

衛星遙測影像應用於地表變遷偵測之研究

Land-Cover Change Detection Using Satellite Remote Sensing Imagery

經濟部 國營事業委員會 工安管理師	國立台灣大學 生物環境系統 工程研究所博士 中州技術學院兼任 助理教授	國立台灣大學 生物環境系統 工程研究所 碩士	國立台灣大學 生物環境系統 工程學系/所 教授兼主任	國立台灣大學 生物環境系統 工程學系/所 助理教授
-------------------------	---	---------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

張世駿* 江介倫 吳進龍 鄭克聲 陳增壽

Shih-chun Chang Jie-lun Chiang Chin-lung Wu Ke-sheng Cheng Tzen-show Chen

摘 要

經歷 921 大地震後，位於中台灣的台大實驗林，地表已呈現出大面積的明顯改變，爾後再經桃芝風災侵襲，原本崩坍地區的土石，更化作土石流沖刷而下，使得路毀橋斷，災情慘重。本研究擬利用衛星影像廣景覽要之特性，偵測台大實驗林中受桃芝風災重創所產生之變遷地區，以桃芝風災前後兩期 SPOT 多光譜影像為基本資料(1999/10/1、2001/9/21)，像元解析度 20 公尺 x 20 公尺，根據不同地表覆蓋物對入射太陽光具有不同反射之特性，作為地表覆蓋物判釋之依據。研究影像經一般克利金法定位後，桃芝風災前期影像東西向平均絕對誤差 3.721 公尺、南北向平均絕對誤差 0.06 公尺，桃芝風災後期影像東西向平均絕對誤差 0.985 公尺、南北向平均絕對誤差 0.259 公尺，均未達 1 像元。

為提高變遷偵測之精確率，透過分散度指標取得影像特徵，結果顯示光譜波段灰階比值較能突顯各類別間之差異，亦較適合變遷偵測。影像上，兩時期同一位置像元灰階差異變化大者可視為變遷，爰此，研究中將前後期之特徵灰階組體圖疊合後，計算變遷百分比，產生變遷發生地點影像，另加入數值地形模型資料，依水土保持技術規範分為七個坡級並建立坡度影像，以桃芝風災前後航照圖比對，相同位置之特徵，擁有一致的形式，結果顯示經過一般克利金法準確定位後，可精確篩選出發生變遷之地點。

關鍵詞：921 大地震，桃芝風災，衛星遙測，一般克利金法，分散度指標，光譜波段灰階比值，特徵灰階組體圖疊合，變遷偵測。

*通訊作者，經濟部國營事業委員會工安管理師，100 台北市中正區寶慶路 25 號，derek0406@gmail.com

ABSTRACT

After the Chi-Chi earthquake, drastic land-cover changes have occurred in mountainous area of Center Taiwan. As a result, these areas are prone to damages and casualties by typhoons. Landslides frequently occurred after the major earthquake and have drawn attentions of juridical agencies. Identifying landslide sites is crucial for sound watershed management in these areas. Therefore, this study aims to identify landslide sites in the Experimental Forest of National Taiwan University using satellite remote sensing imagery. Multi-temporal SPOT images were collected and corrected for geometric distortion using an Ordinary Kriging algorithm. Separation index was adopted to determine the best spectral feature for change detection. For this study, the band-ratio (IR/R) was chosen for change detection. We also developed a peak-aligned-histogram algorithm to estimate percentage of land-cover changes and the threshold value of band-ratio value for land-cover change detection. We also show the landslide sites with respect to terrain slopes.

Keywords: Chi-Chi Earthquake, Change detection, Remote sensing, Ordinary Kriging, Peak-aligned-histogram.

一、前言

台灣位於菲律賓板塊及歐亞板塊之間，地層運動頻繁，地質及地形條件複雜；加上夏秋季時颱風所帶來的豪雨造成地表之沖蝕。地震、颱風與暴雨對地表或土地所造成之擾動，對台灣山區產生相當慘重的災害。傳統上，對於發生崩塌或土石流地區之調查，多採用現地探勘或航空照片判釋的方法。若針對幅員遼闊的山區，不但地形複雜險阻，且不易進行全面性的災害調查，因此，若要在短時間內取得大範圍面積的災情調查，又需克服交通困難與人員抵達不易的窘境，此時衛星遙測為另一可供選擇之方式。本研究藉由衛星遙測影像能提供大範圍且即時性的資訊，相較於傳統測量及現地調查所需耗費之大量人力及物力，則更能夠突顯出其快速、有效掌握全區域資料特性之優點，以台大實驗林為例，利用不同地表覆蓋物對入射太陽光具有不同反射之衛星遙測影像特性，應用桃芝颱風發生前與發生後兩幅不同時期、同一地點之衛星遙測影像，找出研究區域中地表發生改變之地點，另導入數值地形模型建立坡度影像，並依照水土保持技術

