



■ 公開

□ 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：100901e601

行政院農業委員會林務局109年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 氣候變遷下高易危的台灣水青岡生態系之調適、監測與保育研究(2/4) (第2年/全程4年)
(英文名稱) Study on the adaptation, monitoring and conservation of high-risk *Fagus hayatae* ecosystem under climate change (2/4)

計畫編號： 109農科-10.9.1-務-e6(1)

全程計畫期間：自 108年1月1日 至 111年12月31日

本年計畫期間：自 109年1月1日 至 109年12月31日

計畫主持人： 陳子英

研究人員： 林耕堯、廖庭毅、江志安、李吉凱、劉冠廷、黃士烜、孫承翰、花國洲、練釗、李宗育

執行機關： 國立宜蘭大學



1091658



一、執行成果中文摘要：

氣候變化或極端氣候對於主要標的之植群與植物的可能影響，如近來學者所稱的「殘存地點」即類似於 Hannah (2014)所提之堅守點概念，會衝擊部分在中及低海拔稀有的族群或植群，本研究以台灣水青岡生態系為一實際案例進行保育評估，擬定適宜之保育策略與實務方法。依據長期氣候變遷對殘存地點，可依植物相特殊性、物種稀有性及專有性、週邊環境潛在威脅等因子，瞭解各殘存地點生態系及物種之保育急迫性，並提出優先次序，並建立保育平台及到區域的林管處進行整合及實行工作會議。使用ACT進行平台的架構，ACT可以被用在任何層級及保育規劃，並考量到多重未來情境以提出不確定性，也可用以被整合進入現存氣候變遷的決策和策略規劃過程。

另持續進行大白山至大南澳嶺地區和銅山地區的植群與地景的監測；並配合歷年的颱風資訊回推過去的植群變化與颱風的關係，並彙整出地景(無人載具)、植群、族群及物候的可執行監測方式及指標，提供給林管處使用。配合其他細部計畫，針對銅山、大白山、蘭崁山水青岡森林及周邊植群，建立細部植群的氣候棲位模型，測試機器學習法對較細緻植群單元的預測能力，並進行必要的模型調校。

今年的研究目標上，1.完成與羅東林管處之水青岡森林保育平台兩次會議，討論保育標的物之適應性經營架構概念與修正。2.完成大白山-蘭崁山地區五個小族群的野外樣地監測調查。3.完成銅山水青岡森林2.2ha永久樣區的複測。

二、執行成果英文摘要：

The climate change and extreme weather events on the target of the vegetation and rare plant. As the term "remnant place" is similar to the concept of "Holdouts" from Hannah (2014), that will impact some of the rare population or vegetation at medium and low altitudes. In this study, a conservation case was evaluated using the *Fagus hayatae* ecosystem as an actual case that appropriate conservation strategies and practical methods were developed. According to residual location of long-term climate change, which use such factors of plant specificity, species rarity and unique, potential threats of surrounding environment, etc., Understand the conservation urgency of ecosystems and species in each surviving place, and prioritize to establish a conservation platform. And using ACT to establishment the platform in the regional of forest district which to integrate and implement work meetings, ACT can be used in any level and conservation planning, and consider multiple future scenarios to





propose uncertainty, can also be integrated into The decision-making and strategic planning process of existing climate change.

In addition, the monitoring of the vegetation and landscape of the Dabaishan to the Dananao ridges and the Tongshan area will continue; and will according with the typhoon information over the years that pushed back the relationship between the vegetation changes and the typhoons. Next will be integrated the landscape (use Unmanned Aerial Vehicle to collected data), vegetation, population and phenology of plant of executable monitoring methods and indicators which provided for each of forest district. In conjunction with other detailed plans, We will establish a climate habitat model for detailed vegetation types of Tongshan, Dabaishan, Lankanshan, and surrounding vegetation, and test the predictive ability of machine learning method(random forest) for finer vegetation units, and carry out necessary model tuning.

This year of research goals was completed.1. Completed two meetings with the Forest district office that discuss beech forest conservation targets, aims and modification of the adaptive management. 2.Complete field sampling of five small relic groups in the Dabaishan- Lankanshan area. 3. Completed the parts of the 2.2ha permanent plot of beech Forest in the Tongshan area.

三、計畫目的：

- 1.持續台灣水青岡生態系在氣候變遷下之調適與保育的操作平台：
 - (1)依據108年度彙整完畢之氣候變遷下之調適與保育的操作平台操作狀況，實際操作優先順序的管理行動，並監測108年度的行動有效性及目標物之進展，調整無效率的行動或隨需要修正計畫。
 - (2)持續協助羅東林區管理處利用保育標的物之適應性經營架構概念 (ACT) (Cross et al., 2012)，操作台灣水青岡生態系在氣候變遷下之調適與保育；並依據林奐宇和謝長富 (2017)發表之台灣水青岡生態系植群分布預測架構，建構台灣水青岡生態系在氣候變遷下之調適與保育的管理雛形。
- 2.持續發展台灣水青岡生態系在氣候變遷下之監測的操作：
 - (1)完成銅山水青岡森林2.2ha永久樣區的複測。
 - (2)完成大白山至大南澳嶺地區永久樣區在氣候變遷下之監測。





四、重要工作項目及實施方法：

1. 持續發展台灣水青岡生態系在氣候變遷下之調適與保育的操作平台：

- (1) 釐清台灣水青岡生態系在目前的保育問題及氣候變遷情境模擬下所出現的問題，針對就地保存及異地保育進行通盤討論，以利棲地管理與遷地保育之推動；並依據高解析度的潛在植群分布圖，針對已知的易危地區，提出細緻化的保育經營與監測管理建議。
- (2) 台灣水青岡在不同區域的監測的森林等；甚至位於其他管理處需進一步進行監測或調查的高易危生態系及其特稀有物種，亦可藉由開發廣使用之Google Earth資料，展現不同暖化情境下台灣原生植群的變遷與推移狀況，協助林區管理處擬定工作會議討論出保護區劃設、生態系的保育和稀有族群遷移、保存的對策。
- (3) 針對各林區管理處所需就地與遷地保育的高易危生態系及其特稀有物種，可以用工作會議等方式協助各林管處依受危生態系及物種的出現區域，劃出遷徙廊道或建立採種、嫁接、扦插等育苗體系或種質園、撫育及再引種等技術，推動原生育地鄰近區域之輔助移植及族群復育工作，例如：提供該物種於太平山地區的遷移廊道與地點，並作為景觀化之運用；或對於大白-蘭崙山區目前殘存林木的重要保育族群進行嫁接、扦插等種質園之設置及水青岡森林的就地保存等。
- (4) 對於因山林開放、生態教育或開礦所引起的保育與下種後續的觀察及因開發礦區的衝突，持續進行追蹤和探討。

2. 高易危生態系及指標物種的持續監測：

- (1) 大白山至大南澳嶺地區和銅山地區的植群永久樣區(陳子英等，2017)，將持續進行地景(無人載具)、植群、族群的監測；並配合歷年的颱風資訊回推過去的植群變化與颱風的關係。對銅山地區的永久樣區或樣木，進行台灣水青岡生態系族群的變化監測。
- (2) 對大白山至大南澳嶺地區和銅山地區的台灣水青岡與附近植群無人載具(UAV)進行地景變遷的監測，並進行分析及預估其變化。
- (3) 除對大南澳嶺地區的植群永久樣區進行監測調查外，並分析其與其他樟科或殼斗科之間的變化趨勢及死亡狀況。銅山地區調查時會針對樣方內的所有大樹及新生小苗進行調查，若有新增小苗則掛上新的蘭花牌，並給予獨一無二的編號，記錄其物種名；若是先前已存在的樹木或小苗則記錄存活，若死亡則在確認後將牌回收。
- (4) 彙整出地景(無人載具)、植群、族群及物候的可執行監測方式及指標，提供給林管處使用。
- (5) 完成銅山水青岡森林2.2ha永久樣區的複測。

五、結果與討論：

如附件報告書。





六、結論：

如附件報告書。

七、參考文獻：

如附件報告書。





第三章 氣候變遷下高易危的台灣水青岡生態系之調適、監測與保育研究

摘要

氣候變化或極端氣候對於植群與植物之「殘存地點」，如近來 Hannah(2014)所謂的所提之堅守點概念，本研究以台灣水青岡生態系為一實際案例進行保育評估，擬定適宜之保育策略與實務方法。依據長期氣候變遷對殘存地點，可依伴隨植物特性、週邊環境潛在威脅等因子，瞭解各殘存地點生態系及物種之保育急迫性，提出優先次序，建立保育平台及到各區域的林管處進行整合及實行工作會議，使用 ACT 進行保育平台的架構來減緩氣候變遷對於稀有植群與植物的衝擊到決策和策略規劃過程。

進行銅山地區的長期動態樣區的植群調查與大白山至大南澳嶺地區地景與的監測；並彙整出地景(無人載具)、植群、族群及物候的可執行監測方式及指標，提供給林管處使用。目前已在羅東林區管理處完成兩次水青岡森林會議，並討論台灣水青岡森林在氣候變遷下之調適與保育，在平台會議上結合學者對移地復育成功的幼樹及小苗，進行栽植地點與方法的監測與評估，持續進行育苗及復育的參考建議。對高易危大白山-蘭崁山地區五個小族群的野外樣地嘗試無人載具的地景與族群完成監測調查。對銅山動態樣區複測調查，行森林組成、森林動態變化等分析，與2015年的調查資料相互比對，銅山台灣水青岡的徑級呈多形量型，有充足的小樹補充，族群更新狀況較穩定。大白山及蘭崁地區，徑級呈現鐘型；大白山及蘭崁地區相較於銅山地區，小樹更新狀況不佳，沒有充足的小樹補充，造成族群狀況不穩定，應先進行易地保存。

關鍵詞：脆弱度、適應性經營、風險管理、無性繁殖





一、前言

近年來全球氣候變遷造成溫度增加與降雨型態改變，極端氣象事件頻繁，導致生態系遭受衝擊而變得更為脆弱，並影響森林生態系的經營管理 (IPCC, 2007; Joyce *et al.*, 2014)。全世界的科學家、管理者和決策者，均提倡創新手法的發展，以減少氣候變遷對於物種、生態系統和生態功能的影響，為了避免特稀有物種及其棲地的滅絕消失，亦已依據現有知識基礎及風險程度，針對評估屬氣候變遷影響之高風險物種及族群，在特定地區的特定物種發展一個量身訂做的管理手法及適宜之保育策略，來進行保育工作的實質推動 (Staudinger *et al.*, 2012；邱祈榮，2013)。

生物的棲息環境除了受到大尺度氣候影響以外，由於局部地形或區域的微氣候條件差異，使得某些小尺度地點可能出現暖化趨勢較緩的現象，例如陡峻山區的谷地、冷涼的迎風地點或高原的冷袋 (cold air drainage) 地形等，生物在這些地點有較高的機會躲避暖化威脅、降低滅絕風險 (Skov and Svenning, 2004)。因此，科學界將暖化架構下的潛在冷涼棲地稱為「間冰期避難所 (interglacial refugia)」 (Rull, 2009；2010；Stewart *et al.*, 2010；Kimura *et al.*, 2014；Keppel and Wardell-Johnson, 2015；Stimokawabe *et al.*, 2015；Tzedakis 2013)。Hannah 與 Keppel 認為，微避難所面積與規模相對為大，這些地點在暖化情境下仍可維持較為長久的冷涼微氣候，避難物種有機會在此處靜待下一次地球冷期循環的來臨。日本圓齒水青岡 (*Fagus crenata*) 的研究也發現，當氣候變暖，整個水青岡植群帶有向上及向北遷移的趨勢，而低海拔的族群也出現種子產量稀少、林下無小苗、更新不良及漸漸被常綠闊葉樹取代的現象；因此也在尋找水青岡森林間冰期的避難所即及針對低海拔的族群進行調適、監測與保育之研究 (松井哲哉等，2007；2009；原正利，2006)。

台灣地區根據林務局 2015 至 2017 年「氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫成果，已初步瞭解全臺灣維管束植物在長期氣候變遷影響下可能的殘存分布地點，亦初步提出風險較高且應積極保育之物種與族群；小尺度方面，則已針對臺灣水青岡及南仁





山植群等案例地點，對於生物社會以至物種層級可能遭受氣候變遷之衝擊與影響部分，完成初步的研究與評估(陳子英等，2017)。

本計畫認為，Kepple 及 Hannah 等人發展之研究架構與「殘存地點」概念頗為近似，且澳洲團隊已完成氣候變遷下的微避難所之案例研究，證實該架構具有實務應用性。台灣應亦可利用林務局 2015 至 2017 年「氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究」計畫成果，資料與研究基礎，仿照保育標的物之適應性經營(ACT)架構概念，推動本土性之分析與評估及調適、監測與保育之研究和管理。例如將前期研究結果已確定台灣水青岡森林為高易危地點，並透過多模式的情境模擬，找出這些高易危生態系隨氣候變遷的可能遷徙路徑與避難地點。並針對台灣水青岡森林已進行的詳細植群調查及分類，同時劃設樣點進行植群與族群的監測，並進行瀕危族群的復育。然而前期計畫只做到 ACT 行動的確認保育標的物、建構概念模式及發展一套模擬的氣候變遷情境和初步提供出經營管理行動；並未訂出管理行動之優先順序、實行優先順序的管理行動監測行動有效性及目標物之進展，調整無效率的行動或隨需要修正計畫。計畫尚可針對台灣水青岡森林的高易危地點建置更細緻的現地詳細的監測，及配合林管處現地的施作，將更有利於細部地點的保育與經營管理。

本計畫旨在解決以下問題：

1. 利用林務局 105-107 年度推動「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」計畫的調查資料，以前期計畫建立的氣候變遷情境模擬和初步提供出的經營管理行動為基礎，建立臺灣細部潛在氣候植群的預測模型，並依據氣候變遷情境，對高易危地點的動態變化模擬資訊和過去 30 年的變遷資訊，過去的遺傳、植群與族群調查資料，建構更細緻的保育標的物之適應性經營(ACT)概念架構(以群叢、標的物種或族群個體為原則)，提升氣候變遷下區域細緻化的經營與保育台灣水青岡森林。
2. 對高易危台灣水青岡生態系的監測方式進行監測調查及整合；台灣水青岡生態系的監測可分成地景、植群、族群及個體物候，將





針對宜蘭地區不同小區域的監測方式做最後兩年調查與重整，除架構出監測頻度與方法外，並提供給宜蘭地區的羅東林區管理處及新竹林區管理處同步的監測與管理方式，以提升氣候變化對高易危台灣水青岡生態系在保育上的應用。

3. 針對羅東及新竹林區管理處所需就地與遷地保育的台灣水青岡高易危生態系及其特性，可以用工作會議等方式的保育平台，協助各林管處依受危生態系的出現區域，劃出遷徙廊道或建立採種、嫁接、扦插等育苗體系或採穗園、撫育及再引種等技術，推動原生育地鄰近區域之輔助移植及族群復育工作，或提供該物種於野外或復育地區的植群與族群監測。例如：羅東林區管理處的台灣水青岡森林及蘭嵌山殘存林木的保育與復育；新竹林區管理處的烏嘴山或插天山地區的就地保存等。
4. 提供對高易危台灣水青岡生態系的監測資料，調校植被群預測與動態變遷模型，檢討臺灣森林變遷預測研究的準確性並進行必要修正，提高對於小尺度植群變化趨勢的掌握能力，使我國森林保育政策與全球氣候變遷趨勢迅速接軌。

二、前人研究

2.1 保育標的物之適應性經營(ACT)

全球的科學家、管理者和決策者，均在提倡創新手法的發展，以減少氣候變遷對於物種、生態系統和生態功能的影響（Mitchell *et al.*, 2007；US-GAO, 2007；Campbell, 2008）。Cross *et al.*（2012）提出了保育標的物適應性經營的架構。其新穎的貢獻是透過一個簡單的過程，鼓勵多個公共和私人轄區參與，以地方為基礎，對特定物種、生態系統和生態功能的推導之適應行動。ACT 架構可以被用在任何層級已發生的正式保育規劃，並考量到多重未來情境（scenario）以提出不確定性，也可以具有獨立的規劃功能，也可用以被整合進入現存氣候變遷的決策和策略規劃過程。ACT 步驟可重覆監測、在管理上情境的改變





和優先的事項，氣候變化和生態回應。儘管這個架構包含了規劃和實行及評估兩個階段，但著重在規劃階段（步驟 1-4）。步驟一：確認保育標的物（例如：物種、生態系或生態功能），並明確說明未來的經營目標。步驟二：建構概念模式、發展一套模擬的氣候變遷情境特徵（feature）對於情境之回應。步驟三：以概念模式確立經營管理行動，實現每一個情境下陳述的目標。步驟四：訂出管理行動之優先順序。步驟五：實行優先順序的管理行動、步驟六：監測行動有效性及目標物之進展，調整無效率的行動或隨需要修正計畫。ACT 的架構考量了氣候變遷下，對於特定物種、生態系統及生態功能（保育標的物）的管理行動之發展，是基於一個前提：氣候變遷下有效的適應性經營，可依賴「生態系統的地方性知識（local knowledge）」以及「不一定需要對於氣候變遷或它的影響有鉅細靡遺的預測（projections）」（圖 3.1）。

