

# 都市林風倒木風險評估- 以2019年利奇馬颱風環流對 大安森林公園茄苳樹動態受力調查為例

陳鴻楷<sup>1</sup> 林博雄<sup>2</sup> 陳奕良<sup>2</sup>

臺灣大學氣候變遷與永續發展國際學位學程(IPCS)博士班<sup>1</sup>  
臺灣大學大氣科學系<sup>2</sup>

日期：2020/10/14

# 大綱

- 一. 前言
- 二. 研究方法
- 三. 研究結果
- 四. 結論
- 五. 參考文獻



# 一、前言

- ▶ 2020年元月份到六月底全台灣發生公園、行道樹倒塌，造成行人受傷達79件，其中還包含三件因樹木倒伏造成當場死亡事件，樹木健康診斷因子之中以外力風速搖晃的衝擊最大。
- ▶ 以往樹木力學研究均常以樹木幾何外型 and 靜態拉力為假設進行模擬計算。
- ▶ 維持樹木零風險幾乎是辦不到的，但如何透過「樹木健康及結構因子診斷的風險評估」，將其獲取效益與風險之間，努力達到兩者的平衡？了解樹木如何承受風負載將會是很重要的因子。

# 一、前言

## ▶ 造成都市林風倒木的因子

- 1) 樹木生理特性(抗風性、病蟲害、腐朽菌)
- 2) 樹體健康度及結構穩定性(空洞、腐朽、盤根)
- 3) 樹冠形狀及尖削度
- 4) 土壤質地及排水
- 5) 根系的型態及分布
- 6) 老化
- 7) 施工維護管理不當

### 8) 氣象因素：

氣象因素是斷裂或倒伏最重要的外在因子之一。氣象因素包括：颱風（颶風）、季節風—風害、下雨、落雷、雪害...等。

以下就氣象因素之「風力因子」在大安森林公園以利奇馬颱風為例進行觀察。

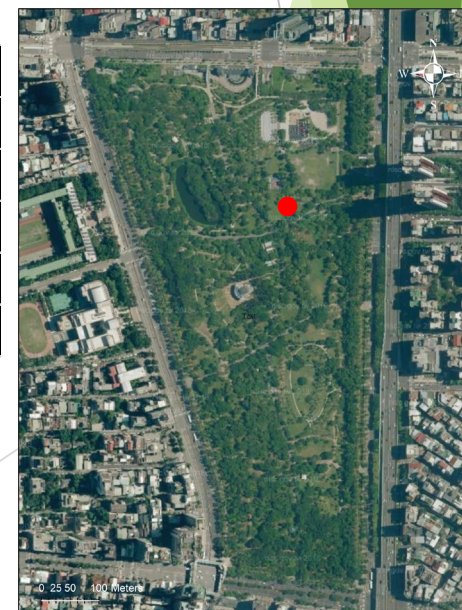
## 二、研究方法

- ▶ 本研究標的選定台北大安森林公園的茄苳樹作為實驗標的，在颱風來襲期間裝設感應器，樹葉樹枝及樹幹擺動位移的幅度，進行「樹木與風」的關係之試驗，監測的結果作為觀察後續研究數據的目的。
- ▶ 研究目標：了解颱風來臨時樹枝擺動的方式及可能造成斷裂或倒伏的臨界值
- ▶ 研究標的：大安森林公園中 茄苳樹 (鄰近籃球場開闊草皮獨立樹)



樹種	茄苳
枝下高	1.55
幹徑(cm)	44.6
樹高(m)	8.71
樹冠幅-N(m)	11.72
樹冠幅-E(m)	11.95

座標	
X	304107.4171
Y	2769350.1670
Z	8.0107



## 二、研究方法

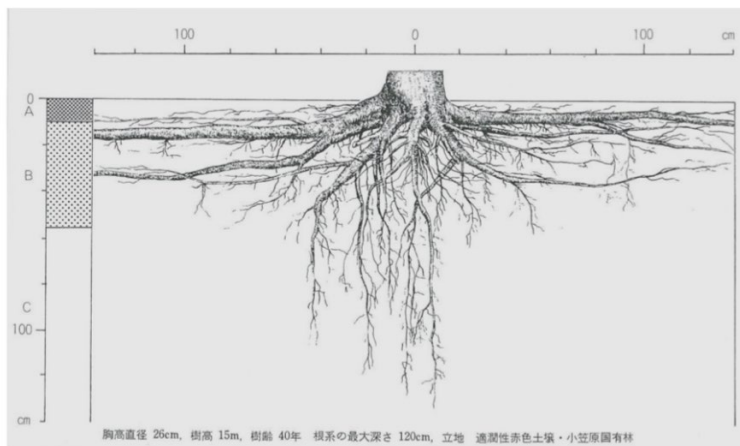
### ► 研究標的：

茄苳 (*Bischofia jabanica* Blume.)

大戟科 重陽木屬

### ► 茄苳樹木特性與根系特徵

生活型態：常綠，闊葉，喬木		植栽地區：亞熱帶地區	移植難易度：中
適合土壤	土性：壤土—埴壤土	鹽類濃度：中	乾濕：弱濕性～適當濕潤性
	通氣：中	pH：中	緊密度：中
根系形態	中・大徑的水平根型		
	垂直分佈：淺根型	細根多少：疏生型	分歧：疏放型
	水平分佈：中間型	細根粗細：纖細型	根毛量：不明型
斷根時的發根性：良好		根系支撐力：中	日光條件：陰性



根端直徑 0.2~0.3 mm，長度 3~5 mm 較短小，表皮呈淡褐色因菌根凹凸較多、粗糙。細根分歧疏放，土壤保持能力小。分佈狀況偏於表層。小・中徑根的分歧稀疏。樹齡小的幼木主根很明顯，但大樹水平根較明顯。根系的土壤緊搏力中等、材質軟。淺根性且伸展性一般。適當濕潤且肥沃的土壤環境生長得好。沿沼澤地生長得好，可看到細根在沼澤的水中呈房狀生長。

