

# 大氣-地表邊界層二氧化碳系統 渦流協方差通量觀測

資料參考：Dr. 楊, Campbell.

# 序 言

大綱：海域、陸域生態系及城市系統中存在許多碳交換通量  
渦流協方差 (Eddy covariance) 碳通量觀測技術為近年較為受注  
目的觀測方式。

鑑此，CAMPBELL 所提供的 IRGASON - CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O Open-Path  
Gas Analyzer 與 3-D Sonic Anemometer 具有整合大氣渦流協方差所需的  
功能。介紹 EC 法的理論、架設基礎知識、資料擷取與資料品質管理。

I. 認識渦度協方差

II. 渦流協方差系統中的主要感測器和模組

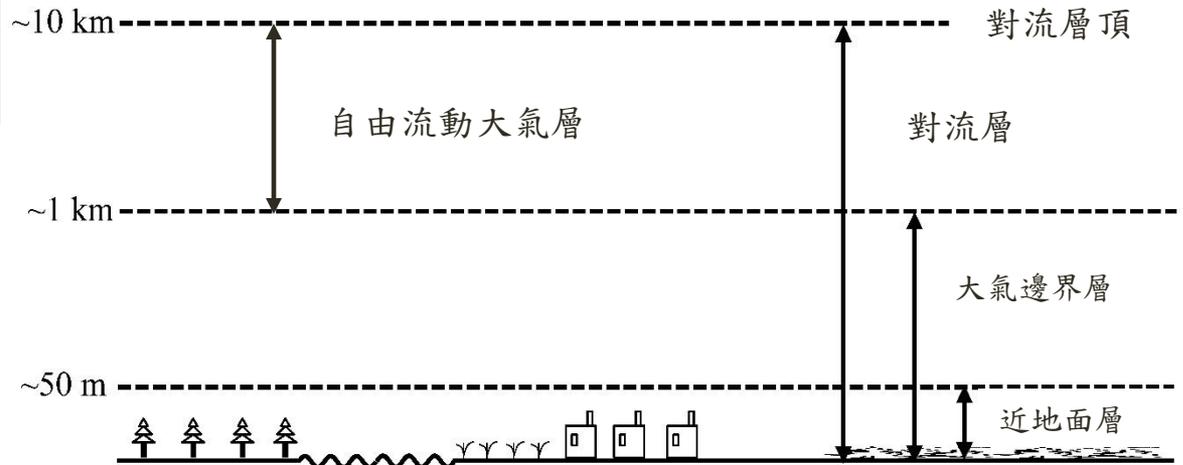
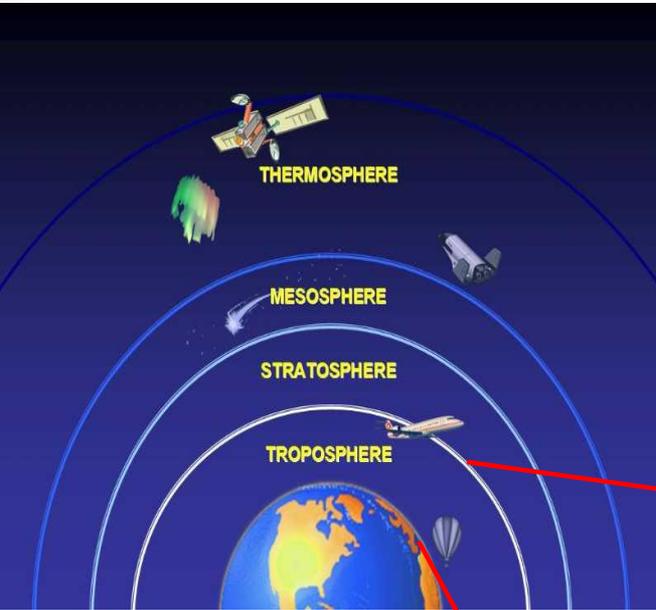
III. 場地位置、塔座和儀器設置的考慮因素