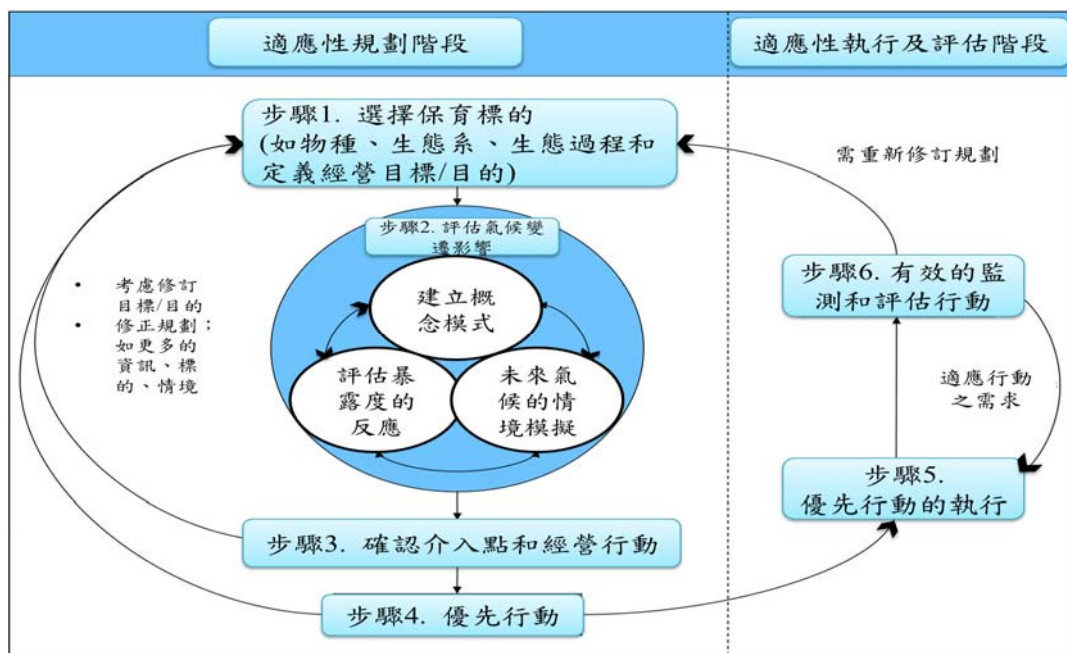


圖 3.1 保育標的物之適應性經營架構概念圖。(譯自 Cross *et al.*, 2012)





2.2 台灣水青岡之研究現況

1. 分布與生態

台灣水青岡族群目前僅出現在臺灣北部的烏嘴山、插天山及拉拉山一帶及逐鹿山、阿玉山西峰；蘭陽溪以南的銅山、下銅山到鹿皮山，及大白山及蘭崁山等山頭地區零星分布（陳子英等，2011；陳品邑，2012），同時插天山及拉拉山一帶和蘭陽溪以南的銅山、下銅山是最大的族群，而烏嘴山、阿玉山西峰、大白山及蘭崁山等則是小族群。近期調查也在大白山與蘭崁山間的山谷陸續發現新的水青岡族群（陳子英等，2016）（圖 3.2）。早期研究指出台灣水青岡生長環境終年雲霧繚繞，陽光不強，故推論台灣水青岡應為中性至耐陰性樹種（邱清安，1996），目前研究指出台灣水青岡面臨種子結實率低，天然更新狀況不佳，小苗生長緩慢，容易被玉山箭竹（*Yushania niitakayamensis*）等下層植物覆蓋而死亡（黃立彥，2000）。之後的調查發現台灣水青岡是利用冠層的孔隙更新，其幼苗可在林下受壓 30 年以上等待孔隙之形成（陳品邑，2012），在苗圃試驗及林下試驗中也顯示台灣水青岡小苗在中光及小孔隙的環境下生長狀況最佳（韓尚霖，2015），然而現階段天然孔隙形成可能不足以促進台灣水青岡的幼苗更新，導致幼苗在高生長前即遭玉山箭竹等地被植物覆蓋而死亡（陳品邑，2012；巫智斌，2013）。

近期的研究也指出台灣水青岡的森林中存在一些共生的蛾蝶類與真菌類（徐堉峰，2017），因此應將水青岡森林視為一個生態系，此種完整且健康生態系（森林）的妥善保存才有可能保存其所負載的稀有物種；因此也把生態系視為粗濾網（生態系尺度），其內的稀有物種視為細濾網（物種尺度），並結合粗濾網（生態系尺度）和細濾網（物種尺度）兩種尺度進行保育，例如優先選定較可能受危害的避難所物種進行生態尺度的保存，在針對對棲地環境有特殊需求的易滅絕物種採細濾網的方式保育（Tingley *et al.*, 2014）。



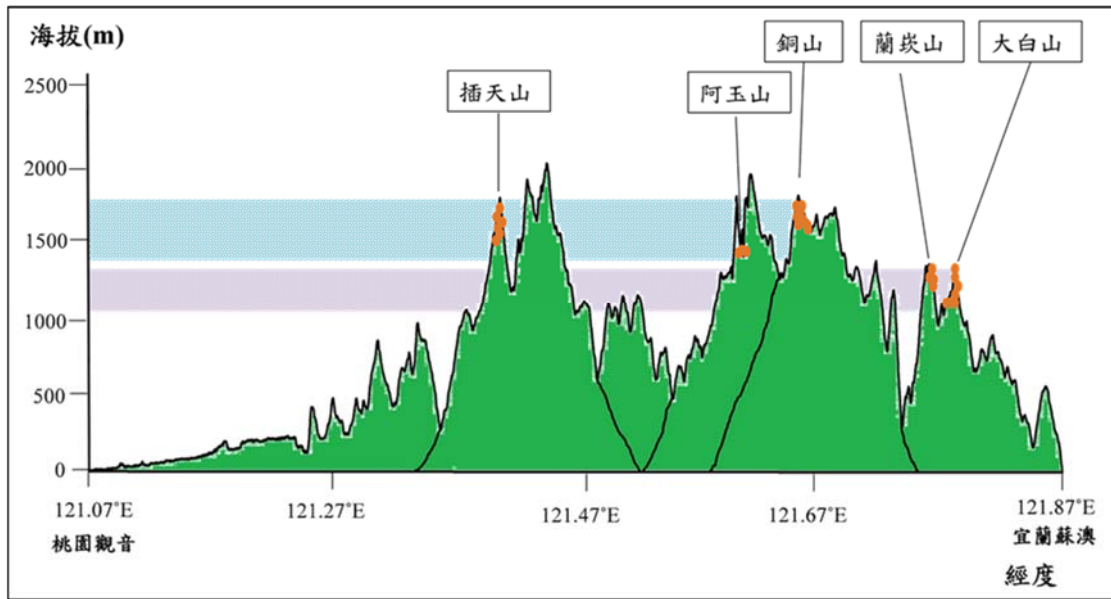


圖 3.2 台灣水青岡分布山頭東西向橫剖面圖。

2. 大白山及蘭崁山之台灣水青岡調查

2015 年分別在大白山與蘭崁山設立 0.24ha、0.29ha 之動態樣區，進行每木調查。經分析顯示大白山及蘭崁山水青岡在森林中的優勢度（IV 值）分別為 18.57%及 28.61%，代表台灣水青岡的優勢地位受低海拔植群入侵而喪失優勢性，而入侵植物主要為櫟林帶及楠櫟林帶植群（陳子英等，2016）。地景上則使用 UAV 進行調查，UAV 應用上具有便利、成本低且高解析度等優點，然而台灣水青岡主要分布於霧林帶，過去也有研究指出台灣水青岡森林因雲霧的關係無法取得不同時期的航遙測照片，做不同時期的植群監測或進行變遷的評估(林奐宇，2018)。本計畫於 2019 年秋季於大白山區清水溪溪谷的第三、四區以及位於蘭崁山的第一區台灣水青岡族群，進行 UAV 的監測。結果在季節變換的秋季用 UAV 繪製水青岡樹冠範圍是可行，但雲霧的影響問題仍然存在，在第三區上方因雲霧遮蔽無法辨識水青岡。近期新一區附近有礦區想確認台灣水青岡的位置，為林管處的經營需求，可先了解該區族群的分布，以便進行合理的管理。由於該區地形陡峭，不易到達，無法清楚知道台灣水青岡確實的數目與位置，因此今年擬以





UAV 在春天或秋天台灣水青岡展葉或變色時做調查，確認可能的台灣水青岡位置再到現場選擇幾株做確認。

3. 銅山動態樣區之台灣水青岡調查

針對臺灣銅山地區台灣水青岡天然落葉闊葉林進行森林動態與空間分布狀態之探討，針對先前設立的 220 個小區組成的 2.2ha 樣區，於 2020 年進行調查，研究項目共分成 3 個部分：(一)森林組成；(二)森林動態變化；(三)物種空間分布情形。

在 2005 年銅山森林動態樣區物種為 42 種，經過 10 年移出 4 種，移入 3 種，2015 年為 41 種，變動率達 16.67%，樹冠層優勢種以台灣水青岡為主，次樹冠層為三斗石櫟、白花八角、烏皮九芎和霧社木薑子，下層為阿里山灰木、高山新木薑子、短柱山茶和假柃木，地被植物以玉山箭竹為主。

在 2015 年的調查發現，共有 4 種物種移出樣區，分別為水亞木（2005 年紀錄 5 株）、台灣小蘗（2005 年紀錄 1 株）、巒大花楸（2005 年紀錄 7 株）、狹葉莢蒾（2005 年紀錄 11 株）。移入樣區的物種則有 3 種，分別是大葉溲疏、台灣赤楊及變葉新木薑子。移入種類數為大葉溲疏（1 株）、台灣赤楊（1 株）及變葉新木薑子（1 株）。

由於樣區經過分層株數達 10 株以上之樹種分別進行空間類型分析，上層在距離尺度 50m 內有 100%樹種呈現聚集分布類型，並無樹種呈現隨機分布類型；中層則是在距離尺度 5m 至 25m 之間為 100%樹種呈現聚集分布類型，而在 30m 至 50m 之間為 85.7%樹種呈現聚集分布類型，14.3%樹種呈現隨機分布類型；下層則是距離尺度 5m 至 50m 之間為 91%樹種呈現聚集分布類型，9%樹種呈現隨機分布類型。整體而言聚集程度隨著尺度的增加而逐漸減低（涂瀚銓，2018）。

綜合以上風險性評估結果顯示大白-蘭炭山地區屬於非常高風險，因分布海拔低又鄰近受颱風干擾之東海岸，族群數量僅 38 株，且分布面積最小，容易受極端氣候影響而迅速消失；阿玉山地區屬高風險，因族群數量不多，加上更新不佳，在氣候變遷持續影響下族群可能逐





漸衰退；大白山地區為中等風險，雖然族群規模較大，但分布海拔低且比蘭崁山更接近東部海岸，主要族群位於易受風衝之山頭，邊坡僅有零星植株，加上附近有人為開礦影響，未來易受頻繁擾動；其餘地區族群數量多，分布面積大，族群狀態穩定，較能抵抗氣候變遷之衝擊（陳子英等，2016）。目前保育策略建議優先採取優良健壯母樹的枝穗，以人工方式無性繁殖，保存珍貴族群基因；由於生育地未來氣候環境並不適合水青岡族群，有必要進行遷地保育。此外，仍需持續監測原生育地氣候及族群的變化，作為進一步保育行動的參考。

三、方法

3.1 發展台灣水青岡生態系在氣候變遷下之調適與保育的操作平台，提升氣候變遷下細緻化經營與保育台灣水青岡森林的能力。

適應性經營規劃為一動態經營行動，特別是針對具有高度不確性的未來環境，透過監測及不斷修正、改善經營理念，使其經營目標盡可能維持在最佳狀態（陳朝圳、陳建璋，2015）。施行步驟為：

1. 確定保育台灣水青岡的保育目的和保育目標。
2. 由過去的研究可知大白山和蘭崁山在過去的氣候影響下相當脆弱，且族群有較高的風險，水青岡族群未來變化的趨勢則由本研究預測推估（陳子英等，2016）。
3. 綜合過去的風險性評估與未來預測的潛在危害，決定是否須修改水青岡的保育目的或保育目標，若決定更換目的或目標，仍要重新檢視氣候的影響並進行過去及未來脆弱度和風險性評斷。
4. 列出可能的保育行動方針。
5. 評估並選擇最佳的行動策略。





6. 重點行動的執行。
7. 監測並追蹤行動的效果，同時也要觀察水青岡生態族群對行動的所有反應，視情況予以修改（圖 3.3）（Maxwell *et al.*, 2015）。

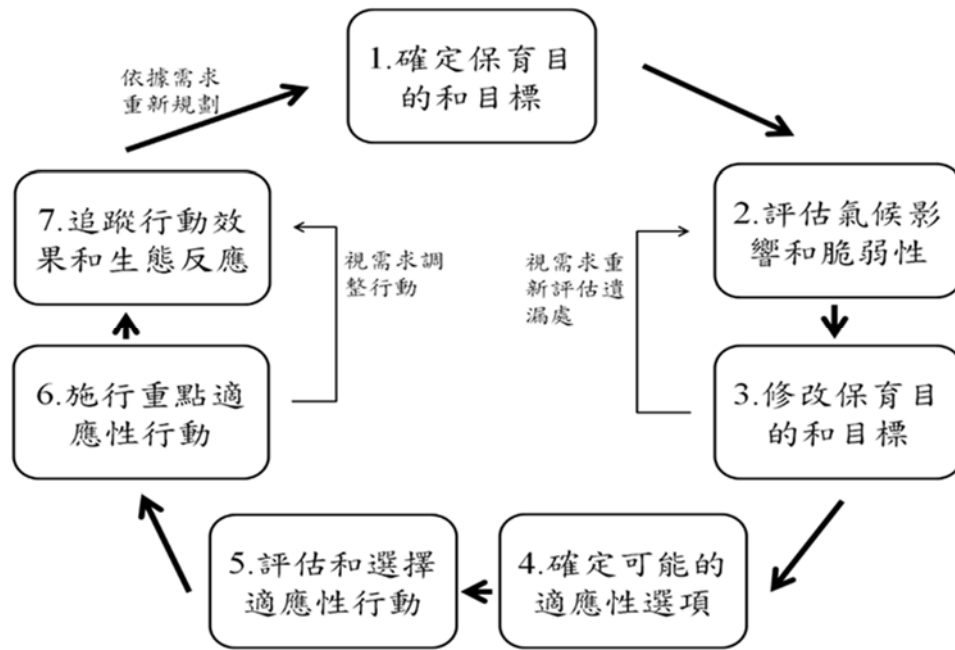


圖 3.3 適應性經營規劃概念圖。（修改自 Maxwell *et al.*, 2015）

3.2 台灣水青岡生態系在大白山到蘭崁山之監測

目前已針對大白山至大南澳嶺地區和銅山地區的植群進行分類，並設有永久樣區(陳子英等, 2017)，將持續以 UAV 進行地景的監測；並配合歷年的颱風資訊回推過去的植群變化與颱風的關係。利用大白山-蘭崁山區和銅山地區的永久樣區或樣木(陳子英等, 2017)，進行台灣水青岡森林與族群的變化監測。

3.3 台灣水青岡生態系在銅山之複測





針對銅山進行長期動態樣區調查，於 2020 年複查 2005 年於銅山所設立的 2ha 長期動態樣區(陳子英, 2005), 及 2010 年調查新增設 0.2ha 樣區(陳子英, 2010), 共計 2.2ha。

長期動態樣區調查方法為舉凡木本植物其胸高直徑(Diameter Breast Height, DBH)大於 1cm 且樹高高於 1.3m 者均附上號碼牌加以編定號碼，並記錄其樹種名稱、編號、胸高直徑(BDH)、樹高、樣方內 X 與 Y 座標及生長狀態(植株死亡、傾倒、斷頭等各種狀態); 若於 1.3m 以下發現分叉之植株體，將視為另一個體，並記錄上述之資料。

在死亡植株判定上，依據物種位置資料與鄰近植株相關資訊，發現植株消失或死亡遺跡者，即判定為死亡植株；新增植株則為依據第二次調查到的物種資料，於複查期間比對位置資料，並無發現此植株之資料則判定為新增植株。當新植株之徑級生長則予以新編號並記錄其座標位置與物種名稱，本研究之樹木學名依 APGIV 為主(The Angiosperm Phylogeny group, 2016)。

