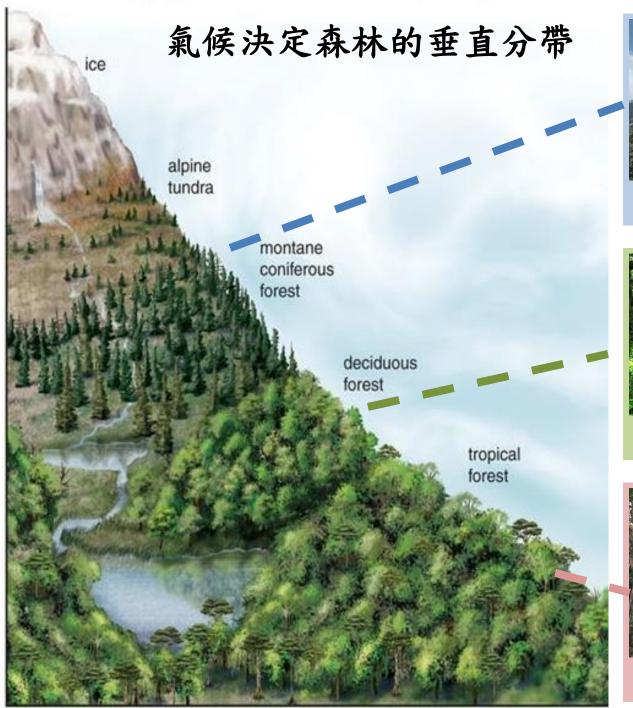
氣候變遷下的森林變化是否成真?

- 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





寒冷、降雪、生長季短



多雨、雲霧、氣溫涼爽

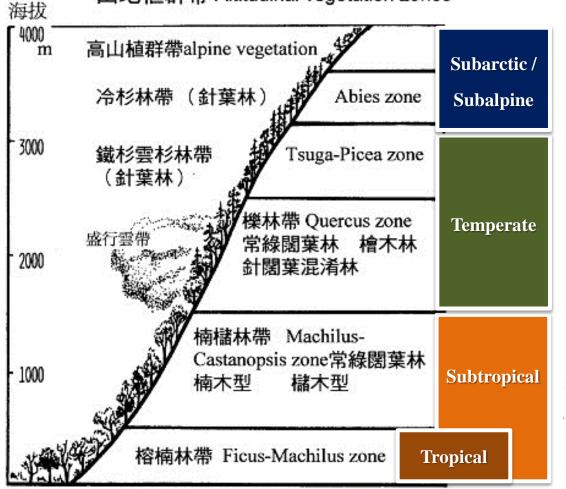


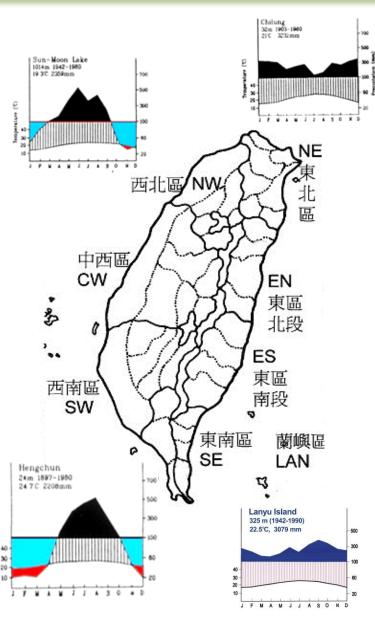
高溫、潮濕、終年生長

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?

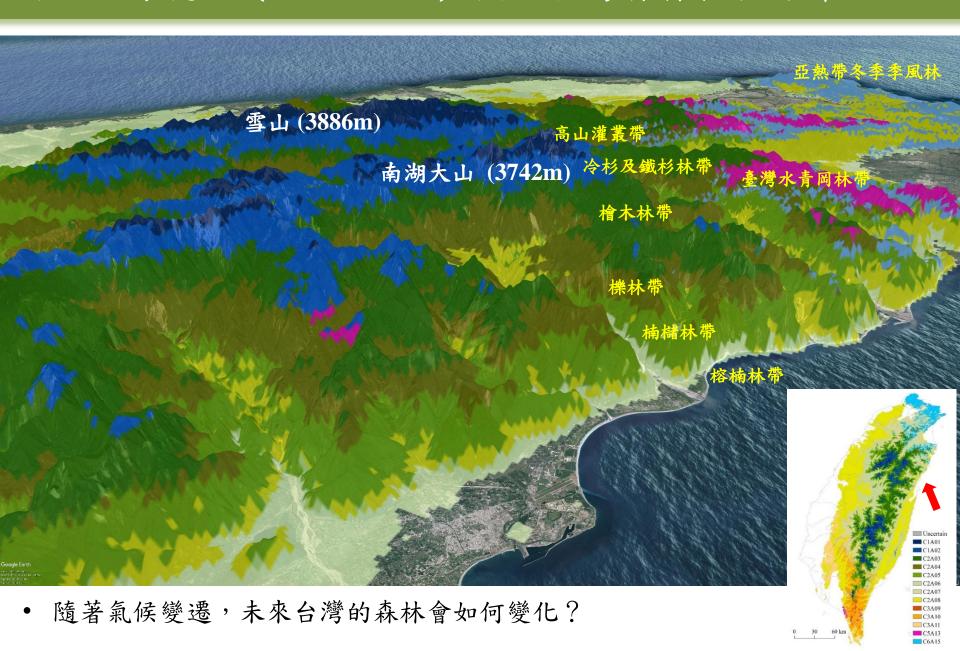


As climate warms, hardwood trees out-compete evergreen trees that are adapted to colder conditions.