# 一、認識渦度協方差

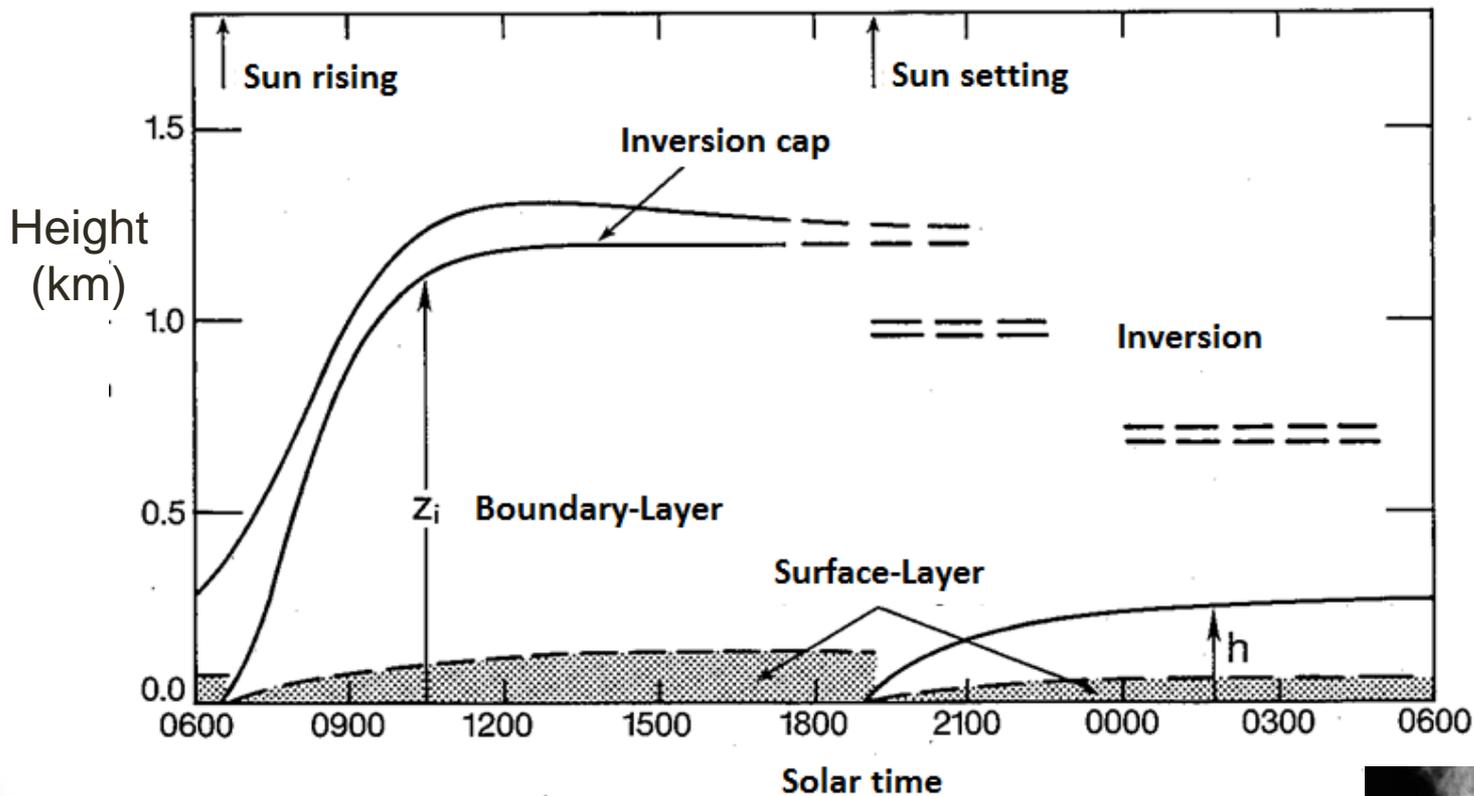
# 渦度協方差法的本質

- 基於大氣過程和運動中的質量守恆原理（連續性方程式）
- 利用高精度和高頻儀器（聲波風速計、紅外線氣體分析儀或其他類型）  
測量大氣邊界層的湍流特性
- 取得生態系和大氣界面處的質量（二氧化碳、水蒸氣和其他溫室氣體）  
和能量（顯熱和潛熱）交換

