

# 地理資訊技術於森林資源調查之應用

黃群修

行政院農業委員會林務局  
科長

林煥宇

行政院農業委員會林務局  
技士

宋淳伍

互動國際數位  
高級專員

陳啟川

互動國際數位  
資深高級經理

## 摘要

林務局經管國有林事業區面積達 153 餘公頃，為定期瞭解森林資源分佈及國土利用情形，自民國 43 年以來採航空攝影測量及地面樣區調查並行方式，共完成 3 次森林資源調查。隨著近年生物資源保育、森林碳吸存管理等政策需求，林務局於 97 年度起著手推動「第四次全國森林資源調查」，全面獲取最新森林資源分佈資訊，作為森林經營管理之厚實基礎。

近年航空攝影作業已全面數值化，並隨航測、全球定位及地理資訊系統技術之成熟，數值航照影像及地理資訊系統之運用成為本次森林資源調查之重要技術核心。第四次森林資源調查有別於以往航空照片判釋轉繪之作業模式，直接於立體觀測環境下進行林相判釋及森林立體結構量測，並透過三維數化自動化工具開發，提昇數值航照影像判釋效率及品質。

另外，由於森林資源調查具備作業範圍大、期程長及人員分散等特點，藉由分散式空間資訊管理技術導入，將森林資源調查標準作業流程與地理資訊工具密切整合，能有效降低森林資源調查人員學習曲線、提昇工作效率，並且能確保調查成果之資訊品質。

關鍵詞：數值航照立體判釋、三維圖資數化、分散式空間資訊管理

# 地理資訊技術於森林資源調查之應用

黃群修<sup>1</sup>、林奐宇<sup>2</sup>、宋淳伍<sup>3</sup>、陳啟川<sup>4</sup>

## 一、前言

林務局經管國有林事業區面積達 153 餘公頃，為定期瞭解森林資源分佈及國土利用情形，自民國 43 年以來採航空攝影測量及地面樣區調查並行方式，共完成三次森林資源調查。隨著近年生物資源保育、森林碳吸存管理等政策需求，林務局於 97 年度起著手推動「第四次全國森林資源調查」，全面獲取最新森林資源分佈資訊，作為森林經營管理之厚實基礎。

第三次全國森林資源調查基於當時的資訊技術條件下，運用地理資訊技術輔助土地利用型圖資轉繪工作，建立結合圖形、影像及空間分析功能的森林地理資料庫，並迅速地建立各項主題圖及統計分析成果。然而，近年來由於航空攝影作業已全面數值化，航測、全球定位及地理資訊技術亦日臻成熟，各界對於地理圖資的精度、品質、效率及分析應用之要求日益提高，如何運用最新的地理資訊技術來提昇第四次全國森林資源調查的效率及品質成為重要的課題。

另外，由於森林資源調查具備作業範圍大、期程長及人員分散等特點，藉由分散式空間資訊管理技術導入，將森林資源調查標準作業流程與地理資訊工具密切整合，能有效降低森林資源調查人員學習曲線、提昇工作效率，並且能確保調查成果之資訊品質。

本文即依林務局第四次全國森林資源調查作業需求，考量管理面、技術面、執行面可行性，規劃三維數化及分散空間地理資料管理模式，並展示目前地理資訊技術應用成果。

---

<sup>1</sup>行政院農委會林務局 科長

<sup>2</sup>行政院農委會林務局 技士

<sup>3</sup>互動國際數位 高級專員

<sup>4</sup>互動國際數位 資深高級經理

## 二、森林資源調查及地理資訊技術現況評析

### (一) 林務局第四次全國森林資源調查概況

第四次全國森林資源調查執行期間自97年起預計於101年完成，主要工作包含林木資源調查、土地覆蓋型圈繪、野生動物資源及其它附帶調查等工作，而參與計畫的單位包含林務局、農林航空測量所及羅東、新竹、東勢、南投、嘉義、屏東、花蓮、台東八個林區管理處。


森林資源調查之編製與規劃，依工作內容可分為外業調查及內業調查兩部分，其中內業調查的工作重點為**照片樣區判釋**及**土地覆蓋型圈繪**，而背景及參考圖資取得來源為林務局空間資料倉儲系統。


由於本次資源調查需參考多樣歷史圖資，且**計畫期間長、執行單位分散、參與人員眾多**，為使資訊有效整合，擬定發展策略如下：

1. 資訊應用與管理流程緊密結合。
2. 數值航照立體判釋及三維數化自動化。
3. 空間資料庫整合分散成果並提昇圖資品質。
4. Web-based 網頁應用強化資訊交流及協同作業。

### (二) 三維數化技術評析

#### 1. 立體成像原理

人類肉眼若要看到立體，左眼與右眼所看到的影像勢必不同，同時必須有一定比例的重疊部分（ 2-1）。在電腦圖學上，若要讓人眼透過立體觀測設備看到立體，最主要的左右影像差異點就在於所謂的X視差，當左右相片具有一定的X方向的成相距離，便具備此項因子可進行立體觀測。

以航照而言，當飛機依既定航線飛行，所拍攝的相片前後要求重疊，同時經由解算相片的內外方位，透過軟體及搭配適當硬體，便可透過個人工作站電腦看到攝影當時所呈現的立體狀態（ 2-2）。而透過立體觀測，我們便可以輕易的讀取相片點位上的地面座標等資訊。

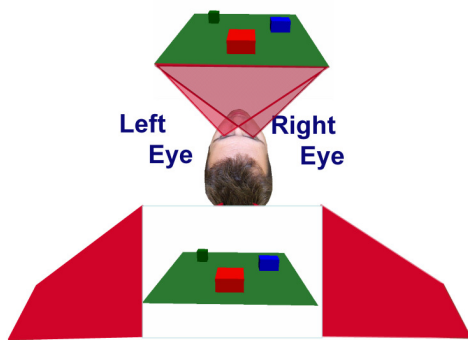


圖 2-1 人類肉眼立體成像示意圖

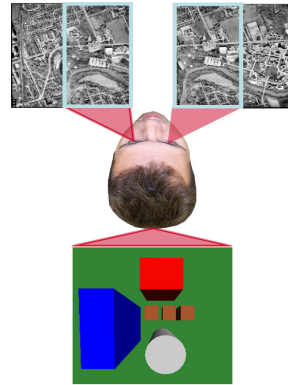


圖 2-2 模擬人眼與航照立體狀態

## 2. 數值航照立體觀測作業環境

林務局目前既有之數值航照立體觀測軟、硬體包括：具立體顯示輸出功能之個人工作站電腦、PLANAR SD2020 立體觀測數化儀、ESRI ArcInfo 地理資訊軟體(以下簡稱 ArcGIS Desktop)及 Leica Stereo Analyst for ArcGIS (以下簡稱 SAFA) 擴充模組，其中 SAFA 需架構在 ArcGIS Desktop 環境下才能執行。