全球暖化對於山地植被的可能影響



利用現行氣候(1986-2005)模擬台灣森林植被分布



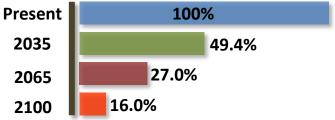
利用現行氣候(1986-2005)產生的植被分布預測圖



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 (subalpine woodland)



鐵冷杉林 (Abies-Tsuga forest)



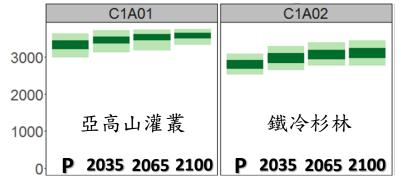


· 亞高山灌叢及鐵冷杉林在RCP 4.5情境的海拔變化

			年	代	
		Present	2035	2065	2100
开	上界	3635	3697	3739	3759
亞高山 灌叢	棲地核心	3327	3409	3496	3547
作取	下界	2982	3105	3224	3299
AD-A 17	上界	3090	3236	3337	3410
鐵冷杉 林	棲地核心	2790	2897	2993	3059
71	下界	2531	2573	2671	2750

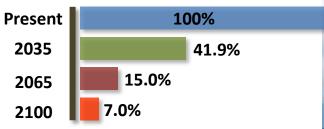
https://e-info.org.tw/node/213426

林務局提供

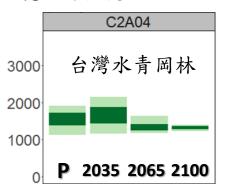


受氣候變遷嚴重衝擊的植被類型 - 台灣水青岡森林

• 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
	上界	1909	2145	1631	1406
台灣水青岡	棲地核心	1579	1737	1325	1315
A	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



