

代表性生態系經營管理之蘇花海岸生態
系長期生態研究網計畫(二)- 蘇花海岸
地形的物種阻隔效應及保育措施調查

受委託者：國立台灣師範大學

研究主持人：林思民 博士

太魯閣國家公園管理處委託辦理計畫報告

中華民國九十九年十二月

目 次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
--第一節 計畫主旨	1
--第二節 研究緣起與背景	2
--第三節 本研究計畫的具體目標	7
第二章 材料與方法	8
第三章 結果	10
第四章 討論	13
第五章 建議事項	16
第六章 謝誌	17
附錄一	34
附錄二	36
參考文獻	38

表 次

表一、陸域或淡水域脊椎動物在台灣島內呈現明顯地理區隔的案例.....	3
表二、有機會以蘇花海岸作為分布界線的兩棲爬行動物.....	3
表三、已經證實或有機會在中央山脈兩側形成遺傳分化的兩棲爬行動物種	5
表四、兩棲爬行動物在蘇花海岸地區各樣點的分布現況.....	18
表五、蘇花海岸地區各樣點之間兩爬動物相的相對距離指數.....	19
表六、褐樹蛙各流域採集點的樣本數量 (N)、基因單型數量 (N_{hap})、基因型多樣性 (H) 與核苷酸多樣性 (π)。.....	20
表七、日本樹蛙各流域採集點的樣本數量 (N)、基因單型數量 (N_{hap})、基因型多樣性 (H) 與核苷酸多樣性 (π)。.....	21
表八、褐樹蛙各流域採集點之間的遺傳分化指數 (F_{st})	22
表九、日本樹蛙各流域採集點之間的遺傳分化指數 (F_{st})	23

圖 次

圖一、蘇花海岸沿線各流域之間，利用兩爬動物相的相對距離指數建構之 UPGMA 樹。.....	24
圖二、蘇花海岸地形各流域之間兩爬物種組成的相對距離指數沿著緯度變化的情形。.....	25
圖三、本研究所使用褐樹蛙 (<i>Buergeria robusta</i>) 的採集地點與樣本數量。.....	26
圖四、本研究所使用日本樹蛙 (<i>Buergeria japonica</i>) 的採集地點與樣本數量。.....	27
圖五、褐樹蛙 80 個基因型與地理分布。.....	28
圖六、日本樹蛙 59 個基因型之親緣關係樹與地理分布。.....	29
圖七、褐樹蛙流域間的族群分化指數沿著蘇花海岸地區變化的情形。.....	30
圖八、日本樹蛙族群流域間的族群分化指數沿著蘇花海岸地區變化的情形。.....	31
圖九、褐樹蛙(<i>Buergeria robusta</i>)系群分布圓餅圖。.....	32
圖十、日本樹蛙(<i>Buergeria japonica</i>)系群分布圓餅圖。.....	33

摘要

關鍵詞：日本樹蛙，生物地理學，異域種化，褐樹蛙，親緣地理學，遺傳多樣性

一、研究緣起

蘇花海岸地區特殊的地形地貌不但是世界性的地質景觀，也是影響台灣生物多樣性與遺傳多樣性的重要地形阻隔。這個地形阻隔同時扮演著東西分化與南北分化的界限，無論從單純的物種組成，或藉由近年分子親緣地理學所得到的證據，均顯示這個地理屏障在生物地理學上佔有重要的地位。而在如此小的尺度之內發生如此劇烈的物種與遺傳差異，亦為世界所罕見。然而過去的生物地理或親緣地理學研究多半將尺度著眼於台灣本島的分化，而鮮少針對蘇花海岸，尤其是清水斷崖與立霧溪這段劇烈的地形屏障進行小尺度的探討。

二、研究方法及過程

本計畫以兩棲爬行動物作為研究題材，探討蘇花海岸地區的物種分化與遺傳分化效應。首先調查各樣區的物種與相對數量，以了解蘇花海岸沿線各溪谷的兩棲爬行動物群落差異。其次則利用 PCR 反應增幅褐樹蛙與日本樹蛙的粒線體 cytochrome b 片段，以自動定序儀進行定序，以計算特定物種的遺傳分化情形。

三、重要發現

發現花蓮地區與宜蘭地區在兩爬群落的物種組成上確實存在明顯的差異，而其中至少 10 種左右物種分布的北界或南界正好就座落在蘇花海岸地區。另一方面，去年定序 212 隻採集自 12 條流域的褐樹蛙，加上今年定序 185 隻來自 15 個流域的日本樹蛙，兩種溪流物種均顯示宜蘭地區與花蓮地區的褐樹蛙在遺傳上呈現不同的系群。無論是在宜蘭縣境內或花蓮縣境內，流域與流域之間的遺傳分化均極為有限；但是到了和平溪與立霧溪之間，卻呈現高度的遺傳分化。我們推測和平溪、良里溪與立霧溪之間的清水斷崖在物種的分化上扮演重要的角色。

四、主要建議事項

在短期部份，我們建議太管處持續進行隔離效應、物種分化及遺傳分化的相關研究，以增進蘇花海岸地區的研究價值，並加強教育推廣。在中長期部份，任何跨越此區的公共工程，均需避免造成野生動物非天然狀況下的族群移動，以避免遺傳入侵與遺傳均質化的危機，造成區域特有性的降低。並建議針對蘇花海岸沿線的各樣區進行長期的監控，以了解未來的蘇花道路工程與全球暖化對本地的衝擊與影響。

Abstract

Keywords: allopatric speciation, biogeography, *Buergeria robusta*, *Buergeria japonica*, genetic diversity, phylogeography

The Su-Hua Coast Region plays an important role effecting the species diversity and genetic differentiation within the island of Taiwan. The steep cliff in this area formed a barrier both in north-south and east-west directions, and stopped species from dispersing across this region. The important role of this barrier in biogeography has been shown by phylogeographic studies in several terrestrial animals. Nevertheless, past studies usually concerned on the differentiation pattern in a large scale, but seldom concentrate on fine-scaled studies. Here we use herpetological species as a model to study the effect of differentiation across the Su-Hua Coast Region. The result showed a pronounce difference of herpetological fauna between the northern and southern sides, especially in grass lizards (*Takydromus* spp.), tree lizards (*Japalura* spp.), and tree frogs (Rhacophoridae). On the other hand, phylogenetics studies of the Japanese tree frog (*Buegeria japonica*) combined with the brown tree frog (*Buegeria robusta*) by mitochondrial DNA sequences showed a strong differentiation pattern among the river drainages. The most prominent barrier occurred at the Cing-Shui Cliff, separating the He-Ping Stream drainage from the Li-Wu Stream drainage. These results could be treated as educational materials for the Taroko National Park in evolutionary biology. We wish the importance of this region to be highlighted and serve as a model discussing the fine-scale differentiation pattern in Taiwan.

第一章 緒 論

第一節、計畫主旨：

1. 在蘇花海岸沿線的各个溪谷進行詳細的兩棲爬行動物調查，以了解每一個物種在本區的實際分布界限。
2. 比較清水斷崖南北兩側的兩棲爬行動物群落差異，以具體呈現這個特殊的地形景觀對兩棲爬行動物相的影響。
3. 本年度以日本樹蛙作為主要研究題材，利用分子遺傳標記，探測各個山脈與溪谷對廣佈物種所造成的遺傳分化。
4. 結合多個物種（例如去年執行之褐樹蛙）的親緣地理與分布狀況，比較各物種類群受此區阻隔效應的相同及相異之處。

第二節 計畫主題背景及相關研究之檢討

壹、物種多樣性觀點：蘇花海岸地形劇烈的地理隔離效應

物種多樣性 (species diversity) 的形成來自地球歷史上一系列的種化 (speciation) 事件。因此，種化的研究工作，在生物多樣性探索領域中扮演著舉足輕重的地位。地理隔離造成的異域種化 (allopatric speciation) 是傳統種化模型中最為人廣為接受的理論基礎 (Mayr, 1963; Coyne and Orr, 2004)，而島嶼地區的物種多樣性與特有性，受到隔離效應的影響最為顯著 (Mayr, 1963)。

蘇花海岸地形特殊的地形地貌，是檢視隔離對種化效應的絕佳場所，在台灣特有生物相的形成過程中可能扮演著極為重要的角色 (林, 2003)。在生物多樣性研究的啟蒙年代，大多數的研究著眼於海峽隔離效應對台灣特有物種的影響。而直到甚晚，才注意到台灣本身島內山脈或水系的隔離，亦對物種的特有性造成深遠的影響。曾 (1986) 率先針對淡水魚類的島內分布狀況，提出台灣島內的生物地理區劃。而後到了九〇年代，由於分子生物技術的普及，在遺傳學訊息的挹注之下，針對島內地理隔離造成的種化或遺傳分化研究，方如雨後春筍般地蓬勃發展。

經由過去幾年的研究，針對台灣陸域生物的地理分化模式已經有了初步的瞭解 (曾, 1986; Hikida and Ota, 1997; Ota, 1997)。在不同類群之中，「東西分化」與「南北分化」各是一個常見的分布模式 (參見表一)。以兩棲爬行動物而言，在「東西分化」的物種之中，中央山脈是造成物種分布界限最明顯的屏障；而在「南北分化」的模式，這個分布界限在緯度上則常常介於竹苗至宜蘭南部附近 (呂等, 1999; 向, 2001)。其中，經由劇烈的板塊碰撞所形成的中央山脈東北稜，也就是本計畫所關注的蘇花海岸沿線地帶，山脈陡峭嚴峻，直深入海，在台灣的生物地理上同時扮演著「東西」與「南北」兼具的分化屏障。受到這個崎嶇地形影響的物種，從保育上著名的烏頭翁 (東部特有種)、白頭翁 (西部分布) 案例 (許, 1999; 許等, 2008; 許, 2009)；一般民眾所口耳相傳「會叫」的疣尾蝮虎和「不會叫」的無疣蝮虎 (呂等, 1999; 向, 2001)；諸多分布僅及西部平原的特有種淡水魚 (陳與方, 1999; 陳與張, 2005)；行蹤隱密的蓬萊草蜥 (最東分布到宜蘭) 與南台草蜥 (最北分布到花蓮) (Lin et al., 2002)；一直到今年度才新發表的翠斑草蜥 (分布於台北、宜蘭) 與鹿野草蜥 (分布於花蓮、台東) (Lue and Lin, 2008) 等，在在都顯示這個特殊的地理障蔽對物種分化的嚴重影響。此外，受到這個分布界限影響的兩棲爬行動物還包括了樹蛙科 (有數種分布在宜蘭以北)，狹口蛙科 (有數種分布

在花蓮以南)，飛蜥科（黃口攀蜥僅分布於蘇花公路北段），以及數種赤蛙（台灣東部缺乏分布）（呂等，1999；向，2001；表二）。

表一、陸域或淡水域脊椎動物在台灣島內呈現明顯地理區隔的案例（林思民 整理）

類 型	案 例
北部侷限分布	爬行類：翠斑草蜥、黃口攀蜥、無疣蝮虎、唐水蛇 兩棲類：台北樹蛙、翡翠樹蛙 淡水魚類：平領鱻、短吻小鰈鮪、大眼華鯿、原生香魚
西部侷限分布	鳥 類：白頭翁 爬行類：蓬萊草蜥 兩棲類：面天樹蛙、古氏赤蛙、長腳赤蛙 淡水魚類：粗首鱻、台灣石賓、台灣馬口魚、台灣間吸鰍
東部侷限分布	鳥 類：烏頭翁 爬行類：鹿野草蜥、白斑中國石龍子 淡水魚類：台東間吸鰍
東部與南部	爬行類：南台草蜥、半葉趾虎、鱗趾蝮虎、股鱗蜓蜥、長尾南蜥 兩棲類：史丹吉氏小雨蛙、巴氏小雨蛙 淡水魚類：高身鰮魚、何氏棘魷、南台間吸鰍、南台華吸鰍

表二、有機會以蘇花海岸作為分布界線的兩棲爬行動物（林思民 整理）

類 群	物 種	宜蘭分布	花蓮分布
狹口蛙科	黑蒙西氏小雨蛙	X	○
樹蛙科	翡翠樹蛙	○	X
	台北樹蛙	○	X
	面天樹蛙	○	X
赤蛙科	長腳赤蛙	○	X
	古氏赤蛙	○	X
飛蜥科	黃口攀蜥	○	X
壁虎科	無疣蝮虎	○	X
	疣尾蝮虎	X	○
	半葉趾蝮虎	X	○
	鱗趾蝮虎	X	○
正蜥科	蓬萊草蜥	○	X
	翠斑草蜥	○	X
	鹿野草蜥	X	○

	南台草蜥	X	O
石龍子科	股鱗蜓蜥	X	O
	長尾南蜥	X	O

貳、遺傳多樣性觀點：蘇花海岸地區特殊的科學與保育價值

除了物種本身的分布之外，近年關於台灣島內陸域生物的「親緣地理學」的研究，也支持蘇花海岸地區可能在遺傳多樣性的形成過程中扮演重要的角色。所謂親緣地理學（phylogeography）是一門從 1990 年代開始興起的新興學門，強調利用分子生物學的方式，結合族群遺傳學、地理分布與歷史因素，共同探討生物現今的分布模式與族群遺傳結構（Avise et al., 1987；Avise, 2000）。親緣地理學研究的發展迄今正好接近 20 年，在這 20 年之中，由於分子生物學技術大量引入生態與保育的研究領域，使我們得以使用更快速、更低廉的方式檢視物種在地理上的遺傳差異（Avise, 2004）。這樣的研究方向同時兼顧了物種多樣性與遺傳多樣性，為保育政策的制定提供了極為重要的訊息，例如：

1. 物種的界定

利用分子遺傳標記檢視過去分類地位混淆的類群，以釐清其正確的分類地位。近年在國內較有名的案例如提升為獨立種地位的台灣畫眉（Li et al., 2006）、五色鳥（Feinstein et al., 2008），改變物種分類名稱的布氏樹蛙（原白領樹蛙）（張，2008），或者取消分類地位的台灣蛇蜥（Lin et al., 2003）等等。

2. 隱蔽種的發現

利用分子遺傳標記檢視的不同地區的族群，進而發現外觀相似的隱蔽種。國內經由這樣的研究進而發表新種的著名的案例包括去年新發表的南湖山椒魚、觀霧山椒魚（Lai and Lue, 2008），以及翠斑草蜥、鹿野草蜥（Lue and Lin, 2008）等等。

3. 保育單元的界定

利用遺傳上的顯著差異決定保育上的管理單元（management units；簡稱 MUs）或演化顯著單元（evolutionarily significant units；簡稱 ESUs），以避免不適當的基因交流，造成預期之外的遺傳劣化或遺傳均值化。國內利用類似方法評估保育策略的案例包括了蛇類的青竹絲（Creer et al., 2003）、龜殼花（林與林，2007）、眼鏡蛇（Lin et al., 2008），稀有魚種例如埔里華吸鰻（Liao et al., 2008）、菊池氏細鯽（Lin et al., 2008），以及烏白頭翁的系列研究（許等，2008；許，2009）。以上述案例來講，青竹絲、龜殼花、眼鏡蛇、菊池氏細鯽等物種均在蘇花海岸的兩端出現明顯的遺傳分化。

4. 演化歷史的探討

利用親緣地理學資訊，探討過去氣候波動或歷史因素影響物種的族群遺傳，或特殊地質因素導致種化的案例。族群遺傳的研究案例如粗首蠟 (Wang et al., 1999)、台灣石賓 (Wang et al., 2000)、台灣鏟頷魚 (Wang et al., 2004)、大陸畫眉 (Li et al., 2009) 等，而種化研究則有東亞草蜥的島嶼種化 (Lin et al., 2002; Ota et al., 2002)，以及陸生蝸牛的環形種化 (李, 2008) 等等。

尋找親緣地理學上各層級的一致性 (concordance) 是生物地理學家努力的目標 (Avice, 2000)。而根據國內目前累積的研究結果，在在顯示蘇花海岸地區在物種隔離上扮演的一致性角色，其中又以兩棲爬行動物尤為顯著 (表三)。許多研究案例已經明確指出清水斷崖兩側的同一物種存在明顯的遺傳分化。表三之中整理了過去發現中央山脈兩側出現遺傳分化的兩棲爬行動物，同時亦評估了數種可能存在著劇烈的遺傳分化、但是尚未有研究證實的案例。這個表單上的諸多物種，部份亦將成為我們本次執行研究計畫的標的物種之一。

表三、已經證實或有機會在中央山脈兩側形成遺傳分化的兩棲爬行動物種 (林思民 整理)

類 群	物 種	參考文獻
樹蟾科	中國樹蟾	缺乏研究
狹口蛙科	小雨蛙	缺乏研究
	黑蒙西氏小雨蛙	林, 2009
樹蛙科	莫氏樹蛙	葉, 1996
	白領樹蛙	張天佑, 2008
	褐樹蛙	太管處去年度研究報告
	日本樹蛙	太管處本年度研究計畫
	艾氏樹蛙	張伊均, 2008
赤蛙科	澤蛙	Toda et al., 1998
	斯文豪氏赤蛙	周文豪等
	梭德氏赤蛙	周文豪等
	腹斑蛙	缺乏研究
飛蜥科	拉都希氏赤蛙	Jang-Liaw et al., 2008
	斯文豪氏攀蜥	劉, 1994; 向, 1996

壁虎科	鉛山壁虎	蔡，1998
蜥蜴科	古氏草蜥	缺乏研究
石龍子科	中國石龍子	缺乏研究
	麗紋石龍子	缺乏研究
	印度蜓蜥	缺乏研究
盲蛇科	盲蛇	缺乏研究
黃頰蛇科	白腹游蛇	陳，2008
	草花蛇	缺乏研究
蝙蝠蛇科	眼鏡蛇	Lin et al., 2008
蝮蛇科	赤尾青竹絲	Creer et al., 2001
	龜殼花	林等，2007

蘇花海岸地區特殊的地形地貌與特殊的地理位置，正好提供了演化生物學家一個絕佳的機會，來測試隔絕效應對物種遺傳與演化的影響。在如此小的尺度之內發生如此劇烈的物種與遺傳差異，即使以全東亞甚至全球的觀點來看，亦屬難能可貴的研究題材。然而這個難得的研究取向直到甚晚才為人所注意。林（2003）藉由研究草蜥的分布與種化模式，認為和平至新城之間的清水斷崖區域在物種的種化過程中扮演極為重的角色。王（2006）則發現立霧溪僅僅一水之隔，即對翠斑草蜥與鹿野草蜥之間造成極為劇烈的遺傳阻隔。除了令人讚嘆的地形景觀之外，太魯閣國家公園的蘇花海岸沿線在演化生物學的研究中扮演著極為關鍵的角色。如何妥善利用這個得天獨厚的地形景觀，進行生物學與演化學上的探討，並將特殊的研究成果推向國際舞台，為本計畫的主要目的之一。

與其他陸域脊椎動物相較之下，兩棲爬行動物的移動能力較差，播遷距離的也較有限，因此成為測試隔離分化效應的絕佳題材。另一方面，由於兩棲爬行動物誤為變溫動物，對氣候條件的影響亦頗為顯著。蘇花海岸沿線迎東北季風，正好阻絕了部份水氣的南下。宜蘭地區與花蓮地區在氣候上的差異，更加深了蘇花海岸沿線地帶對物種隔離的效應。雖然有越來越多的證據支持這些地區對物種或遺傳上的分化所造成的影響，然而大多數的討論均以全島為探討尺度，鮮少針對蘇花海岸，尤其是清水斷崖與立霧溪這段劇烈的地形屏障，進行小尺度的探討。因此，本計畫結合了野外調查與分子生物技術，對本地區出現的各種兩棲爬行動物進行分布上的調查，並詳細探究這些山脈和溪谷對這些物種所造成的遺傳分化。

第三節 本研究計畫的具體目標

1. 在蘇花海岸沿線的各个溪谷進行詳細的兩棲爬行動物物種調查，以了解每一個物種在本區的實際分布界限。
2. 比較清水斷崖南北兩側的兩棲爬行動物群落差異，以具體呈現這個特殊的地形景觀對兩棲爬行動物相的影響。
3. 利用分子遺傳標記，探測各個山脈與溪谷對廣佈物種所造成的遺傳分化。上年度已完成褐樹蛙研究，今年度以日本樹蛙為材料，爾後會增加斯文豪氏攀蜥作為比較的對象。
4. 未來將結合多物種的親緣地理與分布狀況，比較各物種類群受此區阻隔效應的相同及相異之處。

第二章、材料與方法

壹、物種調查與分析

於兩棲爬行動物活躍的春季與夏季進行各個樣區的物種調查。日間採用目視與徒手捕捉，而夜間則使用目視與聲音辨識法調查各樣區的物種與相對數量。數據使用 PRIMER v5.1 (Clark and Warwick, 2001) 程式做統計分析，計算不同樣區的多樣性指數分析。再以 Bray-Curtis 相似度 (Kerbs, 1989) 算出矩陣用於計算 Multidimensional scaling plots (MDS) 及 Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic averages (UPGMA)，比較河谷之間的兩棲爬行動物相。

貳、親緣地理學樣本採集：

本計劃之研究對象為褐樹蛙及日本樹蛙，蘇花海岸地區採集的褐樹蛙包含了 12 個河川流域，總共 212 隻個體。於蘇花沿岸 15 個河川流域共採得 185 個日本樹蛙樣本 (表七、圖四)，個體捕捉後，測量個體各項型質後以剪趾法 (toe-clipping) 標記，避免日後重覆捕捉。而取得腳趾樣本存放於 95% 酒精中保存，以供爾後萃取粒線體 DNA 之用。

參、親緣地理學分子技術：

粒線體 DNA 萃取方式是從酒精保存的腳趾樣本中萃取 total genomic DNA，利用標準的 Phenol / Chloroform 方法 (Gemmell and Akiyama, 1996) 萃取 crude DNA，經過酒精沈澱與乾燥之後溶於一倍的 TE buffer (Tris-EDTA, pH 8.0) 之中，存放於 -20°C 冰箱。

以 PCR (Polymerase chain reaction) 進行粒線體 DNA 細胞色素 *b* (cytochrome *b*) 基因的片段增幅，增幅基因片段約 1100bp。進行 PCR 增幅所使用的引子 (primer) 是修飾使用於增幅褐樹蛙粒線體 DNA 細胞色素 *b* 基因片段所用的引子。根據測試結果，使用於褐樹蛙的引子序列如下：

BueCBF1 : 5'- TTTCTGCCAGGRTTYAACCTAGACC- 3'

BueCBR2 : 5'- GTCYARTTTGATGAGTTTRTTTTTC-3'

使用於日本樹蛙的引子序列如下：

BueCBF1 : 5'- TTTCTGCCAGGRTTYAACCTAGACC- 3'

BueCBR7 : 5'-AGTAGATTGSKGAAGCTAGTTGACC-3'

PCR 反應流程為：Pre-denaturation：94°C、3 分鐘；接著進行 35 個循環，循環過程為：Denaturation：94°C、30 秒；Annealing：52°C、40 秒；Extension：72°C、1 分鐘；Final-extension：72°C、10 分鐘。最後於 1.2% 洋菜膠片上，以 100 伏特的電壓進行 TBE 電泳 30 分鐘，以檢測所增幅片段的品質與片段長度。

以 ABI377 自動定序儀完成定序工作。所得序列利用 SEQUENCHER 4.9 (Gene Codes Corporation, 1999) 進行雙股序列的排序與合併校對並輔以肉眼校正以確認訊號判斷正確無誤。完全相同之序列判別為同一基因型(haplotype)。

肆、族群遺傳變異分析：

進行地理親緣關係分析的操作單元(OTUs)為歸納所得的基因型(haplotype)。使用 MEGA 4.1 重塑各基因型之間的演化樹，以了解各基因型之間的演化關係。

以 DnaSP ver. 4.0 軟體(Rozas and Rozas, 1999; Rozas et al., 2003) 計算基因型多樣性 (haplotype diversity; H)、核苷酸多樣性 (nucleotide diversity; π)，以及兩兩族群之間的平均遺傳變異 (K_{xy})、平均遺傳距離 (D_{xy})、遺傳分化指數(F_{st})，以及族群間基因交流指數(N_m) 等等遺傳參數。

第三章、結 果

壹、兩棲爬行動物分布調查

調查結果確實顯示蘇花海岸沿線為兩棲爬行動物重要的分布界限。根據目前的統計，大約有十七種兩棲爬行動物在花蓮縣和宜蘭縣之間出現分布上的改變(表四)。在這個表中，「○」表示當地確定有穩定的族群；「△」表示曾有零星記錄或族群非常少；「X」表示目前未曾記錄，而「？」表示該物種在該區的分布根本尚未有詳細的調查。

貳、流域之間的生物地理與物種組成分析

利用各流域物種組成可轉換成一兩棲爬行動物相在各樣區之間的差異度指數(表五)。利用此距離矩陣建構流域之間的UPGMA樹，結果如圖3-1。詳細探究各樣區之間的相似程度，顯示蘇花海岸本身即可再粗略切割成三大支：(1)東澳地區；(2)南澳、和平、和仁；與(3)立霧溪與三棧溪流域(圖一)。依從北到南的方向來看，蘇澳地區的物種組成最接近宜蘭，而後隨著緯度逐漸下降，每個樣區的物種組成與宜蘭的差距越來越大，而與花蓮的差距越來越小(圖二)。

參、褐樹蛙的族群遺傳與親緣地理學研究

蘇花海岸地區採集的褐樹蛙包含了12個樣區(圖三)，總共212隻個體。定序之後進行後續分析的區域為粒線體cytochrome *b*的1080 bp序列，其中包含了88個變異位點，總共獲得80個基因單型(haplotype)。單型與單型之間沒有插入(insertion)或缺失(deletion)，而序列之間的點突變(point mutation)則介於1到27個變異(substitution)之間。若換算成p-distance遺傳距離，則單型和單型之間的遺傳距離為0.0009到0.0250之間。所有樣本的基因型多樣性(haplotype diversity)為0.9545，核甘酸多樣性(nucleotide diversity)為0.0118(表六)。至於各個族群個別的基因型多樣性，最高為0.9526(木瓜溪)，最低為0.6550(東澳溪)；核甘酸多樣性最高為0.0049(蘭陽溪)；最低為0.0012(三棧溪)。

利用 MEGA 4.0 重塑 80 個基因型之間的演化親緣關係，發現所有的基因型可以區分成明顯的北部與東部兩群（圖五）。兩群之間的平均遺傳距離（ $p\text{-distance}=0.0213$ ）遠遠大於群內的變異（0.0044 與 0.0019），所以在演化上完全沒有中間個體出現。而在地理分布上，北部群包含了和平溪以北七條流域的 122 隻個體，東部群包含了立霧溪以南五條流域的 90 隻個體，在分布上完全沒有重疊（圖九）。北部群總共貢獻 48 個基因單型，基因型多樣性為 0.9105，核苷酸多樣性為 0.0044。南部群總共貢獻 48 個基因單型，基因型多樣性為 0.9109，核苷酸多樣性為 0.0019。

利用 DnaSP 計算兩兩族群之間的遺傳分化指數（ F_{st} ），顯示在同一區域、不同流域之間的 F_{st} 值，遠遠小於區域之間的 F_{st} 值（表八）。在和平溪以北的所有流域之間， F_{st} 值介於 0.0141（武荖坑溪 vs. 蘇澳溪）與 0.2133（蘇澳溪 vs. 和平溪）之間，屬於低度至中度的遺傳分化。在立霧溪以南的所有流域之間， F_{st} 值介於 0.0011（三棧溪 vs. 美崙溪）至 0.3179（立霧溪 vs. 美崙溪），大多數為中度的遺傳分化。但是當兩個區域之間的河川進行配對， F_{st} 值就上升到 0.8-0.9 之間，顯著高於群內的遺傳變異。為了表示這樣的變化趨勢，我們選取最北的蘭陽溪、武荖坑溪，以及最南的花蓮溪、木瓜溪，呈現這四條溪流與其他流域之間 F_{st} 值的變化情形（圖七）。北部這兩條溪流與其他同區域的溪流相較， F_{st} 值皆小於 0.2。但是當成對的比較跨越到立霧溪以南時， F_{st} 值立即升至 0.8 以上。反之亦然，花蓮溪和木瓜溪與同區域的其他溪流之間， F_{st} 值皆小於 0.3，但是當成對比較跨越到和平溪以北時， F_{st} 值也劇烈升到 0.8 以上。這樣的結果顯示立霧溪與和平溪之間的地形地貌，確實造成褐樹蛙非常明顯的遺傳分化。

肆、日本樹蛙的族群遺傳與親緣地理學研究

在蘇花海岸沿岸共 15 個採樣點採得 185 隻樣本（圖四）。並均成功定序粒線體 cytochrome *b* 基因部份序列，總長為 1030bp，沒有插入 (insertions)、缺失 (deletions) 或停止碼 (stop codons)。在 1030bp 序列中，有 76 個變異位點。在總共 185 條序列中，可整理出 59 條基因型，所有樣本之基因型多樣性 (H) 為 0.9490，核苷酸多樣性 (π) 為 0.0072。基因型序列間的 $p\text{-distance}$ 遺傳距離範圍為 0.0010 – 0.0184。至於各個族群個別的基因型多樣性，最高為 0.95455（蘭陽溪），最低為 0.40909（新城溪）；核苷酸多樣性最高為 0.01028（花蓮溪）；最低為 0.00121（南澳南溪）（表七）。

利用 MEGA 4.0 重塑 59 個基因型之間的演化親緣關係，發現所有的基因型可以區分成明顯的北部、東部 I 及東部 II 三大系群 (圖六)。北部群與東部 I 群之間的平均遺傳距離為 0.0099，北部群與東部 II 群之間的平均遺傳距離為 0.0168，東部 I 群與東部 II 群之間的平均遺傳距離為 0.0157，而系群內平均遺傳距離分別為北部群為 0.0036，東部 I 群為 0.0060，東部 II 群為 0.0029。三大系群之間的平均遺傳距離都大於系群內之平均遺傳距離。在地理分布上，北部群包含了良里溪以北八條流域的 94 隻個體，東部 I 群包含了良里溪以南八條流域的 78 隻個體，東部 II 群包含了立霧溪以南但不包含秀姑巒南溪共六條流域的 13 隻個體。在系群的地理分布上，北部群與東部 I 群在良里溪流域具有重疊的區域，而與東部 II 群無重疊地理區。除了良里溪及秀姑巒南溪，東部 I 群與東部 II 群在地理上具有高度重疊 (圖十)。北部群總共貢獻 23 個基因單型，基因型多樣性為 0.8911，核苷酸多樣性為 0.0026。東部 I 群總共貢獻 27 個基因單型，基因型多樣性為 0.8725，核苷酸多樣性為 0.0043，東部 II 群總共貢獻 9 個基因單型，基因型多樣性為 0.9359，核苷酸多樣性為 0.0025。

利用 DnaSP 將所有河川流域兩兩配對計算彼此間遺傳分化指數 (Fst) 值，顯示在同一區域、不同流域之間的 Fst 值，遠遠小於區域之間的 Fst 值。在良里溪以北的所有流域之間的 Fst 值介於-0.00051 (蘇澳溪與東澳溪)與 0.47658 (新城溪與南澳南溪) 之間。立霧溪以南的所有流域之間的 Fst 值介於-0.1011 (立霧溪與三棧溪)與 0.3434 (立霧溪與秀姑巒南溪)，均呈現中度的遺傳分化。而在以良里溪以北及立霧溪以南流域為區域單位，計算兩區域之間的 Fst 值，結果顯示在不同區域間的 Fst 值最大值可達 0.7 (表九、圖八)，顯示兩區域間日本樹蛙族群呈現高度分化的狀態。為了更明確表示日本樹蛙族群沿著蘇花沿岸遺傳分化程度的變化，我們以北部群兩條流域 (分別為蘇澳溪及東澳溪)，東部群兩條流域 (分別為花蓮溪及秀姑巒南溪)，與其他流域相比呈現遺傳分化指數的變化趨勢，發現兩側區域流域的族群遺傳分化指數在跨越良里溪與立霧溪交界時，Fst 值會急劇的升高 (圖八)。顯示清水斷崖一帶劇烈變動的地形結構，的確會造成日本樹蛙族群在斷崖兩側的族群基因交流不易，而呈現高度的遺傳分化情形。

第四章 討 論

壹、短距離造成劇烈的遺傳分化：以兩種樹蛙為例

中央山脈兩側生物的物種差異與遺傳分化直到 1990 年代晚期，才因為親緣地理學的興起而逐漸為人所重視。然而，分化的原因與其詳細的空間分布模式卻鮮少有人深入進行探討。中央山脈在物種分化過程中扮演的角色雖然逐漸為人所認識，但是針對此區峽谷與山脈造成的隔離效應卻鮮少有人特意去關注。蘇花海岸地區特殊的地形地貌是影響台灣物種多樣性與遺傳多樣性的重要地形障蔽。在親緣地理學的研究領域中，不同物種在地理障蔽之間呈現的一致性 (concordance)，不但是生物學家們夢寐以求的實驗機會，也是科學上的強力證據。