圖 2-3 立體觀測數化儀

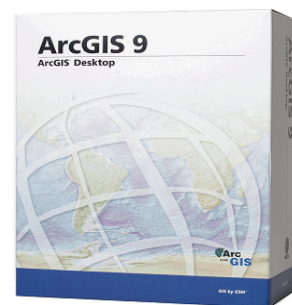


圖 2-4 ESRI ArcInfo 地理資訊軟體

## 3. 立體觀測環境下三維數化及編修方法

上述的數值航照立體觀測作業環境架構，具備多項立體量測及數化工具：

- (1) **三維數化及編修工具**：SAFA 提供一組立體進階編輯工具「Stereo Advanced Editing」，其立體數化及編修運作機制主要為利用 TopoMouse 標定座標位置，並於 Stereo Window 中取得立體像對之高程資訊，而所有數化結果儲存在 ArcMap 指定的圖層中。而在 ArcMap 與 SAFA 整合環境下，ArcMap 的 Editor 工具列可以提供更多元的數化及編修功能，並可引用 DTM 高程來輔助數化。
- (2) **二維與三維圖資轉換**：ArcGIS 3D Analyst Extension 及 SAFA 均提供多項 2D 轉換 3D 之工具，可將 2D 圖資與其高程資訊合併轉換成 3D 圖資。(圖 2-5) 若希望在不需轉換圖資料狀況下，在立體環境下 2D 圖資能即時顯示，可使用 SAFA 提供的「Virtual 2D to

3D」功能，藉由指定高程資料來源，使 2D 資料能即時顯示在 SAFA 的作業範圍。(圖 2-6)

(3) **三維圖資展示環境**：ArcGIS 3D Analyst Extension 中包含 ArcScene 軟體，可直接開啟具備 3D 格式 (Z 值) 之 Shape 檔或圖徵類別 (Feature Class)，藉由其三維檢視工具輔助判釋人員檢查數化圖徵是否有可視之異常。(圖 2-7)

(4) **圖資品質檢核工具**：對於已經數化完成的圖徵，可使用 ArcMap 的位相關係 (Topology) 工具列來進行空間關係檢核，使其保持空間的一致性，如圖徵間不能重疊 (Overlaps)、不能有間隙 (Gaps) 等空間關係於拓撲圖徵類別，並可針對該錯誤區域進行合併、建新圖徵、設例外等處理，使判釋人員及檢核人員可以快速地查找及處理錯誤區塊，有效提昇圖資品質。(圖 2-8)

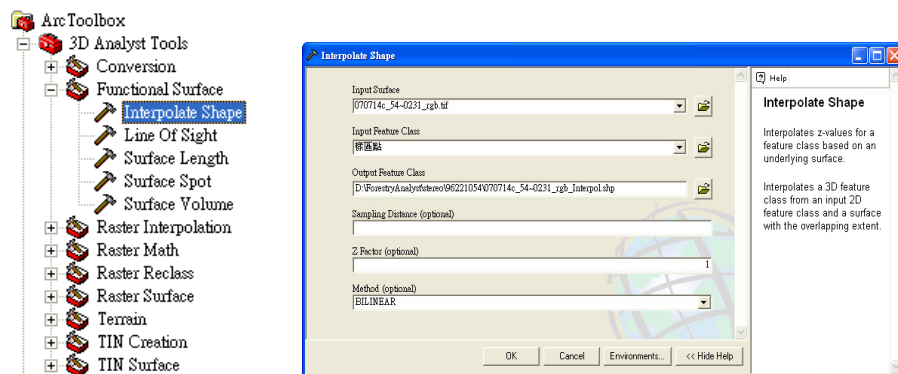


圖 2-5 ArcGIS 3D Analyst Extension 3D 轉換工具

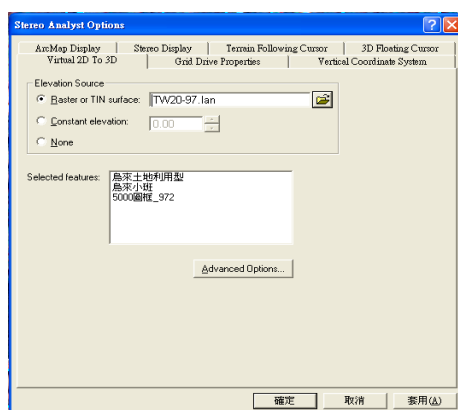


圖 2-6 SAFA 虛擬 2D 轉 3D 工具

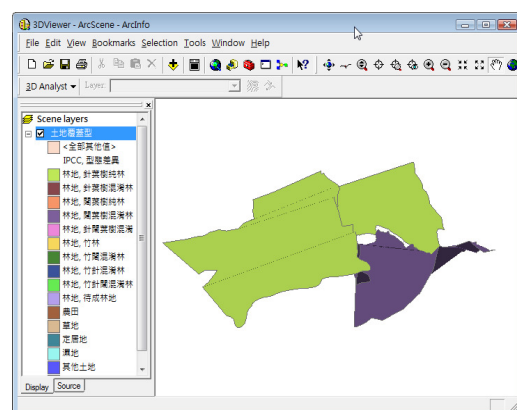


圖 2-7 ArcScene 檢視三維圖資數化成果

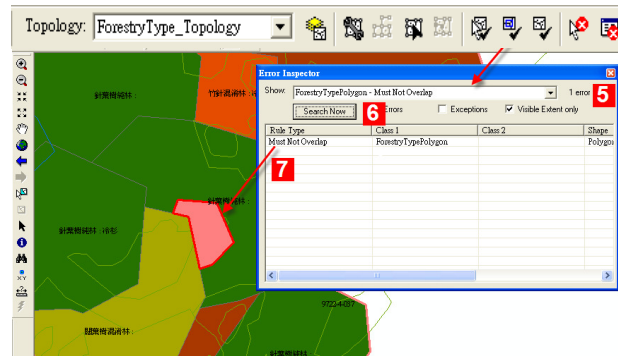


圖 2-8 ArcMap Topology 工具檢核圖徵幾何一致性

### (三) 分散式空間資料管理

以往在處理多單位、大範圍之圖資數化作業，常以檔案管理模式將圖幅或行政區界來劃分小區塊，再交由各單位數化，完成後再由管理單位進行圖資檢核、清理、合併等作業，工作非常繁瑣。在ArcGIS Server中具備空間資料庫引擎（ArcSDE），提供版本（Version）及複製（Replication）等機制，可滿足多人同時編輯、分散圖資管理及離線編輯之需求。例如：由空間資料庫中以1/5000圖幅範圍將相關圖資Check Out成為一複本（Replica），數化人員於複本完成數化作業後交回單位，管理者只需將複本Check In回空間資料庫，即自動進行圖資異動檢核、更新、衝突管理及處理，有效提供分散式空間資料管理效率。

