

雷公之鎚落在何處— 探討影響閃電分布的因素

高中組地球科學科第一名

高雄市立高雄女子高級中學

作者：林映岑、周婉婷、林欣穎、李柳萱
指導教師：蔡靜誼、徐德耀

一、研究動機

閃電在陸地和海洋何者較多？在高山或平地何者較多？我們希望藉著這個研究，為自己，也為想知道的人，提供一些可能的答案！

二、研究目的

分析閃電在全球，臺灣及高屏地區分佈的情形，並以收集分析相關資料，和設計實驗，來推測、驗證影響閃電分佈的要素。

三、研究設備

交直流轉換器 導線 不同形狀之銅片（等面積： 3cm^2 ）※銅片之形狀：（銅片皆裁自同一片大銅片，故厚度均等，約 0.5mm ）篩網 NaCl溶液（1N） 濾紙 電解槽 雙氧水 2B鉛筆 探測針 過錳酸鉀粉末 微安培計 乾濕度計 計時器 放電管用放電器 威姆赫斯特起電器 放電架 示波器（具記憶及暫停功能） 蠟燭不同的岩石薄片（約等面積） 打火機 尺（30公分） 三用電表 酒精燈 溫度計 燈泡（250瓦） 防潮保溫 熱水（裝在盆中）。

四、研究過程

（一）實驗一：等電位面的測定與電力線的製作

1. 等電位面的測定：

（1）控制電壓為10V。

(2)固定一探測針，另一探測針則緩慢移動找尋等電位點。

(3)接上不同形狀的銅片，觀察等電位面情形。

(4)做出等電位面並量取電壓大小，以了解電場分析情形。

2.電力線的製作：

(1)控制電壓為40V。

(2)用篩網在濾紙上灑上過錳酸鉀粉末，一分半鐘後，倒入雙氧水於濾紙上，以固定電力線。

(3)接上不同銅片，重覆實驗。觀察結果與形狀有何關聯。

(二)實驗二：尖端是否真的較容易放電？

1.使用威姆赫斯特起電裝置：

(1)通電後，在5、10、15秒內計算轉動起電器次數及二電極放電次數，並觀察放電情形。

(2)改變銅片形狀，重覆實驗。

2.使用放電管用高壓電源裝置：

(1)使用放電裝置（如附圖（一）），連接訊息至示波器上。

(2)利用示波器的暫停鍵記錄示波器上的有效放電的次數、振幅。

(三)實驗三：岩石電阻的測定

1.將放電裝置接上岩石薄片、電極及三用電表。

2.讀取三用電表上的電阻值，重覆實驗三次以上，求取數據的平均值。

(四)實驗四：不同的岩石，引起放電的程度（接收閃電的程度）有何差別呢？

和其電阻係數有沒有關聯性呢？

1.通電後按下示波器的暫停鍵，並觀察岩石薄片接收電的情形及位置。

2.另選取四種岩石（砂岩、花崗岩、玄武岩、板岩），以及植物（模擬植被），混凝土，將表面沾濕，再做放電實驗，將做出的數據與未沾濕時做比較。

3.將相同的岩性的岩石薄片裁成原來的兩倍大小，再做放電實驗。

(五)實驗五：對流旺盛是否較容易產生閃電的放電？

1.將酒精裝置於放電處下，但注意酒精燈火焰不可接觸放電處。

2.通電後，按下示波器的暫停鍵，並觀察岩石薄片接收電的情形及位置。記錄示波器上的放電次數、有效振幅。

3.更換不同的銅片、岩石，重覆實驗。

4.將酒精燈換成蠟燭，重覆實驗。

5.在室溫下，用強力電風扇吹，重覆實驗3.到4.。

(六) 實驗六：溫度高低對放電有何影響？

1. 將放電裝置放入冰箱內。
2. 重覆實驗(五)之(3)~(4)。
3. 將銅片直接以蠟燭燒烤60秒後，重覆實驗(五)之步驟(3)~(4)。
4. 將實驗結果與室溫下的實驗結果作比較。

(七) 實驗七：溼度對放電有何影響？

1. 將放電裝置入佈滿水氣的箱中。
2. 通電後，按下示波器Pause，觀察接收放電的情形。
3. 記錄示波器上的有效放電的次數、振幅。
4. 更換不同的銅片、岩石，重覆實驗。