1. 分析組成與結構

(1) 優勢度

$$\text{重要值} = (\text{相對密度} + \text{相對胸高斷面積}) / 2$$

$$\text{相對密度} = \text{某一樹種之植株密度} / \text{樣區總植株密度} \times 100\%$$

$$\text{相對優勢度} = \text{某樹種胸高斷面積} / \text{樣區植株總胸高斷面積} \times 100\%$$

(2) 族群結構

依各樹種之個體數量及其族群中最大與最小胸徑差值，計算此一物種之胸徑級數及級距。以分析各樹種在不同徑級下的植株分布。

N：某樹種之株數

M：切分之胸徑級數





$$M = 6 \times \log N$$

$$\text{級距} = (\text{最大胸徑值} - \text{最小胸徑值}) / M$$

2. 分析森林動態變化

森林之動態變化分為新增、死亡及生長，本研究使用第一次 2.2ha 長期動態樣區調查(2015 年)之資料與本次複查之資料(2020 年)來計算下列公式：

$$\text{株數變動率} = \{ (N_{2020} - N_{2015}) / N_{2015} \} \times 100\%$$

$$\text{斷面積變動率} = \{ (BA_{2020} - BA_{2015}) / BA_{2020} \} \times 100\%$$

$$\text{株數死亡率} = (D / N_{2020}) \times 100\%$$

$$\text{斷面積死亡率} = (DBA / BA_{2020}) \times 100\%$$

$$\text{株數新增率} = (R / N_{2020}) \times 100\%$$

$$\text{斷面積新增率} = (RBA / BA_{2020}) \times 100\%$$

$$\text{生長斷面積} = \text{存活個體的 } BA_{2020} - BA_{2015}$$

$$\text{斷面積生長率} = (G / BA_{2020}) \times 100\%$$

$$\text{平均直徑生長} = \{ (DBH_{2020} - DBH_{2015}) \} / S$$

$$\text{年平均直徑生長} = \{ (DBH_{2020} - DBH_{2015}) \} / n / t$$

另外，若需和其他長期動態樣區比較，則需考慮各樣區調查間隔時間不同，故本研究參考 Condit et al.(1999)的方法計算下列指數：

$$\text{株數年新增率} = \{ \ln(N_{2015}) - \ln(S) \} / t \times 100\%$$

$$\text{株數年死亡率} = \{ \ln(N_{2009}) - \ln(S) \} / t \times 100\%$$

$$\text{年株數變動率} = \{ \ln(N_{2015}) - \ln(N_{2009}) \} / t \times 100\%$$





上述公式以調查資料 2015 年至 2020 年分析為例。

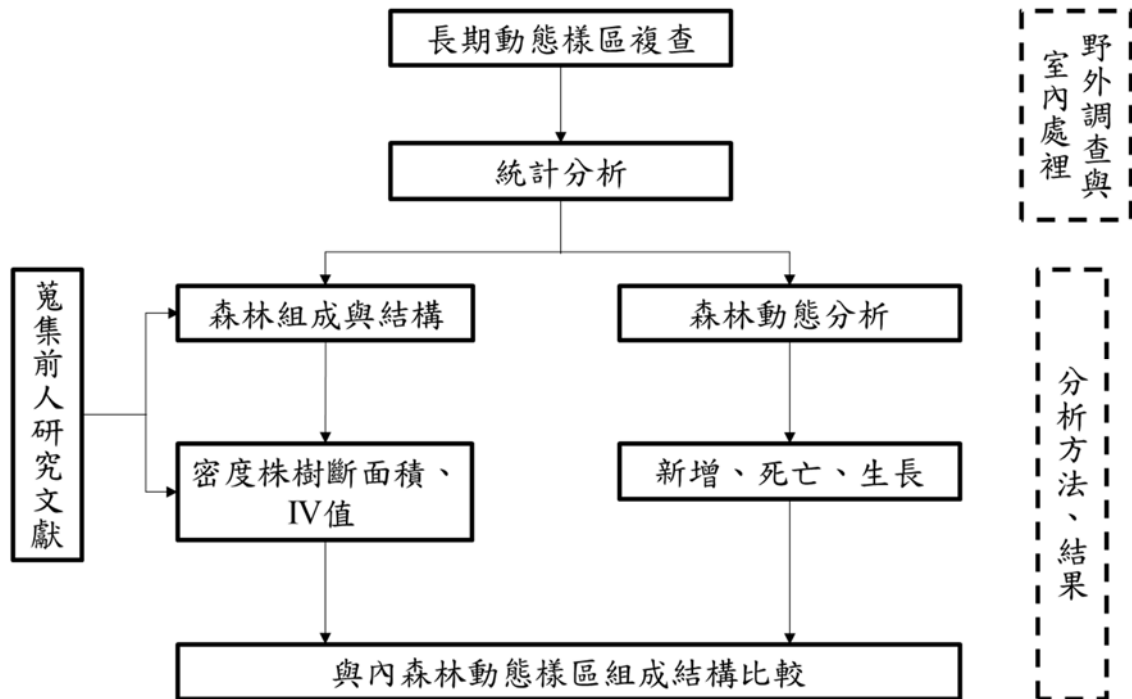


圖 3.4 研究流程圖。

四、結果

4.1 發展台灣水青岡生態系在氣候變遷下之調適與保育的操作平台，提升氣候變遷下細緻化經營與保育台灣水青岡森林的能力。

就程序而言，釐清台灣水青岡生態系在目前的保育問題及氣候變遷情境模擬下所出現的問題，針對就地保存及異地保育進行通盤討論，以利棲地管理與遷地保育之推動；並依據高解析度的潛在植群分布圖，針對已知的易危地區，提出細緻化的保育經營與監測管理建議。應用之前林務局 105-107 年度推動「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」計畫的調查資料(陳子英等，2017)，針對高易危地區之台灣水青岡生態系案例及其特稀有物種，協助羅東及新竹林管處所轄有的水青





岡森林依生態系及物種受危程度，以營造遷徙廊道、建立育苗體系、撫育及再引種（reintroduction）技術等方式，推動原生育地鄰近區域之輔助移植及族群復育工作，或提高該物種於生態教育及復育之運用。步驟上則針對氣候變遷之調適規劃，綜合和考量不同領域以及跨領域間議題之策略規劃(Strategic Planning)與滾動式規劃(Rolling Wave Planning)。

首先在氣候變遷保育調適行動建構指引之第一步驟「界定問題與設定目標」開始，從界定問題著手，以幾個主要之問題界定為出發點，再進一步去探討跨領域之問題。適應性經營規劃概念的調適決策六步驟的最終目的在於產出氣候變遷調適行動計畫，而氣候變遷調適行動除包含步驟一～步驟六之階段性成果外，尚包含4個次計畫：1.調適路徑執行、2.環境監測、3.調適路徑執行檢核、4.調適路徑滾動修正。其中，調適路徑的執行包含調適路徑所包含之選項、工作項目、期程、分工與權責名單；環境監測計畫之目的在於監測環境系統之變化情形，包含監測項目、頻率以及其權責分工；調適路徑執行檢核的目的在於透過程序指標與成效指標檢核調適路徑中各方案之執行情形；調適路徑修正則包含調適路徑之修正機制，藉由環境監測與調適路徑滾動執行檢核的成果，決定是否應對既有之氣候變遷調適行動進行修正。

1. 界定問題與設定目標

此步驟主要目的在於界定水青岡在氣候變遷下的保育關鍵議題並設定保育調適目標，其下又細分為四個次步驟，依序為：1.氣候變遷調適專門委員之組成、2.問題之界定、3.跨領域關聯分析、4.目標之設定，詳細內容如下說明。

氣候變遷調適專門委員之組成上，主要以羅東及新竹林管處的保育承辦人員與主政人員、相關的專業團隊(學術或專家)及利害關係人(民間團體)所組成之團體。學術上以曾經參與台灣水青岡或相關領域的專家或學者，例如：族群研究的林世宗教授或楊正釗博士，遺傳研究的江友中教授、氣候變遷調適研究的林奐宇助理研究員、昆蟲研究





的徐瑋峰教授等。由於北插天山及太平山的山毛櫸步道都是熱門的生態景點，因此涉及北插天山的登山團體應可列為利害關係人，並應諮詢其管理上的意見(圖 3.5)。

確定整體專門委員會之成員後，應由調適專門委員會召集人發起調適啟動會議，調適啟動會議之目的在於確立調適專門委員會中各類群後續之分工定位，並討論整體調適計畫之辦理期程以及推動程序、會議召開等細節。在會議召開部分，於整體調適規劃之期程中，因應不同之目的，召開之會議可分為以下三類，會議的執行順序大致上是以「工作會議→ 調適工作坊→ 調適專門委員會議」的順序進行(圖 3.6)。

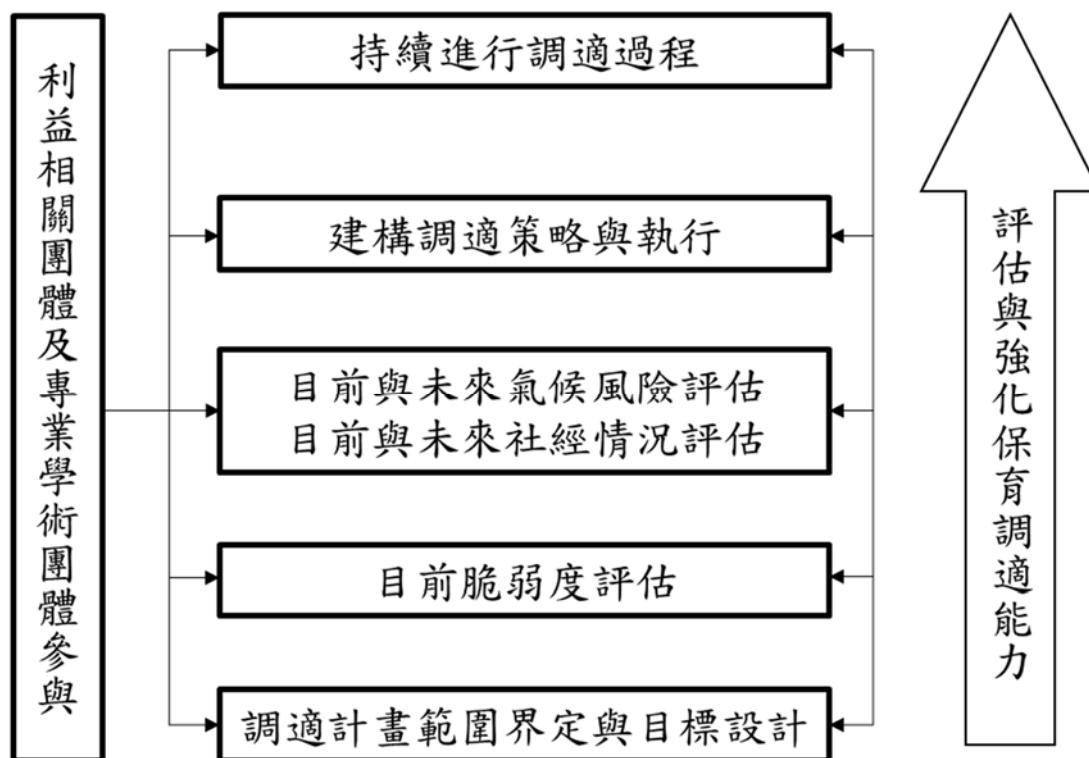


圖 3.5 台灣水青岡森林在氣候變遷下保育調適決策步驟。

2. 台灣水青岡在羅東林區管理處的保育問題之界定





羅東林區管理處的台灣水青岡族群目前僅出現在蘭陽溪以南的銅山、下銅山到鹿皮山，及大白山及蘭崁山等山頭地區零星分布（陳子英等，2011），同時銅山、下銅山是最大的族群，而大白山及蘭崁山與近期在大白山與蘭崁山之間的上坡及山谷陸續發現新的水青岡族群等則是小族群（圖 3.6）。由過去航照及風險的評估，銅山、下銅山的危機較小，同時目前銅山、下銅山持續有做動態樣區監測；而大白山及蘭崁山的台灣水青岡族群暴露度較高，調適能力及回復力不佳，屬於有高滅絕風險的族群（陳子英等，2016）；相較其他地區，本區水青岡族群具有較多的特殊基因型（江友中，2017）；另外，在未來氣候情境預測下，水青岡生育地有相當高機率會被中低海拔植群取代。由於大白山和蘭崁山屬於獨立山頭，且與其他水青岡族群距離較遠，產生隔離，基因交流不易；面對未來氣候暖化持續威脅，一旦本區水青岡族群衰退，特殊的基因也將一併消失。台灣水青岡的管理行動除考慮保育的成本大小由上而下，做討論(Shoo *et al.*, 2013) (圖 3.6)。整體而言，大致可分成一、就地保育的評估及監測 二、人為開發的活動及公眾之參與 三、異地及就地保存。其中在一、就地保育的評估及監測這部份，台灣水青岡族群由於颱風、暴雨等極端事件而導致族群減少(陳子英，2015)。



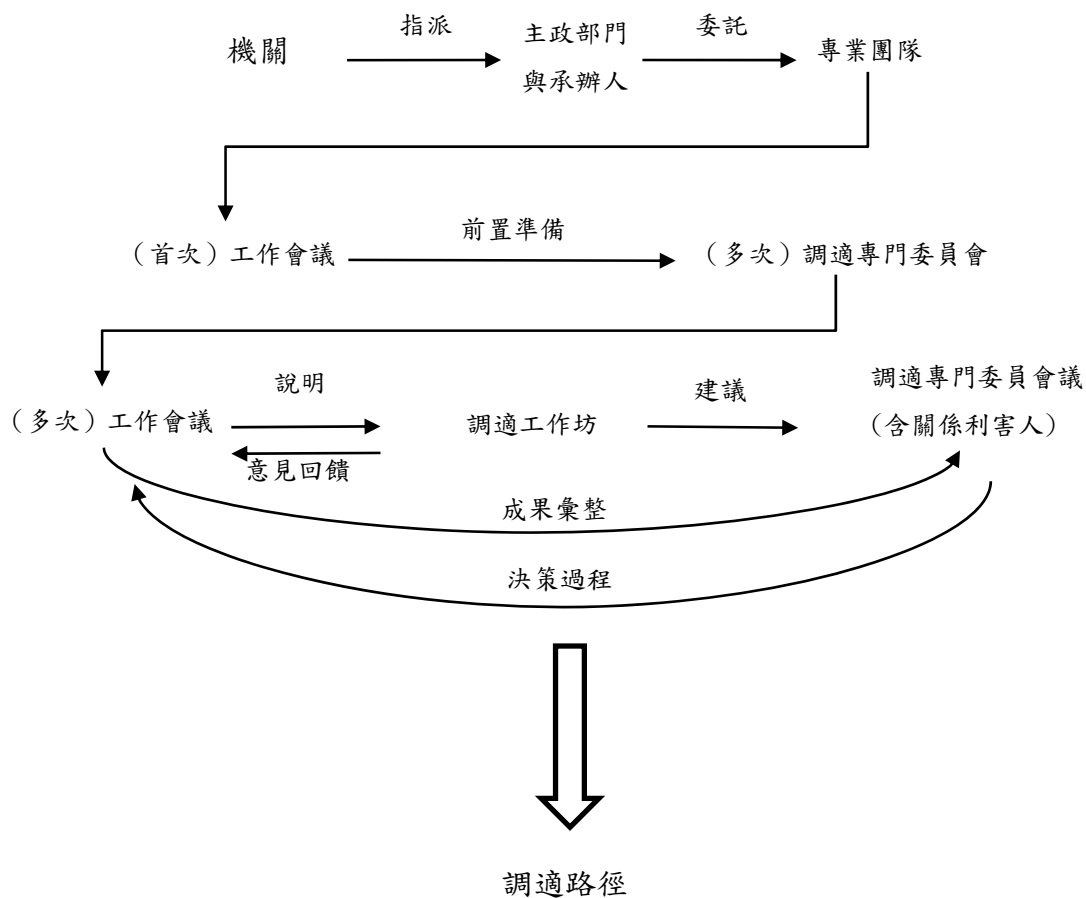


圖 3.6 森林調適相關會議之進行流程。

在人為開發活動及公眾之參與上，大白山附近的開礦對水青岡的衝擊是目前較大的，是否可在環評或其他方式加以限制，而銅山地區台灣水青岡森林是台灣最大的族群，野外監測所提供的資料作為氣候變遷資訊的參考資訊(陳子英等，2016)。

由於大白山—蘭炭山一帶的族群與銅山之間的遺傳略有差異，由研究顯示，在銅山 K3、K4、K6 及 K7 的量較少，但鄰近較低海拔的大白山 1、大白山 2 和蘭炭山則在 K6、K4 和 K7 有較高的量，因此如果要增加銅山地區族群遺傳的多樣性，有必要保留這三個地區的小族群(江友中，2017)。而異地保存上，尚依賴散殖體的繁殖技術；而在大族群的台灣水青岡森林中所設置的動態樣區，在森林建造時可提供





生態資訊和移地時廊道的設計和地點的選定；以協助遷移或營造棲地廊道；當然最重要的可能是由先前的資訊評估目前保護區的適切性，如此才可進行保護區網和異地保存的作法(陳子英等，2016)。綜合上述觀點，大白山及蘭崁山小族群的水青岡森林較銅山地區，應屬於急需保育之族群，於此列出干預的事項及未來可供進行的監測與管理事項(圖 3.7)。

干預點	潛在行動	
棲地與族群穩定度評估	棲地穩定，族群具更新能力 → 就地保育	設置樣區或標定樹木定期監測 協助族群更新 劃設保護區
	棲地面臨威脅，不易更新 → 移地保育	種子庫與散殖體保育 標本園 協助移地族群更新
台灣水青剛低海拔族群	低海拔與中海拔族群遺傳物質分析 → 變異大 特殊的變異遺傳	棲地及族群穩定度評估與保育 遷地保存
物 候	物候調查 →	吐葉、開花、結果及極端氣候對物候的影響
植群監測	定期監測台灣水青岡範圍，特別是颱風過後的調查與記錄	
人為採集及生態教育活動及其他	開礦活動的評估	
	生態教育課程與調適的相關研究	

圖 3.7 台灣水青岡的保育潛在行動。

當前大白山及蘭崁山台灣水青岡森林在 IPCC(2014)風險概念中，因分布海拔低，接近受颱風干擾之東部海岸，且主要族群位於山頂、稜線地形，屬於暴露度較高之生育環境；水青岡本身在臺灣的稀有性，加上不易天然更新，族群分布面積小，面臨優勢的常綠植物競爭，增加了族群脆弱度；全球暖化、極端氣候與人為活動的危害，使得研究區水青岡在各種不利的因素下，承受更大的滅亡風險(表 3.1)(陳子英等，2011；陳品邑，2012；巫智斌，2013；許驊，2015)。

於此由暴露度、脆弱度及危害三個因子列出對大白山及蘭崁山的





台灣水青岡森林之影響，同時由過去氣候影響、族群遺傳、人為開採礦石及生態氣候模擬探討等研究進行討論：

(1)過去氣候影響：

過去研究顯示，全台的水青岡森林中，大白山、蘭崁山的年均溫有顯著上升。此外，蘇澳氣象站資料指出 1982-2013 年間共有 6 次豪雨事件，有 4 次出現在 2008 年前，2009 年後出現 2 次，6 次豪雨事件中有 3 次為颱風造成，尤其是 2010 年 10 月的梅姬颱風與 2012 年 7 月的蘇拉颱風分別帶來 1,195.9mm 和 615.8mm 的總雨量，在氣象站史上排名第一、第二，皆造成嚴重災害（許驊，2015）。