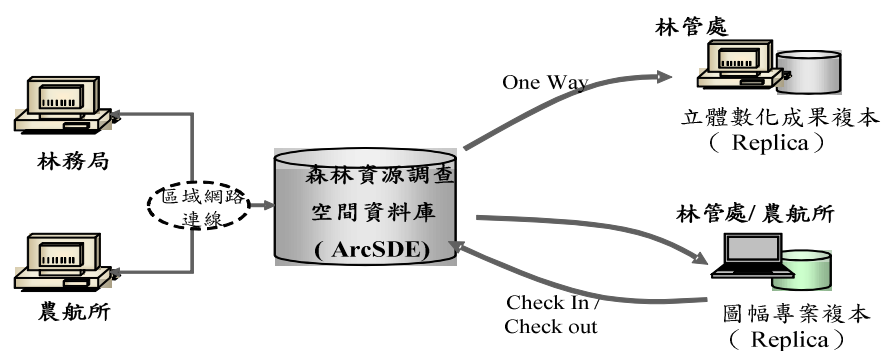


圖 2-9 分散式空間資料管理（以林務局為例）

### 三、地理資訊系統應用整體規劃

#### (一) 圖幅專案運作流程規劃

圖幅專案由多個1/5000圖幅組成，作為工作進度管理考核的單元，整體圖幅專案運作流程如圖3-1所示：

1. 由林務局規劃整體森林資源調查數化時程、界定圖幅專案責任區，由農航所配合進行航攝影像、正射影像等資料準備。
2. 農航所由空間資料庫建置「圖幅專案」，與影像資料合併後壓縮上傳至森林資源調查交換平台供數化人員下載。
3. 數化人員接到 E-Mail 通知後，可登入資訊交換平台下載專案進行照片樣點判釋、土地覆蓋型圖繪、資料品質自我檢核等作業，於完成後將專案成果上傳至資訊交換平台。
4. 農航所品質檢核小組於接獲 E-mail 通知，登入資訊交換平台下載各林管處專案成果檔，並進行圖資品質初核、抽驗、退回作業，其中初核範圍為一圖幅專案內圖徵。
5. 農航所品質檢核小組於初核完畢無誤後，即將成果繪入森林資源調查空間資料庫，針對圖幅專案相鄰共邊進行複審作業。

