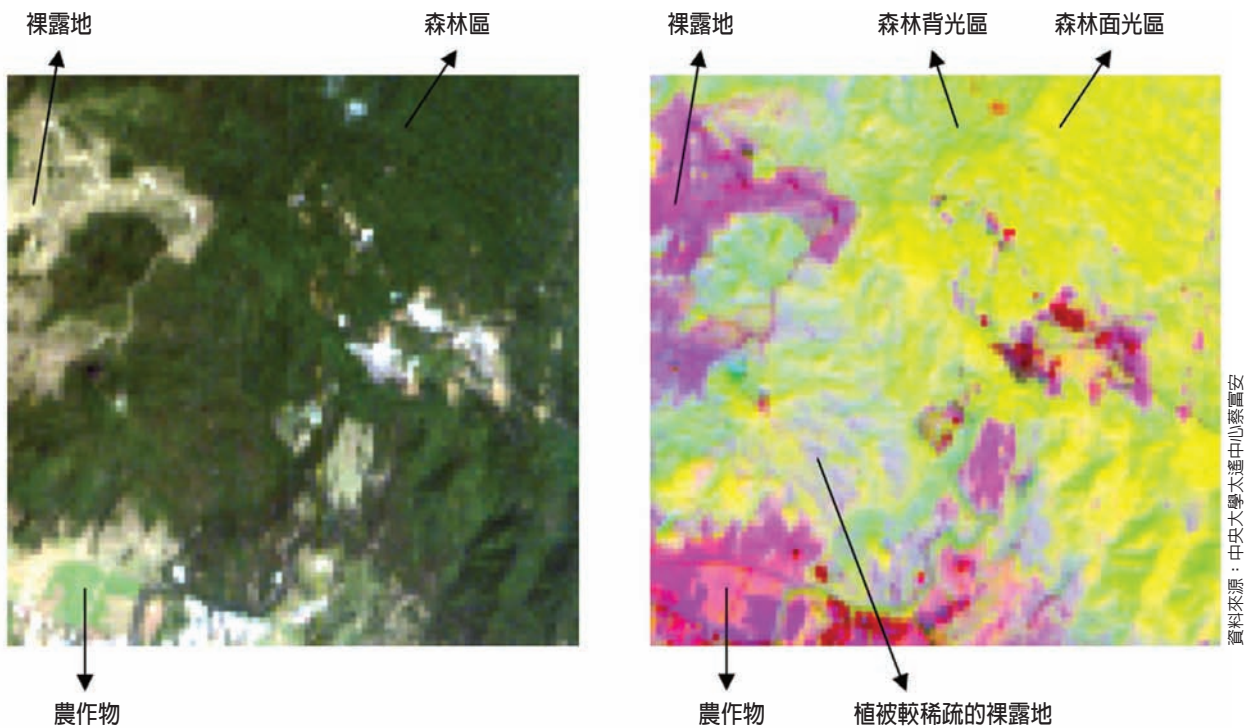


推進實驗室所發展出的 AVIRIS (Airborne Visible/ Infrared Imaging Spectrometer) 空載成像光譜儀，可以提供具有 224 個連續波段，波譜範圍涵蓋 0.4~2.5 微米，波段寬度則只有 10 奈米的高光譜影像。此外，美國航空暨太空總署在新千禧年計畫中所發射的 EO-1 衛星，也搭載了世界上第一顆星載的成像光譜儀，稱為 Hyperion。它可以提供 242 個連續的光譜波段，波譜範圍也是 0.4~2.5 微米，波段寬度也只有 10 奈米。

從左圖中並無法分辨出道路及建物，經過光譜轉換後，在右圖中，道路（紅色區域）及建物（粉紫色區域）可以很容易區分出來。

成像光譜儀所觀測的數據是地物反射太陽光線的光譜輻射量，這些輻射自太陽出發後，共經過兩次大氣層後才到

達感測器。這時輻射線已受大氣中氣體分子的影響，除了有些被大氣吸收之外，還會產生散射、折射等現象，因此空載或星載光譜儀所接收的光譜反射觀測量尚須經過大



從左圖中可以分辨森林、農作物及裸露地，但從右圖中可以更容易區分出森林的面光及背光區，以及摻雜一些植被的裸露地。

氣改正。經過適當的大氣改正後，光譜輻射量可以轉換成光譜反射率（%），這時就可與地面觀測的參考光譜庫進行比較來辨識地物的種類。

高光譜影像的應用

高光譜影像因含有較細緻且豐富的光譜資訊，因此以前利用多光譜影像無法辨識的地物，都可以利用高光譜影像來解決。近年來，許多國內外學者針對高光譜影像的特性，提出了許多光譜分析及影像分類的方法，並衍生出眾多高光譜影像的應用，例如製作地質圖、自動辨識礦物、辨識森林樹種、判釋農業物種等。其他還包括在生態、水文、大氣科學、環境監測、土地測量、軍事監測等方面的應用。

在國內，國家實驗研究院儀器科技研究中心正在研發成像光譜儀的相關硬體設備。工研院能資所、農委會農業試驗所則利用地面光譜儀，針對國內的農作物進行光譜庫的收集及長期監測。國內各大學及研究所，每年也發表了許多關於高光譜影像處理及分析方法的論文。

地物的光譜反射圖記提供我們辨識不同地物的機會，可以說是地物的辨識密碼，可用來辨識未知的地物種類。成像光譜儀則是把光譜儀放到空中或外太空的載具中，再對大範圍地表區域進行攝像，來獲取含豐富光譜資訊的高光譜影像。相較於傳統的多光譜影像，高光譜影像可以辨識更多種類的地物，也使其成為當今遙測技術發展的主要方向之一。未來藉由感測器技術的不斷發展，預料會有更多新的成像光譜儀誕生，而且在環境監測及管理上，也會有更多的應用。 □

徐百輝

成功大學測量及空間資訊學系