

探究龍捲風的形成方式

研究者：王冠程

指導老師：鄭淑珍老師

壹、緒論

一、研究動機

因為我本身對氣象很有興趣，尤其是會帶來災害的天氣現象，如颱風、寒流、龍捲風、海嘯、冰雹等，但由於龍捲風的紀錄不多，而且不利於觀測，所以許多人(包含我)多會對龍捲風產生誤解。因為如此，我想藉由這個機會去瞭解龍捲風的形成原因、容易形成龍捲風的地形，以及模擬出小型龍捲風。

二、研究目的

- (一)探究龍捲風的形成原因。
- (二)探究形成龍捲風的地形。
- (三)模擬小型龍捲風

貳、文獻探討

一、什麼是龍捲風

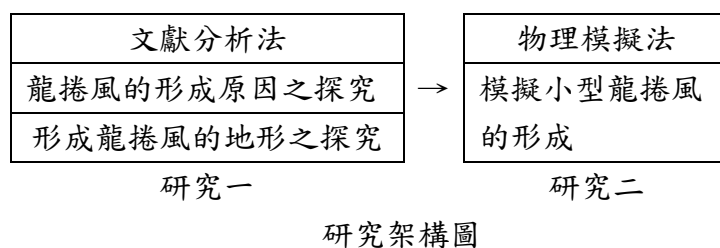
龍捲風的英文名稱為「tornado」，是指由積雨雲底向下發展狀似漏斗的強烈旋轉氣柱，當此旋轉氣柱向下接觸到陸地時稱為陸龍捲，接觸到海面則稱為水龍捲。嚴格來說，漏斗狀的氣柱要接觸到陸地或海面才稱為龍捲風，若只懸在空中迴盪，則只能稱為漏斗雲。龍捲風的直徑由數十公尺至數百公尺不等，平均約 250 公尺，一般都呈上大下小的漏斗狀，漏斗狀雲柱自雲底向下伸展至地面，繞著本身的中心軸急速旋轉，大多是以反時鐘方向旋轉，但是也有很少數的龍捲風是以順時鐘方向旋轉的。龍捲風的路徑，平均約在 5 到 10 公里之間，然而亦有長達 300 公里的紀錄；龍捲風的生命期，最短的不到 1 分鐘，但有些則可長達數小時，平均約 10 分鐘，龍捲風所經之處常造成嚴重災害。

二、什麼是飆線

「飆」唸「ㄆㄞˊ」或「ㄆㄞˊ」，是強陣風的意思。飆線(squall line)是由多個強烈對流的雷雨胞排列所組成一狹窄線狀的強對流天氣帶，生命期較一般雷雨胞長，通常可維持 12~24 小時，在水平空間上的分布約在 200 公里左右。根據過去觀測資料分析，飆線系統上常會出現雷電、暴雨、強風、冰雹、龍捲風等劇烈天氣現象，飆線通過後則會有明顯的冷空氣，使得氣溫突然下降，且風向也會有明顯改變。

參、研究方法與步驟

本研究旨在探討龍捲風形成之成因及其地形，並模擬製造小型龍捲風，因此針對龍捲風形成的因素及地形將採文獻分析法進行探究，在依其探究之結果進行物理模擬法，模擬小型龍捲風的形成。