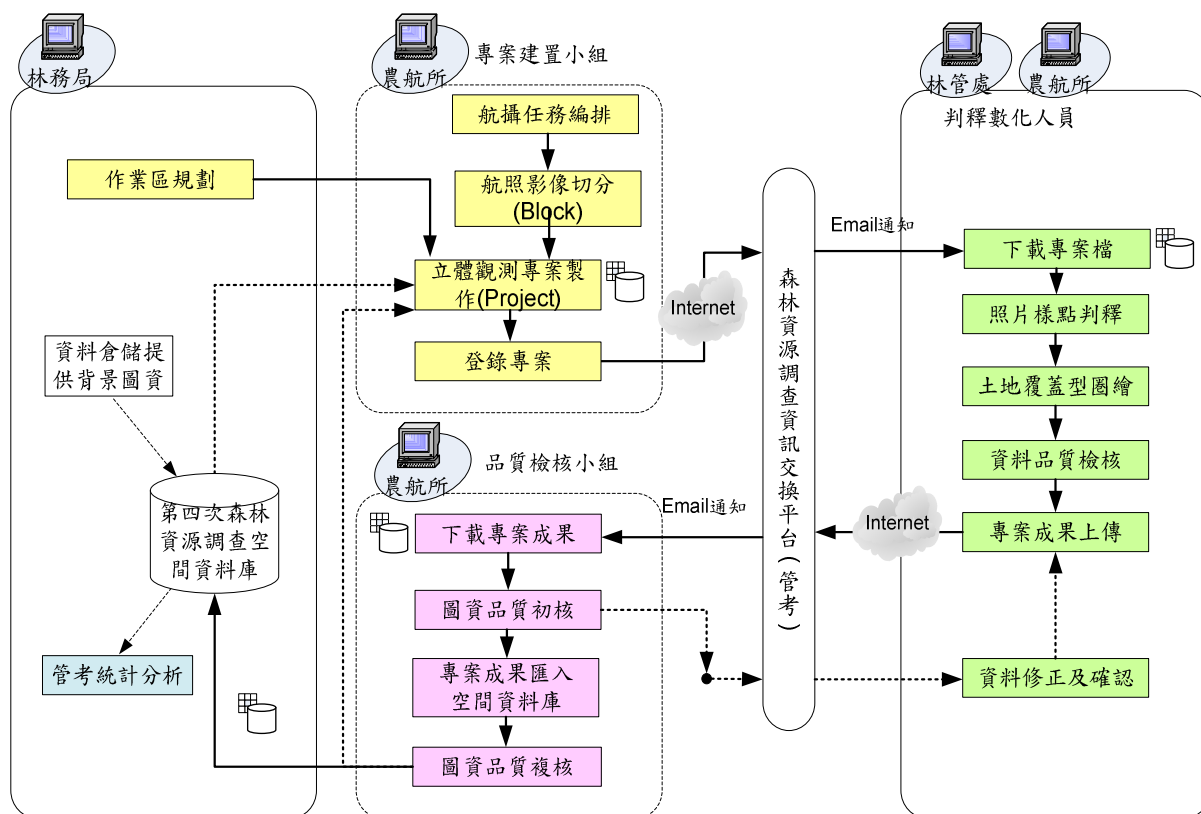


圖 3-1 整體圖幅專案運作流程



## (二) 地理資訊應用技術架構

以森林資源調查空間資料庫為核心，運用最新的地理資訊技術，發展輔助森林資源調查業務之應用系統，組成架構如圖3-2所示，茲分述如下：

1. **森林資源調查空間資料庫**：為系統化地儲存森林資源調查相關地理圖資及成果，透過空間資料庫引擎（ArcSDE）實作空間地理資料庫，可整合向量、影像及屬性資料，並提供多人同時上線編輯、版本控管、異地複本、品質驗證功能，有效提昇品質、簡化程序、降低管理負荷。
2. **數值航照立體判釋子系統**：提供樣點立體判釋作業自動化輔助工具模組，在 ArcGIS Desktop 及 SAFA 環境下，由航攝立體像對量測及紀錄圖幅內各樣點之鬱閉度、平均樹高、平均冠幅等資訊。
3. **土地覆蓋型三維圖資數化子系統**：為土地覆蓋型立體圈繪作業自動化輔助工具模組，在 ArcGIS Desktop 及 SAFA 環境下，由航攝立體像對中數化土地覆蓋型面圖徵，並進行 IPCC 分類、主要樹種、功能性分類等屬性判別作業。
4. **圖資品質管理擴充模組**：為專案成果屬性及圖資品質檢核自動化輔助工具模組，依照圖資品質檢核準則及作業流程需求，利用空間資料庫拓樸（Topology）機制執行標準化、高效率的圖資品質檢核工作。
5. **圖幅專案管理擴充模組**：為輔助林務局及農航所圖幅專案規劃、建置、匯入之自動化輔助工具，管理人員使用 ArcGIS Desktop 直接連線 ArcSDE 空間地理資料庫，運用 Check In /Check Out 機制自動化建置、更新專案成果，除提昇管理效率外，更使整體執行進度獲得掌控。
6. **網路資訊交換平台**：係針對林務局、林管處、農航所間專案資料交換協同作業輔助應用系統，網頁式設計讓分散於各林管處及農航所調查人員，隨時、隨地透過網路上傳、下載圖幅專案；而管考人員，亦可透過該系統獲得整體工作進度統計資訊，作為管理決策訂定之參考。



圖 3-2 地理資訊應用技術架構



### (三) 網路及軟體架構規劃

1. 網頁及空間資料庫伺服器：網頁伺服器因應資安考量設置於 DMZ 區，空間資料庫伺服器則於區域網路中，由空間資料庫引擎(ArcSDE)及企業級關聯式資料庫軟體組成。
2. 林務局工作站：於區域網路內；GIS 軟體組成以 ArcInfo+SAFA+3D Analyst 為平台；應用系統組成則因其管理考核角色，主要使用圖幅專案管理模組，並以資訊交換平台進行工作進度管理及統計分析。
3. 農航所工作站：於區域網路(VPN)內；GIS 軟體組成以 ArcInfo+SAFA+3D Analyst 為平台；應用系統組成則因其判釋及資料品質檢核兼具角色，需同時具備數值航照立體判釋系統、土地覆蓋型三維數化系統、圖資品質檢核模組，並以資訊交換平台進行專案資料交換及工作進度管理。
4. 林管處工作站：於區域網路(VPN)內；GIS 軟體組成以 ArcInfo+SAFA+3D Analyst 為平台；應用系統組成則因其主要工作為內業調查，僅需使用數值航照立體判釋系統、土地覆蓋型三維數化系統，並以資訊交換平台進行專案資料交換及工作進度管理。

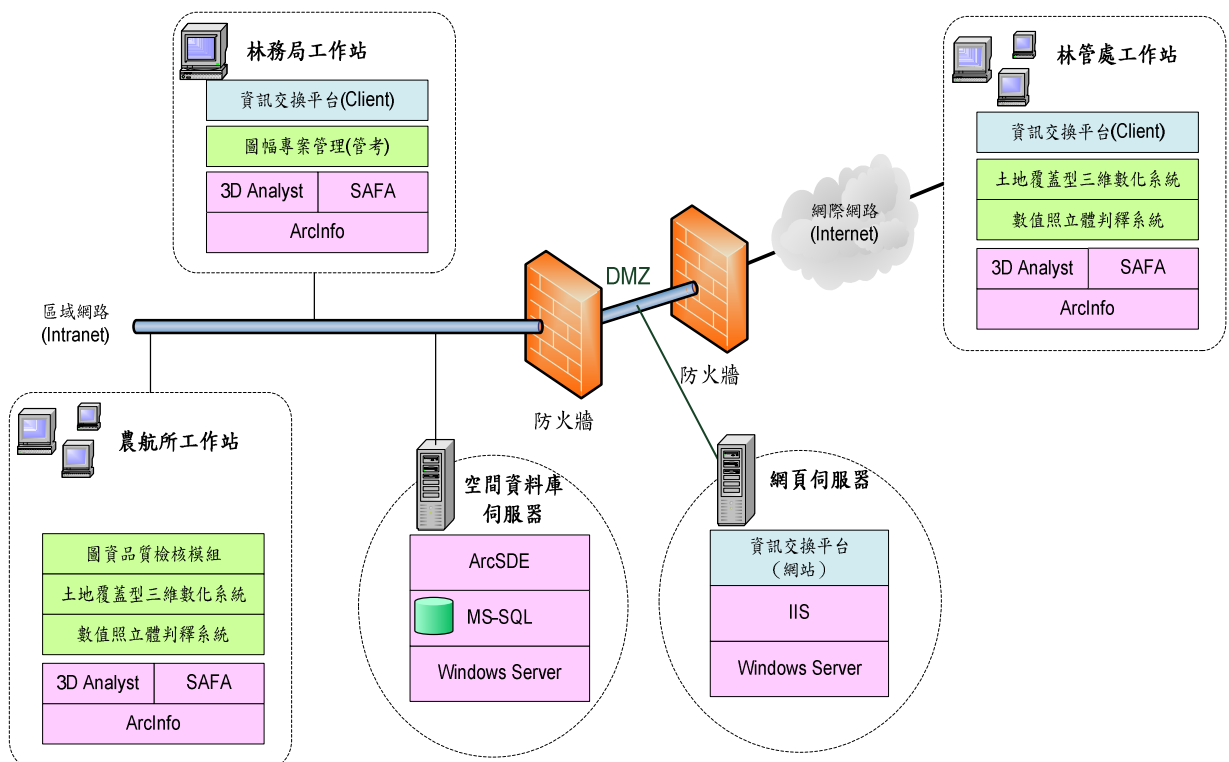


圖 3-3 網路及軟體架構

#### (四) 資料庫運作架構規劃

為維持圖幅專案管理一致性及完整性，規劃空間資料儲存類型為森林資源調查空間資料庫、圖幅專案、立體數化成果三類，以發揮「集中管理，分散應用」之綜效，其運作架構圖3-4所示，各類資料庫功能特點整理如表3-1。

