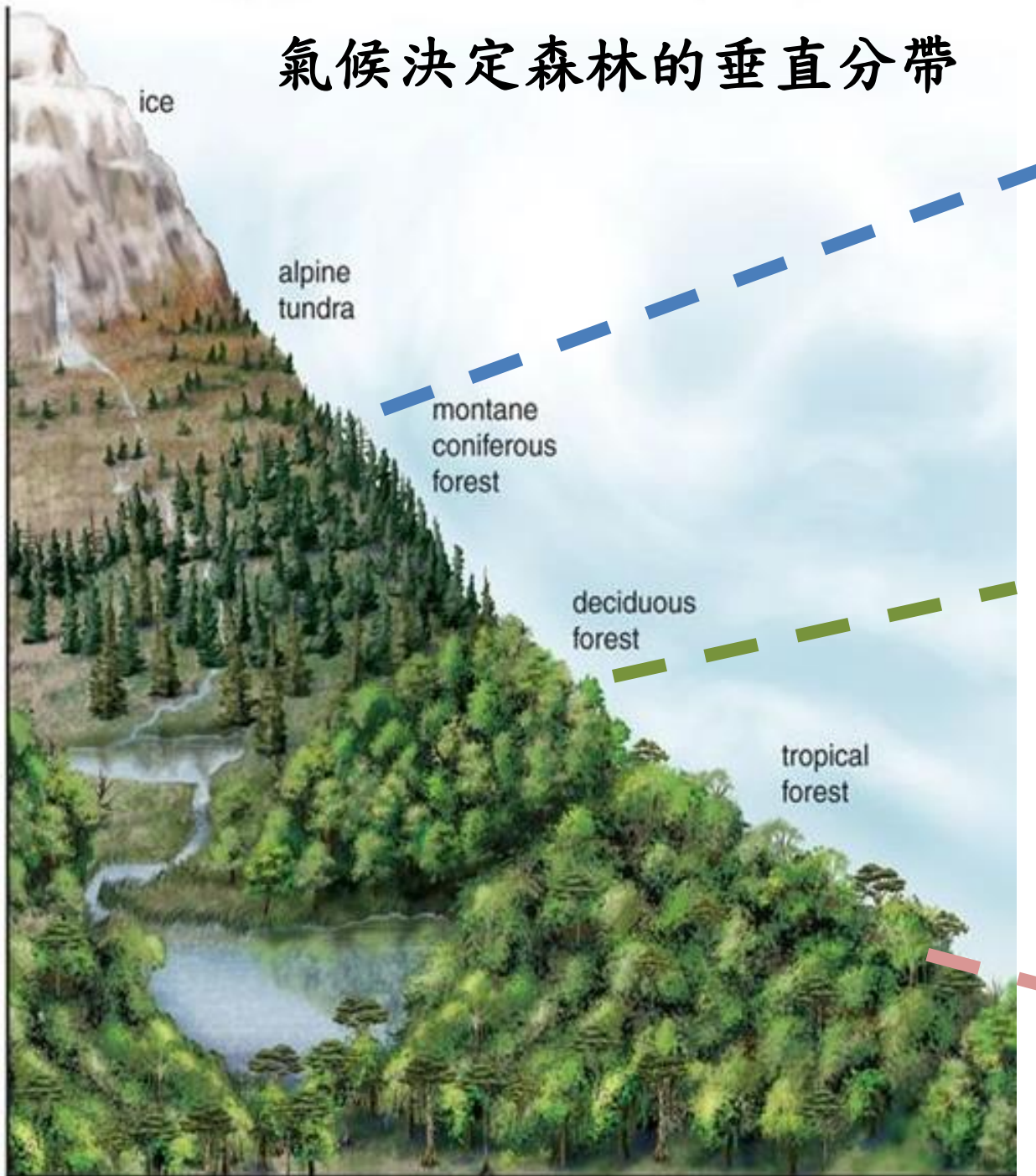


氣候變遷下的森林變化是否成真？

- 從航遙測影像探索蛛絲馬跡 -

林奐宇、葉銘哲、Cody Lai、謝長富、陳子英

氣候決定森林的垂直分帶



寒冷、降雪、生長季短



多雨、雲霧、氣溫涼爽

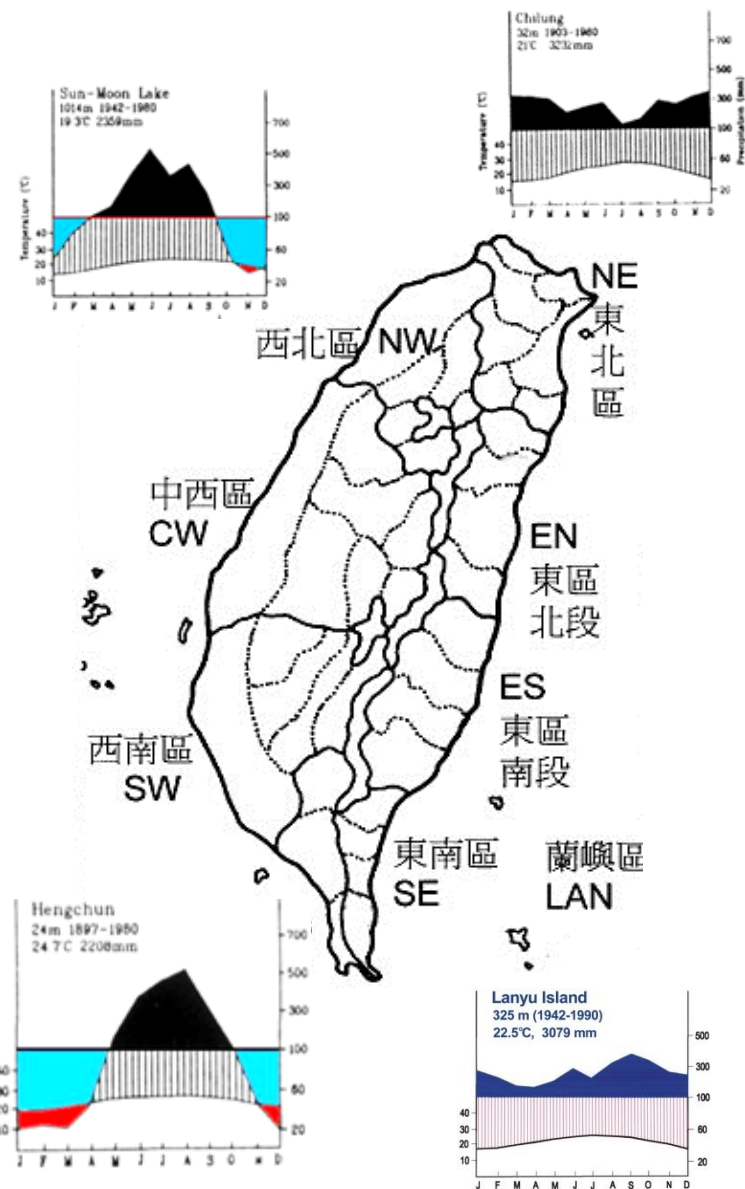
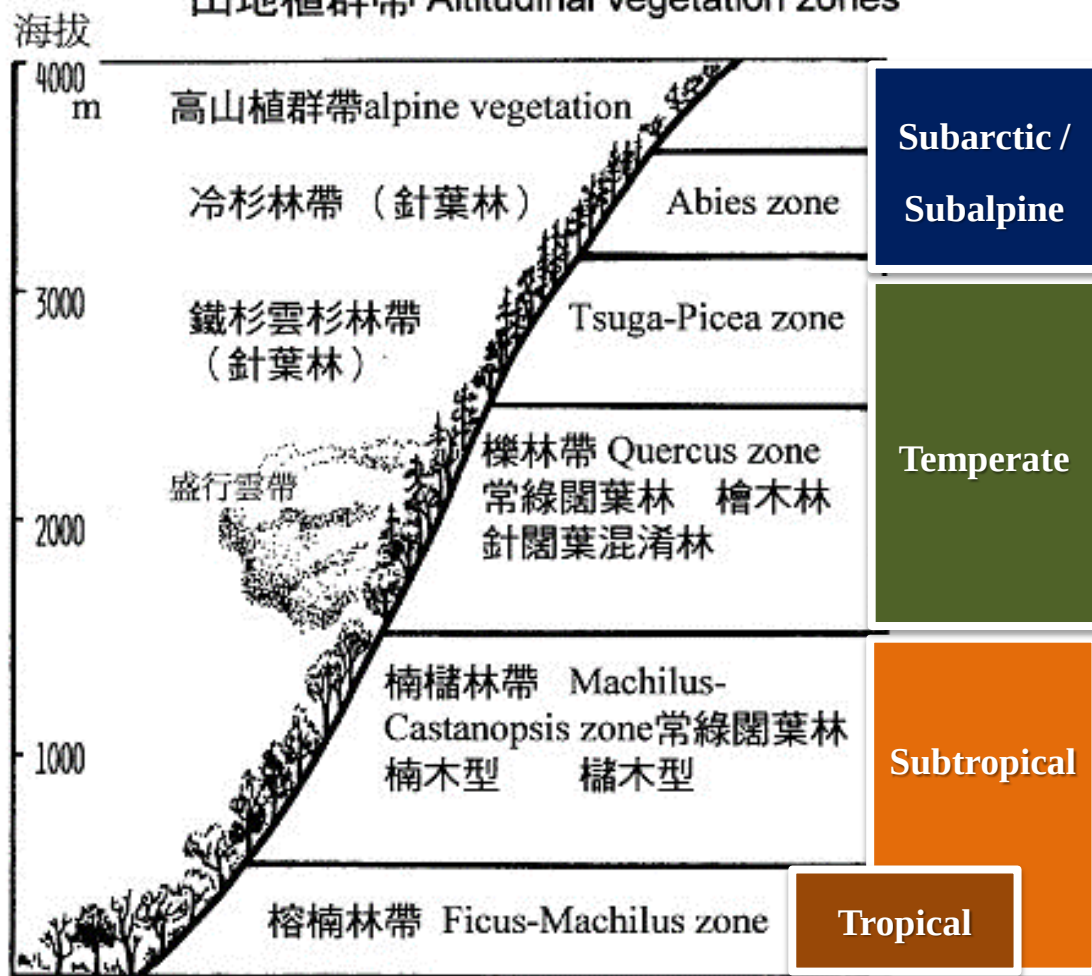


高溫、潮濕、終年生長

台灣森林的垂直變化：從熱帶到寒帶

- 日據時期開始，植物學者已經發現，台灣劇烈的海拔與地形落差，以及明顯的氣候分化，造就山區的植被垂直分帶 (Sasaki 1924; Su 1984)

山地植群帶 Altitudinal vegetation zones



氣候變遷帶來的森林變化是什麼？

- 在氣候變遷影響下，台灣植被有無向高海拔/高緯度遷徙現象？
- 若遷徙現象發生，哪些生態系是氣候變遷下最敏感而脆弱的地點？
- 對於易受衝擊的地點，如何擬定減緩與調適策略？



