

福爾摩沙衛星二號於全球變遷與地表覆蓋監測應用

臺灣大學理學院空間資訊研究中心 張家豪、連婉茹
臺灣大學地理環境資源學系 朱子豪

一、前言

前人云：士大夫不出門，能知天下事。現今社會藉由各項先進技術，將遠方的事物忠實呈現在彼此眼前。但是，事物的變化與環境的改變，所造成的衝擊，是否就如眼前所見？亦或是潛藏著未知的影響？現代社會中，人們的視野已逐漸從地面仰望崇山峻嶺，轉變成為從空中俯瞰地表的一切。以往因自然環境、空間距離或人文政治的隔閡，造成各地各處因人類活動、自然環境變遷而產生的地表景觀改變，不再一如往昔般的神祕，而是完整且忠實的呈現在世人眼前。

基於對追求真相的執著、滿足生活資源的需求與對理解生活環境的渴望，藉著通訊技術、光電科技與太空科學的發展，環境資訊蒐集的方式以從傳統上現地架設儀器的直接測量，逐步發展出藉由遙測衛星進行遠距離、大面積、固定週期且快速的地表環境及空間資訊的蒐集與監測。為將全球各地對於地表環境觀測所得環境資訊進行整合，以提供世界各地研究工作者對地球環境進行長期監測，進而對於環境變遷造成生物居住環境的衝擊，提出有效的預防與補救措施及建議，提供世界各國的決策者作為環境保育、永續經營、人民生活與經濟發展之間的衡量依據。世界氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO)、全球觀測系統 (Global Observation System, GOS) 等機構便是基於以上目的所設立的資訊整合、分析與提供政策建議的重要組織。

我國身為地球村的一員，自然必須對地球環境貢獻心力。在政府相關單位的積極推動下，國家太空中心 (National Space Organization, NSPO) 與國內外專家學者合作，設計並成功發射福爾摩沙衛星一號、二號與三號，分別對於海洋、陸地與大氣環境進行全球性的資料蒐集與監測，藉以提供國內外各研究單位長期的全球環境變遷、土地覆蓋與使用等資訊，以便準確掌握環境變化現況，提出即時並有效的應對政策與措施，維護現在與未來的生物存續的基本權利。

福爾摩沙衛星二號 (以下簡稱福衛二號) 為我國太空計畫當中，負責陸地環境觀測的一環。福衛二號在設計上，主要針對於全球各地進行每日的重複監測，能即時掌握地表環境變化的真實現況，因此對於全球各地的重大環境災害，福衛二號皆能提供最新的觀測資料，由相關研究單位進行資料分析後，交由政府權責單位進行有效的現況掌控與災害防救規劃及執行。除重大環境災害外，福衛二號亦可對於地表環境進行長期監測，藉由現地現況影像與歷史影像間的變遷比對，輔以各項相關環境監測資訊，作為後續環境變遷研究的重要參考來源。

本文分別針對福衛二號於不同的環境議題中的應用成果，如高緯區冰河前緣與海冰消融、重大環境災害及人類過度開發山坡地等議題，進行案例分析與探討。希望能以應用案例探討，提供不同研究領域的專家學者，對於其他陸地環境議題的長

期監測應用，產生正面的幫助。

二、案例介紹

(一) 冰河前緣消退與海冰消融

由於全球暖化速度逐漸提升，致使兩極地區冰川與海冰消融的速率較往年明顯。依據世界氣象組織 (WMO) 統計，1998-2007 年為紀錄上年均溫最熱的十年，且 2007 年全球平均溫度為 $14.41^{\circ}\text{C}/57.94^{\circ}\text{F}$ ，比 1961-1990 年的平均溫度 ($14^{\circ}\text{C}/57.2^{\circ}\text{F}$) 高 $0.41^{\circ}\text{C}/0.74^{\circ}\text{F}$ 。以北極地區為例，於每年 9 月北極海冰融化期結束後，平均海冰範圍至少為 428 萬平方公里，而 2007 年 9 月的海冰範圍較 1979-2000 年的長期觀測記錄減少 39%，且較 2005 年 9 月減少 23%。海平面高度自 20 世紀以來，平均每年增加 1.7 公厘，而 2007 年全球平均海平面高度較 1870 年高出 20 公分，且自 1993 年以來，海平面上升速率已達每年 3 公厘。