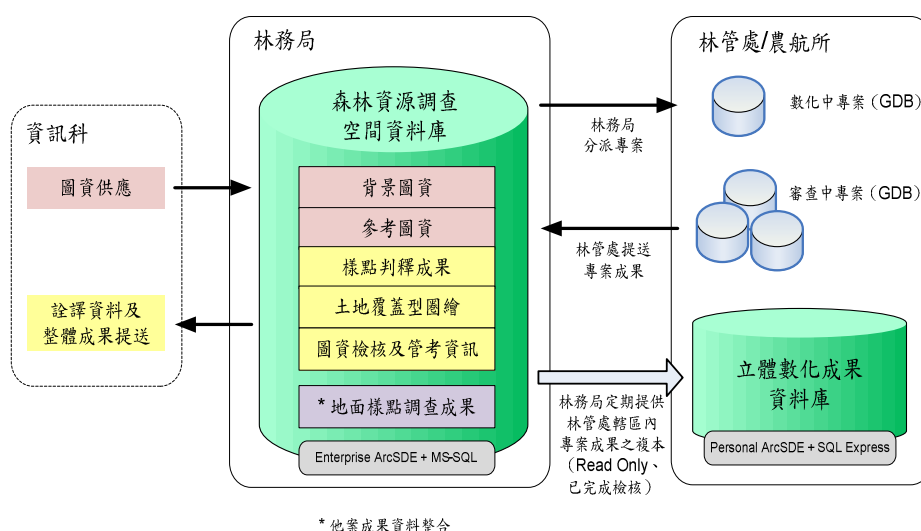


圖 3-4 空間資料庫運作規劃

表 3-1 空間資料庫類型

| 名稱          | 類型                           | 功能  |
|-------------|------------------------------|---|
| 森林資源調查空間資料庫 | 企業級空間資料庫 (Enterprise ArcSDE) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 儲存森林資源調查各項數值化成果及統計資訊。</li> <li>2. 系統化地整合圖資及調查屬性資料。</li> <li>3. 維持以『專案』為管考單元之運作機制。</li> </ol>                        |
| 圖幅專案        | 檔案式空間資料庫 (File GDB)          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 管理考核單元，一專案包含多個圖幅。</li> <li>2. 農航所由森林資源調查空間資料庫切分圖資，製作檔案式空間資料庫格式之『專案』檔。</li> <li>3. 調查人員直接針對圖幅專案進行判釋及數化作業。</li> </ol> |
| 立體數化成果      | 小型空間資料庫 (Personal ArcSDE)    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 儲存林務局定期提供之各事業體所轄範圍專案成果之複本。</li> <li>2. 使林管處能同時擁有完整的專案成果。</li> <li>3. 但為避免錯誤僅提供已完成檢核且唯讀之圖資。</li> </ol>               |

#### 四、工作成果

### (一) 整體作業規劃成果

林務局依森林資源調查內業調查工作需求，配合地理資訊技術條件，建立多項標準作業流程，包括：

1. 圖幅專案管理運作流程標準化。
2. 樣點判釋作業流程標準化。
3. 土地覆蓋型三維數化流程標準化（含數化準則建立）。
4. 專案成果審查作業流程標準化。
5. 跨單位協同作業機制建立。

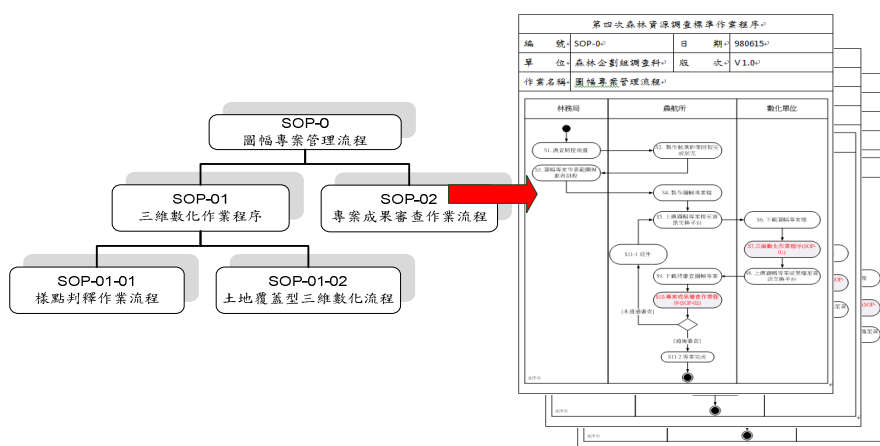


圖 4-1 系統化標準作業流程建立

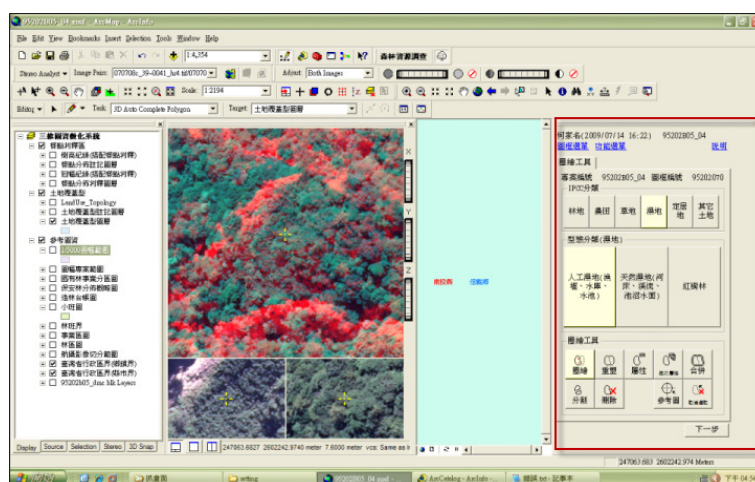


圖 4-2 應用系統以擴充模組方式整合至 ArcGIS Desktop

## (二) 第四次森林資源調查三維數化系統架構

由於數值航照立體判釋系統、土地覆蓋型三維數化系統、圖幅專案管理系統、圖資品質管理系統均架構在ArcGIS及SAFA軟體作業環境上，考量調查人員分工及實務需求後，整合相關應用功能於「第四次森林資源調查三維數化系統」成為ArcGIS Desktop擴充模組（圖4-2），並加入權限管理機制區分調查人員角色及可執行應用功能；另外，為加強分散各地的單位及人員間的協同作業，建構網頁式森林資源調查資訊交換平台，系統功能架構如圖4-3所示。