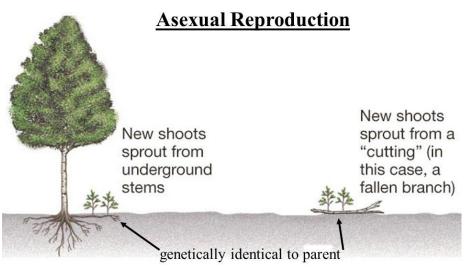




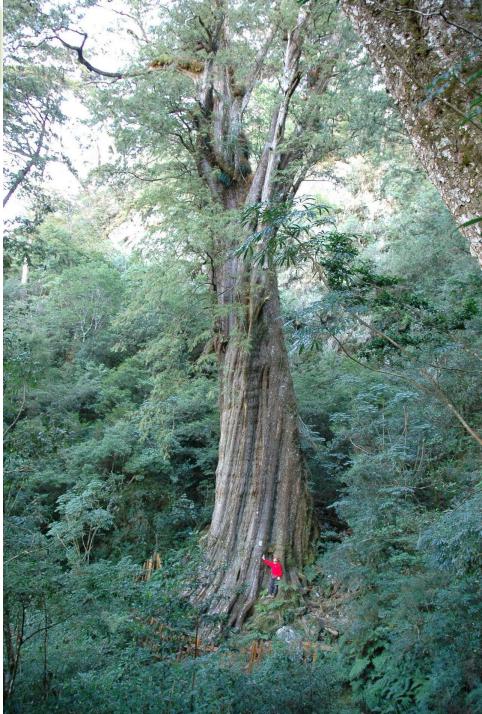


退縮的一端

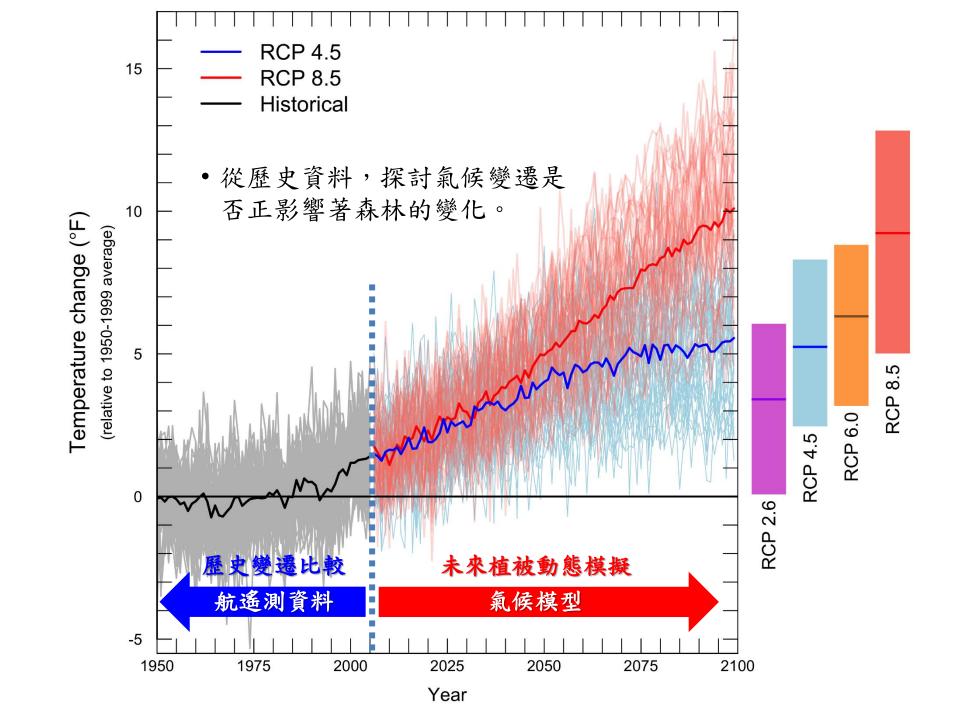
• 植物一定立刻死亡消失 嗎?



(this tree can reproduce both sexually and asexually)

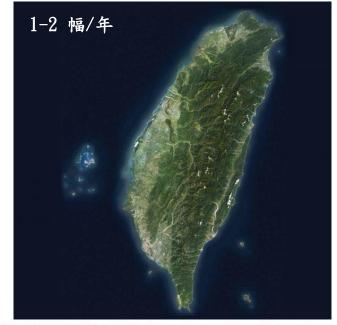


不管空中或地面長期監測是最好的驗證方法



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。











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)

INSTITUTIONAL PARTNERS





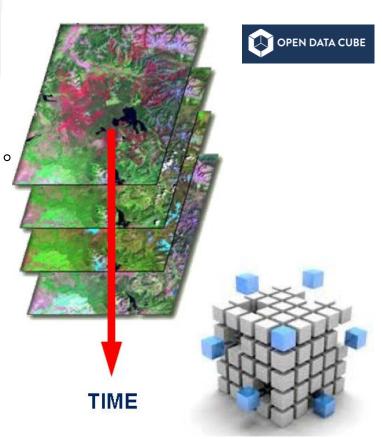






Australian Government
Geoscience Australia







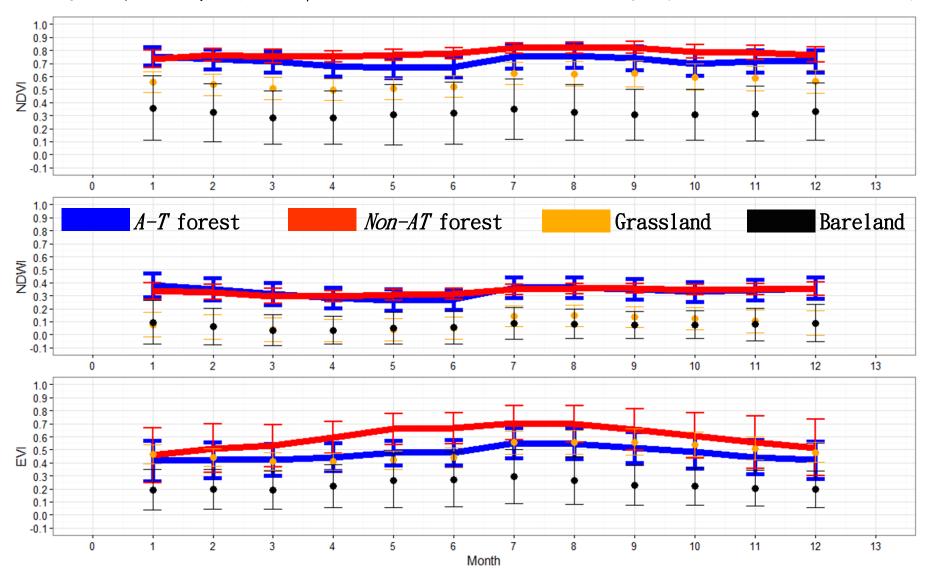
台灣高山常見的植被類型



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

獲取特定年度的航攝 影像

以人工方式,判釋 100%為鐵冷杉針葉林、 非鐵冷杉林、草地、 岩屑地的範圍

利用當年度Datacube 影像,計算各種植生 光譜指標

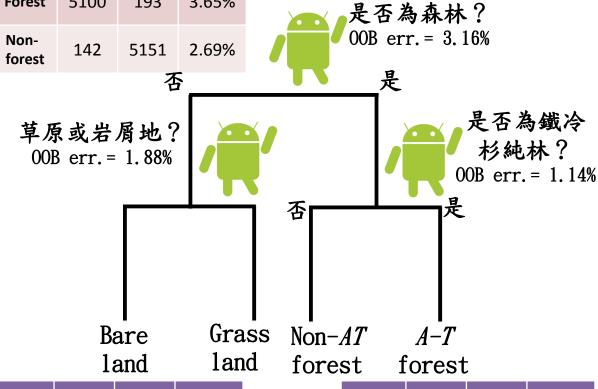
以人工判釋結果為訓練樣本,讓電腦從光 譜指標中,學習判釋 特徵與門檻值

Predicted

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

Predictors (39 variables):