福衛二號為一可每日於正常拍攝角 45 度內拍攝南北極點之高解析度衛星，以其拍攝特性，相當適合進行極區內冰川消退與海冰消融之日變化監測。本案例藉以福衛二號影像之特性，選定北緯 82.475° 至 82.757° ，西經 60.697° 至 65.407° 為研究區，以 2006 及 2007 年 4 月 1、6、13 及 16 等四日之福衛二號影像，數化各時期冰河前緣，區分冰河覆蓋區域與海冰覆蓋區域，比較於不同年度間之前緣消退速率與海冰覆蓋面積變化，再與全球年均溫及 NOAA 於 ALERT, Canada (82.50°N , 62.33°W) 的測站資料進行比對，分析年度均溫差異與融冰狀況間的關係。

透過上述資料處理及分析後，便可於研究區內建立長期觀測基礎，以福衛二號每日造訪與高解析度特性，觀察並分析冰

河消退的時空變化，進一步再與氣溫變化影響因子進行比對，以建立日後觀測分析基礎。

1. 處理程序

本案例中以福衛二號 Level-2 等級影像，針對各時期冰河覆蓋區域與海水結冰區域進行數化，而影像中於海岸線之外且未形成完整結冰表面者，則歸類為海冰覆蓋區域。於海冰覆蓋區域中，針對冰雪特徵進行影像分類，計算影像中海冰面積，再於不同時期之分類成果比較其變遷狀況。最後將冰河覆蓋面積變化、海冰覆蓋面積變化與氣候資料進行比對，分析期間之關係。

由於數化後比較發現，2006 及 2007 年冰河消融狀況並不顯著，因此分析重點僅於海冰消融狀況上。

2. 2006 年 4 月與 2007 年 4 月海水結冰消融狀況年度變化

由影像中觀察發現，2006 年 4 月份海冰覆蓋及海水結冰面積變化並未出現明顯變化，平均結冰面積為 450.97km^2 ，最大變化面積為 36.11km^2 。但於 2007 年影像中，可發現海水結冰面積明顯縮減，且海面流冰 (Floating Ice) 面積明顯增加，平均結冰面積為 317.67km^2 ，最大變化面積為 577.19km^2 。由海水結冰面積縮減狀況推算，2006 年 4 月 1-16 日平均海水結冰縮減率為 $-1.22\text{km}^2/\text{日}$ ，而 2007 年則為 $33.71\text{km}^2/\text{日}$ 。

由當地過去 20 年均溫統計來看，平均年均溫為 -17.76°C ，於 2006 及 2007 年分別高於平均值 1.95°C 及 1.29°C ，且 2006 年較 2007 年略高 0.66°C 。觀察兩年度 4 月均溫可發現，2006 年 4