## 二、研究方法

### 1. 樹木結構測量-光達樹木掃描 (TREE LIDAR : light detection and ranging)



**LIDAR Type :**  
**FARO Focus 3D S120 Laser Scanner**

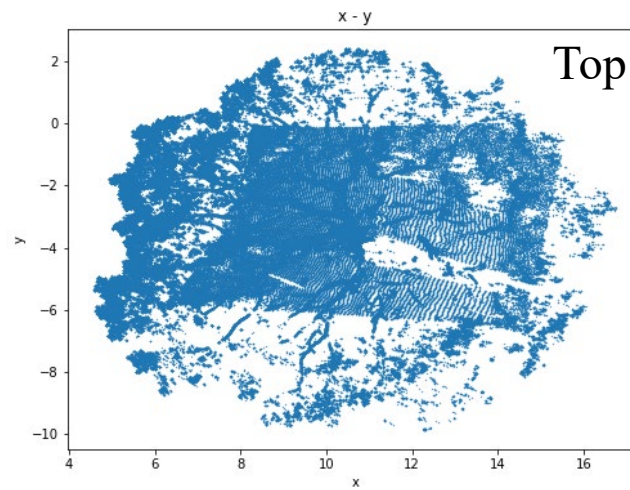
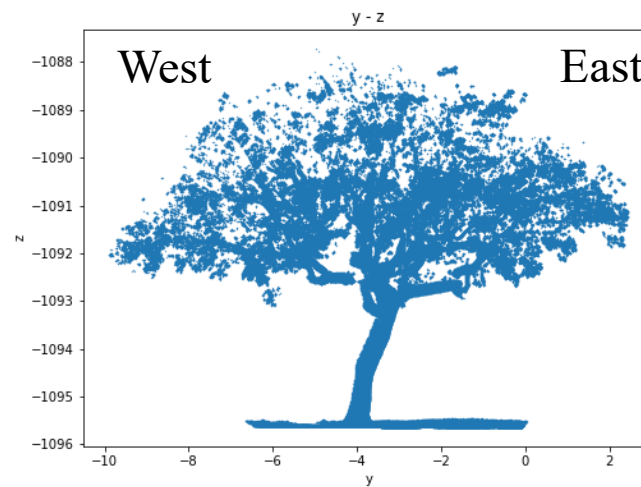
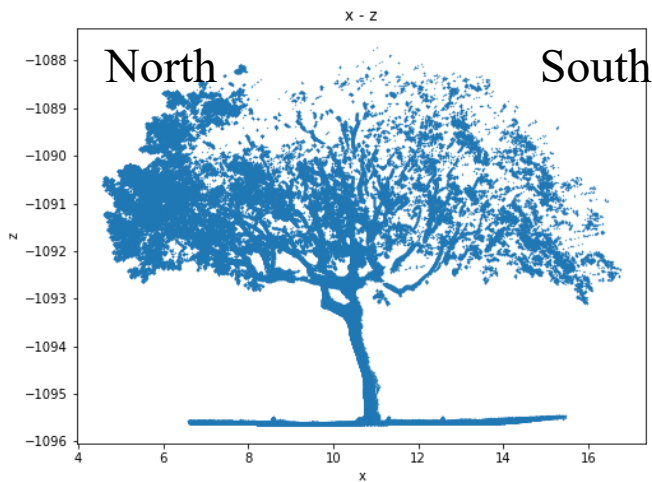
- 距離經度(Distance accuracy)  $\pm 2\text{mm}$
- 範圍(Range) 從 0.6m 至 120m
- 測量速率(Measurement rate) 最大976,000 點/每秒



檢測標的：茄苳  
檢測日期：2020年7月1日  
天氣：晴

## 二、研究方法

### 1. 樹木測量-光達樹木掃描 (TREE LIDAR : light detection and ranging)





## 二、研究方法

### 2. 風負載下樹枝及樹幹的位移量測 (Typhoon LEKIMA -Branch swing test)

#### HOBO sensor



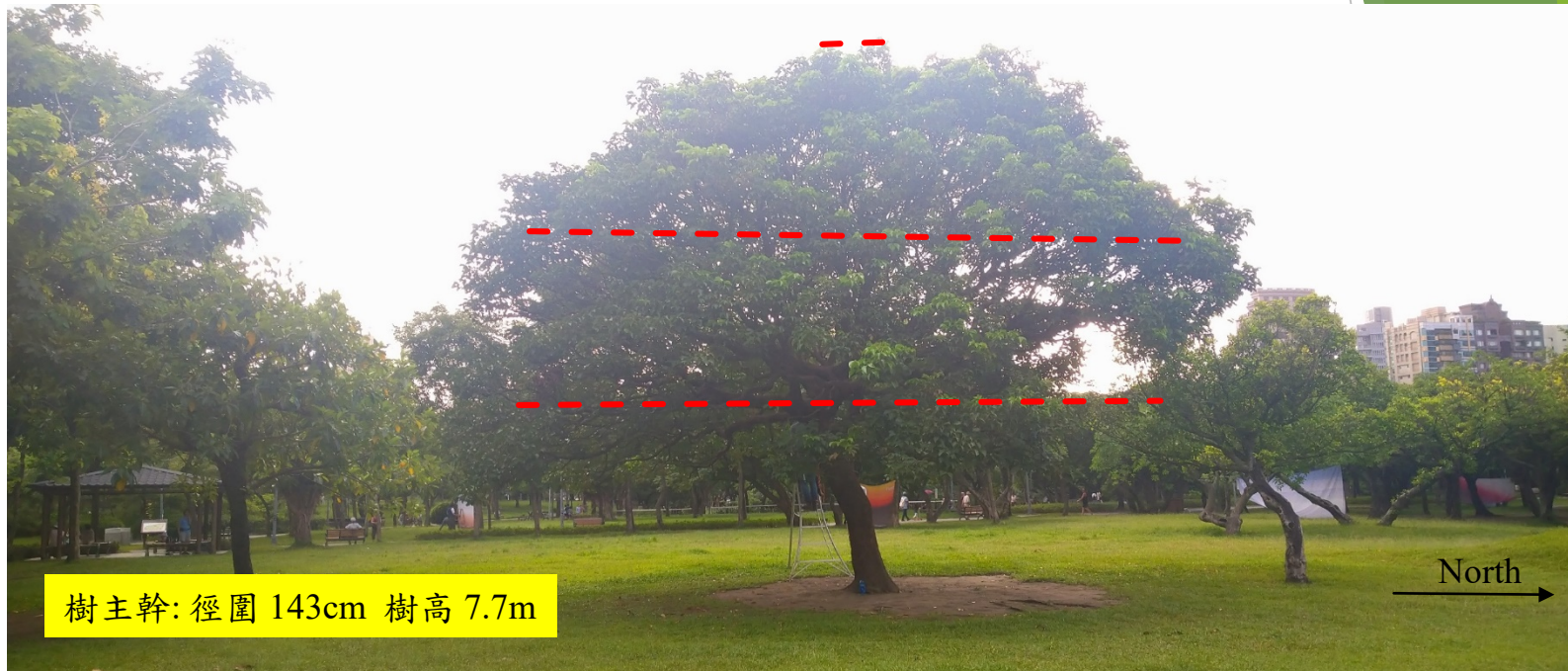
- Measure **3-dimensional motion**, such as sports activity or medical therapy compliance with the HOBO® Pendant G data logger. With this logger, users can **measure acceleration and angular displacement in 1, 2 or 3 axes**.
- Measurements: Acceleration and Tilt