- Monthly NDVI
- Monthly EVI
- Monthly NDWI
- Range of NDVI, EVI, and NDWI

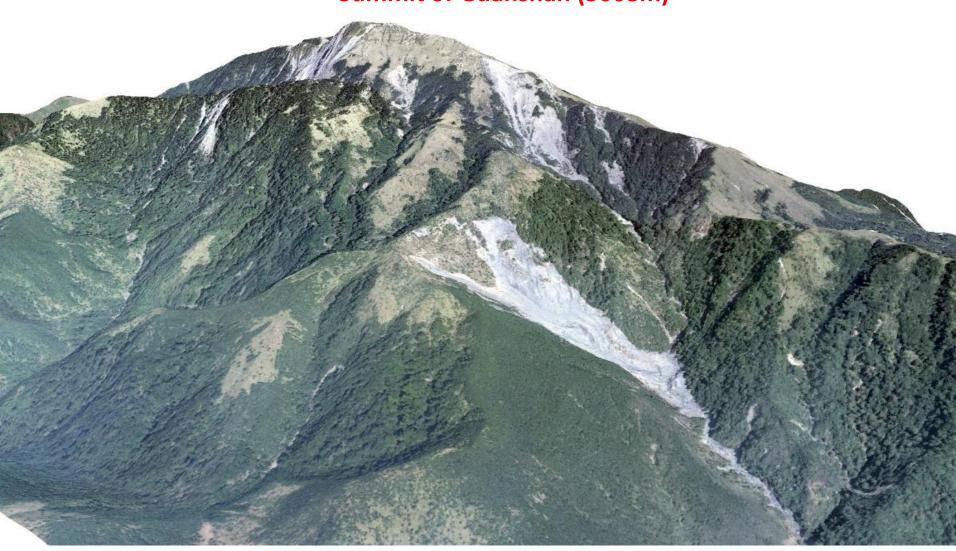


	Bare Land	Grass Land	Mis- match
Bare Land	2558	47	1.80%
Grass Land	51	2554	1.96%

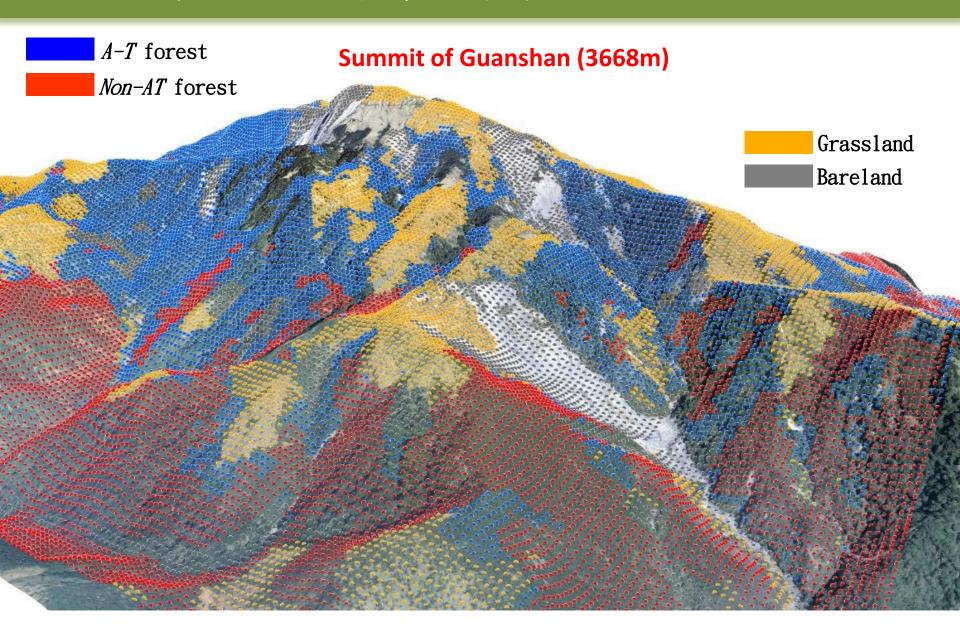
	A-T Forest	Non- AT	Mis- match
A-T Forest	3770	18	0.48%
Non- AT	51	2554	1.80%

航攝影像-關山(2009年拍攝,面積約5500ha)