月均溫較 2007 年 4 月均溫略低 0.97
℃；以兩年度的 4 月 1、6、13、16 等

四日平均溫度相較，2006 年的四日平
均溫度較 2007 年低 6.31℃。

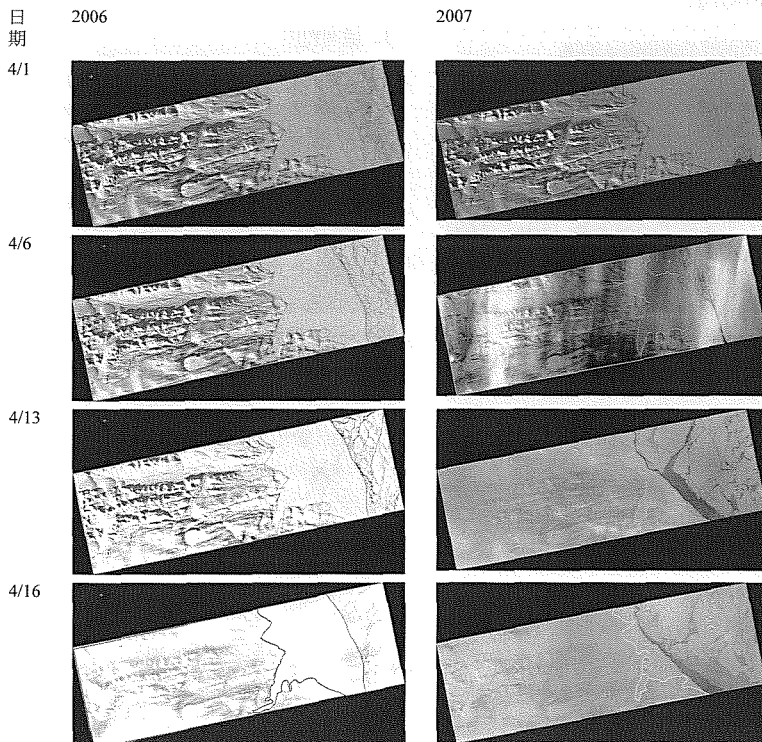


圖 1 2006 與 2007 年 4 月份海水消溶面積比較

表 1 2006、2007 年 4 月結冰面積比較 (km²)

	Image Area	Frozen Area	Land Area	Frozen Sea	Sea/Sea Ice	Average Frozen Sea
20060401	2050.75	1772.15	1324.09	448.06	278.60	450.97
20060406	2050.75	1780.36	1347.74	432.62	270.39	
20060413	2050.75	1789.39	1334.91	454.48	261.36	
20060416	2050.75	1764.05	1295.32	468.73	286.70	
20070401	2050.75	2023.76	1321.15	702.61	26.99	317.67
20070406	2050.75	1619.52	1306.34	313.18	431.23	
20070413	2050.75	1435.58	1310.16	125.42	615.17	
20070416	2050.75	1426.95	1297.48	129.47	623.80	

表 2 2006、2007 年相同日期結冰面積比較 (km²)

	Frozen Sea		Add
	2006	2007	
4月1日	448.06	702.61	254.55
4月6日	432.62	313.18	-119.44
4月13日	454.48	125.42	-329.06
4月16日	468.73	129.47	-339.26
Melting Rate (km ² /Day)	-1.22	33.71	