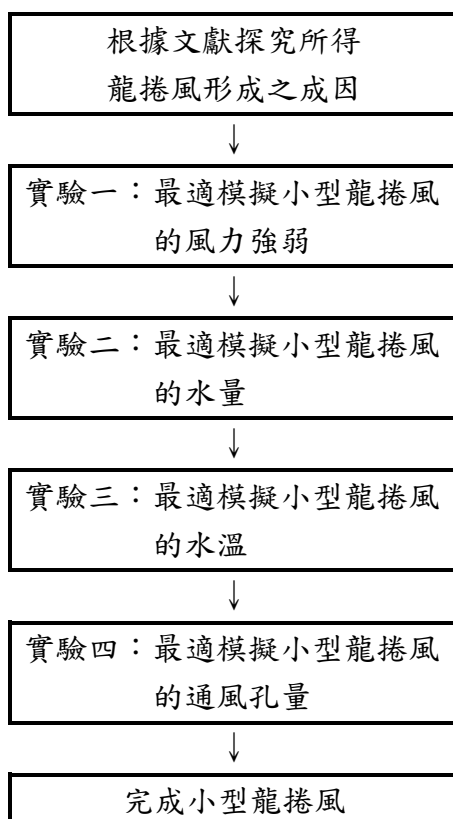
一、研究一

根據國內外相關文獻進行分析探究，以瞭解龍捲風的形成之原因及其形成龍捲風的可能地形。

二、研究二

本研究將依研究一之探究結果，模擬積雨雲的強烈上升氣流，產生垂直渦旋而形成龍捲風。

(一) 實驗流程圖：



(二) 各研究實驗步驟

研究器材:乾冰、寶特瓶、美工刀(剪刀)、抽風機(電風扇)和水。

變因:風力強弱、水量、水溫、通風孔的多寡、寶特瓶大小、乾冰量

1. 實驗一:最適模擬小型龍捲風的風力強弱

操縱變因:風力強弱

控制變因:水量、水溫、通風孔的多寡、寶特瓶大小、乾冰量

(1)先將 1000ml 寶特瓶頭部去除,再在距離底部 8 公分處等距開 8 個 $2 \times 2\text{cm}^2$ 的洞。

(2)將 30 ± 5 公克的乾冰放置寶特瓶底部。

(3)將 $10 \pm 2^\circ\text{C}$ 的水倒入寶特瓶,水量剛好覆蓋過乾冰。

(4)用 4.5W 的便攜式風扇,放置寶特瓶頂端,利用三個強、中、弱不同的段速,吸乾冰所產生的二氧化碳。

(5)觀察寶特瓶內二氧化碳的變化情形。

2. 實驗二:最適模擬小型龍捲風的水量

操縱變因:水量

控制變因:風力強弱、水溫、通風孔的多寡、寶特瓶大小、乾冰量

(1)先將 1000ml 寶特瓶頭部去除,再在距離底部 8 公分處等距開 8 個 $2 \times 2\text{cm}^2$ 的洞。

(2)將 30 ± 5 公克的乾冰放置寶特瓶底部。

(3)分別採用三個不同的水量(水量超過乾冰 0.5cm、剛好覆蓋過乾冰、水量低於乾冰 0.5cm),將 $10 \pm 2^\circ\text{C}$ 的水倒入寶特瓶。

(4)用 4.5W 的便攜式風扇,放置寶特瓶頂端,利用「中」的段速,吸乾冰所產生的二氧化碳。

(5)觀察寶特瓶內二氧化碳的變化情形。

3. 實驗三:最適模擬小型龍捲風的水溫

操縱變因:水溫

控制變因:風力強弱、水量、通風孔的多寡、寶特瓶大小、乾冰量

(1)先將 1000ml 寶特瓶頭部去除,再在距離底部 8 公分處等距開 8 個 $2 \times 2\text{cm}^2$ 的洞。

(2)將 30 ± 5 公克的乾冰放置寶特瓶底部。

(3)分別將 $10 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $18 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $75 \pm 2^\circ\text{C}$ 的水倒入寶特瓶,水量剛好覆蓋過乾冰。

(4)用 4.5W 的便攜式風扇,放置寶特瓶頂端,利用「中」的段速,吸乾冰所產生的二氧化碳。

(5)觀察寶特瓶內二氧化碳的變化情形。

4. 實驗四:最適模擬小型龍捲風的進風口量

操縱變因：進風口的多寡

控制變因：風力強弱、水溫、水量、寶特瓶大小、乾冰量

(1)拿四個 1000ml 寶特瓶，先將頭部去除，分別在距離底部 8 公分處等距開 2、4、6、8 個 $2 \times 2 \text{cm}^2$ 的洞。

(2)將 30 ± 5 公克的乾冰放置寶特瓶底部。

(3)將 $18 \pm 2^\circ\text{C}$ 的水倒入寶特瓶，水量剛好覆蓋過乾冰。

(4)用 4.5W 的便攜式風扇，放置寶特瓶頂端，利用「中」的段速，吸乾冰所產生的二氧化碳。

(5)觀察寶特瓶內二氧化碳的變化情形。

肆、研究結果

一、龍捲風的形成原因之探討

美國國家海洋和大氣管理局 (NOAA) 的網站有提到在內中緯度約北緯或南緯 30° 和 50° 之間的，為龍捲風提供最有利的环境。這是寒冷的極地空氣與較暖的亞熱帶空氣相遇的地區，通常沿著碰撞邊界產生對流降水。此外，中緯地區的空氣通常以不同的對流層水平以不同的速度和方向流動，促進暴風雨單元內旋轉的發展。有趣的是，接收最頻繁的龍捲風的地方也被認為是世界上最肥沃的農業區。(全球範圍)這是部分原因是大量的對流風暴使這些地區需要降水。僅僅因為大量的對流風暴和有利的環境，增加了一些風暴將產生龍捲風的可能性。