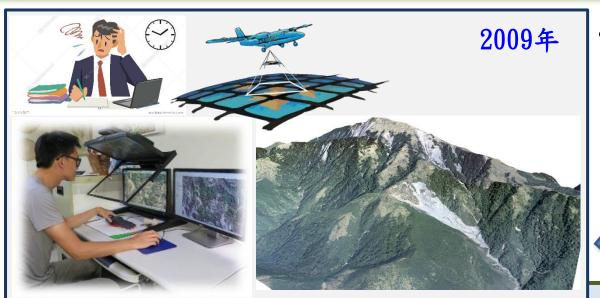
Summit of Guanshan (3668m)



利用2009年Datacube影像,對關山植被自動分類結果



歷年高山植被分布範圍重建與變遷比較

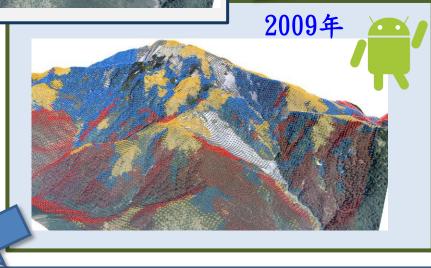


高解析度航照與人 工判釋,建立高品 質的訓練樣本

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

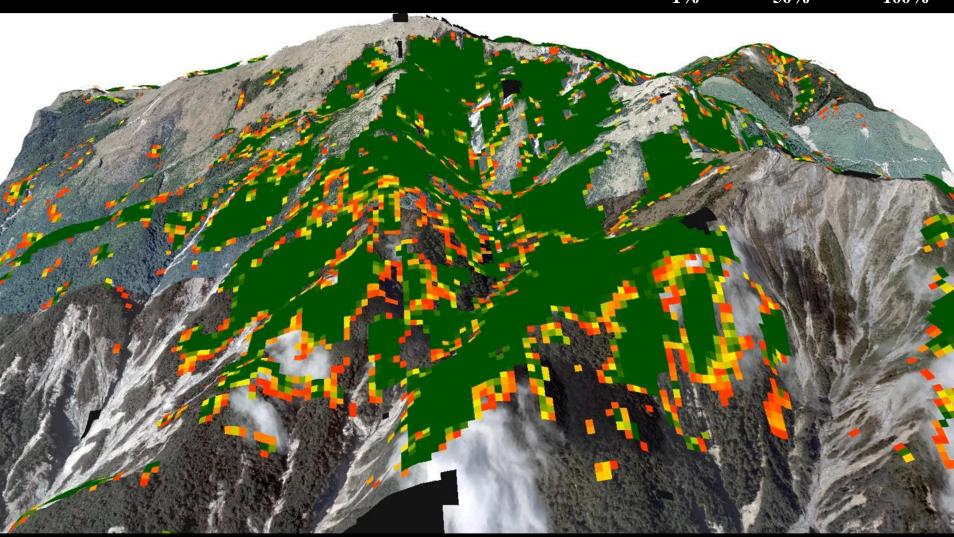




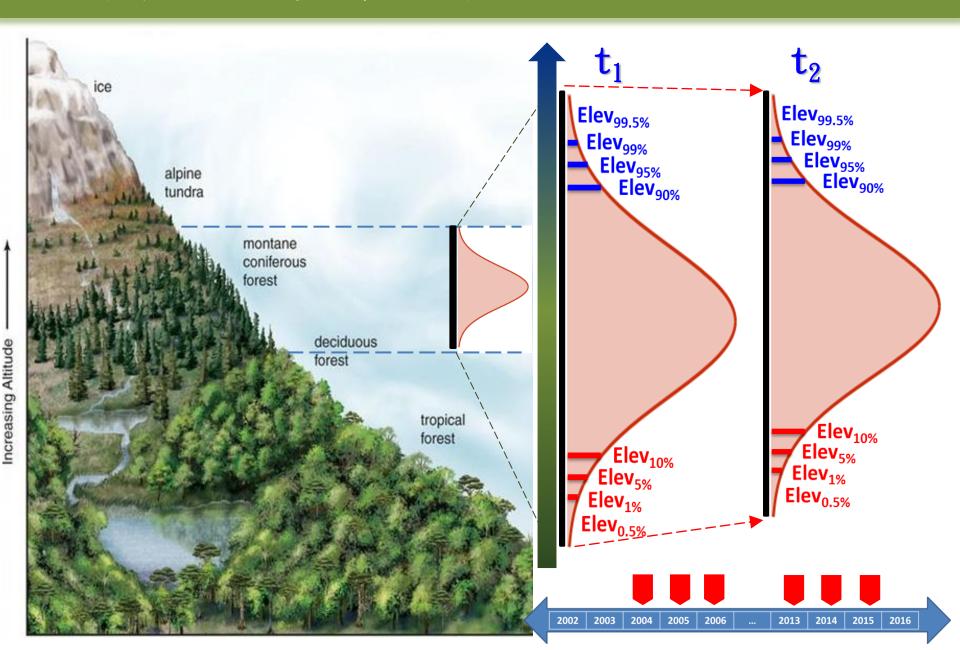
 2002
 2003
 2004
 2005
 2006
 ...
 2013
 2014
 2015
 2016