規範之規定，將坡度分為七個等級，與變遷地點影像套疊後，由影像上可得各坡級變遷發生處，以利判釋出崩塌發生地點，並作為台大實驗林集水區經營管理之參考。

二、文獻回顧

應用衛星遙測影像作地表變遷偵測有許多方法，但必須瞭解各種方法的特性及適用性。經常使用之方法為分類後再比較法及影像差異法。分類後再比較法，則是利用各種分類法將兩期影像分別加以分類後，再比較其變遷狀況。且不同時期之地表類別經分類後，不受大氣效應、日照角度、地表坡度、植物生長狀況及土壤含水量等因素影響，許多前人研究有：阮聖裕(1994)利用類神經網路技術、最大概似法及貝氏分類法等分類方法，並使用組織特徵產生更多的分類特徵，應用於地表土地利用的分類及變遷偵測。郭育全(1997)應用最大概似法及貝氏分類法結合組織特徵及分散度指標，分類曾文水庫 SPOT 衛星影像及崩場地發生位置。鄭克聲(1997)以 SPOT 衛星影像分類曾文水庫周圍保護區土地利用之地表類別與崩場地地表變遷偵測，並計算水庫之

蓄水容量。

影像差異法，即是將前後兩期影像同波段的相對應像元灰階值彼此相減，差異大的值即為變遷區域。Ping 等人(2000)以不同時期的 SPOT 多光譜影像，調查寮國與泰國間的湄公河流域，不但運用數位地形模型、坡度與坡向產生正射化影像，並加以嵌合；而且將嵌合後影像作大氣校正處理及變遷偵測，而得變遷影像。David(2000)應用高等解析度資料(AVHRR)與中等解析度資料(MODIS)作模擬，比較地理定位誤差對變遷偵測所產生之影響。Merrill K. Ridd 等人(1998)運用 4 種變遷偵測演算法篩選出鹽湖城附近土地利用類別之改變並比較其結果與差異。Timo Tokola 等人(1999)使用時間差異達 19 年之 Landsat Data-MSS and TM 影像，調查未發生變遷之林地、被砍伐之森林與再造林。Olle Hugner 等人(1998)使用 Landsat-MSS 影像監測 Monchegorsk 地區森林面積銳減在於空氣中佈滿 SO₂ 所導致。John B. Collins 等人(1996)以多時態 Landsat-TM 資料利用多種變遷偵測方法評估並繪製森林死亡率曲線。Cecil Hallum (1993)應用衛星遙測資料監測植生及土地利用覆蓋類別。

三、研究區域與資料

台大實驗林位於台灣中心，總面積為 33,316 公頃，全區地勢呈南北狹長，南北長約 37 公里，東西寬 6 至 14 公里不等。為北低南高之走向，最低處為濁水溪南岸之桂子頭，海拔 220 公尺，最高點為南端境界線之上玉山山頂，海拔 3,952 公尺，高低差達 3,732 公尺，全區山勢大都陡急，僅局部山麓地帶有少許之緩斜地。轄區內大部分土地屬陳有蘭溪集水區範圍，餘則屬濁水溪集水區，而陳有蘭溪又為濁水溪之主要支流。本研究所使用之衛星遙測影像有二張，涵蓋了台大實驗林區，包括集集、水里附近以及濁水溪與陳有蘭溪等流域，分別為國立中央大學太空及遙測中心接收的法國 SPOT 2 號大地資源衛星 level 1 多光譜影像，拍攝時間為西元 1999 年 10 月 1 日，其為 921 大地震後、桃芝風災前影像；另一幅為法國 SPOT 4 號大地資源衛星 level 1 之影像於西元

2001 年 9 月 21 日桃芝颱風後所攝，level 1 校正等級之像元解析度為 20 公尺×20 公尺，校正內容為：輻射校正、探測器補償校正。研究中，因實驗林分佈位置及雲覆蓋影響，將衛星影像切割成兩區域(區域一、區域二)分別探討桃芝風災前後地表土地利用之改變。

研究中藉由 1/5000 相片基本圖，採用橫麥卡托投影經差二度分帶(Transvers Mercator Projection 2, TM2)作為座標系統，並配合影像以人工方式選取地面控制點，找尋影像中容易辨識的特徵點，藉由相片基本圖給予真實地理座標定位。為分辨裸露地與崩塌地之差別，採用高程單位 40 公尺 x 40 公尺之數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)製作坡度影像。