- ▶ 在颱風來臨前裝上**28組**HOBO sensors。
- ▶ 掛上sensor後，**前六小時**，設定為**每秒一筆**資料，六小時後，轉為每分鐘收集一筆資料，持續60小時。
- ▶ 收集樹葉及樹枝在強風吹襲下，其擺動的幅度及受力的程度及流體力學的動態，以便了解在強風吹襲下樹枝樹葉的受力情況。



監測時間：(利奇馬颱風)  
2019年8月8日至2019年8月9日

## 2. 風負載下樹枝及樹幹的位移量測-利奇馬颱風枝條擺動實驗 (Typhoon LEKIMA -Branch swing test)



低層外圈 Low Level	東 (離地290cm, 距主幹530cm 枝條直徑2cm)
	南 (離地 302cm, 距主幹560cm 枝條直徑1cm)
	西 (離地322cm, 距主幹500cm 枝條直徑2.5cm)
	北 (離地 413cm, 距主幹410cm 枝條直徑2cm)
中層外圈 Middle Level	東 (離地525cm, 距主幹503cm 枝條直徑1.5cm)
	南 (離地 478cm, 距主幹550cm 枝條直徑1.5cm)
	西 (離地453cm, 距主幹440cm 枝條直徑1.5cm)
	北 (離地 608cm, 距主幹370cm 枝條直徑1.2cm)
頂層 Canopy Top	頂 (離地762cm, 距主幹5cm 枝條直徑3cm)

監測時間：2019年8月8日至2019年8月9日(利奇馬颱風)

## 2. 風負載下樹枝及樹幹的位移量測-利奇馬颱風枝條擺動實驗 (Typhoon LEKIMA -Branch swing test)

ATI trisonica音波風速風向計

08Z,8/8 ~17Z, 8/9  
1-sec time resolution  
TriSonica Mini Weather Station

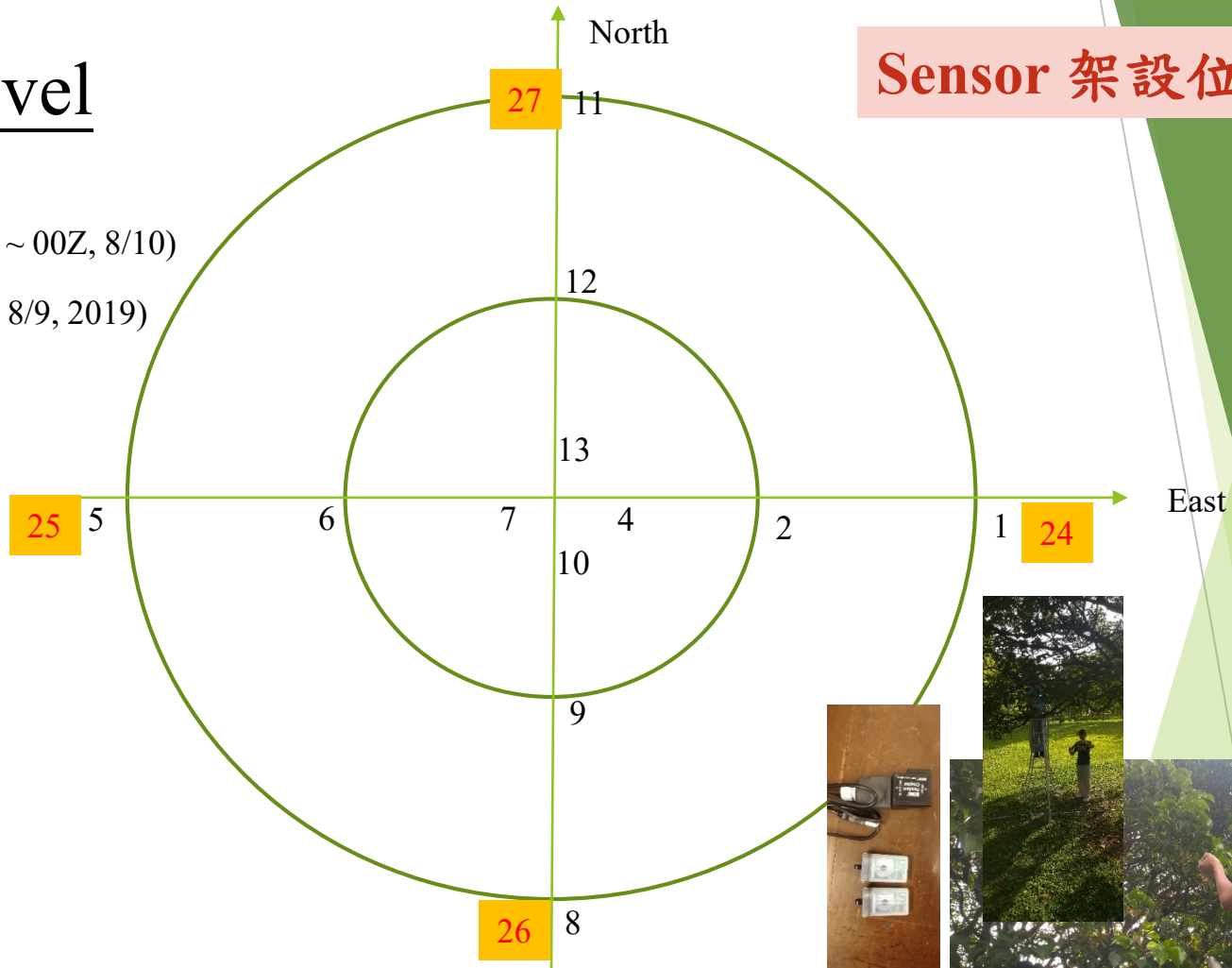


## 2. 風負載下樹枝及樹幹的位移量測-利奇馬颱風枝條擺動實驗 (Typhoon LEKIMA -Branch swing test)

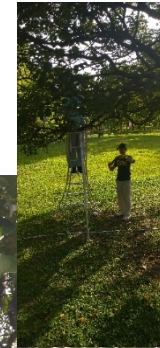
### Low Level

xx 10-sec (18Z, 8/8 ~ 00Z, 8/10)

xx 1-sec (00Z-06Z, 8/9, 2019)



