

## 林地分類專家系統之建立

謝漢欽<sup>1,2)</sup> 鄭祈全<sup>1)</sup> 陳燕章<sup>1)</sup>

### 摘 要

本研究所完成的林地分類專家系統係以具物件導向知識表現功能之專家系統建構工具Nexpert Object建構相關法則與知識。知識內容主要取自林試所六龜試驗林林地分類研究成果、輔以林務局的林地地位級分級實例，以及水土保持局的山坡地土地利用分類標準。本系統連結了ArcView地理資訊系統，以利於林地分類資料庫的查詢，又連結上HSC多媒體系統，利於以超文圖的功能顯示多層級的描述性知識。整個系統在個人電腦上視窗環境之親和介面下，以圖文並貌的方式提供或解釋林地分類的知識。知識庫涵括了林地分類系統、分類程序、分類資料庫查詢，以及建議事項等。使用者可透過前向或後向的法則推論機制，獲得欲知的林地分類知識。本專家系統可供一般林業從業人員使用，達成諮詢、教育、訓練及評比的目的。

關鍵詞：專家系統、林地分類、知識庫系統、地理資訊系統、多媒體。

謝漢欽、鄭祈全、陳燕章 1997 林地分類專家系統之建立。台灣林業科學 12(3) : 255-268。

## Building an Expert System for Forest Land Classification

Han-Ching Hsieh,<sup>1,2)</sup> Chi-chung Cheng<sup>1)</sup> and Yen-Chang Chen<sup>1)</sup>

### [ Summary ]

The forest-land classification expert system in this study used Nexpert Object expert system tool with object-oriented methods to represent related data and production rules. The rule-based knowledge built into this completed expert system mainly included study results of forest land classification in the Lukuei Experimental Forest of the Taiwan Forestry Research Institute, supplemented by the forest site quality classification expertise of the Taiwan Forest Bureau, and the slope-land land-use classification criteria of The Taiwan Soil and Water Conservation Bureau. One special feature of the expert system was linking the attribute and spatial data from the ArcView geographic information system to support data base queries, and the other was connecting hyper texts and graphs from the HSC multimedia system to show hierarchical descriptive knowledge. The expert system was based on a personal computer with user-friendly window interfaces and could offer or explain domestic forest-land classification knowledge including classification systems, classification procedures, data base queries, and suggestions. End-users are able to attain desired information about forest-land classification through the inferences from forward or backward chaining mechanics. The functions of the expert system successfully achieve the objectives of consultation and inquiry, education, training, and comparison.

**Key words:** expert system, forest classification, knowledge base system, geographic information system, multimedia.

**Hsieh, H.-C., C.-C. Cheng, and Y.-C. Chen. 1997.** Building an expert system for forest land classification. Taiwan J. For. Sci. 12(3) : 255-268.

1) 台灣省林業試驗所森林經營系，台北市南海路 53 號 Division of Forest Management, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nan - Hai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

2) 通訊作者 Corresponding author

1996 年 11 月送審 1997 年 3 月通過 Received November 1996, Accepted March 1997.

## 一、緒言

台灣的森林經營隨著時代需求的演變，早期以木材生產為主，以助國家經濟建設，之後因民眾及社會對森林各項功能之需求殷切，乃致有多目標的經營方針，並加強對國土保安的重視。近年來更由於環境保護及生態保育意識的覺醒，此時森林生態系經營理念正主導著先進國家的森林經營方向(Huff *et al.*, 1994)，本土的林業經營亦深受其影響，亦期望能以符合生態原則的經營方式，達到森林資源的「永續經營」及「永續發展」之目標(鄭祈全、謝漢欽, 1993)。

而森林生態系經營目標之達成，實有賴於積極建立具代表性的生態監測網，以供長期調查或記錄各種生態基本資料，俾利於生態基本資料庫及模式庫之建立。同時，為避免經營作業對森林生態系造成負面影響，應將林地以符合生態原則的分級作業體系予以合理分類分級，以作為森林生態系經營時之參考依據。

能夠發展一套適合台灣使用的林地分級作業體系，也是近期以來國內林業經營所期盼的。行政院農業委員會有鑑於此，在其頒定的「國有林事業區經營計畫綱要」中增訂建立地理資訊系統(geographic information system)和林地分級兩項，並在第三次全省森林調查計畫中，要求積極籌劃地理資訊系統之建立與林地分級工作。進而於1994年六月召開之第三次全國農業會議林業組有關「加強森林資源規劃，建立永續發展之經營體系」所作的結論即為建立林地分級作業體系。

在此期間，林業試驗所積其數年研究經驗，以六龜試驗林為例，於1995年完成該試驗林之林地分級工作，提出了一個符合生態原則並適合國內參考使用之林地分級作業體系，研究內容涵括基本資料之建立、資料分析，到應用地理資訊系統技術和多變值統計分析完成了經濟林地分級、自然生態保育區及自然生態教育區之分類工作(鄭祈全, 1995)。林務局亦應用第三次全省森林資源調查之土壤及地形資料，經由局內土壤專家的判定，於民八十四年以地理資訊系統完林地地位級分類的工作(沈昆禧、管立豪, 1995)。而有關山坡地土地利用分類準則，早在前山地農牧局時期既已訂定(廖大牛, 1988)。以上三者都是以本省為例，其分類方法、知識與技術實頗值得林業從業人員參考。

由於電腦科技的驚人發展，現階段的森林經營資訊，包括屬性資料庫和空間資料庫，多靠地理資訊系統來儲存、管理、輸出、展示及分析；為了將經營資訊提高層次，提供包括非數值分析的決策資訊，歐美各國紛紛將地理資訊系統與專家系統(expert system)加以整合，以發展針對特別目的地的專家系統或決策支援系統(decision support system)(Reynolds *et al.*, 1996; Schmoldt and Rauscher, 1996)。由於專家系統為一電腦程式，可針對特定領域的問題，模仿專家們協助個人檢視相關問題、尋取(search)解決問題的適當方案。其之所以異於一般程式，在於至少需具有知識庫(knowledge base)、推論引擎(inference engine)及親和使用者界面(interface)三項的結構機制，適於將非數值運算結果之非結構化資訊及描述性知識，以各種知識表現方式整編於系統內，透過推論方式導出使用者欲知的答案，特別適用於具診斷、評估、教育、訓練及評比目的地之問題領域(Zhang, 1991)。

為使近年來本省林地分類研究成果及林地分類知識與技術得以推廣，及未來森林經營決策支援系統之研究發展，本研究嘗試藉由地理資訊系統、專家系統及多媒體(multimedia)系統之資料整合，以慎選之Nexpert Object 專家系統建構工具，建立一套操作簡易具圖文解釋功能的林地分類專家系統(forest-land classification system)，冀其能供為林業從業人員操作使用，俾達諮詢、教育、訓練及評比之目的。