本研究首度針對此區的峽谷與流域進行全面的調查，並針對兩種樹蛙進行遺傳分化的研究。以褐樹蛙而言，和平溪以北的北部族群和立霧溪以南的東部族群之間完全沒有共有的基因單型。目前推算兩個系群的遺傳距離 (mean distance between groups) 大約是 0.0213 (p-distance)。若依據大多數脊椎動物的概略估計，以粒線體 DNA 每百萬年分化 2% 的演化速度來估算，則這兩個系群的分化年代大約正好 100 萬年左右。顯然在過去這接近 100 萬年的歷史中，兩個系群雖然在分布上極為接近 (出海口平面距離僅 22.1 公里)，但是幾乎完全沒有基因交流的機會。

日本樹蛙的結果與褐樹蛙幾乎如出一轍，但是有兩個主要的差別。在褐樹蛙的研究當中主要可分為北部群與東部群兩大系群，在地理分布上完全沒有重疊的情形 (圖五)。而在日本樹蛙的研究當中，主要可分成三大系群，分別是北部群、東部 I 群以及東部 II 群。北部群與東部 I 群在地理分布上在良里河流域具有重疊的情況，而北部群與東部 II 群並無重疊的地理區域 (圖六)。這樣的結果顯示，蘇花沿岸的劇烈變化地形對於褐樹蛙族群的隔離影響較日本樹蛙的隔離效應要來得明顯，而日本樹蛙可能具有潛在的移動能力，可越過清水斷崖這樣嚴峻的地形。

造成在蘇花沿岸的褐樹蛙與日本樹蛙族群親緣地理類型的差異，可能來自這兩物種在生態特徵上的差別。褐樹蛙主要棲息於溪流當中，屬於流域中較為主流的部份，且較具有棲地依戀性的習性，因此受到峽谷地形結構上的影響較大。而日本樹蛙主要棲息地為小溪澗、水溝、溝渠等，甚至是臨時性的積水池當中，屬於溪流中較為支流的部份，

因此移動擴散能力的潛力上比褐樹蛙要來的高，受到峽谷地形的隔離效應較褐樹蛙不明顯。然而，儘管日本樹蛙可能具有較佳的移動擴散潛力，在這次的結果當中，無論是親緣關係樹上系群間的遺傳分化指數上或是地理分布重疊性低來看（表九、圖六、圖十），清水斷崖一帶的險峻地形，對於日本樹蛙族群也是個明顯的地理屏障。

此外，日本樹蛙與褐樹蛙不同的地方尚有在立霧溪以南的區域具有東部Ⅱ群，且與北部群、東部Ⅰ群的分化明顯（p-distance 分別為 0.0168 與 0.0157），顯示日本樹蛙的親緣地理類型無法單單以一個明顯的地理屏障所造成的遺傳分化情形來解釋，必須配合更多的台灣其他地區的日本樹蛙族群樣本或是琉球的日本樹蛙族群樣本，才能對日本樹蛙為何在立霧溪以南具有另一個分化的系群作出合理的推論。

以同樣的尺度，在其他流域之間，基因交流卻是順暢的，為什麼會發生這麼特殊的狀況？我們認為要解決這樣的問題，可能必須從當地的海底地形著手，海底山脈的走向可能扮演關鍵的因素。在過去數次的冰河時期中，海平面下降是必然的趨勢。最有可能的情形是大陸棚的傾斜走向在和平溪之北是往北傾斜，在立霧溪以南是往南傾斜，導致無論海平面如何上升或下降，兩邊的系群都沒有交流的機會。目前這個推論只是一個猜測，我們仍然必須蒐集更多關於海底地形的詳細證據，並配合其他共域物種的遺傳研究，才能更有把握地推導過去發生的狀況。

貳、蘇花海岸造成的物種組成差異：

宜蘭地區與花東地區的兩棲爬行動物組成本來就有一定程度的差異。雖然並不是每一種動物的分界都與蘇花海岸相關（例如兩種樹蛙、古氏赤蛙、史丹吉氏小雨蛙、史丹吉氏蝮虎與兩種石龍子等），但是即使在扣除這些物種之後，仍然有十個左右的物種分布的界限直接與蘇花海岸相關。目前已經找到明確分布界限的物種，包括以下幾個特殊案例：

- (1) 翠斑草蜥與鹿野草蜥：這兩個物種是我們目前所知界限最明確的分布案例。翠斑草蜥與鹿野草蜥本身即為姊妹種，其中翠斑草蜥分布於宜蘭縣與台北縣，而鹿野草蜥分布於花蓮縣與台東縣。目前這兩種蜥蜴以立霧溪為分界，立霧溪的北岸（崇德）全部都是翠斑草蜥，而立霧溪的南岸（新城、三棧）則全部都是鹿野草蜥。

- (2) 蓬萊草蜥與南台草蜥：蓬萊草蜥與南台草蜥彼此並沒有演化上的直接關連，但是分布界限恰巧都與蘇花海岸有關。蓬萊草蜥的近緣種是北草蜥與宮古草蜥，在宜蘭的羅東地帶仍有穩定的族群，但是再往南就缺乏記錄，在蘇花沿線已經完全不見蹤跡。南台草蜥的近緣種是分布在沖繩地區的翡翠草蜥與峨眉草蜥，整個台東花蓮地區均有廣泛但零星的分布。目前最北的記錄出現在和平溪南岸，再北則無本物種的記錄。
- (3) 面天樹蛙：根據目前調查的結果顯示南澳地區仍然有穩定的面天樹蛙族群，但是進入立霧河流域之後就完全消失。分布的界限可能是介於和平與崇德之間。
- (4) 數種熱帶性壁虎：鱗趾蝎虎與半葉趾蝎虎在花蓮市附近均有記錄，但是進入和平以北的地區就完全消失。預估分布的界限應在崇德與和平之間。

另一方面，依據各流域之間物種組成所建構的 UPGMA 樹，又可將蘇花海岸大致分成三區：(1)立霧溪與三棧河流域；(2)南澳溪、和平溪與良里溪（和仁）；以及(3)東澳河流域。根據 UPGMA 樹的分枝順序，顯示最大的物種分布障蔽出現在(1)和仁與立霧溪之間，也就是清水斷崖一帶；以及(2)東澳與南澳之間，也就是烏石鼻海岸地區。這樣的結果基本上與褐樹蛙及日本樹蛙族群遺傳研究的結果是相吻合的。

參、結論：

由本次日本樹蛙與褐樹蛙的親緣地理研究共同顯示和平溪與立霧溪之間，亦即太管處的清水斷崖一帶，確實為造成台灣物種多樣性和遺傳多樣性的重要屏障。日本樹蛙可能較褐樹蛙具有較佳的移動潛力。此外日本樹蛙在立霧溪以南區域具有另一分化系群，必須取得更多資訊才能解釋這樣的現象。我們將繼續針對同一區域廣泛分布的斯文豪氏攀蜥進行遺傳與地理變異的研究，以更多證據支持小尺度地區也可能造成劇烈的遺傳分化情形，並對不同類群生物的親緣關係類型進行比較研究。

第五章、建議事項

一、立即可行建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

協辦機關：國立臺灣師範大學生命科學系

具體作法：

1. 持續進行隔離效應、物種分化及遺傳分化的相關研究，以增進蘇花海岸地區在生物多樣性領域的研究價值。
2. 加強教育推廣與學術研究，讓外界獲悉蘇花海岸地區對生物多樣性的特殊影響。

二、中長期建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

協辦機關：國立臺灣師範大學生命科學系

具體作法：

1. 任何跨越蘇花海岸地區的公共工程，均需避免促成野生動物非天然狀況下的族群移動，以避免遺傳入侵與遺傳均質化的危機，並造成區域特有性的降低。
2. 針對蘇花海岸沿線的各樣區進行長期的物種與生態監控，以了解未來可能的蘇花道路工程以及全球暖化對物種組成的衝擊、改變與影響。

第六章、謝 誌

本研究主要由研究助理林彥博先生負責日本樹蛙部分的野外採集與分子生物學實驗與分析，由陳盈蓉同學負責褐樹蛙的分子生物實驗與分析，並由陳薇云小姐協助進行峽谷之間的物種群落分析。感謝實驗室所有成員在野外採集上的支援，並感謝東華大學許育誠老師、吳海音老師兩間實驗室的師生們在採集過程中提供的各項協助，本研究才得以順利進行。最後感謝師大生科系張瑞謙先生在行政事務上的協助，以及太管處同仁們對研究計畫的支持。

表四、兩棲爬行動物在蘇花海岸地區各樣點的分布現況（無分布差異的物種未列入本表）

物種	黑蒙西 小雨蛙	史丹吉 小雨蛙	長腳 赤蛙	古氏 赤蛙	面天 樹蛙	翡翠 樹蛙	台北 樹蛙	斯文豪 攀蜥	黃口 攀蜥	無疣 蝟虎	疣尾 蝟虎	史氏吉 氏蝟虎	半葉 趾虎	鱗趾 蝟虎	蓬萊 草蜥	南台 草蜥	翠斑 草蜥	鹿野 草蜥	股鱗 蜓蜥	長尾 南蜥	沿岸 島蜥
宜蘭地區	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	Δ	?	X	X	O	X	O	X	X	X	X
蘇澳河流域	X	X	X	X	O	X	X	O	O	O	Δ	?	X	X	O	X	O	X	X	X	X
東澳溪北岸	X	X	X	X	O	X	X	O	Δ	X	O	?	X	X	X	X	O	X	X	X	X
東澳溪南岸	X	X	X	X	O	X	X	O	Δ	X	C	O	X	X	X	X	O	X	X	X	X
南澳溪北岸	X	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O	O	X	X	X	X	O	X	X	X	X
南澳溪南岸	X	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O	O	X	X	X	X	O	X	X	X	X
和平溪北岸	X	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O	?	X	X	X	X	O	X	X	X	X
和平溪南岸	X	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O	?	X	X	X	O	O	X	X	X	X
良里溪北岸	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	O	?	X	X	X	?	O	X	X	X	X
良里溪南岸	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	O	?	X	X	X	?	O	X	X	X	X
立霧溪北岸	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	O	?	O	X	X	?	O	X	X	X	X
立霧溪南岸	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	O	?	O	X	X	?	X	O	X	X	X
三棧河流域	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	O	?	O	X	X	O	X	O	X	X	X
花東地區	O	O	X	X	X	X	X	O	X	X	O	O	O	O	X	O	X	O	O	O	O

符號：O 確定有穩定的族群；Δ 曾有零星記錄或族群非常少；X 目前未曾記錄；? 資料不足。

表五、蘇花海岸地區各樣點之間兩爬動物相的相對距離指數

宜蘭地區	蘇澳溪流域	東澳溪北岸	東澳溪南岸	南澳溪北岸	南澳溪南岸	和平溪北岸	和平溪南岸	良里溪北岸	良里溪南岸	立霧溪北岸	立霧溪南岸	三棧溪流域	花東地區
宜蘭地區	0.2000	0.4000	0.4000	0.4000	0.4000	0.4000	0.4500	0.4737	4737	0.5263	0.6316	0.6500	0.9500
蘇澳溪流域		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2500	0.2632	0.2632	0.3158	0.4211	0.4500	0.7500
東澳溪北岸			0.0000	0.0500	0.0500	0.0500	0.1000	0.1053	0.1053	0.1579	0.2632	0.3000	0.6000
東澳溪南岸				0.0476	0.0476	0.0500	0.1000	0.1053	0.1053	0.1579	0.2632	0.3000	0.5714
南澳溪北岸					0.0000	0.0000	0.0500	0.0526	0.0526	0.1053	0.2105	0.2500	0.5238
南澳溪南岸						0.0000	0.0500	0.0526	0.0526	0.1053	0.2105	0.2500	0.5238
和平溪北岸							0.0500	0.0526	0.0526	0.1053	0.2105	0.2500	0.5238
和平溪南岸								0.0526	0.0526	0.1053	0.2105	0.2000	0.5000
良里溪北岸									0.0000	0.5263	0.1579	0.1579	0.4737
良里溪南岸										0.5263	0.1579	0.1579	0.4737
立霧溪北岸											0.1053	0.1053	0.4211
立霧溪南岸												0.0000	0.3158
三棧溪流域													0.3000
花東地區													

表六、褐樹蛙各流域採集點的樣本數量 (N)、基因單型數量 (N_{hap})、基因型多樣性 (H) 與核苷酸多樣性 (π)。

(A)

採集點	遺傳分群	N	N_{hap}	H	π
蘭陽溪	北部群	13	10	0.9231	0.0049
武荖坑溪	北部群	14	7	0.8242	0.0034
蘇澳溪	北部群	27	13	0.8860	0.0031
東澳溪	北部群	19	6	0.6550	0.0033
南澳北溪	北部群	16	14	0.9833	0.0057
南澳南溪	北部群	20	12	0.9105	0.0042
和平溪	北部群	13	7	0.7949	0.0043
立霧溪	東部群	14	8	0.9011	0.0019
三棧溪	東部群	19	8	0.7953	0.0012
美崙溪	東部群	20	7	0.6895	0.0013
木瓜溪	東部群	20	13	0.9526	0.0023
花蓮溪	東部群	17	7	0.8971	0.0013
合 計		212	80	0.9545	0.0118

(B)

遺傳分群	N	N_{hap}	H	π
北部群	122	48	0.9105	0.0043
南部群	90	32	0.9109	0.0019
合 計	212	80	0.9545	0.0118

表七、日本樹蛙各流域採集點的樣本數量 (N)、基因單型數量 (N_{hap})、基因型多樣性 (H) 與核苷酸多樣性 (π)。

(A)

採集點	遺傳分群	N	N_{hap}	H	π
蘭陽溪	北部群	12	10	0.9546	0.0024
新城溪	北部群	12	2	0.4091	0.0016
蘇澳溪	北部群	13	6	0.8590	0.0020
東澳溪	北部群	13	4	0.8077	0.0018
南澳北溪	北部群	12	6	0.8485	0.0023
南澳南溪	北部群	12	4	0.7727	0.0012
和平溪	北部群	12	7	0.8637	0.0024
良里溪	北部群、東部 I 群	12	6	0.8485	0.0053
立霧溪	東部 I 群、東部 II 群	12	3	0.4394	0.0047
三棧溪	東部 I 群、東部 II 群	13	9	0.9102	0.0084
美崙溪	東部 I 群、東部 II 群	14	7	0.8241	0.0071
木瓜溪	東部 I 群、東部 II 群	12	7	0.9242	0.0052
花蓮溪	東部 I 群、東部 II 群	12	10	0.9546	0.0103
秀姑巒北溪	東部 I 群、東部 II 群	12	9	0.9394	0.0064
秀姑巒南溪	東部 I 群	12	7	0.8333	0.0032
合 計		185	59	0.9490	0.0072

(B)

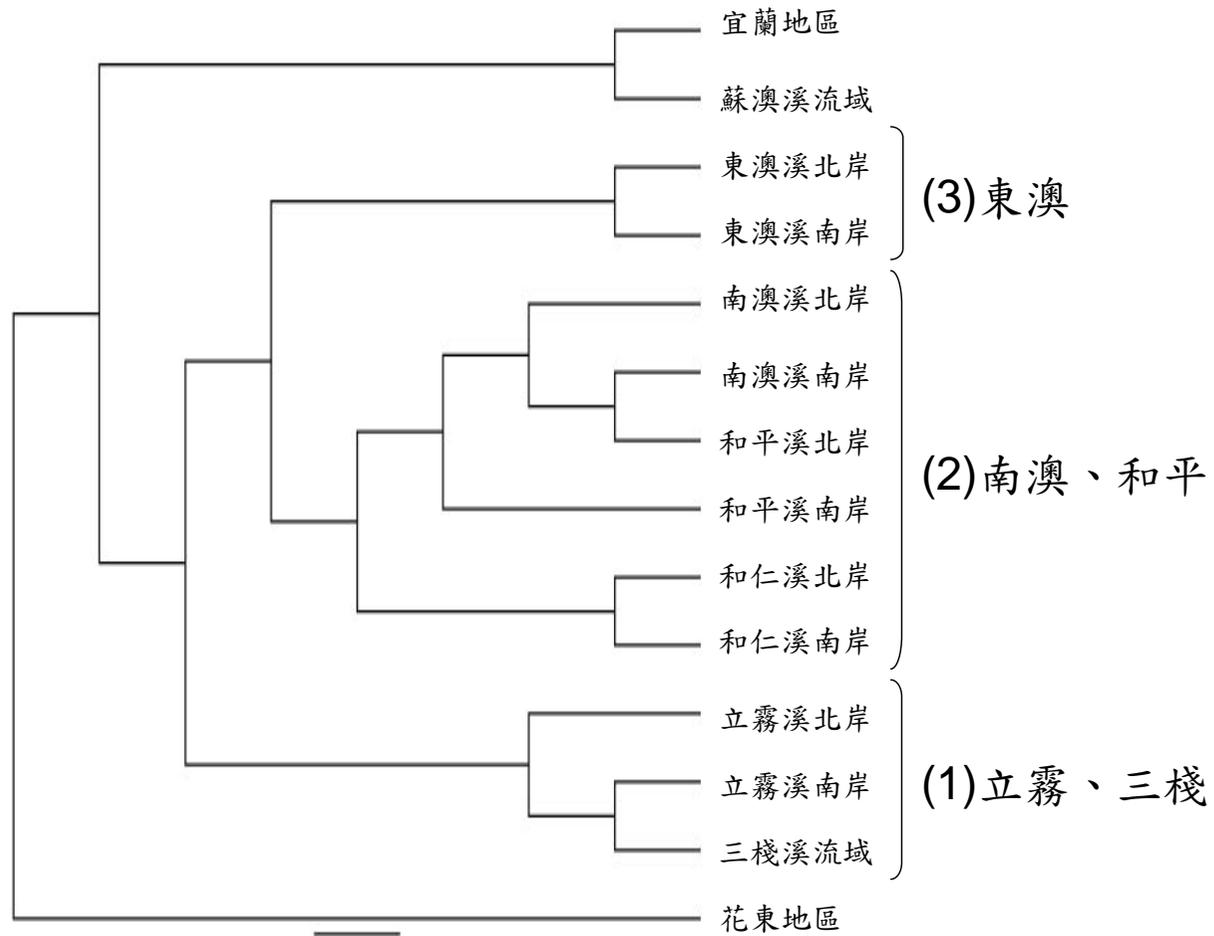
遺傳分群	N	N_{hap}	H	π
北部群	94	23	0.8911	0.0026
東部 I 群	78	27	0.8725	0.0043
東部 II 群	13	9	0.9359	0.0025
合 計	185	59	0.9490	0.0072

表八、褐樹蛙各流域採集點之間的遺傳分化指數 (F_{st})

	蘭陽溪	武荖坑溪	蘇澳溪	東澳溪	南澳北溪	南澳南溪	和平溪	立霧溪	三棧溪	美崙溪	木瓜溪	花蓮溪
蘭陽溪	-											
武荖坑溪	0.0227	-										
蘇澳溪	0.0776	0.0141	-									
東澳溪	0.0940	0.0090	0.0311	-								
南澳北溪	0.0133	0.0245	0.0978	0.0827	-							
南澳南溪	0.0223	0.0445	0.1141	0.1203	0.0250	-						
和平溪	0.0547	0.1370	0.2133	0.2082	0.0196	0.0671	-					
立霧溪	0.8354	0.8694	0.8789	0.8717	0.8170	0.8548	0.8478	-				
三棧溪	0.8555	0.8884	0.8967	0.8906	0.8367	0.8740	0.8686	0.3148	-			
美崙溪	0.8493	0.8821	0.8904	0.8841	0.8302	0.8680	0.8625	0.3179	0.0011	-		
木瓜溪	0.8280	0.8594	0.8679	0.8611	0.8095	0.8463	0.8406	0.2291	0.2342	0.1769	-	
花蓮溪	0.8483	0.8812	0.8896	0.8834	0.8292	0.8670	0.8615	0.2650	0.3060	0.2517	0.0649	-

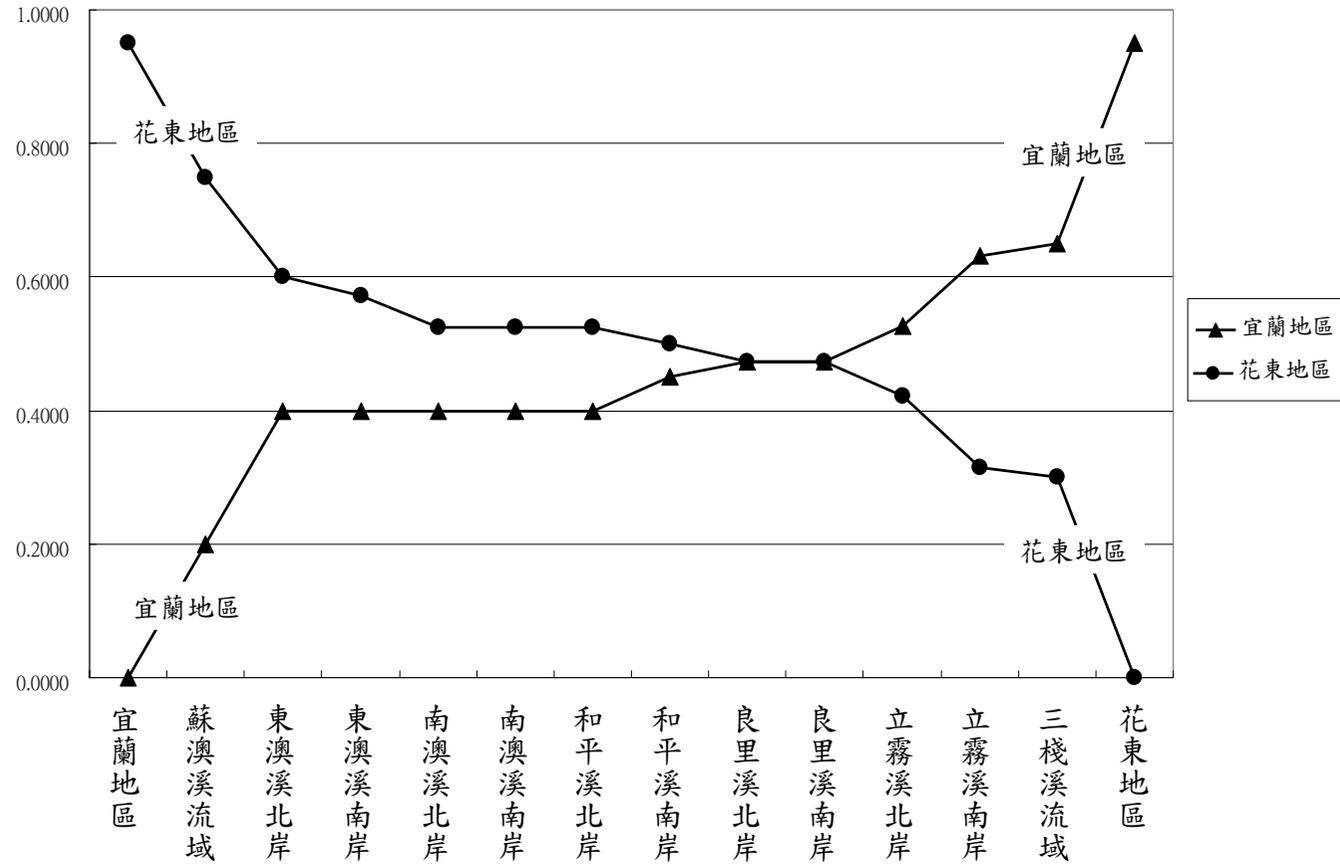
表九、日本樹蛙各流域採集點之間的遺傳分化指數 (F_{st})

	蘭陽溪	新城溪	蘇澳溪	東澳溪	南澳北溪	南澳南溪	和平溪	良里溪	立霧溪	三棧溪	美崙溪	木瓜溪	花蓮溪	秀姑巒北溪	秀姑巒南溪
蘭陽溪	-														
新城溪	0.49907	-													
蘇澳溪	0.25330	0.27870	-												
東澳溪	0.30114	0.14580	-0.00051	-											
南澳北溪	0.19711	0.41414	0.03471	0.12488	-										
南澳南溪	0.17335	0.47658	0.03444	0.12077	-0.02545	-									
和平溪	0.26824	0.37399	0.12916	0.12482	0.04995	0.11722	-								
良里溪	0.38237	0.37890	0.27250	0.26236	0.25580	0.30721	0.16182	-							
立霧溪	0.64538	0.70545	0.64028	0.65886	0.63474	0.67186	0.64180	0.35777	-						
三棧溪	0.53467	0.58961	0.52024	0.53846	0.51729	0.54300	0.52813	0.29292	-0.10110	-					
美崙溪	0.5227	0.59029	0.51242	0.53303	0.51058	0.53783	0.52233	0.28279	0.00921	-0.00994	-				
木瓜溪	0.57143	0.64025	0.55946	0.58163	0.55452	0.59044	0.56648	0.34343	0.18989	0.13137	0.01424	-			
花蓮溪	0.49932	0.54992	0.48450	0.50124	0.48249	0.50350	0.49330	0.32676	0.18182	0.03084	0.06906	0.12760	-		
秀姑巒北溪	0.54495	0.60988	0.53195	0.55284	0.52951	0.55900	0.54087	0.29656	0.05351	0.03043	-0.01822	0.01595	0.12357	-	
秀姑巒南溪	0.66814	0.73144	0.65956	0.68068	0.65246	0.69765	0.65977	0.43689	0.34340	0.27287	0.14038	0.01158	0.27246	0.10669	-

