

衛星遙測可用於森林經營嗎？

-- 淺談新一代資源衛星資料在森林經營之應用潛力

■台灣省林業試驗所 副研究員 謝漢欽

台灣森林遙測技術的研發及其面臨的瓶頸

自1970年代中期台灣引進衛星多譜遙測技術，迄今已有20多年的歷史。然而相關的技術仍處於學術研究室之研究發展階段，能落實於森林經營實務者並不多見。也因「遙測技術應為森林經營資訊蒐集十分有利的工具」，一直備受森林資源經營者寄予高度的厚望。因此常被不甚瞭解的林學人士質疑，其對遙測的負面評語有「遙測遙不可測」、「遙測搖來搖去搖不出什麼東西來」等。

環顧早期發展衛星多譜遙測的技術，咸認為多譜資料為數位化影像，可應用於電腦的快速自動化處理，除了可見光範圍外還可攝取對植生能有效反應之紅外光及中紅外光的影像，且攝取影像的涵蓋面積大於航空照片甚多等利基。應用自動化的影像分類技術可用於林相及土地利用圖的製作。如應用於森林資源調查時，由光譜

對植生的反應行森林的定量調查，將可省去大量人工航空照片判釋及轉繪的功夫，達到省時及省錢的實質效益。

上述的「夢想」一直無法實現的最大原因乃受限於上一代的資源衛星之空間、光譜及時間解析度不足所致，次為台灣的林地多處於山巒起伏甚劇的山區，衛星資訊受到地形效應的影響（如地形陰影區、遮陰區乃至近鄰地形之影響等），尚無法完全克服。而相關之定性與定量的影像處理技術和應用模式，卻早已在台灣的林學學術上生根並奠下良好的基礎。此外在台灣學術界及政府的努力下，已於1993年正式在中央大學設置了資源衛星接收站，目前可接收美國、法國及歐洲太空總署的資源衛星影像，大大提高了資料的時間解析度。而正在規劃階段的中華衛星2號也將是新一代的高解析度資源探測衛星。

資源衛星空間解析度

的改進

隨著太空與資訊科技技術之與時俱進，資源衛星的空間及光譜解析度愈來愈提高。最早的第一顆資源探測衛星為1972年美國發射之大地衛星1號（Landsat 1），其所承載的多光譜掃描儀（multispectral scanner system, MSS），具有3個可見光段和1個近紅外光段，其空間解析度只有 $79\text{ m} \times 79\text{ m}$ ，也就是說相對於地面 79 m^2 大小範圍依4個波段的光譜反射強度分別記錄1個數值。一直等到10年之後，1982年的大地衛星4號（Landsat 4）上所承載的主題攝繪儀（thematic mapper, TM），光譜解析度才增為7個波段，多了1個熱紅外光段和2個中紅外光段；此時空間解析度增進至 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ，明顯地提昇了資源探測的能力。4年之後1986年法國的地球觀測衛星SPOT（Système Pour l'Observation de la Terre）1號，上面承載了1個可見光域的彩色掃描

儀 (panchromatic mode, PAN), 其空間解析度為 10 m x 10 m, 及 2 個高解析多譜掃描儀 (high resolution visible mode, HRV), 雖波段只有 3 個, 但空間解析度達 20 m x 20 m; 由於 SPOT 衛星可以傾斜攝取影像, 所以可有跨航線之重疊區, 可行立體解析, 產生數值高程模型 (digital elevation model)。到了 1995 年印度發射的 IRS (Indian Remote Sensing) 衛星, 將空間解析度再提升至 5.8 m。

高解析度資源衛星時代的來臨

也許您不會相信? 近期將會有許多的高解析度小型商業資源衛星發射升空 (詳如表一)。由於科技的突飛猛進, 此等衛星體積小卻有高承載率 (high payload-to-mass ratio)。在 1997 年底以前, 將會有 1 m 解析度的影像首次與大家見面。單就美

國的衛星公司而言, 1998 下半年之前, 天空中將會有 EarlyBird and QuickBird (Earth Watch), OrbView (OrbImage), Resource21, Lewis Hyperspectral Imager (TRW-NASA), Clark (CTA Space System-NASA), 以及 Carterra-1 (Space Imaging EOSAT) 7 顆高解析度衛星。屆時多數的衛星將提供 1 到 3 m 的空間解析度的影像, 由他們所攝取的彩色資料與多譜資料組合的影像銳化技術 (pan sharpening) 將明顯地增強影像的清晰度, 而且幾乎所有的感測器都具有產生立體影像的功能。