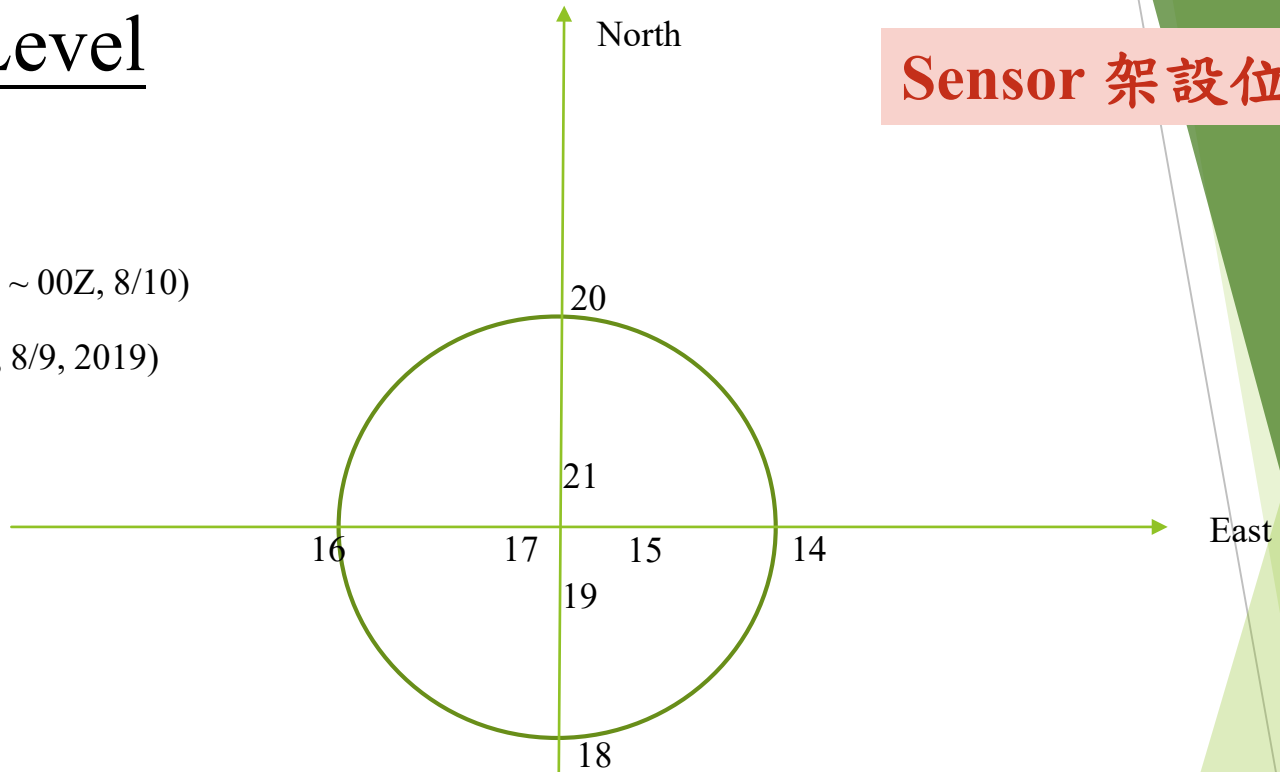
Sensor 架設位置



# Middle Level

## Sensor 架設位置

- xx 10-sec (18Z, 8/8 ~ 00Z, 8/10)
- xx 1-sec (00Z-06Z, 8/9, 2019)