# 大氣分層



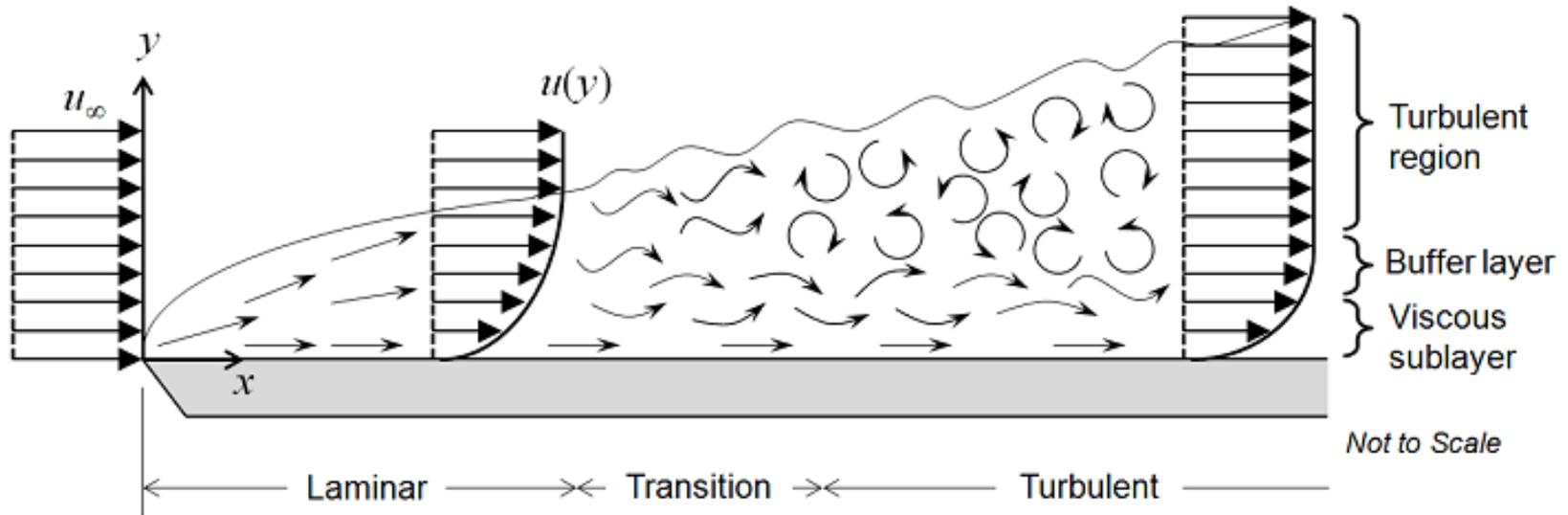
# 大氣邊界層日循環



Kaimal & Finnigan (1994)