(2)族群遺傳：

江友中（2017）指出大白山及蘭崁山一帶的台灣水青岡族群具有特殊基因型，因這些族群位於獨立山頭，難以與其他地區的水青岡族群進行基因交流，造成族群間遺傳分化較大，而特殊基因便一直保持在本地水青岡族群中（林淑華、何坤益，2010）。分布狹窄的族群一旦經歷氣候暖化或極端氣候等瓶頸效應（population bottleneck），族群內殘存的植株可能近親繁殖以至於遺傳多樣性（genetic diversity）降低，對環境及氣候的調適能力也可能減弱，更不利於族群生存與繁衍（Williamson and Werth, 1999; 李淑敏、姜保真，2011）。

為了達到台灣水青岡保育之目的，基因多樣性應盡力維持，然而大白山和蘭崁山極有可能是水青岡滯後族群，若無法利用自然的生態廊道與其他地區族群進行基因交流，則需透過人為方式協助族群遷徙，否則暖化現象持續或極端氣候的發生，可能造成擁有特殊基因的水青岡族群滅絕，同時也不利於其他地區族群面對未來之氣候或疾病風險（李淑敏、姜保真，2011；Gray and Hamann, 2013）。

(3)人為開採礦石：

大白山與蘭崁山附近主要人為活動為礦石的開採，目前所調查到的水青岡母樹部分分布在礦場擴建的預定地中，距離最近的水青岡森





林族群不足 50m，此外，有少數植株位於礦場預定地下方的溪谷內，一旦礦場開始動工，爆破、挖掘和廢棄砂土傾倒必然使鄰近及溪谷的水青岡族群承受直接傷害，而車輛機具所排出的噪音和廢氣，也會對較遠的水青岡森林生態系產生不利影響（陳子英等，2016），近日礦區在環評後仍想確定台灣水青岡的數目與位置，為經營與管理起見應盡早確定族群的位置和數量。

(4) 生態氣候模擬：

藉由各生態棲位模型預測暖化情境，顯示大白山及蘭崁山水青岡森林在未來分布極度不穩定，約再 20 至 30 年左右，研究區環境將不適宜水青岡族群，現有族群可能完全無法天然更新，族群消失意味生育地將被其他中低海拔植群取代，原本族群具有的特殊基因也將消失。為了避免憾事發生，現階段對策是建議在野外成立監測點，如動態樣區定期關注水青岡森林內的動態變化，並做好遷地保育的準備工作，一旦中低海拔植群數量大幅增加，便要立即進行遷地保育行動。

研究區的台灣水青岡族群在自然情況下不僅處於高風險狀態，未來還需面對氣候暖化和中低海拔植群競爭的困境。然而，更大的威脅可能來自極端氣候，極端氣候能在短時間內對水青岡族群造成毀滅性打擊，然而極端氣候中的颱風和降雨強度目前僅能依過去的氣象資料了解，較難進行預測。然而藉由系統預測，顯示未來西北太平洋颱風生成位置將向東南偏移，路徑朝北偏轉的機率提升，目前雖無法預測侵臺的數目是否增加，但未來颱風待在溫暖海面的時間較長，有較高的機會成為強烈颱風，1980 年後侵臺颱風的生命歷程中達到強颱風標準的比例明顯提高，此現象與上述生成位置改變、路線北偏以及太平洋海溫提高有關（許晃雄等，2011）。而全球預測顯示降水強度和頻率有增加的趨勢，且趨於兩極化，即雨季越溼，乾季越乾，此種變化對需溼冷穩定氣候的水青岡時極為不利之條件，尤其夏季及冬季的乾旱時間變長，然此現象是否與全球預測趨勢相同，還需進一步觀察（黎光秦，2018）。





表 3.1 大白山及蘭崁山台灣水青岡族群風險。

水青岡森林問題	說明	風險來源
族群分布山頂、稜線	山頂、稜線受颱風的瞬間強風與暴雨影響最大。	暴露度
族群分布海拔較低	海拔低平均溫度較高對水青岡族群不利。	暴露度
位於東邊距海岸近	離東部海岸越近，易受颱風等極端氣候影響。	暴露度
族群稀有且具有特殊基因型	台灣水青岡為《文化資產保存法》名列保育植物，且研究區水青岡具有特殊基因型。	脆弱度
族群分布面積小	族群分布面積越小，族群越難延續。	脆弱度
伴生物種多為楠櫛林帶	楠櫛林帶物種多為中低海拔之常綠闊葉樹，可以反應下層植群遷徙至水青岡森林生育地，並與水青岡開始競爭。	脆弱度
族群更新困難	花粉傳播不易、種子結實率低、種子實粒率低、發芽率低、幼苗死亡率高，苗木生長對孔隙環境依存度高。	脆弱度
森林分布面積縮減	大白山近 30 年族群縮減 9.74%，蘭崁山縮減 4%。	危害
暖化現象	研究區年均溫呈現顯著上升。	危害
礦場活動干擾	研究區水青岡森林附近有數個礦場，採礦活動對水青岡族群造成潛在影響。	危害

4.2 羅東林管處轄區內的水青岡保育平台會議

有關羅東處轄內臺灣水青岡的會議現況如下：

1. 臺灣水青岡保育工作會議(I)

壹、時間：109 年 8 月 13 日（星期四）下午 2 時

貳、地點：本處 3 樓會議室

參、主持人：賴處長錫祿





肆、出席單位及人員：如開會通知單

伍、外部參與人員：林世宗、楊正釗、陳子英

陸、報告事項：

- 一、羅東處轄內臺灣水青岡的復育工作執行現況：本處經 108 年 7 月 2 日邀集專家學者研討提供轄內臺灣水青岡復育建議，續於 108 年 10 月 22 日進行分工會議，執行臺灣水青岡保育工作。
- 二、為營造臺灣水青岡復育苗木生長棲地，請陳子英教授協助說明臺灣水青岡樹構生長特性。
- 三、後續臺灣水青岡採種工作，請楊正釗博士協助說明臺灣水青岡採種技術。

柒、討論項目：

一、有關各課室執行之臺灣水青岡保育工作現況及相關問題討論

(一)異地保育工作：配合林務局「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究」計畫適存度模擬結果，進行臺灣水青岡適宜棲地試驗，以做為未來水青岡復育參考運用。有關已移植之苗木生長現況及是否進行棲地調整改善，提請討論。

(1)請太平山工作站說明本處移植之銅山地區種子苗(5 區域)目前生長現況：

來源	移植區域	株數	移植時間
林世宗教授 98-99 年間試驗成果	毛櫟步道口 100 公尺	10	106
	翠峰林道 200 公尺左側雜木林空隙地	40	107
	翠峰林道 4 公里左側崩塌治理過之草生地	70	107
逢玉山箭竹大量枯死，104 年採取苗木，於蘭台苗圃施肥養護供境外復育嫁接砧木使用	翠峰環山步道側	200	109
	翠峰環山步道口停車場旁	50	109





(2)種質保存園現況：為保存蘭崁、大白山地區台灣水青岡族群的遺傳物質，規劃本處白嶺苗圃為臺灣水青岡種質保存園，將 105 年高壓技術保存之 74 株苗木(蘭崁山 62 株，大白山 12 株)，經 109 年 2 月定植於白嶺苗圃，請太平山工作站說明目前生長現況。

(3)請作業課說明蘭崁、大白山地區(新一區、溪谷區)臺灣水青岡以高壓技術之復育工作執行情形。

(二)現地異地保育工作：

(1)請冬山工作站說明蘭崁、大白山族群開花結實情形，提請討論本年度是否執行採種育苗工作。

(2)冬山工作站執行蘭崁、大白山族群物候調查，目前為全年度每月執行，其監測頻度、項目是否調整，提請討論。

二、有關銅山臺灣水青岡長期動態樣區管理問題：山友借道 3.7K 的山毛櫸步道至銅山及下銅山，穿越銅山附近的長期動態樣區，造成對研究上的影響，是否規劃或新增替代道路，並進行事後衝擊的評估，提請討論：

捌、會議決議：

一、請本處太平山工作站、育樂課盤整清查苗木來源，建立清冊，並研擬監測的表格、建立並累積銅山族群及移植族群的監測資料，預計 2 週後處內再召開工作會議，討論本處後續保育工作執行。

二、續請育樂課規劃於 10 月邀集老師到移植棲地現勘提供指導。

2. 臺灣水青岡保育工作會議(II)

壹、時間：109 年 10 月 27/28 日





貳、地點：臺灣水青岡復育棲地、種質保存園

參、主持人：賴處長錫祿

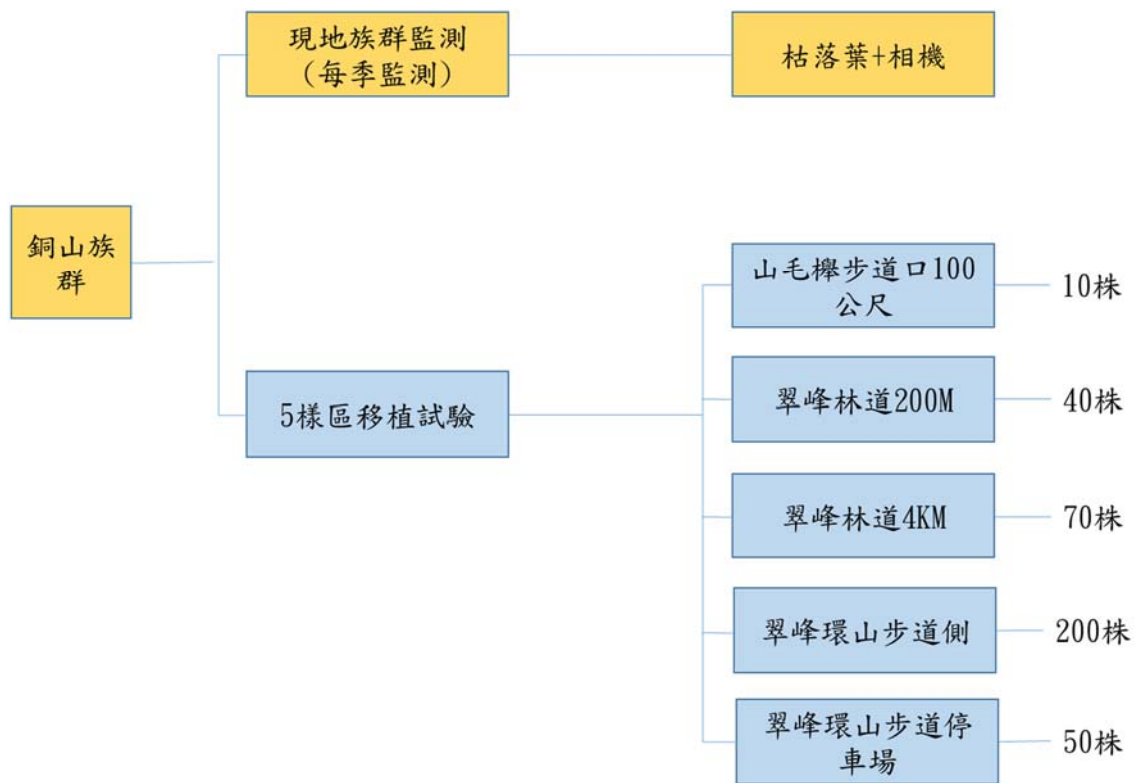
肆、出席單位及人員：如簽到單

伍、外部參與人員：林世宗、楊正釗、陳子英

陸、現勘討論及建議紀錄：

- 一、移植於種質保存園(白嶺苗圃)的高壓苗木，部分可能因為排水不良致生長情形不佳，應儘速改善苗圃灌排設施，持續觀察芽苞及枝條生長情形是否獲得改善，夏季則建議視情況增加遮蔽設施。
- 二、移植棲地試驗，5 個樣區中以翠峰林道 200m 樣區，棲地可能最符合水青岡小苗生長所需的森林孔隙地樣態，生長情形最佳；翠峰林道 4Km 樣區，建議將來可規劃部分區域試作施肥試驗；停車場旁及環湖步道旁樣區苗木種植密度較高，建議未來可調整間距，以符合生長所需空間，目前這 2 區域苗木尚小，可多留意樹高、基徑、芽苞的生長，可先不量測樹冠幅，並以半年調查一次即可。
- 三、以目前移植出去的苗木經驗，建議未來的種子苗移植復育工作可為：採種後發芽處理成功的苗木，可先於環境適合的苗圃盆育，以 3 吋盆培育約 30cm 高度時，換以 5 吋盆，至苗高約 1m，5-6 年左右苗木再經環境馴化後移植於棲地，培育期間基質以蛭石、珍珠石、有機土等調配保持溼度並保持排水，可輔以好康多等長效型(180 天或 360 天)基肥，可提高復育的成功率。
- 四、建議銅山及大白蘭崁地區 2 邊族群持續進行物候調查，並盡量同步兩邊的調查期間、調查項目、觀察重點以利後續資訊的分析與比較。





4.3 大白山到蘭崁山配合 UAV 的台灣水青岡監測調查：

本計畫於 2020 年度春季於大白山至蘭崁山地區以無人機飛行載具(UAV)配合台灣水青岡族群監測調查，除了延續監測 2019 年秋季於大白山區清水溪溪谷的第三、四區以及位於蘭崁山的第一區台灣水青岡族群，並新增監測範圍於兩者之間的第二區台灣水青岡族群(圖 3.8)，在 UAV 的應用上雖然具有實時、便利、成本低且高解析度等優點，然而在實際監測研究的運用上卻仍然有需多問題需要解決，台灣水青岡主要分布於雲霧繚繞的霧林帶，其雲霧形成時間通常於中午過後便由於潮濕空氣隨著地形抬升而生成濃厚的雲霧，持續的時間更可能長達數十個小時，因此而限制了 UAV 調查的可行調查時間，導致地物被雲層所遮蔽而影響飛行拍攝任務的進行(圖 3.9)，而若 UAV 調查時間過於提前則會導致太陽入射角度過度傾斜而使所蒐集的 UAV 影像光度明顯不足造成後續疊圖與辨識上的困難，且會因 UAV 任務飛行





區域的地形限制與太陽光入射角的交互影響而使所得 UAV 影像形成過多的陰影遮蔽，而降低後續生成影像之品質，午後則會因為太陽入射光度過強而使所蒐集 UAV 影像過度曝光影響圖像品質，且雲霧開始生成而影響飛行任務的進行，計畫期間經多次的飛行任務與後續疊圖品質的比較分析，歸納出本區域的最適飛行任務時間約每日 9:00~11:00，此時段之太陽入射角度、光度皆對影像品質有較好的呈現，而可供後續 UAV 影像疊合分析與圖像辨識之利用。

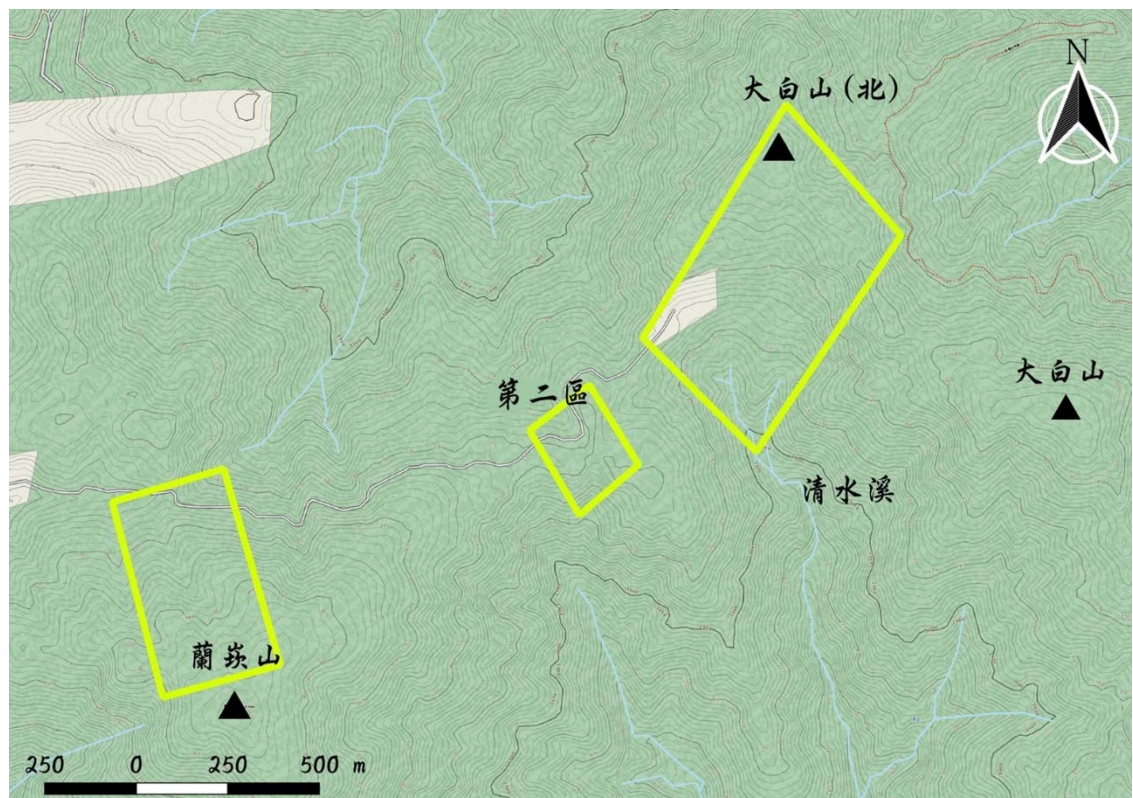


圖 3.8 本計畫 UAV 任務航線範圍。

由於台灣水青岡屬於落葉性闊葉樹，春季抽芽，夏季成熟葉為深綠色，而秋季落葉由原本的深綠色轉為亮麗之金黃色，冬季則樹葉盡落獨留空枝，故若欲以 UAV 航照判釋台灣水青岡樹冠之季節較宜選擇春、夏、秋三季，然而在夏季因水青岡葉子已經成熟呈深綠色，而易與其他樹種混淆，需較具經驗之調查者才得以依樹冠特徵與顏色區分，而秋季水青岡樹葉轉為金黃色時也易與同時期變色之青楓產生混