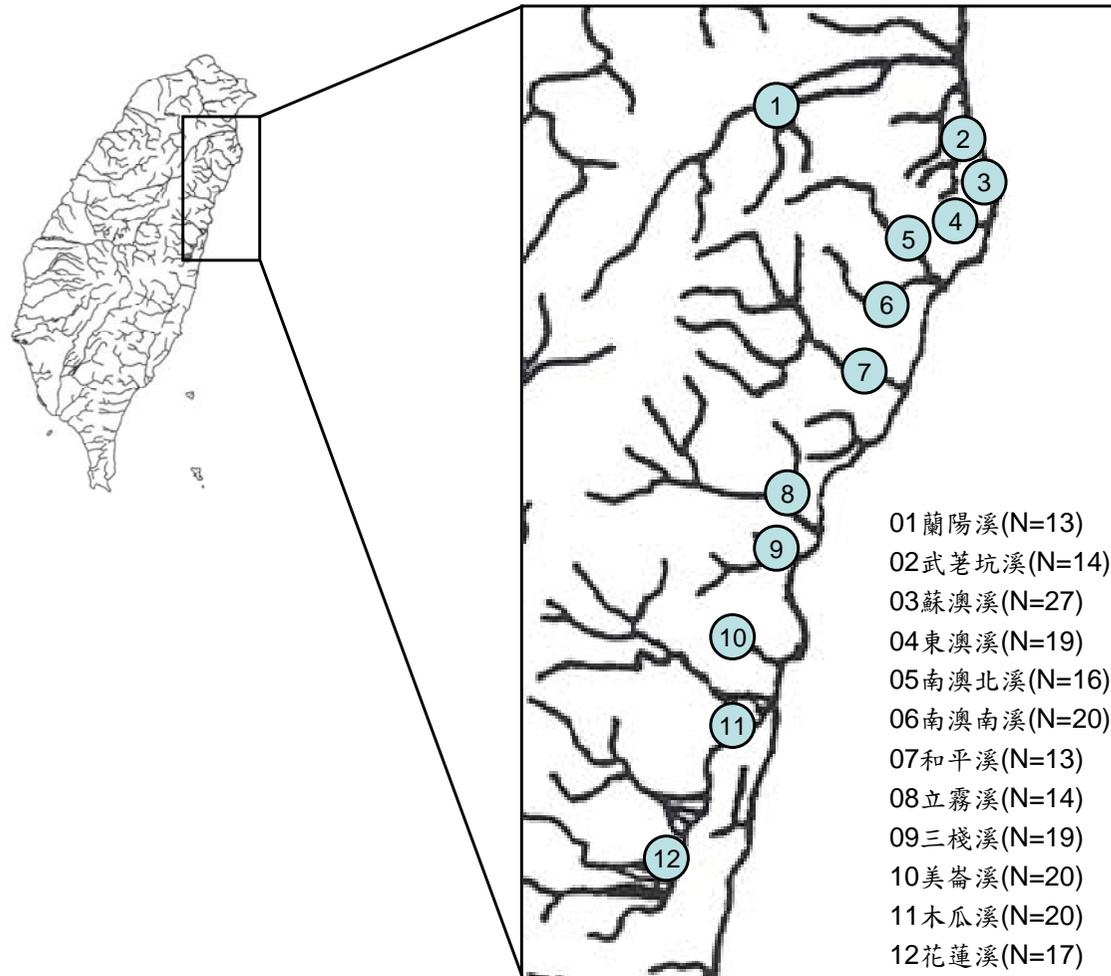


圖一、蘇花海岸沿線各流域之間，利用兩爬動物相的相對距離指數建構之 UPGMA 樹。

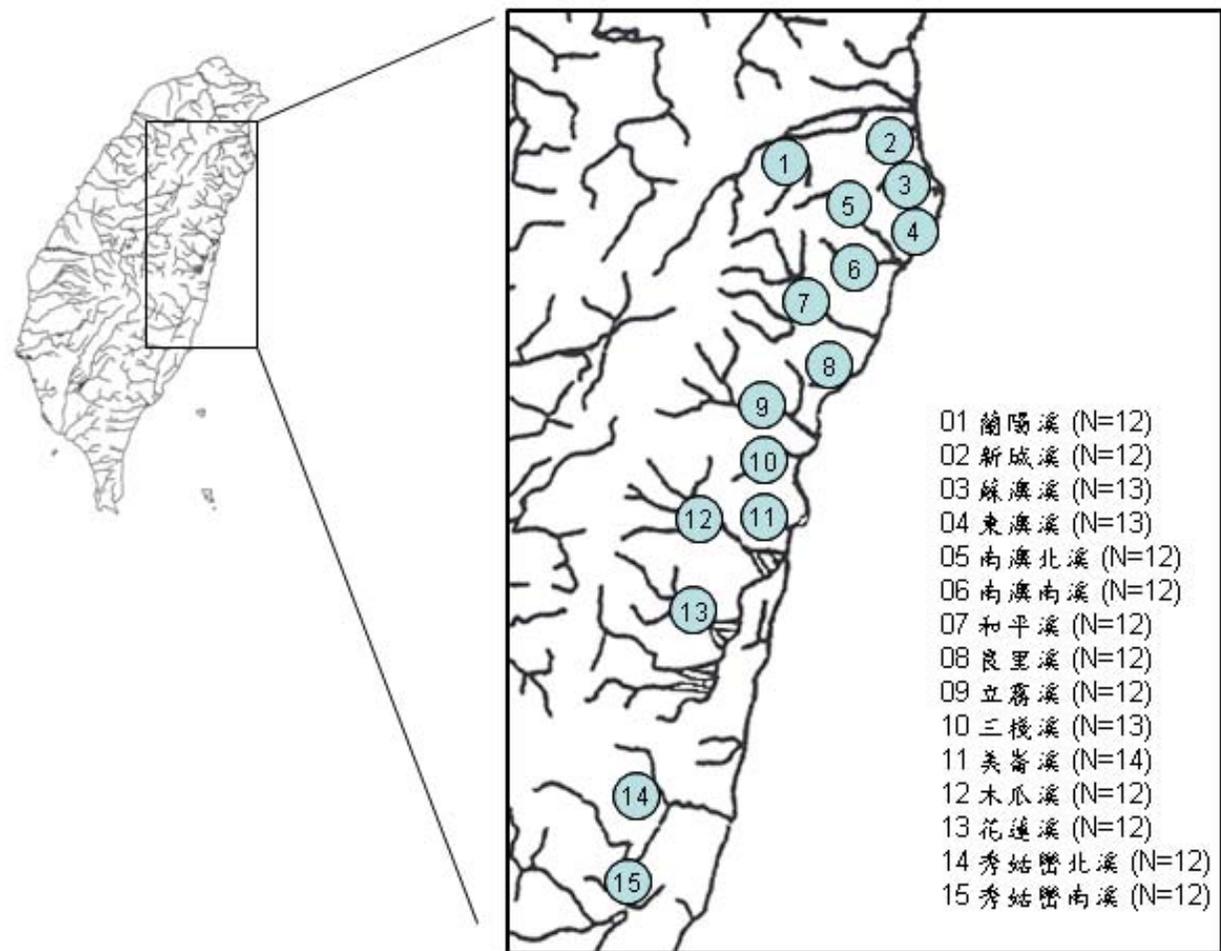
物種組成差異指數



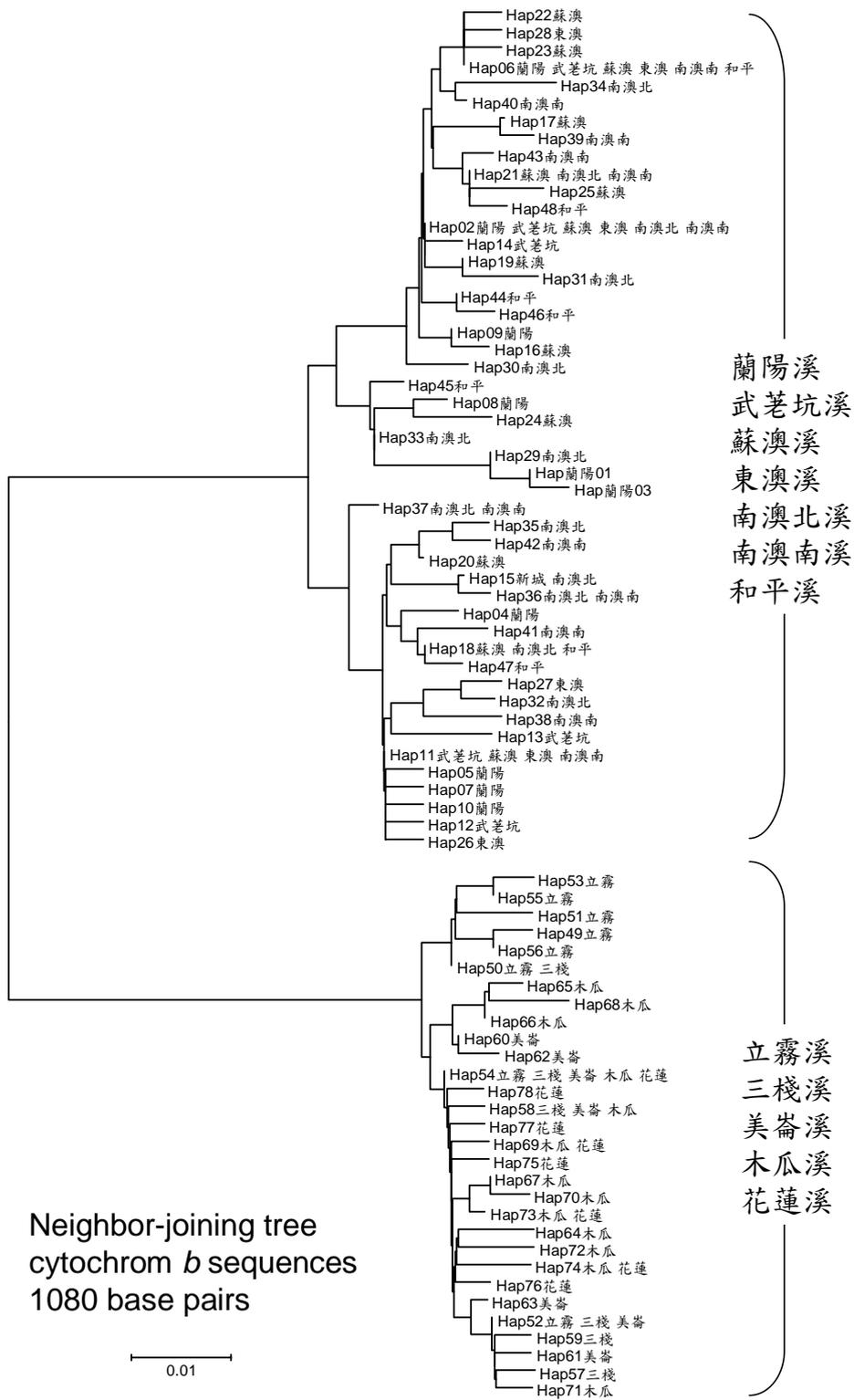
圖二、蘇花海岸地形各流域之間兩爬物種組成的相對距離指數沿著緯度變化的情形。



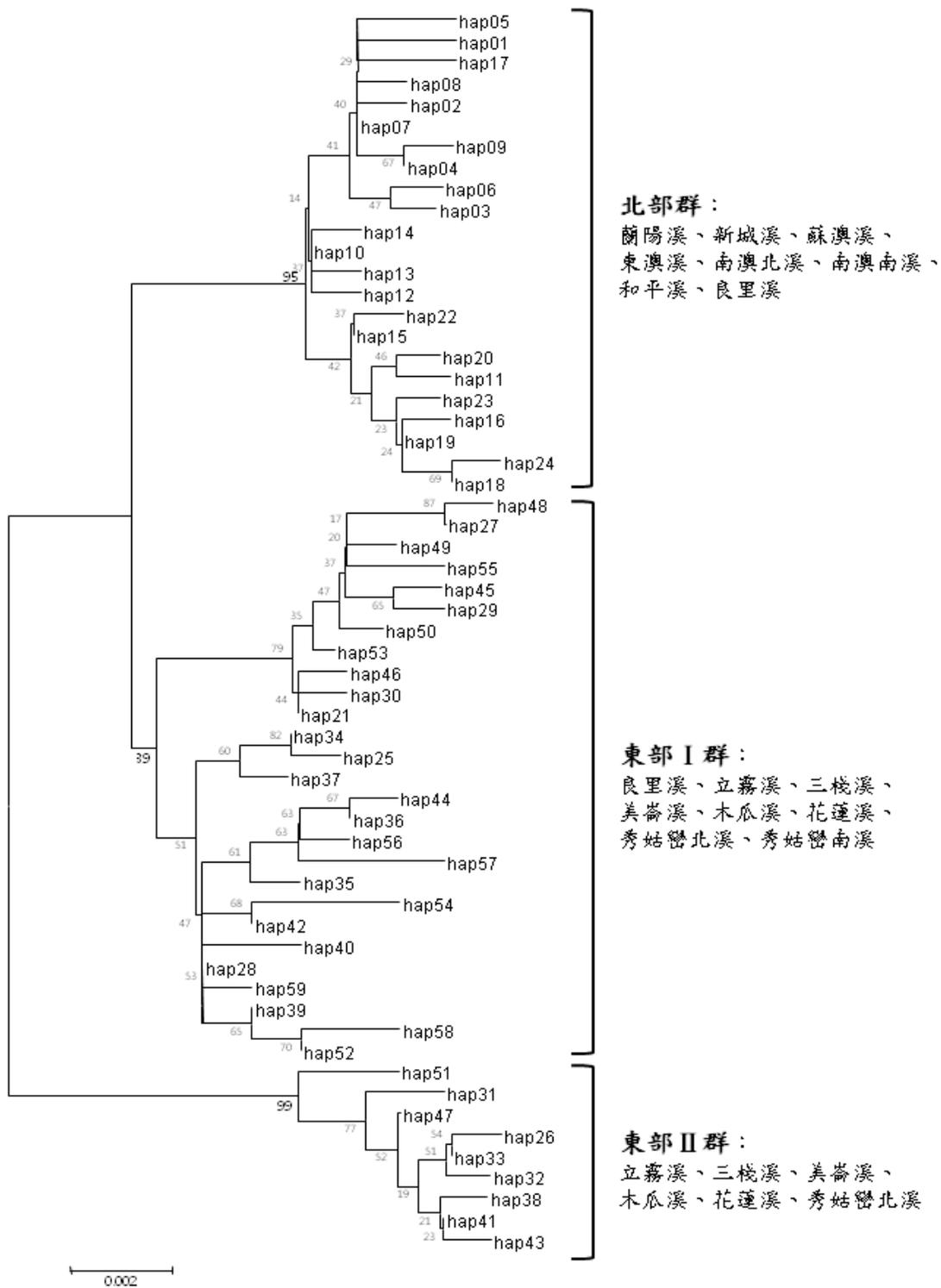
圖三、本研究所使用褐樹蛙 (*Buergeria robusta*) 的採集地點與樣本數量。



圖四、本研究所使用日本樹蛙 (*Buergeria japonica*) 的採集地點與樣本數量。

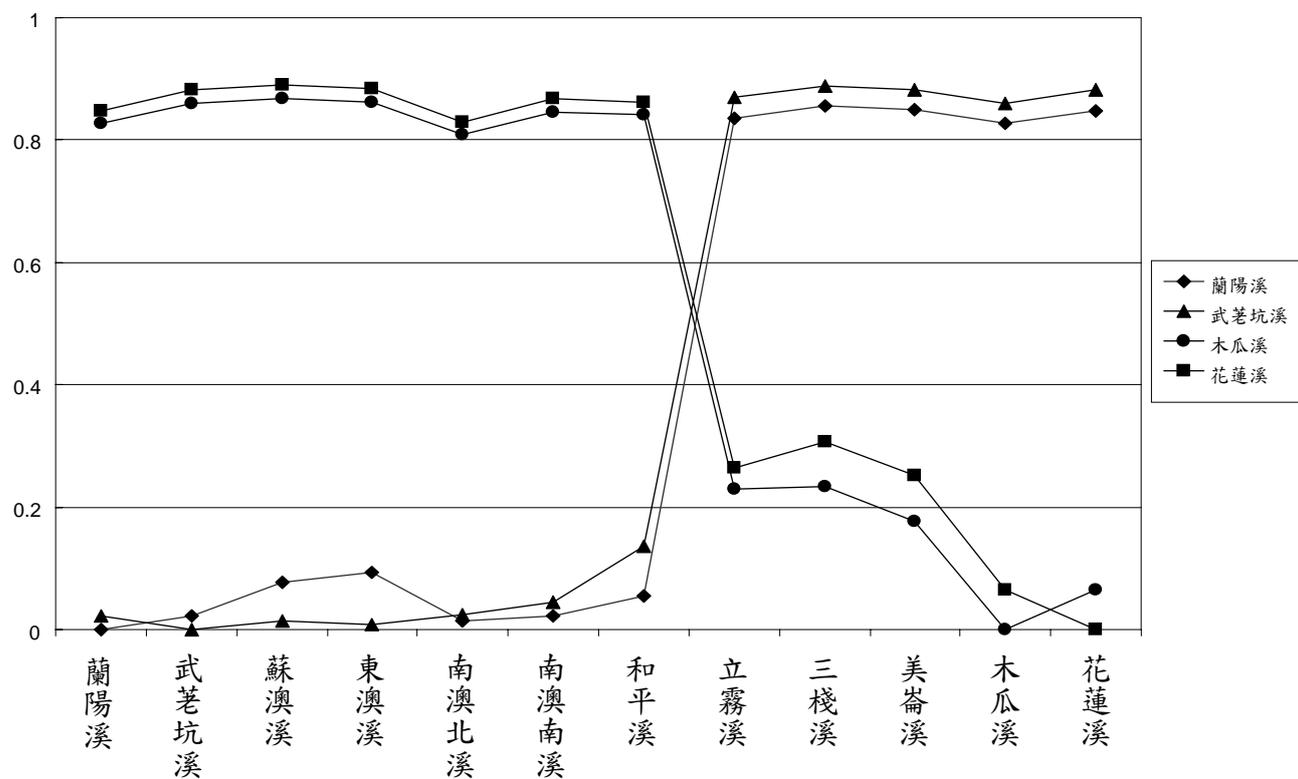


圖五、褐樹蛙 80 個基因型與地理分布。北部的基因型與東部的基因型完全沒有分布上的重疊。

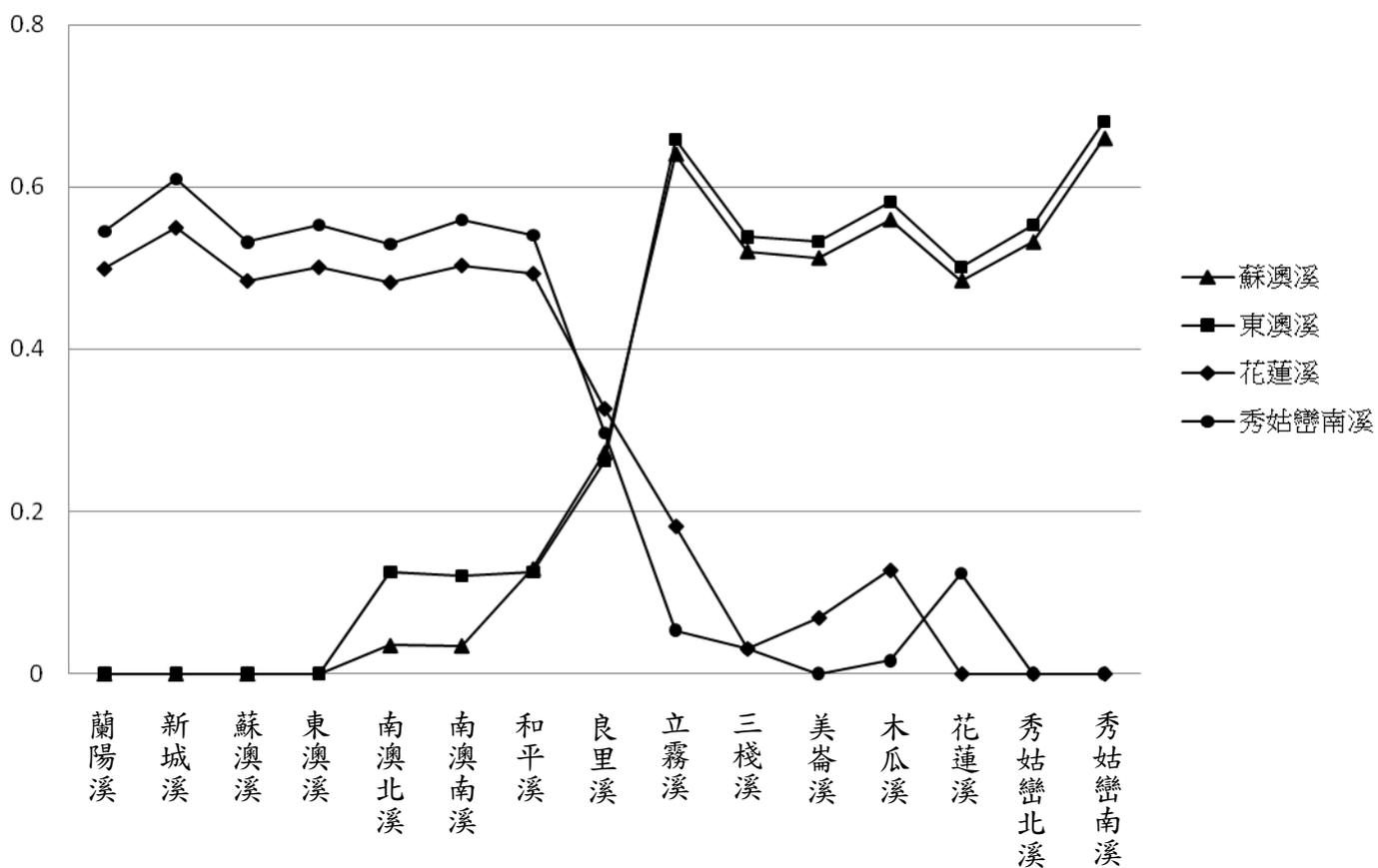


圖六、日本樹蛙 59 個基因型之親緣關係樹與地理分布。

Fst值

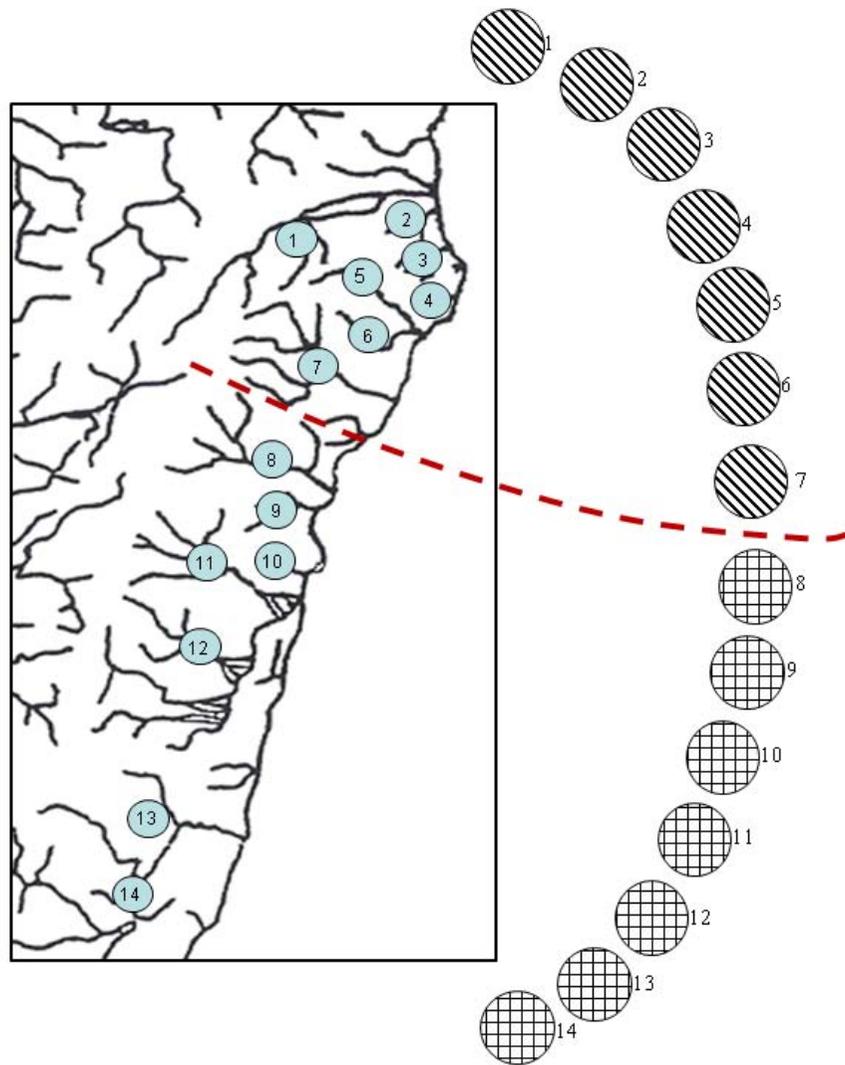


圖七、褐樹蛙流域間的族群分化指數沿著蘇花海岸地區變化的情形。
 (以最北和最南的四條河川為例)

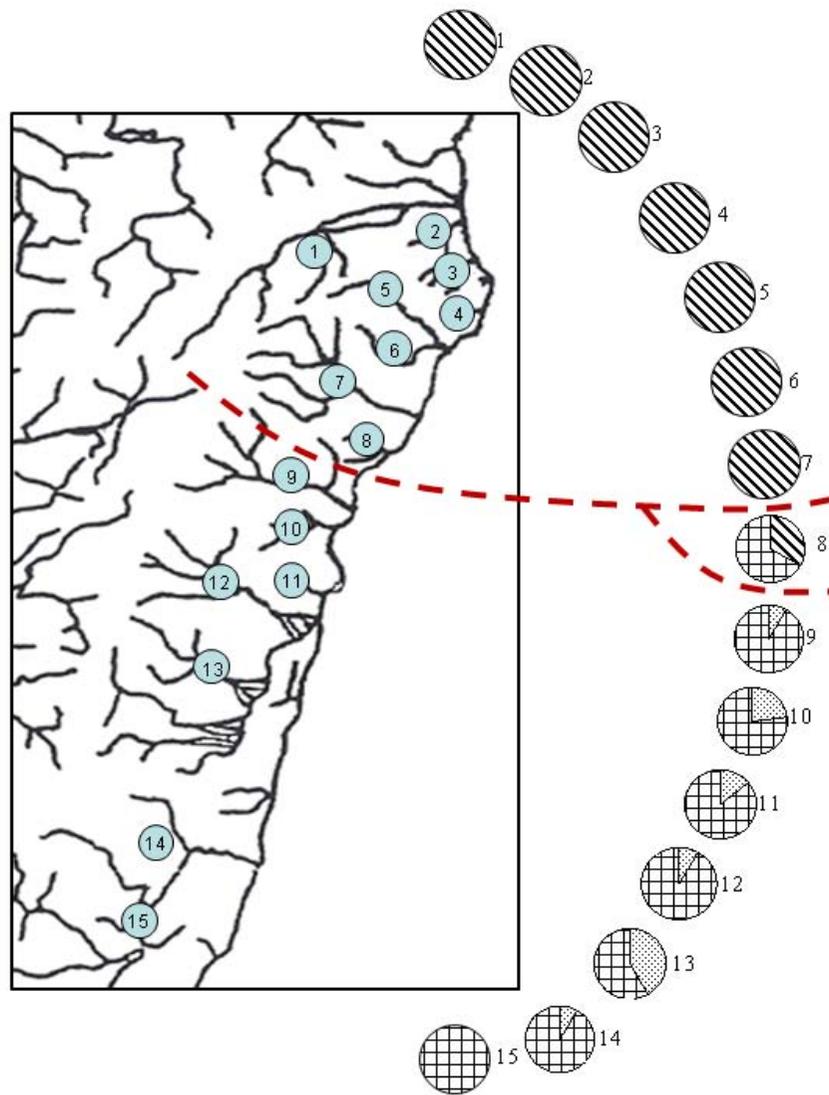


圖八、日本樹蛙族群流域間的族群分化指數沿著蘇花海岸地區變化的情形。

(以蘇澳溪、東澳溪、花蓮溪及秀姑巒南溪四條河川為例)



圖九、褐樹蛙(*Buergeria robusta*)系群分布圓餅圖，北部群與東部群的個體在分布上完全沒有重疊。



圖十、日本樹蛙(*Buergeria japonica*)系群分布圓餅圖，良里溪為北部群與東部群的交會帶。而東部地區存在著兩個系群。

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託研究計畫

「代表性生態系經營管理之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫

(二) — 蘇花海岸地形的物種阻隔效應及保育措施調查」

期中簡報會議記錄

一、時間：99 年 6 月 8 日 上午 11 時 00 分

二、地點：本處會議室

三、主持人：游處長登良

記錄：朱何宗

四、報告人：林思民教授

五、出席人員

張副處長登文	
許祕書英文	許英文
企劃經理課	夏中泥
解說教育課	連錦冰
遊憩服務課	劉東明
環境維護課	
保育研究課	陳俊山 朱何宗 高欣 葉佩芬
天祥管理站	董清波
布洛灣管理站	
合歡山管理站	
蘇花管理站	孫明珍 高煥榮

六、討論：

- (一) 蘇花海岸地區特殊的地理位置與地形地貌，提供了研究阻隔效應的絕佳場所，在 98 年與今年的調查顯示褐樹蛙以清水斷崖為分界，南北族群遺傳分化在各種分析中都達到顯著差異。
- (二) 鳥類具飛翔能力活動範圍較大，因此限制其分布的因子以氣候為主，在本園區內則以海拔分布來呈現；本議題已有「太魯閣國家公園鳥類遺傳多樣性調查」、「鳥類於不同棲地環境的生存適應」正進行研究中。兩棲爬行動物因移動能力受限，因此限制其分布的因子大多為地形因素，也造成了族群間的遺傳分化。
- (三) 立霧溪主流湍急含砂量高，因此蛙類較少，採樣時建議可至砂卡礑溪等支流。
- (四) 日本樹蛙分布範圍較廣，有時甚至可達海邊的小野溪，因此清水斷崖的阻隔效應影響程度值得調查。

七、結論：

- (一) 與會人員相關意見請受託單位納入參考。
- (二) 本期中簡報審查通過，准予備查。請受託單位依合約規定備妥相關資料請領第二期款。

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫

「代表性生態系經營管理之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫(二)蘇花海岸地形的物種阻隔效應及保育措施調查」

期末簡報會議記錄

- 一、時間：99 年 11 月 29 日 下午 14 時
- 二、地點：本處會議室
- 三、主持人：游處長登良 記錄：朱何宗
- 四、報告人：林思民教授
- 五、出席人員

張副處長登文	張登文
許秘書英文	許英文
企劃經理課	張名治 賴善慈
解說教育課	黃志強 陳顯味
遊憩服務課	林忠升
環境維護課	
保育研究課	陳俊山 朱何宗 高欣 李佩芳
天祥管理站	
布洛灣管理站	
合歡山管理站	
蘇花管理站	
	林展綱

六、討論：

- (一) 受託單位已於會議前提送期末報告書面資料 15 份，內容進度符合合約規定。
- (二) 本研究是比較粒線體內 cytochrome b 基因片段，本片段是屬於相對較敏感區域，若比較粒線體 16S 片段則可能得到相對較粗略的分群。
- (三) 針對蘇花替代道路施工對生物多樣性喪失可能的影響，本調查是否可提出減輕措施方案。
- (四) 本研究結果目前僅能得知地理分佈及分群現象，尚無法看出日本樹蛙過往的遷移路徑，未來若能比較日本琉球群島及台灣其他地區的樣本則有機會獲得較清楚的預測。

七、結論：

- (一) 與會人員相關意見，請受託單位納入參考。
- (二) 期末報告撰寫格式請依內政部委託研究作業規定辦理。
- (三) 本期末簡報審查通過，准予備查。請受託單位依會議結論修正書面報告，俟完成驗收後，依合約規定備妥相關資料請領第三期款。

參考文獻

- Avise, J. C. (2000). *Phylogeography: The history and formation of species*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
- Avise, J. C. (2004). *Molecular markers, natural history, and evolution*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA.
- Avise, J. C., J. Arnold, R. M. Ball, E. Bermingham, T. Lamb, J. E. Neigel, C. A. Reeb, and N. C. Saunders. (1987). Intraspecific phylogeography: The mitochondrial DNA bridge between population genetics and systematics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18: 489-522.
- Clarke, K. R., and R. M. Warwick. (2001). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd ed. – PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Coney, J. A., and H. A. Orr. (2004). *Speciation*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA.
- Creer, S., A. Malhotra, R. S. Thorpe, and W.-H. Chou. (2001). Multiple causation of phylogeographical pattern as revealed by nested clade analysis of the bamboo viper (*Trimeresurus stejnegeri*) within Taiwan. *Mol. Ecol.* 10: 1967-1981.
- Feinstein, J., X.-J. Yang, and S.-H. Li. (2008). Molecular systematics and historical biogeography of the Black-browed Barbet species complex (*Megalaima oorti*). *Ibis* 150: 40-49.
- Gemmell, N.J., and S. Akiyama. (1996). An efficient method for the extraction of DNA from vertebrate tissues. *Trend Genet.* 12: 338-339.
- Clement, M., D. Posada, and K. Crandall. (2000). TCS: a computer program to estimate gene genealogies. *Mol. Ecol.* 9: 1657-1660.
- Hikida, T., and H. Ota. (1997). Biogeography of reptiles in the subtropical East Asian islands, pp. 11–28. K.-Y. Lue and T. -H. Chen (eds.) *Proceedings of the symposium on the phylogeny, biogeography and conservation of fauna and flora of East Asian region*. National Science Council, Taipei.
- Jang-Liaw, N.-H., T.-H. Lee, and W.-H. Chou. (2008). Phylogeography of *Sylvirana latouchii* (Anura, Ranidae) in Taiwan. *Zool. Sci.* 25: 68-79.
- Kerbs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. Harper Collins. New York.
- Kumar, S., J. Dudley, M. Nei, and K. Tamura. (2008). MEGA: A biologist-centric software for evolutionary analysis of DNA and protein sequences. *Brief. Bioinform.* 9: 299-306.
- Lai, J.-S., and K.-Y. Lue. (2008). Two new *Hynobius* (Caudata: Hynobiidae) salamanders from Taiwan. *Herpetologica* 64: 63-80.
- Li, S.-H., J.-W. Li, L.-X. Han, C.-T. Yao, H. Shi, F.-M. Lei, and C. Yen. (2006). Species delimitation in the Hwamei *Garrulax canorus*. *Ibis* 148: 698-706.
- Li, S.-H., C. K.-L. Yeung, J. Feinstein, L. Han, M. H. Le, C.-X. Wang, and P. Ding. (2009). Sailing through the late Pleistocene: unusual historical demography of an East Asia

- endemic, the Chinese Hwamei (*Leucodioptron canorum canorum*) during the last glacial period. *Mol. Ecol.* 18: 622-633.
- Librado, P., and J. Rozas, 2009. DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics* 25: 1451-1452.
- Lin, H.-C., S.-H. Li, J. Fong, and S.-M. Lin. (2008). Ventral coloration differentiation and mitochondrial sequences of the Chinese Cobra (*Naja atra*) in Taiwan. *Cons. Genet.* 9: 1089-1097.
- Lin, H.-D., K.-C. Hsu, K.-T. Shao, Y.-C. Chang, J.-P. Wang, C.-J. Lin, and T.-Y. Chiang. (2008). Population structure and phylogeography of *Aphyocypris kikuchii* (Oshima) based on mitochondrial DNA variation. *Jour. Fish Biol.* 72: 2011-2025.
- Lin, S.-M., C. A. Chen, and K.-Y. Lue. (2002). Molecular phylogeny and biogeography of the grass lizards genus *Takydromus* (Reptilia: Lacertidae) of East Asia. *Mol. Phylogenet. Evol.* 22: 276-288.
- Lin, S.-M., W.-S. Chang, S.-L. Chen, G. Shang, and K.-Y. Lue. (2003). Taxonomic status of the legless lizard *Ophisaurus* (Squamata: Anguillidae) in Taiwan: molecular data, morphology, and literature review. *Zool. Stud.* 42: 411-419.
- Lue, K.-Y., and S.-M. Lin. (2008). Two new cryptic species of *Takydromus* (Squamata: Lacertidae) from Taiwan. *Herpetologica* 64: 379-395.
- Mayr, E. (1963). Animal species and evolution. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Ota, H. (1997). Historical biogeographical implications in the variation and diversity of amphibians and reptiles in Taiwan, pp. 75–86. K. Y. Lue and T. -H. Chen (eds.) Proceedings of the symposium on the phylogeny, biogeography and conservation of fauna and flora of East Asian region. National Science Council, Taipei.
- Swofford, D. L. (2002). PAUP 4.0b10: Phylogenetic analysis using parsimony and other methods. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Toda, M., M. Nishida, M. Matsui, K.-Y. Lue, and H. Ota. (1998). Genetic variation in the Indian rice frog, *Rana limnocharis* (Amphibia: Anura), in Taiwan, as revealed by allozyme data. *Herpetologica* 54: 73-82.
- Liao, T.-Y., T.-Y. Wang, H.-D. Lin, S.-C. Shen, and C.-S. Tzeng. (2008). Phylogeography of the endangered species, *Sinogastromyzon puliensis* (Cypriniformes: Balitoridae), in southwestern Taiwan based on mtDNA. *Zool. Stud.* 47: 383-392.
- Wang, H.-Y., M.-P. Tsai, M.-J. Yu, and S.-C. Lee. (1999). Influence of glaciation on divergence patterns of the endemic minnow, *Zacco pachycephalus*, in Taiwan. *Mol. Ecol.* 8: 1879-1888.
- Wang, J.-P., H.-D. Lin, S. Huang, C.-H. Pan, X.-L. Chen, and T.-Y. Chiang. (2004). Phylogeography of *Varicorhinus barbatulus* (Cyprinidae) in Taiwan based on nucleotide variation of mtDNA and allozymes. *Mol. Phylogenet. Evol.* 31: 1143-1156.

Wang, J.-P., K.-C. Hsu, and T.-Y. Chiang. (2000). Mitochondrial DNA phylogeography of *Acrossocheilus paradoxus* (Cyprinidae) in Taiwan. *Mol. Ecol.* 9: 1483-1494.