## 二、材料與方法

### (一)研究材料

1. 六龜試驗林地理資訊基本資料庫：包括由數值地形模型(digital terrain model, DTM)求算之坡向分向、坡度分級和海拔高等圖層。由地面樣區調查及地形資訊判讀決定之土壤土系圖和土壤深度圖。由像片基本圖數化之林道、水系和林班界等圖層。由航照判釋及地面樣區調查而得之林型圖和材積級圖。
2. 六龜試驗林林地分類地理資訊資料庫：包括由像片基本圖，依人為判讀地形線區劃之集水區單元圖。林地分類成果之自然教育區圖、自然生態保育區圖、木材生產區分級圖、林地分類複合圖，以及林地分類圖等。
3. 林地分類知識：林業試驗所歷年來林地分類研究成果報告、六龜試驗林林地分級研究報告、林務局林

地地位分級報告, 以及水土保持局前身山地農牧局之山坡地土地利用報告等。

4. 使用之電腦軟體

- (1) 地理資訊系統: ARC/INFO PC 版、ERDAS PC 版。
- (2) 地理資訊查詢及分析系統: ARCVIEW 1.0 及 2.1 版。
- (3) 多媒體製作及展示系統: HSC Interactive 1.0。
- (4) 專家系統建構工具: Nexpert Object 2.0 PC 版。

5. 使用之電腦硬體: 486個人電腦。

(二) 研究方法

建構的方法依據發展一個專家系統之知識工程(knowledge engineering)程序, 可分成5個大步驟, 分別為問題的界定(identification)、概念化設計(conceptualization)、定義問題的求解模式(formalization)、撰寫程式(implementation)及測試程式(testing)(如Fig. 1所示), 其中後面4個步驟都可反饋, 以修改前面步驟, 促使問題更為周延。在建構之前並應針對所要建構之專家系統的性質, 選用適當的建構工具(expert system tool or shell), 方能有效率地達成預期目標。以下說明本研究在各步驟中進行的方法:

1. 專家系統建構工具的選用

一般專家系統依其內建的知識表現方式可分為架框式(frame based)、歸納式(induction)及法則式(rule based)三類; 依其系統推論的機制可分為前向鏈結(forward chaining)和後向鏈結(backward chaining)兩種; 依其程式語言高低階程度又可分為低階程式語言(如Lisp、Prolog等)及高階的專家系統建構工具。目前在學術領域發展及已商業化的專家系統建構工具相當多(Durkin, 1994), 例舉比較知名的如KEE、EXSYS、CLIPS、GoldWork、Level 5及Nexpert Object等。其中KEE、Level 5、GoldWork及Nexpert Object採用物件導向(object oriented)的方式來表現事實及知識物件, 物件導向的方式具有可以提高建構效率與程式認識程度, 及利於程式維護的優點; 其中除KEE屬於架框式外, 餘者多屬於法則式, 架框式更能有利於表現物件, 利於建構者提高程式編寫的效率; 而法則式善於表現具有法則規律的思考邏輯。Nexpert Object即兼具架框式與法則式的知識表現優勢。

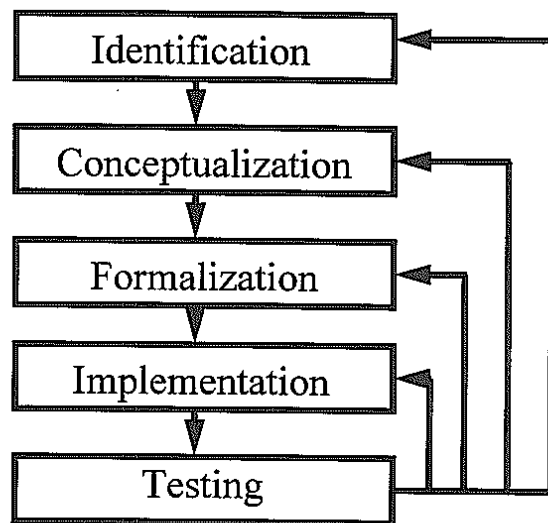


Fig. 1. Development process for knowledge engineering (Schmoldt and Rauscher, 1996).

由於本研究問題領域為林地分類, 所涵括的知識主要為具有法則邏輯和描述性的知識, 故採用Nexpert Object當作專家系統建構工具。除了上述理由之外, Nexpert Object 還具有下列優點與特性(Neuron Data, 1992), 茲簡述如下:

- (1) 高超的知識表現: 以物件(object)表現資訊, 以法則表現經驗法則(如Fig. 2之示意圖所示); 具動態物件、多重繼承、釋意(interpretation)、模型匹配(pattern matching)等能力。

Nexpert Object法則的格式為If 左手向 Then 假說Do 右手向, 每條法則恰有一個假說, 一個假說可用在許多條法則中, 假說為一布林變數(boolean variable)。所謂動態物件是指在推論過程中由法則的右手項動作產生或刪除之物件, 當指定某一動態物件與既定的物件產生連結時, 此動態物件具有相同的類別及屬性。釋意是指用一個通用變數名來替代物件、類別、資料庫、執行檔名或提示行的中文部分, 促使推論法則更具彈性。當一個物件可以繼承多個其連結的上層類別的各項特性(包括屬性、值及超槽)時為多重繼承。而模型匹配的功能在於得到一個屬於某一類別或物件的所有物件之串列。

- (2) 卓越的推論機制: 包括屬於後向推論之建議(suggest)和後向鏈結; 屬於前向推論之假說向前(hypothesis forward)、自願(volunteer)、過門(gate)、右手向動作(RHS action)及關連(context)等。

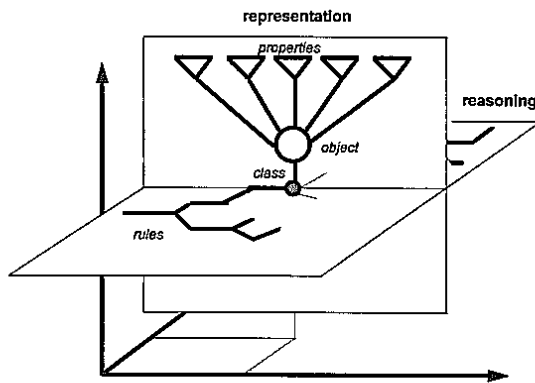


Fig. 2. Intersection of reasoning and representation (Neuron Data, 1992).

建議是指發展者主動向議程(agenda)提議應加以評估的「假說」，系統會將這些假說排入議程。後向鍊結是指當一條法則的「條件式」是另一條法則的「假說」時，當前者的條件被評估時，後者的假說將被排入議程。自願是指發展者主動向議程提議應加以輸入「資料」(即物件的「槽」)，此時系統會找出所有條件式中有這個槽的法則，如果這些法則的此一條件式成立，其假說將被排入議程，其觀念相對於建議。假說向前是指當一條法則的「假說」是另一條法則的「條件式」，當前者的假說被評估成立時，後者的假說將被排入議程，其觀念相當於「後向鍊結」。過門是指當法則中的一「條件式」中有一個槽被評估後，系統會找出所有其它「條件式」中有這個槽的法則，如果這些法則的此一條件式成立，其「假說」將會被排入議程。右手項動作是指當一個「槽」的值被改變(包括從Unknown的狀態變成存有某值)，系統會找出所有其它「條件式」中有這個槽的法則，其假說將會被排入議程。「槽」的值被改變的原因包括a.法則成立後執行「右手項動作」，這些動作可能改變一個槽的值。b.當超槽(meta slot)中的「方法」被啟動時，其動作可能改變一個槽的值。關連是指如發展者已指定一假說關連到另一假說時，當前者評估完成時，系統會將後者排入議程。