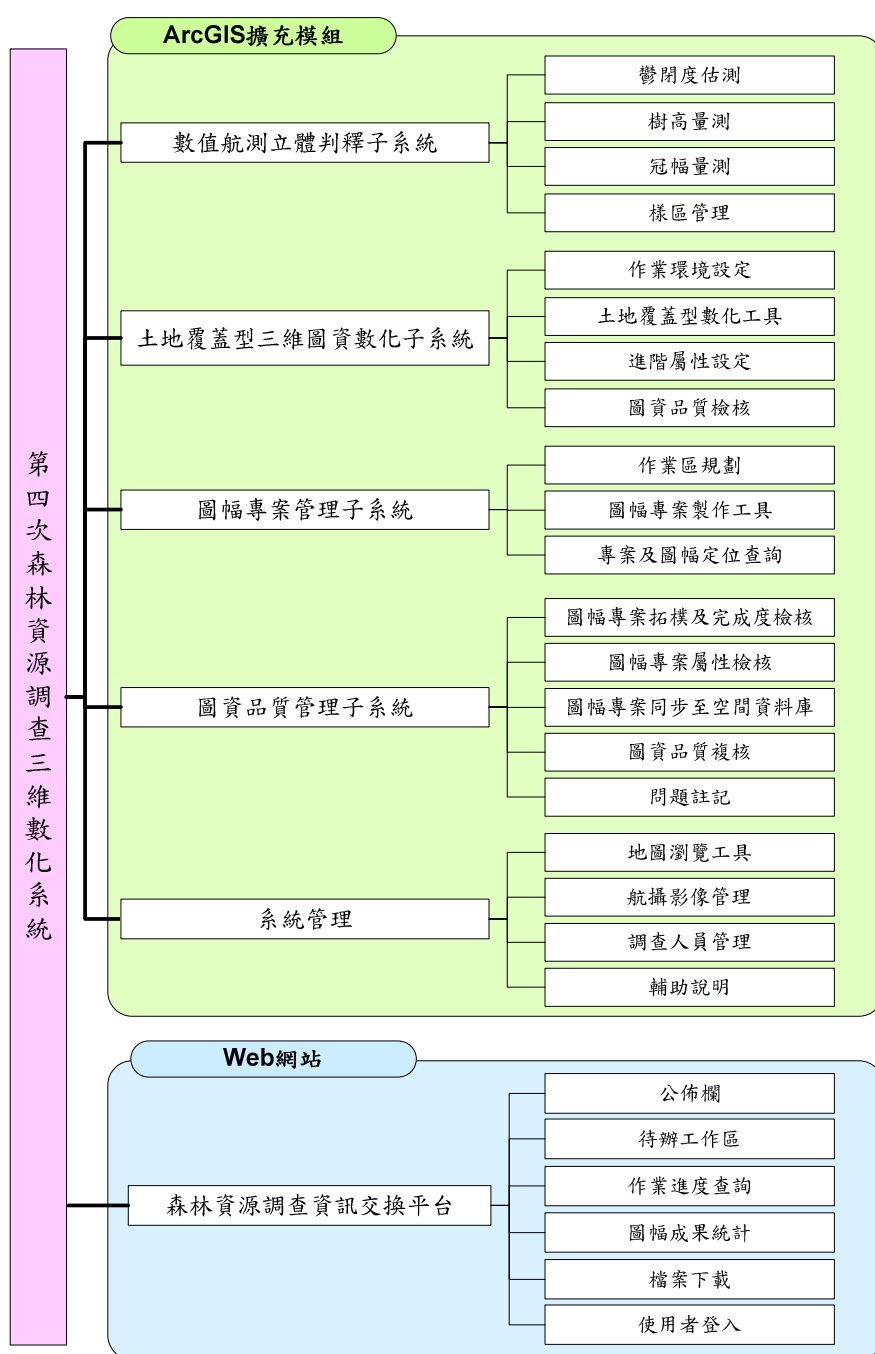


圖 4-3 系統功能架構

### (三) 第四次森林資源調查三維數化系統

1. **步驟式操作流程：**立體判釋及三維數化工具採步驟式(Step by Step)流程設計，引導調查人員依擬定之標準作業程序執行判釋及數化工作，並於其中加入檢核機制（品保），使其能快速而正確的獲取各項森林資源調查資訊。(圖 4-4)

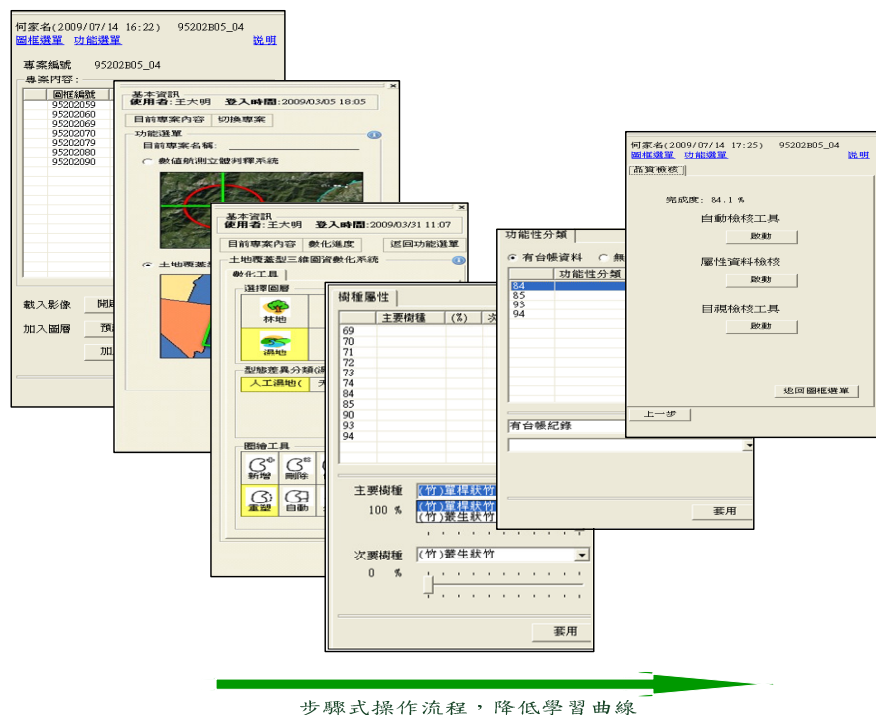


圖 4-4 土地覆蓋型系統化標準作業流程建立

2. **自動化載入影像和向量圖資：**由於使用的影像及向量圖資甚多，自動化載入及顯示作業圖資可有效減少數化人員工作負荷，而專注於森林領域的專業判釋。(圖 4-5)