全球暖化對於山地植被的可能影響

<http://www.forestsforever.org/climate1.html>

現在

未來

+3.5 °C and
+10% precipitation
change scenario

Nival
Polar desert

Alpine wet tundra

Subalpine moist forest

Subalpine montane scrub

Montane steppe

Montane desert scrub

Lower montane thorn steppe

premontane thorn woodland

Nival
Polar desert

Alpine wet tundra

Subalpine moist forest

Montane steppe

Lower montane thorn steppe

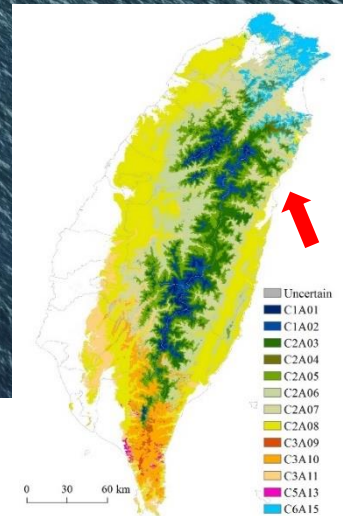
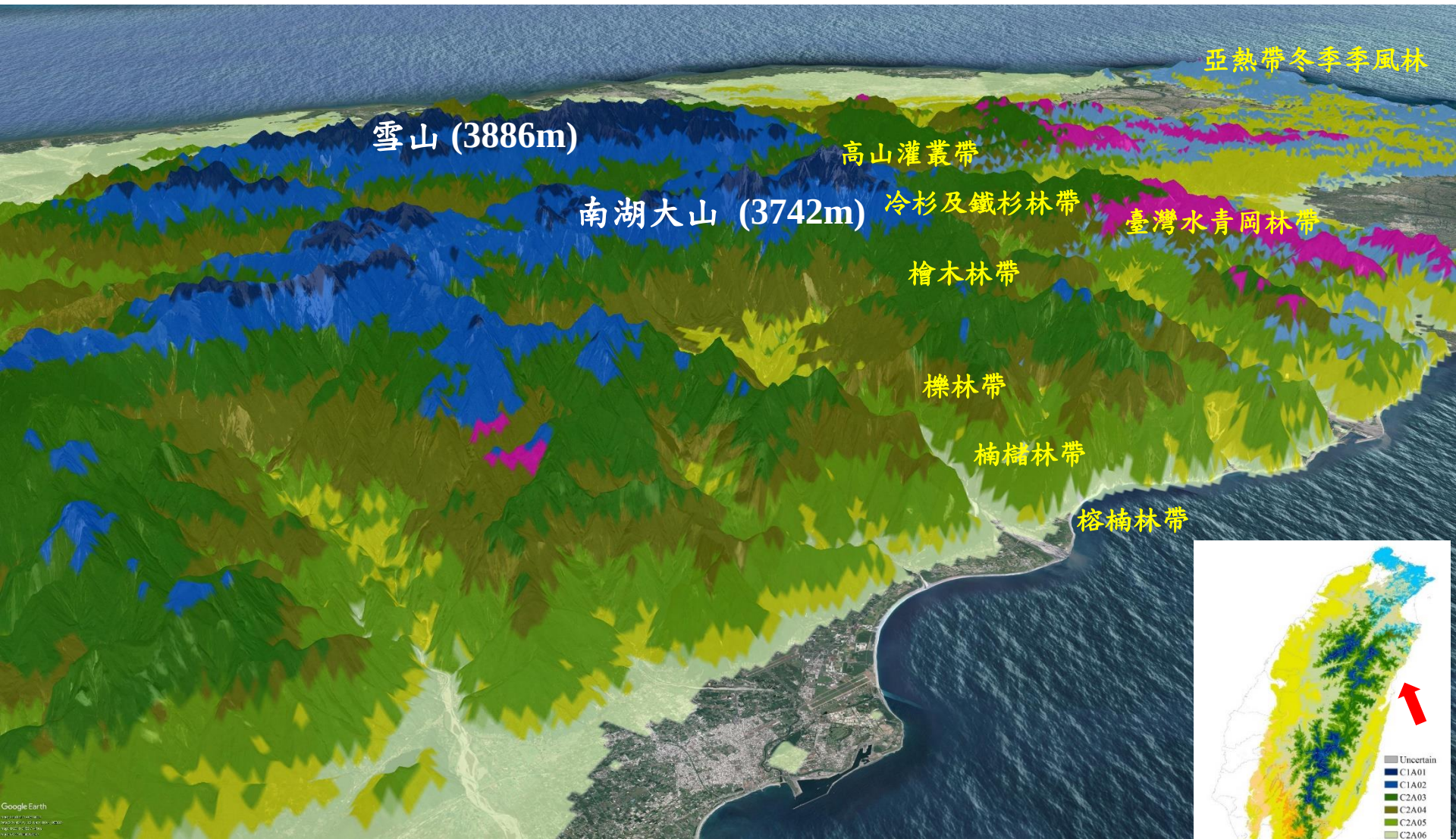
premontane thorn woodland

GRID
Arendal

UNEP

GRAPHIC DESIGN: PHILIPPE RENAUDIN

利用現行氣候（1986-2005）模擬台灣森林植被分布



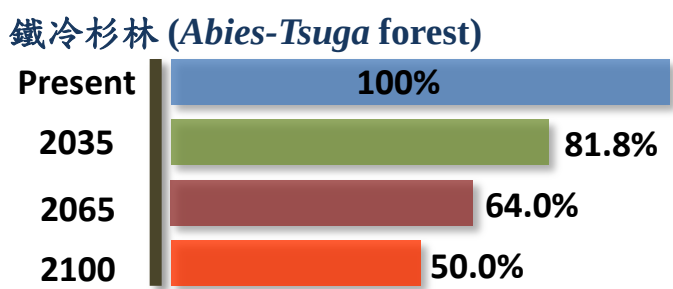
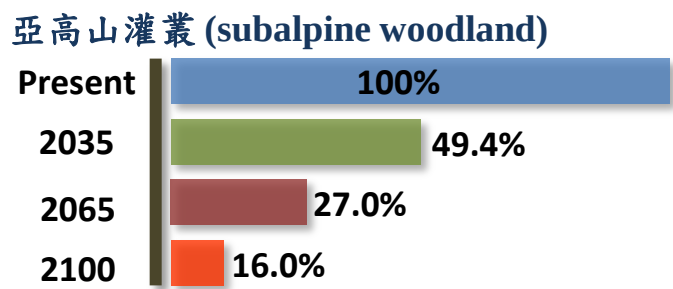
- 隨著氣候變遷，未來台灣的森林會如何變化？

利用現行氣候（1986-2005）產生的植被分布預測圖



受氣候變遷嚴重衝擊的植被類型－亞高山灌叢及鐵冷杉林

- 亞高山灌叢及鐵冷杉林在RCP 4.5情境的適生面積變化

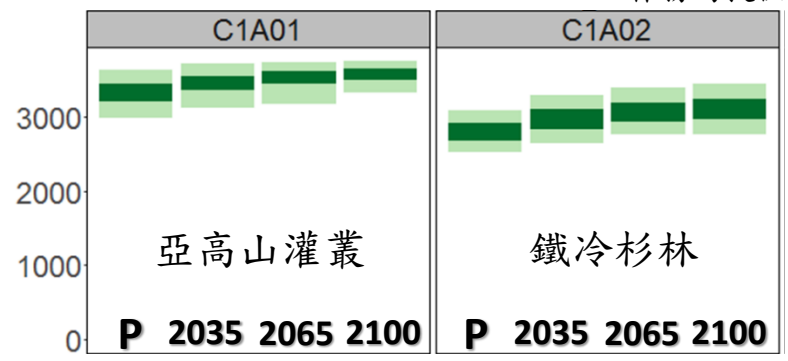


- 亞高山灌叢及鐵冷杉林在RCP 4.5情境的海拔變化

		年代			
		Present	2035	2065	2100
亞高山灌叢	上界	3635	3697	3739	3759
	棲地核心	3327	3409	3496	3547
	下界	2982	3105	3224	3299
鐵冷杉林	上界	3090	3236	3337	3410
	棲地核心	2790	2897	2993	3059
	下界	2531	2573	2671	2750

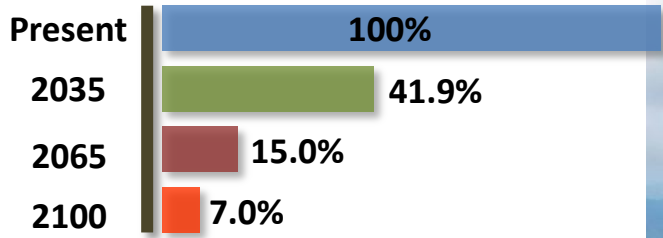
<https://e-info.org.tw/node/213426>

林務局提供

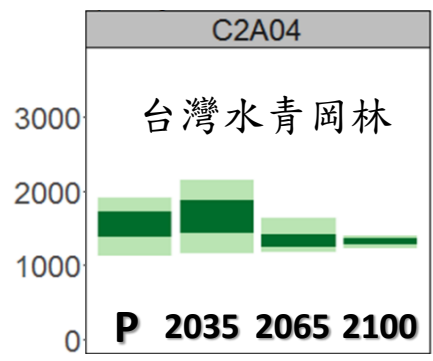


受氣候變遷嚴重衝擊的植被類型－台灣水青岡森林

- 台灣水青岡森林(*Fagus hayata*)
在RCP 4.5情境的適生面積變化



- 台灣水青岡森林在RCP 4.5情境的海拔變化



<https://e-info.org.tw/node/213426>

攝影：廖靜蕙

		年代			
		Present	2035	2065	2100
台灣水青岡	上界	1909	2145	1631	1406
	棲地核心	1579	1737	1325	1315
	下界	1131	1161	1182	1225