- (3)有效率的發展介面：具有高效率的發展者介面與知識庫偵錯工具，包括6種知識庫編輯器、2種知識庫管理工具(辭典、網路)、9種知識庫測試工具。
- (4)開放的系統介面：具開放性架構，可連結外在資

料庫、執行外在程式與由外在程式驅動Nexpert Object的推論機制，達到系統整合之目的。因此適合於本研究中與地理資訊系統及多媒體系統整合。

- (5)視窗環境：可在中文視窗環境下執行，並以中文表現物件資訊及經驗法則。
- (6)有自然資源經營的應用案例：如加拿大林業署、美國德州大學等(Luckman, 1991 ;Maidment and Svans, 1991)。

#### 1.問題的界定

首先筆者廣泛蒐集了國內外有關林地分類之相關文獻加以研讀，以瞭解此問題之複雜度，企圖完成一個具代表性的林地分類專家系統。但此一林地分類系統必須符合以下條件：

- (1)分類成果能用於製圖，並以地理資訊系統展現。
- (2)有明顯的分級準則可尋，或可從最後分析結果得知類別分離的條件。
- (3)符合生態原則且可供未來森林生態系經營之參考。

加上本研究計畫屬於省府列管之應用研究計畫之一，研究的主要目的在於林業研究知識的推廣，所以最後將問題範圍縮小，使本專家系統的林地分類知識涵括本省林務局、林業試驗所及水土保持局之現有實例，並期能於計畫期限內完成。

#### 3.概念化設計

本階段筆者充當知識工程師(knowledge engineer)完成下列三種概念化設計：

- (1)知識單元與法則：首先將組成問題的要素以概念文字表達，此時知識工程師已從相關文獻及資料中獲取知識(knowledge acquisition)，將屬於法則式的資訊整理出來，並審檢其周延性；之後，對於問題的資料及解答，以類別、物件及屬性之階層式樹狀結構表現各知識單元，法則的變數即這些物件的知識單元，以示意圖表達如Fig. 2；譬如土壤為一種類別，則六龜試驗林土壤為土壤類別之一個物件，其屬性如土壤質地、深度、堆積型等可從類別繼承(inherit)或由物件自己所獨有，而法則的一個條件可以寫成：假如土壤。六龜試驗林土壤。土壤深度大於60公分則執行右手動作。右手動作可改變物件的屬性或是一個推論方案。

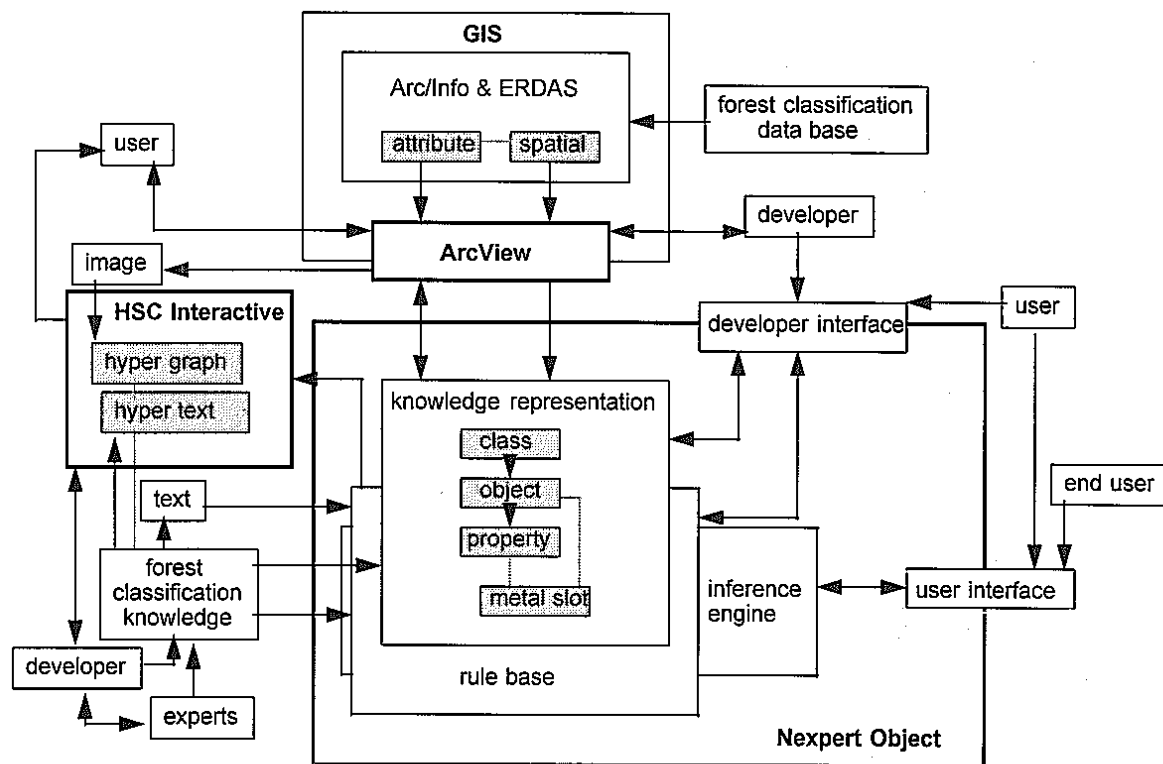


Fig. 3. Framework of system connections in the forest-land classification expert system.

(2)系統整合架構：由於本系統整合了地理資訊系統，俾展示空間及屬性資訊，與多媒體系統用於展現屬於描述性或解釋性知識。此時知識工程師已充分瞭解專家系統建構工具、地理資訊系統及多媒體系統的特性，並繪出系統之間的資料傳輸流程(如Fig. 3所示)。

(3)知識庫模組化：因本系統涵括三種不同來源的分類系統，其分級或分類目的並不相同，程式建構應分別進行，使各自成一模組，各模組最後以控制法則來串連。有關各別模組需呈現的要項也一一列出，務使使用者諮詢專家系統時能得到欲知的答案。

4. 定義問題的求解模式

由Nexpert Object所建構之法則結構提供了情境—行動、條件—答案(或結論)等關係，是推論能力的來源。每一完整法則有一假說，當一個假說被排入議程時，其相關的法則將依照推論策略的優先順序予以評估。鑑於擬完成的專家系統主要功能在於提供一般使用者本土的林地分類知識，當使用者透過選取中文化的假說進行相關知識的諮詢時，事實上正牽動假說向前的後向鏈結，此時被起動並列入評估之諸法則