王昭均，2006。台灣東部地區草蜥屬雜交現象之偵測。國立臺灣師範大學生命科學研究所碩士論文。

向高世，1997。由粒線體核酸序列分析臺灣產攀蜥屬蜥蜴之親緣關係及生物地理。國立中山大學生命科學研究所碩士論文。

向高世，2001。台灣蜥蜴自然誌。大樹出版社。台北市。

呂光洋、杜銘章、向高世，1999。臺灣兩棲爬行動物圖鑑。中華民國自然生態保育協會、大自然雜誌社。台北市。

林思民，2003。臺灣及鄰近地區草蜥屬的親緣關係與親緣地理學研究（有鱗目：蜥蜴科）。國立臺灣師範大學生物學系博士論文。

林彥博，2009。台灣與鄰近地區黑蒙西氏小雨蛙的親緣地理學研究。國立台灣師範大學生命科學系碩士論文。

林華慶、林思民，2007。臺灣地區龜殼花遺傳多樣性研究。行政院農業委員會林務局科技計畫期末報告。

許祐薰、許育誠、劉小如，2008。使用分子遺傳標記區辨烏頭翁、白頭翁及其雜交子代。第七屆海峽兩岸鳥類學術研討會（1st, Jan., 2008）。台北。台灣。

許譽騰，1999。由族群遺傳結構探討白頭翁與烏頭翁之演化關係。國立台灣大學動物所碩士論文。

陳宏年，2008。台灣地區白腹游蛇族群遺傳與親緣地理。中國文化大學生命科學系學士論文。

陳義雄、方力行，1999。臺灣淡水及河口魚類誌。國立海洋生物博物館籌備處。屏東縣。

陳義雄、張詠青，2005。臺灣淡水魚類原色圖鑑：第壹卷--鯉形目。水產出版社。基隆市。

張天祐，2008。台灣區內白領樹蛙複合種族群遺傳結構與分類地位之探討。國立臺灣師範大學生命科學研究所碩士論文。

張伊鈞，2008。以粒線體 DNA 與形態特徵探討艾氏樹蛙族群親緣地理與演化。國立中興大學生命科學研究所碩士論文。

曾晴賢，1986。台灣的淡水魚類。台灣省政府教育廳自然科學教育叢書。基隆市。

葉文珊，1997。莫氏樹蛙族群地理親源關係之研究。國立台灣大學動物學系碩士論文。

蔡長益，1999。以粒線體 12S 核糖體核酸與細胞色素 b 序列分析守宮族群親緣關係。國立中山大學生命科學研究所碩士論文。

劉國強，1994。以粒線體核酸分析斯文豪氏攀蜥之生物地理與親緣關係。國立中山大學生命科學研究所碩士論文。

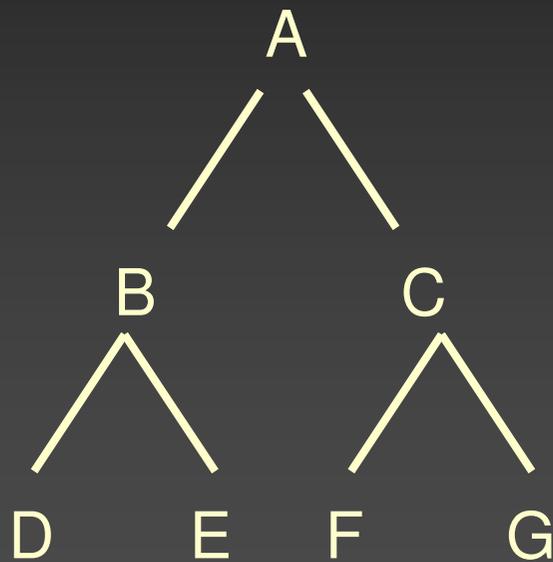


代表性生態系經營管理之蘇花海岸生態系
長期生態研究網計畫(二)
蘇花海岸地形的物種阻隔效應及保育措施調查

林思民

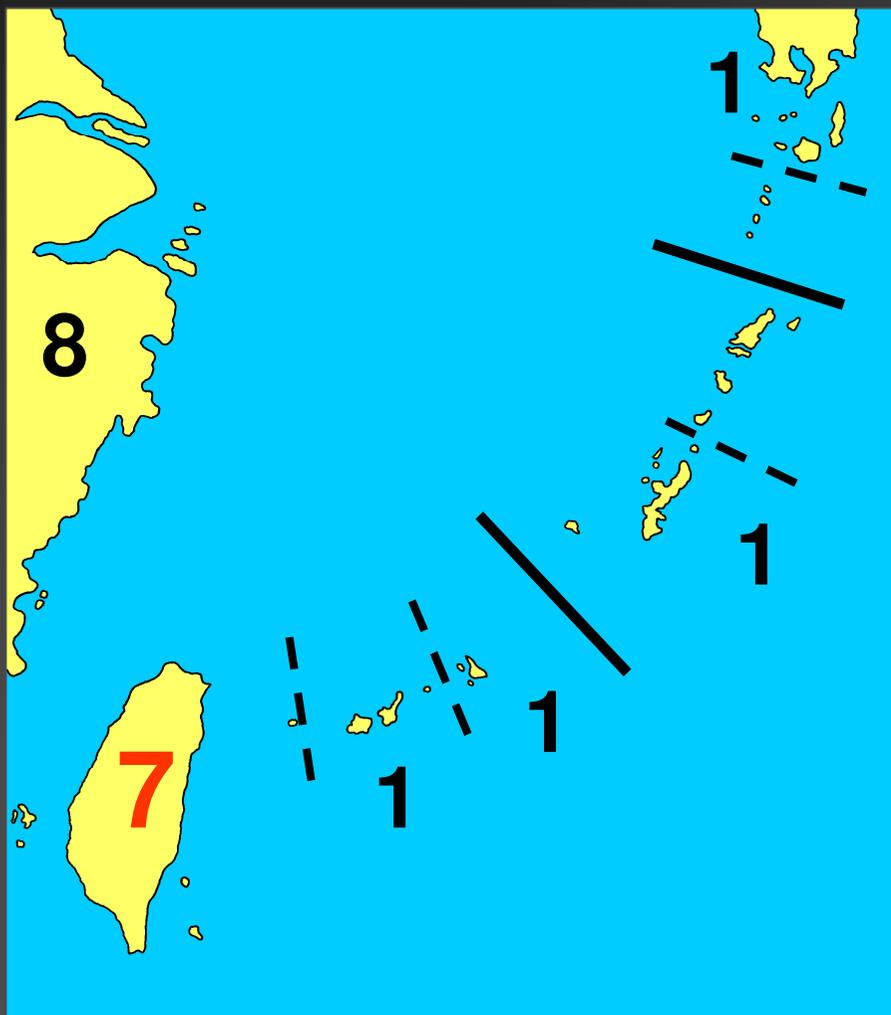
國立台灣師範大學生命科學系

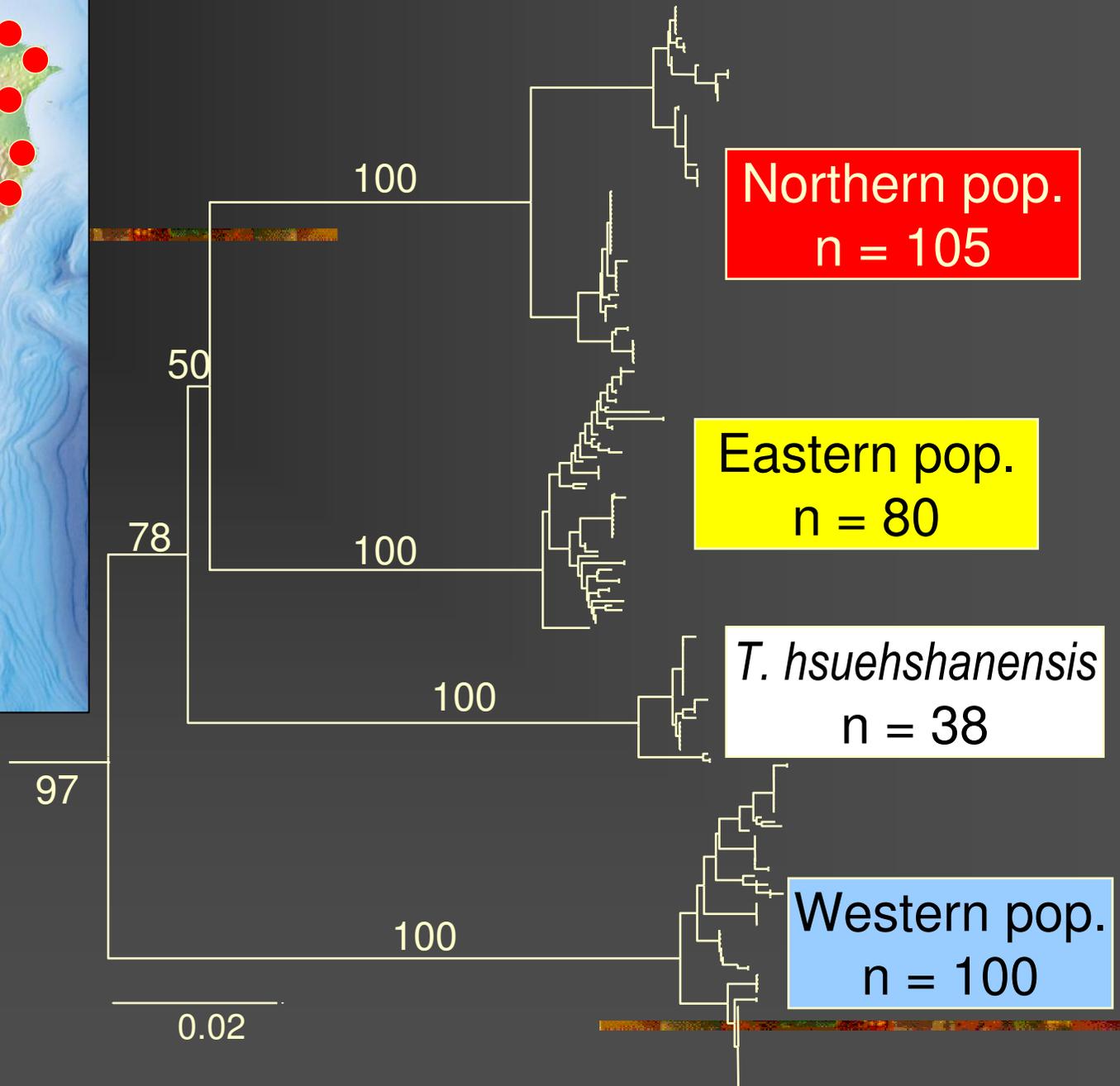
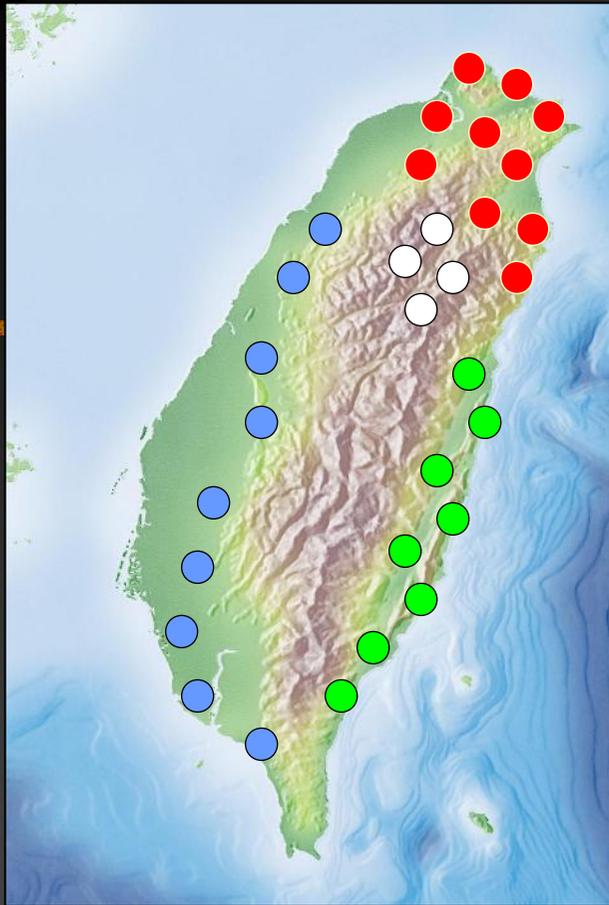
Allopatric speciation 異域種化



	Allopatric	Peripatric	Parapatric	Sympatric
Original population				
Initial step of speciation				
Evolution of reproductive isolation				
New distinct species after equilibration of new ranges				

「島間」 vs. 「島內」







南澳 n = 5

和平 n = 7

和仁 n = 11

崇德 n = 13

三棧 n = 10

新城 n = 11

花蓮 n = 6

壽豐 n = 16

5km

Herpetologica, 64(3), 2008, 379–395
© 2008 by The Herpetologists' League, Inc.

TWO NEW CRYPTIC SPECIES OF *TAKYDROMUS* (SQUAMATA: LACERTIDAE) FROM TAIWAN

KUANG-YANG LUE AND SI-MIN LIN*

Department of Life Science, National Taiwan Normal University, Taipei 116, Taiwan



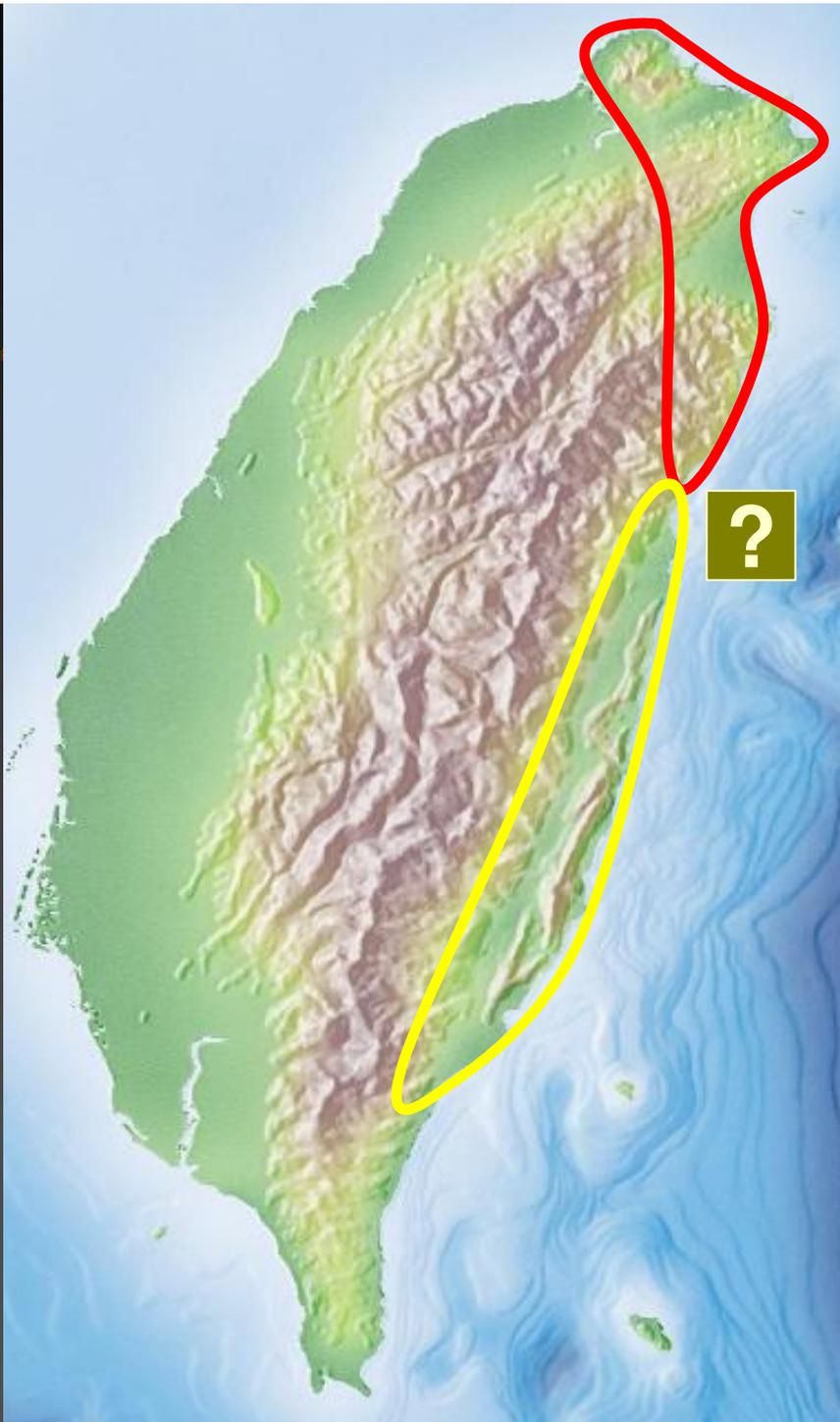
T. formosanus



T. viridipunctatus
(翠斑草蜥)



T. lueyanus
(鹿野草蜥)



翠斑草蜥

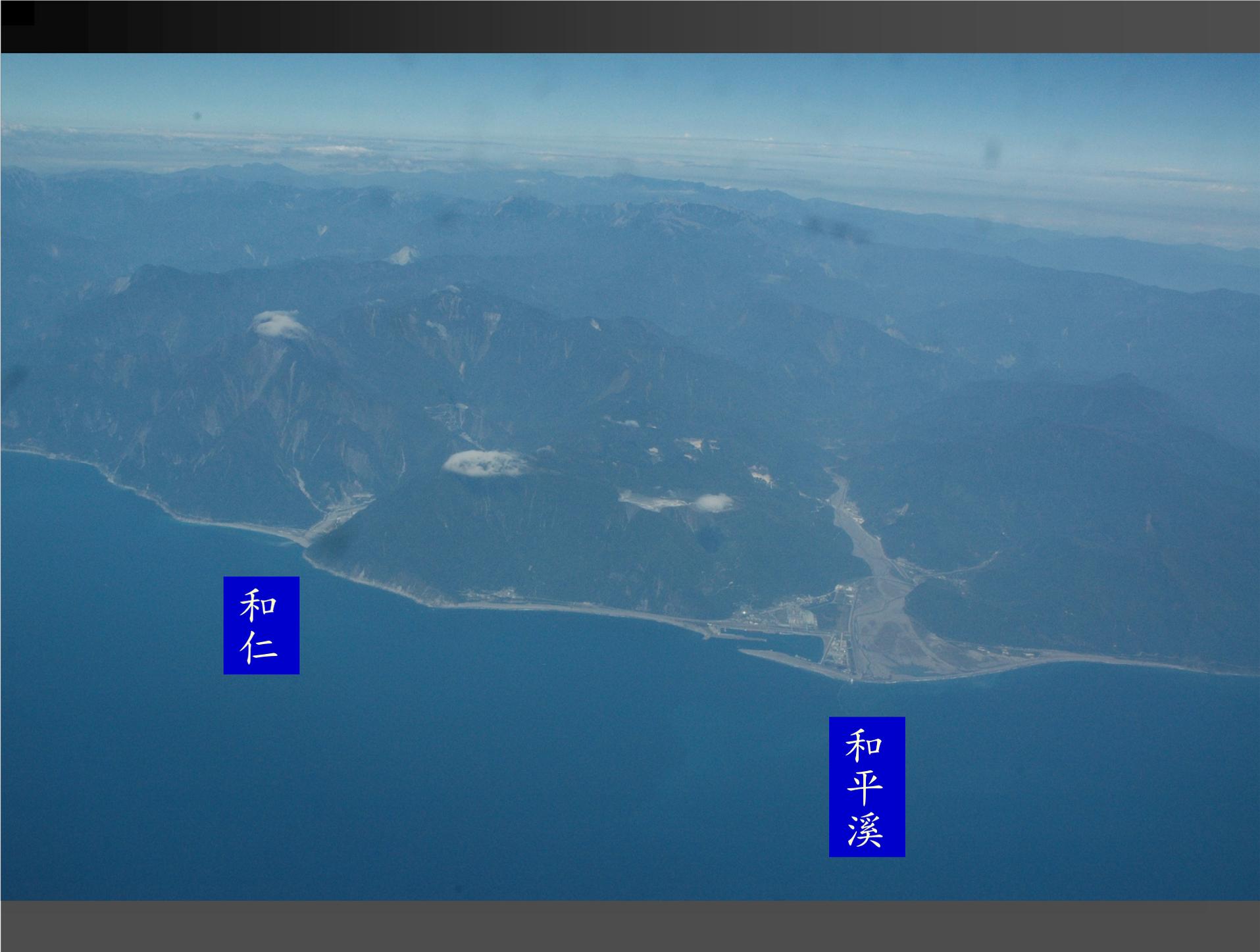


鹿野草蜥



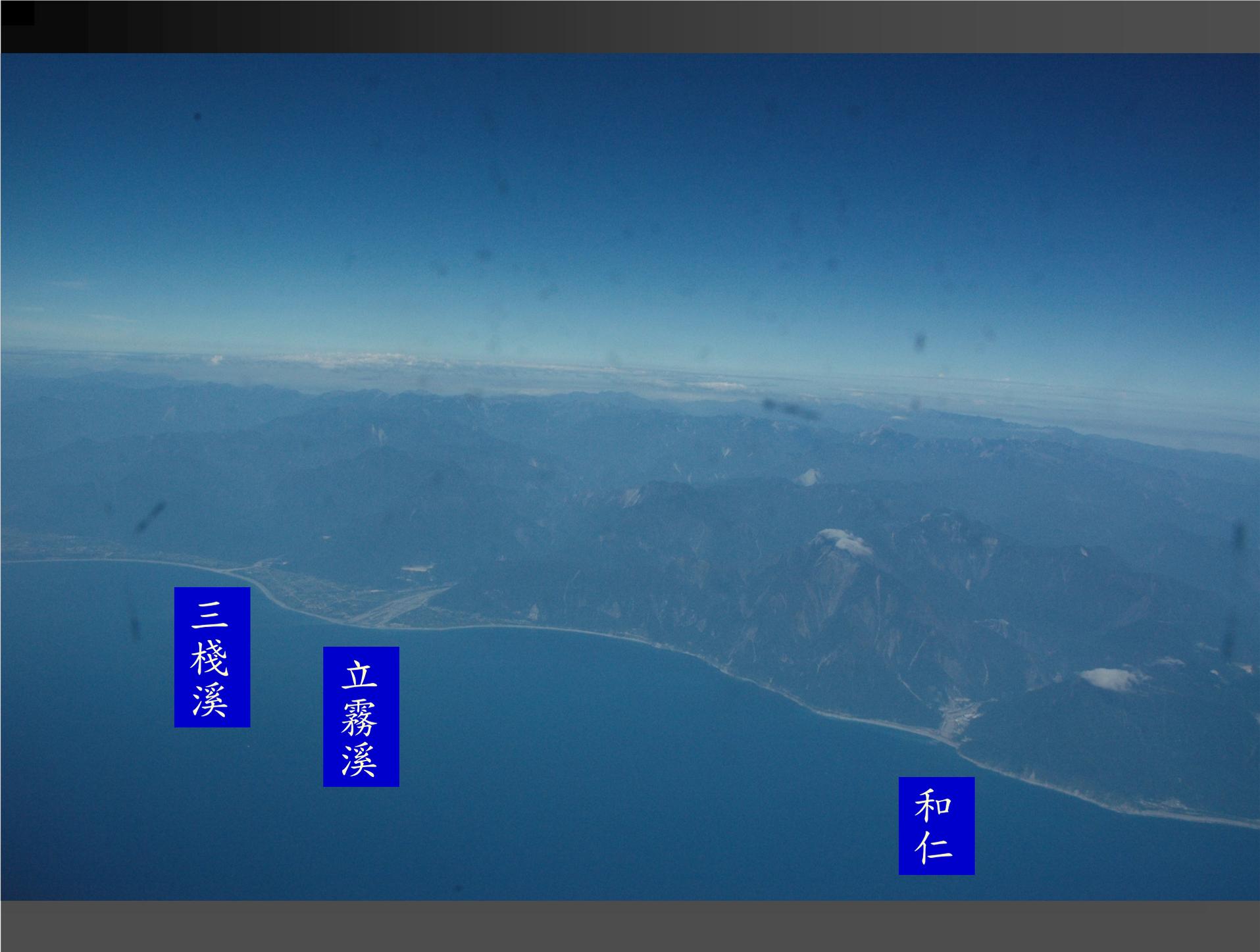
南澳溪

東澳溪

An aerial photograph of a mountainous region. The foreground shows a wide river valley with a dam structure. The middle ground features a range of dark, forested mountains with some snow patches. The background consists of more distant, hazy mountain ranges under a clear blue sky. Two blue boxes with white text are overlaid on the image.

和
仁

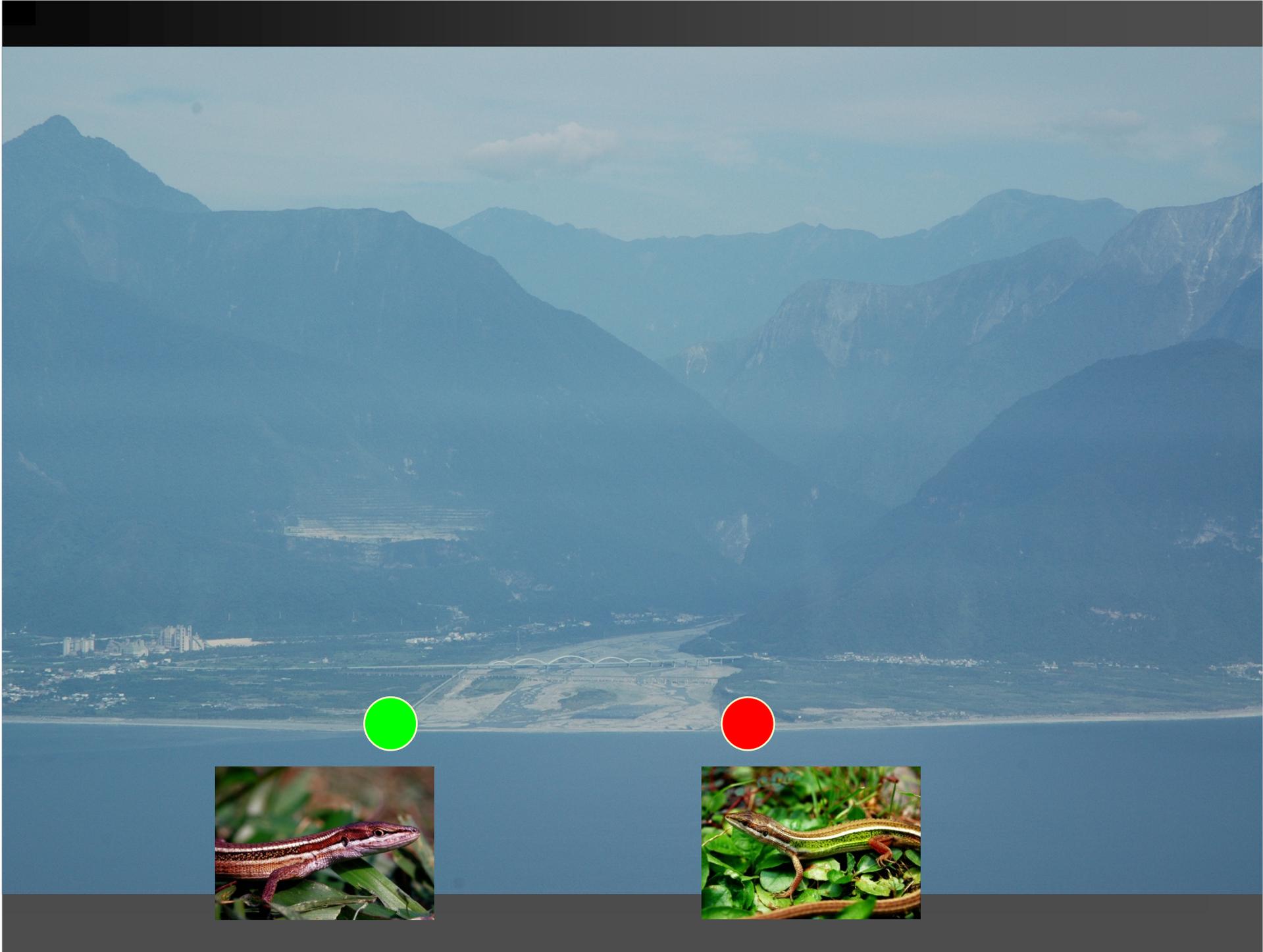
和
平
溪

An aerial photograph of a mountain range with a valley and a river. The mountains are dark and rugged, with some snow patches. The valley is a mix of green and brown, indicating vegetation and possibly a riverbed. The sky is a clear, deep blue. Three blue rectangular labels with white text are overlaid on the image: '三棧溪' on the left, '立霧溪' in the center, and '和仁' on the right.

三棧溪

立霧溪

和仁









白頭翁



烏頭翁



Zacco spp.