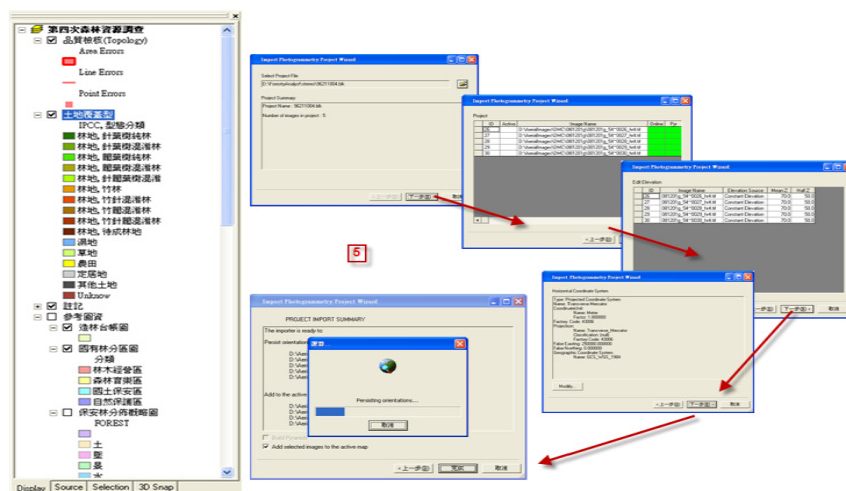


圖 4-5 土地覆蓋型系統化標準作業流程建立

3. **圖幅專案及空間資料庫圖資品質檢核：**圖資品質檢核分為單一圖幅專案及空間資料庫整體二階層次，前者重點為單一圖幅專案範圍內數化成果之正確性、完整性，後者重點則為圖幅專案間相鄰圖徵的空間幾何一致性。(圖 4-6、4-7)

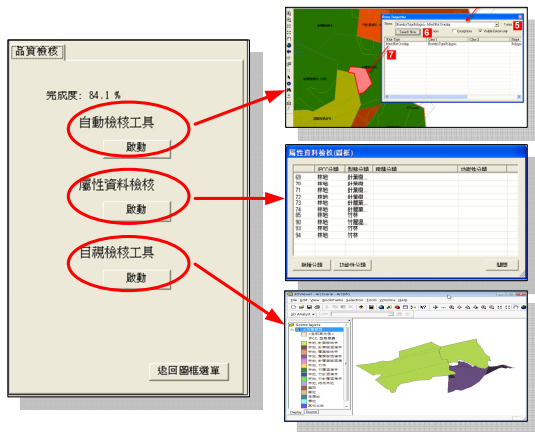


圖4-6 單一圖幅專案完成度檢核

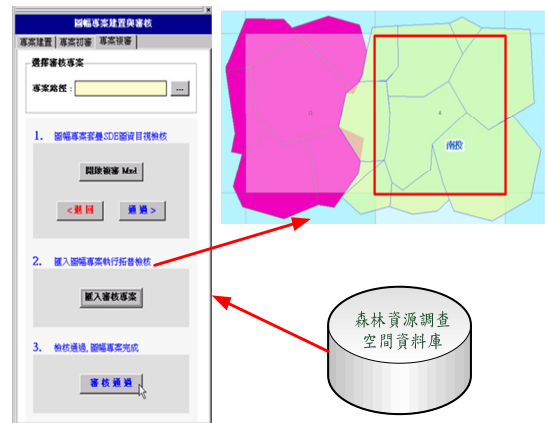


圖4-7 圖幅專案匯入森林空間資料庫  
進行跨圖幅專案間一致性檢核

4. **圖幅專案管理模組：**圖幅專案管理提供預先排程、產製、匯入、檢核等管理功能，使管理者能有效追蹤各單位圖幅專案執行進度。(圖 4-8~4-11)