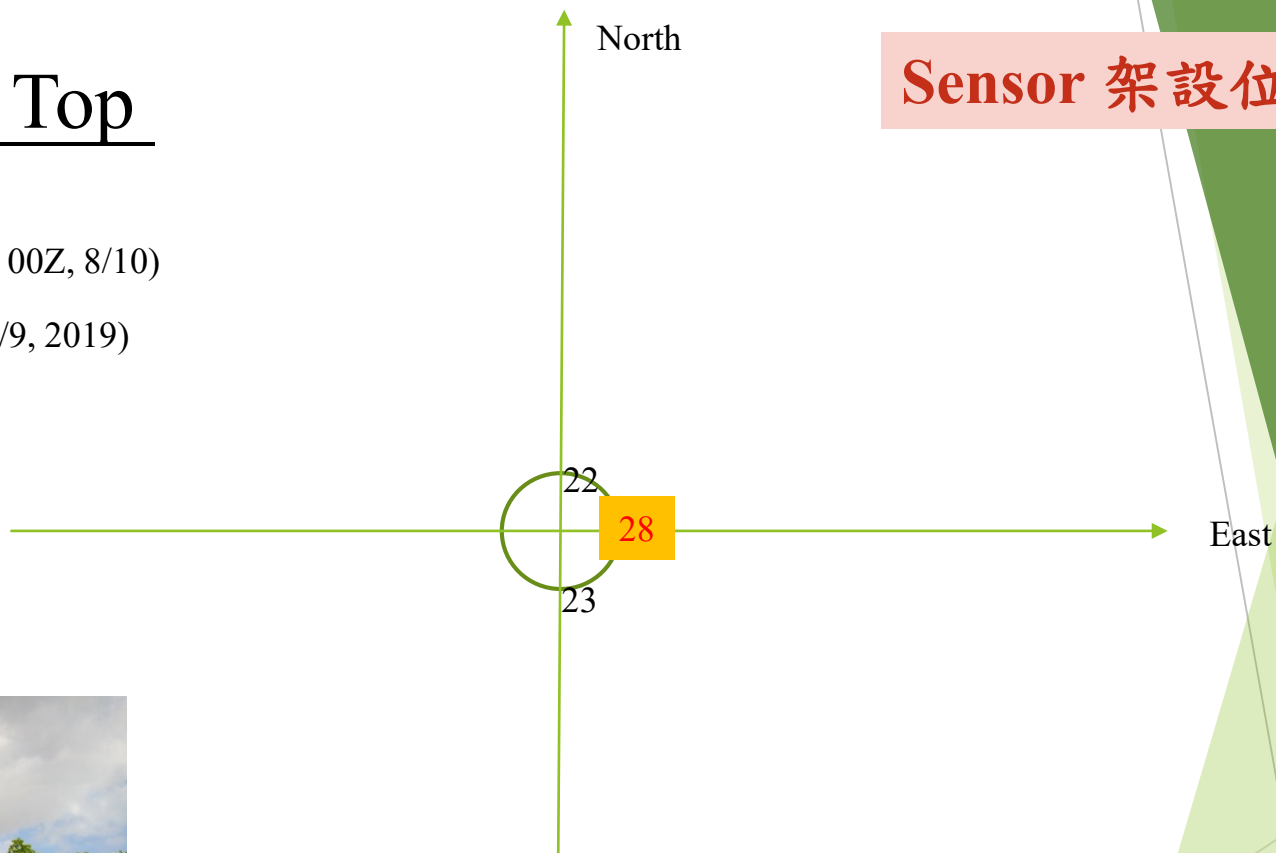


# Canopy Top

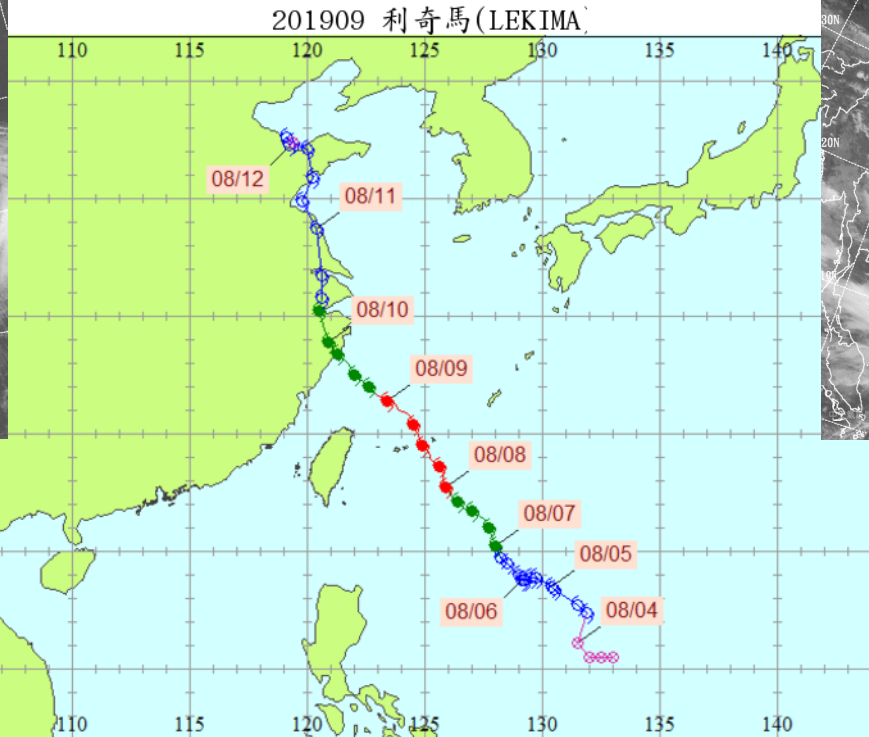
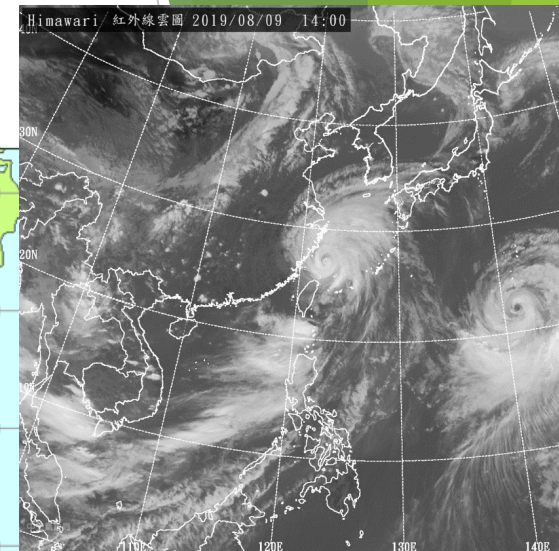
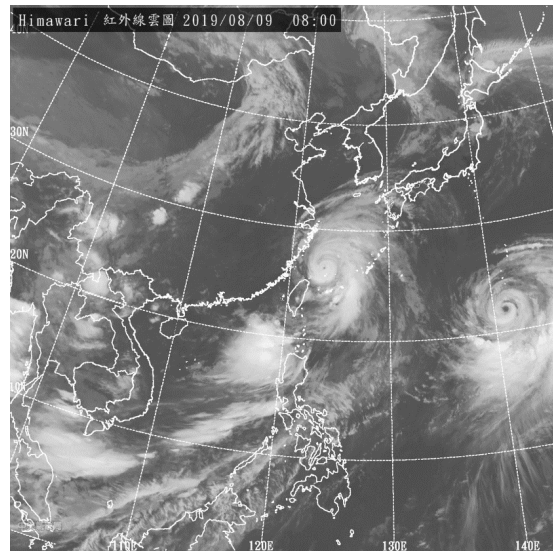
xx 10-sec (18Z, 8/8 ~ 00Z, 8/10)

xx 1-sec (00Z-06Z, 8/9, 2019)

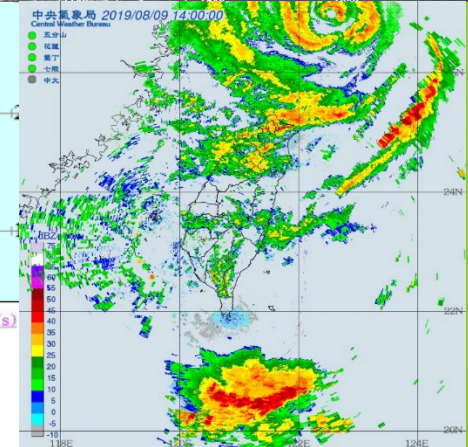
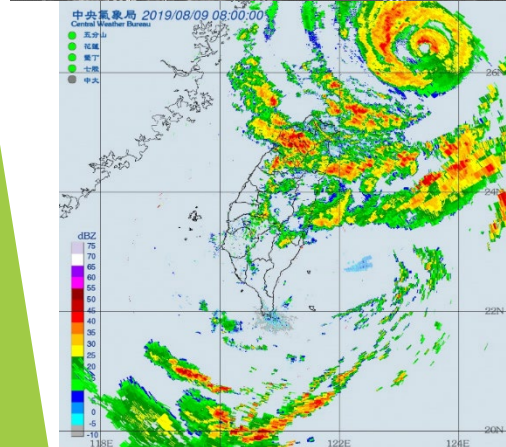
Sensor 架設位置