褐吻鰕虎



台灣間吸鰕



台灣石賓



高身鰕魚



大吻鰕虎



台東間吸鰕



何氏棘魚



面天樹蛙



翡翠樹蛙



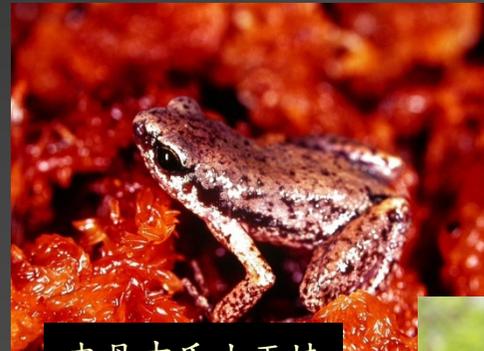
台北樹蛙



古氏赤蛙



黑蒙西氏小雨蛙



史丹吉氏小雨蛙



巴氏小雨蛙



無疣蝎虎



翠斑草蜥



蓬萊草蜥



黃口攀蜥



疣尾蝎虎



鹿野草蜥



南台草蜥



鱗趾蝎虎



半葉趾蝎虎



股鱗蜓蜥

α_1



β diversity

α_2

γ diversity

■ 1. 物種上的區隔！

■ 2. 遺傳上的區隔！

哪些物種， 在山脈兩端呈現遺傳分化？



但是，從來沒有人……

- 針對蘇花海岸的遺傳隔離效應，
進行小尺度的深入研究
- 針對不同溪谷之間的動物組成，
進行深入的調查
- 深入探討物種分布的成因
 - 地理因素？
 - 歷史因素？
 - 氣候因素？
 - 隨機因素？

太魯閣：鬼斧神工之外？



- 為什麼不利用難得的天然屏障，
呈現這個生物演化上的重要現象？
- 遺傳多樣性
 - 地理造成的遺傳分化（genetic differentiation）
- 物種多樣性
 - 地理阻隔造成的種化現象（speciation）
- 環境多樣性
 - 地理阻隔維持不同地區的獨特性（beta diversity）

本年度著手的部份

- 1. 遺傳與親緣地理學分析
 - 日本樹蛙（水域物種）
- 2. 物種調查與比較
 - 溪谷之間的生物地理關係



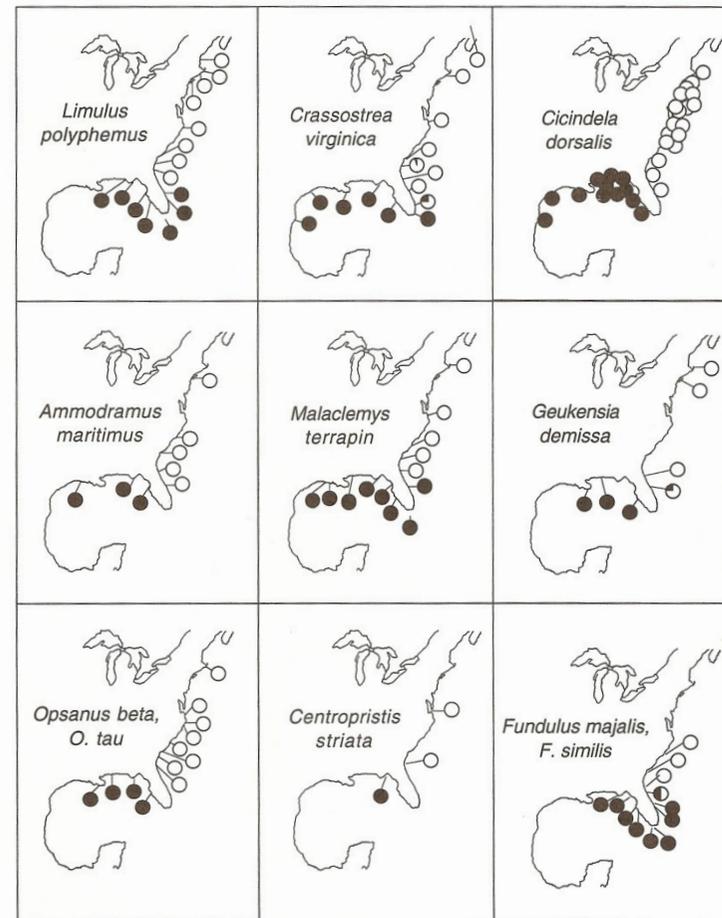
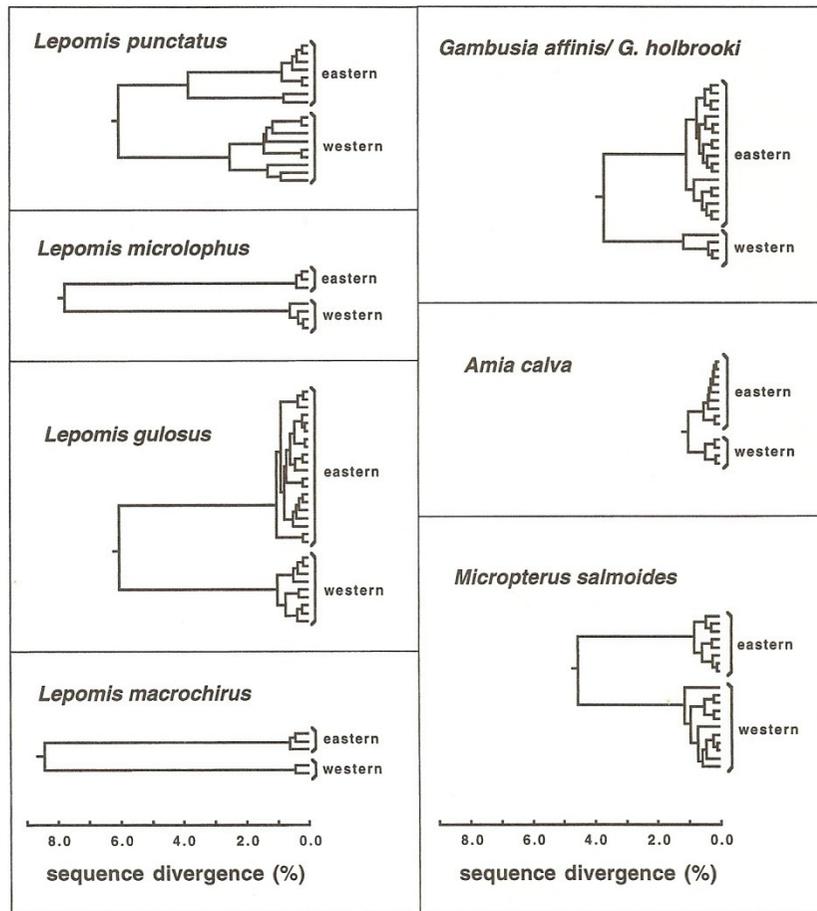
第一部分：兩種溪樹蛙的 親緣地理學比較



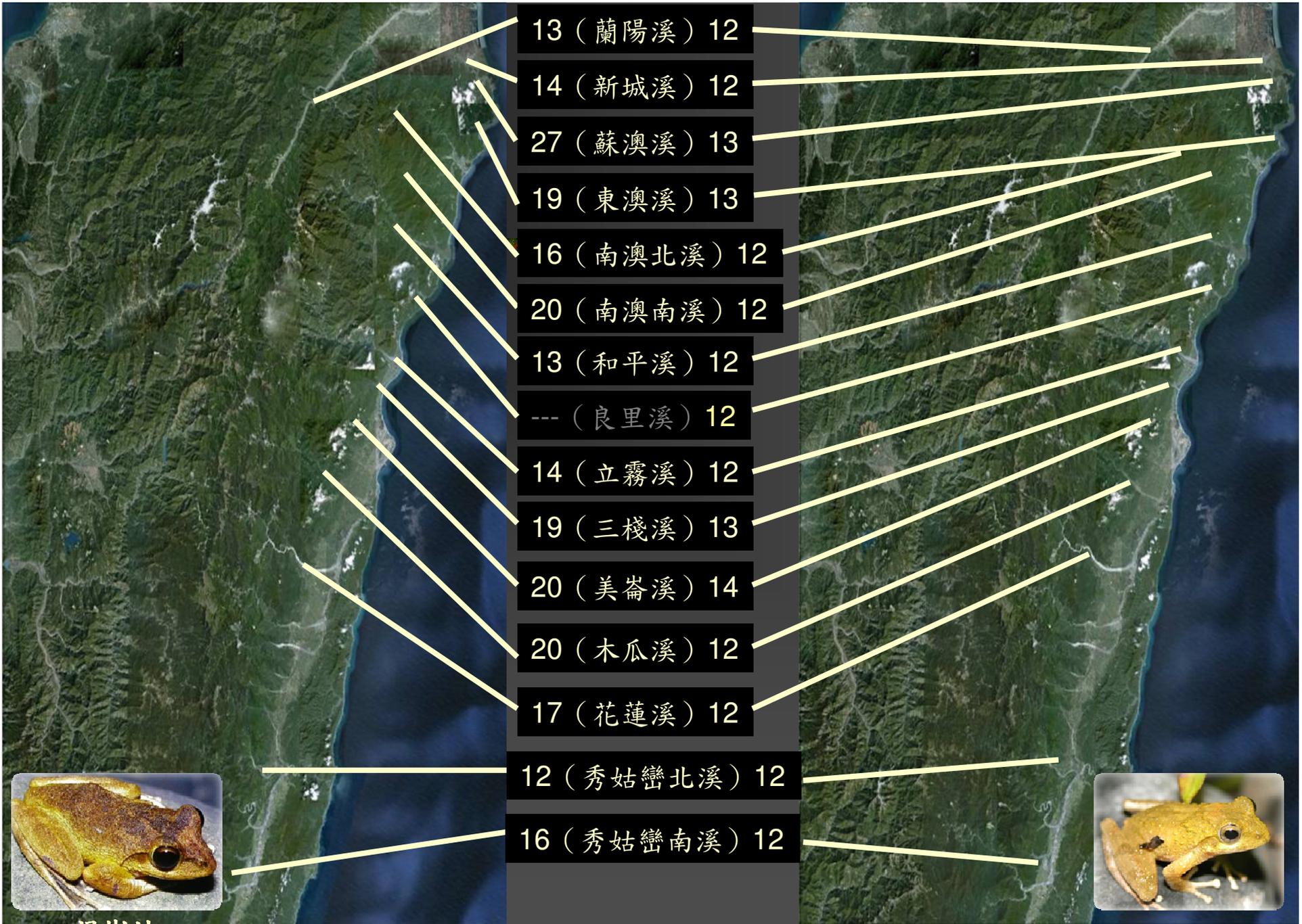
日本樹蛙
Buergeria japonica



褐樹蛙
Buergeria robusta



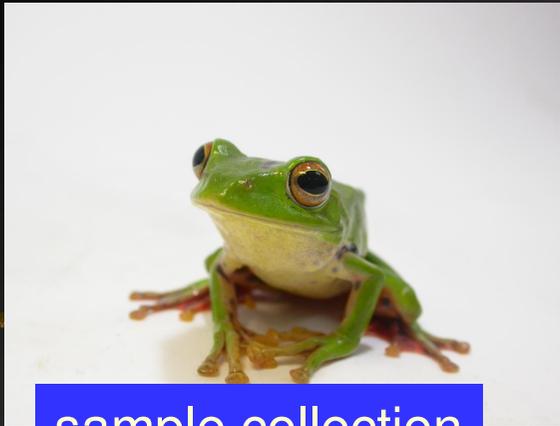
“concordance among species” (Avice, 2000)
 強調不同類群生物之間的「一致性」



褐樹蛙
(*Buergeria robusta*)



日本樹蛙
(*Buergeria japonica*)



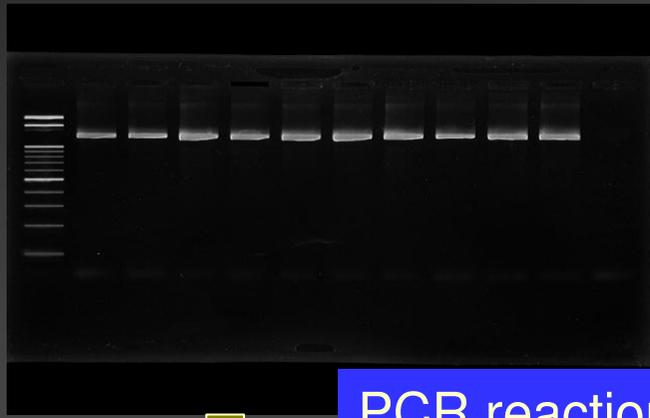
sample collection



tissue collection



DNA extraction



PCR reaction



DNA sequencing



材料與方法：

■ 1. 樣本採集

- 於各生物地理樣區進行採集
- 剪趾標記後於原地釋放

■ 2. 分生技術

- 萃取DNA，並保存於-20°C冰箱
- 利用PCR增幅粒線體DNA cytochrome *b* 片段
- 利用自動定序儀進行DNA定序
- 利用Sequencher 4.1進行序列修整

材料與方法：

■ 3. 資料分析

- PAUP, MEGA：重建基因型之間的演化樹
- DnaSP：計算遺傳多樣性與遺傳分化指數
- Arlequin：計算族群間與族群內的變異程度
- TCS, MINSNET：重建基因型之間的network
- GeoDis：進行TCS分析

Results:

- 樣本數：

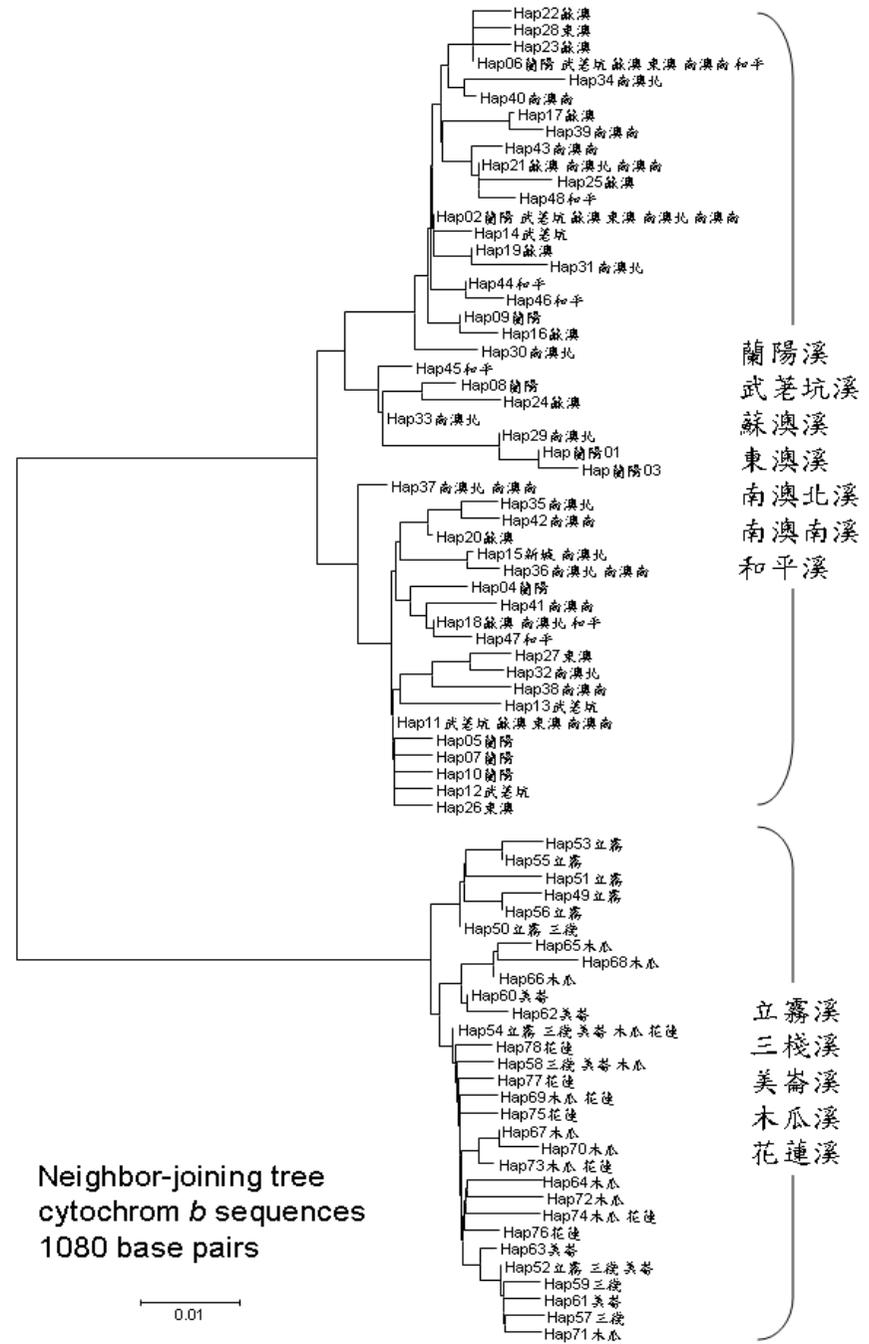
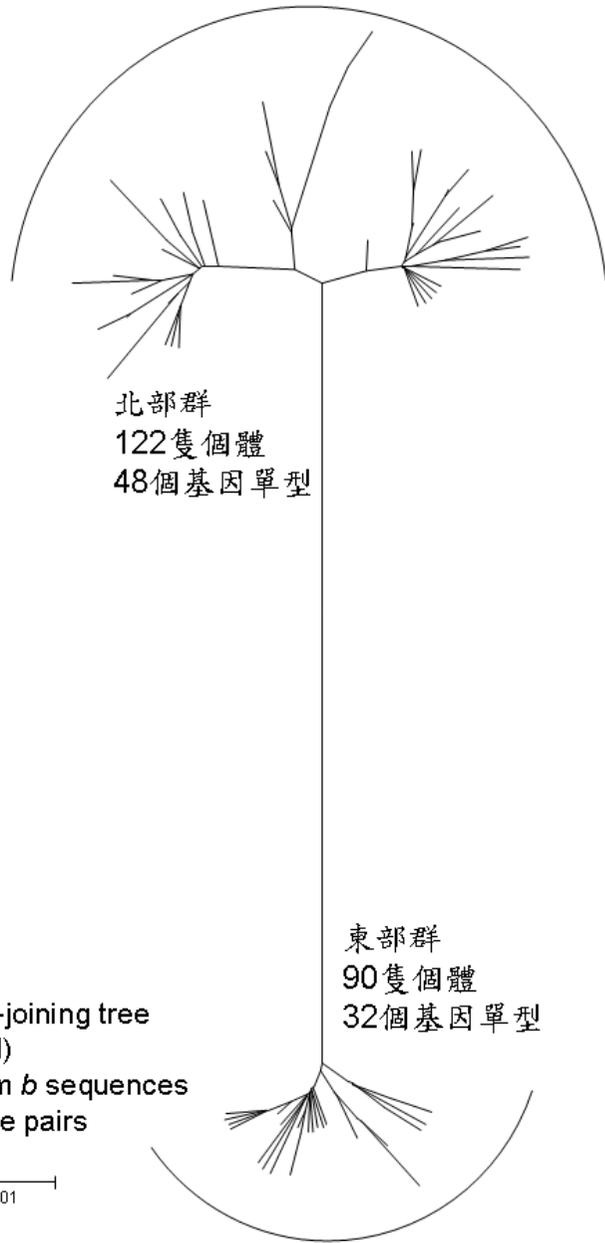
- 褐樹蛙：212 日本樹蛙：185

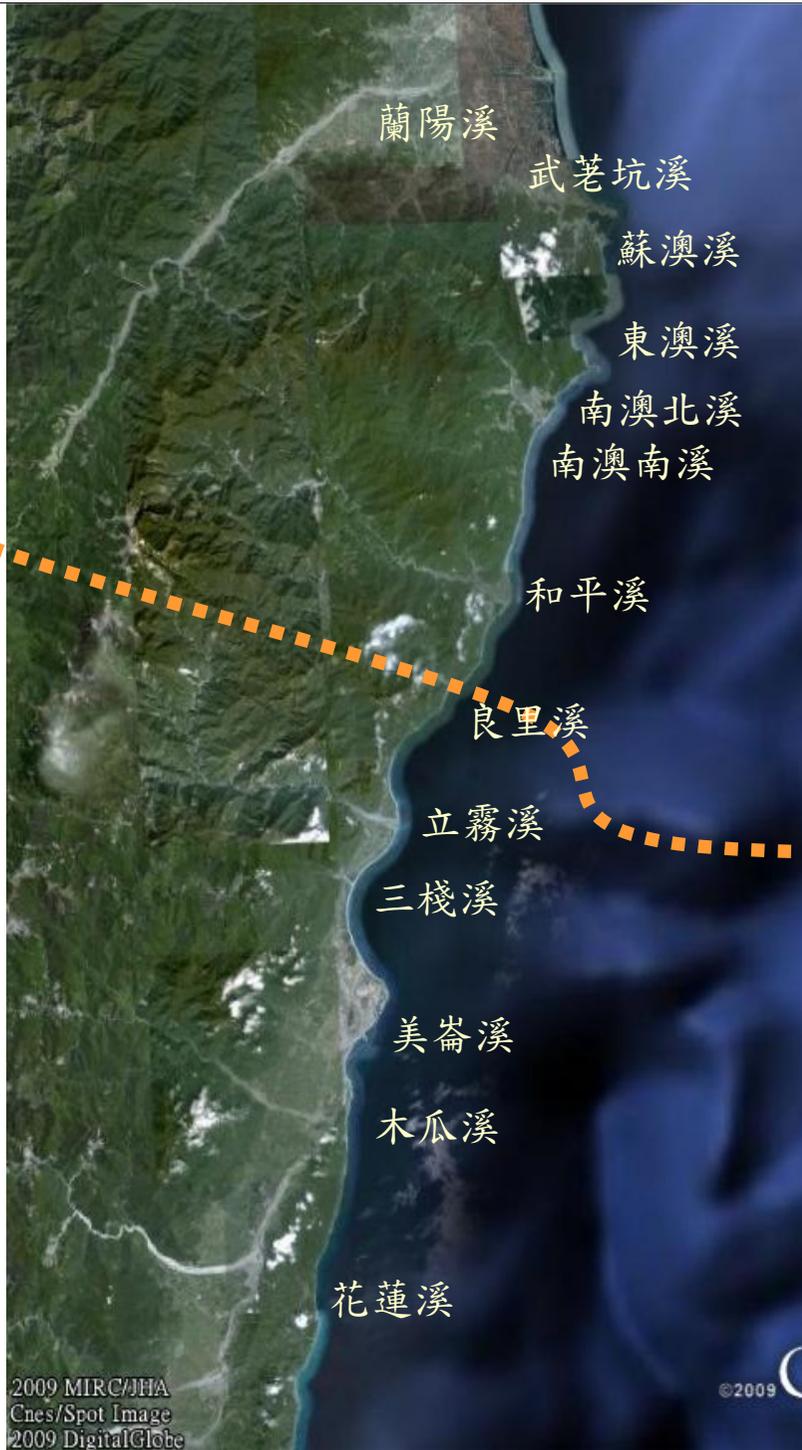
- 粒線體 cytochrome *b* 序列

- 褐樹蛙：1080bp 日本樹蛙：1030bp

- 操作單元為基因型 (haplotype)

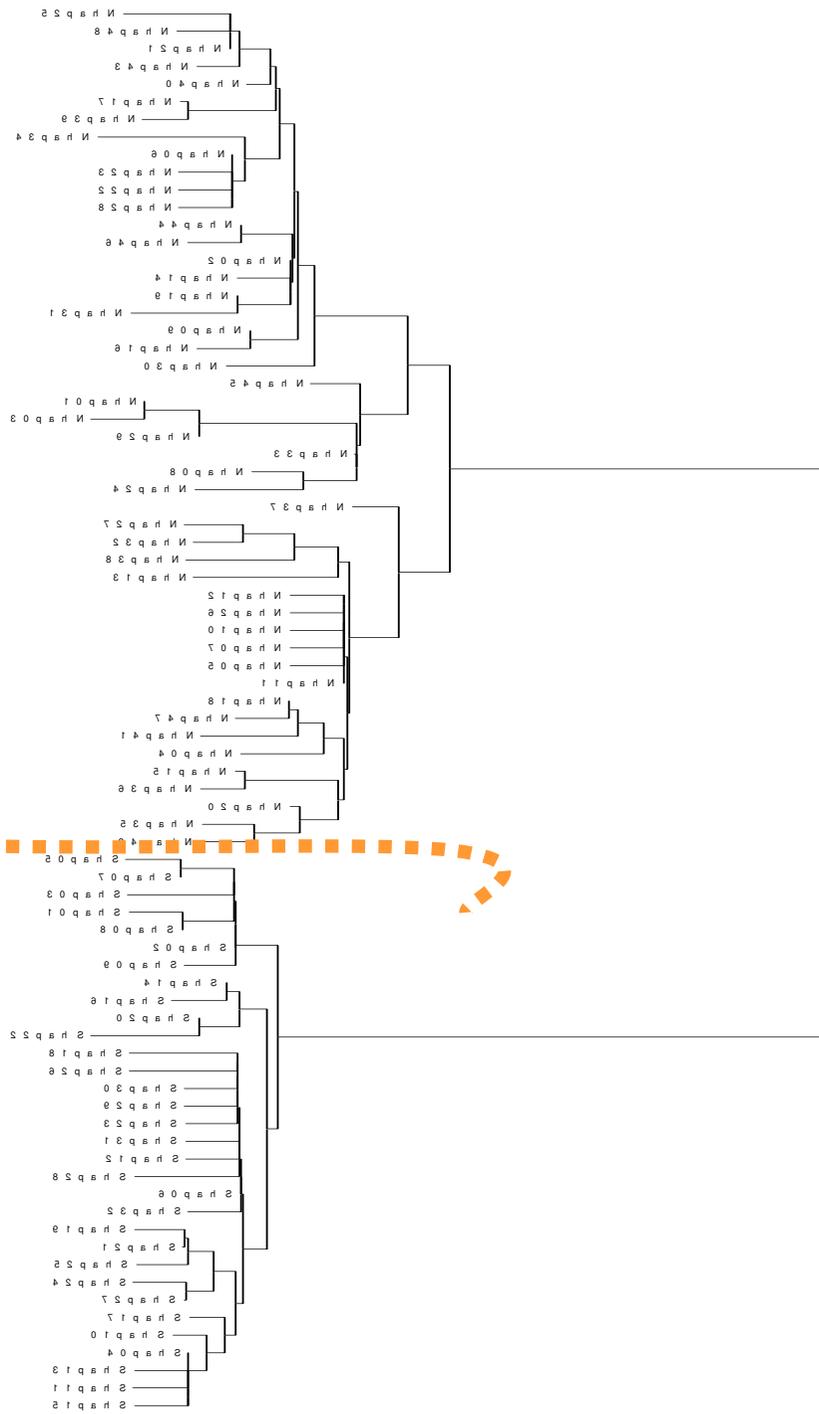
- 褐樹蛙：80個基因型 日本樹蛙：59個基因型





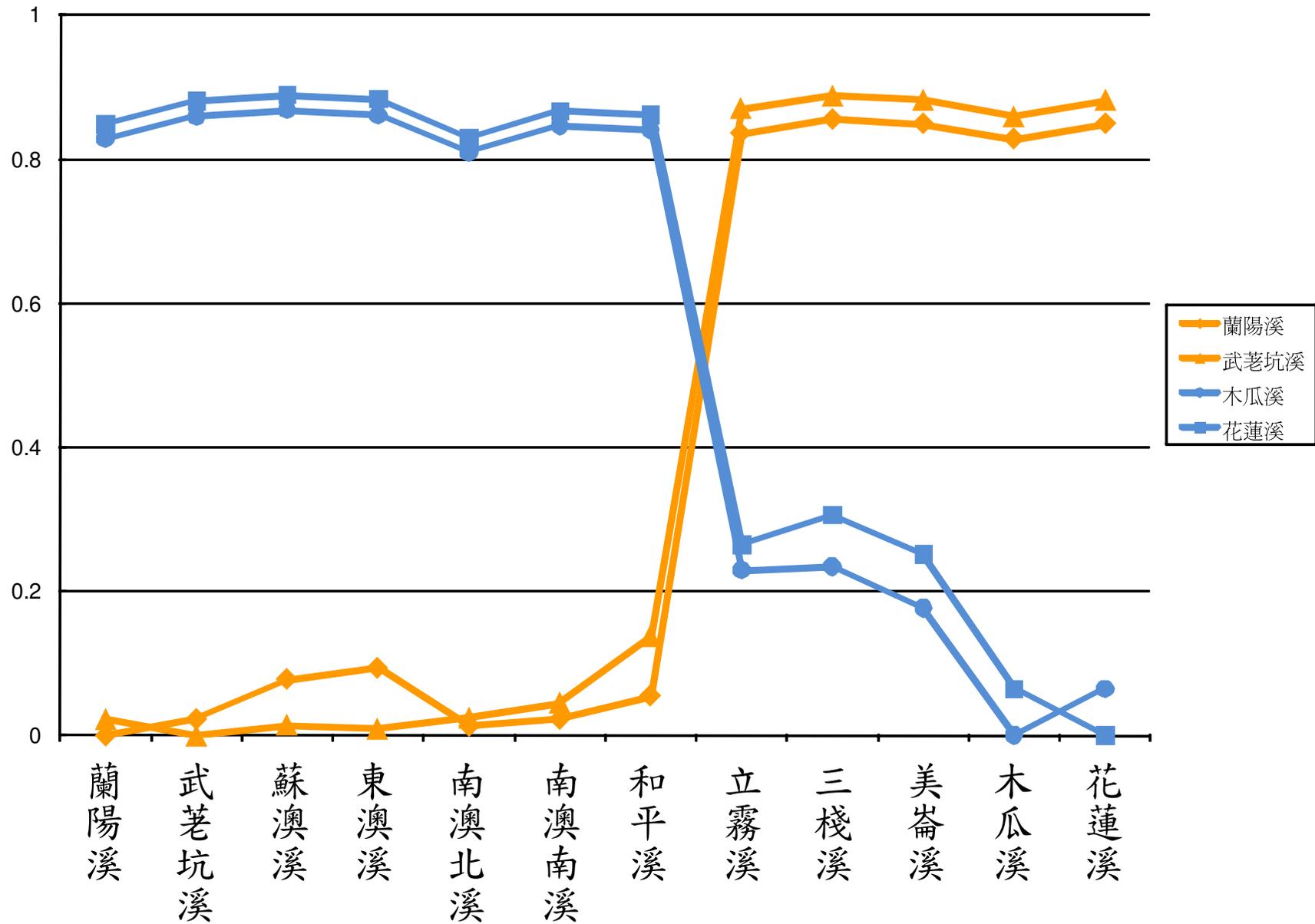
2009 MIRC/JHA
Cnes/Spot Image
2009 DigitalGlobe