的條件變數將由使用者決定選取或輸入；此一牽動亦兼具有前向推論的功能，對於使用者較為方便易解，所以本研究採用此種問題求解模式。

5. 撰寫程式

本階段將上兩步驟之成果用程式來實現，茲將程式化的方法和原理分述如下：

(1)專家系統本身：使用Nexpert Object建構法則知識庫，每一法則有一假說、左手向條件及右手向動作；在本專家系統內，左手向條件經常是一個林地分類準則的限制條件，右手向動作可改變物件的屬性或是一個推論方案，由假說向前可產生後向推論，由此帶動相關法則的鏈結，最後得到適當的推論結果。一個物件可上承類別、下擁有多個屬性，很容易表現一個現實實體，一個屬性可以是地理資訊系統屬性表的一個欄位，法則可以是查詢表格屬性的一個條件式(如Fig. 4所示)。超槽 即物件導向觀念的方法，本身可為一物件或物件的屬性，可用於控制物件的資料來源及值的改變，並有右手向動作的功能；關連用於串接不同群組但有相關的法則。在每一法則推論之Why、How及推論結果的解釋多以文字檔及影像

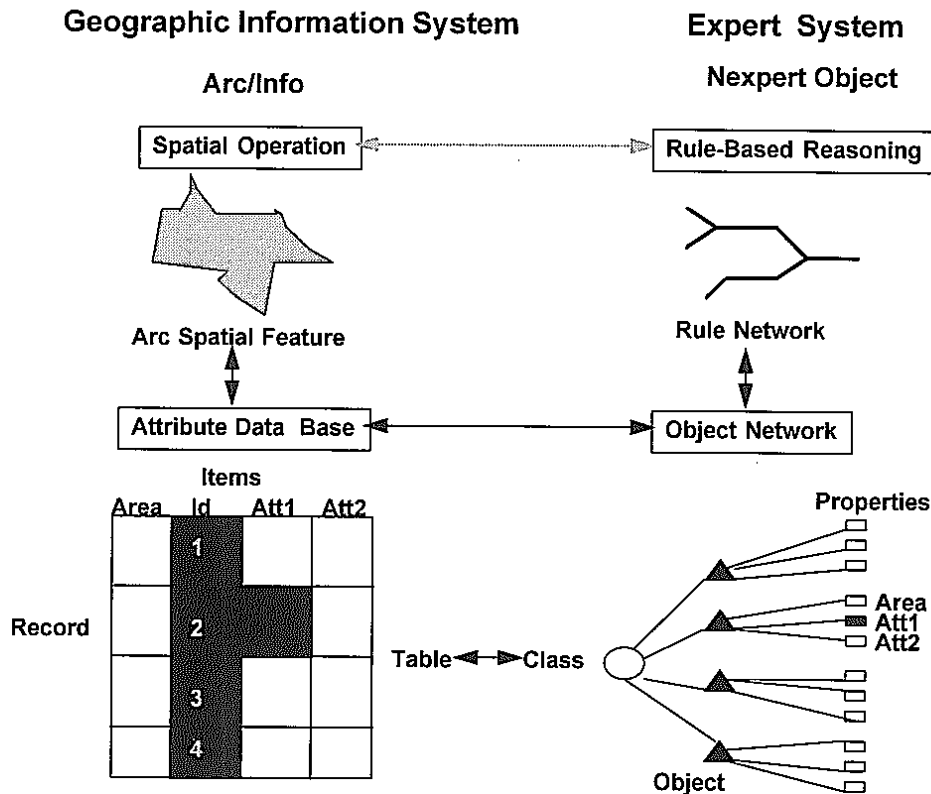


Fig. 4. Relationship between table and knowledge representation (maidment and Evans, 1991).

檔表示。

- (2)地理資訊系統：主要將林地分級所需的基本資料圖層和林地分類成果圖層，由地理資訊系統轉輸到ArcView地理資訊查詢及分析系統上，以利與專家系統連結、地理資訊查詢、以及影像檔之製作。其與專家系統的連結可透過Nexpert Object執行外在視窗程式並直接傳輸參數的方式進行、或運用視窗程式間動態資料交換(dynamic data exchange; DDE)的功能進行之。
- (3)多媒體系統：用多媒體技術傳遞知識對使用者將更具親和力，有關整合地理資訊與HSC Interactive多媒體系統的應用研究可參酌筆者先前的報告 (謝漢欽、鄭祈全，1993)。本研究即採用HSC Interactive多媒體製作系統，延用該報告所研發的方法，將需用大量文字及圖像解說之階層樹狀結構的知識加以編成多媒體播放檔。其與專家系統的連結可透過Nexpert Object執行外在視窗程式、並直接傳輸檔案參數的方式進行之。

6. 測試程式

專家系統之法則式程式為非程序性的，數個法則建立之後即可預設狀況進行測試。如發現有所失誤，可用Nexpert Object之建構者界面開起物件編輯器或物件網路(object network)視窗，以察看屬性值的變化，或開起法則網路(rule network)視窗察看法則被啟動的狀況，並審視法則是否正確(如Fig. 5)。當一程式模組完成之後更應針對各種狀況反複測試，務使臻於完備。有關與ArcView及HSC連結的測試則只看成功與否，較容易測試，其成功的關鍵端看多媒體播放檔是否為精心設計。

三、結果

(一)知識獲取與法則知識之建立

事實上，本專家系統建立的方法所依循的五大步驟，即為知識獲取的程序，一般專家系統知識獲取的方法可分成三種a.訪談專家b.由被告知而學習c.由觀察而學習。依知識的來源的不同又可分為a.領域專家們b.資料c.文件(文字)等三類。知識的獲取與知識庫

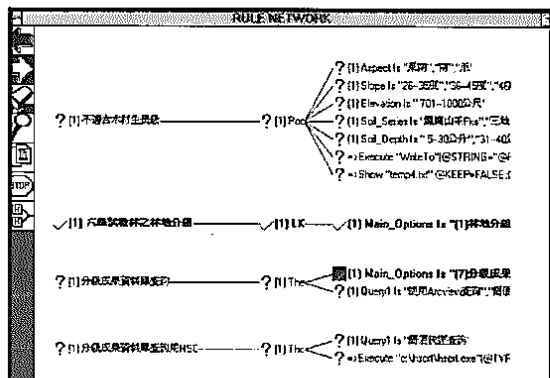


Fig. 5. A rule network window for checking inferred rules.

的建立係由知識工程師擔當，知識工程師的主要工作在於概念化領域專家用於解決問題之所知與所用。因此從專家獲取知識之前，知識工程師必須對什麼是知識、知識是如何儲存的、領域專家是如何使用知識有一基本認識(Mcgraw and Harbison-Briggs, 1989)。本專家系統主要知識來源為文件與資料(如研究材料所示)，如何針對問題領域、進行概念化設計到以法則程式來完成專家系統，已在研究方法中明述。也因為以法則為基礎的專家系統主要將專家解決問題的知識以生產法則來建立，所以三個林地分類體系所依循的準則是本系統最先考慮加以整理並法則化的。其中，山坡地土地利用分類標準之分類準則最為明確，其法則無不確定性，在本系統共用21條法則來完成(其中包括控制及用於解釋解答的法則3條)。林務局的林地地位分級則分兩階段的分級法則來建立，首先是土壤潛力分級法則之整理與建立，因所考慮的影響因子較多其不確定性亦高，只從文字去推敲其歸屬於那一準則，較不明確，但其後階段的坡度分級準則則單一明確，在本諮詢系統中共用了37條法則來完成(其中包括控制及用於解釋解答的法則5條)。林試所六龜試驗林之林地分級成果，具有分級準則的部分主為木材生產適宜性之5個分級標準，此5個分級標準係由多變值統計分析程序，經因子得點計算加權而得，如能獲得分析時的機率值則可作不確定法則之建立。由於本專家系統主要在於傳遞此一符合生態原則的整體林地分類程序與方法，讓使用者得到完整的分類知識，故在本諮詢系統中使用許多法則將描述性知識建立於知識庫中，本諮詢系統共有法則36條，其中大部