未來氣候與適生棲地模擬的結果
真的可以代表將來的森林分布？

擴張的一端

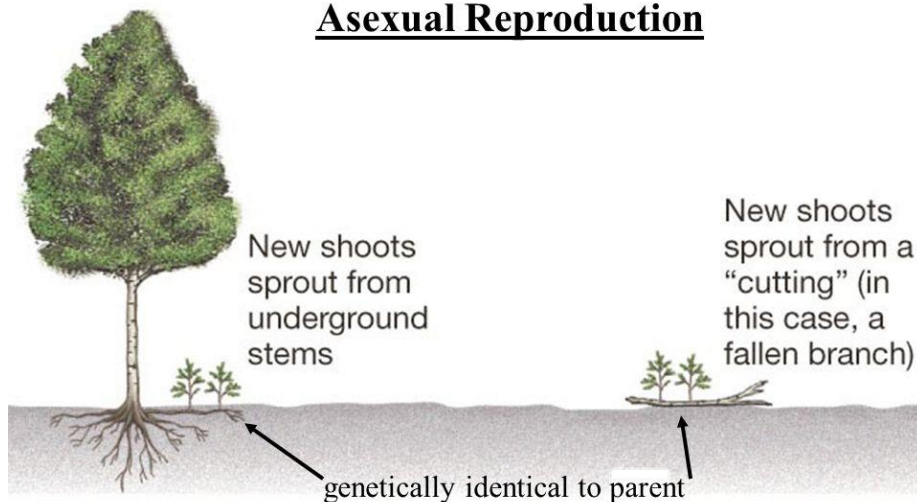
- 必須：到得了、發出芽、順利長大



退縮的一端

- 植物一定立刻死亡消失嗎？

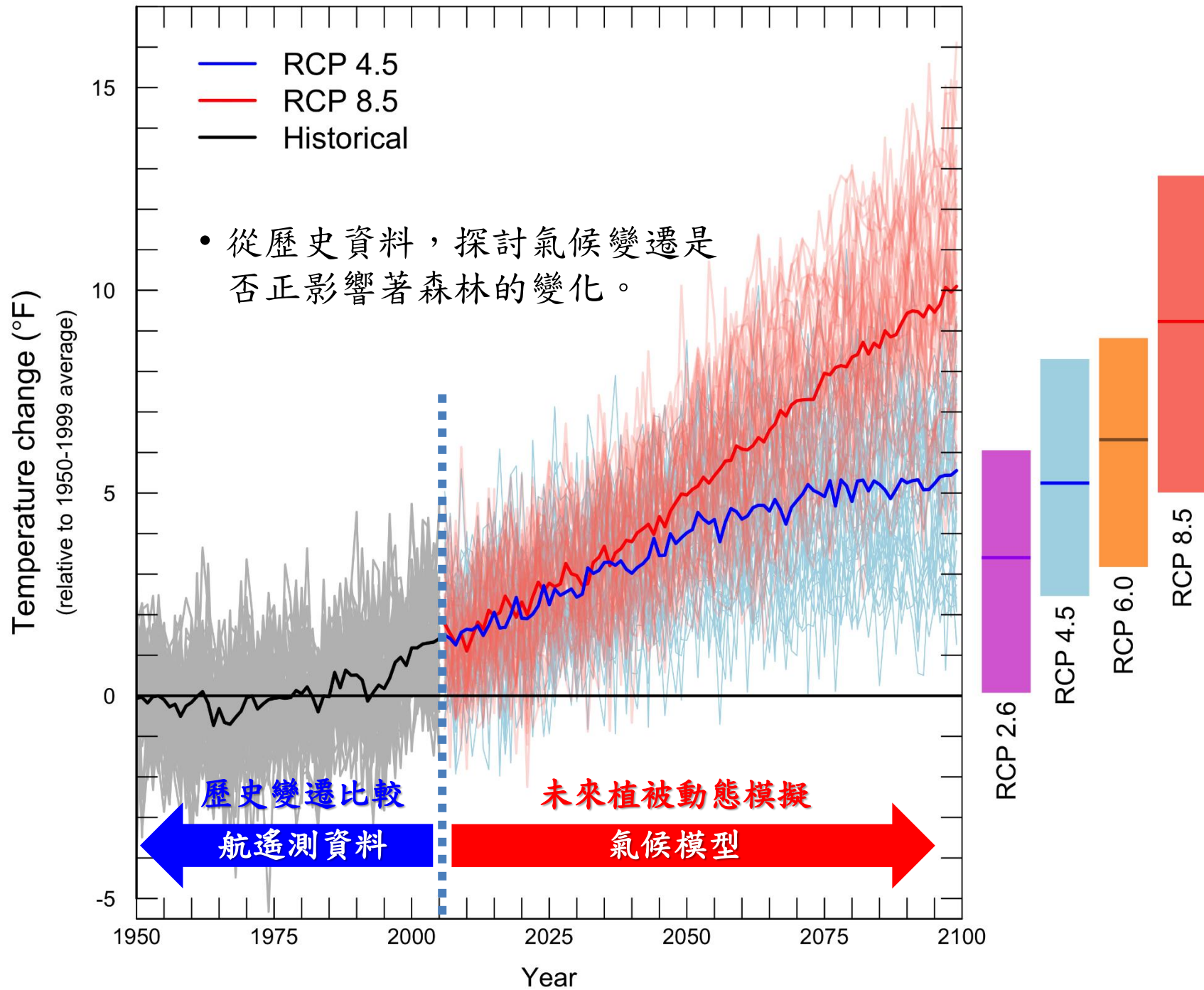
Asexual Reproduction



(this tree can reproduce both sexually and asexually)



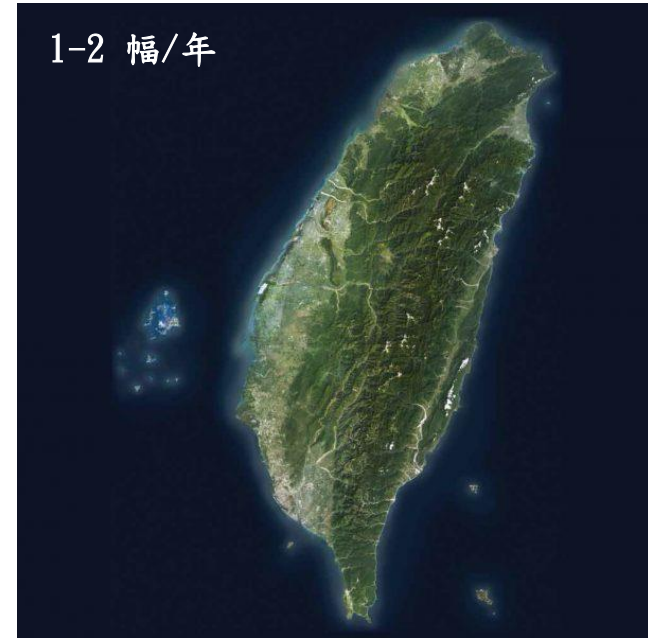
不管空中或地面
長期監測是最好的驗證方法



傳統航遙測影像資料的限制

- 傳統航攝影像的缺點：時間頻度低。
- 台灣一般衛星影像監測頻度：每年一期或二期無雲影像。
- 一般需求：收費；專案申請：免費。

1-2 幅/年



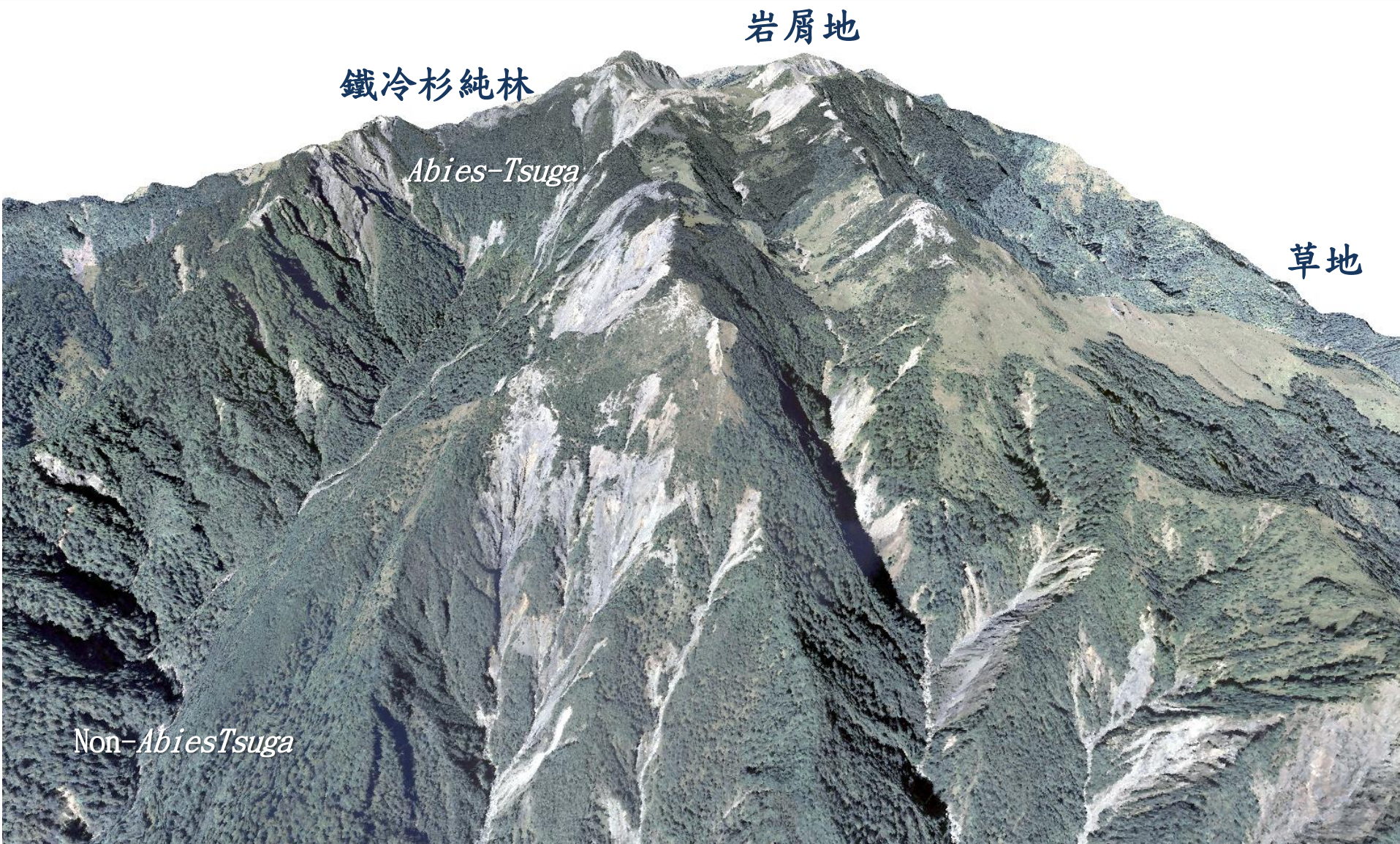
Data Cube 衛星影像技術



- 台灣大學、林試所與國家實驗研究院高速網路與計算中心106年度合作引入。
- 從Data Cube撈取2002年至2016年約300幅Landsat 7衛星影像，對八處台灣高山植被進行變遷分析。（平均20幅/年）
- 資料優點：
 - 免費
 - 時間頻度高
 - 下載即可分析 (Analysis-ready data)