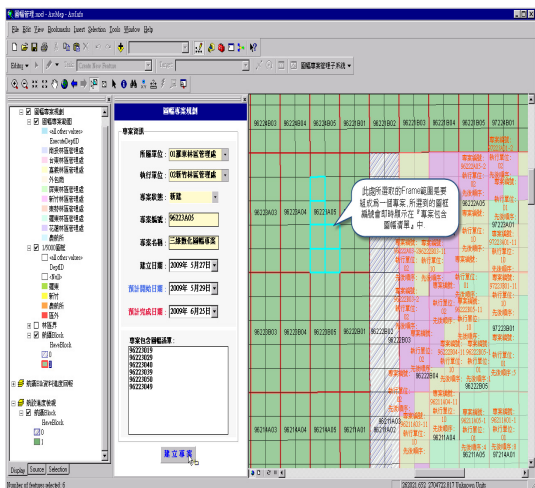


圖 4-8 圖幅專案區域劃分

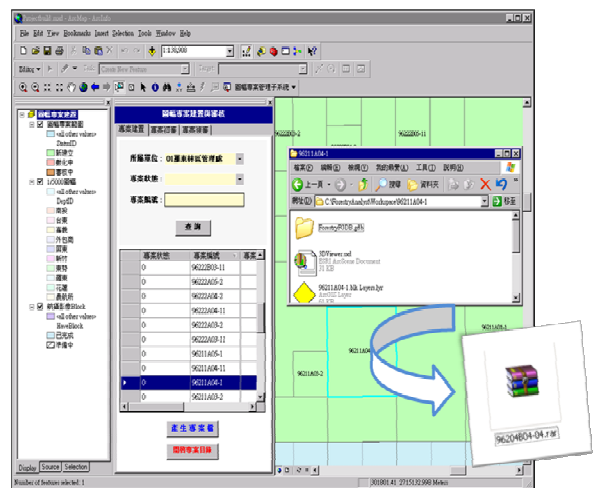


圖 4-9 圖幅專案產製



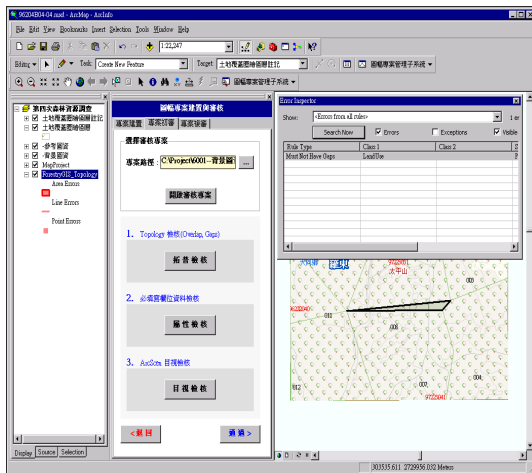


圖 4-10 相鄰圖幅專案品質檢核

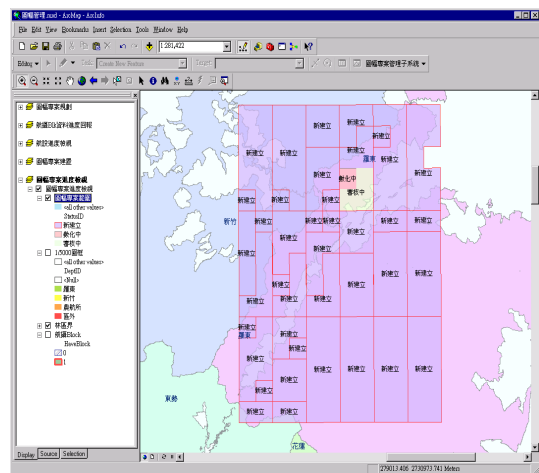


圖 4-11 整體進度追蹤

5. 森林資源調查資訊交換平台 (圖 4-12~4-15)，主要功能包括：
- (1) 利用公佈欄公告最新訊息
  - (2) 圖幅專案下載、成果上傳、初核錯誤退回。
  - (3) 整體執行進度查詢、各林管處進度查詢、異常查詢。
  - (4) 圖幅成果統計。
  - (5) 相關文件、手冊下載。
  - (6) 使用者登入及權限控管。



圖 4-12 圖幅專案上傳、下載



圖 4-13 圖幅專案最新狀態查詢

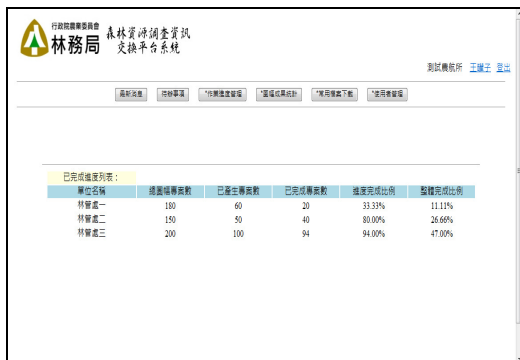


圖 4-14 各林管處工作進度統計

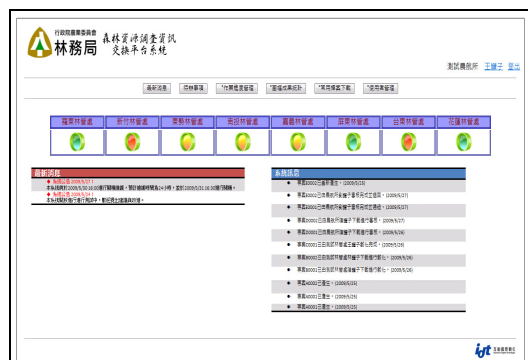


圖 4-15 數位儀表板異常警示功能

## 五、預期成果與建議

第四次森林資源調查有別於以往航空照片判釋轉繪之作業模式，直接於立體觀測環境下進行林相判釋及森林立體結構量測，並透過三維數化自動化工具開發，提昇數值航攝影像判釋效率及品質。由於森林資源調查具備作業範圍大、期程長及人員分散等特點，藉由分散式空間資訊管理技術導入，將森林資源調查標準作業流程與地理資訊工具密切整合，能有效降低森林資源調查人員學習曲線、提昇工作效率，並且能確保調查成果之資訊品質，預期成果與建議如下：

- (一) 建立以「圖幅專案」為管考單元之標準化運作流程。
- (二) 樣點判釋與土地覆蓋型圈繪作業一貫化，具備作業環境一致、管考容易、精度較高、分析應用容易、毋須等待影像正射等優點。
- (三) 所有量測及判釋紀錄均儲存在空間資料庫中，提供未來森林資源調查資訊追溯及比對的基礎。
- (四) 透過 GIS 應用系統工具開發，除可簡化複雜的三維數化操作外，更可以標準化作業有效提昇調查人員工作效率。
- (五) 森林資源調查空間資料庫建置可以系統化地整合地理圖資及調查資訊，運用 ArcSDE 建立分散式複本、自動合併圖資、檢測版本衝突機制、拓樸驗證功能，可達到「集中管理、分散應用」之綜效，進而提昇數值成果品質。
- (六) 網頁式森林資源資訊交換平台，提供圖幅專案上傳下載、專案進度查詢、主動 E-mail 通知、統計分析等功能，使森林資源調查協同作業更加順暢。
- (七) 系統導入服務及維護工作，能縮短各林管處學習曲線，並在一詢一答間，提昇調查人員 GIS 軟體操作及維護的技術能力。
- (八) 未來，在森林資源調查空間資料庫基礎下，可輕易地將森林資源調查各項成果，透過 ArcGIS Server 進行展示、分享、加值應用，輔助各項森林管理決策之訂定。

## 參考文獻

1. 「第三次台灣森林資源及土地利用調查成果報告」，林務局，1995。
2. 「航遙測技術在第四次森林資源調查之應用」，森林遙測研討會，陳朝圳，2007。
3. 「數值航照立體判釋作業系統開發計畫」，林務局，2008。
4. 「第四次全國森林資源調查土地覆蓋型三維圖資數化系統開發計畫」，林務局，2009。