分的法則是用來與地理資訊查詢系統及多媒體系統相互連結及傳送參數。也由於Nexpert Object的物件具有超槽的功能，法則有強力的右手向動作，兩者相互運作，故能減少控制法則的數目，增進知識庫的易讀與維護。而此三個諮詢系統的詳細運作方式將如下節所述。

### (二)專家系統建構結果

經由第二節的專家系統建構方法所完成之林地分類專家系統，具有3個諮詢系統，以林試所六龜試驗林林地分級知識庫為主要，其系統架構圖如Fig. 6所示；這3個諮詢系統的知識庫為分立的模組，由4個控制法則決定載入(load in)與否。系統操作之始，使用者選取「林地分類專家系統」此一假說進行評估，此時系統會以一個捲動視窗明示三個諮詢系統之使用時機及分級目的，之後使用者進入系統並開起一個選擇畫面，以便於選取進入任一諮詢系統(如Fig. 6-1所示)尋求欲知的答案。茲將各諮詢系統具有的功能及特色分述如下：

#### 1. 水土保持局山坡地土地分類諮詢系統

本諮詢系統知識來源主為民國1976年山坡地保育利用條例之「山坡地土地可利用限度分類標準」、及1977年行政院核定之「山坡地保育利用條例施行細則」之規定。分類標準考慮的因子包括坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質，除此之外尚須考慮是否為崩塌地、滑地等特殊地，或不受分類標準限制得查定為宜林地之特別目的保護地等條件(廖大牛, 1988)。

上述各項分類標準及限制條件均以法則建立於本專家系統內，使用者只要選取「山坡地土地利用分類」的假說進行推論程序，系統便會以中文顯示詢問使用者有關限制因子的狀況及要求輸入考慮因子的值。使用者於每一詢問或要求輸入值時均可開起「Why」視窗，以獲知此一詢問或輸入更詳盡的說明(如Fig. 7)。經過推論之後使用者可以知道其山坡土地的類別及等級，使用者可進一步要求系統提供所依據的相關法規，此時系統會以一個捲動視窗顯示依據的法規及相關名辭的定義(如Fig. 8所示)。使用者可重新啟動本諮詢系統獲得不同條件的答案。

#### 2. 林務局林地地位分級諮詢系統

本諮詢系統知識主要來源乃是依據林務局沈昆禧和管立豪先生於1995年一月在臺灣林業雜誌發表

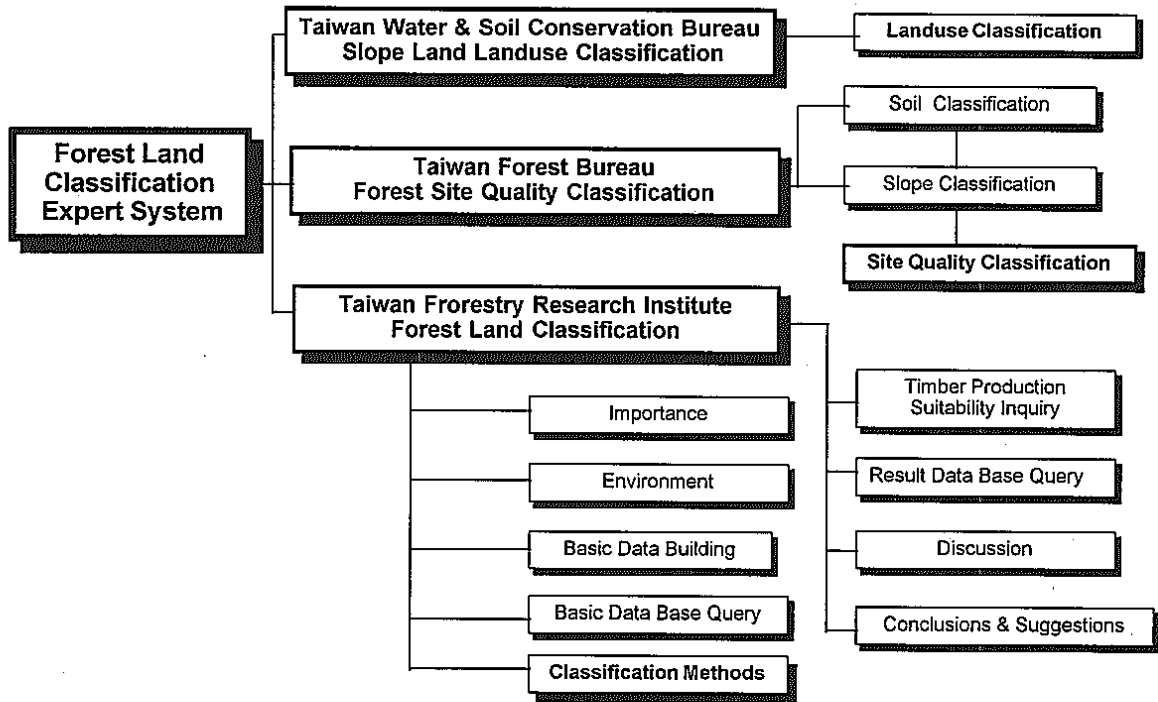


Fig. 6. Main modules built into the expert system.

的「林地分級及其應用」一文。該文採用第三次全省森林資源調查所建立的林地地理資訊資料庫，應用土壤對林木生長潛力分級和坡度分級來決定一林地的地位分級制度，此一地位分級分級目的在於提供評估林地生長潛能及造林施業時之參考依規。其中將土壤潛力分成5級，考慮的條件因子包括表土厚度、有效深度、堆積方式、含石量、表層沖蝕、B層堅密度、土壤質地、坡地位置、土壤水分及林木生長狀況等，

如何正確評定的專業性相當高。而坡度的分級乃依此一林地的坡面傾斜之陡峭程度分成6級。林地地位之分級先由土壤潛力級和坡度級按不同級數給予不同點數，次依兩者點數相乘所得之點數高低再予以分成5個等級的地位級。

上述土壤潛力分級之條件因子、修正因子、坡度分級標準、以及地位級分級準則皆以法則建立於專家系統內。只要使用者用滑鼠選取「土壤潛力分級」的假說進行評估，系統便會牽動相關法則，並一一詢問使用者該土壤的屬性條件屬於何種(如Fig. 9所示)，使用者經由滑鼠選取或輸入數值的方式進行一連串推論，最後可獲知此一林地之土壤潛力歸為第幾級。接著系統會詢問是否要繼續評估坡度分級，如果使用者選「是」，系統會自動進入坡度分級次諮詢系統，牽動坡度分級相關法則，經由使用者選取坡度的範圍，可決定本林地之坡度級(使用者也可選取「單獨坡度分級」的假說，以單獨進行坡度分級)。之後，系統會以先前決定之土壤潛力級與坡度級進行地位級分級的法則推論，最終以捲動視窗提供此一林地屬於何等地位級、該地位級之一般環境狀況、適於何種土地利用、分級對照表，以及育林作業應注意事項等建議。使用者可重新啟動