(八) 利用網站上的資料及相關單位提供的數據作分析

1. 全球閃電分佈資料分析：

(1) 從<http://thunder.msfc.nasa.gov/query/distributions.html>及<http://thunder.msfc.nasa.gov/LTSbrowse>上找到全球閃電分佈的資料，在各月圖上，每隔經緯5度畫線，讀出交點上顏色所代表的閃電次數。

(2) 利用Excel將各月份閃電分佈次數與太陽照射強度(E/A)及太陽照射時間(TIME)作相關係數的比較。

(3) 將閃電次數取自然對數值，使其等級分佈在0到1之間，將修正後的(E/A)和(TIME)作相關係數的比較。

(4) 找出E/A約為多少時，動能足夠引發閃電。

(5) 將全世界地形高度控制級數在0~1，將此數值跟修正後各月份閃電分佈次數圖作同一緯度的相關係數比較。

(6) 利用在<http://www.ferret.noaa.gov>上找到的全球的風速(向)圖、溼度圖及海表面溫度圖，及在<http://stdank.as.ntu.edu.tw/ftp/Noaa>上雨量圖、海面氣壓圖及海表面長波輻射圖，利用這些圖了解上述因素對閃電分佈的影響。

2. 臺灣地區閃電分佈資料分析：

(1) 將1997年閃電次數分佈圖上的閃電分佈次數分八種程度。

(2) 與地形作相關係數的比較。

3. 高屏地區閃電分佈資料分析：

將高屏地區的雷雨分佈圖與地形做比較，找出地形的變化與雷雨分佈是否有關係。

五、實驗結果與討論

(一) 實驗一：等電位面的測定與電力線的製作

實驗結果：

1. 等電位面大致有隨銅片形狀分佈的趨勢，電力線在銅片的尖端有集中的現象，對照在等電位面上，近尖端處除了各電位面相距很近外，還有大幅度彎曲的趨勢。

2. 固定電極形狀，電壓增高時，過錳酸根離子移動較快。

討論：

在接近尖端形狀的部分，等電位面的曲率越大且單位距離內越密集，因此在這附近電場是最強的，這應是尖端易引起放電的原因。

(二) 實驗二：尖端是否真的較容易放電？

實驗結果：

1. 對照實驗一等電位面分佈，當用銅片以尖端接近另一電極時，其單位時間內放電的次數均較多。

2. 有多尖端的星形反而不易導電，這與其電力線應有相當的關係，可能與電荷分佈無法集中有關。

討論：

前述二種實驗均呈現尖端易於放電，很可能是因其面積小有助於累積能量。但當電壓大時，則不一定在尖端放電，例如接山形銅片時，使用威姆赫斯特起電器，它沿著尖端放電，但使用放電管用高壓放電裝置，則沿電極走直接路徑放電，可能是因電壓高，它不一定要在尖端就能積聚足夠的電荷量，於是在非尖端的邊緣放電。

(三) 實驗三：岩石電阻的測定

實驗結果：

大致上電阻沉積岩大於火成岩、變質岩。

討論：

1. 在實驗中岩石薄片若弄溼，會有較多的放電次數。但我們想測試單純乾燥的岩石接電放電程度，我們認為影響因素可能是這些岩石的電阻。

2. 原來根據我們的推測是，鐵鎂離子含量越多、且結晶及金屬離子排列越有次序的岩石，越容易導電，受壓後的變質岩、快速結晶的火成岩應具有較規律的結構，所以應比沉積岩易導電。實驗結果中，雲母片岩（電阻與葉理有關）及石墨（因其架構使其電子成為自由電子，可稱為導體）及板岩均和我們的預期相符。

(四) 實驗四：不同的岩石，引起放電的程度（接收閃電的程度）有何差別呢？
和其電阻係數有沒有關聯性呢？

實驗結果：

由結果對照前述的岩石電阻，大致上電阻越小，導電度越好的岩石，放電的次數越高。

討論：

1. 在小範圍的區域，岩性對閃電接收有相當影響，電阻越小、導電性越佳者，放電次數越高。如火成岩、變質岩。
2. 雲母片岩的電阻偏高可能和葉理方向有關。
3. 我們在Discovery中見到介紹閃電的放電。節目上說閃電在天空被擊發到接觸地面，其實電流已經流通了很多次。因此示波器記錄下來的很可能是真正的放電次數和電流在二電極間流通次數，且當電極越易引起放電時，二者應均增加！使用威姆赫斯特起電器時，我們是計算聽到、看到的放電，應屬前者，而使用放電管用放電裝置時，是計算0.02秒內的振幅次數，可能屬於後者。
4. 將乾濕薄片的放電次數做比較，濕薄片放電次數略高於乾的薄片，但相較於銅片（導體）的放電次數仍算少數。
5. 在改變岩石的面積之後（放大兩倍）所得的放電次數和原來差不多，可能是電流通過薄片時，多數電量集中於一點通過，加以岩石是電阻大的非導體，故面積實際對實驗的影響不大，使得原實驗數據仍具一定的參考價值。