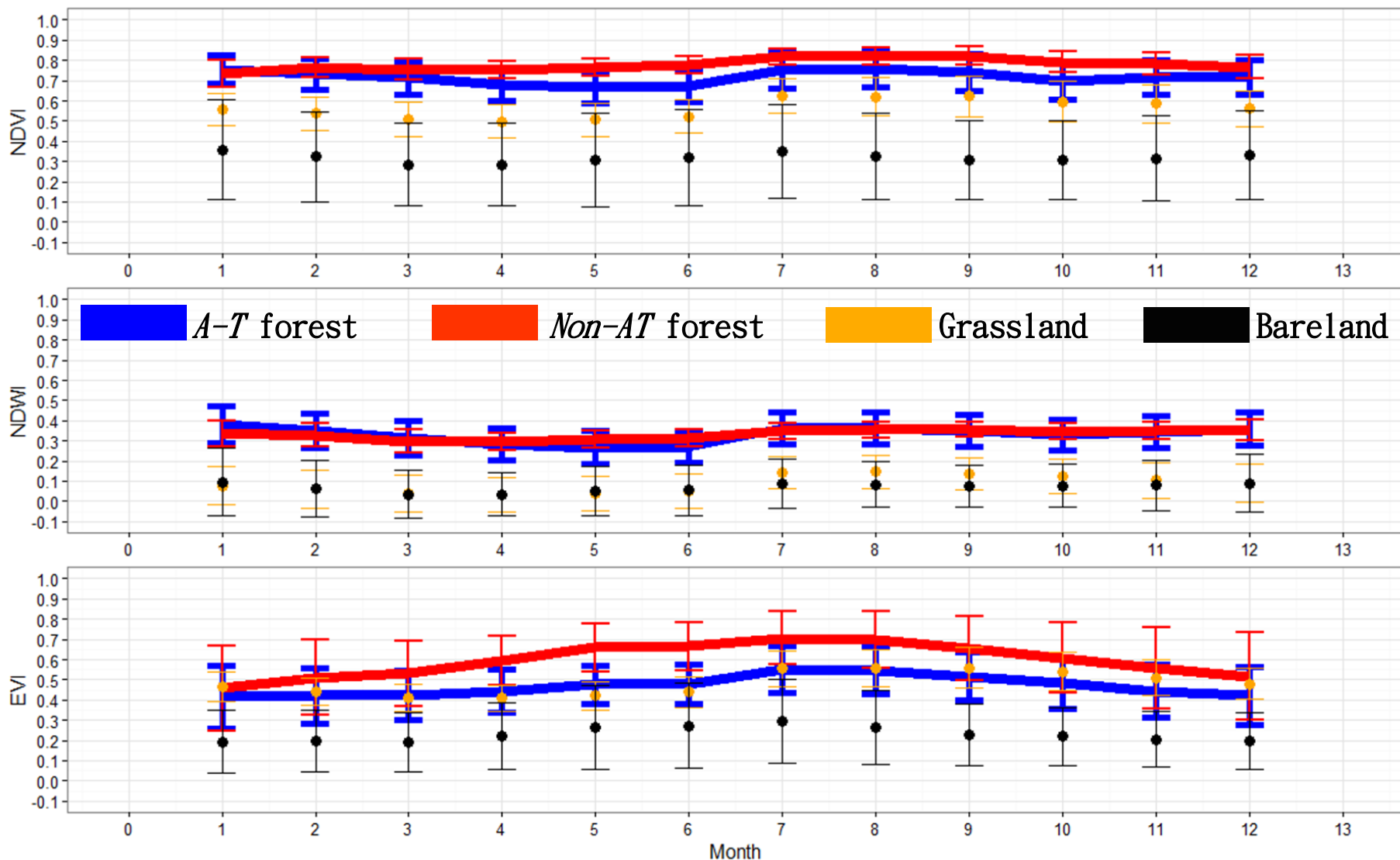
台灣高山常見的植被類型



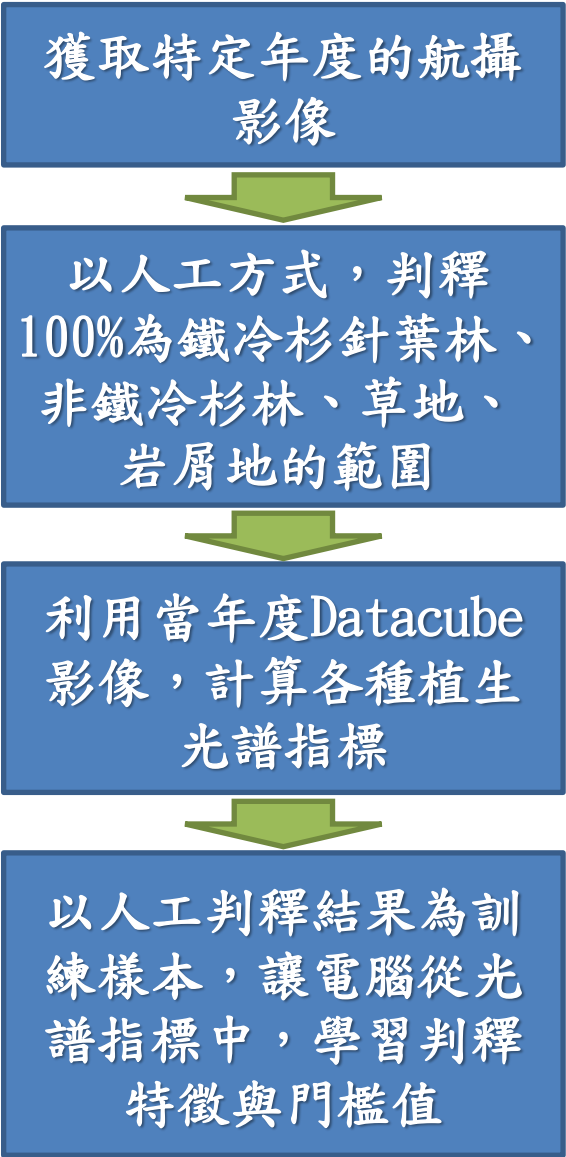
針闊葉混淆林

密集時間頻度影像的優點

- 豐富的時間細節，可以充分反應各種植被的物候差異



機器學習 – 隨機森林法



	Predicted		
	Forest	Non-forest	Mis-match
Forest	5100	193	3.65%
Non-forest	142	5151	2.69%

Actual

否
草原或岩屑地？
OOB err. = 1.88%

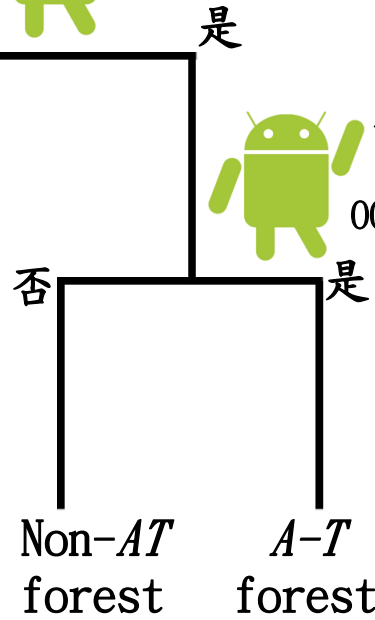


是否為森林？
OOB err. = 3.16%



是否為鐵冷杉純林？
OOB err. = 1.14%

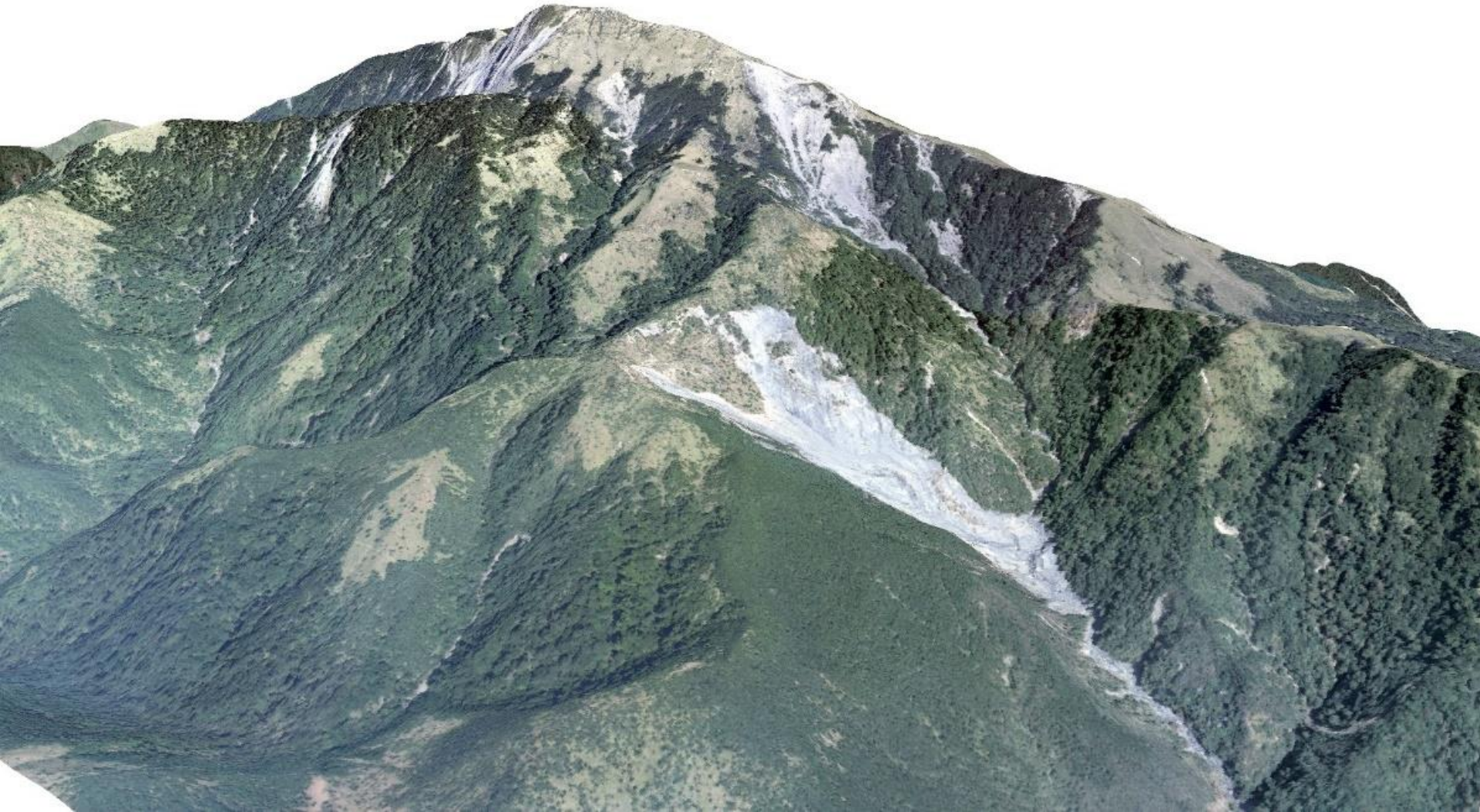
	Bare Land	Grass Land	Mis-match
Bare Land	2558	47	1.80%
Grass Land	51	2554	1.96%