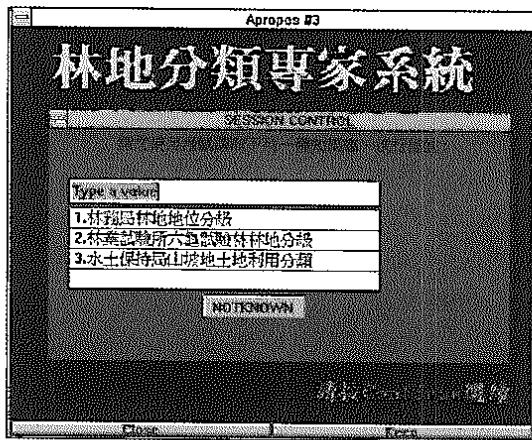


Fig. 6-1. Main menu for user to select and consult 1 of 3 subsystems.





可選用「簡便快速查詢」連結上HSC多媒體展示系統，直接展示經精心設計完成的基本資料多媒體播放檔，此時使用者可毫不費力地以滑鼠按取閃白框的按鈕查得欲知的基本資料圖像(情況如Fig. 11)，使用者只要按下顯示畫面之「結束」鍵即可跳回專家系統。

#### 第(7)項分級成果資料庫查詢:

本項的設計方式如同第(4)項，查詢的選單包括使用「ArcView查詢」及「簡便快速查詢」兩種查詢方法。當使用者選用「使用ArcView查詢」系統會起動連結ArcView 2.1的法則，直接展現分級成果資料庫，供使用者依循ArcView 2.1既有的功能進行查詢。即使使用者對ArcView 2.1完全無經驗者亦可選用「簡便快速查詢」連結上HSC多媒體展示系統，直接展示經精心設計完成的分級成果多媒體播放檔，此時使用者可毫不費力地以滑鼠按取閃白框的按鈕查得欲知的分級成果圖像，使用者只要按下顯示畫面「結束」鍵即可跳回專家系統。

其他三項之第(5)、(6)、(8)項較為複雜分述如下：

#### 第(5)項林地分級的方法：

本項目為此一諮詢系統的主項，所要傳達的知識量大且多屬於描述性的，具有多階層的樹狀結構的特性，適於採用多媒體之超文字(hyper text)與超圖(hyper graph)型式來表達，其解說圖像可擷取自地理資訊系統之基本資料庫和分級結果。本項目的階層式樹狀選單如Fig. 12所示，當使用者以滑鼠在選單上選定本項後，系統會詢問使用者是否要瞭解六龜試驗林林地規劃的類別及類別產生的原由，使用者可選「跳過」或「選取」；之後，系統會顯示第一層選單：「自然教育區之規劃」、「自然生態保育區之規劃」、「經濟林地之規劃」及「綜合分析」，使用者可任選其一，以繼續搜尋(search)到下一層，得到欲知的知識，餘者依此類推。當進入多媒體方式展示時，使用者可按取「上」、「下」指示鍵，以閱覽於樹狀結構之各層之間，使用者只要按下任一階層所顯示畫面之「結束」鍵即可跳回專家系統。使用者如需諮詢其他項目或改選其他路徑繼續諮詢，可按「開始」鍵再行推論程序。以下由幾個代表性圖示來說明，更可明瞭本項目設計的特色：Fig. 13顯示選擇「自然教育區之規劃結果」後之解釋畫面，左邊視窗顯示經規劃後

自然教育區在六龜試驗林的分佈位置，右邊之捲動式文字視窗以文字說明自然教育區環境狀況和面積大小等資訊。Fig. 14顯示在多媒體展示系統下選擇「木材生產影響變數之選定」後之解釋畫面，該畫面有顏色的文字具超文字的功能，使用者只要用滑鼠按下之後，即會顯示與文字相關之圖像或文字解說視窗，Fig. 14-1為按下「土壤深度」之超文字之後所顯示的土壤深度分級圖之狀況。Fig. 15顯示在多媒體展示系統下選擇「木材生產適宜性分級」後之解釋畫面，該畫面說明採用三種多變值統計分析之順序(即針對各集水區單元的木材生產影響分級變數進行分析，以劃分集水區單元之同質性)，使用者可按下任一有框閃示之有框的文字按鈕，以獲得更進一步的文字說明，Fig. 15-1乃按下「因素分析」之後以文字說明因素分析的作法的情況。Fig. 16顯示在多媒體展示系統下選擇「綜合分析之分析流程」後之解釋畫面，該畫面以縮圖及文字表現不同類別之規劃結果的地理資

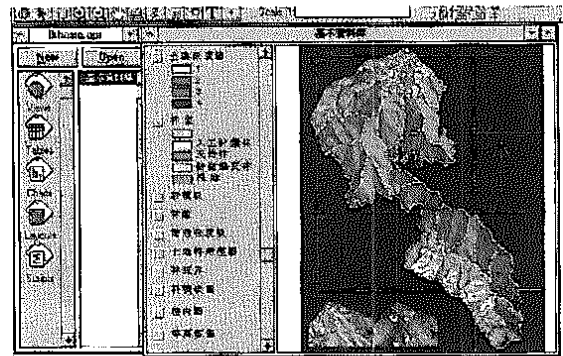


Fig. 10. A view of selections [using Arcview 2.1 query] to query basic data base.

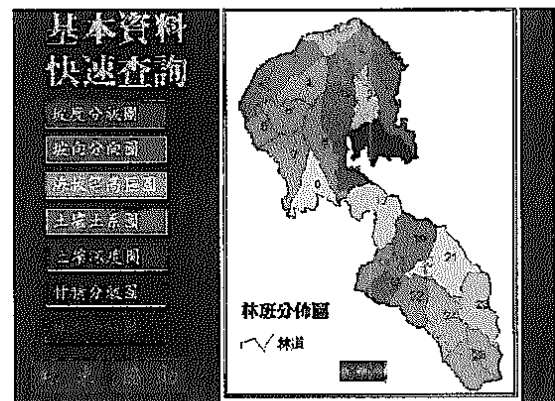


Fig. 11. A view of selecting [quick query] to query basic data base.

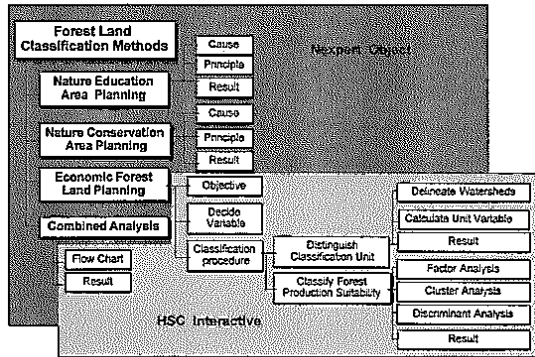


Fig. 12. Hierarchical menu structure for [Forest Land Classification Methods].