(五) 實驗五：對流旺盛的環境是否較容易產生放電？

實驗結果：

以酒精燈和蠟燭在放電處下方加熱，放電次數變多，振幅變大很多。

討論：

將酒精燈放在放電處下方加熱，且不直接接觸放電裝置，以製造熱對流。其放電次數較不放酒精燈時多，振幅也較大。因加熱時間不長，且不對電極加熱，因此主要是增加對流，使相對溼度驟降，及升高氣溫。

(六) 實驗六：溫度高低對放電有何影響？

實驗結果：

直接用火烤一電極時，放電次數有增有減。而裝置置入電冰箱中，放電次數減少。可對照室溫下的數據比較。

討論：

1. 直接用火加熱電極，會使電極的電阻加大，可能因此使放電次數不穩定，

有些增加而有些減少。

2. 所以前述酒精燈不直接加熱電極，所造成放電次數增加的結果，應要稍微加上在短暫時間內，電阻加熱後增大，以致減少放電的次數。所以我們認為大氣中若突然加入熱源，且來不及使岩層的電阻增加時，必因增加對流，相對溼度驟降，氣溫升高，而增加發生閃電的機會。

(七) 實驗七：溼度對放電有何影響？

實驗結果：

電壓相同時，溼度越高放電次數越少。

討論：

1. 環境溼度越大，越不易放電，這可由摩擦起電的實驗（威姆赫斯特起電器每逢溼度稍高，放電就減少或不能放電）驗證。但閃電的電力來自於大氣中水分相互摩擦產生，故溼度越高，其摩擦產生的電才能越多，使閃電發生。

2. 相對溼度降低結果顯示有助於放電。增加空氣的溫度和對流應有助於空氣中的離子游離化，亦有助於放電。

(八) 利用網站上的資料及相關單位提供的數據作分析

實驗結果：

1. 閃電的分佈大致呈陸地大於海洋的趨勢。

2. 同一經度線上的閃電分佈次數與當日修正後的E/A，於全世界不同的地區，相關係數有很大的差異。故我們將分三種型態討論：(1)南北半球全為陸地(2)南北半球海陸各半(3)南北半球全為海洋。

3. 東經95度到120度間南北半球全為陸地，其閃電分佈次數和當日的E/A呈正相關。

4. 西經180度到130度全為海洋，其閃電分佈次數與當日E/A的相關係數接近0，呈現幾乎不相關的情形。

5. 其他不論北半球為陸地、南半球為海洋，如西經125度到80度、西經20度到東經5度，或是北半球為海洋、南半球為陸地，如西經75度到25度，相關係數較不穩定。可是，當北半球為陸地、南半球為海洋的夏季，太陽直射北半球，或北半球為海洋、南半球為陸地的冬季，太陽直射南半球，閃電發生次數與當日E/A呈現頗高的正相關性，但在其他月份之相關係數又接近0。推知閃電的發生下面要有陸地時，和E/A的相關係數才會大。

6. 同一緯度線上的閃電分佈在修正後，和地形的相關係數呈現不錯的正相關。但就月份而言，則均在太陽直射的緯度處閃電分佈次數和地形高低有最大的

正相關情形。

討論：

※全球閃電的分佈部分：

1. E/A部份：

(1)閃電的擊發需要一定限度以上的能量：

將全球各月份的閃電發生次數（將閃電分佈次數取自然對數值，把數值控制在0~1）和其太陽照射強度E/A（對照各月份的閃電分佈圖，將各月份某一幾乎沒有閃電發生的緯度之E/A值以下範圍假設為0，所得到的值為“修正後的E/A”）作相關係數的比較，應接近真實E/A影響閃電次數的情形。E/A約在0.8以下時，能量似乎不足以擊發閃電。可知大氣中閃電產生需某種程度以上的能量。再對照到全年每月SST及相對濕度情形，可得溫度約在22~27°C、相對濕度約在50~60%以上，是較可能擊發閃電的區域。