四、研究方法

4-1 衛星影像幾何校正

變遷偵測首重於精確之地理定位，唯有精確之定位，才有正確之變遷偵測結果。Cheng(2000)認為影像校正的空間幾何轉換可視為自然變化且隨機序率，採一般克利金法(Ordinary Kriging)分析經過初期轉換消滅空間趨勢後的影像畸變，建構隨機變域的空間特性，推估影像幾何校正的轉換關係，及根據地面控制點作交叉驗證地循序演算和定位精確度評估。因此，本研究即採用此方法校正桃芝風災前後期之 SPOT 衛星影像，並配合以影像對影像(image-to-image)選取控制點之方式，大量且均勻地選取地面控制點，其主要步驟如下：

1. 採取影像對影像方式選取地面控制點
2. 一階初期轉換消除空間趨勢，並決定東西向、南北向之隨機變域
3. 將各方向隨機變域進行非等向性半變異元模式套配
4. 應用一般克利金空間推估模式，推估影像各像元座標
5. 交叉驗證(Cross-Validation)推估結果，並透過像元重組獲得幾何校正影像

在假設影像校正的空間幾何轉換可視為自然變化且隨機序率時，利用一般克利金法具有最

佳線性不偏估(Best Linear Unbiased Estimator : BLUE)之特性，使得地面控制點上之推估值為零誤差，並依據各地面控制點所具有之權重比例，推估其餘像元之座標。最後為驗證所有應用於變異結構模式建立及克利金推估時所作之假設是否合理，以交叉驗證法計算影像校正理論精度，其分析步驟如下：

- (1) 蒐集地面控制點之資料，包含影像座標、地圖座標與初期轉換後之誤差殘餘值。
- (2) 自地面控制點資料中取出某一觀測點，並以其餘之 $n-1$ 個地面控制點資料來進行克利金推估，求取出該觀測點之推估值。
- (3) 分別計算推估誤差及克利金變異數。
- (4) 再將此點資料置回地面控制點資料中，並取出另一觀測點重覆上述步驟，直到所有觀測點均完成克利金推估之運算。
- (5) 檢定模式之不偏估性(Unbiasedness)及一致性(Coherence of Kriging Variance)。

不偏估性

克利金平均推估誤差(推估值與觀測值差之期望值)越接近於 0，表示不偏效果越佳，以 KAE 表之。

$$KAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^* - Z_i) \cong 0 \dots\dots\dots (4-1)$$

一致性

推估誤差平方與克利金變異數比值之期望值越接近於 1，則模式越佳，以 KRMSE 表示。

$$KRMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Z_i^* - Z_i)^2}{\sigma_{k_i}^2} \right] \cong 1 \dots\dots\dots (4-2)$$

4-2 變遷偵測

地表之變遷偵測可利用同一地點、不同時期之衛星影像，探討地表覆蓋對入射太陽光之反射特性差異而偵測得，爰此，本研究針對 1999 年 10 月 1 日及 2001 年 9 月 21 日之 SPOT 衛星多光譜掃描影像，判釋崩塌地變遷地區，並探討與驗證桃芝颱風所發生土石流地區與崩塌地之關連性。研究步驟包括：

1. 變遷偵測特徵(feature)之粹取

2. 特徵灰階組體圖密合(matching)
3. 變遷百分比之計算
4. 變遷灰階門檻值之決定
5. 不同地表坡級之變遷偵測

4.2.1 變遷偵測特徵(Feature)之粹取

因衛星影像各波段對於地表覆蓋物擁其不同之反射特性，故本研究將利用分散度指標(Separation Index)選取最重要且能於特徵空間中將各類別分離清楚之特徵，以便利於提升後續變遷偵測之正確性。本研究考慮之特徵除 SPOT 衛星影像近紅外光段(IR)、紅光段(R)、綠光段(G)外，另加入光譜波段灰階比值 Band-Ratio (IR/R) 與常態化差異植生指標(NDVI=(IR-R)/(IR+R))。其中，Band-Ratio 可將各波譜若具有顯著差異亮度值之特性反應出來，並減少因地形因子或坡向所造成日照不均之影響，且有助於常態化其亮度值之差異；NDVI 則對於植生之變遷具有高度敏感性，而對土壤背景變動不敏感。

分散度指標有很多種，如尤拉距離(Euclidean Distance)、馬氏距離(Mahalanobis Distance)、發散度(Divergence)等等，因發散度不僅考慮類別與類別間之平均距離，亦考慮到各類別間的變異情況，即擁有尤拉距離之特性，亦結合馬氏距離的特質，故研究中主要以發散度作為特徵粹取之標準，簡介其定義如下：

發散度

對於特徵空間中任何相異類別 i 與 j ，可定義其發散度 D_{ij} 為：

$$D_{ij} = \frac{1}{2} tr \left[(V_i - V_j)(V_j^{-1} - V_i^{-1}) \right] + \frac{1}{2} tr \left[(V_i^{-1} + V_j^{-1})(U_i - U_j)(U_i - U_j)^T \right] \dots\dots\dots (4-3)$$