	A-T Forest	Non-AT	Mis-match
A-T Forest	3770	18	0.48%
Non-AT	51	2554	1.80%

航攝影像－關山 (2009年拍攝，面積約5500ha)

Summit of Guanshan (3668m)

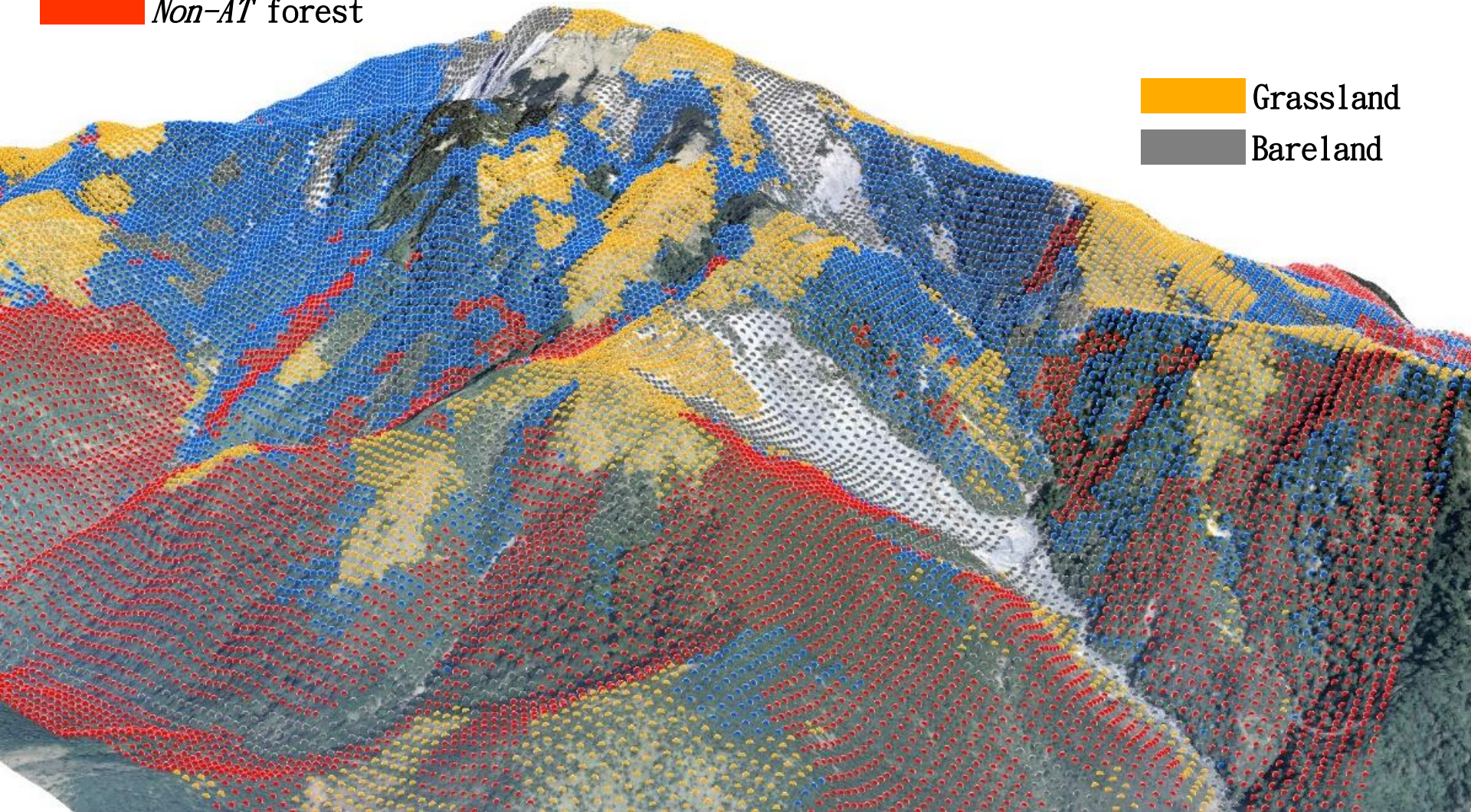


利用2009年Datacube影像，對關山植被自動分類結果

 *A-T* forest
 *Non-AT* forest

Summit of Guanshan (3668m)