(2)陸地大致大於海洋：

同一經度全為陸地的情況下，閃電分佈的數值和修正後的E/A值相關係數很接近1。海洋相關係數值便降低許多，幾乎為0，可能在太陽直射某一緯度的情形下，由於陸地上有較多地形起伏，因太陽能量而產生的高電壓可以有地方接收，並因地形起伏形成對流，於是越接近太陽直射區域(E/A=1)閃電次數越多。平坦的海面因會流動，故無法感應出穩定的尖端（因有波浪、洋流等運動），電荷分散的結果，則不易引發閃電，因此陸地的閃電發生遠大於海洋。

(3)海洋上的閃電分佈呈現某些規律：

海洋上的閃電分佈似乎也以某種規律分佈著；配合著風速圖、雨量圖對照，發現在行星風系中的西風帶及東風帶，因溫暖洋流及風吹送的關係形成地形雨，恰巧閃電也沿著風的吹向分佈，因此我們分析(1)該地向上對流情形必十分旺盛，成為低壓地區。(2)風的吹送，導致該地上方氣壓下降，對流旺盛，以致於降雨量大。可見縱使海面上沒有尖端接收物，還是能由風的吹向聚積足夠的能量產生閃電。(3)根據SST圖和海表面長波輻射圖可看出，閃電的分佈與溫度高的地點一致，如在西太平洋，溫度的黑潮（SST溫度較高）會加熱其上的空氣塊，導致空氣上升形成對流，產生閃電，故可再次印證閃電分佈與當地的太陽輻射能有關。

2. 地形部份：

取同一緯度（控制太陽照射強度）來作分析，以便於作相關係數的對照，結果發現閃電分佈跟地形確實相關，尤其該月份太陽照射強度越強的緯度，其相關係數亦越接近1。

(九) 根據天氣圖深入作分析

1. Yahoo天氣圖分析：

我們從<http://weather.yahoo.com>傳下3月7日各洲的衛星雲圖及天氣情形。根據yahoo的氣象資料裡，我們發覺某些區域裡，雖然不一定當天的天氣是T-Storm(Thunder Storm)，但在LIS的衛星資料內，3月7日真實發生的閃電，明顯的位於yahoo的precipitation黃色區域(Thunder)內，再將Thunder Storm的區域對照衛星雲圖發覺大致與濃厚的雲氣相符，且在天氣圖中可見其溫度、相對濕度均相當高，和我們前述計算出來的相對濕度約大於60%，且溫度大致要大於二十幾度左右的想法相一致。但某些地區，例如歐洲，黃色Thunder區域中，其相對濕度相當高，但溫度卻低，依此研判，發生閃電時，相對濕度似乎要相當大，但溫度較非決定性要素。

2. 實驗顯示相對濕度越大，放電次數則變少，但為何Yahoo天氣圖中顯示“閃電發生似乎要在高濕度的情形下”呢？（見前a部份）我們希望借由網路資料解釋此現象。後來在某氣象組織（網走<http://grads.iges.org/>）發現以下資料（3月6日的各種氣象因子）：(1)渦度(Vorticity)(2)500mb重力位(geo potential)(3)海表面氣壓(Sea Level Pressure)(4)1000到500mb空氣厚度(Thickness)(5)700mb空氣溫度(Temperature)(7)相對濕度(Relative humidity)(8)風(Wind)(9)幅散(divergence)(10)可降水量(Precipitable Water)(11)TTI。

3. 利用3月6日衛星探測到的閃電分佈情形，對照到上述當天的10個氣象因子，我們得到下列範圍內是主要發生閃電的區域。結果發現，非洲、澳洲、南美洲、三者一致的地方，分別在(a)Vertical Velocity (b)850mb Temp (c)R.H. (d)Wind (e)divergence (f)Precipitable Water (g)TTI。上述各條件交集的區域是主要發生閃電的區域。

多方考慮下，我們認為以相對濕度、可降水量、及空氣的垂直運動速度三種圖一起分析閃電最可能分佈的區域較有意義，我們發覺在升降氣流交界（非上升氣流）、相對濕度大於50%，及可降水量大於45mm的區域，有足夠媒介物—水滴或冰晶，產生摩擦起電及其它積聚電荷的運動效應（垂直對流，且在升降氣流交界處），而發生閃電。此外TTI（註）在三大洲中也非常一致，約30~50，查閱資料。