其中， U_i 為第 i 類的平均值向量；

V_i 為第 i 類的共變異矩陣；

V_i^{-1} 為第 i 類的共變異矩陣之反矩陣；

$(U_i - U_j)^T$ 則為 i 、 j 兩類均值差值向量之轉置矩陣；

4.2.2 特徵灰階組體圖疊合(Histogram Matching)

經光譜波段灰階比值 Band Ratio 處理過之

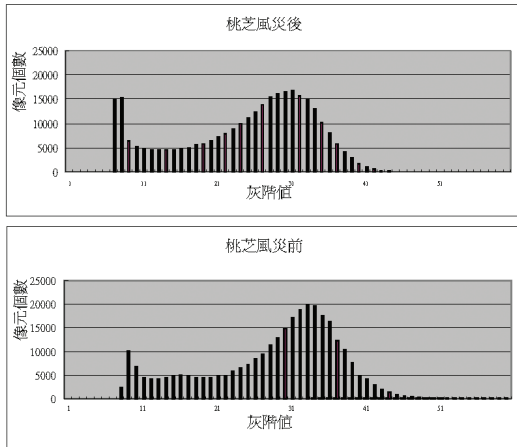


圖 1 桃芝風災前後 Band-Ratio 影像特徵灰階組體圖(以區域一為例)

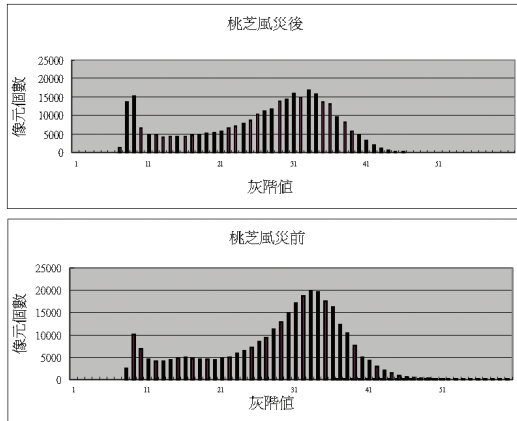


圖 2 經尖峰疊合(Matching)後之桃芝風災前後 Band-Ratio 特徵灰階組體圖(以區域一為例)

桃芝風災前後期影像，其特徵灰階組體圖具有兩個相對應之尖峰，代表影像上主要之地表覆蓋類別，如圖 1 所示。理論上，地表發生改變於兩幅不同時期同一地點之影像，其灰階組體圖之尖峰應具有穩定之灰階值分佈，故本研究應用灰階組體圖展延線性內插技巧，將桃芝風災前後期影像灰階組體圖之雙峰疊合，如圖 2。

4.2.3 變遷百分比之計算

變遷百分比由特徵灰階組體圖所求得。以圖 3 為例，將兩幅不同時期、同一地區影像之特徵灰階組體圖取其差值，其差異部分即為圖中正、負號所代表之面積，並將其加總。因影像上，若

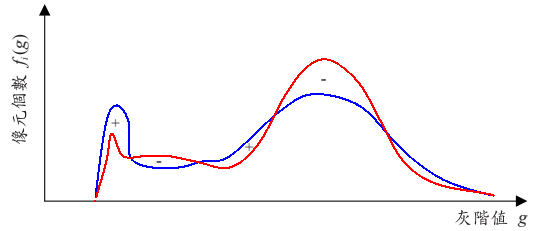


圖 3 變遷百分比推求示意圖

一類別中之某一像元發生了改變，所代表的意義為：此類別的灰階個數減少一個單位，而另一類別的灰階個數則增加一個單位，但實際上，發生變遷的像元個數僅一個單位。故變遷百分比之計算方法可由下式表示：

$$N_c = \frac{1}{2} \sum_{g=0}^{255} |f_1(g) - f_2(g)| \dots\dots\dots(4-4)$$

$$P = \left(\frac{N_c}{N} \right) \times 100 \dots\dots\dots(4-5)$$

其中， N_c 表示影像上地表類別發生變遷之個數；

N 為影像上所有像元之個數總和；

P 為變遷百分比；

g 表示灰階值， $g = 0 \dots\dots 255$ ；

$f_1(g)$ 為灰階值 g 之個數；

4.2.4 變遷灰階門檻值之決定

影像上，地表覆蓋類別發生改變，像元灰階值亦會跟著發生變化，灰階值變化大著可視為變遷。故可根據兩張不同時期、同一地點之衛星影像灰階值，取其差異而得絕對差值影像(如圖 4)，計算方法如下式：

$$g_d = |g_1 - g_2| \dots\dots\dots(4-6)$$

其中， g_d 為絕對差值影像之灰階值

$g_{1,2}$ 為桃芝風災前後期影像之灰階值

由絕對差值影像之特徵灰階組體圖可決定變遷灰階門檻值，以圖 5 為例，若求得變遷百分比為 $\alpha\%$ ，於絕對差值影像之特徵灰階組體圖中，找出超越機率為 $\alpha\%$ 所指定之灰階值 g_α ，則 g_α 即為變遷灰階門檻值。影像上，灰階值低於 g_α 值的部分視為無變遷發生；而高於 g_α 值之灰階值則認定為變遷發生地點。若將灰階值大於 g_α 值的部分指定為白色，小於 g_α 值的灰階值指



