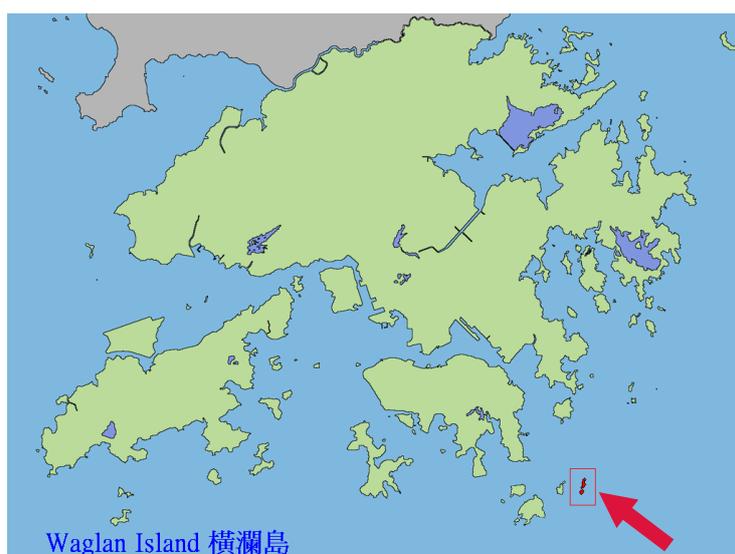


# 以 2023 颱風蘇拉的氣壓和風向變化來 估算風速

超強颱風蘇拉（Saola）於 2023 年 9 月 1 日晚約 11 時在香港南面近距離經過。本文是利用香港天文台在位於香港東南邊陲的橫瀾島上的氣象站（以下簡稱“氣象站”）在 9 月 1 日 20.5 時至 22.5 時之間錄得的氣壓及風向變化以估算當時的風速。數據來自香港天文台網站。本文利用的公式是密度  $\rho = \text{mass}/\text{volume}$  及  $F = mv^2/r$ 。本文提供一項可作高中同學有關「圓周運動」一個課外研習課題。