©2009

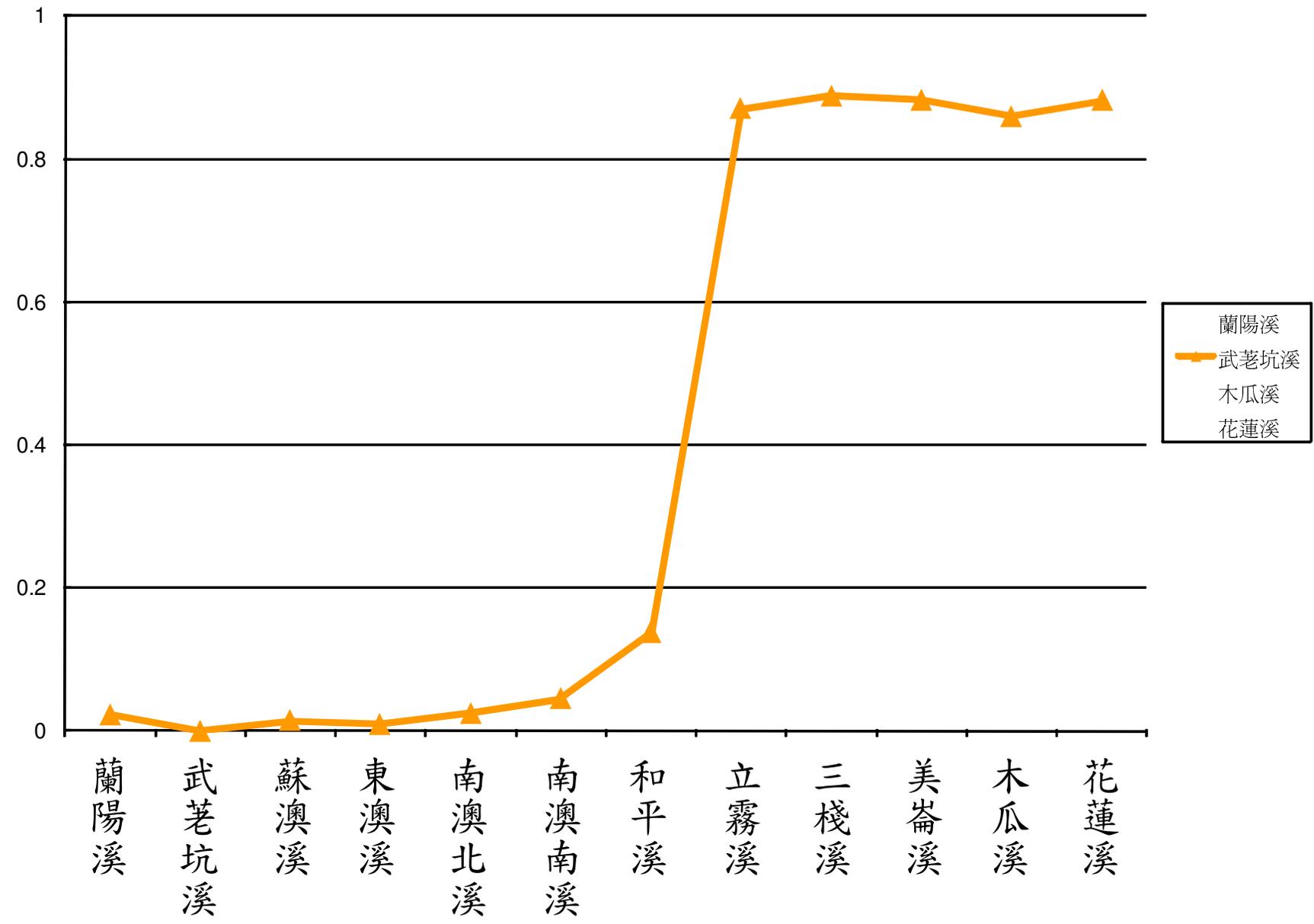


0.05

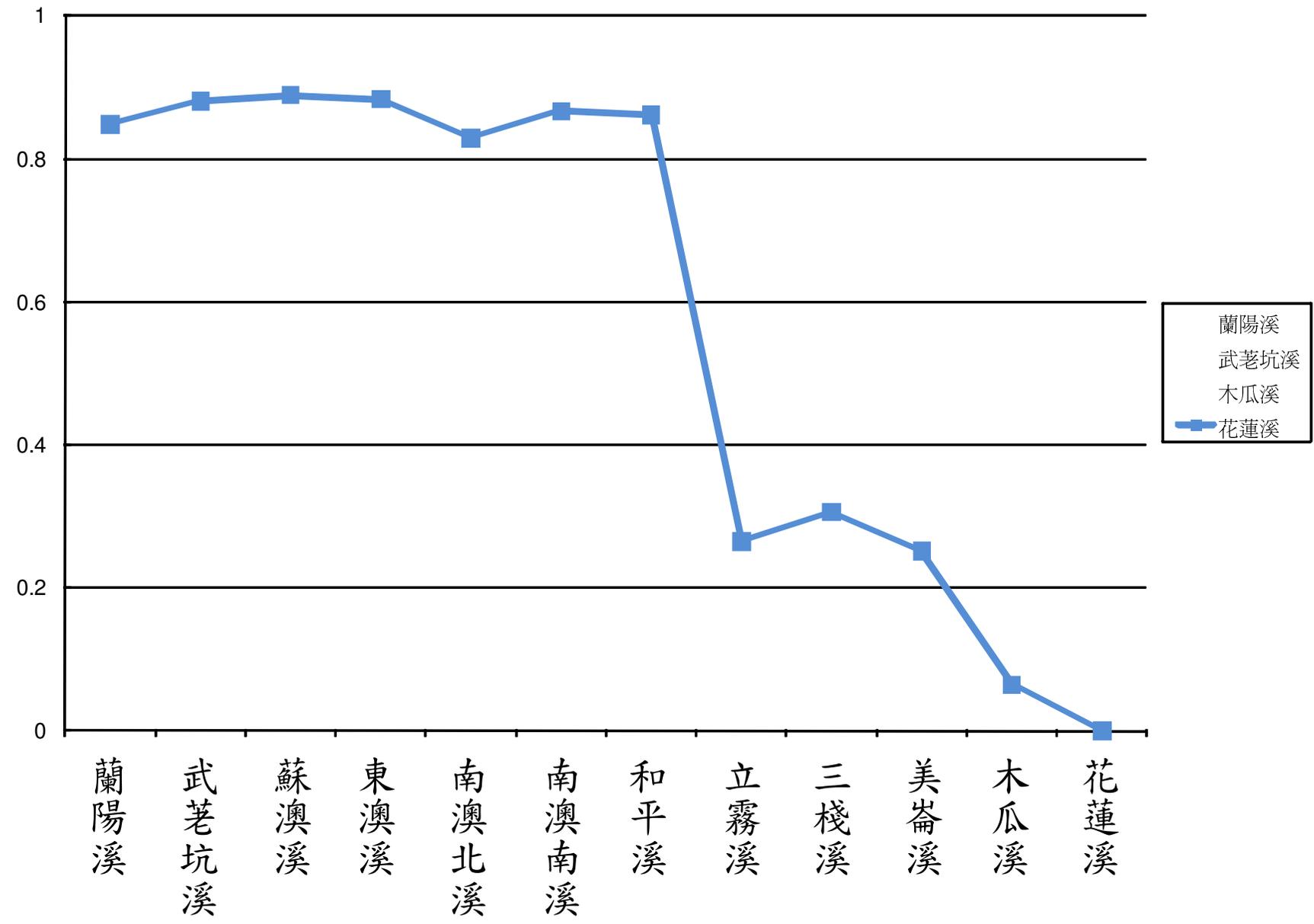
F_{st} 值(遺傳分化指數)跨過邊界之後陡增！

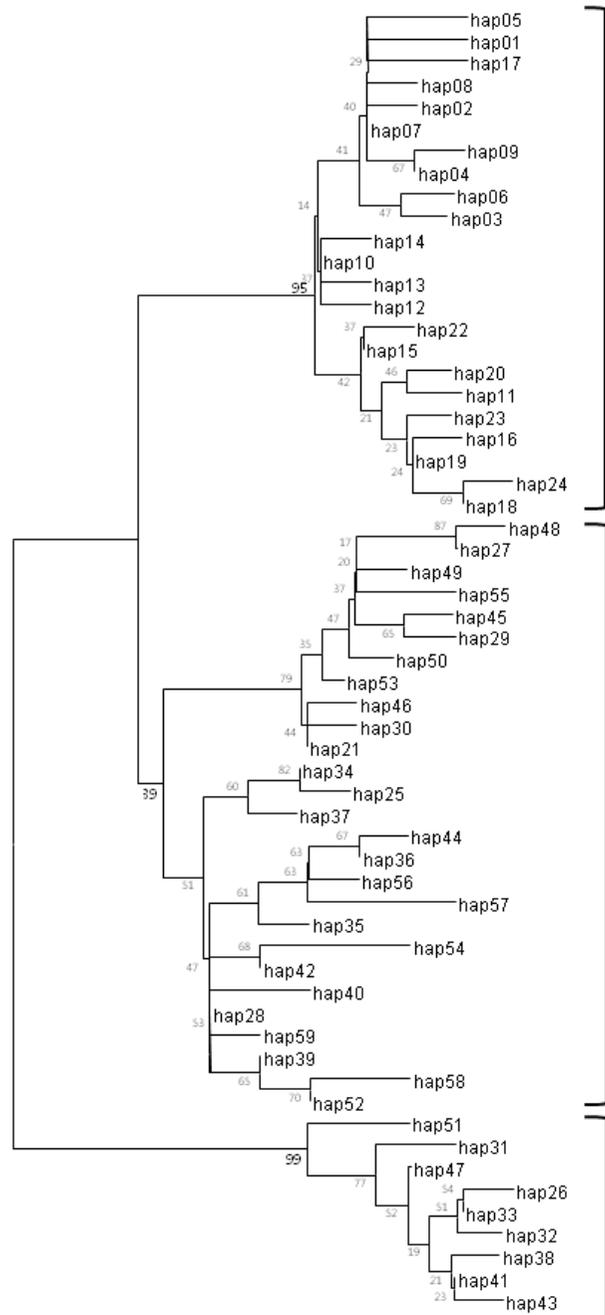


F_{st} 值(遺傳分化指數)跨過邊界之後陡增！



F_{st} 值(遺傳分化指數)跨過邊界之後陡增！





北部群：

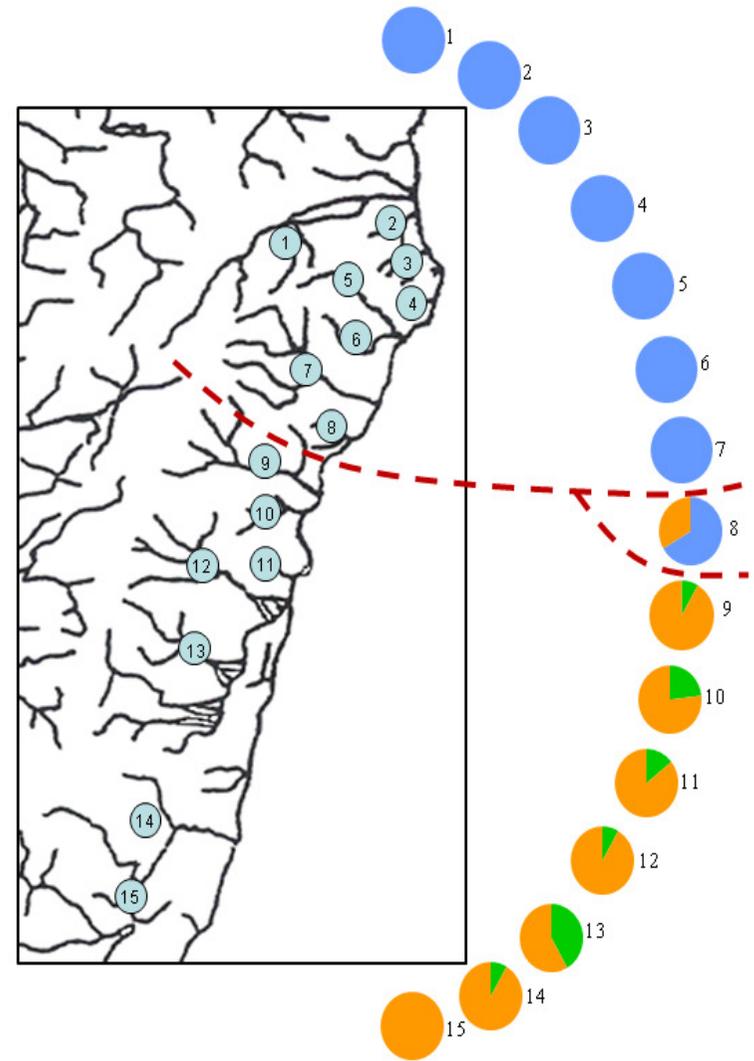
蘭陽溪、新城溪、蘇澳溪、
東澳溪、南澳北溪、南澳南溪、
和平溪、良里溪

東部 I 群：

良里溪、立霧溪、三棧溪、
美崙溪、木瓜溪、花蓮溪、
秀姑巒北溪、秀姑巒南溪

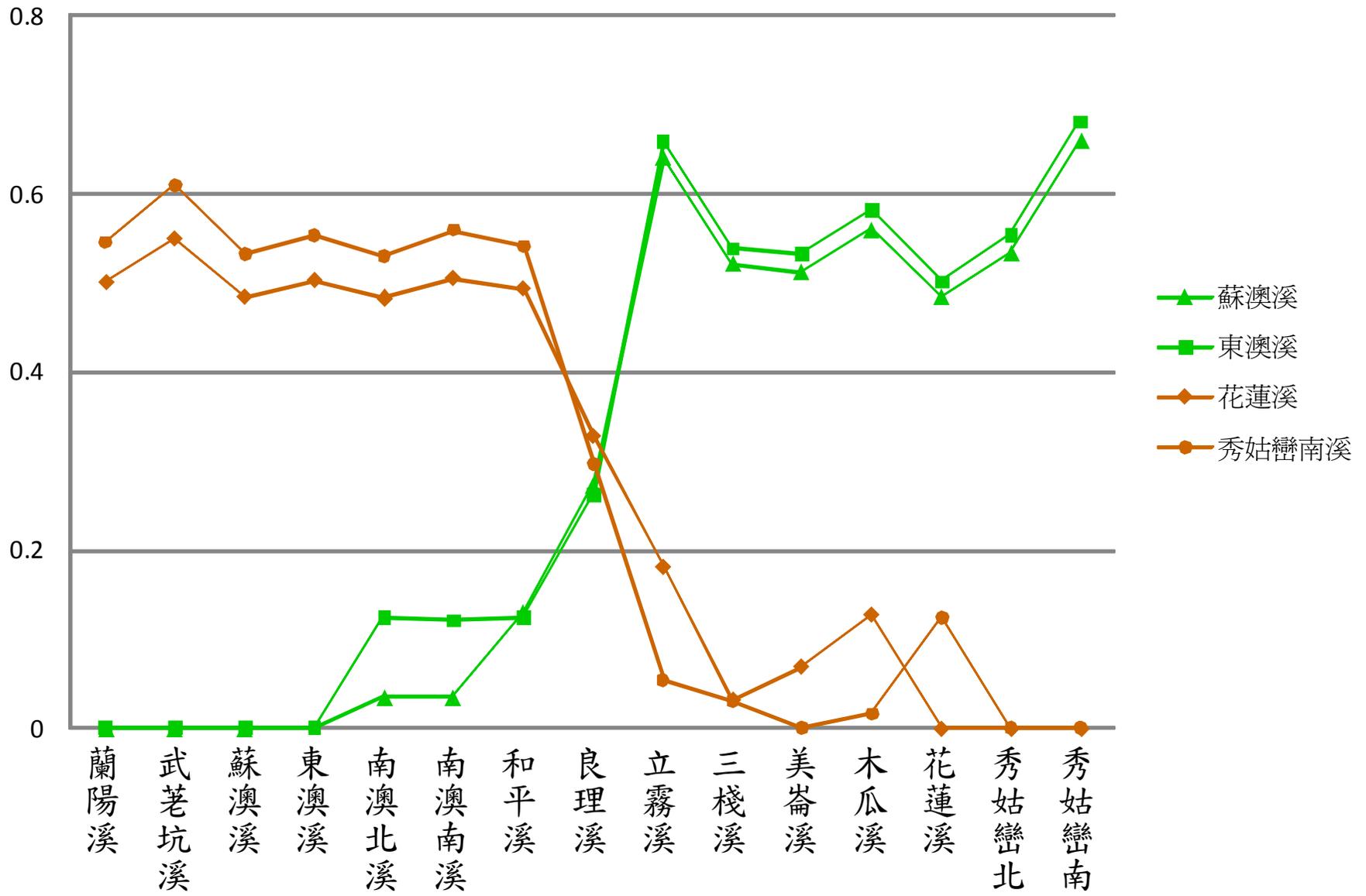
東部 II 群：

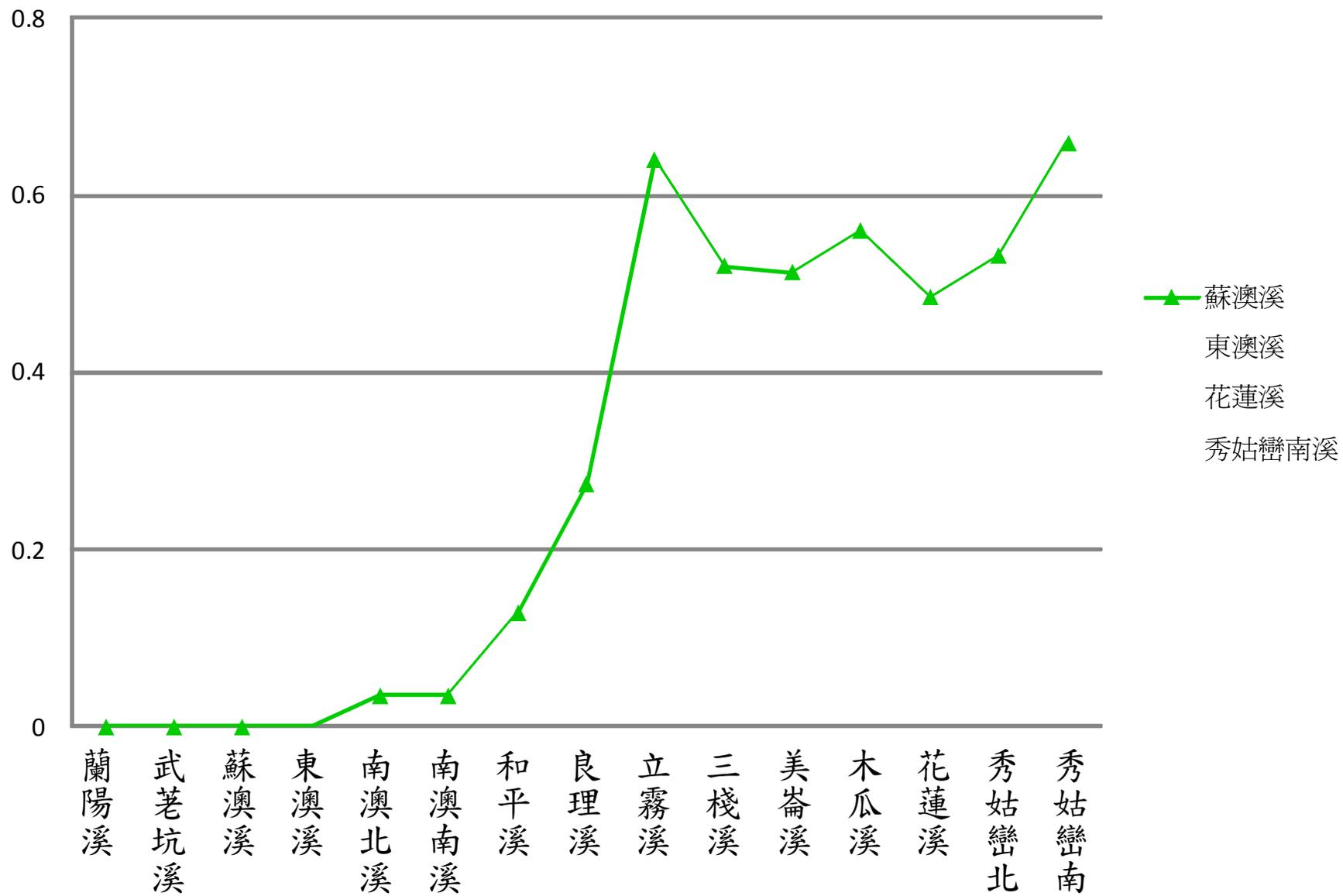
立霧溪、三棧溪、美崙溪、
木瓜溪、花蓮溪、秀姑巒北溪

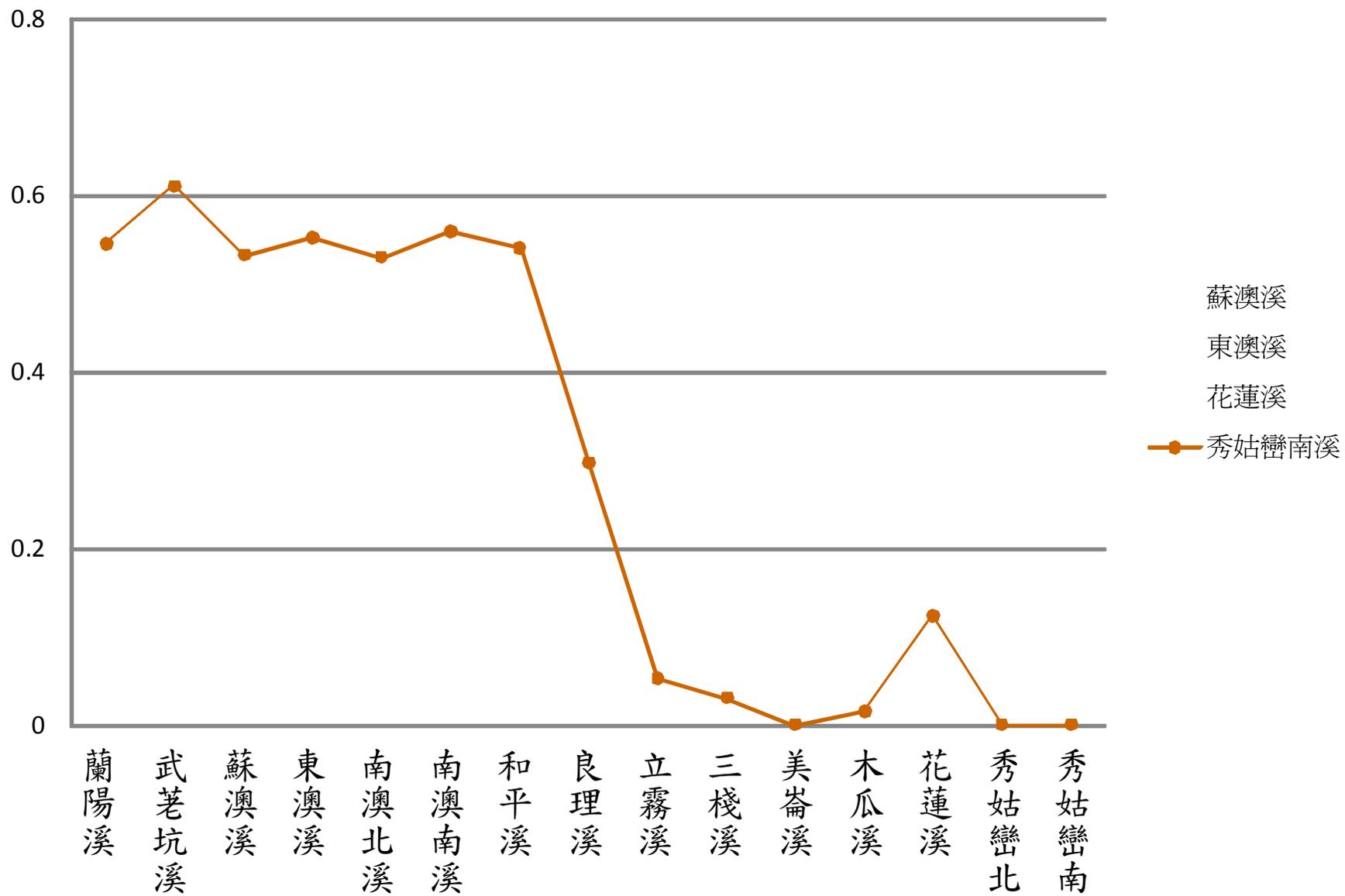


日本樹蛙族群遺傳分化指數(F_{st})

	蘭陽溪	新城溪	蘇澳溪	東澳溪	南澳北溪	南澳南溪	和平溪	良里溪	立霧溪	三棧溪	美崙溪	木瓜溪	花蓮溪	秀姑巒北溪	秀姑巒南溪
蘭陽溪	-														
新城溪	0.49907	-													
蘇澳溪	0.25330	0.27870	-												
東澳溪	0.30114	0.14580	-0.00051	-											
南澳北溪	0.19711	0.41414	0.03471	0.12488	-										
南澳南溪	0.17335	0.47658	0.03444	0.12077	-0.02545	-									
和平溪	0.26824	0.37399	0.12916	0.12482	0.04995	0.11722	-								
良里溪	0.38237	0.37890	0.27250	0.26236	0.25580	0.30721	0.16182	-							
立霧溪	0.64538	0.70545	0.64028	0.65886	0.63474	0.67186	0.64180	0.35777	-						
三棧溪	0.53467	0.58961	0.52024	0.53846	0.51729	0.54300	0.52813	0.29292	-0.10110	-					
美崙溪	0.5227	0.59029	0.51242	0.53303	0.51058	0.53783	0.52233	0.28279	0.00921	-0.00994	-				
木瓜溪	0.57143	0.64025	0.55946	0.58163	0.55452	0.59044	0.56648	0.34343	0.18989	0.13137	0.01424	-			
花蓮溪	0.49932	0.54992	0.48450	0.50124	0.48249	0.50350	0.49330	0.32676	0.18182	0.03084	0.06906	0.12760	-		
秀姑巒北溪	0.54495	0.60988	0.53195	0.55284	0.52951	0.55900	0.54087	0.29656	0.05351	0.03043	-0.01822	0.01595	0.12357	-	
秀姑巒南溪	0.66814	0.73144	0.65956	0.68068	0.65246	0.69765	0.65977	0.43689	0.34340	0.27287	0.14038	0.01158	0.27246	0.10669	-







兩種溪樹蛙的親緣地理學比較



日本樹蛙
Buergeria japonica



褐樹蛙
Buergeria robusta

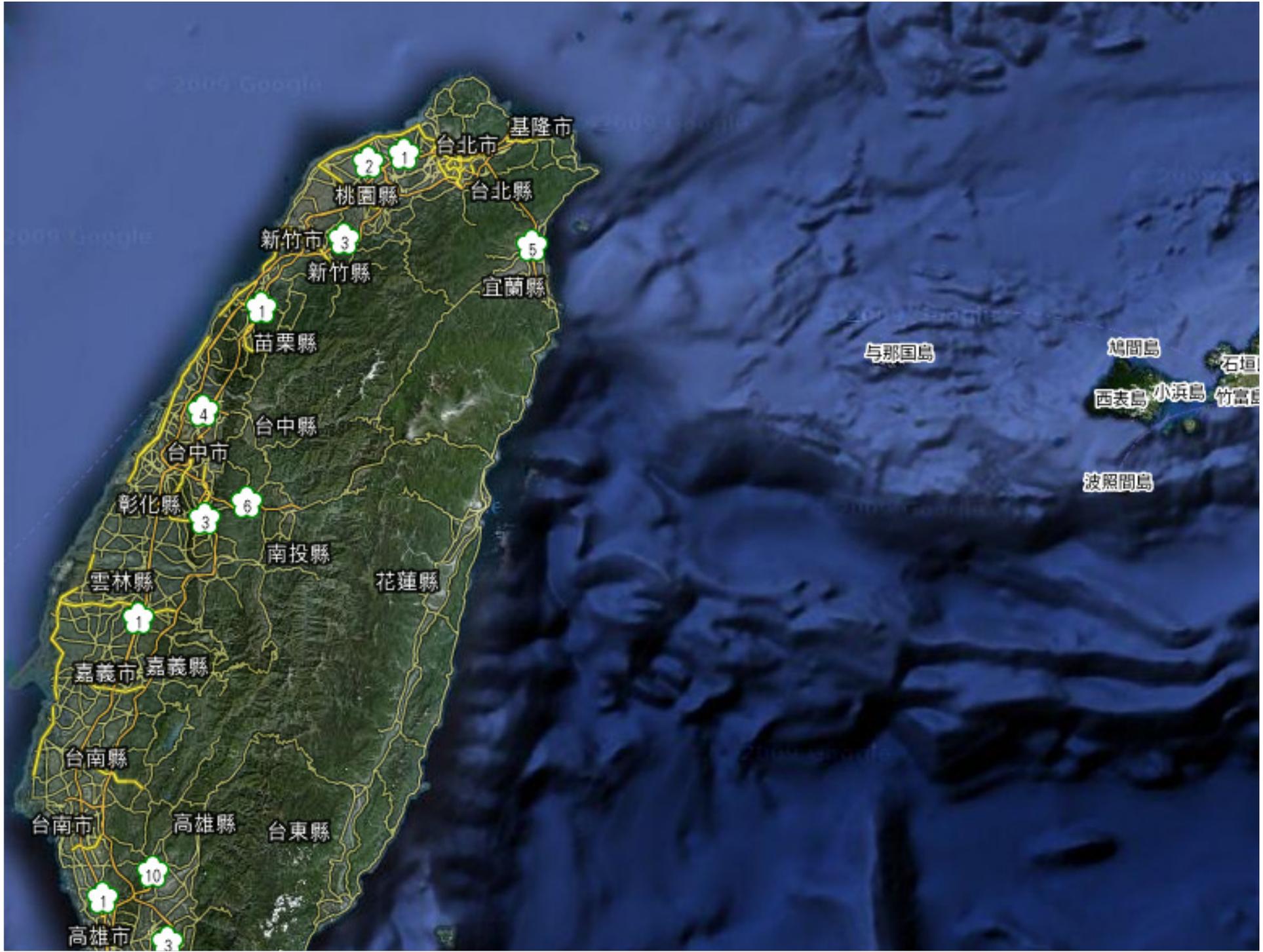


和平溪

立霧溪

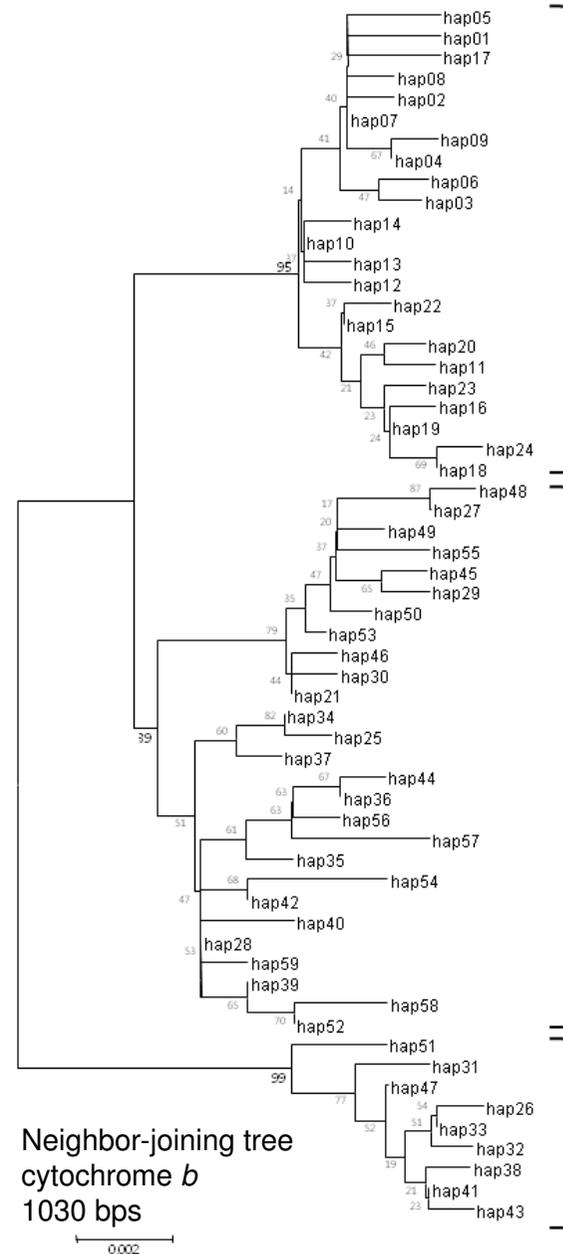
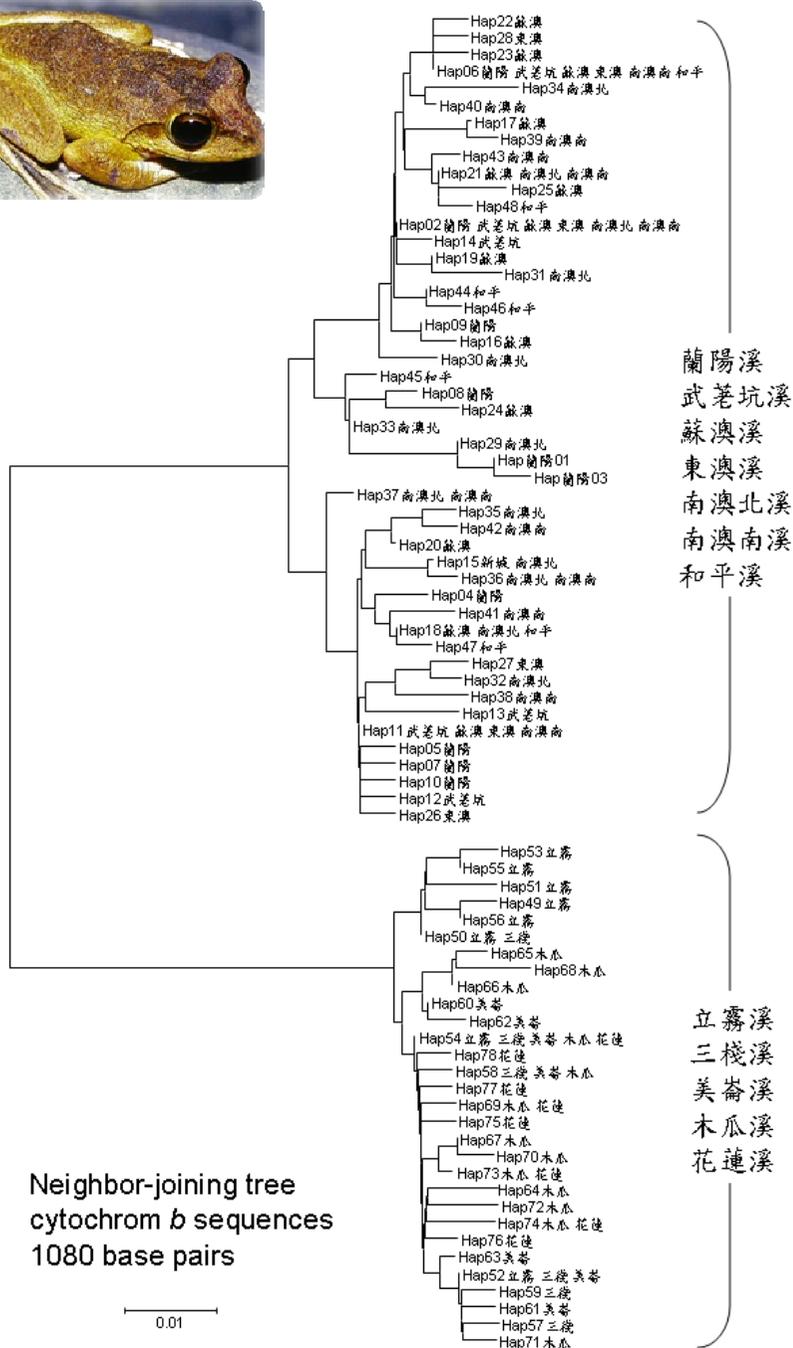
Data © 2009 MIRC/JHA
© 2009 Cnes/Spot Image
Image © 2009 DigitalGlobe

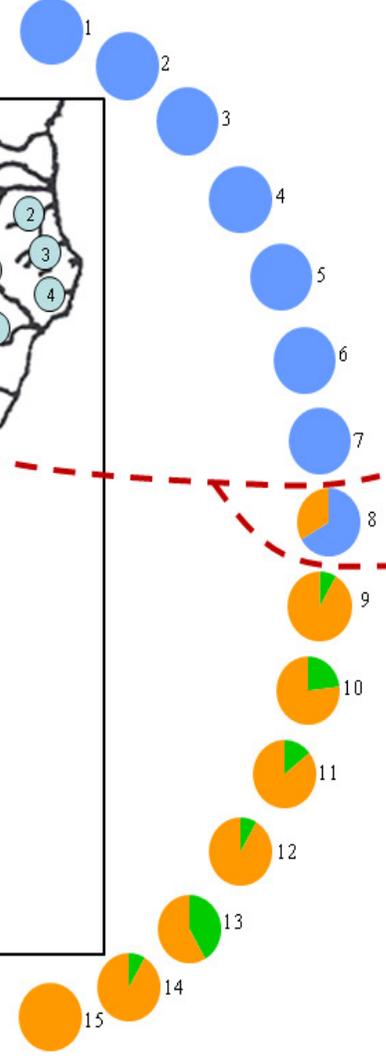
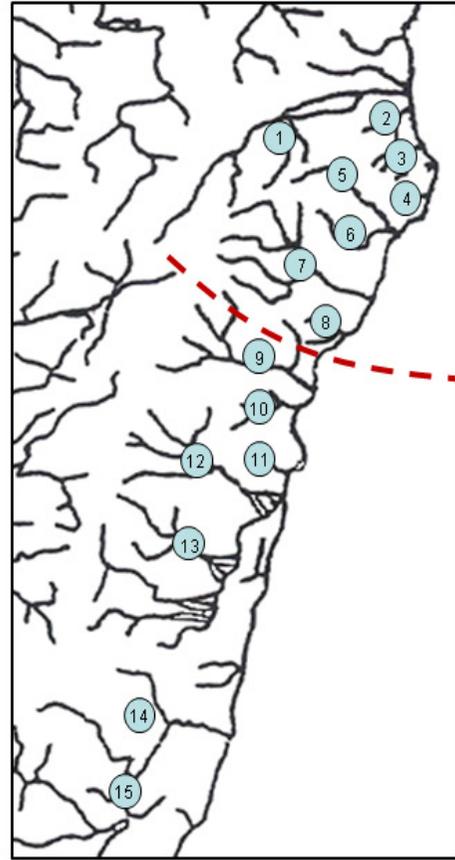
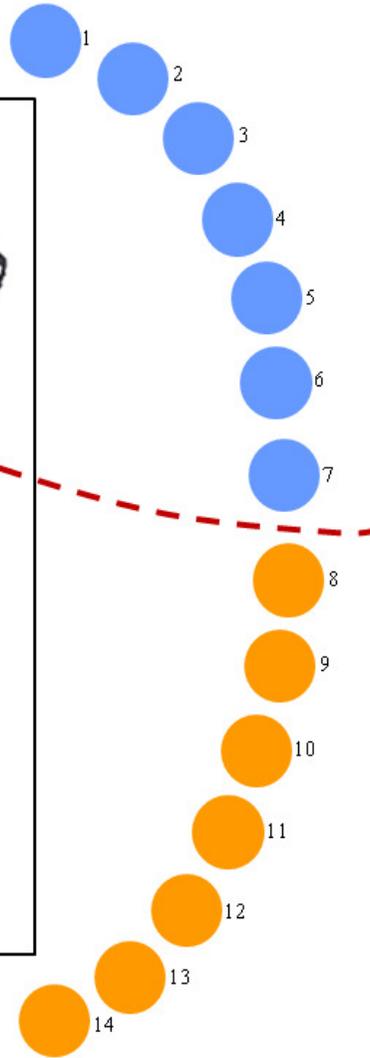
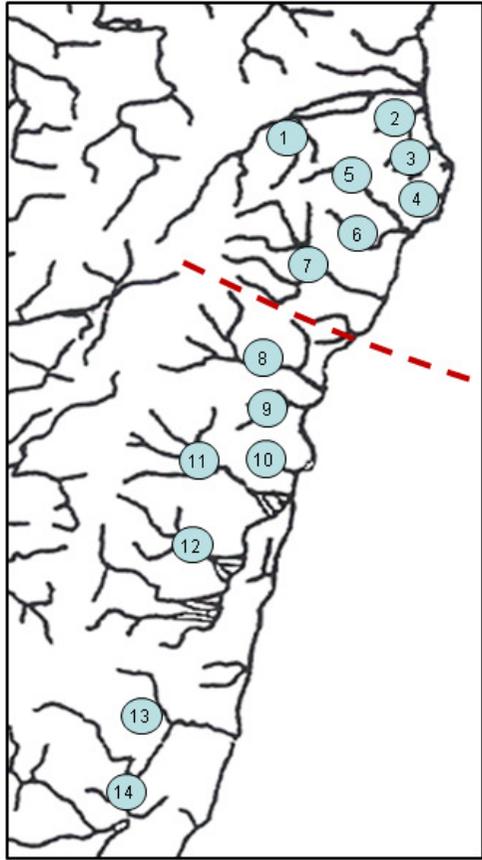
©2009 Google™