圖 4 絕對差值影像(以區域一為例)

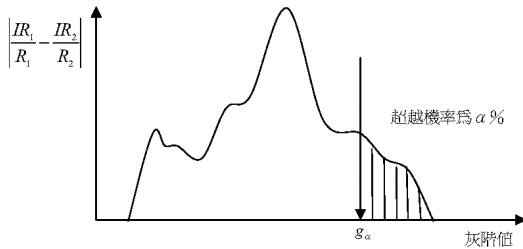


圖 5 變遷灰階門檻值決定示意圖

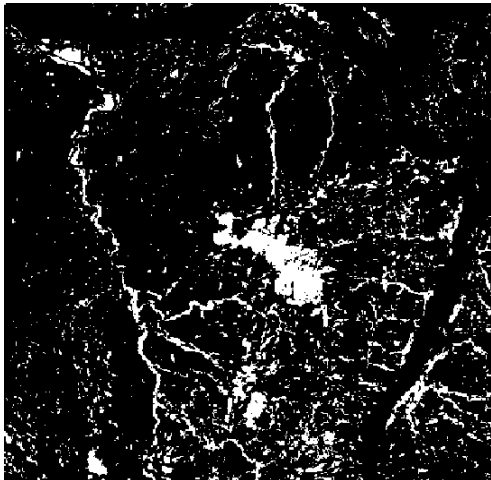


圖 6 變遷發生地點之二元影像(以區域一為例)

為黑色，所建立之二元影像如圖 6，白色部分即為以 g_α 設為變遷灰階門檻值所產生之變遷發生地點。

表 1 交叉驗證於模式套配合理性與克利金平均推估誤差結果(2001/09/21 影像以區域一為例)

隨機變域	不偏估性 (單位：公尺)	一致性
東西向 $Z_1(x,y)$	-0.985	1.12
南北向 $Z_2(x,y)$	0.259	1.025

表 2 交叉驗證於模式套配合理性與克利金平均推估誤差結果(1999/10/01 影像以區域一為例)

隨機變域	不偏估性 (單位：公尺)	一致性
東西向 $Z_1(x,y)$	3.721	1.213
南北向 $Z_2(x,y)$	0.06	0.999

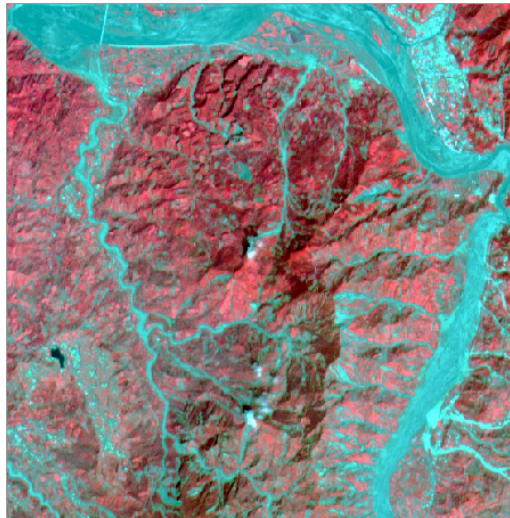
4.2.5 不同地表坡級之變遷偵測

因並非所有偵測出變遷之地區皆為崩坍發生地點(例如：1999 年 10 月 1 日影像中央大面積的雲)，應用數位高程模型 DTM，依照水土保持技術規範坡度分為七級，製作坡度影像；並將桃芝風災前後期影像經由各種影像處理，決定變遷灰階門檻值，與坡度影像作邏輯判斷，得各級坡度發生變遷之影像。