橫瀾島位置（網上圖片）



颱風蘇拉在晚上 11 時的位置（香港天文台風暴路徑預測圖）

## 1 氣壓變化

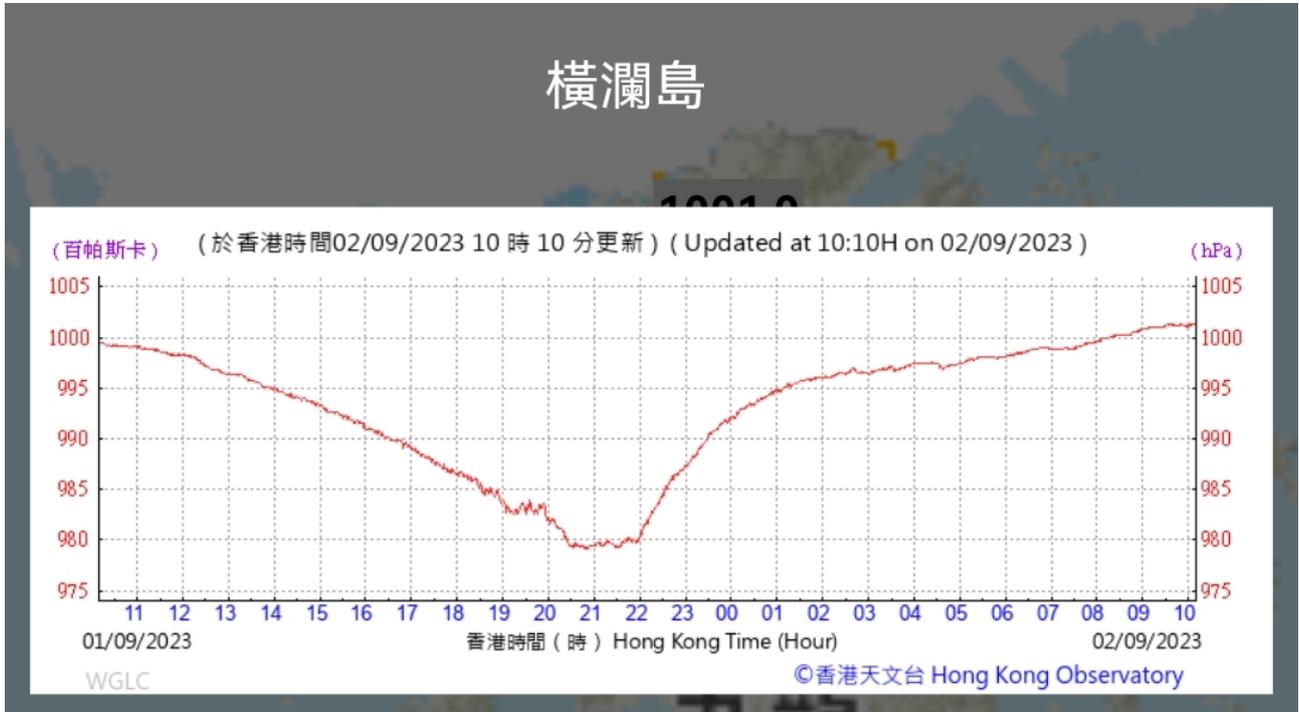


圖 1

當颱風迫近，氣壓下跌；當颱風遠離，氣壓漸漸上升回復正常。這是颱風經過時典型的氣壓變化。

1.1 在北半球，颱風以逆時針方向旋轉。空氣作圓周運動所需要的向心力來自氣壓差。

1.2 在圖 1，在 20.5 時至 22.0 時之間，氣壓大概保持在 980 hPa 的水平。可能原因是

1.2.1 颱風在這段時間內停止不動，

1.2.2 在這段時間內氣象站正處於風眼位置，或

1.2.3 在這段時間內氣象站與颱風中心的距離大概保持不變；即是氣象站大概保持在“980 hPa”等壓線（isobar）上。

## 2 風向變化

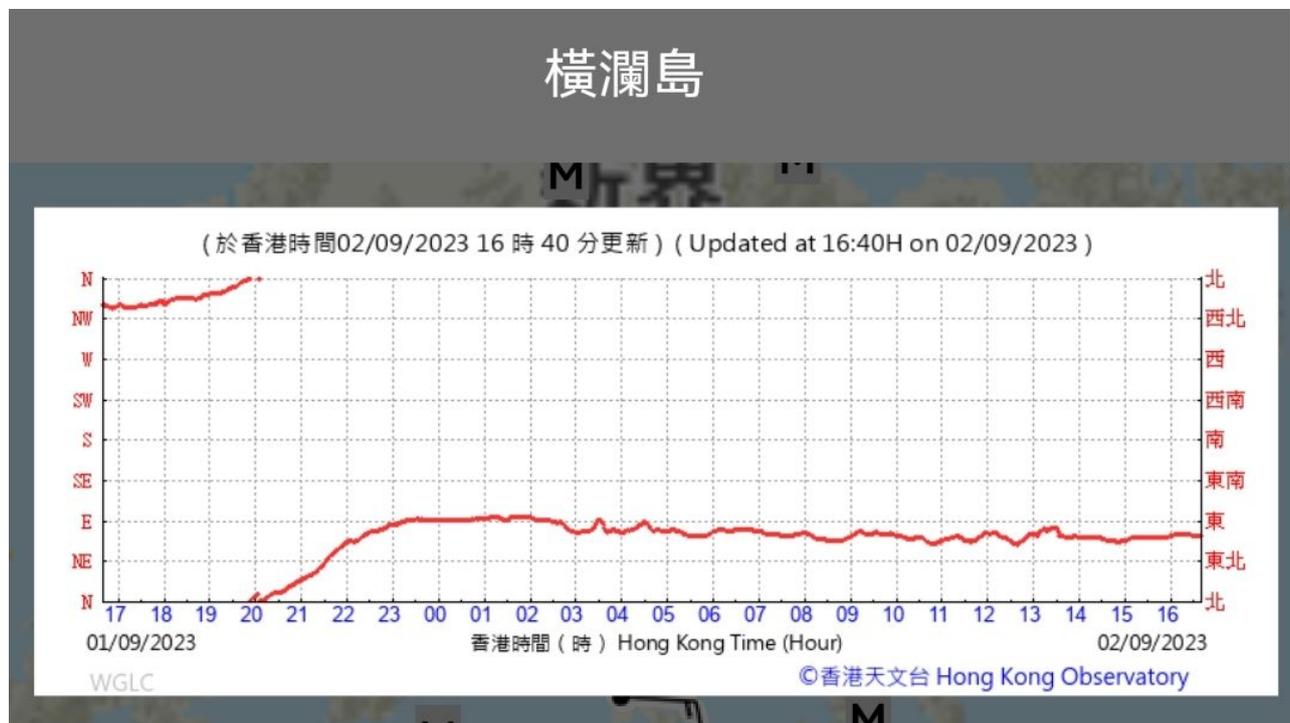


圖 2

2.1 當颱風中心位於氣象站的正東面，那氣象站吹正北風； 當颱風中心位於氣象站的正南面，那氣象站吹正東風。