 Grassland
 Bareland



歷年高山植被分布範圍重建與變遷比較



2009年

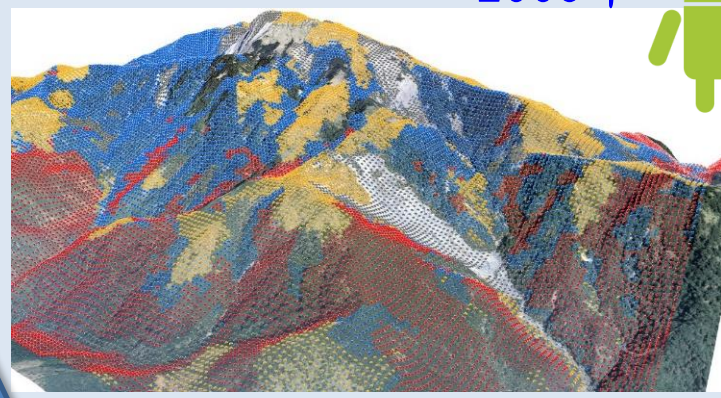


- 高解析度航照與人工判釋，建立高品質的訓練樣本

- 利用機器學習，建立分類模型

- 產生不同年度的高山植被分布圖

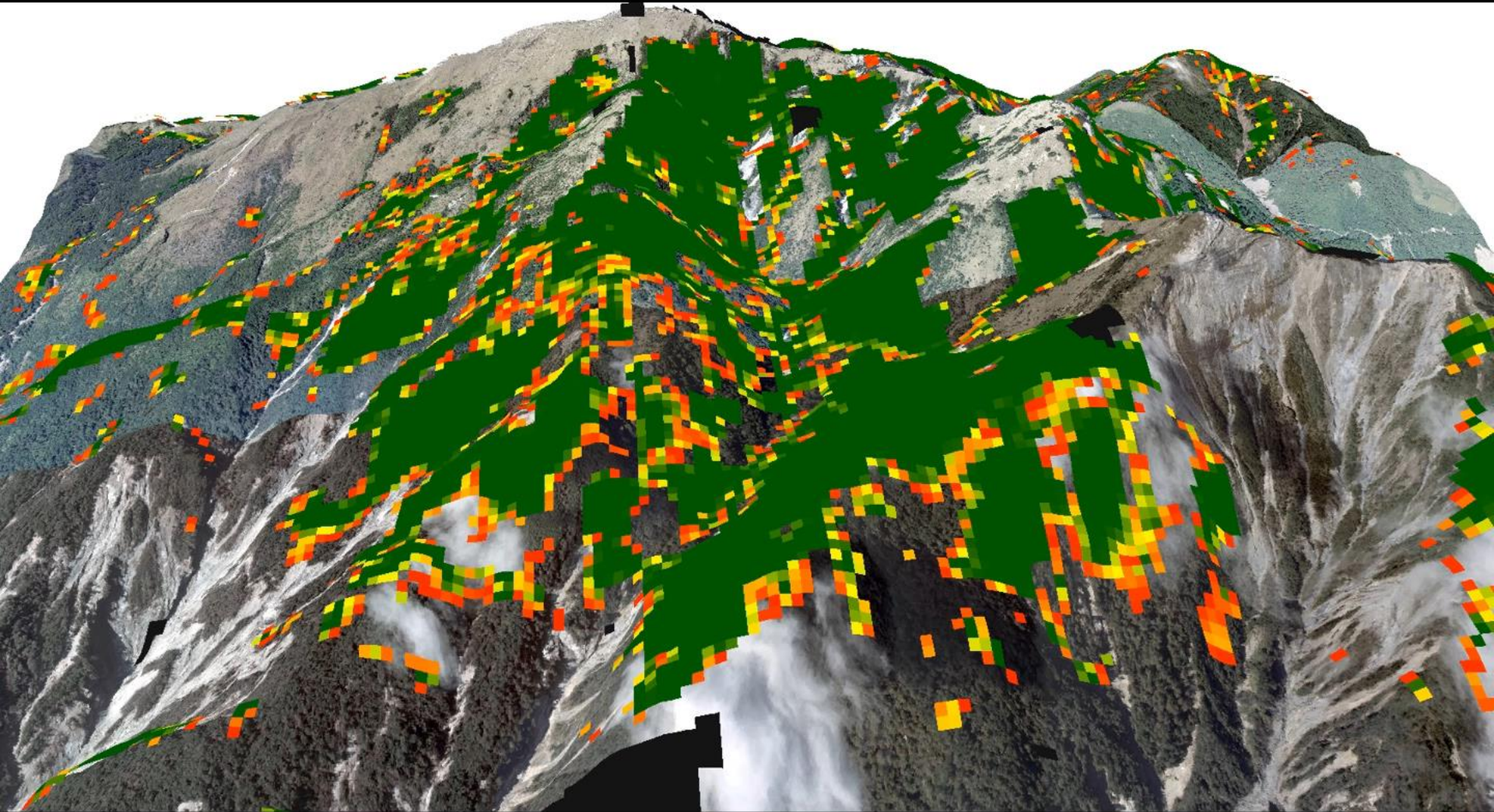
2009年



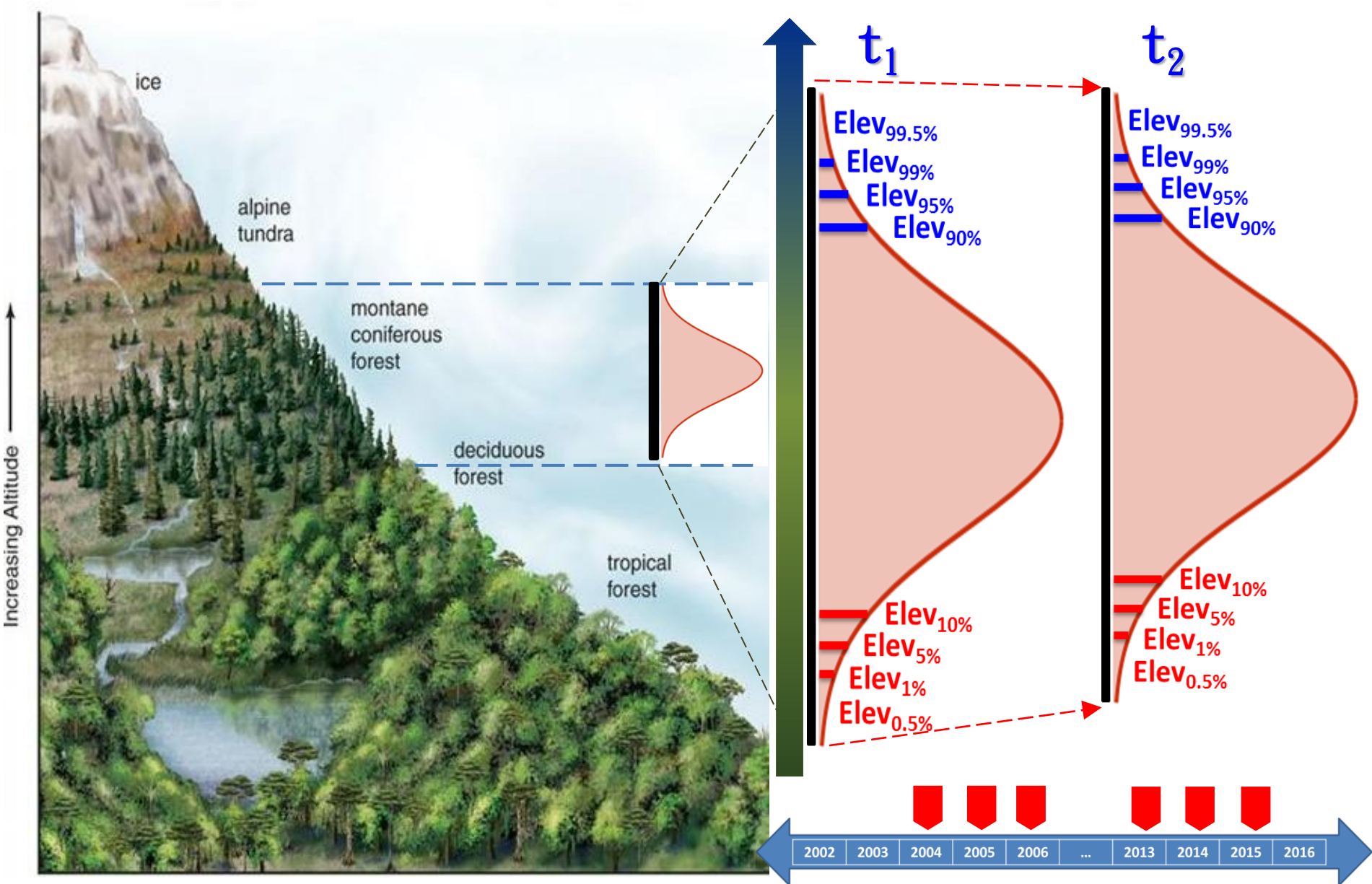


Guanshan, 2003

Similarity with A-T forest



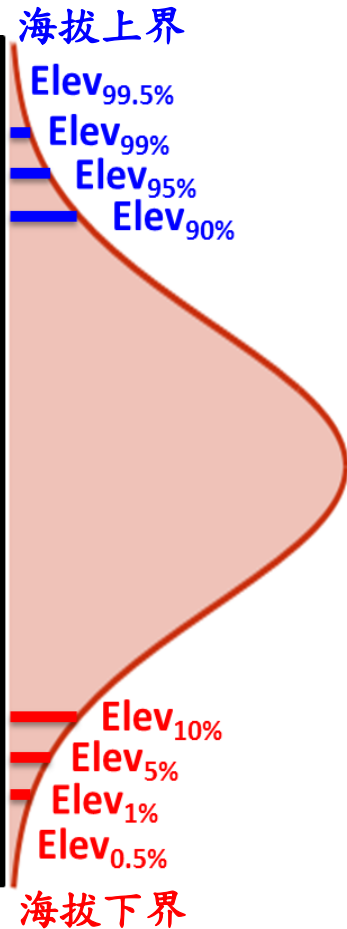
高山森林海拔變遷的年間比較方法



結果－卑南主山

- 鐵冷杉林下界海拔顯著升高，但上界變化趨勢不明顯

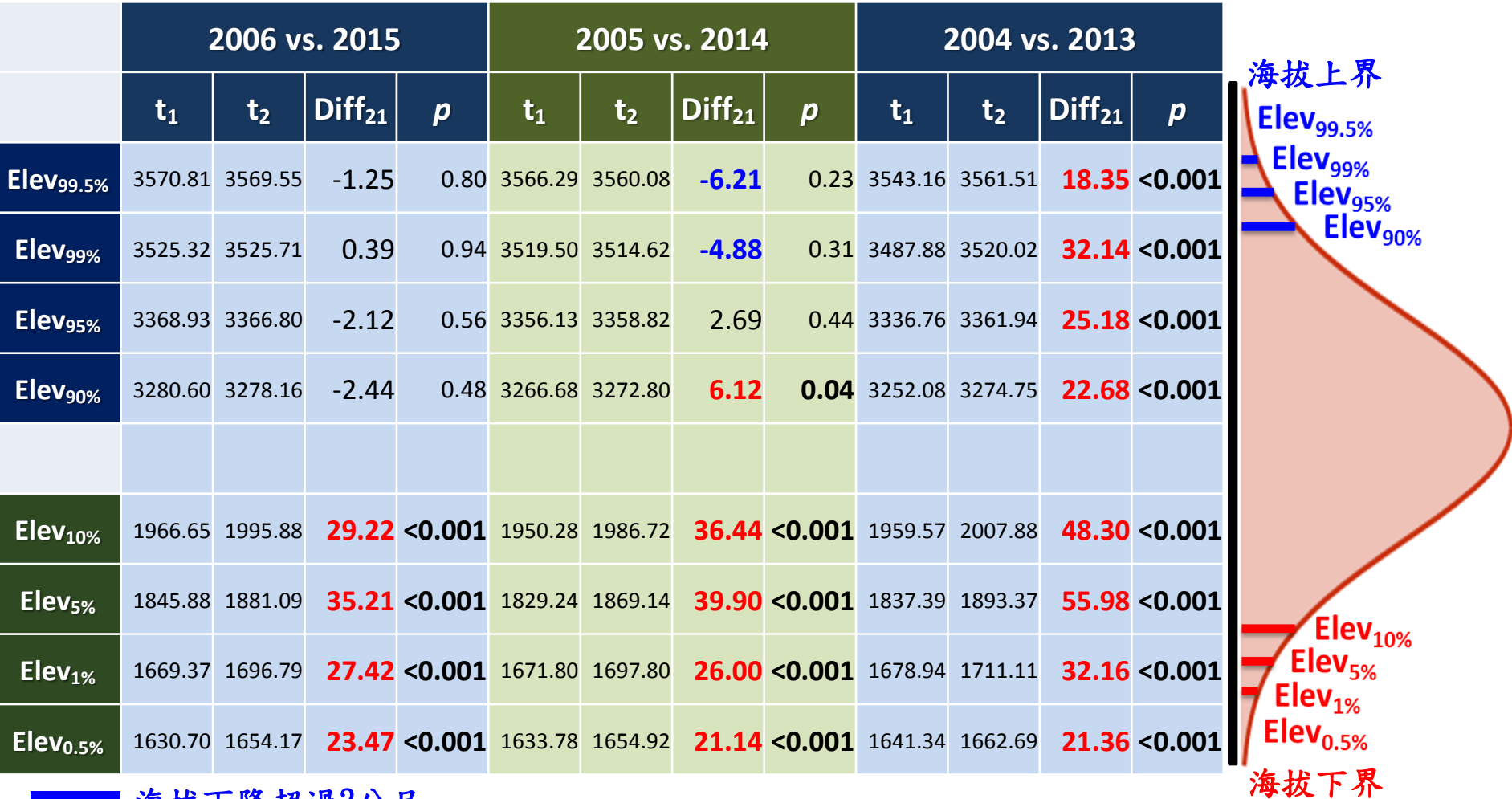
	2006 vs. 2015				2005 vs. 2014				2004 vs. 2013			
	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p
Elev _{99.5%}	3250.13	3244.52	-5.61	0.01	3246.93	3244.93	-1.99	0.33	3247.86	3246.48	-1.38	0.50
Elev _{99%}	3242.98	3238.04	-4.95	0.01	3239.73	3238.81	-0.92	0.60	3240.57	3239.86	-0.71	0.69
Elev _{95%}	3220.21	3218.34	-1.87	0.15	3217.14	3219.51	2.37	0.06	3217.84	3221.27	3.43	0.01
Elev _{90%}	3203.79	3203.66	-0.13	0.92	3201.30	3204.78	3.48	<0.01	3202.34	3206.99	4.65	<0.001
Elev _{10%}	2660.05	2658.27	-1.78	0.72	2652.75	2664.82	12.07	0.01	2653.97	2662.27	8.29	0.09
Elev _{5%}	2597.32	2597.64	0.32	0.95	2591.38	2603.60	12.22	0.01	2592.09	2601.00	8.91	0.06
Elev _{1%}	2511.78	2517.66	5.88	0.08	2511.52	2519.62	8.10	0.03	2514.16	2519.71	5.55	0.12
Elev _{0.5%}	2500.41	2503.57	3.16	0.24	2499.74	2503.68	3.95	0.17	2502.03	2504.28	2.24	0.47