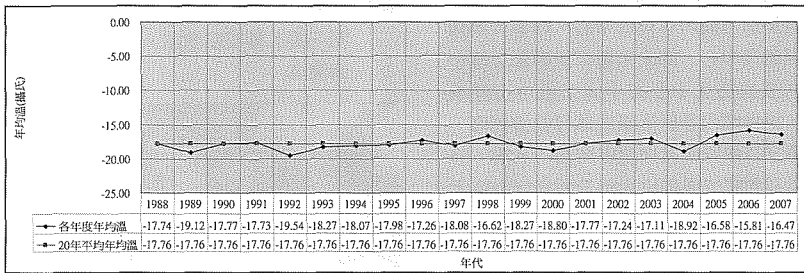


圖 2 1988 至 2007 年 NOAA 氣象測站於 Alert 年均溫紀錄折線圖

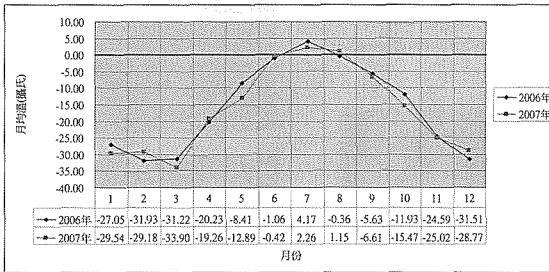


圖 3 2006 及 2007 年 NOAA 氣象測站於 Alert 各月均溫折線圖

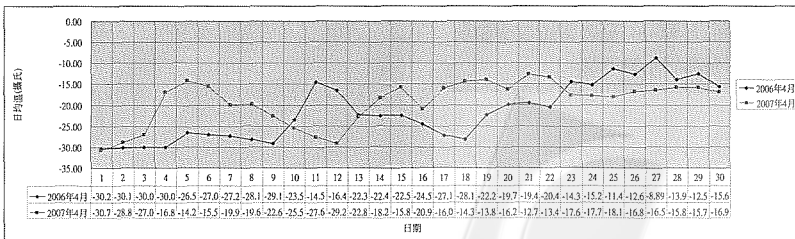


圖 4. 2006 及 2007 年 4 月 NOAA 氣象測站於 Alert 日均溫折線圖

(二) 中國四川地震

2008年5月12日14時28分，中國四川地區發生32年來首次發生的7級以上地震，造成北川、汶川、茂縣、青川與都江堰等地重大的災情，至今災後重建與災區居民的輔導工作仍持續進行中。由於地震發生那段時間，災區天候狀況不佳，雖然NSPO於地震發生後緊急拍攝災區，但仍至14日才取得災區清楚的影像資料，並將影像資料透過國內各分送中心，如臺大空間資訊研究中心、師大福衛二號影像加值中心、成大防災中心與中大太遙中心等單位，提供國內各研究單位進行災情判釋，同時亦以國際交流與災害防治的名義，將資料與判釋成果提供大陸方面進行災區大規模現況的評估與掌握。經過一個月的持續拍攝，並與歷史影像進行比對分析，福衛二號於本次四川地震中提供大量的災區現況資料給予國內外各相關單位進行災情評估，並持續監控災區各堰塞湖的狀態，將福衛二號每日重複拍攝同一地區的特性充分發揮在世人眼前。

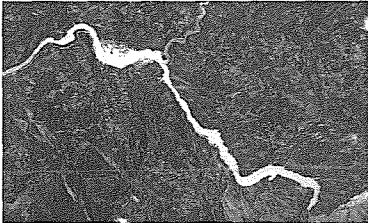


圖 5 2008 年 5 月 14 日唐家山堰塞湖狀況，部份農地已被淹沒



圖 6 2008 年 5 月 16 日唐家山堰塞湖狀況，蓄水量明顯增加，民宅與農地完全淹沒

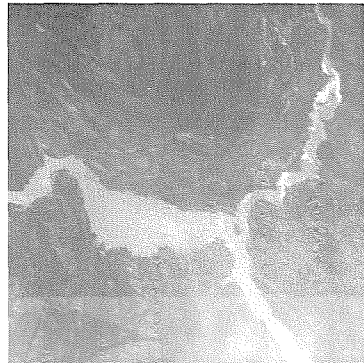
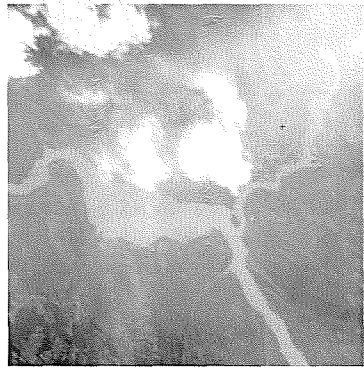