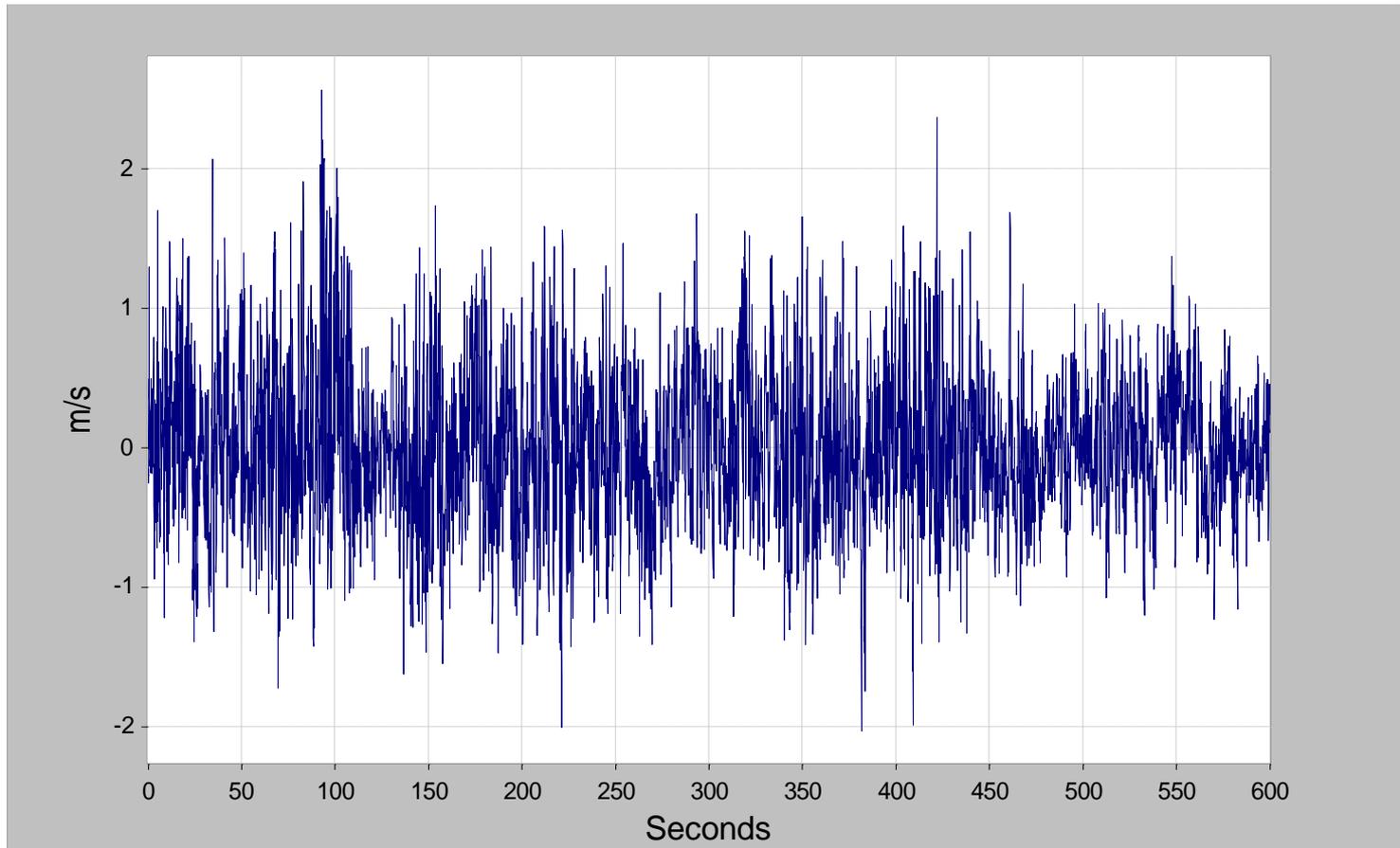


# 什麼是湍流(亂流)?



地形、時間、空間交互影響下產物

# 什麼是湍流(亂流)?



每秒風的變化示意圖

# 什麼是大氣湍流？

- 不規則、隨機和混亂的空氣運動
- 高頻率的變化快—尺寸小（從公分到幾公尺）、時間尺度短（小至十分之一秒）
- 蘊含大量能量，急速充滿暴力的
- 主要存在於大氣邊界層，對於混合和傳遞動量、質量和能量非常有效
- 與自由大氣中觀測到的大氣波有不同的特徵和結構