- 海拔下降超過3公尺
- 海拔變化在3公尺以內
- 海拔上升超過3公尺

結果－關山

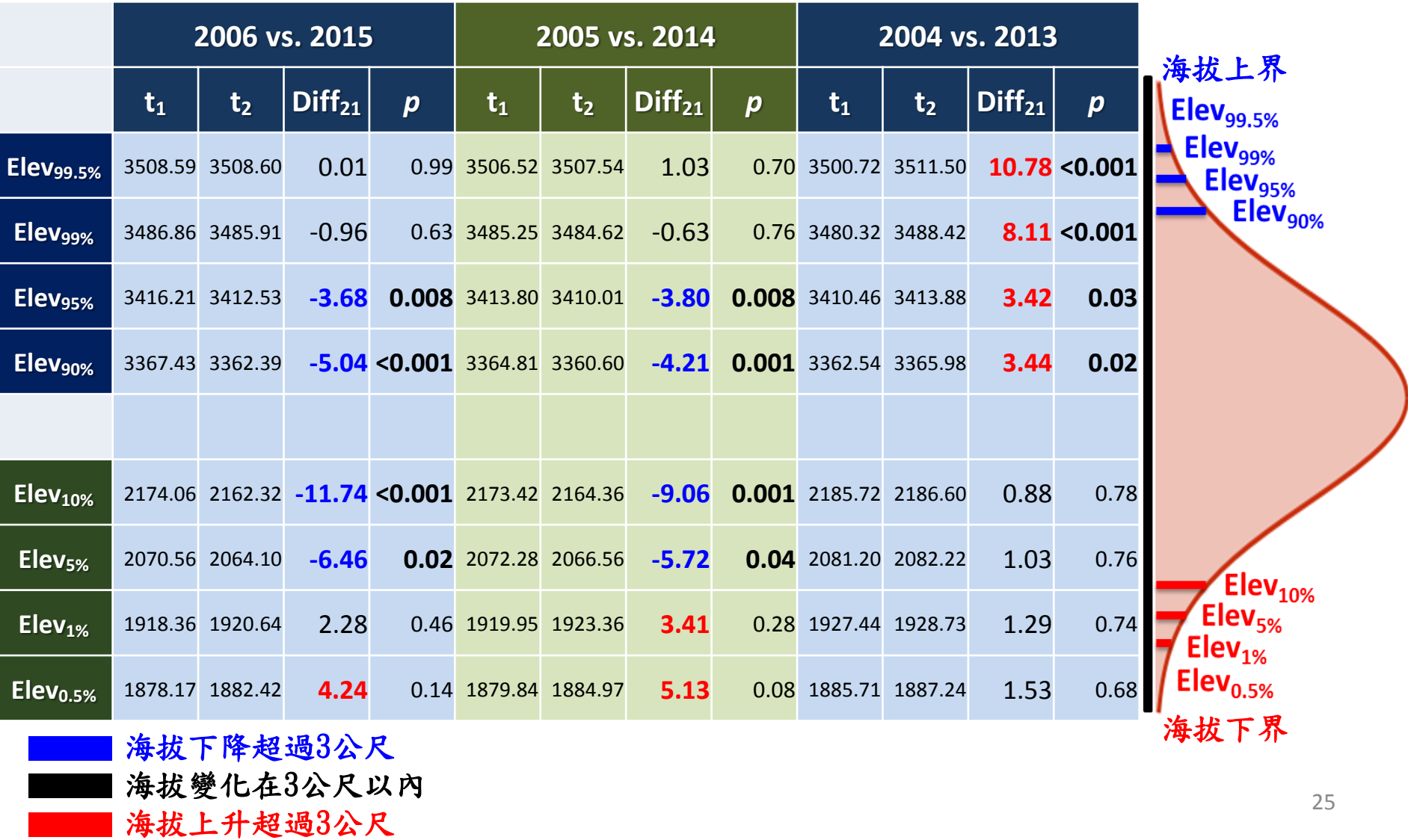
- 鐵冷杉林下界海拔顯著升高，但上界變化趨勢不明顯



- 海拔下降超過3公尺
- 海拔變化在3公尺以內
- 海拔上升超過3公尺

結果－向陽山

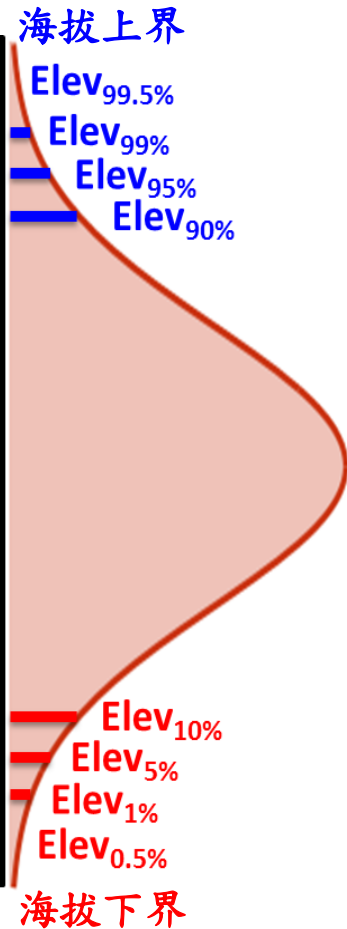
- 鐵冷杉林核心區下降。上、下界略微上升，但不太顯著。



結果－秀姑巒山

- 鐵冷杉林下界與上界的海拔變化皆不明顯，且未達顯著門檻。

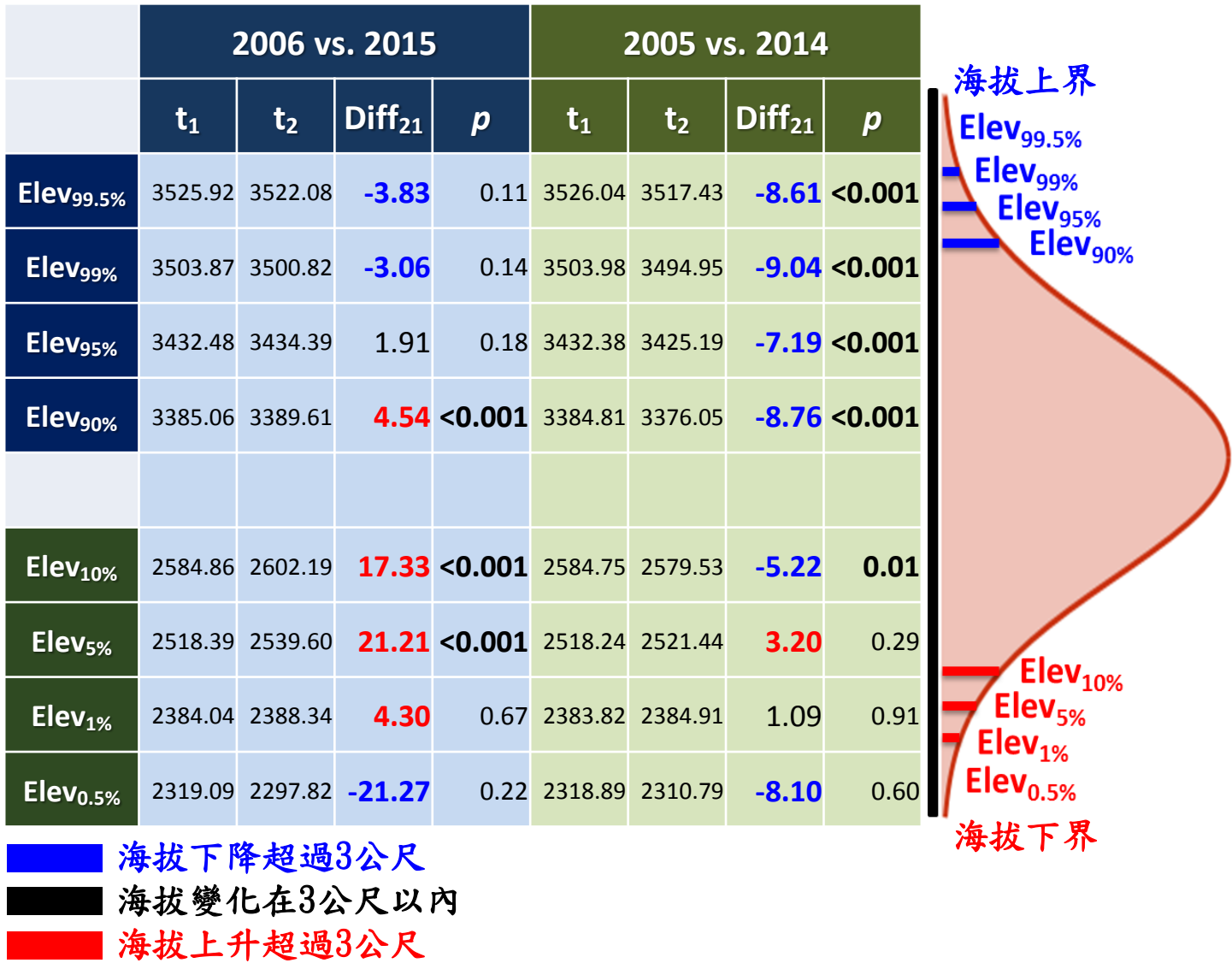
	2006 vs. 2015				2005 vs. 2014				2004 vs. 2013			
	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p
Elev _{99.5%}	3757.27	3756.86	-0.41	0.81	3757.65	3758.12	0.47	0.77	3752.78	3751.49	-1.29	0.52
Elev _{99%}	3736.35	3736.20	-0.15	0.94	3739.41	3738.76	-0.66	0.71	3731.76	3727.54	-4.23	0.05
Elev _{95%}	3638.66	3640.14	1.48	0.47	3645.38	3642.83	-2.55	0.22	3639.19	3635.40	-3.79	0.07
Elev _{90%}	3572.32	3573.69	1.37	0.48	3579.06	3576.04	-3.02	0.13	3574.12	3570.04	-4.07	0.045
Elev _{10%}	2265.20	2267.76	2.57	0.40	2272.23	2269.66	-2.57	0.42	2263.17	2261.32	-1.86	0.57
Elev _{5%}	2160.09	2163.10	3.00	0.35	2163.15	2162.19	-0.95	0.78	2156.09	2155.54	-0.55	0.87
Elev _{1%}	2011.17	2008.70	-2.47	0.46	2005.16	2007.22	2.06	0.55	2002.57	2003.59	1.02	0.77
Elev _{0.5%}	1975.38	1970.62	-4.76	0.15	1966.96	1970.16	3.20	0.33	1965.10	1966.97	1.88	0.59