圖 7 2008 年 5 月 16 日(上)與 5 月 18 日(下)唐家山堰塞湖狀況

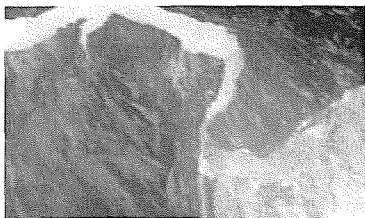


圖 8 2008 年 5 月 16 日唐家山堰塞湖壩體狀況



圖 9 2008 年 5 月 18 日唐家山堰塞湖壩體狀況，出現一小段河段

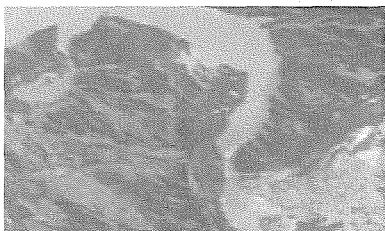


圖 10 2008 年 5 月 22 日唐家山堰塞湖壩體狀況，堰塞湖續水量持續增加

(三) 山坡地過度開發

近年來山坡地災害事件頻傳，台北市政府有鑑於此，自民國 88 年起展開長期山坡地安全管理計畫，透過地質、雨量及開發狀況等相關資料，彙整分析出地質災害敏感區域，以作為山坡地開發合法性依據之一。隨著颱風豪雨季節來臨，山坡地違法開發取

締之重要性倍增，然而，台北市政府現行仍以巡山員實地場勘為主，在速度及安全性方面有待商榷。

福衛二號具有每日以同樣時間、角度拍攝同一地區之特性，加上其全色態影像可達地面解析度 2 公尺之高影像力，對於土地開發監測研究上可提供最新且完整之參考資料。本研究以 2006 年至 2008 年福衛二號台北市東南地區影像，排除建物密集區及主要道路後，透過標準化差異植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，針對此三年度的 NDVI 數值變化狀況，濾除因自然環境所造成的差異 (如大氣狀況、太陽高度等)，將 NDVI 數值變化區域區分為植生種類變遷 (仍為植生覆蓋) 與地表覆蓋變遷 (已非為植生覆蓋)，再進一步判釋變遷原因為自然或人為造成。

1. 研究地區

本案例透過長期針對福衛二號影像進行觀察，並進行 NDVI 轉換，於本區域中觀察到 15 個明顯變異點，將變異點標示於福衛二號影像上展示，如圖 11 台北市山坡地開發變異點。並於其中選定兩個開發面積較明顯的區域，作為主要研究測試區。

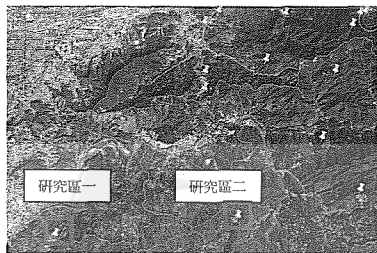


圖 11 台北市山坡地開發變異點

2. 研究方法

福衛二號具有每日以同樣時間、角度拍攝同一地區之特性，加上其全色態影像可達地面解析度 2 公尺之高解析力，對於土地開發監測研究上可提供最新且完整之參考資料。本研究以國家太空中心 2006 年至 2008 年拍攝之福衛二號影像，進行幾何校正，並以 GCP、DEM 修正之正射化過程後之影像，作為植生變遷分析之材料。三年度影像分別為 2006/4/5、2007/7/20 及 2008/4/26。

研究中先透過影像視覺上之地表變化作判斷，在地表變化區域內，排除建物密集區及主要道路後，透過標準化差異植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)，針對此三年度的 NDVI 數值變化狀況，濾除因自然環境所造成的差異 (如大氣狀況、太陽高度等)，將 NDVI 數值變化區域區分為植生種類變遷 (仍為植生覆蓋) 與地表覆蓋變遷 (已非為植生覆蓋)，再進一步判釋變遷原因為自然或人為造成。