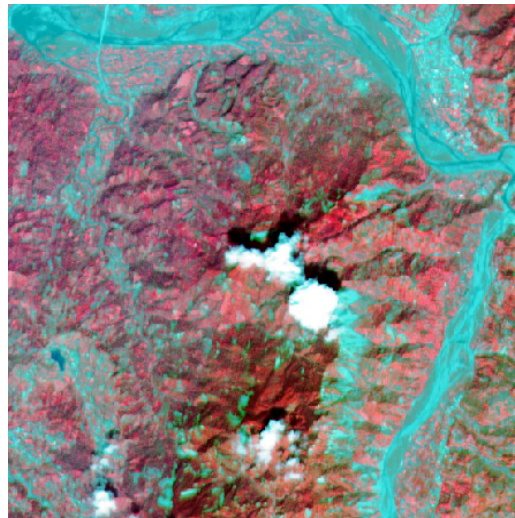
五、結果與討論

5.1 影像校正結果

研究中以非等向性指數模式套配試驗半變異元進行一般克利金空間推估，並應用交叉驗證之方式，檢查模式套配的合理性與一般克利金空間推估之推估誤差。交叉驗證結果見表 1、表 2，其中不偏估性代表克利金平均推估誤差；一致性表示推估誤差平方與克利金變異數之比值。克利金平均推估誤差越趨近於 0；推估誤差平方與克利金變異數比值越接近 1，表示所應用之非等向性指數模式推估結果越佳。以 2001 年 9 月 21 日影像為例，東西向平均推估誤差為 -0.985 公尺，表示克利金空間推估在東西向平均高估了 0.985 公尺，南北向之平均推估誤差為 0.259 公尺，即克利金推估在南北向平均低估了 0.259 公尺；而 1999 年 10 月 1 日影像中，克利金推估在東西向



2001/9/21



1999/10/1

圖 7 桃芝風災前後期 SPOT 多譜態假色影像校正結果示意圖(以區域一為例)

表 3 分散度指標計算結果

尤拉距離					
類別\波段	IR	R	G	IR/R	NDVI
林地與裸露地	2.69E+03	2.45E+03	1.33E+03	4.62E+00	2.55E-01
果園與裸露地	4.98E+03	1.13E+03	4.73E+02	2.91E+00	1.99E-01
檳榔與裸露地	3.64E+03	1.74E+03	8.07E+02	3.59E+00	2.30E-01

馬氏距離					
類別\波段	IR	R	G	IR/R	NDVI
林地與裸露地	8.8884168	86.689231	36.203115	98.876523	76.737918
果園與裸露地	20.036969	22.101008	12.380794	63.909022	48.257276
檳榔與裸露地	22.410367	133.79981	98.793018	92.337943	120.43754

發散度					
類別\波段	IR	R	G	IR/R	NDVI
林地與裸露地	5.5115574	48.712749	19.615626	51.747056	38.55701
果園與裸露地	10.224654	13.396115	7.5938522	33.749913	24.158242
檳榔與裸露地	11.249513	80.233545	60.9766	46.649762	61.308297

平均低估了 3.721 公尺、南北向則低估 0.06 公尺，基本上兩個時期之東西向與南北向隨機變域，其克利金平均推估誤差均未達 1 個像元，而一致性方面亦皆趨近於 1，但是經推估後之影像像元並非規整，故需以重新取樣之步驟，將所有像元大小校正為 20m x 20m，並指定正確的灰階值於該像元，即可得一般克利金法校正結果影像。由上述討論可知，衛星影像經過一般克利金

法校正後，已到達預期之精度水平，更足以作為後續變遷偵測之基礎。校正後影像如圖 7 所示。

5.2 變遷偵測結果與驗證

因台大實驗林集水區內土地利用大部分為山區與林地，若地表經過自然災害後發生改變，其變化範圍應多數介於植生與裸露地之間，且由表 3 可見由林地與裸露地所計算之馬氏距離及發

散度皆顯示於光譜波段灰階比值下此兩類別之離散度較高。故吾人便以光譜波段灰階比值 Band-Ratio(IR/R)作為變遷偵測分析之依據，並經由特徵灰階組體圖疊合將變遷百分比之推求合理化，求得區域一變遷百分比約 10.70%、區域二變遷百分比則約為 11.30%。

本研究依上述變遷比例劃定變遷灰階門檻值，並導入 DTM 計算坡度暨製作坡度影像，配合水土保持技術規範之七種坡級，求得各坡級變遷偵測結果影像。其中，因桃芝風災後，大部分發生崩塌地點多數落於坡度較陡峭之地區，故僅列出坡度大於 22° (五級坡)以上之變遷發生地點，且大部分變遷發生地點皆落於山脊線處左近。如圖 8、9 根據圖中紅色方框所指定之變遷發生地點，對照桃芝風災前後期之航照影像作為驗證，顯然地，本研究應用一般克利金校正桃芝風災前後期之衛星影像，經由衛星遙測技術並配合坡度分級，可精確地偵測出變遷發生之地點。

六、結 論

1. 根據 Cheng(2000)克利金空間推估應用於衛星影像校正之研究，若以克利金法校正 SPOT 衛星影像，且研究區域分佈於高程起伏多變之山區，則以非等向性指數模式套配不同方向之試驗半變異元，較能改善衛星影像校正之精度。故本研究應用一般克利金法校正南投台大實驗林區的 SPOT 衛星影像，校正後結果確實達到預期之精度。
2. 影像校正所需的地面控制點，乃根據均勻分佈選取為原則。山區部分因高程因素選取控制點不易，且經一階初期轉換後之東西向殘差值過大，而影響半變異元模式套配，故部分地面控制點之增加或刪除，可能會影響衛星影像幾何校正之精確度。
3. 因南投台大實驗林集水區內土地利用多為山區與林地，且若地表經過自然災害後發生改變，其變化範圍應多數介於植生與裸露地之間。故考量林地、果園與檳榔三種類別並計算其與裸露地之間的分散度指標，結果馬氏距離與發散度皆顯示光譜波