美國國家強風暴實驗室 (NSSL) 的網站也表示大多數龍捲風來自旋轉積雨雲產生的雷陣雨，稱為超級雷雨胞。

中央氣象局的網站提到，龍捲風的形成過程十分複雜，基本生成條件必須具有不穩定的空氣擾動和強烈的上升氣流；搭配上適當的水平和垂直風切，使渦旋快速成長生成龍捲風。發生龍捲風的環境大致可分為兩類：第一類是在快速移動的界面(如鋒面或飗線)環境下，界面前緣的對流胞快速發展過程中會激發龍捲風；第二類的大氣環境是伴隨發展的積雲，積雲的強烈上、下運動使水平的渦旋扭轉成垂直渦旋而形成龍捲風。在飗線前方觀測到「勾狀回波」(hook echo) 及逆時針旋轉之中尺度渦旋，從觀測資料及學理分析，判斷該中尺度渦旋即為龍捲風發展之母雲。

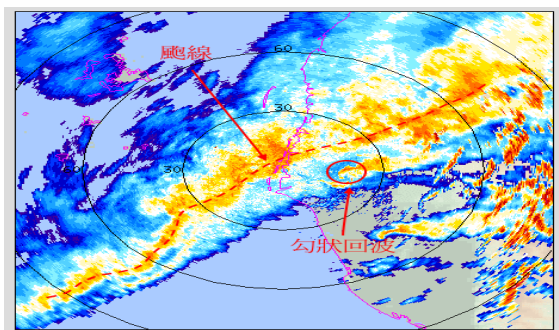
維基百科的網站也提到通常認為龍捲風在冷空氣穿過熱空氣層令暖空氣急速上升時產生。在雷達螢幕上，一個「鉤狀回波」往往代表了一個可能存在龍捲風的區域。導致龍捲風出現的一種情況是，地面上的水吸熱變成水蒸氣上升到溫度較低的天空蒸汽層上層後，水蒸氣體積縮小比重增大，繼而下降。由於蒸汽層下面溫度高，下降過程中吸熱，再度上升，遇冷後再下降。在如此反覆的過程中，氣體分子逐漸縮小，最後集中在蒸汽層底層並在此形成低溫區。水蒸氣向低溫區集中，形成雲。雲團逐漸變大，雲內部上下雲團上下溫差越來

越小，水蒸氣分子升降幅度越來越大，雲內部上下對流越來越激烈，而雲下氣體分子也不斷補充空間，導致大風的出現。由於與在垂直方向上速度和方向均有切變的風相互作用，上升氣流開始旋轉，形成氣旋。氣旋不斷增強並向地面延伸，出現雲柱。當雲柱到達地面高度時，地面風速急劇上升，龍捲風形成。

教育大市集的網站表示最常見的龍捲風形成方式是猛烈的大雷雨來襲時，因冷空氣與低暖空氣撞擊後形成，撞擊力使暖空氣上升後，在地面上造成一個壓區，附近空氣便流入以填補真空。

綜合上述，在維基百科和中央氣象局的網站都有提到在雷達迴波圖上，一個「鉤狀回波」代表了一個可能存在龍捲風的區域。在美國國家強風暴實驗室（NSSL）和美國國家海洋和大氣管理局（NOAA）的網站中有提到龍捲風是來自積雨雲所下的雷雨中形成，也就是超級雷雨胞造成的。在維基百科、教育大市集和中央氣象局的網站都有表示龍捲風的形成原因是因為伴隨發展的積雨雲，積雨雲的強烈上、下運動使水平的渦旋扭轉成垂直渦旋而形成龍捲風。而是中央氣象局的網站還有表示在快速移動的界面（如鋒面或飢線）環境下，界面前緣的對流胞快速發展過程中會激發龍捲風。