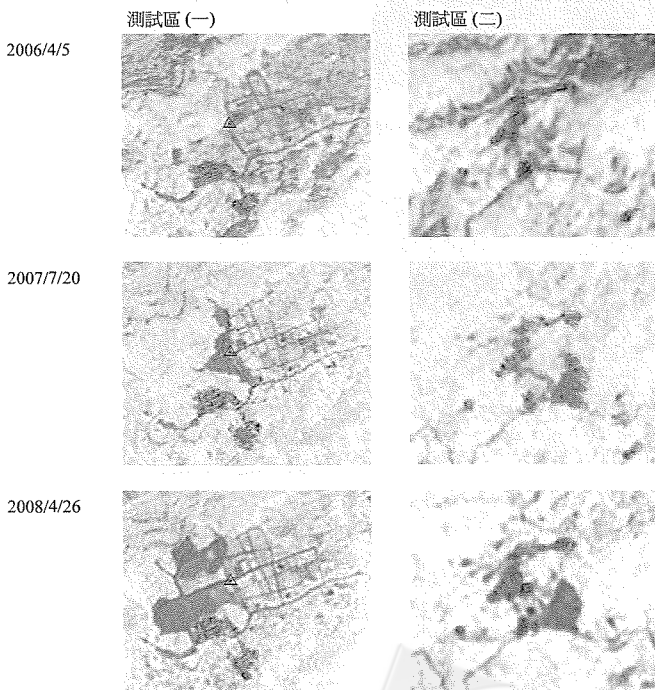


圖 12 2006 年~2008 年地表植生狀況變化

3. 成果分析

(1) NDVI 分析結果

將三時期衛星影像，經過 NDVI 計算後，比對三者之空間分佈如圖 12 2006 年~2008 年地表植生狀況變化所示。由於 2006 年影像資料陰影區較為明顯，造成兩個測試區之 NDVI 平均值略低於 2007 年。

測試區(一)所測得之 2006 年 NDVI 平均值為 0.252，至 2007 年為 0.368，而到了 2008 年，NDVI 平均值顯著降低至 0.272。計算地表覆蓋變遷(已非植生覆蓋)之面積，其變化如圖 13 測試區(一)地表覆蓋變遷面積所示，從 2006 年 2.91 公頃，逐漸擴增至 2008 年的 12.04 公頃，顯示其非植生面積逐年增加；而測試區(二) NDVI 平均值之變化則由 2006 年的 0.323 增至 2007 年的 0.441，至 2008 年時又降至 0.383。而在測試區(二)之面積部份，則自 2006 年之 0.63 公頃，增加至 2008 年之 2.36 公頃，見圖 14 測試區(二)地表覆蓋變遷面積。

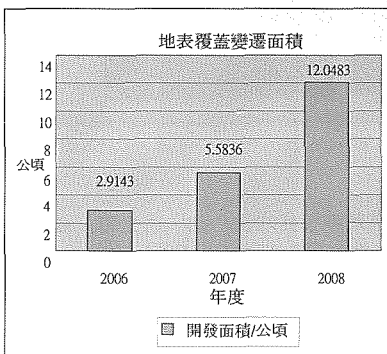


圖 13 測試區(一) 地表覆蓋變遷面積

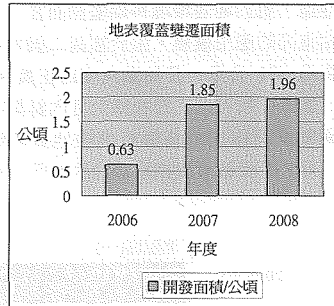


圖 14 測試區(二) 地表覆蓋變遷面積

(2) 2006 年至 2008 年坡地狀況變化

透過影像正射處理過程後，比對測試區(一)三年內之變化，如圖 15 2006 年~2008 年地表影像狀況變化所示。影像上，紅色標註點代表在三張影像中的同一地點，比對三時期影像，可明顯看出，在 2006 年，標註點左側仍為植被覆蓋區，並無明顯開發狀態，至 2007 年，標註點左側植被減少，判斷可能為人為開發亦有可能是自然土石崩落，而至 2008 年影像可明顯發現，標註點左側植被減少數量超過 2007 年的一倍，且有明顯道路出現，顯示該區受到人為開發影響而改變地表狀態。

而在測試區(二)方面，NDVI 值由 2006 年至 2007 年減少幅度較大，而在 2007 年至 2008 年僅略微減少，由影像比對推估，2007 年該地開發已完成，因此在 2008 年該地變化與 2007 年相較之下差異不大，故反映在 NDVI 值上。