雖說如此, 某些人士仍會提出異議, 他們認為既使高解析度衛星可攝取相當於近紅外彩色照片的影像, 然而使用多年的航空照片其解析度常在 1m 範圍內, 何須使用需求大量電腦儲存空間的衛星影像? 航空照片未來仍將繼續使用於需要解析度較高的土地規劃上, 無法取代。

高解析度衛星影像的優點

話說回來, 如果忽視目前仍有的限制, 使用高解析度衛星影像勝於航空照片者, 應有以下數點:

- 衛星影像是數位化的資料, 處在當今數位化革命的世界, 自然資源經營者無不將遙測影像當作地理資訊系統的 1 個重要的主題層儲存, 並可經影像自動分析提供 1 個以上的地理資訊層, 便於資源監測與分析。這要比航空照片經人工透過立體鏡判釋繪圖, 掃描或數化後再建成地理資訊來得有效率。
- 數位化影像容易經由電腦網路傳輸, 未來的衛星影像供應商將透過網路的擷取功能提供使用者便捷的服務。
- 在特定的空間解析度下, 一幅衛星影像遠大於一張航空照片所能涵蓋的地面面積。
- 衛星的數位感測器之校正

表一、近期將發射具有 5 m 以下空間解析度的高解析度衛星

國家	計畫	空間解析度 (m)		
		發射	全色	多譜
美國	Earth Watch QuickBird	1998	1	3
美國	Space Imaging EOSAT Carterra	1998	1	4
美國	Orbital Sciences Orbview	1997	1 or 2	4
以色列-美國	IAI/Core Technologies EROS	1997	1.5	-
法國	SPOT 5 HRG	1999	2.5	10
日本	ALOS AVNIR-2	2002	2.5	10
美國	Earth Watch EarlyBird	1997	3	15
美國	NASA CTA Clark	1998	3	15
美國	NASA TRW Lewis Hyperspectral Imager	1997	3	30
中華民國*	TRW ROCSAT 2	2001	3 or 5	10

*: 中華衛星 2 號將委託美國 TRW 公司設計, 目前仍處於規劃階段, 空間解析度為暫訂。

往往比類比照相機來得精準。

- 某些衛星載有中紅外光及熱紅外光波長的感測器，為航照底片無法偵測。

高解析度的資源衛星在森林經營之應用潛力

那麼高解析度的資源衛星能為森林經營提供那些有用的服務呢？以下歸納其應用潛力：

- 測定不同樹種的材積：

上一代的資源衛星受限於空間和光譜解析力，對於樹種的判定要達 80% 以上的準確度，僅能達到分類系統的第一階層，也就是說只能分別出針葉林型、闊葉樹林型、竹林、農田、果園等。經先期試驗顯示，如果使用具高光譜能力的衛星影像足以分別出不同樹種的林型被覆。而過去一直使用航空照片測定林分密度 (stand density) 的工作，同樣可交由高解析度衛星影像加以測定。

事實上為了能確保樹種的材積測定，如能自動化掌握有關樹種組成及林分高的資訊則能事半功倍。以往國內使用衛星多譜資料測定林分材積時，尚需結合來自地理資訊系統的其他空間資訊和數值地形模型衍生的地形資訊，才能得到較佳的效果。現在由於高解析度衛星如同過去航照立體對的測

定，幾乎能在同一時間攝得沿同一軌道的重疊影像，具有立體解析的能力，對於影像的每一像元均可求得高程值。此種測定方式所得的精度也會優於 SPOT 衛星。因 SPOT 僅具有的不同時間之側視立體重疊，且像元空間解析度亦低。吾人可藉由影像的立體分析及全球衛星定位儀的定點，求得樹冠高；再將樹冠高減去地表高度，求得林分高。這些都是以往的資源衛星影像無法辦得到的。

- 林分狀況與健康監測：

過去因為林木病蟲害 (如松類之松材線蟲危害) 非為大面積面狀分佈，而是點狀零星分佈，囿於不適用的空間解析度，在國內鮮少使用衛星遙測偵測林木病蟲害，目前仍採用紅外彩色航空照片，進行判釋與描繪的工作。未來的高解析度衛星正可解決此一問題。

以光譜解析度的進步而言，以往認定偵測病蟲害有效的 TM 影像只有 7 個廣域波段，新一代的 Lewis Hyperspectral Imager (如表一) 的高光譜影像則具有從廣域到切割甚細、頗為連續的 384 個波段。此舉突破了感測器的限制，亦大幅提高使用光譜資訊對不同樹種的林型的判定與分類之功能；此外由國外的研究顯示其對林冠層的化學特性之概估亦具效用，可應用於氣候變異