# 如何從數學量化大氣湍流？

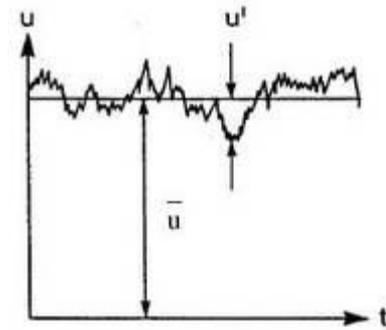
使用雷諾分解：

$$u_i = \bar{u}_i + u'_i \quad (i=1,2,3; u_1=u, u_2=v, u_3=w)$$

$$T = \bar{T} + T'$$

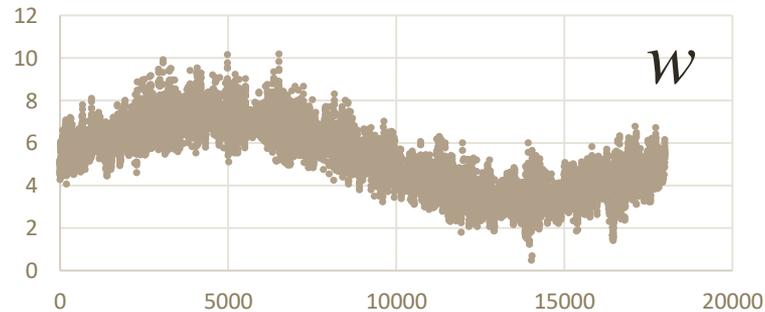
$$c = \bar{c} + c'$$

$$q = \bar{q} + q'$$

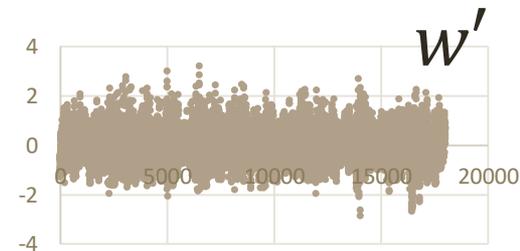
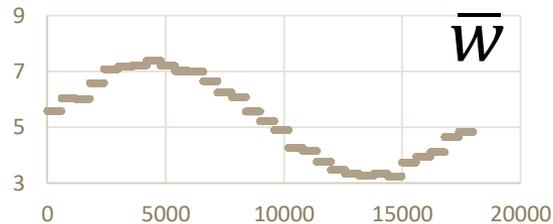


# 雷諾分解的本質

10 Hz data, 30 minute long



After applying  
1-minute  
averaging



- 雷諾分解是一個濾波器，本質上將時間序列分為兩部分：低頻波（均值項）和高頻波動（素項）。
- 低頻波可以用控制自由大氣中大氣流動的同一組方程式來描述，而高頻波動則應以不同的方式處理。

# NEE vs. 渦流協方差通量

- NEE ---生態系（包括樹冠和下面的土壤層）與大氣之間的淨生態系質量（例如CO<sub>2</sub>或H<sub>2</sub>O）或能量（顯熱）交換
- 渦流協方差通量—每單位面積和每單位時間通過渦流協方差的質量或能量總量

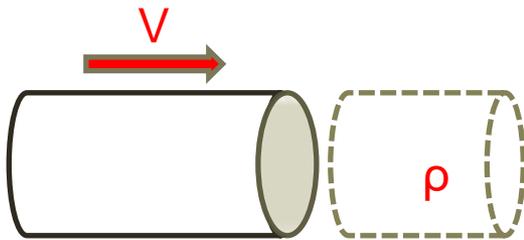
1.在氣候和天氣研究、天氣預報、生態和森林研究中研究碳、水或能量循環時，我們最需要哪一項.....等