淆，故在水青岡樹冠的判釋上仍具一定挑戰性而須進行持續性的研究資料累積，以歸納出該區域的水青岡判釋特徵與伴生樹種的差異比較分析。

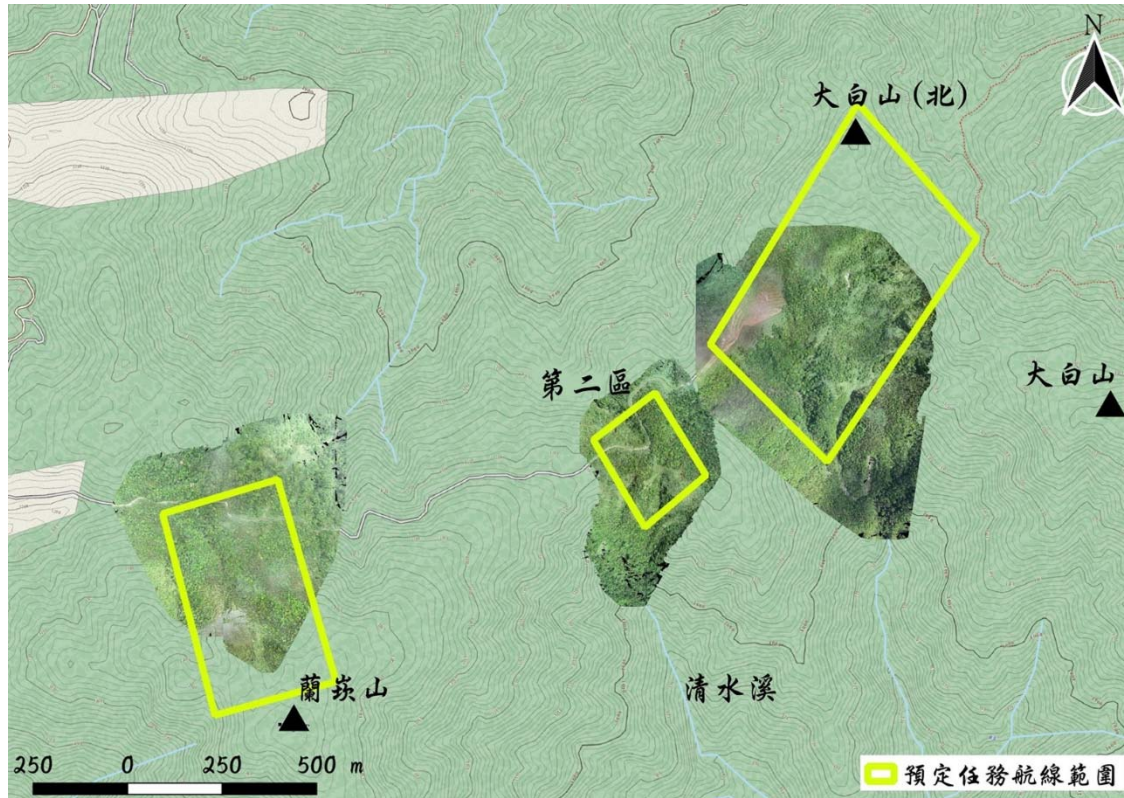


圖 3.9 航線規劃範圍與 UAV 實際疊合正射影像範圍。

透過現地拍攝的 UAV 影像經軟體疊合成正射影像後，利用 GIS 軟體進行後續分析判釋，並以過去現地調查的台灣水青岡點位進行比對，判釋可能的水青岡植株分布，以觀測現地調查未能觀測到之台灣水青岡植株，以更加清楚呈現大白-蘭茨山地區台灣水青岡族群可能出現的分布與族群數量(圖 3.10、3.11、3.12)。



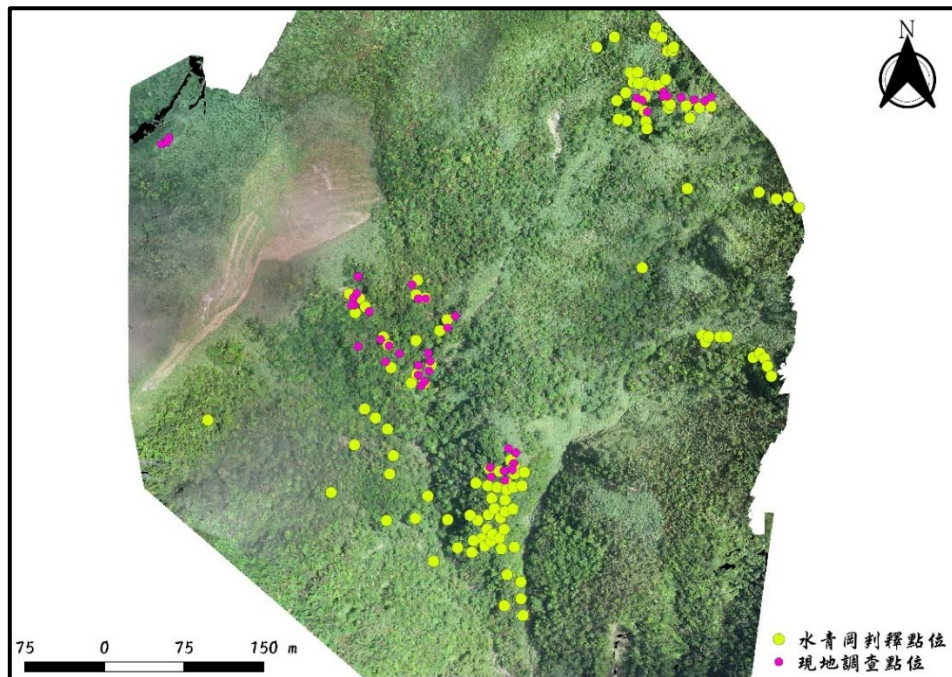


圖 3.10 大白山第三、四區 UAV 判識可能水青岡植株與現地調查點位。

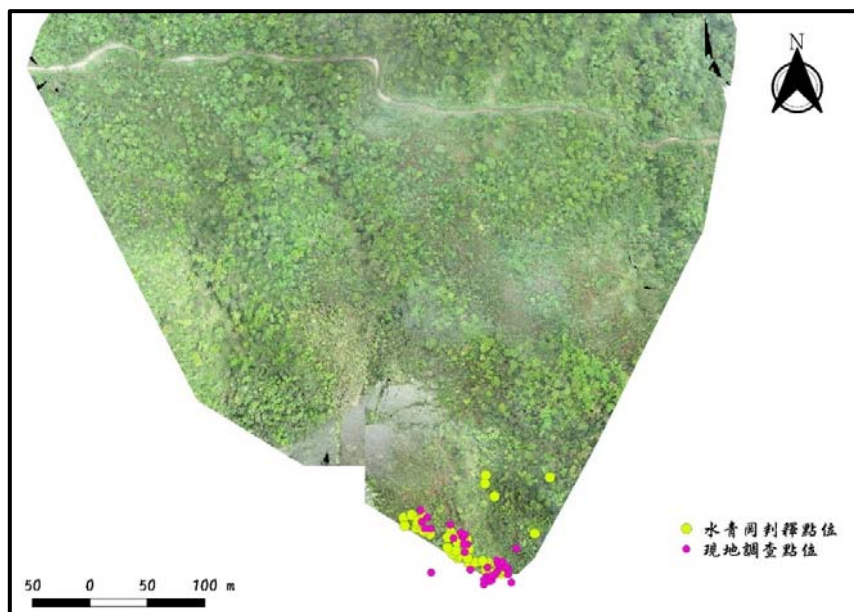


圖 3.11 蘭崁山第一區 UAV 判識可能水青岡植株與現地調查點位。



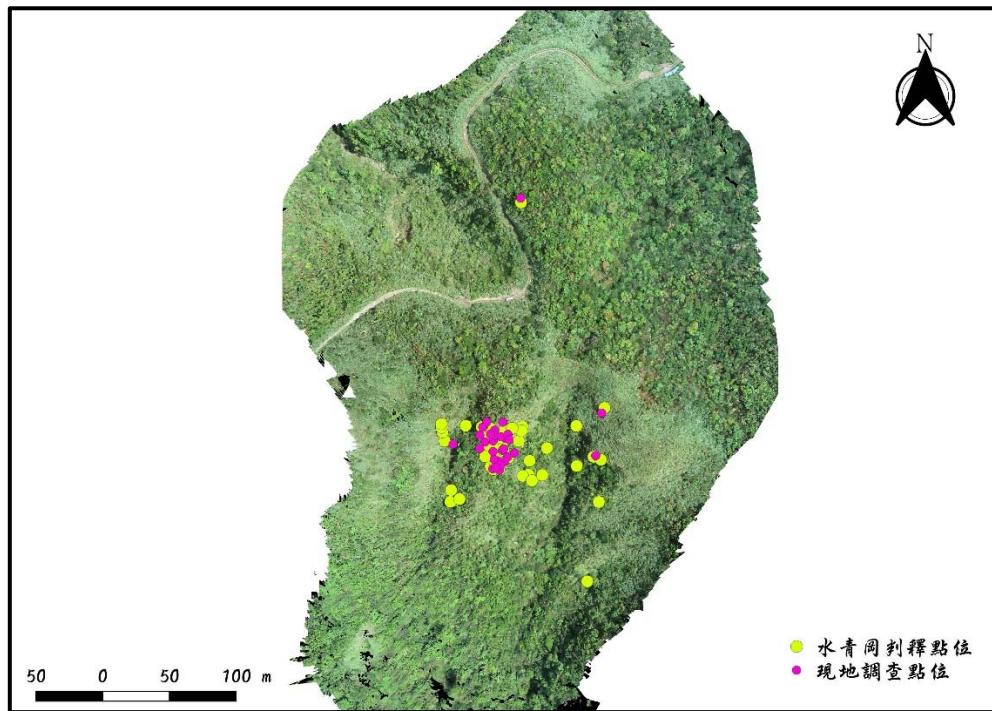


圖 3.12 第二區 UAV 判識可能水青岡植株與現地調查點位。

利用 UAV 對目標樹種台灣水青岡的族群監測，除了可以提供可能的台灣水青岡植株分布位置，對於人員較難以到達的山稜、溪溝，也可藉由 UAV 影像疊合之正射影像圖，透過 GIS 軟體數化經圖像判釋可能的台灣水青岡樹冠範圍(圖 3.13)。雖能透過 UAV 影像觀測上層優勢物種的分布狀況與生長情形，但伴生物種及下層地被植物的變化以及台灣水青岡的族群更新狀況，仍需透過配合現地的詳細調查才能更精確的評估台灣水青岡的族群變動，使監測更加全面與完整性。故未來在藉由 UAV 影像判釋的輔助，了解區域內台灣水青岡可能出現之分布位置，而後再經由調查人員進行可能分布區域的現地調查與地面資料蒐集，以對台灣水青岡族群分布及生存狀況研究達到更準確及更有效率的調查方式。



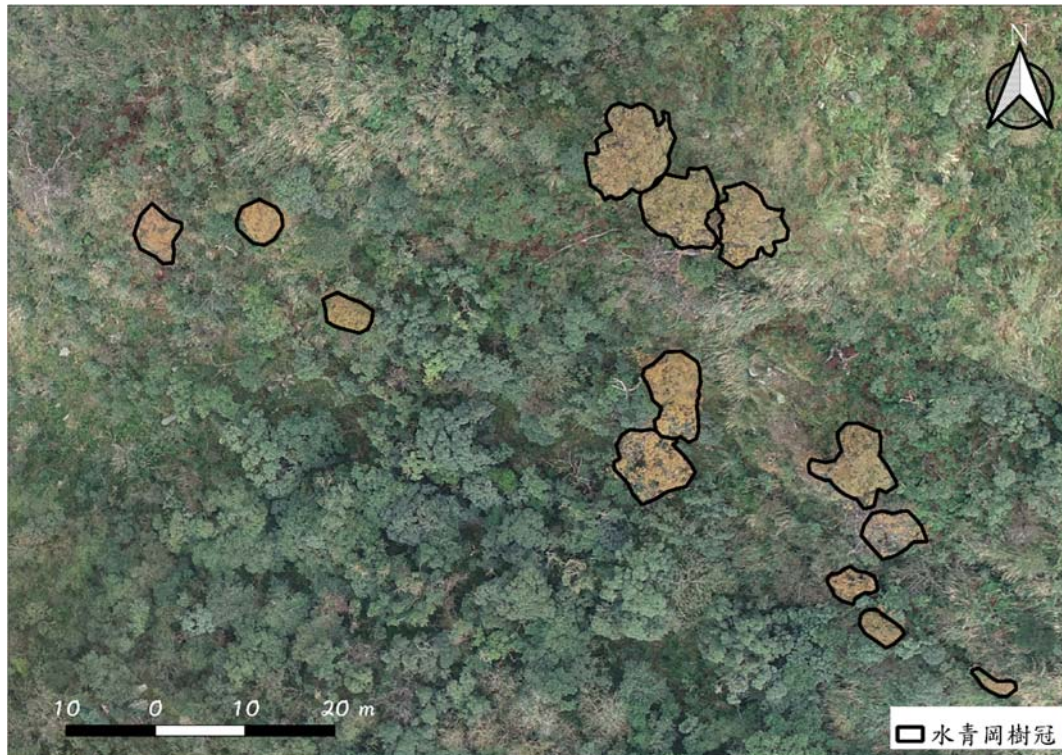


圖 3.13 利用 UAV 正射影像數化台灣水青岡樹冠範圍。

於 2020 年春季的 UAV 正射影像判釋結果顯示，台灣水青岡族群與伴生樹種的分類判釋上仍有一定的限制，在影像的蒐集與分析上仍受限於天氣、時間與地形對影像品質的影響，故在飛行任務的規劃上仍需要透過不斷的嘗試以獲取可供研究分析的資料品質，各期的 UAV 正射影像亦透過地面控制站的設置以避免個季節的影像疊合誤差，以利未來應用 UAV 對目標樹種的族群的物候監測，除了可透過 UAV 正射影像判釋可能的台灣水青岡族群分布，對於人員難以到達的地方，也能藉由 UAV 正射影像透過 GIS 軟體數化可能的台灣水青岡樹冠以觀測台灣水青岡個體的生長狀況與物候變化，然而僅僅透過 UAV 的調查仍會受限於氣候狀況與影像判釋上的誤差，故現地的永久樣區調查仍是監測台灣水青岡族群的必要設置，UAV 正攝影像仍無法清楚判釋台灣水青岡植物社會下層地被植物的變化及台灣水青岡小苗更新的狀況亦或台灣水青岡的細部生理特徵如成熟果實的孕性等，這些更詳





細的族群變化狀況與族群更新模式仍需透過研究人員的現地調查才能進行更詳細的觀測，故台灣水青岡族群的監測調查透過陸上的現地永久樣區調查進行詳盡的族群更新變動模式檢測與台灣水青岡植物社會的變化分析並搭配空中的 UAV 正射影像的航照判釋輔助台灣水青岡大族群的分布與族群變動情形，達到小尺度與中尺度的族群監測整合，對大白-蘭崁地區的台灣水青岡族群保育提供更有效率且更為全面性的監測調查模式，以達到確保調查人員安全與更便利及實時的監測方式(圖 3.14)。



圖 3.14 運用 UAV 搭配現地調查野外監測流程。

4.4 台灣水青岡森林在銅山之複測

銅山長期動態樣區位於宜蘭縣南澳鄉銅山一帶，隸屬於羅東林區管理處的南澳事業區，其河川流域為南澳溪流域，海拔約為 1,850m(陳品邑，2012)(圖 3.15)。面積為 2.2ha，其中 2ha 為 2005 年劃設，而於 2009 年複測第一次，於 2015 年複測第二次；而 0.2ha 為 2010 年 7 月 20 日增設，於 2015 年第一次複測。





總樣區形狀為一矩形，南北向約為 120m，東西為 200m，共有 220 區，每區大小為 $10 \times 10 \text{m}^2$ 。為使調查人員方便確認樣木位置及調查，於 $10 \times 10 \text{m}^2$ 又畫分為 4 個 $5 \times 5 \text{m}^2$ 為之小方格，依順時針方向東南小樣方為 A，西南為 B，西北為 C，東北為 D。樣區多為東向坡面，且藉由無人機正攝影像圖可清楚看見樣區的台灣水青岡植物形象。