三、結論

(一) 福衛二號拍攝優勢

福衛二號為國人自主控制的高解析度地面資源衛星，可每日以固定角度拍攝同

一地區，對於地表環境長期監測而言，具有相當高的應用價值。由於福衛二號飛行高度為 891 公里，且拍攝角度為正負 45 度，屬於少數可以正常拍攝角度內針對南北極點進行監測的高解析度陸地資源衛星，有助於極區環境相關研究的進行。在

重大環境災害的議題方面，由於福衛二號衛星軌道設計為固定軌道，因此最晚可於事件發生後的隔天便能拍攝到災區現況，有助於相關單位對於災情的掌控與防救規劃。

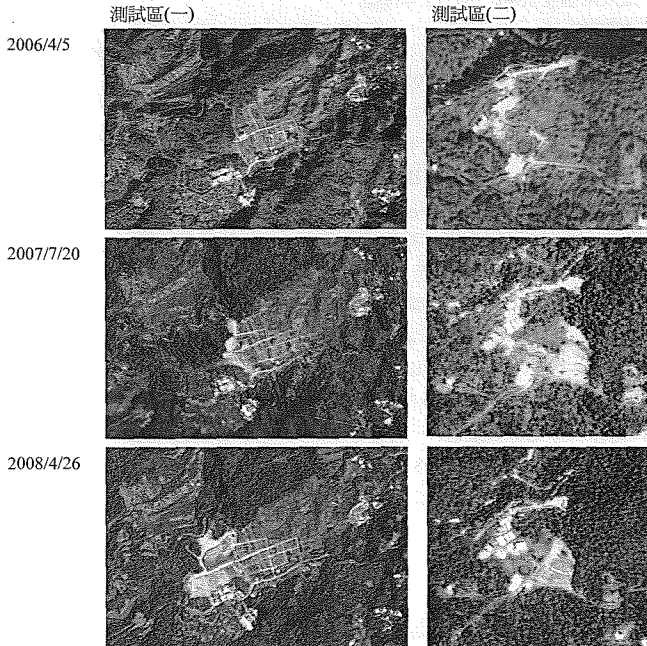


圖 15 2006 年~2008 年地表影像狀況變化

(二) 福衛二號拍攝限制

雖然福衛二號可每日提供固定拍攝角度的高解析度影像資料，但也因固定衛星軌道的原因，致使在中低緯區會產生部份地區無法以 45 度內的正常拍攝角度進行影像拍攝，必須將拍攝角度提升至 53 度才可完整涵蓋全球。且福衛二號為光學衛星，

提供高解析度的全色態、藍光段、綠光段、紅光段及近紅外光段的光譜資料，可滿足多數的地表環境監測與製圖應用，因此易受到天候狀況的差異，影響影像接收品質。

(三) 未來福衛五號的輔助

雖然福衛二號目前仍正常運作，且燃料量足以使用至 2011 年以後，但由於其設計壽命將盡，且為延續國內太空科技發展、持續提供國內高解析度的全球地面觀測資料，同時彌補福衛二號在拍攝上的條件限制，NSPO 正積極規劃福衛二號後續衛星計畫，並命名為福衛五號。希望藉由福衛五號的加入，持續提供全球 2 公尺解析度的衛星影像資料，配合每兩日重複到訪的軌道設計，彌補福衛二號在中低緯區影像拍攝間隙的不足，達成全球涵蓋的資料蒐集任務，提供更完整的環境監測與變遷分析所需的基礎資料蒐集。

參考文獻

- 朱子豪等，2008。福衛二號影像於極區冰河消融監測之應用，第六屆數位地球研討會，台北
- 連婉茹等，2008。福衛二號影像於台北市山坡地監測之應用，2008 年空間資訊基礎建設國際研討會，台北
- 國家太空中心，<http://www.nspo.org.tw>