Guanshan, 2003





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

	7	2006 v	s. 2015		7	2005 v	s. 2014	!	2004 vs. 2013					
	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	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		

海拔上界 Elev_{99.5%} Elev_{99%} Elev_{95%} 海拔下界

海拔下降超過3公尺

海拔變化在3公尺以內

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

	7	2006 v	s. 2015		i	2005 v	s. 2014	ļ	2004 vs. 2013				
	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p	
Elev _{99.5%}	3570.81	3569.55	-1.25	0.80	3566.29	3560.08	-6.21	0.23	3543.16	3561.51	18.35	<0.001	
Elev _{99%}	3525.32	3525.71	0.39	0.94	3519.50	3514.62	-4.88	0.31	3487.88	3520.02	32.14	<0.001	
Elev _{95%}	3368.93	3366.80	-2.12	0.56	3356.13	3358.82	2.69	0.44	3336.76	3361.94	25.18	<0.001	
Elev _{90%}	3280.60	3278.16	-2.44	0.48	3266.68	3272.80	6.12	0.04	3252.08	3274.75	22.68	<0.001	
Elev _{10%}	1966.65	1995.88	29.22	<0.001	1950.28	1986.72	36.44	<0.001	1959.57	2007.88	48.30	<0.001	
Elev _{5%}	1845.88	1881.09	35.21	<0.001	1829.24	1869.14	39.90	<0.001	1837.39	1893.37	55.98	<0.001	
Elev _{1%}	1669.37	1696.79	27.42	<0.001	1671.80	1697.80	26.00	<0.001	1678.94	1711.11	32.16	<0.001	
Elev _{0.5%}	1630.70	1654.17	23.47	<0.001	1633.78	1654.92	21.14	<0.001	1641.34	1662.69	21.36	<0.001	

海拔上界 **Elev**_{99.5%} Elev_{99%} Elev_{95%} Elev_{10%} Elev_{5%} Elev_{1%} $\textbf{Elev}_{0.5\%}$ 海拔下界

海拔下降超過3公尺

海拔變化在3公尺以內

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。

	7	2006 v	s. 2015	;	7	2005 v	s. 2014		2004 vs. 2013					
	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	p		
Elev _{99.5%}	3508.59	3508.60	0.01	0.99	3506.52	3507.54	1.03	0.70	3500.72	3511.50	10.78	<0.001		
Elev _{99%}	3486.86	3485.91	-0.96	0.63	3485.25	3484.62	-0.63	0.76	3480.32	3488.42	8.11	<0.001		
Elev _{95%}	3416.21	3412.53	-3.68	0.008	3413.80	3410.01	-3.80	0.008	3410.46	3413.88	3.42	0.03		
Elev _{90%}	3367.43	3362.39	-5.04	<0.001	3364.81	3360.60	-4.21	0.001	3362.54	3365.98	3.44	0.02		
Elev _{10%}	2174.06	2162.32	-11.74	<0.001	2173.42	2164.36	-9.06	0.001	2185.72	2186.60	0.88	0.78		
Elev _{5%}	2070.56	2064.10	-6.46	0.02	2072.28	2066.56	-5.72	0.04	2081.20	2082.22	1.03	0.76		
Elev _{1%}	1918.36	1920.64	2.28	0.46	1919.95	1923.36	3.41	0.28	1927.44	1928.73	1.29	0.74		
Elev _{0.5%}	1878.17	1882.42	4.24	0.14	1879.84	1884.97	5.13	0.08	1885.71	1887.24	1.53	0.68		

海拔上界 Elev_{99.5%} Elev_{99%} Elev_{95%} Elev_{10%} Elev_{5%} Elev_{1%} $\textbf{Elev}_{0.5\%}$ 海拔下界

海拔下降超過3公尺

海拔變化在3公尺以內

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。

	7	2006 v	s. 2015		7	2005 v	s. 2014	!	2004 vs. 2013				
	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	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	