段灰階比值 Band-Ratio，較能在衛星影像上將林地與裸露地分的最清楚，即較利於變遷偵測之判釋。

4. 衛星遙測影像經光譜波段灰階比值處理後，減少因地形因子或坡向所造成日照不均之影響，且有助於常態化其亮度值之差異，但由像元灰階組體圖中得知，灰階值的分佈卻存在某種非系統性之偏移，而影響變遷百分比之計算，故研究中將特徵灰階組體圖之尖峰疊合，所求得之變遷百分比應較合理。
5. 本研究經過精確之地理定位後，在影像上依變遷百分比決定變遷發生地點，經由桃芝風災前與桃芝風災後航照圖比對，變遷地點與兩航照圖上相同位置之特徵，擁有一致的形式。
6. 判釋出實驗林集水區內發生變遷地區後，應用數值地形模型，依照目前水土保持技術規範所分級之七級坡度，製作各級坡度之影像，並將之與變遷發生圖做邏輯判斷運算。所得之影像即為各級坡度變遷發生之位置，有利於台大實驗林管理處作為決策與管理之參考。

參考文獻

1. 阮聖裕，1994。「類神經網路應用於地表覆蓋分類之研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
2. 蕭培聖，1995。「從葉面積指數探討綠覆面積之研究」，國立台灣大學園藝研究所碩士論文。
3. 郭育全，1997。「分散度指標應用於遙測影像分類特徵選取之研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
4. 江良印，1998。「紋理特徵應用於遙測影像判釋之理論研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
5. 蔡昌玟，1999。「克利金空間推估應用於衛星影像校正之研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。

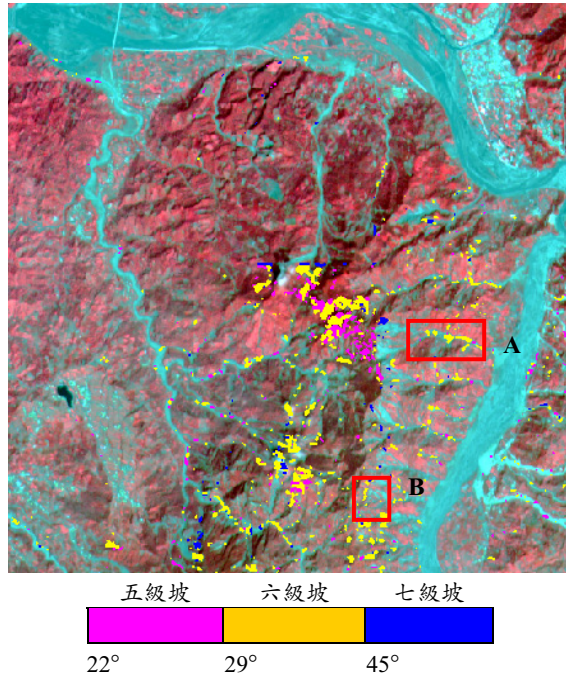
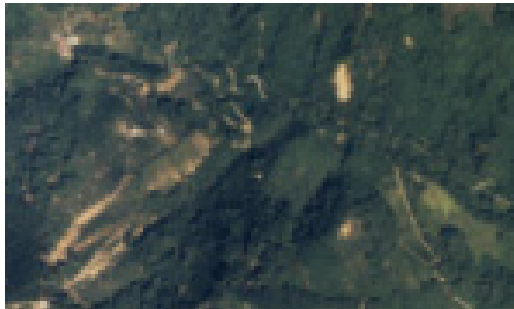