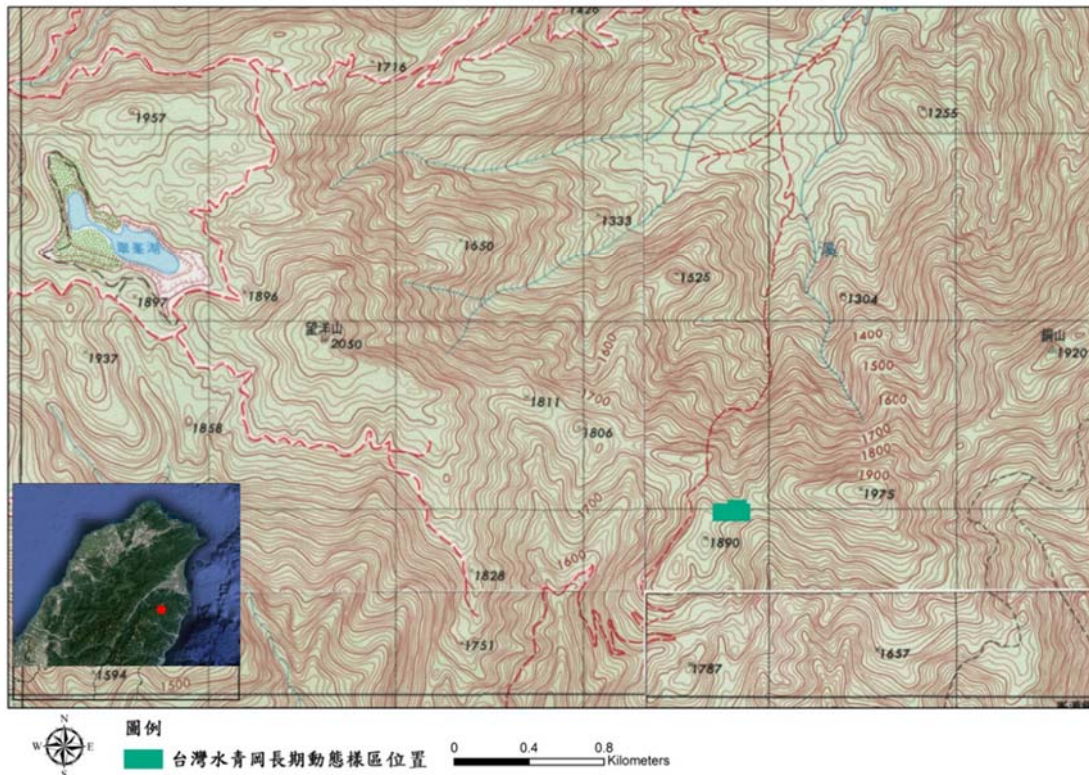


圖 3.15 銅山長期動態樣區位置圖。

目前已完成動態樣區調查，並進行森林組成、森林動態變化等三個部分的分析，並與 2015 的調查資料相互比對，以了解銅山水青岡森林的變化。

1. 物種組成

2020 年複查共量測了 12,623 株木本植物，為 24 科 32 屬 42 種，裸子植物 1 種，雙子葉植物 41 種；其中有 14 種為特有種，根據「臺





灣維管束植物紅皮書初評名錄」中依照 IUCN 瀕危物種所評估等級，臺灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)為接近威脅(NT)物種，於樣區內各僅量測到一株(附錄 1)。

本次調查到最多的物種為阿里山灰木(*Symplocos arisanensis*)4,058 株(32.2%)，其次為高山新木薑子(*Neolitsea acuminatissima*)2,038 株(16.2%)，兩者株數占總株數近一半(表 3.2)。

2. 優勢度

斷面積總計為 114.73m²，與 2015 年相比有些微增加，其中以臺灣水青岡 68.94m²(60.09%)最高，其次為阿里山灰木 8.84m²(7.7%)，第三為昆欄樹(*Trochodendron aralioides*)的 7.82m²(6.81%)。

重要值(IV 值)最高為臺灣水青岡 31.8%，其次為阿里山灰木 19.93%，第 3 為高山新木薑子 9.62%，排名 4 到 10 分別為短柱山茶(*Camellia brevistyla*)8.98%、假柃木(*Eurya crenatifolia*)8.45%、白花八角(*Illicium anisatum*)4.7%、三斗石櫟(*Lithocarpus hancei*)4.44%、昆欄樹 3.57%、霧社木薑子(*Litsea elongata* var. *mushaensis*)1.69%及南燭(*Lyonia ovalifolia*)1.12%。前十名重要值加總為 94.29%，其中殼斗科、灰木科及樟科佔的比例最大，分別佔 36.73%、19.93%、11.33%。

表 3.2 2020 年銅山樣區物種組成(註:”+”:樹冠層, ”**”:次樹冠層, 其餘為下層)

排序	樹種	株數 (no.)	密度 (stems ha ⁻¹)	相對密度 %	斷面積 (m ²)	相對斷面積 (%)	IV 值 (%)
1	臺灣水青岡+	444	201.82	3.52	68.94	60.09	31.80
2	阿里山灰木	4058	1844.55	32.15	8.84	7.70	19.93





排序	樹種	株數 (no.)	密度 (stems ha ⁻¹)	相對密度 %	斷面積 (m ²)	相對斷面積 (%)	IV 值 (%)
3	高山新木薑子	2038	926.36	16.15	3.54	3.09	9.62
4	短柱山茶	1695	770.45	13.43	5.20	4.53	8.98
5	假桫欏	1953	887.73	15.47	1.64	1.43	8.45
6	白花八角*	514	233.64	4.07	6.12	5.34	4.70
7	三斗石櫟*	738	335.45	5.85	3.49	3.04	4.44
8	昆欄樹+	41	18.64	0.32	7.82	6.81	3.57
9	霧社木薑子*	193	87.73	1.53	2.11	1.84	1.69
10	南燭	192	87.27	1.52	0.82	0.71	1.12
11	烏皮九芎*	66	30.00	0.52	1.42	1.24	0.88
12	日本女貞	148	67.27	1.17	0.52	0.46	0.81
13	小葉石楠	175	79.55	1.39	0.18	0.15	0.77
14	毬子櫟*	60	27.27	0.48	0.60	0.52	0.50
15	薄葉虎皮楠*	26	11.82	0.21	0.70	0.61	0.41
16	假繡球	80	36.36	0.63	0.21	0.18	0.41
17	厚葉桫欏*	73	33.18	0.58	0.25	0.21	0.40
18	青楓+	7	3.18	0.06	0.82	0.71	0.38
19	臺灣掌葉槭*	29	13.18	0.23	0.24	0.21	0.22
20	臺灣扁柏+	1	0.45	0.01	0.43	0.38	0.19





排序	樹種	株數 (no.)	密度 (stems ha ⁻¹)	相對密度 %	斷面積 (m ²)	相對斷面積 (%)	IV 值 (%)
21	食茱萸*	1	0.45	0.01	0.27	0.23	0.12
22	賊仔樹*	11	5.00	0.09	0.12	0.10	0.09
23	巒大紫珠	20	9.09	0.16	0.01	0.01	0.08
24	墨點櫻桃	6	2.73	0.05	0.09	0.08	0.06
25	臺灣赤楊	1	0.45	0.01	0.11	0.09	0.05
26	臺灣老葉兒樹*	7	3.18	0.06	0.04	0.04	0.05
27	玉山杜鵑	7	3.18	0.06	0.03	0.03	0.04
28	福建賽衛矛	8	3.64	0.06	0.01	0.01	0.04
29	布氏稠李	3	1.36	0.02	0.03	0.03	0.03
30	臺灣紅榨槭*	1	0.45	0.01	0.05	0.04	0.02
31	海洲常山	4	1.82	0.03	0.02	0.02	0.02
32	臺灣樹參	2	0.91	0.02	0.02	0.02	0.02
33	細枝柃木	4	1.82	0.03	0.00	0.00	0.02
34	松田氏莢蒾	4	1.82	0.03	0.00	0.00	0.02
35	圓葉冬青*	1	0.45	0.01	0.02	0.02	0.01
36	大葉溲疏	3	1.36	0.02	0.00	0.00	0.01
37	假長葉楠	2	0.91	0.02	0.01	0.01	0.01
38	玉山糯米樹	2	0.91	0.02	0.00	0.00	0.01





排序	樹種	株數 (no.)	密度 (stems ha ⁻¹)	相對密度 %	斷面積 (m ²)	相對斷面積 (%)	IV 值 (%)
39	變葉新木薑子	2	0.91	0.02	0.00	0.00	0.01
40	鈍齒鼠李	1	0.45	0.01	0.01	0.00	0.01
41	通條樹	1	0.45	0.01	0.00	0.00	0.01
42	日本山茶	1	0.45	0.01	0.00	0.00	0.00
總計		12623	5737.73	100	114.73	100	100

3. 森林動態變化

2020 年複查共新增了 5,135 株新增樹木，共記錄到 1,654 株樹木死亡，2015 年新增數及死亡數分別為 1,226 株及 1,879 株(表 3.3)。阿里山灰木及高山新木薑子尤其增加明顯，數量比前兩次複查都多出三倍以上，此次一變化可能與地被優勢種玉山箭竹覆蓋度大幅減少有關。

對照四次調查新增死亡植株在地圖上的分布變化，2009 年於樣區北邊新增了 20 個 10 X 10 m 的樣區，原本的樣區內死亡的植株多分布在中間的森林內；2015 年的死亡株數略多於新增株數，且死亡植株在整個樣區內的分布都有極多的數量；2020 年於圖上可見新增株數比死亡株數還要多，幾乎所有區域都有新增植株(圖 3.16)。





表 3.3 2005 年至 2020 年新增數與死亡數對照。

年份	新增數	死亡數	總數
2005	0	0	10,133
2009	1,230	1,478	9,844
2015	1,226	1,899	9,237
2020	5,135	1,654	12,623

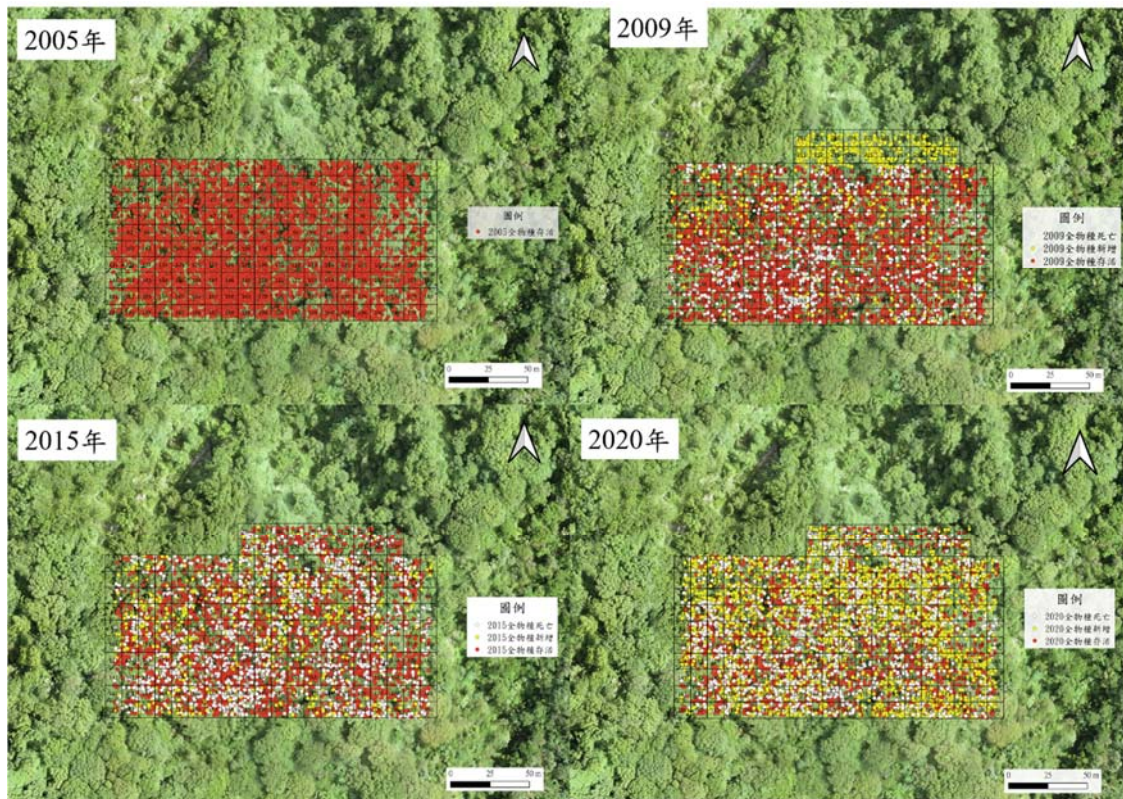


圖 3.16 歷次調查新增、死亡、存活植株變化圖。(註：紅點：存活，黃點：新增，白點：死亡)

比較本次主要物種的新增率及死亡率，新增率最高的為高山新木薑子(99.56%)，其次為阿里山灰木(84.98%)，再其次為三斗石櫟(78.37%);死亡率最高的為賊仔樹(52.38%)，其次為小葉石楠(33.54%)，再其次為烏皮九芎(30.55%)(圖 3.17)。



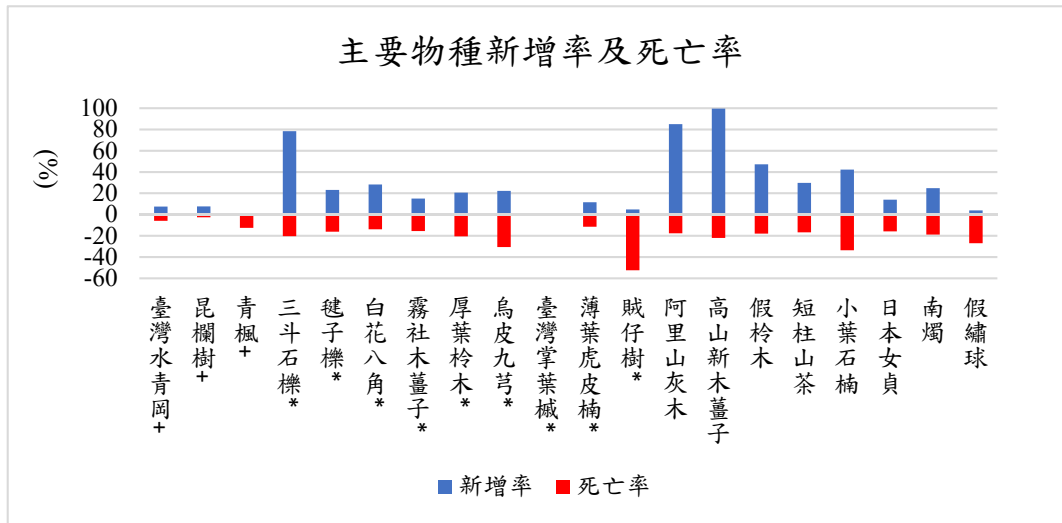


圖 3.17 主要物種新增率及死亡率。

將上中下層的主要樹種新增死亡數量製成徑級分布圖來觀察各物種歷次的動態變化，上層及中層每 5cm 為一個徑級，最小徑級為 1-5cm，最大為 >80cm。下層徑級分別為 1-3cm、3-5cm、5-15cm、15-20cm 及 >20cm。上層的物種分別為臺灣水青岡及昆欄樹，中層為三斗石櫟及白花八角。

臺灣水青岡於 2009 年新增樹極多是由於新增了 0.2ha 的樣區的關係，2015 年有許多 10cm 徑級的植株死亡，2020 年又新增許多 10cm 徑級的植株，且多為分枝(圖 3.18)。昆欄樹的新增數是三種上層主要樹種中最少的，死亡植株多落在中小徑級(圖 3.19)。

中層三斗石櫟歷次的死亡植株多為小徑級，2015 年死亡株數最多，2020 年新增最多植株，多為 10cm 徑級分枝(圖 3.20)。白花八角於 2020 年新增最多，死亡及新增植株多在 1-5cm 徑級，且每次調查的新增株數都有在增加(圖 3.21)。



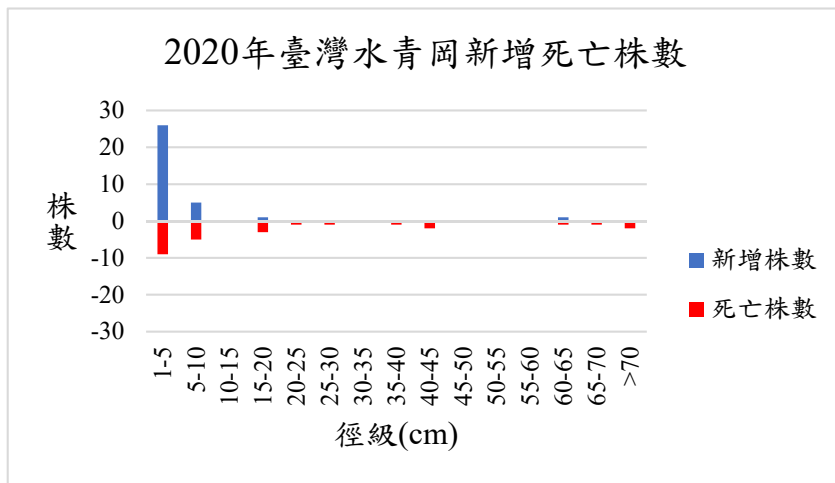
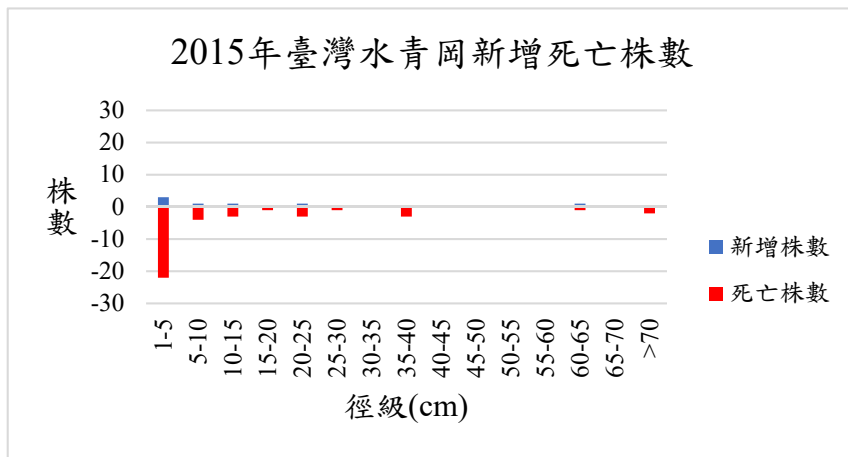
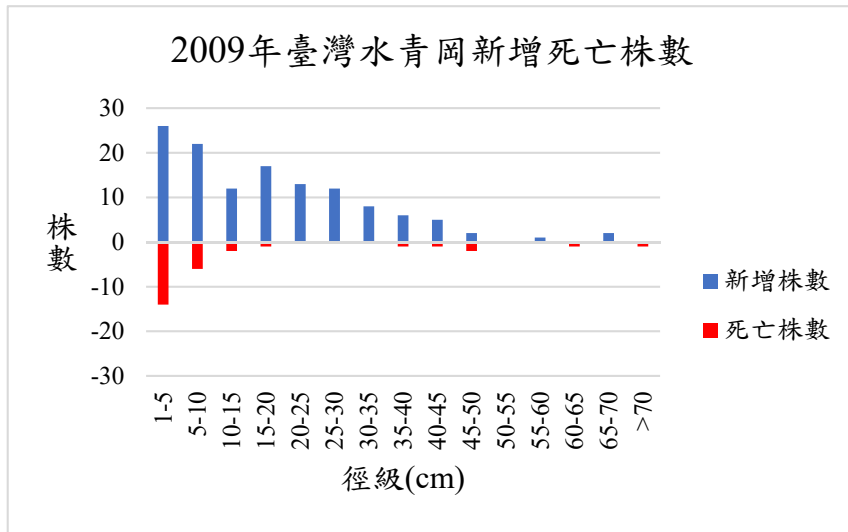