海拔上界 Elev_{99.5%} Elev_{99%} Elev_{95%} Elev_{10%} Elev_{5%} Elev_{1%} 海拔下界

海拔下降超過3公尺

海拔變化在3公尺以內

結果 - 南湖大山

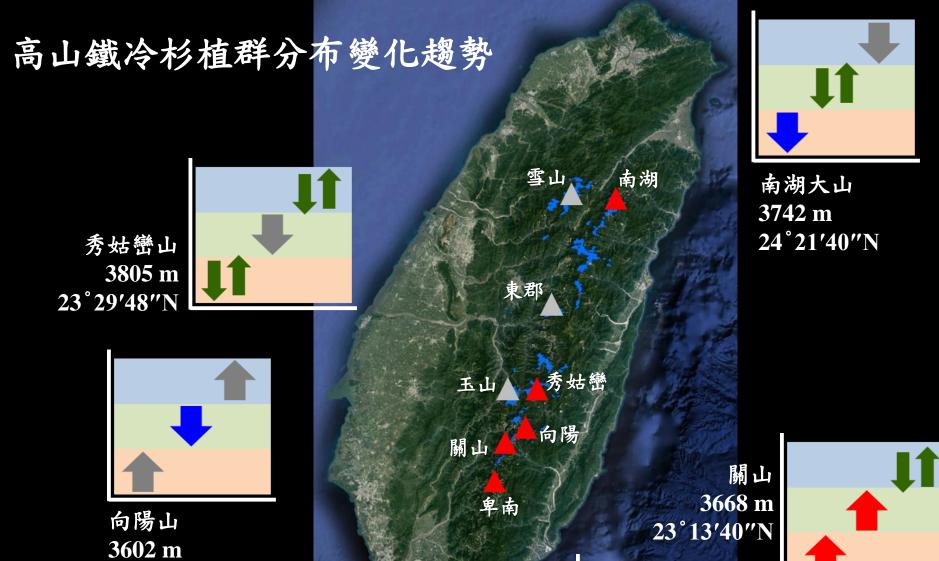
• 影像品質較差。海拔變化難歸納趨勢,上界可能略微下移。

	2	2006 v	s. 2015		2	2005 v	s. 2014	ļ
	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р	t ₁	t ₂	Diff ₂₁	р
Elev _{99.5%}	3525.92	3522.08	-3.83	0.11	3526.04	3517.43	-8.61	<0.001
Elev _{99%}	3503.87	3500.82	-3.06	0.14	3503.98	3494.95	-9.04	<0.001
Elev _{95%}	3432.48	3434.39	1.91	0.18	3432.38	3425.19	-7.19	<0.001
Elev _{90%}	3385.06	3389.61	4.54	<0.001	3384.81	3376.05	-8.76	<0.001
Elev _{10%}	2584.86	2602.19	17.33	<0.001	2584.75	2579.53	-5.22	0.01
Elev _{5%}	2518.39	2539.60	21.21	<0.001	2518.24	2521.44	3.20	0.29
Elev _{1%}	2384.04	2388.34	4.30	0.67	2383.82	2384.91	1.09	0.91
Elev _{0.5%}	2319.09	2297.82	-21.27	0.22	2318.89	2310.79	-8.10	0.60