基隆市
台北市
桃園縣
新竹市
新竹縣
宜蘭縣
苗栗縣
台中市
彰化縣
雲林縣
嘉義市
嘉義縣
台南市
台南縣
高雄縣
台東縣
基隆市
台北市
台北縣
宜蘭縣
新竹縣
苗栗縣
台中縣
彰化縣
南投縣
花蓮縣
雲林縣
嘉義縣
台南縣
高雄縣
台東縣

与那国島
鳩間島
西表島
小浜島
竹富島
波照間島
石垣





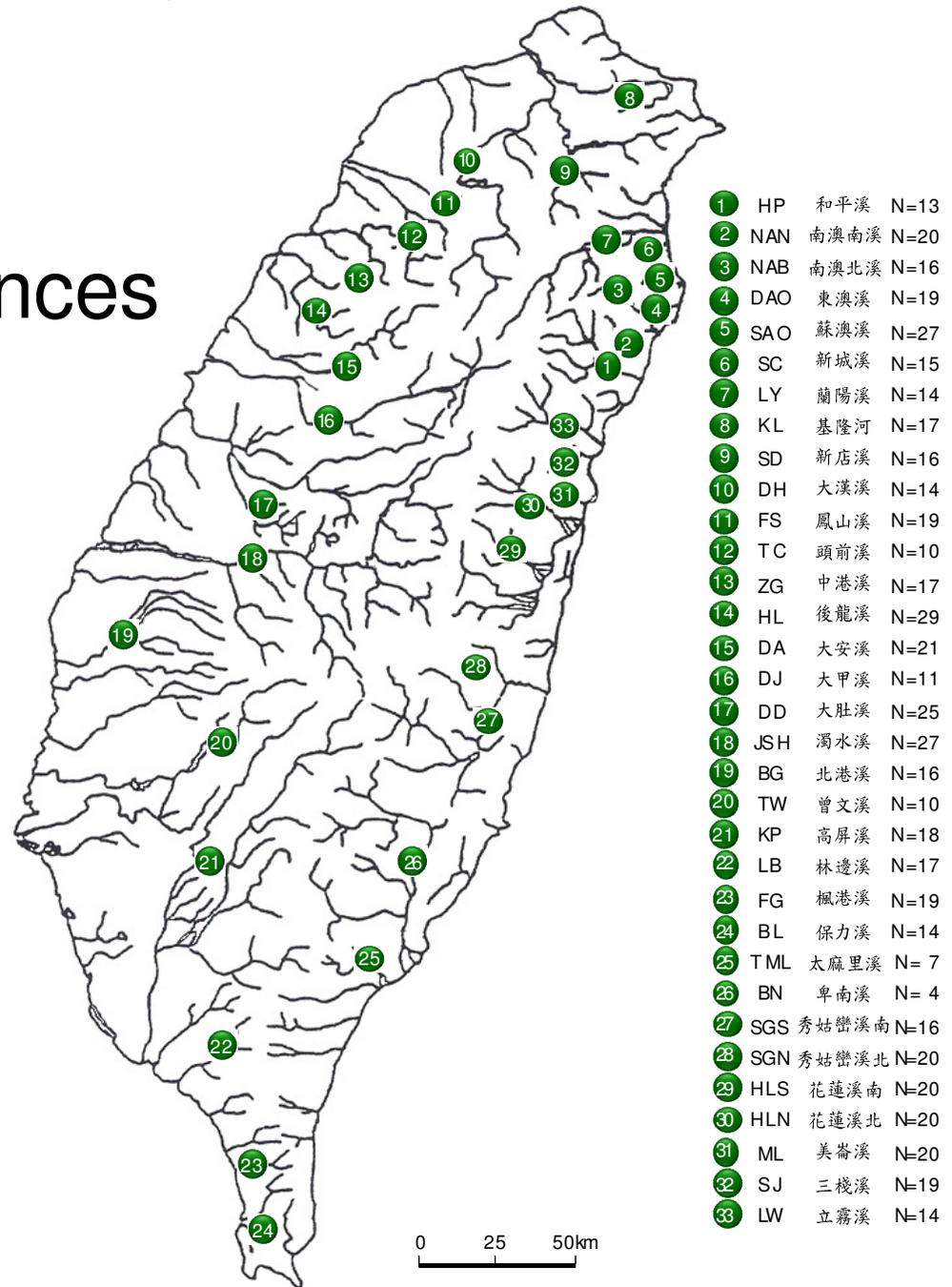
什麼原因造成親緣地理類型上的差異？

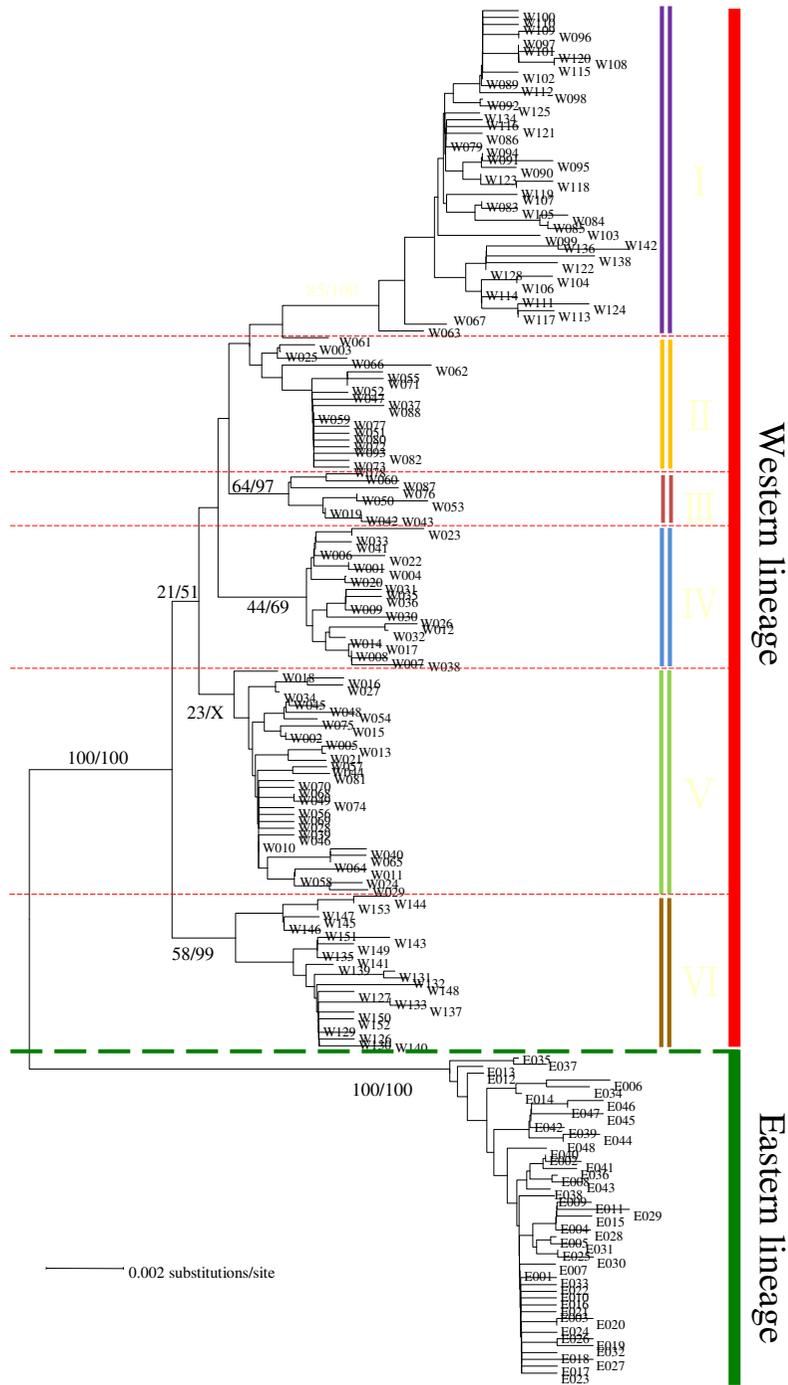
- 使用的生態棲境上的差異
 - 物種移動擴散潛力的差異
 - 日本樹蛙與褐樹蛙具有不同的演化歷史
-

褐樹蛙更新分析：

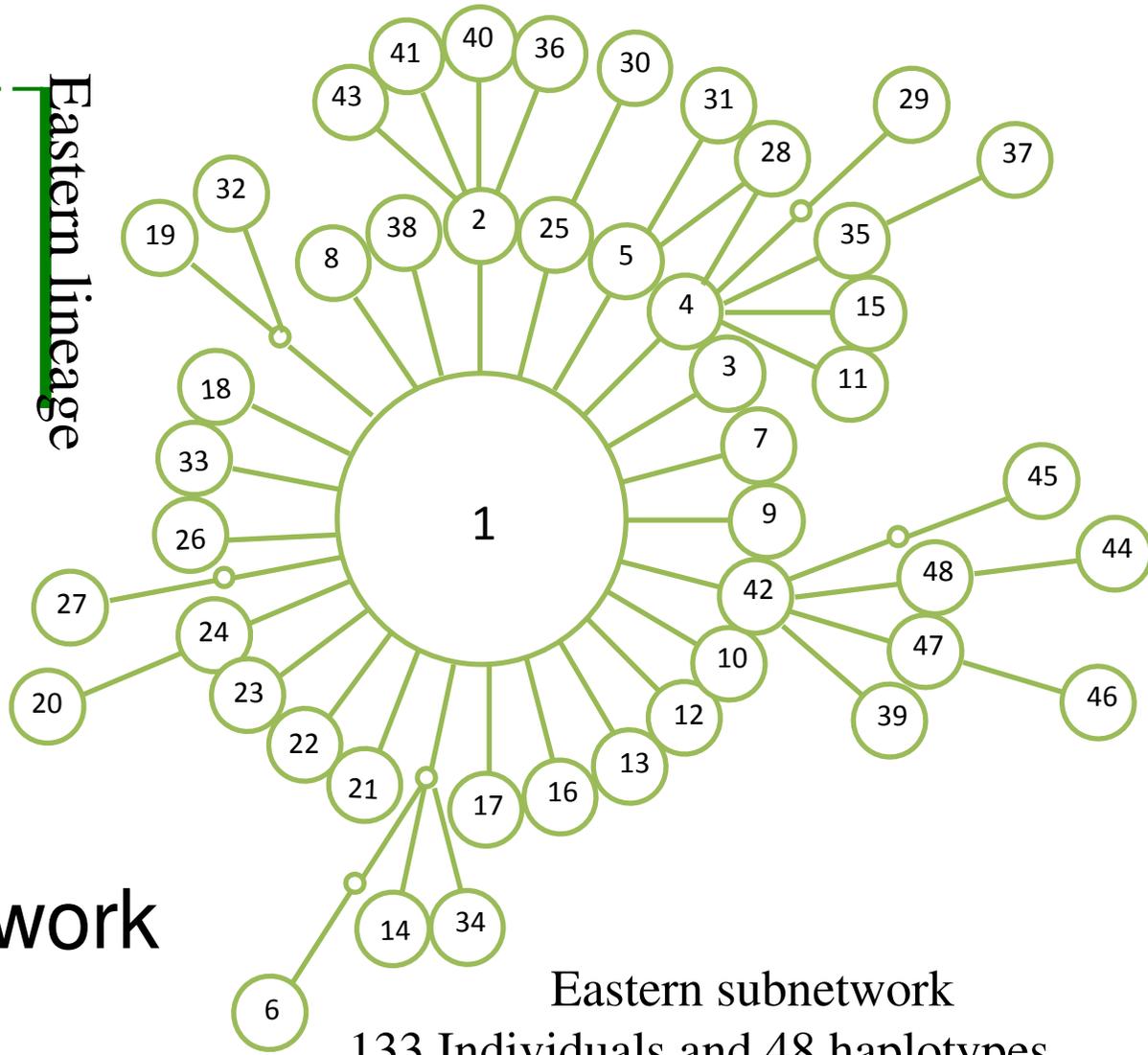
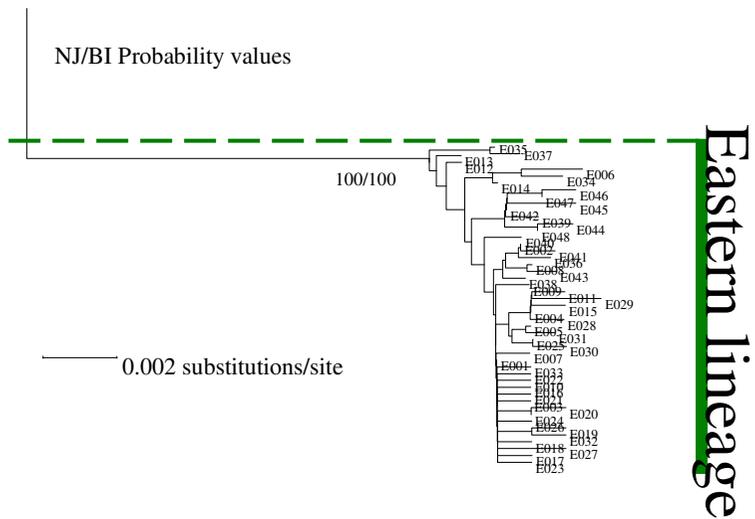
- 1. 增加 sample size 至全島尺度
- 2. 增加分析方式
 - Tree
 - Network
 - SAMOVA and AMOVA
 - Genetic landscape
- 3. 參加研討會進行發表
- 4. 撰寫論文進行投稿

- Total: 564 frogs
- mtDNA cytb sequences
- 1080 bp

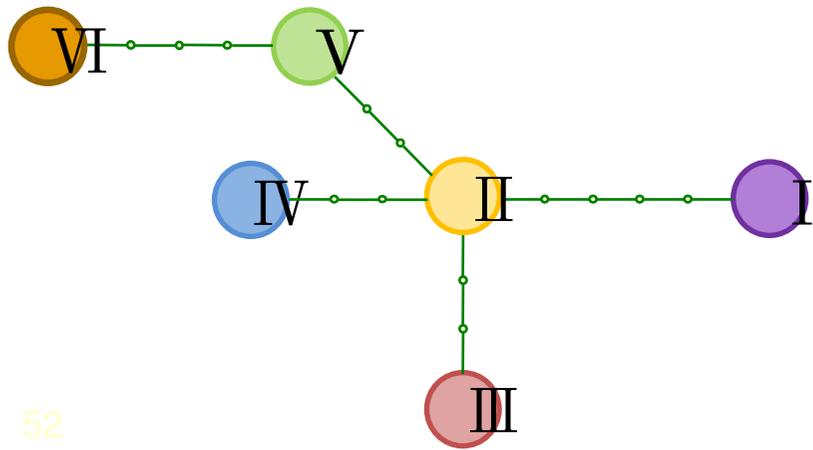
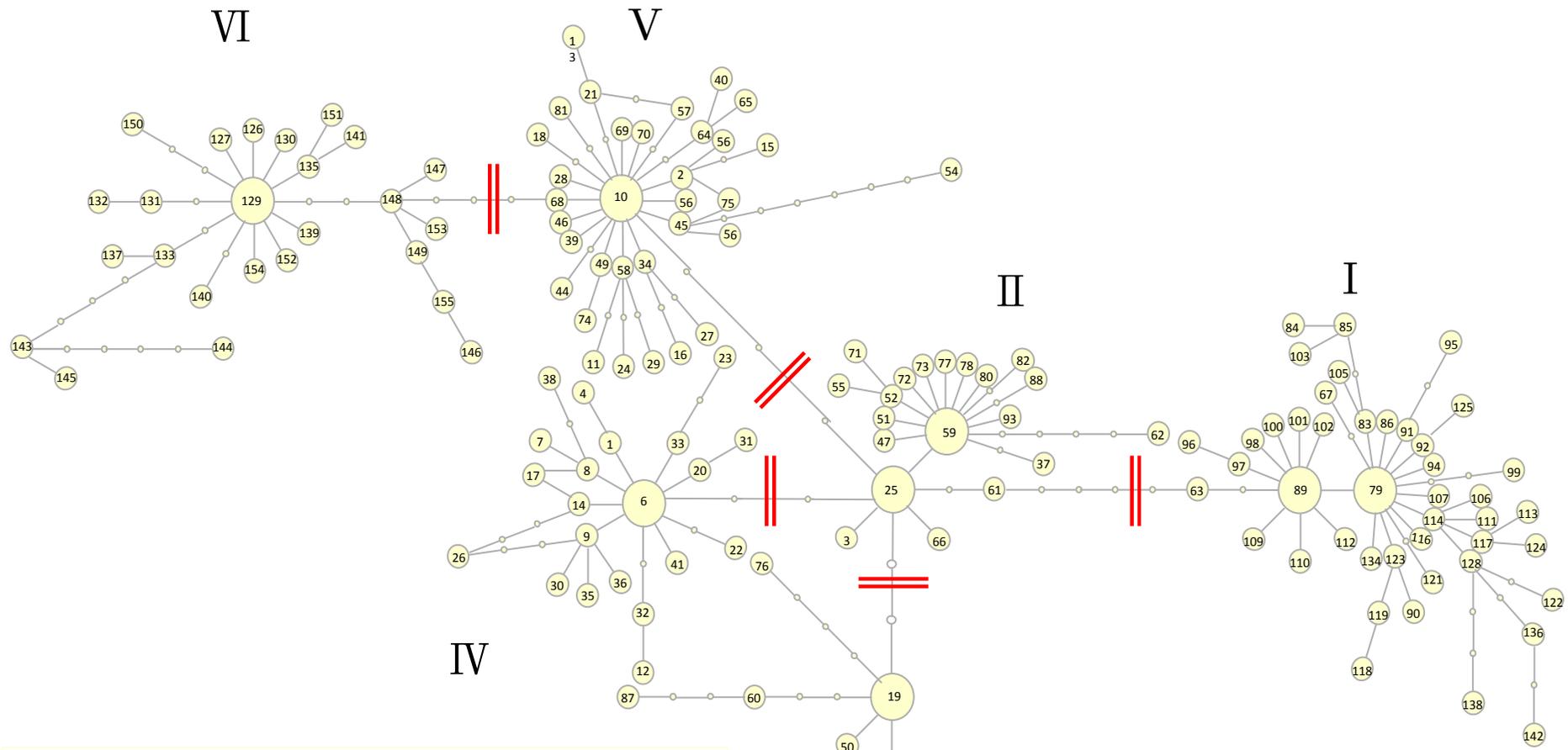




■ Neighbor-joining tree

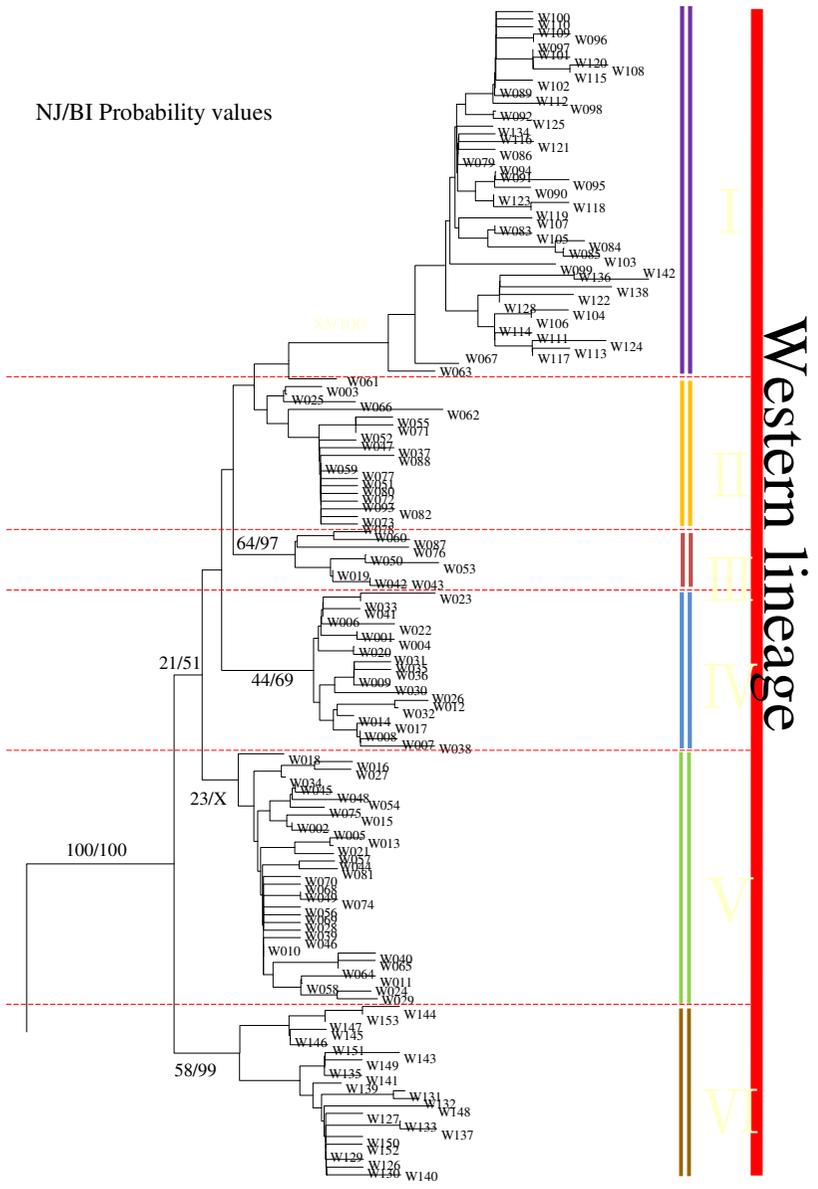


■ Haplotype network

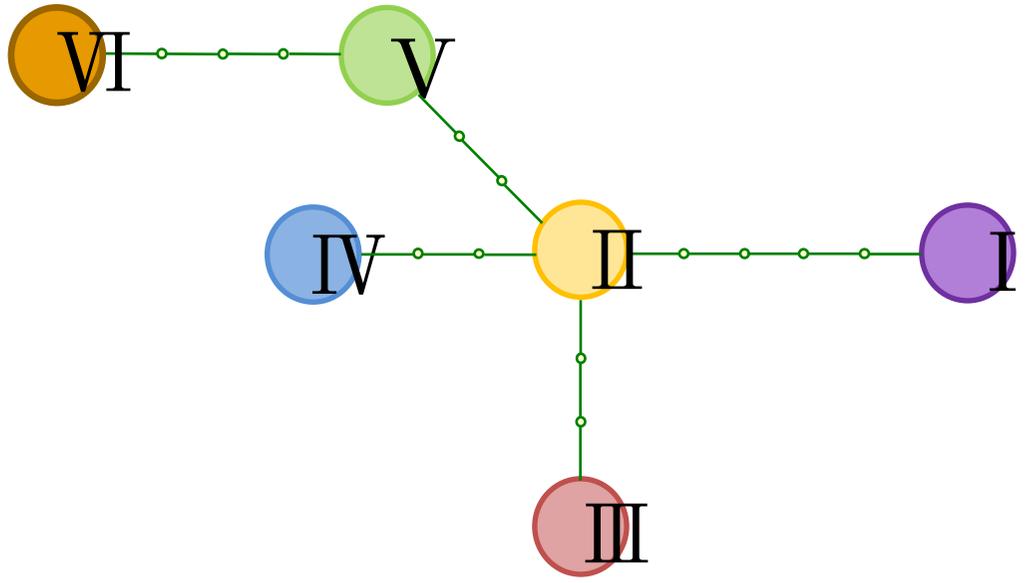


Western subnetwork
431 Individuals and 153 haplotypes

NJ/BI Probability values

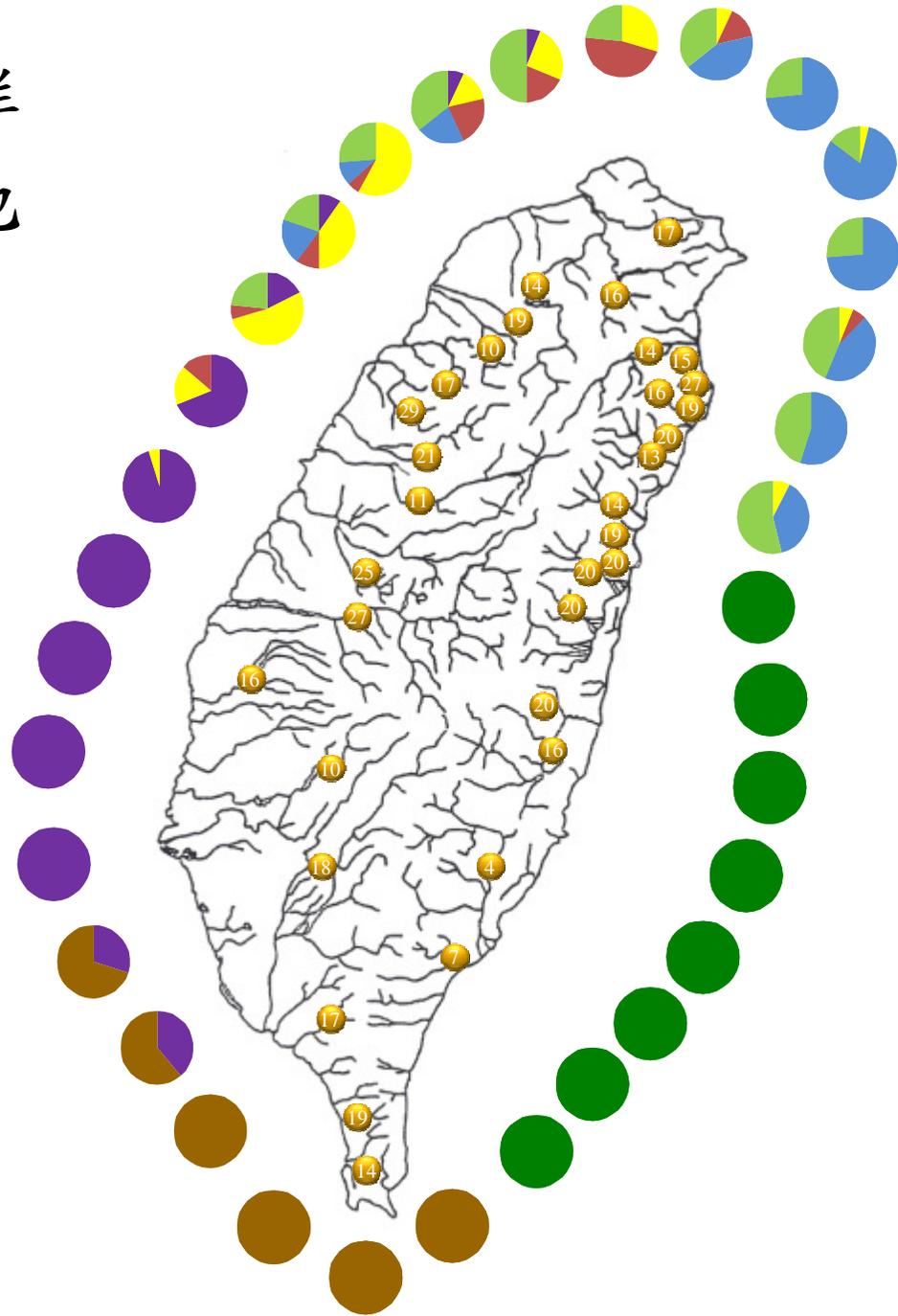


Western lineage



0.002 substitutions/site

- 知道遺傳上的分群之後，如何判斷地理上的分群？

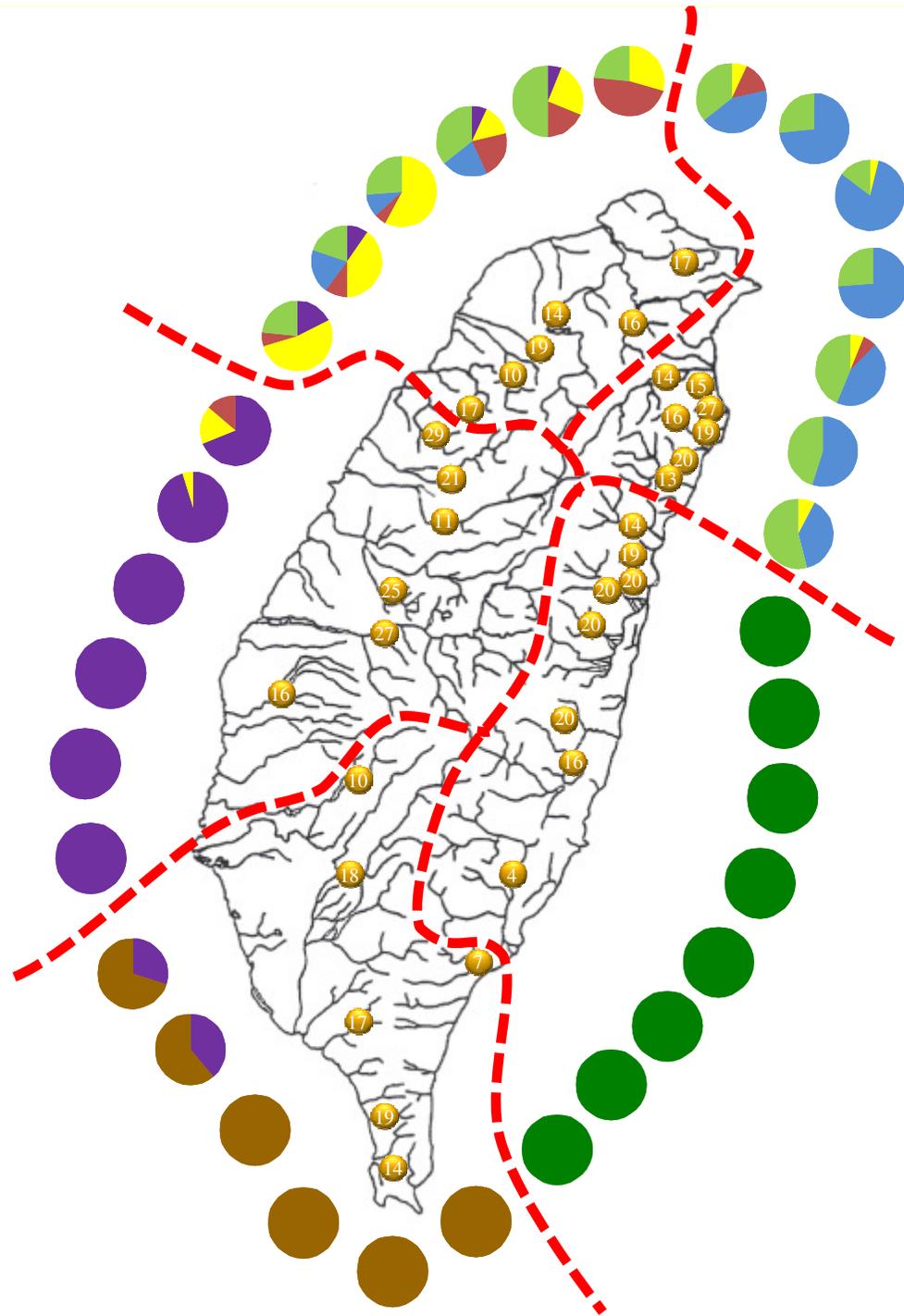


SAMOVA

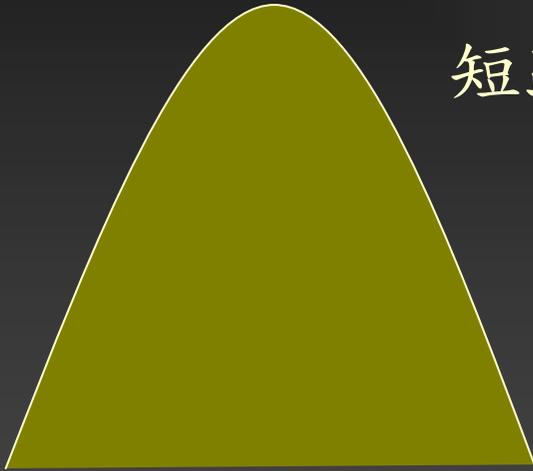
Number of groups	Among Groups	Among populations within groups	Within Populations
2	71.13	13.97	14.9
3	70.73	9.49	19.78
4	67.24	11.43	21.33
5	73.79	2.86	23.34
6	73.62	3.77	22.62
7	65.59	11.58	22.83
8	73.57	2.55	23.88
9	73.52	2.08	24.4
10	73.33	2.7	23.97