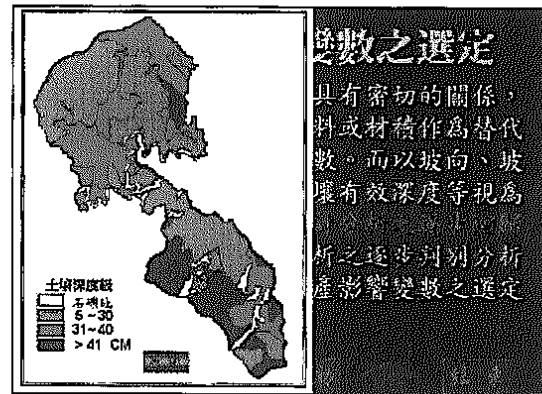


Fig. 14-1. Soil depth map shown after selection of [Soil Depth] hyper text.

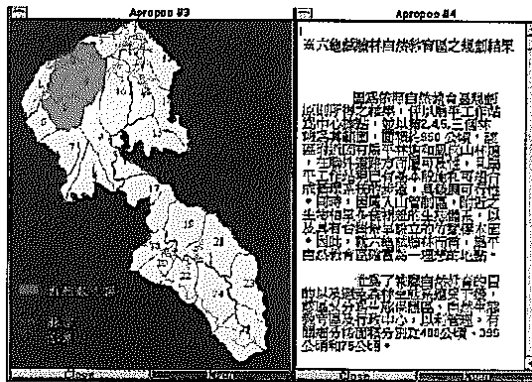


Fig. 13. Image and text window to explain the planning result of nature education area.

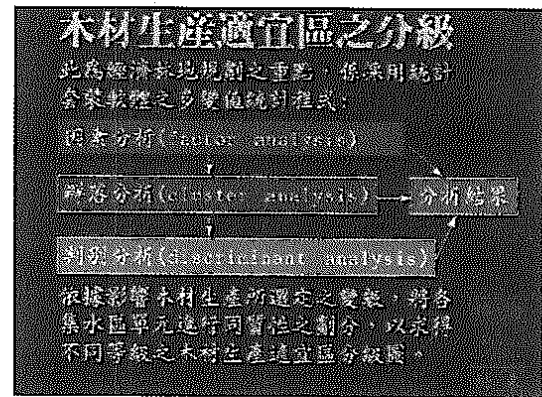


Fig. 15. A multimedia picture to explain the statistical analysis procedure for timber production classification.

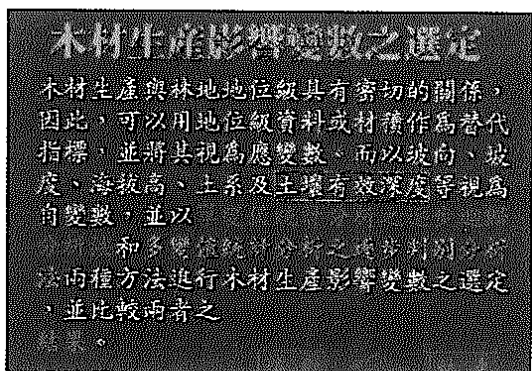


Fig. 14. A multimedia picture to explain the variable selection methods for timber production.

訊圖層之套疊流程，最後得到六龜試驗林林地分級圖，使用者可用超圖的功能按取任一縮圖以詳視各別的規劃結果，Fig. 16-1顯示於按下經濟林地

分級圖的縮圖之後所呈現之經濟林地分級圖的情況。

第(6)項木材生產適宜性諮詢：

本項目的內建法則之分級準則乃從使用第(5)項之林地分類方法，經由多變值統計之因素分析、群落分析及判別分析程序分類之後，再經因子得點計算加權，最後所得到之5個以集水區為單元之木材生產適宜性等級之條件特性歸納而得。其所考慮的條件因子包括坡向、坡度、海拔高、土系及土壤深度。當使用者以滑鼠在選單上選定本項後，系統會牽動相關法則一一詢問使用者集水區所在的各個條件因子，最終會推論得到所在集水區的木材生產適宜性等級和施業方法的建議。

第(8)項研究結果之討論：

當使用者以滑鼠在選單上選定本項後，系統

會連接到HSC多媒體展示系統上,直接將有關六龜試驗林林地分級研究結果之討論以全螢幕文字畫面展示,使用者可用滑鼠按「上」或「下」連續鍵,以閱覽討論、或按「結束」鍵跳回專家系統。

#### 四、討論

(一)建構完成的林地分類專家系統涵括三個不同單位的林地分級方法,且各自成爲一獨立的諮詢系統,乃因分級目的互有差異。水土保持局之山坡地土地分類在於區分海拔 1000 公尺以下之山坡地土地成宜林、農或牧地並加以分級。其分類標準有法規規定、十分明確,很容易以法則建立於專家系統內,唯標準之劃分主觀成分居多,較無生態數據佐証。林務局之林地地位分級目的在於評估林地林木生長潛能,其分類標準中,土壤因子占了主要決定性的角色,於土壤潛力分級時須靠較多的條件因子之綜合判定,其專業性高,從報告獲取的分級準則轉成的法則知識庫,經設定狀況加以測試,發現法則仍有未周延之處,有待後續與專家討論修補之。林業試驗所之林地分級作業體系以符何合生態原則的方法進行,分級目的爲多目標的生態土地利用,爲考慮分級標準之客觀性,採用了統計分析方法選取木材生長影響變數,並以集水區爲分級單元及應用多變值統計分析程序,得到木材生產適宜性分級;最後以地

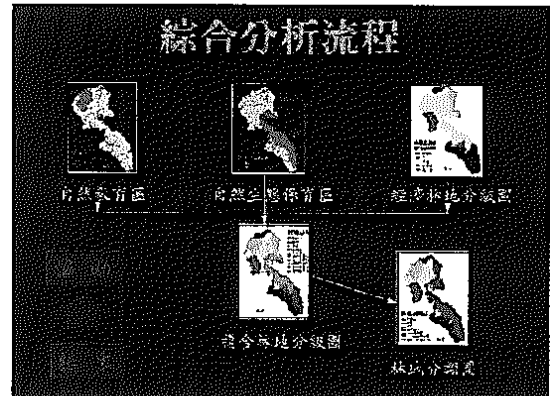


Fig. 16. A multimedia picture explaining the [combined analysis] flowchart with 5 hyper graphs.

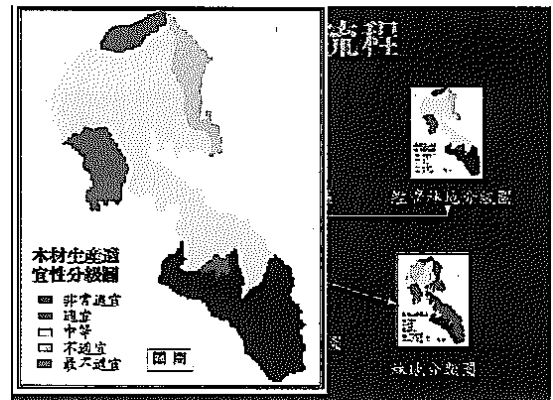


Fig. 16-1. Detailed map shown after user selects the [Economic Forest classification map].