■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



上界 核心區 下界

23°17′3.48″N

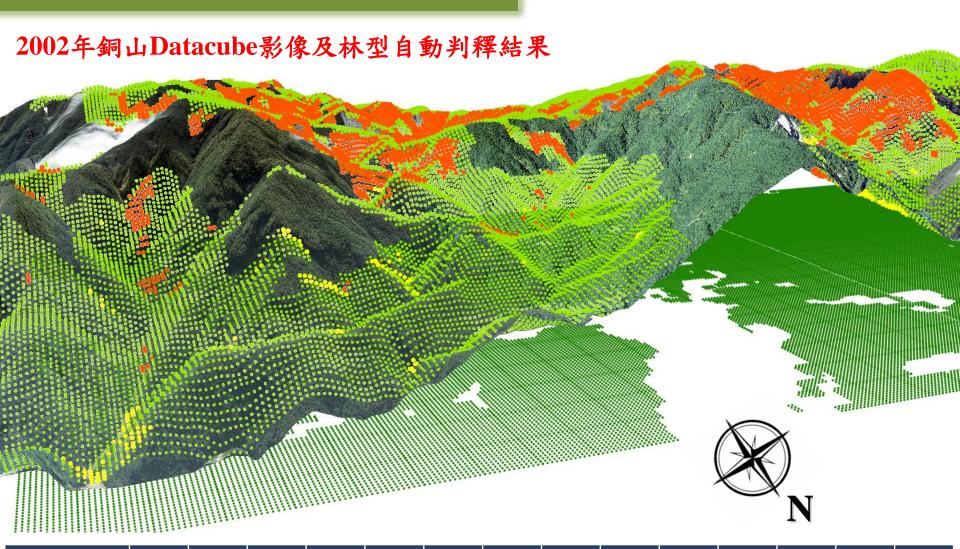
卑南主山 3293 m 23°03′04″N

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。



雲霧林帶航遙測分析的困擾



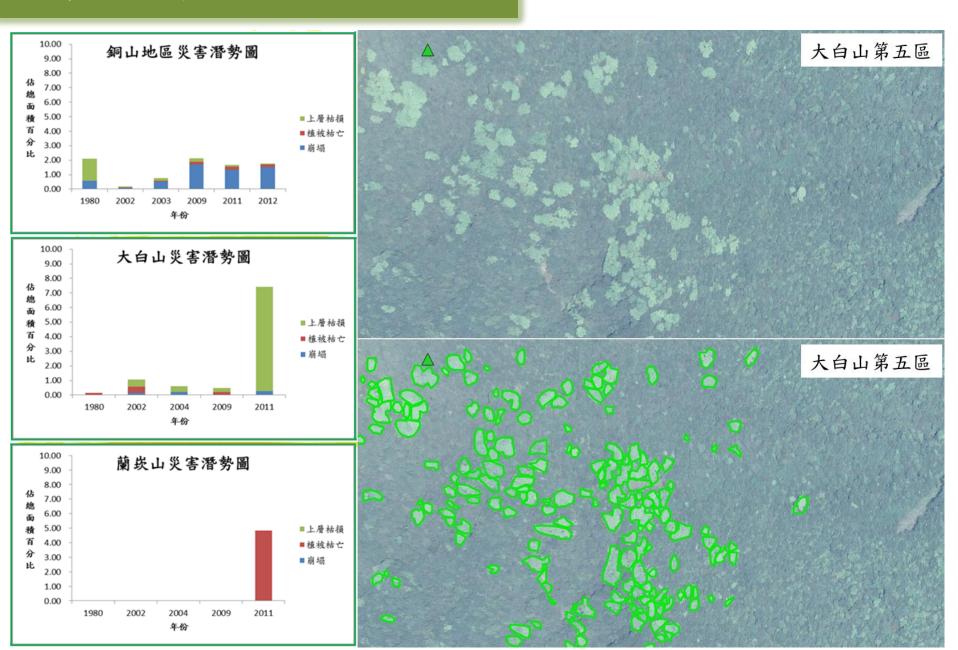
年度	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
影像覆蓋率	85%	63%	57%	60%	48%	44%	53%	87%	87%	64%	50%	39%	73%	92%

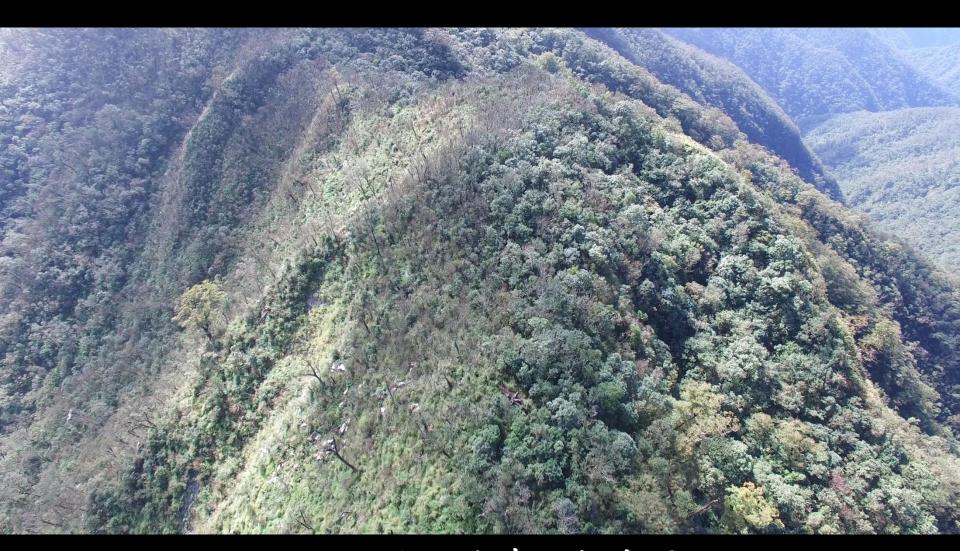


Buna: polygons of red lines Estimated no. of buna trees: 1,915

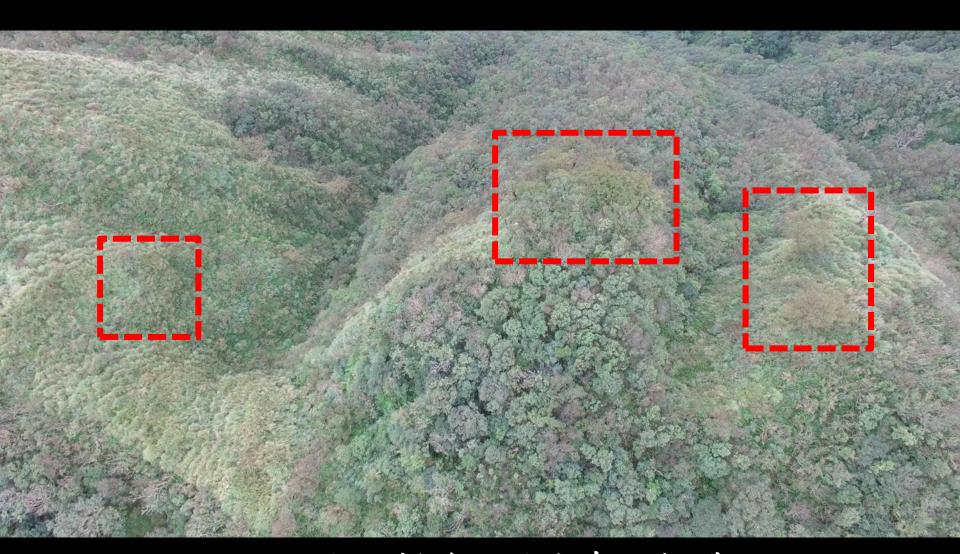


水青岡族群的年間比較





大白山水青岡枯木區



大白山新發現的水青岡個體

Thanks for listening