2.2 由圖 2 的風向變化，得知在 20.0 時至 23.0 時之間，颱風中心是從位於氣象站的正東面一路走向氣象站的正南面。風向在這時段內大概是線性連續變化，這說明上頁的 1.2.1（颱風停止不動）並沒有發生。另外，這個風向變化也支持不了氣象站在這段時間內是進入了風眼範圍。

2.3 所以上頁的 1.2.3 是合理的推論。從而我們合理推斷在 20.5 時至 22.5 時之間颱風中心與氣象站的相對位置是如下圖 3.1 描述般：當颱風中心從氣象站東面走向氣象站南面的路途中大家最接近 (distance of closest approach) 時就是當氣象站軌跡切線 (tangent) 於“980 hPa”這等壓線（等壓線為同心圓）。

### 3 氣象站相對颱風中心位置

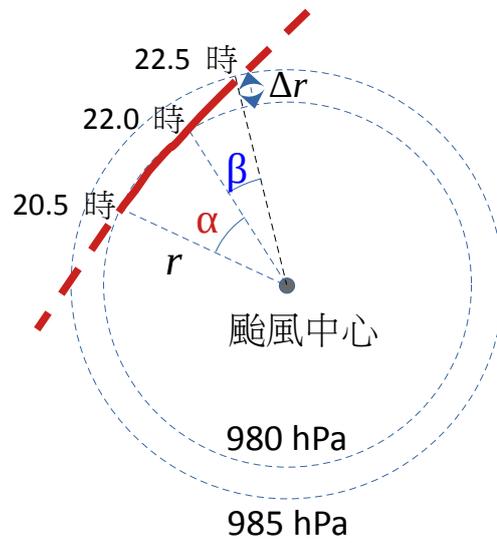
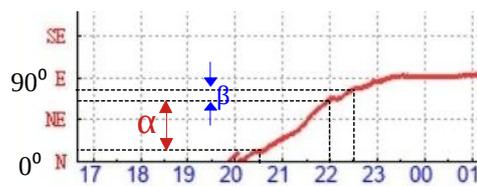


圖 3.1

紅實線為氣象站在 20.5 時至 22.5 時相對颱風中心的位置  
(圖不依比例繪畫)

我們從風向變化（圖 2）來估算角  $\alpha$  及  $\beta$ ： $\alpha \simeq 56^\circ$ ， $\beta \simeq 11^\circ$ 。