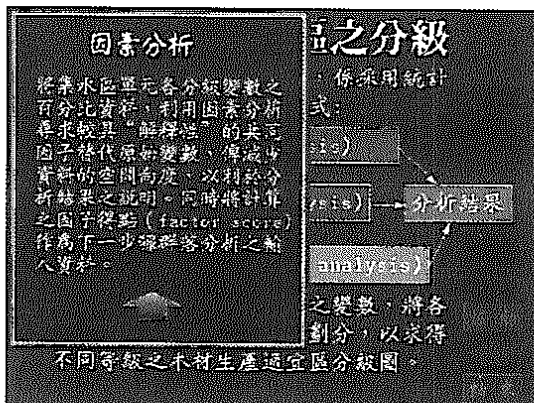


Fig. 15-1. Detailed popup window shown after user selects the [factor analysis] hyper text.

理資訊系統之套疊功能將經濟林地分級圖、自然生態保育區規畫圖及自然教育區規劃加以綜合分析,得到六龜試驗林林地分類圖。其木材生產適宜性分級標準係以六龜試驗林的基本資料經

統計分析所得之結果,此歸納結果可以用法則建立於專家系統內,而爲了有效傳達整個研究的地理資訊查詢及多階層的描述性知識,本系統結合地理資訊系統之查詢與多媒體系統之展示,使之更有效率。

(二)本專家系統選用了 Nexpert Object 專家系統建構工具、ArcView 地理資訊查詢分析系統及 HSC 多媒體系統,進行整合。其中 Nexpert Object 善於法則式知識庫的建立,因一次推論只尋取一個結論,對不具法則規律的描述性知識,雖可用圖像或文字視窗在推論過程中顯示,但描述性知識如具多階層且分項特性時則不如用 HSC 之多媒體展示來得生動有效率。撰寫 Nexpert Object 的法則雖可對地理資訊圖層的屬性資料庫進行歸類分析,但不如使用 ArcView 之具親和界面之分析功能。使用 HSC 的多媒體設計,雖可以快速

的展示供查詢的地理資訊圖像，但不如使用 ArcView 之具高彈性的圖層套繪、放大縮小、空間及屬性資料互查、以及具多使用者觀點等優越的地理資訊查詢方式。由於每一系統各有所長且無法取代，恰可截長補短達到整合之功效。

(三)目前本專家系統的知識庫為一開放型架構，發展初期雖只鎖定在本地之三個林地分類實例，並以六龜試驗林之研究成果為主軸，建成的系統應尚處雛型階段，來日可以適時加入更新法則與知識，使之日臻完善。後續的發展尚可加入國外之森林生態系經營下的林地分類體系(Jones and Lloyd, 1993)，及林地分類辭典等模組(黃書禮，1988)；其與地理資訊系統之進一步系統整合也是努力方向，而筆者經由此次建構過程所得之經驗，正可作為未來進一步發展的基石。本系統現階段發展的目的在於將本土的林地分類實例加以推廣，讓非專業領域的林業從業人員，透過對本系統之諮詢獲得不同分類目的的林地分類結論，並兼能習得符合生態法則之林地分級作業體系。其是否足以適用於本省土地利用型複雜，環境因子歧異之國有林地？則尚待全省性的林地分級體系早日出現後，方能有所定論。

## 五、結論

制定一個能適合國內使用且符合森林生態系經營原則之林地分級作業體系，已是近來台灣林業經營之重要議題，亦為眾所冀盼，本專家系統的發展即肇基於此。系統的建立係藉助電腦科技之賜，選用適當的專家系統建構工具，以知識工程方法逐步發展、並整合了地理資訊系統與多媒體系統，以促進不同類型的知識之建構與傳達。知識庫內容涵括了兩個省級實務單和一個省級研究單位的林地分級實例。林業從業人員在親和電腦視窗環境下，依目的選項透過系統的推論，可獲得圖文並貌的解說與結論，相關地理資訊亦得以查詢。其開放的知識庫系統頗具未來發展性，目下的功能已可達成對本土林地分類知識之諮詢、教育、訓練及評比的目的。

## 謝誌

本研究的完成階段，筆者因獲得教育部公費博士後進修機會，正在美國德州農工大學進修，期間幸

得台灣省林務局管立豪先生惠寄有關林務局林地地位分級的成果報告及來自於台大森林所陳永寬教授的邀稿，及所內同仁的鼓勵與協助，方能如期完成此文，特此一併誌謝。

## 引用文獻

- 沈昆禧、管立豪 1995 林地分級及其應用。臺灣林業 21(1): 23-27。
- 黃書禮 1988 淡水河流域土地使用規劃與河川水質管理之研擬。國立中興大學都市計畫研究所。310 頁。
- 廖大牛 1988 山坡地土地利用分類。林地分級制度研討會論文集。29-148 頁。
- 鄭祈全 1995 地理資訊系統在林地分級上之應用。林業試驗所研究報告季刊 10(2): 241-254。
- 鄭祈全、謝漢欽 1993 赴美研習「森林生態系經營」報告。62 頁。
- 謝漢欽、鄭祈全 1993 台北植物園地理資訊多媒體查詢系統之建立。林業試驗所研究報告季刊。8(4): 345-363。
- 林業試驗所 1992 六龜分所試驗林經營計畫。80 頁。
- Durkin, J. 1994. Expert systems design and development. Macmillan, New York. 800 pp.
- Huff, M. H., S. E. McDonald, and H. Gucinski. 1994. Applications of ecosystem management. U.S. Department of Agriculture, Forest Service Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon. 76 pp.
- Jones, S. M., and F. T. Lloyd. 1993. Landscape ecosystem classification: the first step toward ecosystem management in the southeastern United States. Defining Sustainable Forestry. Island Press, Covelo, California. pp.181-201.
- Luckman, P. G. 1991. Modelling for spatial interpretations and decision support in natural resource management — Use of the Hybrid Expert System Nexpert Object with the ARC/INFO GIS. DSIR Land Resources, Aokautere Private Bag, Palmerston North. 68 pp.
- Maidment, D. R., and T. A. Evans. 1991. Expert GIS: linking ARC/INFO to the Nexpert Object Expert

- System Shell. ARC News Fall 1991. p. 3.
- Mcgraw K. L., and K. Harbison-Briggs.** 1989. Knowledge acquisition-principles and guidelines. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 374 pp.
- Neuron Data, Inc.** 1992. Nexpert Object 2.0c Function Manual. Neuron Data Inc., Palo Alto, California. 280 pp.
- Reynolds, K., P. Cunningham, and L. Bednar.** 1996. A knowledge-based information management system for watershed analysis in the Pacific Northwest U.S. AI Applications. 10(2): 9-22.
- Schmoldt, D. L., and H. M. Rauscher.** 1996. Building knowledge-based systems for natural resource management. Chapman and Hall, New York. 385 pp.
- Zhang, K.** 1991. Building an expert system based on a geographic information system: an example of landuse management, Inner Mongolia, PRC. Ph. D. Thesis. Texas A&M University.