圖 8(a) 區域一：五級坡至七級坡變遷發生地點



桃芝風災前航照圖



桃芝風災後航照圖

圖 8(b) 區域一：變遷發生地點驗證 A



桃芝風災前航照圖



桃芝風災後航照圖

圖 8(c) 區域一：變遷發生地點驗證 B

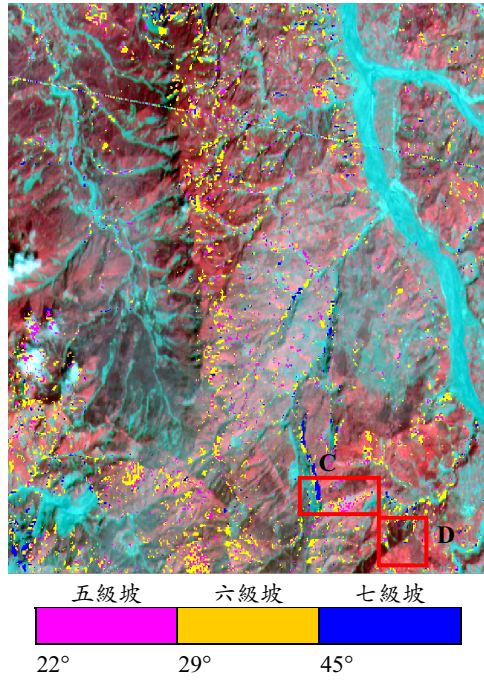
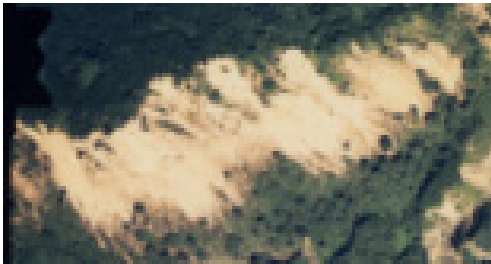
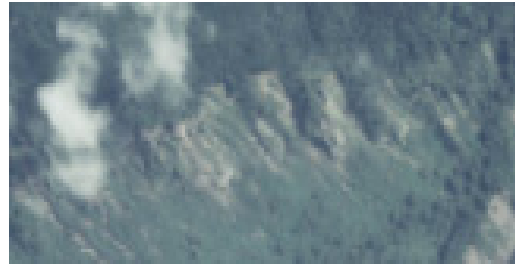


圖 9(a) 區域二：五級坡至七級坡變遷發生地點

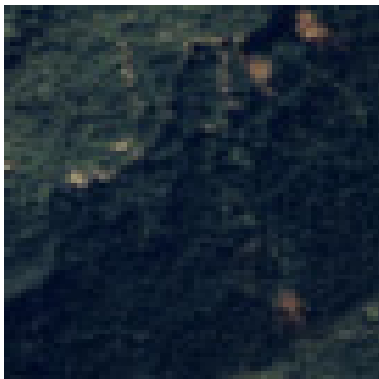


桃芝風災前航照圖

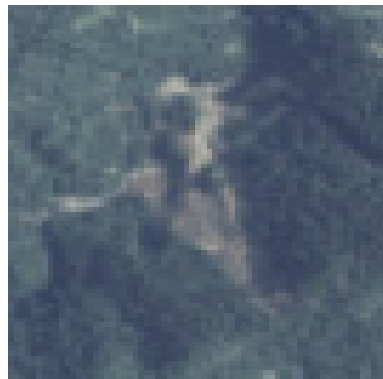


桃芝風災後航照圖

圖 9(b) 區域二：變遷發生地點驗證 C



桃芝風災前航照圖



桃芝風災後航照圖

圖 9(c) 區域二：變遷發生地點驗證 D

6. 葉惠中，2000。「區域化變數理論與隨機變域模擬在雨量站網設計之研究」，國立台灣大學農業工程學研究所博士論文。
7. 劉俊志，2000。「克利金空間推估應用於控制點選取與影像幾何校正之研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
8. Amada, T., Dhakai, A.D., Aniya, M., and Sharma, R.R., 2002. Detection of areas associated with flood and erosion caused by a heavy rainfall using multitemporal Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, Vol.68, No.3, March, pp.233-239.
9. Atkinson, P.M., and Curran, P.J., 1997. Choosing an appropriate spatial resolution for remote sensing investigation. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, Vol.63, No.12, pp.1345-1351.
10. Cheng, K.S., Kuo, Y.C., Yeh, H.C., Liou, C.M., and Wu, M.T., 2000. Identification of landslides induced by Chi-Chi earthquake using SPOT multispectral images. The 21st Asian Conference on Remote Sensing. Taipei, Taiwan, R.O.C.
11. David, P. Roy., 2000. The impact of misregistration upon composited wide field of view satellite data and implications for change detection. *IEEE transaction on geoscience and remote sensing*, Vol. 38, No. 4, July pp.2017-2032.
12. Ford, G.E., and Zanelli, C.I., 1985. Analysis and quantification of errors in the geometric correction of satellite images. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, Vol.51, No.11, November pp.1725-1734.
13. Chen, J.M., 1996. Canopy Architecture and Remote Sensing of the Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Boreal Conifer Forests. *IEEE transaction on geoscience and remote sensing*, Vol. 34, No. 6.
14. K.S. Cheng, C. Wei, S.C. Chang., 2004. Locating Landslides Using Multi-temporal Satellite Images. *Advances In Space Research* 33 (2004) 296-301.

收稿日期：民國 95 年 2 月 17 日

接受日期：民國 95 年 3 月 8 日