龍捲風的形成原因大致有三種，第一種是在快速移動的界面（如鋒面或飢線）環境下，界面前緣的對流胞快速發展過程中會激發龍捲風；第二種是大氣環境是伴隨發展的積雲，積雲的強烈上、下運動使水平的渦旋扭轉成垂直渦旋而形成龍捲風。第三種是來自積雨雲所下的雷雨中形成，也就是超級雷雨胞造成的。



圖片來源：
中央氣象局

二、形成龍捲風的地形之探討

美國國家海洋和大氣管理局（NOAA）的網站中提及，容易形成龍捲風的地形是中緯度約北緯或南緯 30° 和 50° 之間，為龍捲風提供最有利的環境。這是寒冷的極地空氣與較暖的亞熱帶空氣相遇的地區，通常沿著碰撞邊界產生對流降水。此外，中緯地區的空氣通常以不同的對流層水平以不同的速度和方向流動，促進暴風雨區域內旋轉的發展。

約北緯或南緯 30° 和 50° 之間，為龍捲風提供最有利的環境。

三、模擬小型龍捲風

（一）實驗一：最適模擬小型龍捲風的風力強弱

1. 用 4.5W 的便攜式風扇，放置寶特瓶頂端，利用三個強、中、弱不同的段速，吸乾冰所產生的二氧化碳。發現強的段速大約四秒後就將二氧化碳抽光

了；弱的段速幾乎抽不動；而中的段速抽的速度差不多與乾冰產生二氧化碳相同，所以我認為中的段速是最理想的。

(二) 實驗二：最適模擬小型龍捲風的水量

分別採用三個不同的水量(水量超過乾冰 0.5cm、剛好覆蓋過乾冰、水量低於乾冰 0.5cm)。發現水量超過乾冰 0.5cm 產生的泡泡過大，破掉時容易擾亂風向；水量低於乾冰 0.5cm 則乾冰產生二氧化碳的速度太慢；而剛好覆蓋過乾冰泡泡不會太大，所以我認為剛好覆蓋過乾冰的水量是最理想的。

(三) 實驗三：最適模擬小型龍捲風的水溫

分別將 $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $75\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水倒入寶特瓶。發現 $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水溫產生的泡泡過大，破掉時容易擾亂風向；而 $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 和 $75\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水溫則過熱，乾冰融化速度過快，因此無法形成龍捲風的型態； $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水溫能使乾冰產生二氧化碳與電風扇抽的速度差不多相同，所以我認為 $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水溫是最理想的。

(四) 實驗四：最適模擬小型龍捲風的通風孔量

拿四個 1000ml 寶特瓶，分別在距離底部 8 公分處等距開 2、4、6、8 個 2cm^2 的進風口。發現開 4、6 和 8 個進風口二氧化碳容易大量從洞口外洩，開 2 個進風口雖二氧化碳仍會外洩，但其量不足以影響二氧化碳在瓶內形成的小型龍捲風。所以我認為開 2 個進風口是最理想的。

陸、研究結論

一、龍捲風在以下三種情況下容易生成：

(一) 在快速移動的界面(如鋒面或颱風)環境下，界面前緣的對流胞快速發展過程中會激發龍捲風。

(二) 大氣環境是伴隨發展的積雲，積雲的強烈上、下運動使水平的渦旋扭轉成垂直渦旋而形成龍捲風。

(三) 來自積雨雲所下的雷雨形成，也就是超級雷雨胞造成的。

二、約北緯或南緯 30° 和 50° 之間的範圍，為龍捲風提供最有利的地形環境。

三、在使用 1000ml 的寶特瓶和 30±5 公克的乾冰下，最適模擬小型龍捲風的通風孔量是 2 個，水溫是 $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水溫，水量是剛好覆蓋過乾冰，風力強弱是中的段速。



柒、心得感想

在這次的研究中，我對於龍捲風這種天氣型態有了更多的認識。而這一次研

世代的結晶~獨立研究

究是我第一次使用乾冰，像是為什麼不能用手碰乾冰等，我也更瞭解乾冰。假如以後有學弟妹要使用模擬法的話，我建議先把要模擬現象的生成原因查清楚，才不會因不大了解自己要模擬的現象而浪費了不少時間。