# 利奇馬颱風位置



🌀 強烈颱風( $V_{max} \geq 51.0 \text{ m/s}$ ) 
 🌀 中度颱風( $V_{max} 32.7 \sim 50.9 \text{ m/s}$ ) 
 🌀 輕度颱風( $V_{max} 17.2 \sim 32.6 \text{ m/s}$ ) 
 🌀 熱帶性低氣壓( $V_{max} < 17.2 \text{ m/s}$ )



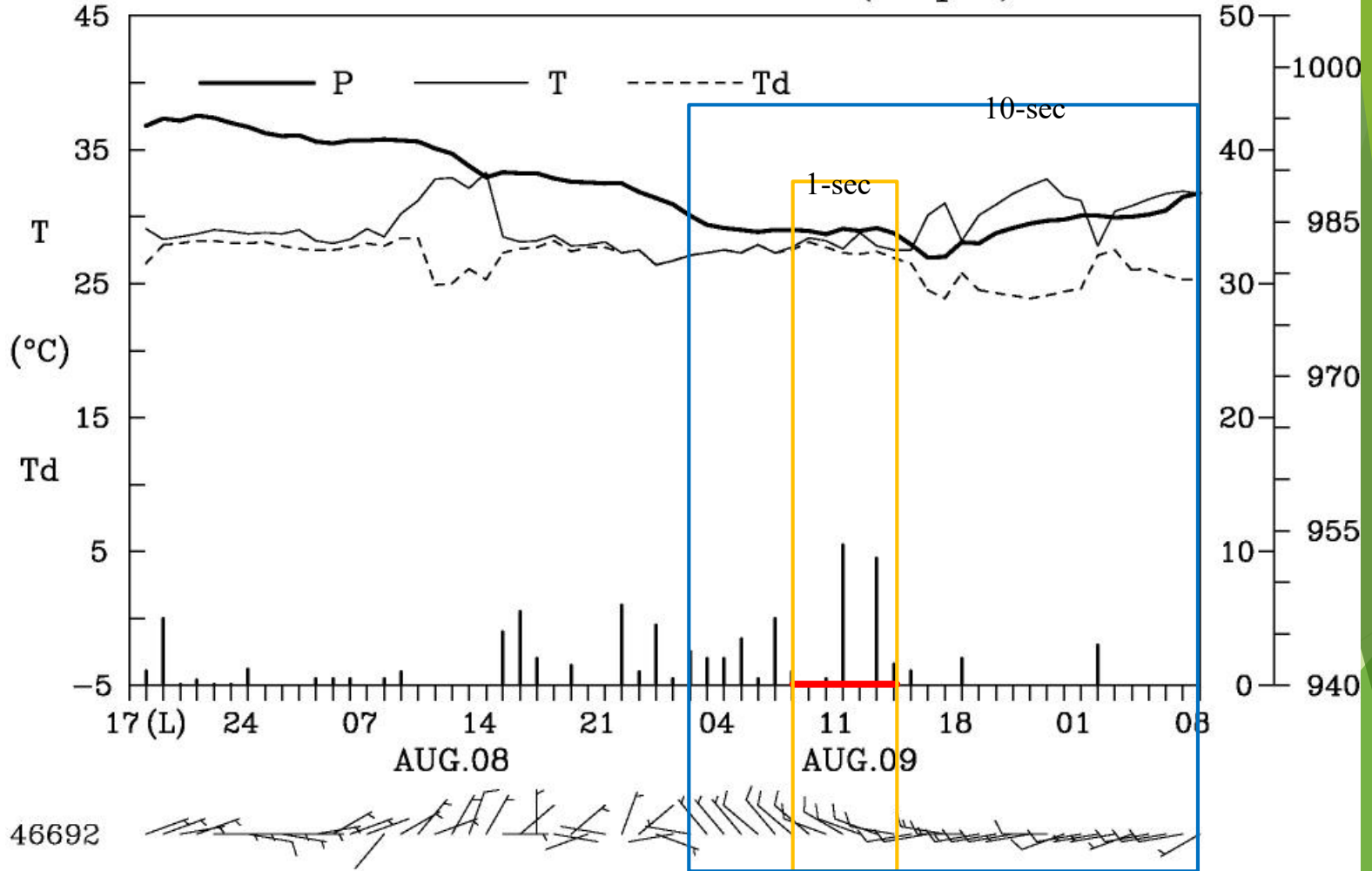
2019/8/9 8:00

2019/8/9 14:00

No.201909 LEKIMA

46692(Taipei)