#### 4 求圖 3.1 的 $r$ 和 $\Delta r$

假設在上述時段內颱風的行走速率保持不變，設它為  $u$  (km/h)。

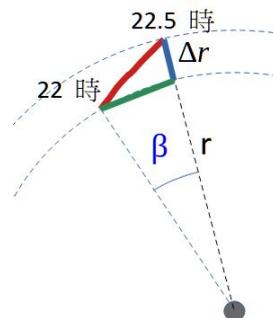
4.1 在 20.5 時至 22.0 時氣象站與颱風中心保持距離  $r$ ，所以

$$r\alpha = u(22 - 20.5)$$

$$r \frac{56^\circ}{180^\circ} \pi = u(22 - 20.5)$$

$$r = 1.53u \quad \dots\dots (4.1)$$

4.2 設 985 hPa 和 980 hPa 兩等壓線的距離為  $\Delta r$



設上圖三邊成一直角三角形，所以

$$\Delta r^2 + (r\beta)^2 = [u(22.5 - 22)]^2$$

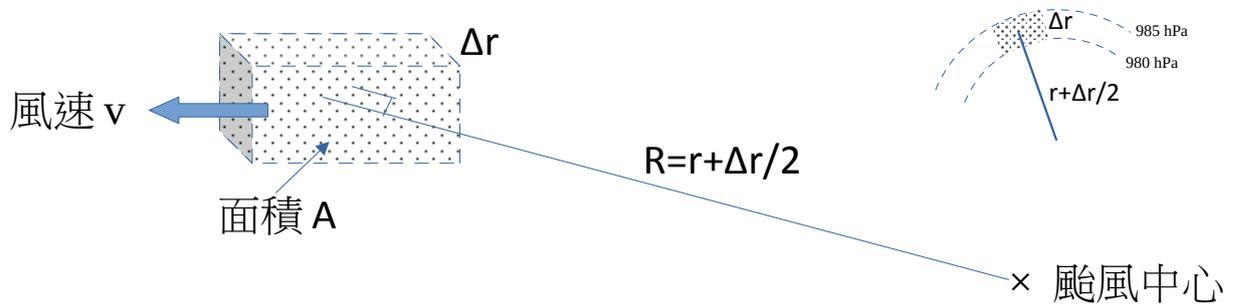
$$\Delta r^2 + \left(r \frac{11^\circ}{180^\circ} \pi\right)^2 = 0.25u^2$$

利用式 (4.1)，得

$$\Delta r = 0.40u \quad \dots\dots (4.2)$$

註：我們不採用 18.5 時至 20.5 時 (985 hPa 進入 980 hPa) 之間的數據來估算  $\Delta r$ ，因為由氣壓的變化 (圖 1) 我們看到颱風的軌跡在這段時間內似乎是不那麼直。

## 5 估算風速



考慮一個盒形的空氣。遠離半徑後面的氣壓為 985 hPa，接近半徑前面的氣壓為 980 hPa，此兩面相隔距離  $\Delta r$ 。盒形中心離開颱風中心的距離  $R = r + \Delta r/2$ 。

空氣密度  $\rho = M/V$ ，所以盒內空氣質量  $M = \rho V = \rho A \Delta r$ 。

氣壓差  $\Delta P$  提供圓周運動所需向心力，即是  $\Delta P \cdot A = \frac{Mv^2}{R}$ 。

把  $M = \rho V = \rho A \Delta r$  和  $R = r + \Delta r/2$  代入，得

$$\Delta P = \frac{\rho \Delta r v^2}{r + \Delta r/2}$$

代入  $\Delta P = 985 \text{ hPa} - 980 \text{ hPa} = 500 \text{ Nm}^{-2}$ ，空氣密度  $\rho = 1.2 \text{ kg m}^{-3}$ （比常用值“1.293”稍低，因為氣壓低於正常）， $r = 1.53 u$ （式 4.1）和  $\Delta r = 0.40 u$ （式 4.2），得