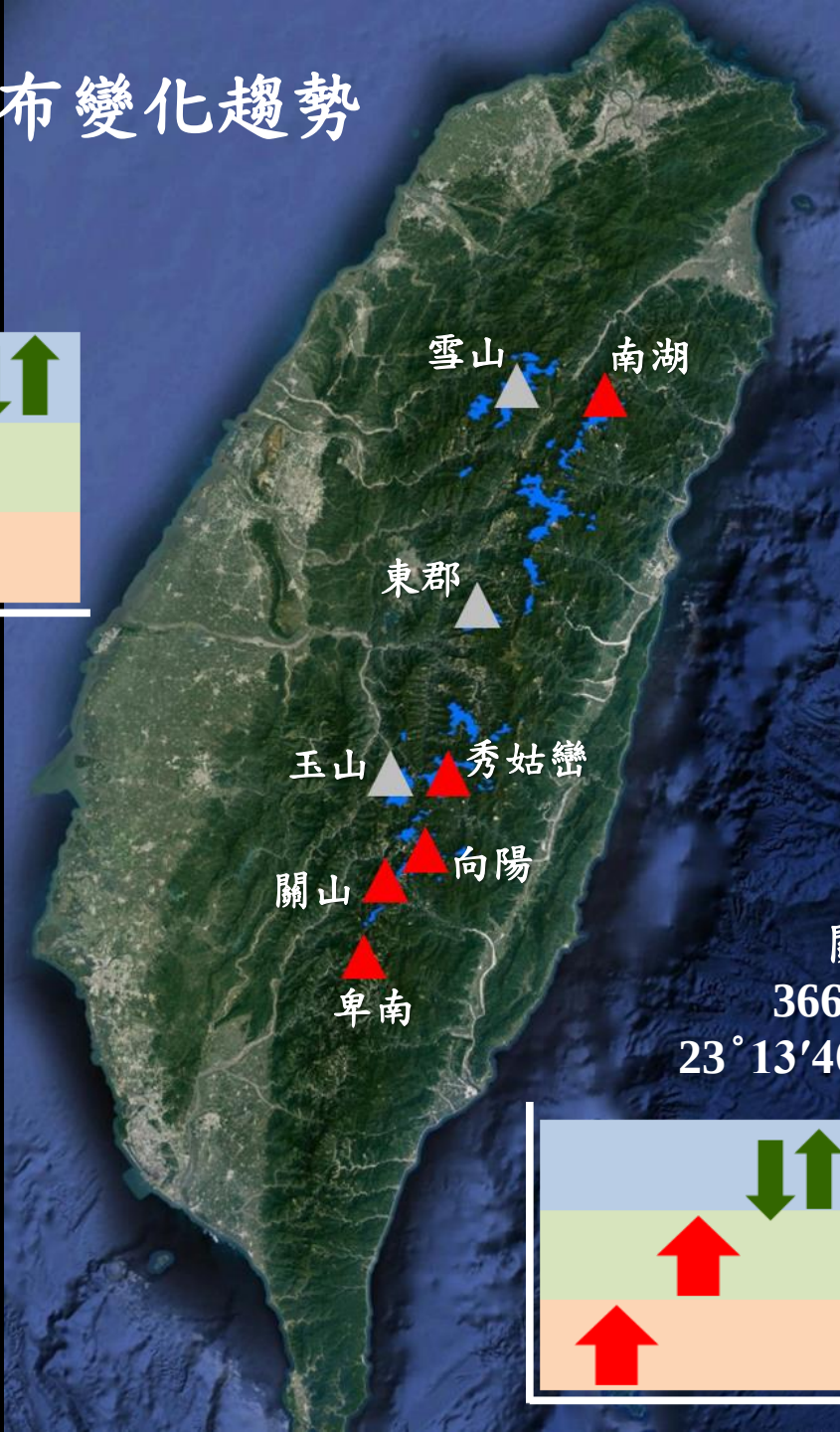
- 海拔下降超過3公尺
- 海拔變化在3公尺以內
- 海拔上升超過3公尺

結果－南湖大山

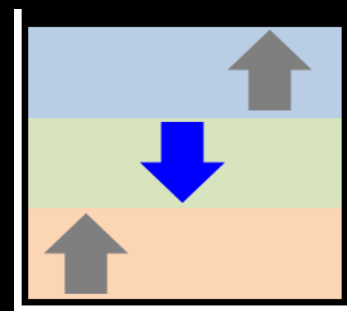
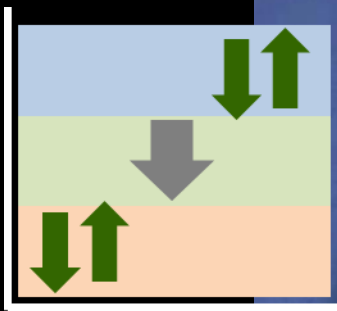
- 影像品質較差。海拔變化難歸納趨勢，上界可能略微下移。



高山鐵冷杉植群分布變化趨勢

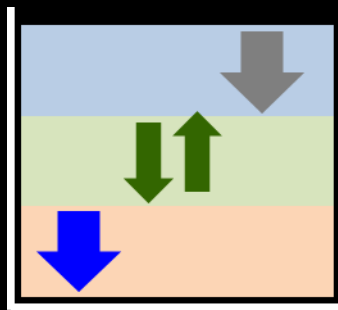


秀姑巒山
3805 m
23° 29' 48" N

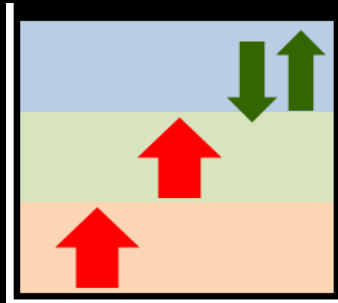


向陽山
3602 m
23° 17' 3.48" N

南湖大山
3742 m
24° 21' 40" N



關山
3668 m
23° 13' 40" N



卑南主山
3293 m
23° 03' 04" N

上界
核心區
下界

初步結論

- Datacube具有高時間頻度，是地物變遷監測的良好工具。以機器學習方法建立監督式判別模型，搭配準確的訓練過程，可協助判釋重要植群的分布。
- 台灣南部（向陽山、關山、卑南主山）鐵冷杉純林分布下界，有顯著向高海拔退縮的趨勢，但近山頂的上界無明顯變化。
- 秀姑巒山以北，鐵冷杉純林的海拔分布無顯著變化；南湖大山甚至有些微下降趨勢出現。
- 目前Datacube影像以Landsat 7 & 8為主，地面解析度約為30公尺。如可改納入其他較高解析度的衛星影像，將有助於植被變遷的細部分析。

無人機可以做些什麼？



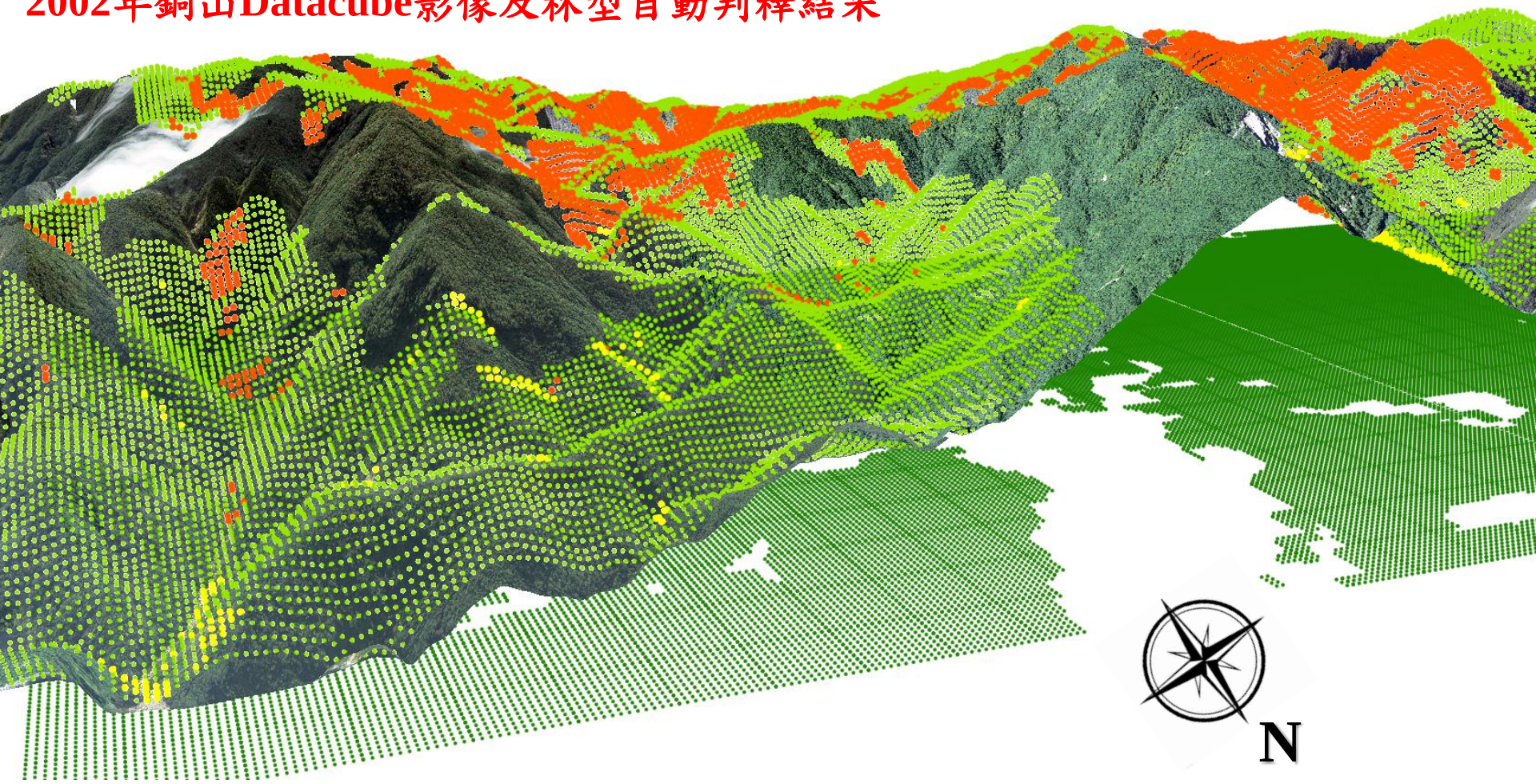
植被交會帶
競爭、擠壓、植被變遷顯著的地點



特殊地點的監測

雲霧林帶航遙測分析的困擾

2002年銅山Datacube影像及林型自動判釋結果



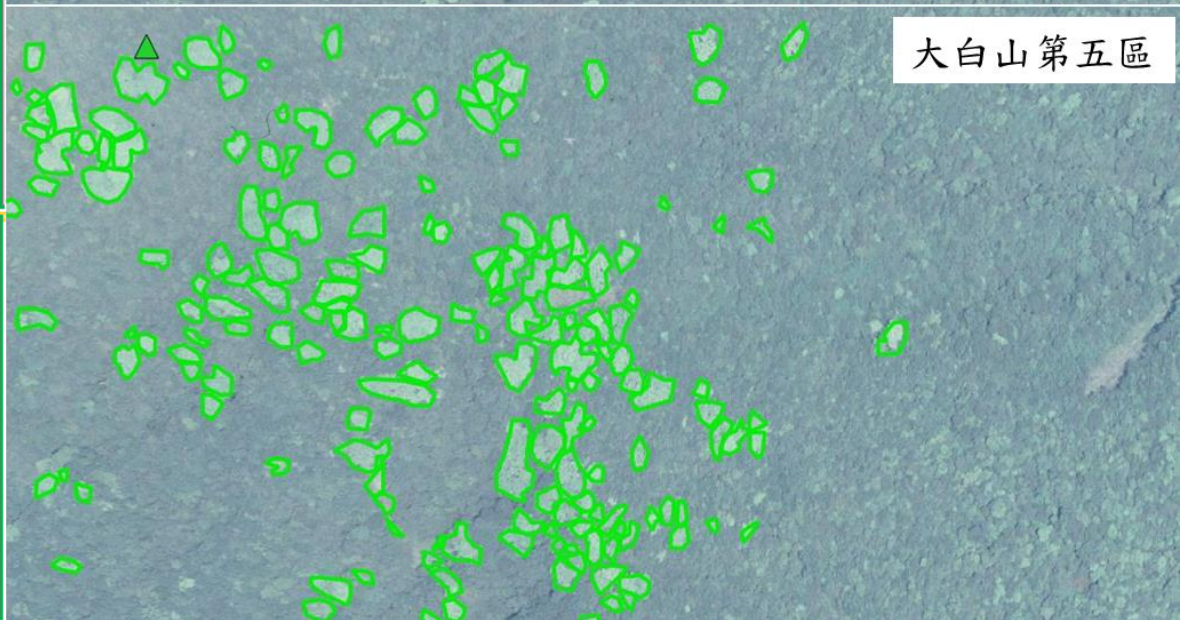
年度	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
影像覆蓋率	85%	63%	57%	60%	48%	44%	53%	87%	87%	64%	50%	39%	73%	92%



Buna: polygons of red lines
Estimated no. of buna trees: 1,915



水青岡族群的年間比較





大白山水青岡枯木區



大白山新發現的水青岡個體

Thanks for listening