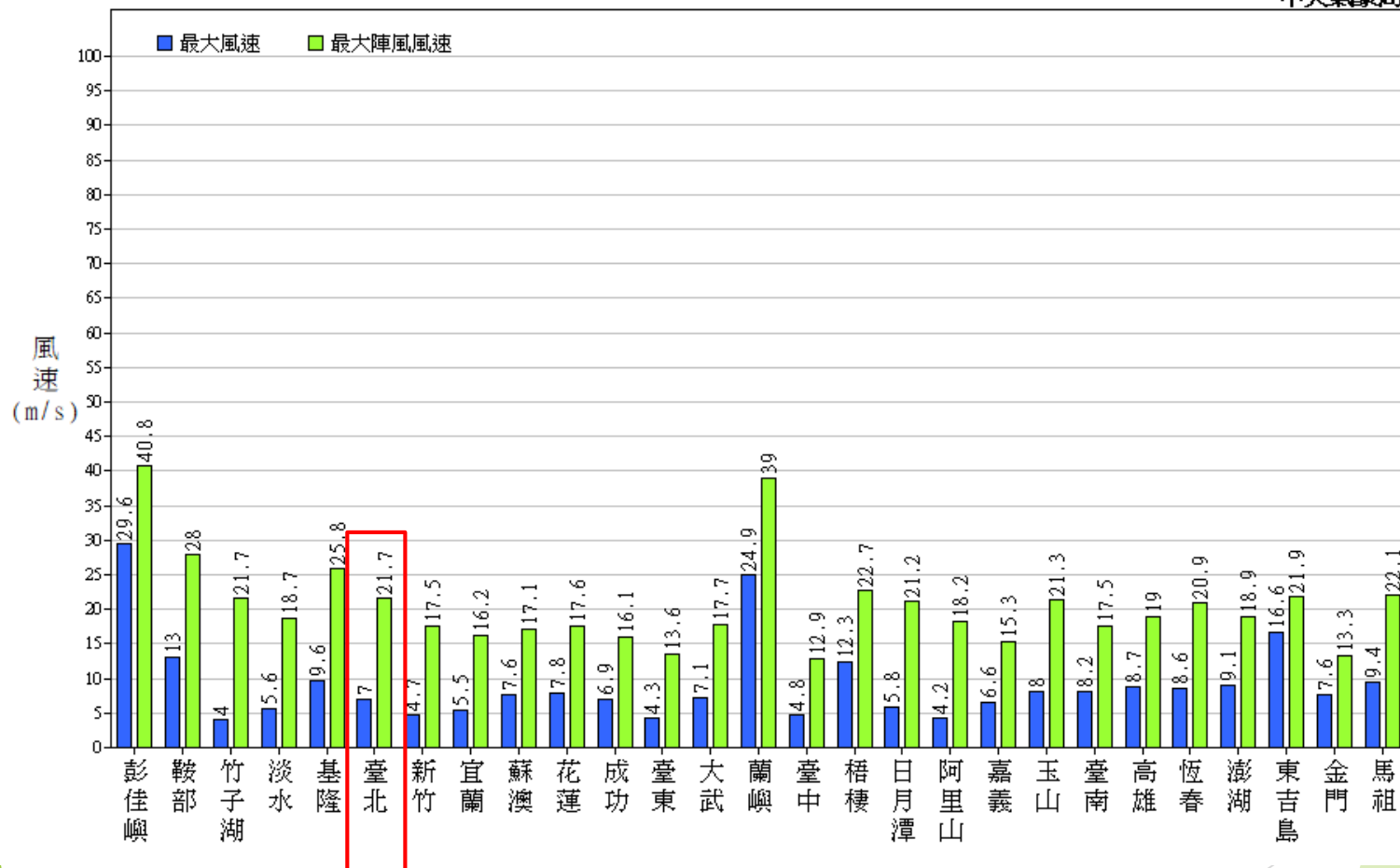
R P  
(mm) (hPa)





2019 08/07 17:30 到 08/10 08:30 LEKIMA 颱風發警報期間各測站最大風速及最大陣風分布圖

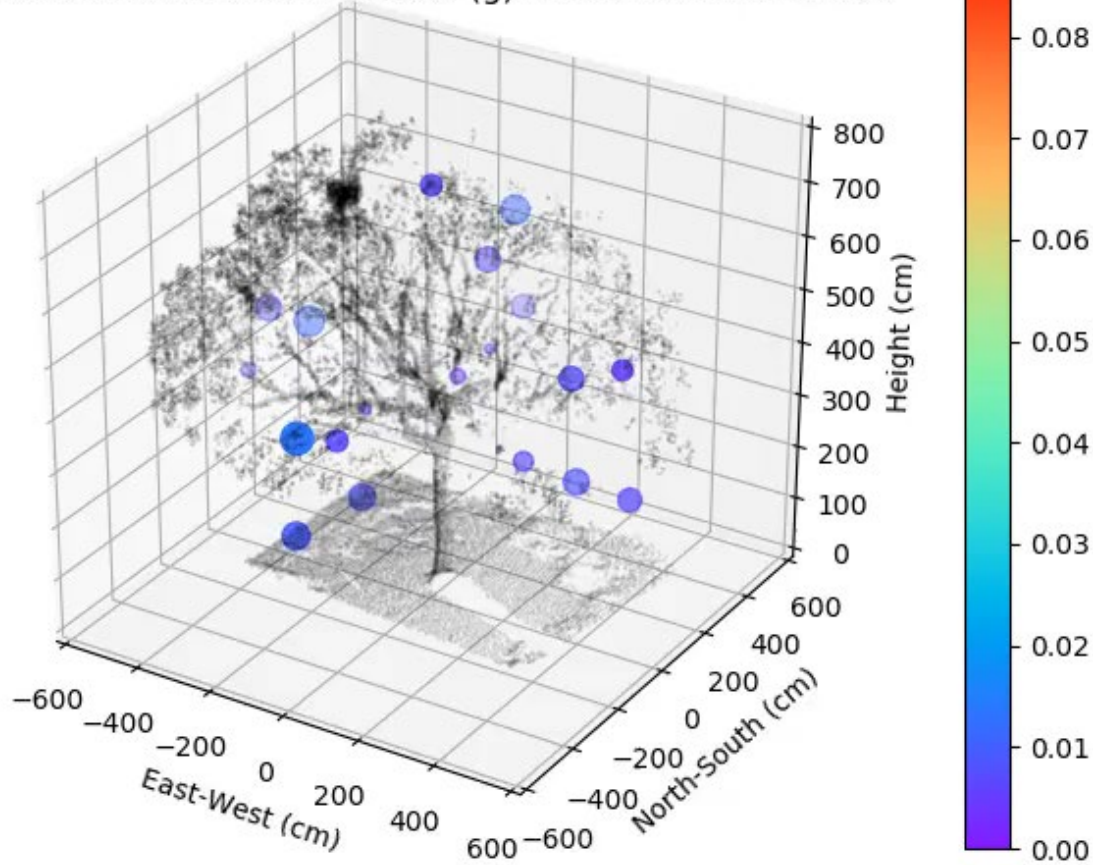
中央氣象局



# 大安森林公園茄苳樹-利奇馬颱風枝條擺動實驗 (Typhoon LEKIMA -Branch swing test)

## 初步成果

acceleration standard deviation (g) : 2019-08-09 08:00:00



## 三、研究結果

- ▶ 結果發現陣風和亂流、樹枝和樹葉以不同的頻率和強度產生荷重，導致複雜的動力學(dynamic)反應，風以不協調的方式，從不同的方向造成枝條的擺動，這種枝條間的晃動得以消散風能並減緩大枝條的晃動，該過程稱為量體減振(mass damping)，可降低樹幹負重和震盪的減少，具有不同直徑和長度的枝條，在不同的負重下用不同的速度晃動增加減振。