圖 3.18 臺灣水青岡歷次新增死亡株數徑級分布。



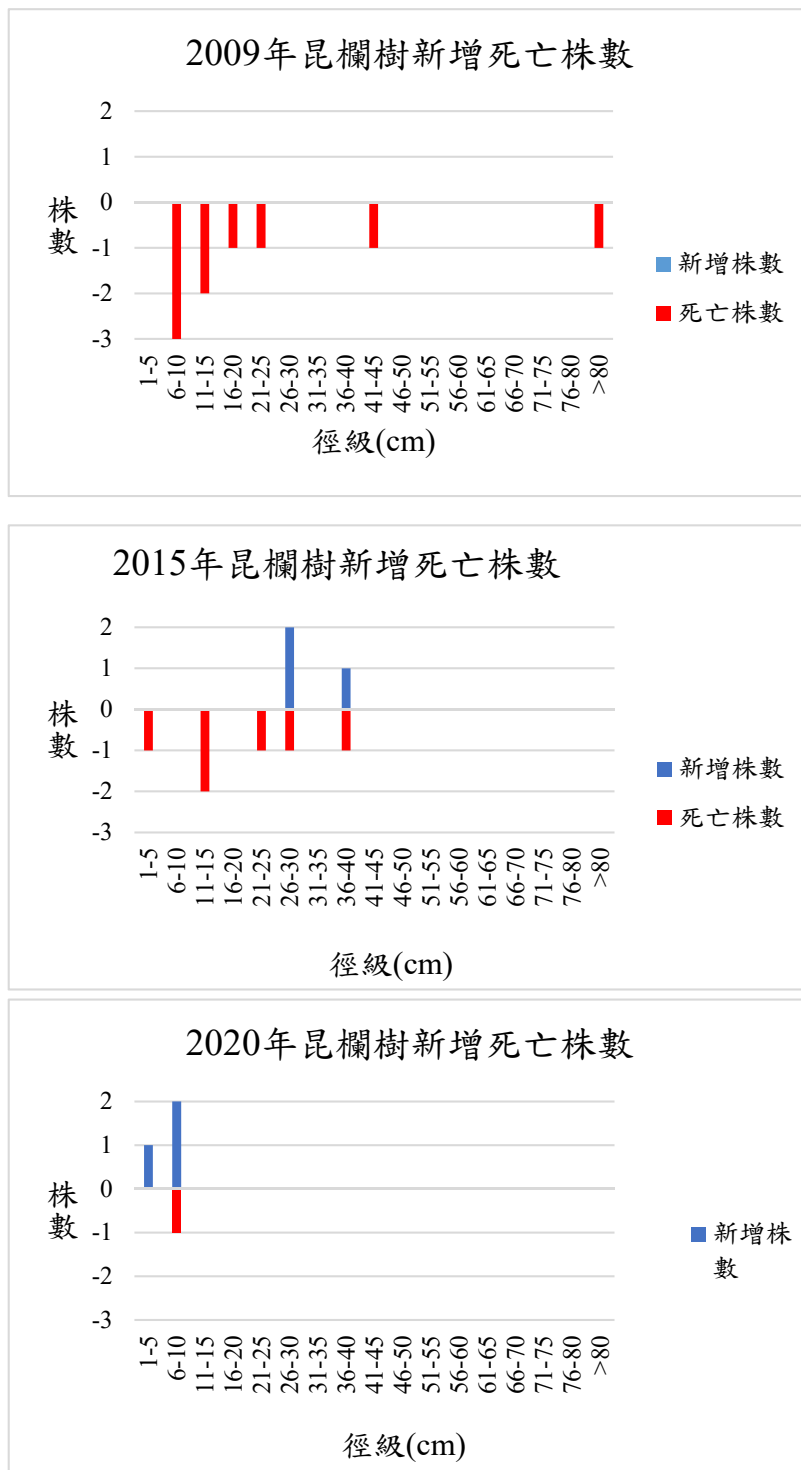


圖 3.19 昆欄樹歷次新增死亡株數徑級分布。



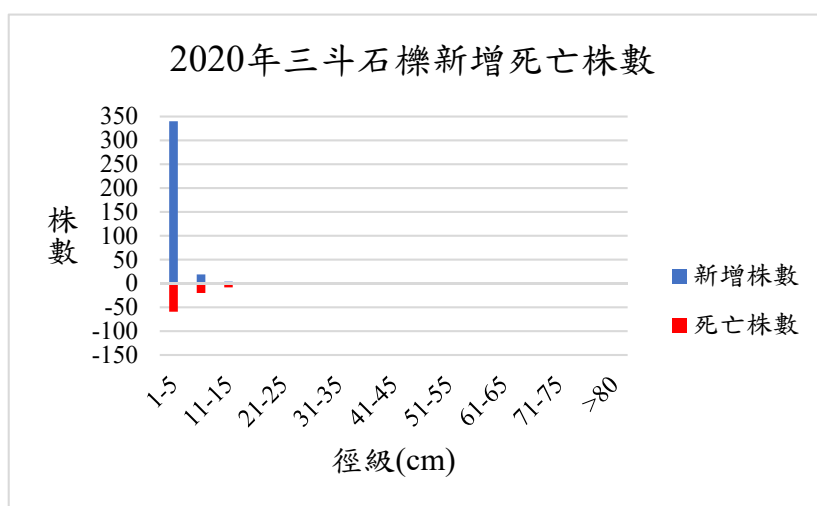
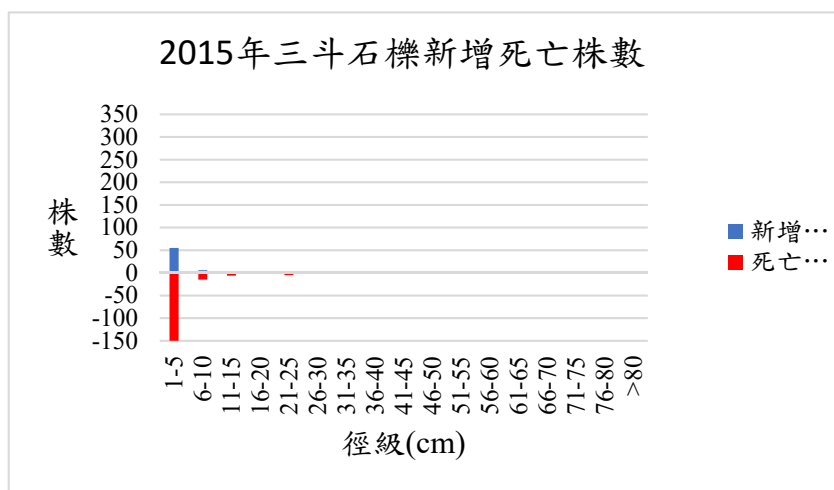
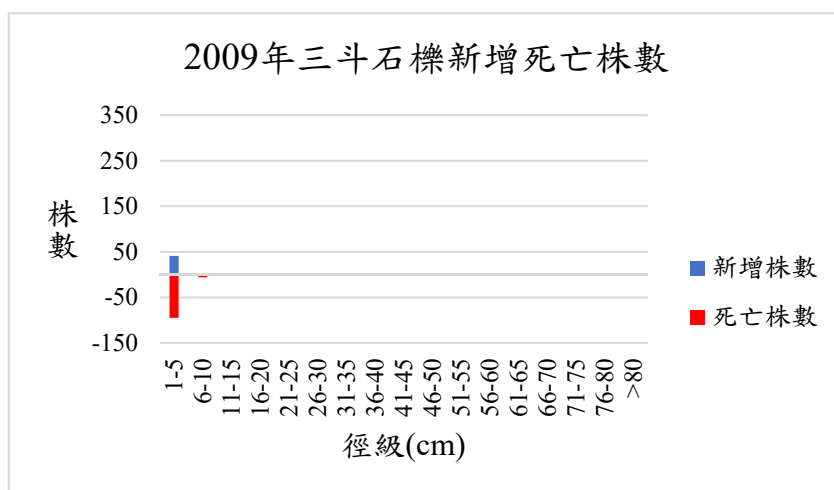


圖 3.20 三斗石櫟歷次新增死亡株數徑級分布。



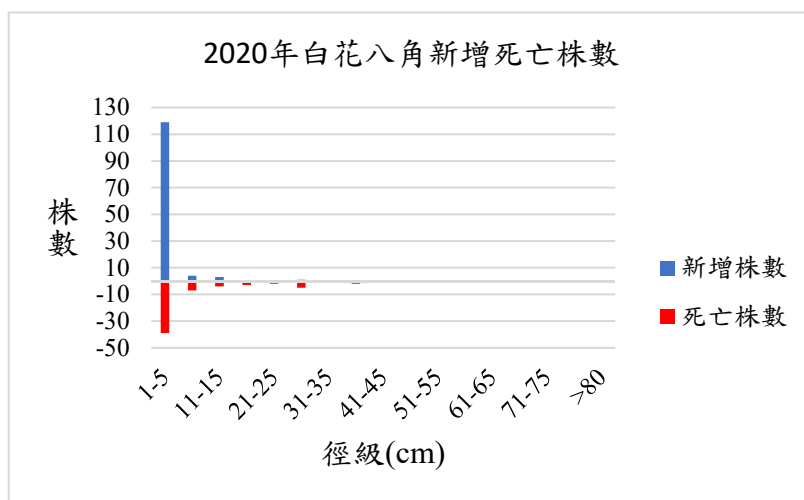
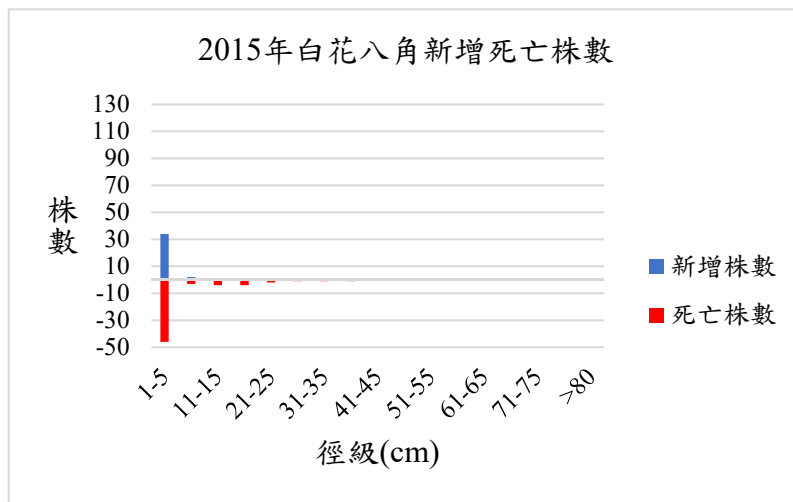
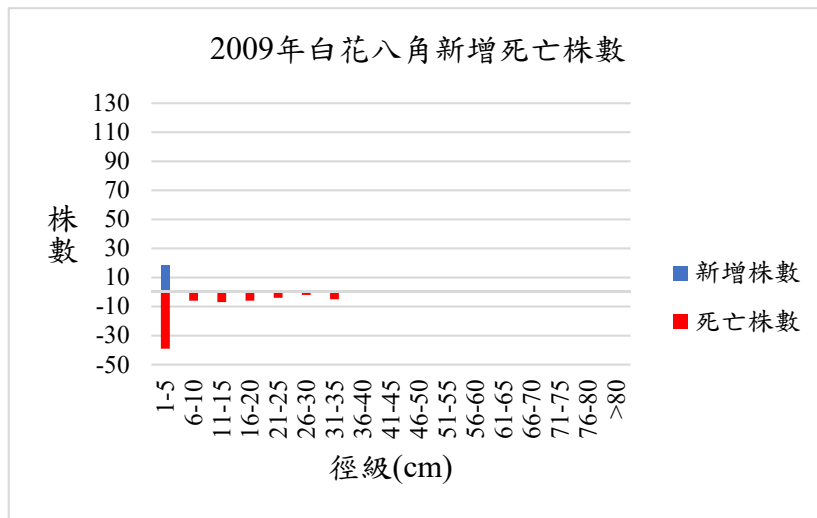


圖 3.21 白花八角歷次新增死亡株數徑級分布。





臺灣水青岡共新增 33 株，死亡 26 株，共記錄到 444 株存活。新增植株多為徑級 10cm 的分枝；死亡植株有數棵徑級 40cm 以上的大樹死亡(圖 3.22)。水青岡新增植株多分布在樣區北邊樹冠上層較稀疏的芒草區，死亡植株則分布在樣區內的成熟森林中間及西南角的位置(圖 3.22)。

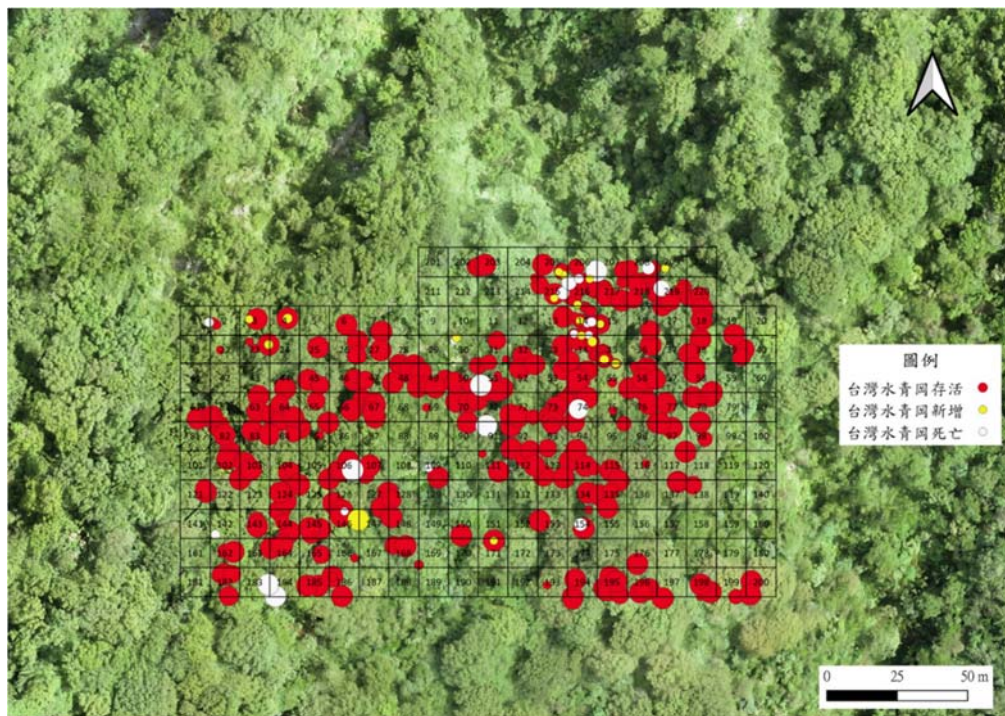


圖 3.22 臺灣水青岡空間分布圖。

比較四次臺灣水青岡的徑級，皆成多形量型曲線，表示銅山動態樣區的水青岡森林是屬於老熟林的森林且有小樹補充，各徑級的組成沒有明顯的變化(圖 3.21)。





圖 3.21 歷次調查臺灣水青岡徑級圖。

比較臺灣兩個地區以及中國的台灣水青岡狀況，三個地區的徑級分布由於生長環境不同而有所差異，以徑級分布說明各地區的水青岡族群生長狀況。

銅山台灣水青岡的徑級呈多形量型，有充足的小樹補充，族群更新狀況較穩定，相較於大白山及蘭炭地區，徑級呈現鐘型，小樹更新狀況不佳，沒有充足的小樹補充，造成族群狀況不穩定(圖 3.22)，兩個族群的底層有許多玉山箭竹，也造成水青岡族群的更新狀況不佳。與中國清涼峰的臺灣水青岡比較，清涼峰的水青岡徑級呈反J型，有充足的小樹補充(圖 3.22)，且由於當地有降雪，會將箭竹壓低，因此整體更新狀況良好。