2.測量 NEE 的其他方法有哪些？異速生長（破壞性）遙感（衛星）、土壤採樣等。

3. NEE 和渦流協方差通量有何關係？

# 通量方程式

通量：單位時間內通過單位面積的質量或能量



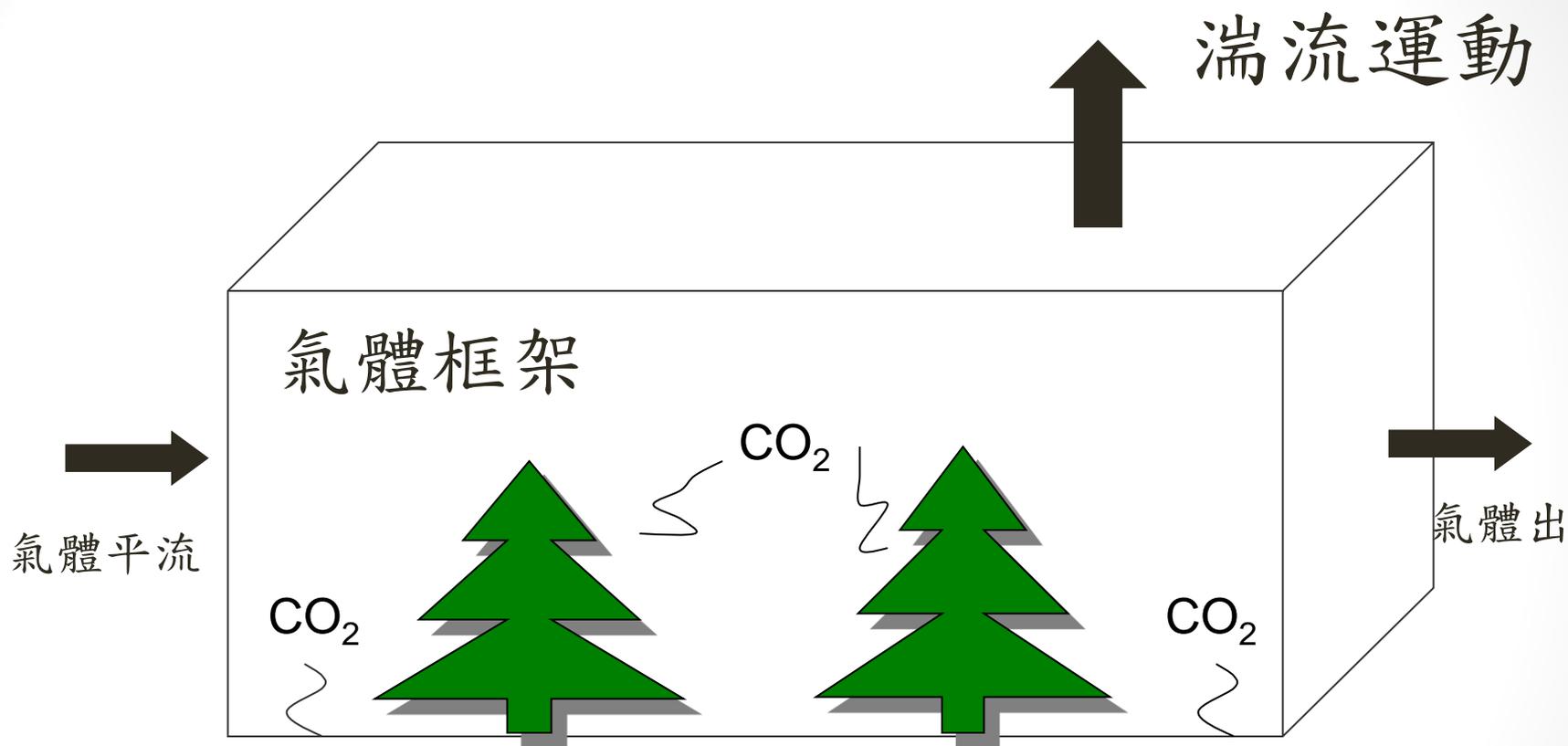
$$\text{Flux} = \frac{\rho(VA)}{A} = \rho * V$$

V—流速

A—橫斷面積

ρ—流體密度

# NEE 的三個組成部分



理論上，渦流協方差通量 (Fc) 不是 NEE

在某些有利條件下，Fc 可以非常接近

NEE 不利條件下，Fc 與 NEE 有很大不同

# NEE 分析系統的範例



佛羅裡達州  
大氣邊界層進行採樣計算湍流通量和湍流動能



台灣  
NEE通量系統建置

## 二、用於通量測量的渦流協方差系統中的 主要感測器和模組

# 典型通量地點的微氣象測量

## □ 基本的

通量：溫室氣體通量（CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>等）、能量通量（潛熱和顯熱）和動量通量