此次實驗觀察到以下結果：

- 1) 樹緣外側以及頂部的擺動幅度是內側的**1.03 倍**
- 2) 迎風面受力是背風面的**2倍**。
- 3) 樹梢頂部並非**非**受力最大之處。

## 四、結論

都市林樹木風險評估目的是為了防止樹木因結構上的安全事故發生，可以早期發現樹勢活力不佳、結構安全有疑慮、有斷枝倒伏的風險，避免此類的問題發生，以往樹木力學研究均常以樹木幾何外型 and 靜態拉力為假設進行模擬計算。

本次研究以利奇馬颶風為外力，並將大安森林公園北側一株茄苳樹進行動態受力試驗，藉以了解樹冠內枝條擺動受風力相互的影響、受力的大小，唯觀測的次數及數據尚需重複驗證，以深入了解樹葉、樹枝、樹幹彼此間的影響及阻尼的效果如何降低風能，待蒐集更多的實驗數據，再加以驗證。

未來希望更深入研究 1)枝條大小分布、樹枝密度、風負載下彎曲度 2)強風下對根系影響 3)根領區最大受力

Thank You

## 五、参考文献

1. 小泉章夫(2017)。街路樹の力学。環境ストレスと樹林地管理。21(4)，217-221。
2. 菊住昇(2010)。最新樹木根系図説。日本：誠文堂新光社。
3. 茅島信行、佐々木重行、榑崎康二(2013)。スキューにおける引き倒し試験および力学モデルを用いた風害に強い樹形の解明。福岡県森林林業技術センター研究報告，14，17-45。
4. 財團法人氣象應用推廣基金會，颱風和台灣地形。檢自 <http://www.metapp.org.tw/index.php/weatherknowledge/37-typhoon/81-2009-01-22-07-19-46> (Jul.27.2020)
5. 深見悠矢、北原曜、小野裕、藤堂千景、山瀬敬太郎(2011)。土壤水分等の条件が異なる場合の立木引き倒し試験。日林誌，93(1)，8-13。
6. 陶山正憲(1993)。台風による樹木の風倒・折損機構。37(1)，25-53。
7. 飯塚康雄，松江正彦，長濱庸介(2011)。沖縄における都市緑化樹木の台風被害対策の手引き。国土技術政策総合研究所資料，621號。
8. 藤田歩(2013)。緑化木樹種の樹形による耐風性の評価。

## 五、參考文獻

9. Chiraz, M. (2013). Growth of Young Olive Trees: Water Requirements in Relation to Canopy and Root Development. *American Journal of Plant Sciences*, 04(07), pp.1316-1344.
10. Duryea M, Kampf E (2007) Wind and trees: lessons learned from hurricanes. University of Florida, Gainesville, FL
11. England, A.H., Baker, C.J. and Saunderson, S.E.T. (2000). A dynamic analysis of windthrow of trees. *Forestry*, 73(3), 225-237.
12. Gilman, E. (2007). Restoring trees after a hurricane. 1st ed. [Gainesville, Fla.]: University of Florida, IFAS Extension, p.Chapter 4.
13. Gilman, E.F., Grabosky, J.C., Jones, S., and Harchick, C. (2008). Effects of Pruning Dose and Type on Trunk Movement in Tropical Storm Winds. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(1), 13-19.
14. Gilman, E.F., Masters, F. and Grabosky, J.C. (2008). Pruning Affects Tree Movement in Hurricane Force Wind. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(1), 20-28.
15. Gross, G. (2018). A windthrow model for urban trees with application to storm “Xavier”. *Meteorologische Zeitschrift*, 27(4), pp.299-308.

## 五、參考文獻

16. Kampf, M. (2018). FOR118/FR173: Wind and Trees: Lessons Learned from Hurricanes. [online] Edis.ifas.ufl.edu. Available at: <http://edis.ifas.ufl.edu/fr173> [Accessed 28 Mar. 2018].
17. Kang, N. and Elsner, J. (2016). Climate Mechanism for Stronger Typhoons in a Warmer World\*. *Journal of Climate*, 29(3), pp.1051-1057.
18. Kazuhisa Tsuboki, Mayumi K Yoshioka, Taro Shinoda, Masaya Kato, Sachie Kanada, & Akio Kitoh (2014). Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change: Increase of super-typhoon intensity. *Geophysical Research Letters*. 42. 10.1002/2014GL061793.
19. Kenneth Ronald James (2010). A Dynamic Structural Analysis of Trees Subject to Wind Loading
20. Knudson, M. and Knudson, M. (2018). Why Do Trees Topple in a Storm?. [online] Scientific American Blog Network. Available at: <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/why-do-trees-topple-in-a-storm/> [Accessed 8 Mar. 2018].
21. Manual of Countermeasures Against Typhoon Damage on Urban Planting Trees in Okinawa. (2011). 1st ed. Okinawa: National Institute for Land and Infrastructure Management, pp.1-350.



## 五、參考文獻

22. Mattheck, C. and Breloer, H. (1994). *The body language of trees*. HMSO, Dept of Environment.
23. Mattheck, C., Bethge, K., Kappel, R., Mueller, P. and Tesari, I. (2003). *Failure modes for trees and related criteria.*, International Conference "Wind Effects on Trees", University of Karlsruhe, Germany.
24. Milne, R. (1991). Dynamics of swaying of *Picea sitchensis*. *Tree-Physiology*, 9(3), 383-399.
25. Moore, G. (2019). Windthrow of Trees: Storms or Management. International Society of Arboriculture, pp.1-25.
26. National Institute for Land and Infrastructure Management(2011) Manual of Countermeasures Against Typhoon Damage on Urban Planting Trees in Okinawa. 1st ed. Okinawa. pp.1-350
27. Sarikas, C. and Urquhart, G. (2012). Survival of *Dipteryx oleifera* (Fabaceae) trees after Hurricane Ida in Nicaragua. *Journal of Tropical Ecology*, 28(03), pp.327-329.
28. Ueda, M. and Shibata, E. (2004). Why do trees decline or dieback after a strong wind? Water status of Hinoki cypress standing after a typhoon. *Tree Physiology*, 24(6), pp.701-706.
29. Virost, E., Ponomarenko, A., Dehandschoewercker, É., Quéré, D. and Clanet, C. (2016). Critical wind speed at which trees break. *Physical Review E*, 93(2).