由族群徑級結構和遺傳來看，臺灣水青岡的優先保育層級，在未來制定臺灣水青岡保育的行動方針上，應先搶救大白山及蘭炭地區的族群，銅山水青岡的族群相對穩定，可持續進行野外的監測。

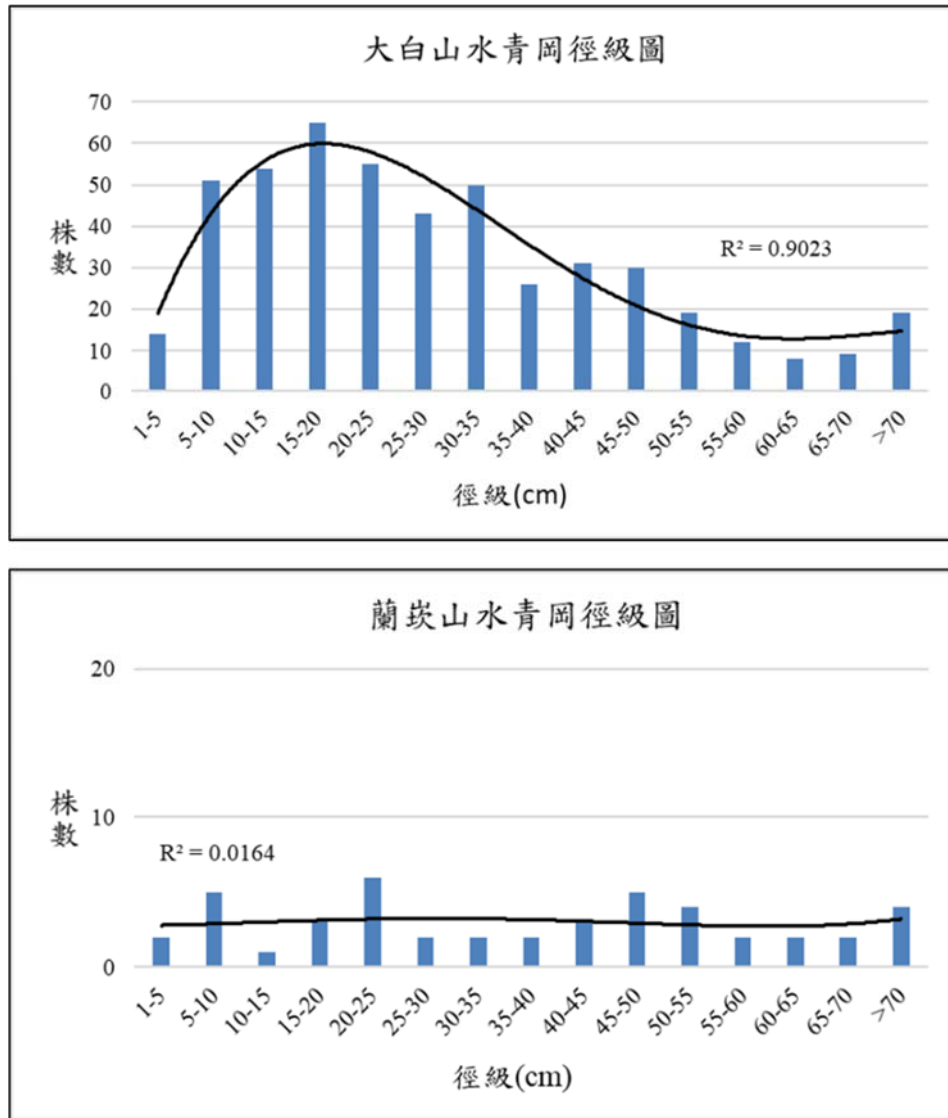


圖 3.22 大白山及蘭炭地區臺灣水青岡徑級圖。





五、結論

1. 進行區域的保育平台，將所獲得的成果整合到林區管理處；並在羅東林區管理處完成兩次水青岡森林會議，在羅林處討論保育標的物之適應性經營架構概念(ACT) (Cross *et al.*, 2012)，操作台灣水青岡生態系在氣候變遷下之調適與保育。
2. 在UAV配合植群調查上，部分較小的台灣水青岡族群是氣候模型無法預測的，這些陡峭的地形在台灣水青岡落葉前或展葉時，葉子顏色有變化時，可用UAV去調查；另部份預測的地點，但目前未列入紀錄的地區，也可試著用UAV去調查，確定是否有水青岡再做地面調查。目前經由2019秋季和2020春季進行調查，由於本地多雲霧仍會受到雲霧與日照的影響，較無法獲得良好的照片，需多次調查，並在9:00-11:00間能得到較好的效果。同時經由航拍也發現在新一區有許多上次未標記到的台灣水青岡，然今年秋天之際再前往時天氣較不理想，期待明年再進行拍攝與調查。
3. 目前已完成動態樣區複測調查，並進行森林組成、森林動態變化等分析，與2015年的調查資料相互比對，銅山台灣水青岡的徑級呈多形量型，有充足的小樹補充，族群更新狀況較穩定。大白山及蘭崁地區，徑級呈現鐘型；大白山及蘭崁地區相較於銅山地區，小樹更新狀況不佳，沒有充足的小樹補充，造成族群狀況不穩定，應先進行易地保存。

六、期末評核標準

評核標準	達成情形
1.進行大白山-蘭崁山地區三個小族群的野外樣地監測調查。	完成大白山-蘭崁山地區三個小族群的野外樣地監測調查。





2.完成銅山水青岡森林2.2ha動態樣區的複測。	完成銅山水青岡森林2.2ha永久樣區的複測。
3.完成兩次保育平台，將所獲得的成果整合到林區管理處。	目前與羅林處已進行兩次平台會議，已針對水青岡的遷地復育進行討論與現地訪視和實地操作的意見討論。
4.完成國內研討會論文1 篇	參與中華林學研討會並發表報告一篇

七、參考文獻

- 江友中 (2017) 臺灣水青岡遺傳物質資源調查。行政院農業委員會林務局羅東林區管理處 105-731-01-11。57 頁。
- 巫智斌 (2013) 台灣東北部銅山地區台灣水青岡幼苗建立之研究。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。宜蘭。66 頁。
- 李培芬 (2008) 氣候變遷對生態的衝擊。科學發展 424:34-43。
- 李淑敏、姜保真 (2011) 林木遺傳資源保育實例介紹。台灣林業 37(2):16-22。
- 松井哲哉、田中信行、八木橋勉 (2007) 世界遺產白神山地ブナ林の氣候温暖化に伴う分布適域の変化予測。日本森林学会誌 89(1):7-13。
- 松井哲哉、田中信行、八木橋勉、小南裕志、津山幾太郎、高橋 潔 (2009) 温暖化にともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価。地球環境 14(2):165-174。





林奐宇、胡哲明、陳子英、謝長富(2017)運用 TCCIP 網格化歷史及未來氣候資料於台灣森林植群適生棲位模型建置及變遷預測。

https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/upload/activity_agenda/20180402151450.pdf

林奐宇、黎光泰、陳子英、胡哲明 (2017) 運用動態局部迴歸方法建置高解析度氣候模式及其生態應用。106 年森林資源永續發展研討會論文集(森林經營與育林組)。中華林學會。82-84 頁。

邱祈榮(2013)建立氣候變遷對生物多樣性風險與脆弱度評估模式及因應策略規劃。行政院農業委員會林務局。許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明(2011)臺灣氣候變遷科學報告。「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」計畫辦公室、國家災害防救科技中心。

邱清安 (1996) 插天山自然保留區植相與植群之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。台中。162 頁。

邱清安、陳子英、王志強、邱祈榮、賴彥任、蔡智勇 (2013) 應用 BIOMOD2 模擬臺灣水青岡之分布。林業研究季刊 35(4):253-272。

原 正利 (2006) 東日本太平洋側におけるブナの分布とその下限を規定する要因について。植生学会誌 23(1):1-12。

許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明 (2011) 臺灣氣候變遷科學報告 2011。行政院國家科學委員會。台北。362 頁。

許驊 (2015) 台灣地區水青岡森林的風險性評估。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。宜蘭。89 頁。

郭嘉宜 (2015) 以 BIOMOD2 模擬暖化對台灣水青岡森林之影響。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。宜蘭。61 頁。

陳子英、毛俊傑、徐堉峰 (2016) 大白山及蘭崁山地區台灣水青岡資





源調查建置計畫。行政院農業委員會林務局羅東林區管理處 第 104-731-01-02 號。87 頁。

陳子英、謝長富、毛俊傑、賴玉菁、林世宗、胡哲明、徐瑋峰、楊正釗、林哲榮、孔祥璿、陳品邑、邱宗儀、巫智斌 (2011) 冰河子遺的夏綠林-台灣水青岡。行政院農業委員會林務局。台北。271 頁。

陳子英、謝長富、林奐宇、黃啟東、趙偉村、廖宇賡、徐瑋峰 (2016) 維管束植物殘存地點分布與保育策略之分析。第二章。「因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究 期中報告」。行政院農業委員會林務局主管科技計畫：105 農科-12.7.4-務-e2。13-43 頁。

陳品邑 (2012) 宜蘭銅山台灣水青岡林長期動態樣區之森林動態與天然更新。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。宜蘭。132 頁。

陳朝圳、王慈憶 (2009) 氣候變遷對台灣森林之衝擊評估與因應策略。林業研究專訊 16(5):1-5。

童慶斌 (2012) 氣候變遷調適科技整合研究計畫-跨領域脆弱度評估與回復力建構科技發展計畫。行政院國家科學委員會。

童慶斌、劉子明、林嘉佑、曹榮軒 (2016) 氣候變遷調適行動計畫建構指引 (初稿)。科技部 TaiCCAT 計畫。100 頁。

童慶斌、劉子明、林嘉佑、曹榮軒、李明旭 (2015) 氣候變遷水資源風險評估與調適決策之探討。中國土木水利工程學會會刊 42(4):30-45。

黃立彥 (2000) 拉拉山臺灣山毛櫸林植群生態與天然更新之研究。國立中興大學森林學系碩士論文。台中。91 頁。

楊嘉棟 (1999) 稀有及瀕絕植物之遷地保育。生物多樣性保育研討會論文集。行政院農業委員會。407-417 頁。





- 劉振榮、李河清、李明安、童慶斌、張靜貞、盧沛文、梁蜀昀、黃瑜惠、郭宗華 (2015) 氣候變遷調適科技推動整合運作總計畫。行政院科技部補助專題研究計畫整合成果報告 MOST 104-2621-M008-001。112 頁。
- 黎光秦、林奐宇、陳子英 (2017) 宜蘭縣大白蘭崁地區台灣水青岡適應性經營與保育。106 年森林資源永續發展研討會論文集(生態保育與森林保護組)。中華林學會。41-43 頁。
- 韓尚霖 (2015) 遮蔭與施肥處理對臺灣水青岡苗木生長與光合作用之效應。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。宜蘭。46 頁。
- Aitken, S.N. and J.B. Bemmels (2016) Time to get moving: assisted gene flow of forest trees. *Evolutionary applications* 9(1):271-290.
- Ashcroft, M.B. (2010) Identifying refugia from climate change. *Journal of Biogeography* 37(8):1407-1413.
- Ashcroft, M.B.(2010)Identifying refugia from climate change. *J.Biogeogr.* 37(8):1407-1413.
- Campbell ,J.Y., J. Hilscher ,J. Szilagyi (2008) In Search of Distress Risk. *Journal of Finance* 63(6):2899-2939.
- Cross, M.S., P. McCarthy, G. Garfin, D. Gori and C.A. Enquist(2013) Accelerating adaptation of natural resource management to address climate change. *Conservation Biology*27(1):4-13.
- Cross, M.S., E.S. Zavaleta, D. Bachelet, M.L. Brooks, C.A.F. Enquist, E. Fleishman, L.J. Graumlich, C.R. Groves, L. Hannah, L. Hansen, G. Hayward, M. Koopman, J.J. Lawler, J. Malcolm, J. Nordgren, B. Petersen, E.L. Rowland, D. Scott, S.L. Shafer, M.R. Shaw and G.M. Tabo (2012) The Adaptation for Conservation Targets (ACT) framework: a tool for incorporating climate change into natural resource management. *Environmental Management* 50(3):341-351.





Fung, E., P. Imbach, L. Corrales, S. Vilchez, N. Zamora, F. Argotty, L. Hannah and Z. Ramos (2017) Mapping conservation priorities and connectivity pathways under climate change for tropical ecosystems. *Climatic Change* 141(1):77-92.

Hannah, L., L. Flint, A.D. Syphard, M.A. Moritz, L.B. Buckley and I.M. McCullough (2014) Fine-grain modeling of species' response to climate change: holdouts, stepping-stones, and microrefugia. *Trends in ecology and evolution* 29(7):390-397.

IPCC (2013) *Climate Change (2013) The Physical Science Basis*. Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. New York, USA. 1535pp.

IPCC (2014) *Climate Change (2014) Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Geneva, Switzerland. 151 pp.

IPCC (2007) *Climate Change (2007) Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and A. Reisinger (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 pp.

Janzen, D.H. (2001) Latent extinction—the living dead. *Encyclopedia of Biodiversity* 3:689-699.

Joyce, L.A., S.W. Running, D.D. Breshears, V.H. Dale, R.W. Malmshemer, R.N. Sampson, B. Sohngen and C.W. Wood-all (2014) Ch.7: Forests. *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, Melillo J. M., Terese (T.C.) Richmond, and G.W. Yohe(Eds.), U.S. Global Change Research





- Program. pp. 175-194. doi:10.7930/J0Z60KZC.
- Keppel, G. and G.W. Wardell-Johnson (2012) Refugia: keys to climate change management. *Global Change Biology* 18(8):2389-2391.
- Keppel, G. and G.W. Wardell-Johnson (2015) Refugial capacity defines holdouts, microrefugia and stepping-stones: a response to Hannah *et al.* *Trends in ecology and evolution* 30(5):233-234.
- Keppel, G. and G.W. Wardell-Johnson (2015) Refugial capacity defines holdouts, microrefugia and stepping-stones. *Trends in ecology and evolution* 30(5):233-234.
- Keppel, G., K. Mokany, G.W. Wardell-Johnson, B.L. Phillips, J.A. Welbergen and A.E. Reside (2015) The Capacity of Refugia for Conservation Planning under Climate Change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13(2):106-112.
- Keppel, G., K.P. van Nieuwenhuis, G.W. Wardell-Johnson, C.J. Yates, M. Byrne, L. Mucina, A.G.T. Schut, S.D. Hopper and S.E. Franklin (2012) Refugia: identifying and understanding safe havens for biodiversity under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 21:393-404.
- Kimura, M.K., K. Uchiyama, K. Nakao, Y. Moriguchi, L.S. Jose-Maldiaand and Y. Tsumura (2014) Evidence for cryptic northern refugia in the last glacial period in *Cryptomeria japonica*. *Annals of botany* 114(8):1687-1700.
- Matsui, T., T. Yagihashi, T. Nakaya, H. Taoda, S. Yoshinaga, H. Daimaru and N. Tanaka (2004) Probability distributions, vulnerability and sensitivity in *Fagus crenata* forests following predicted climate changes in Japan. *Journal of Vegetation Science* 15(5):605-614.
- Maxwell, S.L., O. Venter, K.R. Jones and J.E.M. Watson (2015)





- Integrating human responses to climate change into conservation vulnerability assessments and adaptation planning. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1355(1):98-116.
- Rehfeldt, G.E., N.L. Crookston, C. Saenz-Romero and E.M. Campbell (2012) North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications* 22(1): 119–141.
- Rull, V. (2009) Microrefugia. *Journal of Biogeography* 36(3):481-484.
Rull, V. (2010) On microrefugia and cryptic refugia. *Journal of Biogeography* 37(8):1623-1625.
- Shimokawabe A., Y. Yamaura, T. Akasaka, T. Sato, Y. Shida, S. Yamanaka and F. Nakamura (2015) The distribution of cool spots as microrefugia in a mountainous area. *PLoS ONE* 10(8): e0135732. doi:10.1371/journal.pone.0135732
- Skov, F. and J.C. Svenning (2004) Potential impact of climatic change on the distribution of forest herbs in Europe. *Ecography* 27(3):366-380.
- Staudinger, M.D., N.B. Grimm, A. Staudt, S.L. Carter, F.S. Chapin III, P. Kareiva, M. Ruckelshaus, B.A. Stein (2012) Impacts of Climate Change on Biodiversity, Ecosystems, and Ecosystem Services: Technical Input to the 2013 National Climate Assessment. Cooperative Report to the 2013 National Climate Assessment. 296 pp.
- Stewart, J.R., A.M. Lister, I. Barnes and L. Dalén (2010) Refugia revisited: individualistic responses of species in space and time. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 277(1682): 661-671.
- The Angiosperm Phylogeny Group (2016) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of





flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society
181 : 1–20.

Tingley, R., M. Vallinoto , F. Sequeira , M.R. Kearney (2014) Realized
niche shift during a global biological invasion. Proceedings of the
National Academy of Sciences. 111(28): 10233–10238.

Tzedakis, P.C., B.C. Emerson and G.M. Hewitt (2013) Cryptic or mystic?
Glacial tree refugia in northern Europe. Trends in ecology and
evolution 28(12):696-704.

van Vuuren, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K.
Hibbard, G.C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.- F. Lamarque, T. Masui, M.
Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith and S.K. Rose (2011) The
representative concentration pathways: an overview. Climatic change
109(1-2):5-31.

Wiens, J.A. and D. Bachelet (2010) Matching the multiple scales of
conservation with the multiple scales of climate change. Conservation
Biology 24(1):51-62.

Williamson, P.S. and C.R. Werth (1999) Levels and patterns of genetic
variation in the endangered species *Abronia macrocarpa*
(Nyctaginaceae). American Journal of Botany 86(2):293-301.