## □ 輔助

輻射：短波和長波輻射（傳入和傳出）、淨輻射、可見光（PAR）

溫度、濕度、氣壓、風、降水

土壤測量：土壤熱通量、土壤溫度和濕度

# 用於通量現場測量的感測器和模組



IRGASON or EC150 w/CSAT3A  
+ CR6 + Volt116 + ancillary sensors



CPEC300 series  
CR6 + Volt116 + ancillary sensors



# 為什麼需要輔助測量

- 分析和解釋通量測量時需要，因為環境和天氣條件是通量項的重要控制因素
- 用於品質控制和篩選低品質通量數據
- 用作生態系模型的輸入

# 氣體分析儀運作原理



紅外線波段:  
CO<sub>2</sub>: 4.3 μm  
H<sub>2</sub>O; 2.7 μm

$$P = P_0 e^{-\varepsilon c l}$$

$P$ --經由光路後的輻照度（在接收端接收到）

$P_0$ ---發射端初始輻照度

$\varepsilon$  --- CO<sub>2</sub>或H<sub>2</sub>O對紅外線波的吸收率

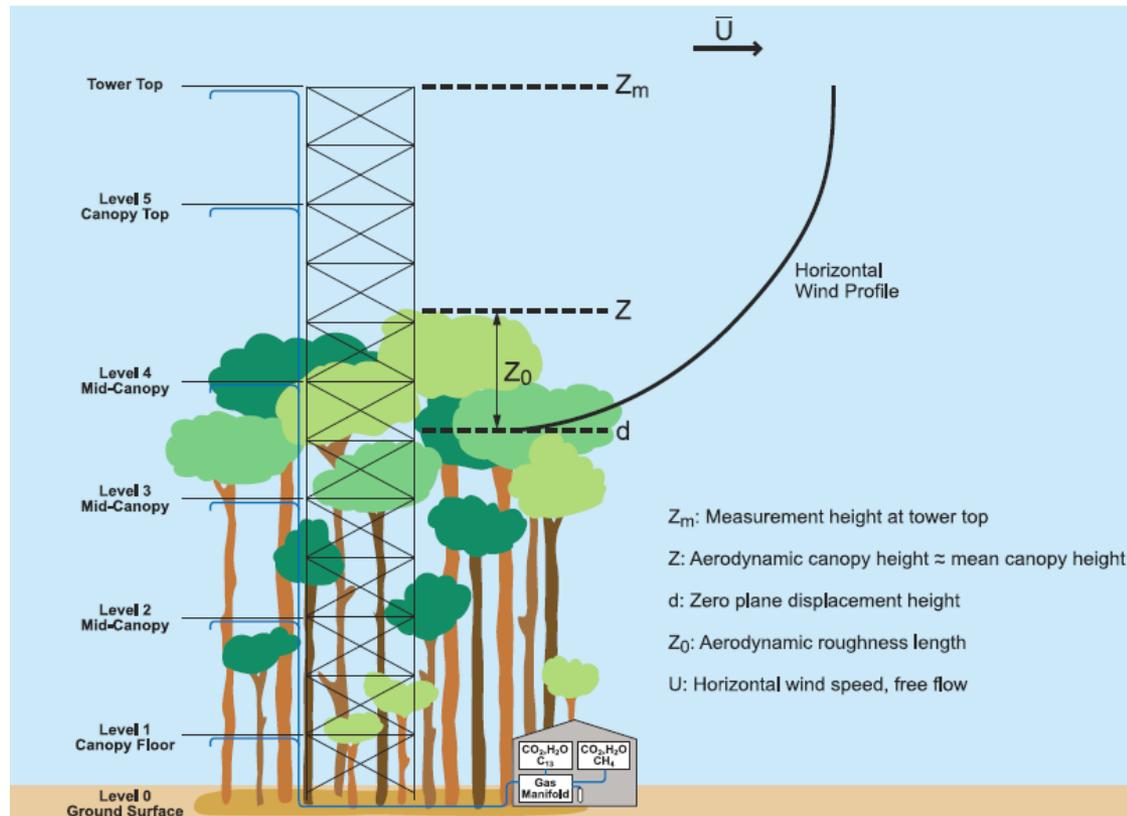
$c$  --- CO<sub>2</sub>或H<sub>2</sub>O的混合比或密度

$l$  ---測量（或光學）路徑長度

### 三、場地位置、塔座和儀器設置的考量因素

# 建議測量高度

- 將感測器保持在充分混合的恆定通量層（或平衡層）中；足夠高以避免塔附近某些單獨樹木的局部影響，但又足夠低以滿足獲取和占地面積要求對於高大的樹冠（森林）
- 測量高度： $Z_m = d + (z - d) * 4$  或  $1.5z \sim 2z$  草或灌木
- $Z_m = 5-6m$  對於農作物（隨時間生長）
- 生長季節開始時  $Z_m = 1.5 m$ ，生長季節結束時  $Z_m = 6-8 m$



如有任何問題也歡迎來信討論研究