及森林土地利用變遷對環境影響的評估工作。

- 地景生態地位應用：

森林的空間異質性反映了一地的氣候與地形型態。高解析度衛星影像有助於森林空間異質性的劃分，對於大面積的植群分佈圖的製作更為有利。我們知道由土地利用及氣候變遷對生態系之組成、結構和功能產生的效應，已是目前十分重視的環境議題。因為地景單元 (landscape unit) 的水分、光度及有效養分依地形而異，地位指標和樹種組成隨地形位置而改變。由高解析度衛星影像推導的數值地形資料，有助於地景生態學之應用分析，同時亦能加強吾人對森林生態系的瞭解，進而從事森林生態系的經營。

- 森林火災監測：

使用上一代資源衛星評估森林火災和天然災害，已是可行的方法。展望未來，其評估準確度將更為精進。也由於有了多類的衛星資訊可為運用，提高了時間解析度，故對於各種的緊急事故將能適時因應。

高解析度衛星影像的缺點

當然吾人不能只說瓜甜而已，使用高解析度衛星資料仍有下列的不利面：

- 資料量龐大：舉例而言，同一涵蓋面積 QuickBird 全色影像所需的電腦硬碟

空間為 SPOT 全色影像的 1,000 倍。高容量的電腦儲存空間實為一般影像使用者所不能及。此外快速的電腦微處理器也是必須的配備。

●需購置新的影像處理設備：

設置新的影像處理系統及工作站需要相當的支出，雖然有關影像處理的軟硬體會越來越便宜，然而分析立體影像的功能模組價格仍然居高不下，一般索價起碼要到新台幣 3 到 4 百萬之間。任何單位於採用高解析度衛星影像之前，應先針對現行的經營成本及技術改支用於高解析度影像進行本益比分析。應考慮是否要與地理資訊系統結合，是否單使用航空照片就能達成目標等因素進行抉擇。

●高解析度影像需付的成本：

迄目前為止，影像供應商尚未對高解析度影像定價。在可預期的未來，對一般使用者而言，影像的使用權應勝於影像的購買。因為價格會因競爭而下跌，使用者需針對影像之容易取得、感測器特性和服務情況，選擇適用的影像。對影像供應商而言，對影像的整合性服務及進一步加值，益形重要。

●立體影像不易直接取得：

由於數值地形模型具有加值的市場利基，某些影像

供應商可能不願意直接提供立體影像給一般使用者。

●政治因素的限制：

如同以往全球衛星定位儀 (GPS) 的 Poocode 一樣，高解析度影像及其衍生的數值地形資料同樣會涉及國防機密。如美國之類的影像供應商，當受到政治的牽連時，將會針對政治敏感區（如中東地區）的影像提供加以限制。台灣現仍處於兩岸對峙的狀態，高解析度數值地形目前仍不准對外開放，國防部是否會進一步同意開放高解析度影像的使用？先進國家是否同意提供高解析度影像給台灣？都是未來遙測技術應用時所需面臨並突破的最大關鍵。

結語

綜合言之，下一代的資源衛星因科技的發達及技術的釋出，將是小型商業衛星的天下，此等衛星首次具有高空間及光譜解析力的感測器，同時具有與航空照片相當的立體成像能力，可資應用於型象辨認 (pattern recognition)。此等功能的結合，有助於日常的森林資源經營，因能同時兼具省時及省錢的效益，特別適用於森林資源調查之林分的區劃與分類上。但不可諱言的，結合 GPS 與大比例尺的航空照片於地面調查之準確度的評估、於需求更高的局部規劃

或於彌補衛星仍無法達成的工作方面，仍是不可或缺的。

台灣目前正在測試具有 39 個波段之 GER 高光譜空載影像，其初步成果將有助於我們對高光譜影像在台灣特殊山區環境的應用潛力。將於公元 2001 年發射的中華衛星 2 號，近期也被學界建議需具有高空間解析度的多譜影像，由於設計商 TRW 公司同時是美國高光譜衛星 Lewis Hyperspectral Imager 的承造商，也盼望其對光譜解析力能有效劃分，使之適用於台灣自然資源的規劃與經營上。

溪頭地區 GER DAIS 空載高光譜影像，共有 39 個波段，本影像為第 25 (遠紅外)、11 (近紅外)、1 (藍綠光) 波段之 RGB 組合影像，空間解析度為 13m