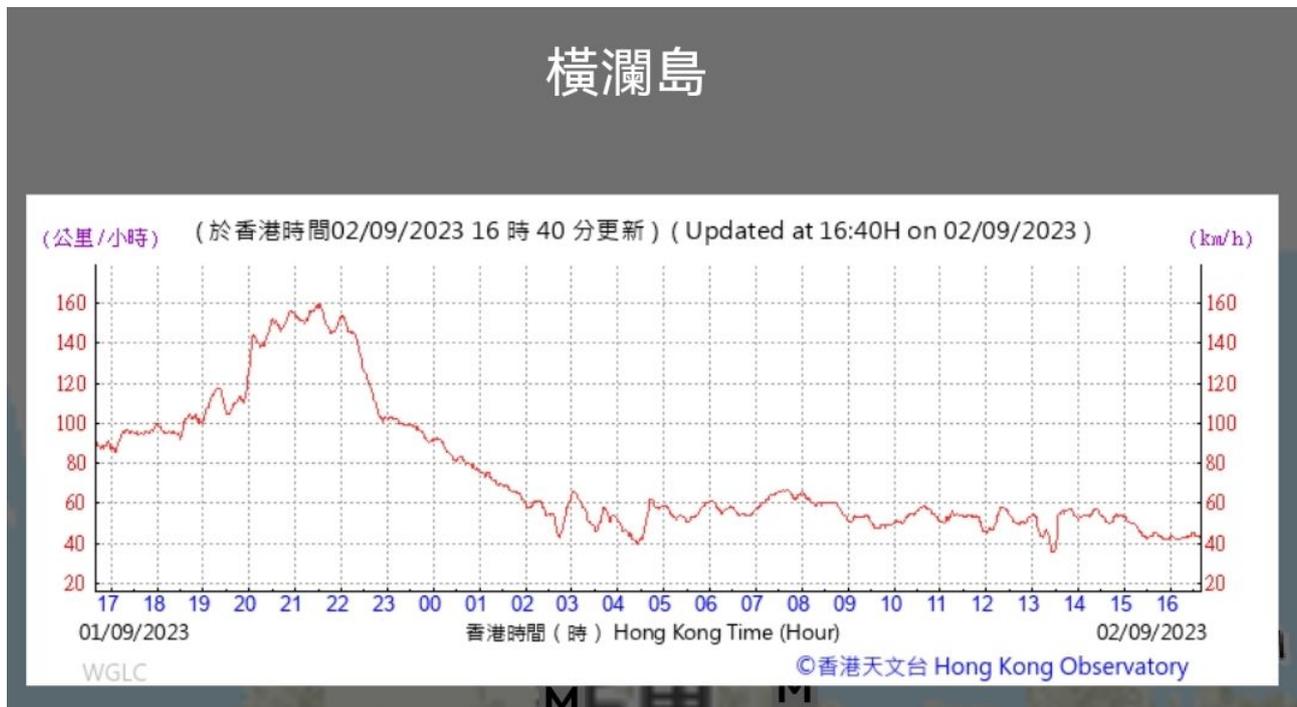
$$500 = \frac{1.2 \times 0.4u \times v^2}{1.73u}$$

由此得在 985 hPa 和 980 hPa 兩等壓線之間的平均風速為

$$v = 42 \text{ ms}^{-1} = 150 \text{ km h}^{-1}。$$

這估算不差呀！

以下是氣象站的真實風速記錄：



- 在 20.5 時至 22 時之間 (980 hPa) 的風速是 150 -160 km h<sup>-1</sup>。在 22.5 時 (985 hPa) 風速大概是 120 km h<sup>-1</sup>。
- 所以在 985 hPa 和 980 hPa 兩等壓線之間的平均風速約莫是 140 km h<sup>-1</sup>。
- 估算就是估算。事實上，我們使用的數據存在不小的誤差；假如那兩角  $\alpha$  和  $\beta$  各存在誤差  $\pm 1^\circ$ ，那做成風速誤差已是約  $\pm 10$  km h<sup>-1</sup>。
- 無論如何，這裏我們只利用簡單的物理及作一些合理的推論而得出一個相當不錯的結果說明這估算是 valid 靠譜的。



作者：吳老師 (Chiu-King Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵：[feedbackWZ@phy.hk](mailto:feedbackWZ@phy.hk) 其中 WZ 是 23 之後的質數