AMOVA

	Sum of squares	% of variation	Fixation indices	Significance tests
Among groups	2602.746	73.79	$\Phi_{CT}=0.73792$	$P=0.00, d.f.=4$
Among populations within groups	156.527	2.86	$\Phi_{SC}=0.10926$	$P=0.00, d.f.=28$
Within populations	967.649	23.34	$\Phi_{ST}=0.76656$	$P=0.00, d.f.=53$



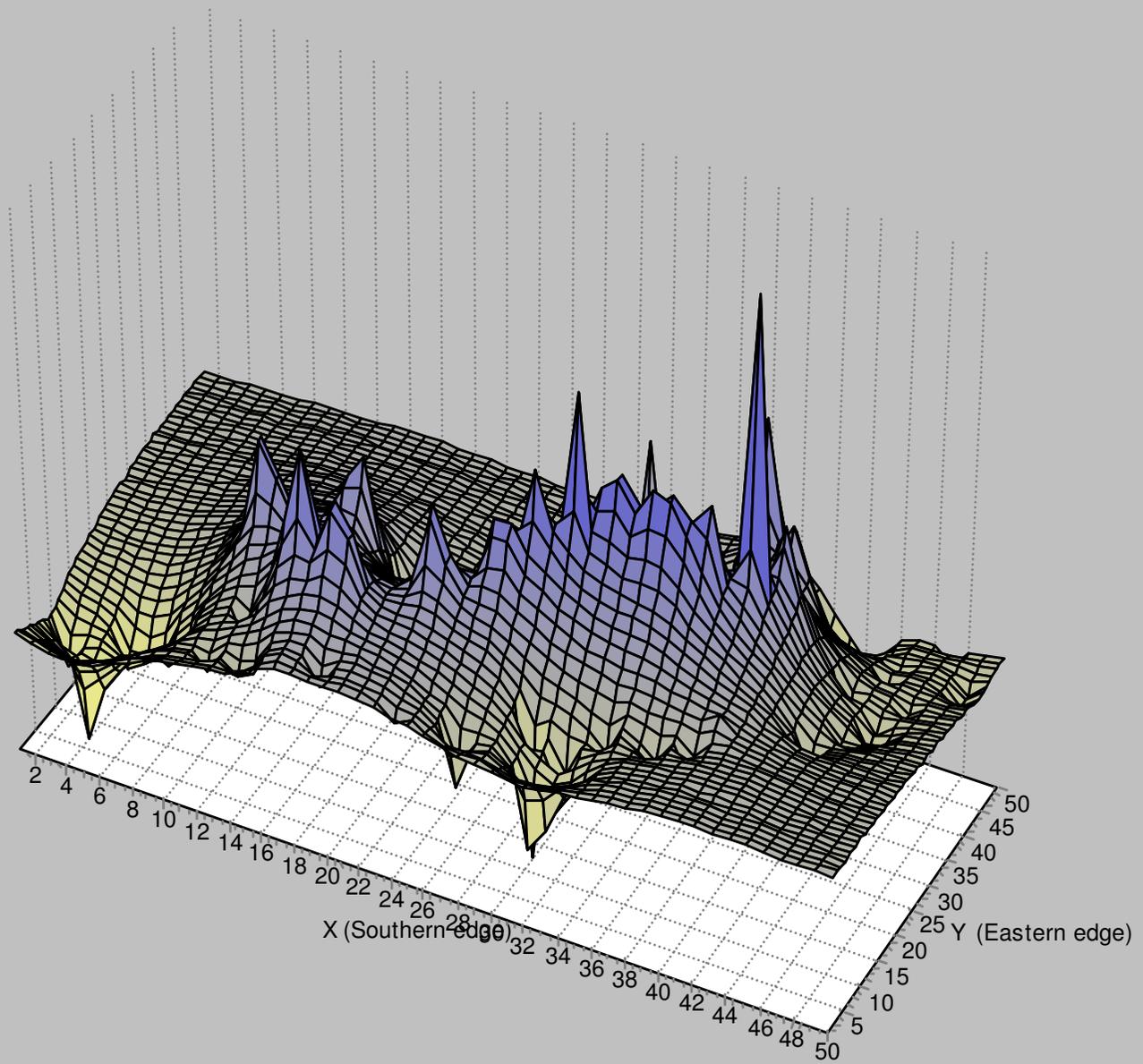
Genetic landscape

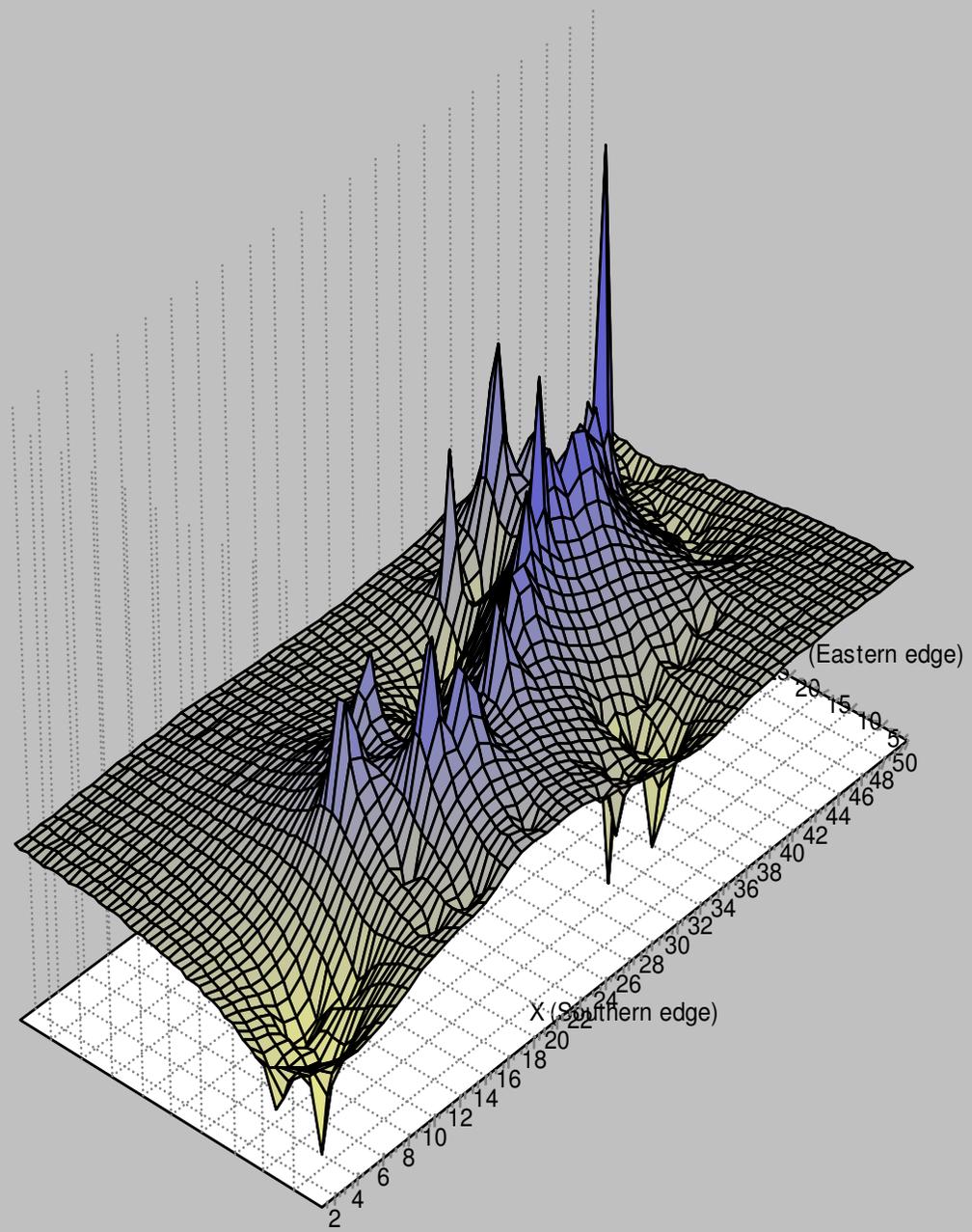


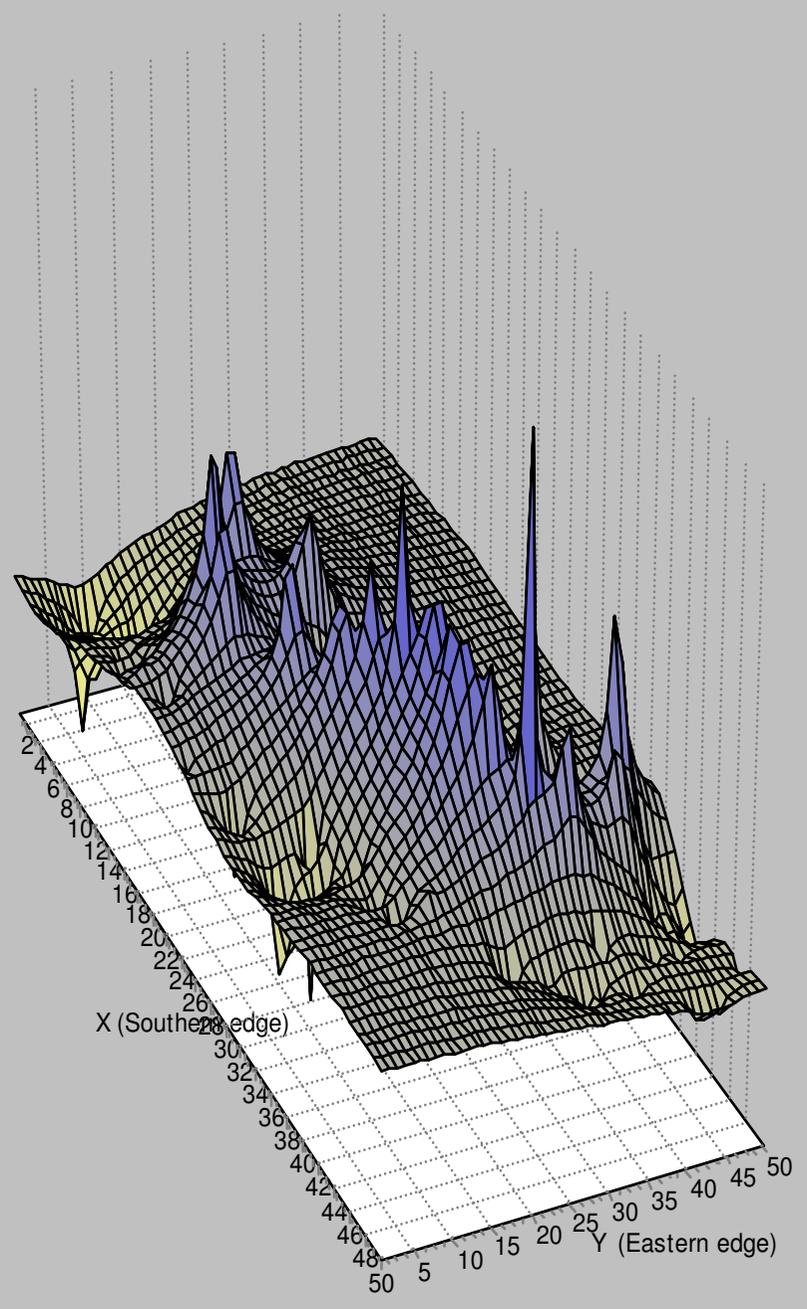
短距離，很大的 F_{st}

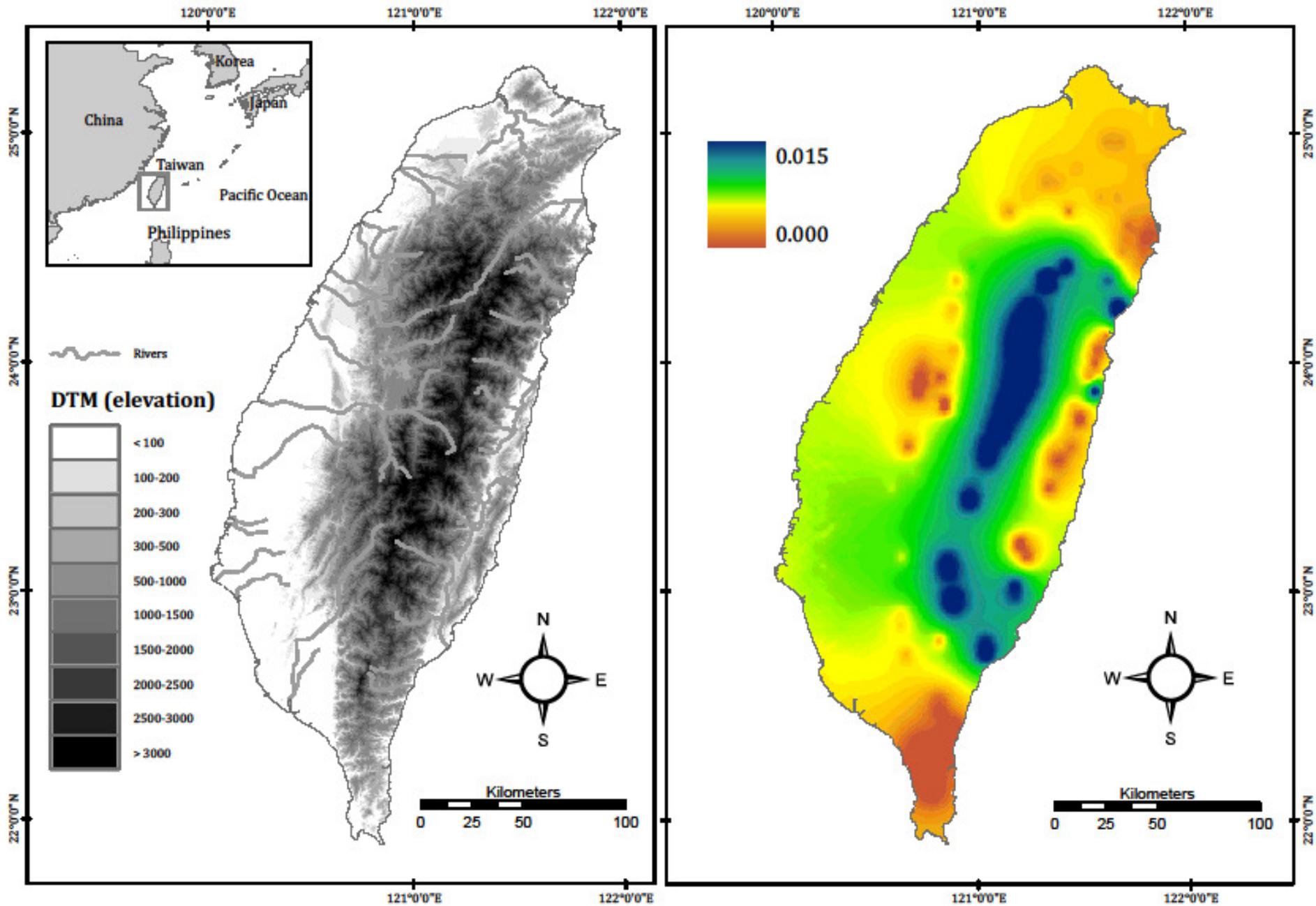


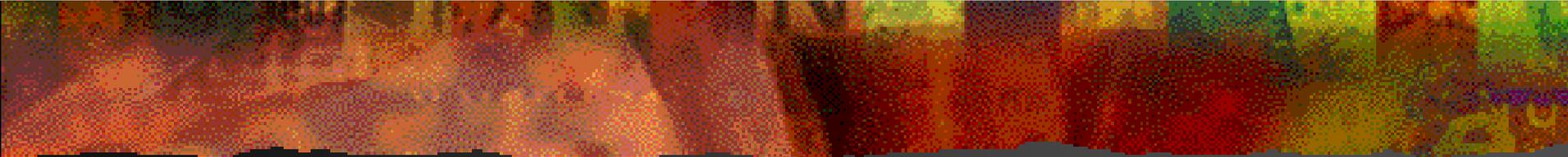
長距離，很小的 F_{st}











第二部份



蘇花海岸沿線的生物地理學研究



蘇花公路兩棲爬行動物調查記錄表

時間

地點

人員

樹蟾科	中國樹蟾		蛇蜥科	蛇蜥		盲蛇科	盲蛇	
蟾蜍科	盤古蟾蜍		攀蜥屬	黃口攀蜥		蝮蛇科	龜殼花	
	黑眶蟾蜍			斯文豪攀蜥			赤尾青竹絲	
狹口蛙	小雨蛙		草蜥屬			蝙蝠蛇		
				古氏草蜥			兩傘節	
樹蛙科	日本樹蛙			翠斑草蜥			眼鏡蛇	
	褐樹蛙			梭德氏草蜥				
	艾氏樹蛙			蓬萊草蜥		黃領蛇	青蛇	
	面天樹蛙			鹿野草蜥			紅斑蛇	
	白領樹蛙						臭青公	
	莫氏樹蛙		壁虎科	鉛山壁虎			錦蛇	
				無疣蝎虎			南蛇	
		疣尾蝎虎			過山刀			
		史丹吉蝎虎						
		半葉趾蝎虎						
赤蛙科	腹斑蛙			鱗趾虎				
	貢德氏赤蛙		石龍子					
	古氏赤蛙			中國石龍子				
	拉都希赤蛙			麗紋石龍子				
	澤蛙			印度蜓蜥		其他		
	梭德氏赤蛙							
	斯文豪赤蛙							

物 種	黑蒙西小雨蛙	史丹吉小雨蛙	長腳赤蛙	古氏赤蛙	面天樹蛙	翡翠樹蛙	台北樹蛙	斯文豪攀蜥	黃口攀蜥	無疣蝎虎	疣尾蝎虎	史氏吉氏蝎虎	半葉趾虎	鱗趾蝎虎	蓬萊草蜥	南台草蜥	翠斑草蜥	鹿野草蜥	股鱗蜓蜥	長尾南蜥	沿岸島蜥	
宜蘭地區	X	X	○	○	○	○	○	○	○	○	△	?	X	X	○	X	○	X	X	X	X	X
蘇澳溪流域	X	X	X	X	○	X	X	○	○	○	△	?	X	X	○	X	○	X	X	X	X	X
東澳溪北岸	X	X	X	X	○	X	X	○	△	X	○	?	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X
東澳溪南岸	X	X	X	X	○	X	X	○	△	X	C	○	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X
南澳溪北岸	X	X	X	X	○	X	X	○	X	X	○	○	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X
南澳溪南岸	X	X	X	X	○	X	X	○	X	X	○	○	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X
和平溪北岸	X	X	X	X	○	X	X	○	X	X	○	?	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X
和平溪南岸	X	X	X	X	○	X	X	○	X	X	○	?	X	X	X	○	○	X	X	X	X	X
良里溪北岸	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	○	?	X	X	X	?	○	X	X	X	X	X
良里溪南岸	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	○	?	X	X	X	?	○	X	X	X	X	X
立霧溪北岸	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	○	?	○	X	X	?	○	X	X	X	X	X
立霧溪南岸	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	○	?	○	X	X	?	X	○	X	X	X	X
三棧溪流域	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	○	?	○	X	X	○	X	○	X	X	X	X
花東地區	○	○	X	X	X	X	X	○	X	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○



疣尾蝎虎



黃口攀蜥



無疣蝎虎



南台草蜥



面天樹蛙



蓬萊草蜥



鹿野草蜥



翠斑草蜥

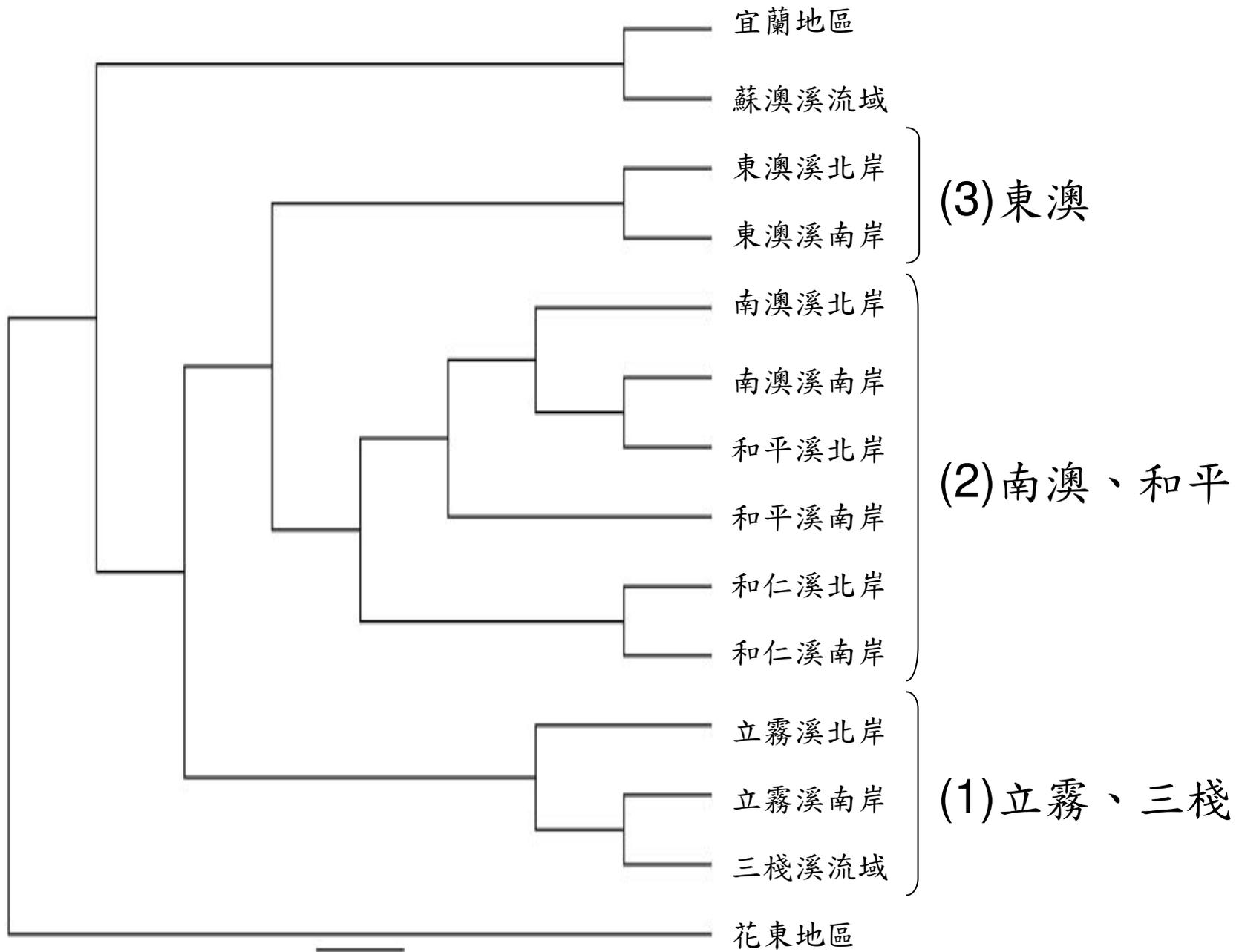


鱗趾蝎虎

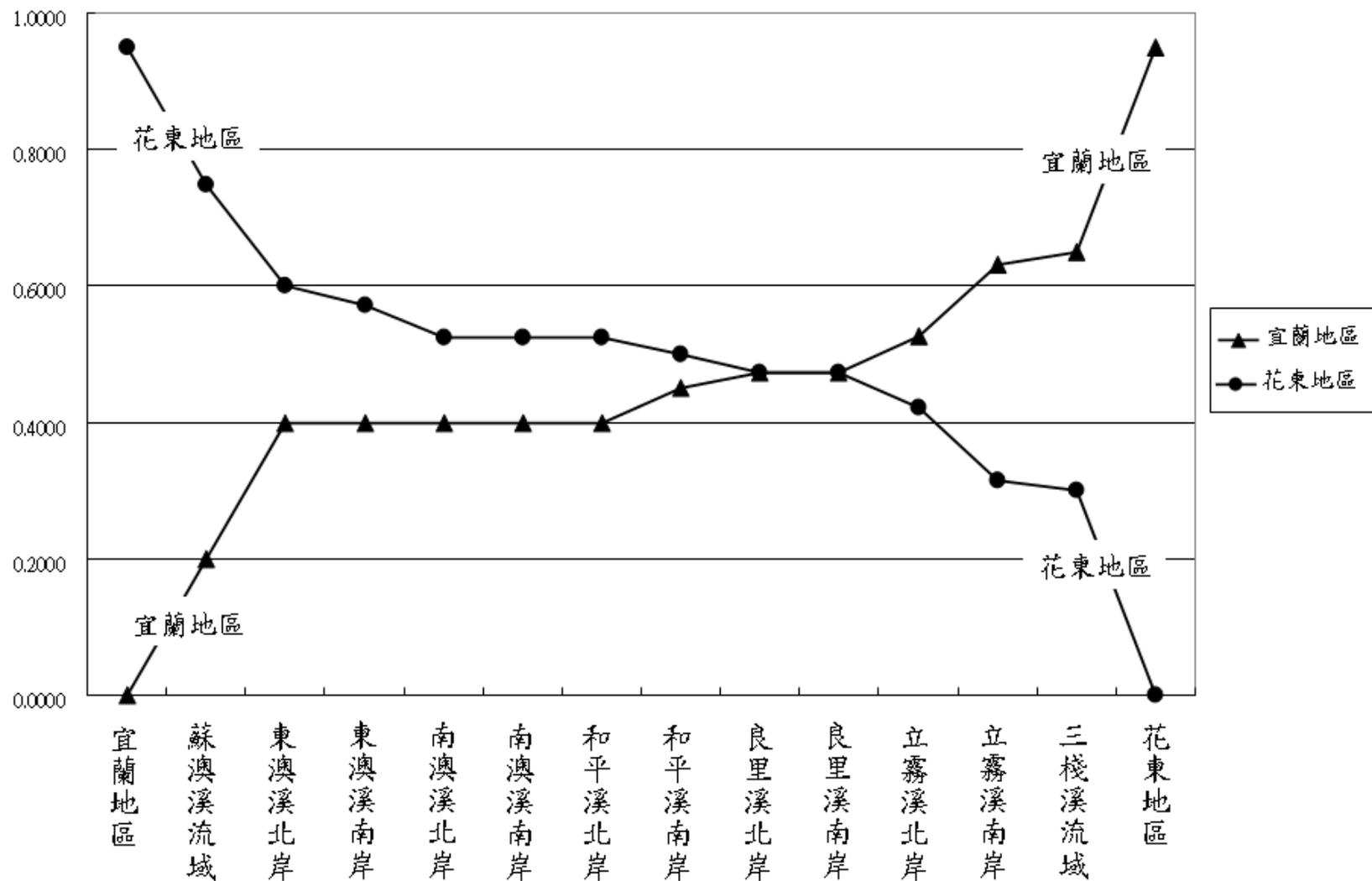


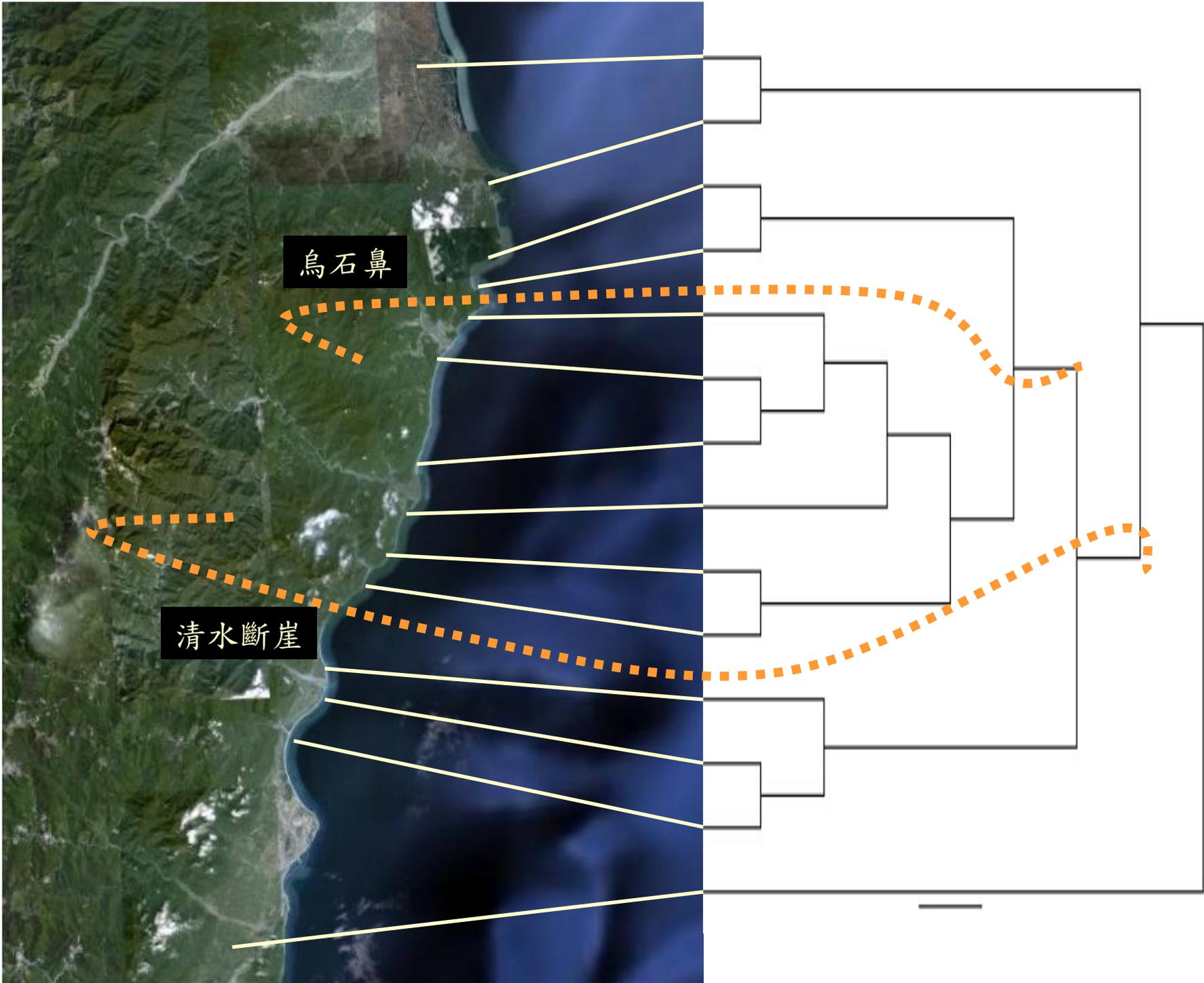
半葉趾蝎虎

和仁



物種組成差異指數





結論

- 綜合兩棲爬行生物相調查與兩種溪樹蛙的親緣地理學研究顯示清水斷崖在物種分化與隔離上扮演一個重要的角色！
- 未來將繼續進行斯文豪氏攀蜥地理變異研究，以得到更多的證據支持。

致謝

- 國立東華大學自資所各研究室師生大力襄助
- 太魯閣國家公園管理處支持
- 師大生科系研究室研究生們