註： $TTI = TD[850mb] - T[500mb] + (T[850mb] - T[500mb])T$ 表溫度，TD表露點溫度，[]內表該氣壓層。

由結果得知，TTI在50有雷暴雨的可能，在55會引發颶風，而我們對照閃電

分佈區域在三大洲的TTI均在30~50間，意味著在雷暴雨來臨時或之前（尤其之前），閃電易於發生，這結果令我們聯想到屏東師院的教授在天氣的表情一文中提到，落雷地點多在降雨將至的地區。

若發生閃電的TTI值上限真的將近50，則顯示雷暴雨來臨前，空氣對流旺盛，濕度夠，有足夠水滴摩擦起電而放電頻繁。但發生雷暴雨時，電荷除因放電中和之外，空氣中水氣亦聚積成雨，而濕度降低缺少摩擦起電的媒介。

根據上述結果可知，溫度高有助於提供大氣熱能，引發垂直對流，但並非絕對要素，重點在濕度及對流。有足夠水氣（濕度）才有足量的摩擦起電媒介；有足夠的對流電荷才能快速的積聚。因此雖然濕度高不利放電，但濕度太低則無水滴摩擦產生高壓放電，對實際閃電發生影響更劇。

我們試著將3月6日所得各項氣象因子對照表的結果，利用彩色投影片，套用到我們另外從網路上下載的3月6日當日預測24小時後（3月8日）的大氣情形，發覺利用TTI在30~50間850mb溫度在10~20°C間，R.H.大於50%及空氣溫度大於546的三原則下來預測3月8日閃電最可能的發生區域，和3月8日衛星接觸收到的閃電資料非常吻合。最易發生閃電的區域似乎在前一、二日即可用我們的方式加以預測，若果真如此，其對地面上防範雷擊應有很大的助益。但我們花了很多時間在實驗及分析數據上，未來希望再繼續研究，以確定此原則的準確度。

※臺灣地區的閃電分佈部分：

(1)由台灣地形圖對照台灣閃電發生分佈圖，可見迎風面的閃電多於背風坡，以西南部和東北部為集中處，並以山脈為界，過了山就少有閃電發生，在山顯明顯集中。故可知地形亦為臺灣區域範圍內閃電發生的因素之一。

(2)台灣地區的閃電發生最多的月份為6、7、8、9月，和前面提到閃電與溫度、溼度、對流有關的說法符合。

※高屏地區的閃電分佈部分：

由於西南氣流狹帶暖濕水汽，遇到中央山脈之餘脈被抬升，而導致對流旺盛。其雷雨發生的頻繁區位於屏東及美濃。高屏地區閃電的發生和地形（中央山脈）的相關性仍很大，當然因地形使西南氣流被抬升產生因對流引起的電荷積聚為主因；地勢高引起尖端接電或放電更劇是副因。

六、結論

1.在具尖端的電極上可見電力線較密集及等電位面彎曲度較大的情形，顯示此處有較強電場的改變。

2. 尖端常因易積聚較大的電荷而易放電或接受放電，但若電壓太大，則不一定會沿尖端放電，例如在某些洋面上仍會因強烈對流而引起放電。

3. 電阻大小和放電次數大致成反比，將電極放在燃燒的酒精燈上（但不接觸）作放電實驗，可顯現熱對流，空氣增溫使離子游離化及空氣相對溼度驟減對放電的影響，結果是比不加酒精燈的放電次數多。

4. 前述實驗可對照到實際上閃電的分佈和太陽單位面積照射強度(E/A)較大的相關性結果。有足夠的熱能導致熱對流，及離子游離化，更可促進閃電的形成。

5. 上述相關性在地面有陸地等尖端接收時更顯現，但地面若均為平坦洋面，其相關性就非常低，幾乎為0，其應由於其沒有辦法有尖端積聚大量的電荷有關。

6. 相同 E/A 的地區，閃電發生次數則與地形相關係數很大，此和地形造成對流引起高電壓及具有尖端接電有關。

7. 在洋面上有些地區長年因處於低壓而有較密的閃電分佈。其和強烈的上升氣流有關。

8. 實驗結果溫度越高、環境溼度越低越易放電，但實際大氣中，溫度越高、環境溼度越大越易見到閃電。可見需要具備足夠的水滴為媒介，加上強烈的對流，才能有閃電的產生。其中強烈對流應是最重要的影響因子。

七、參考資料

普通氣象學，戚啓勳。

大氣科學緒論，八十六年臺灣地區落雷偵測資料之建立，蔡篤敬。

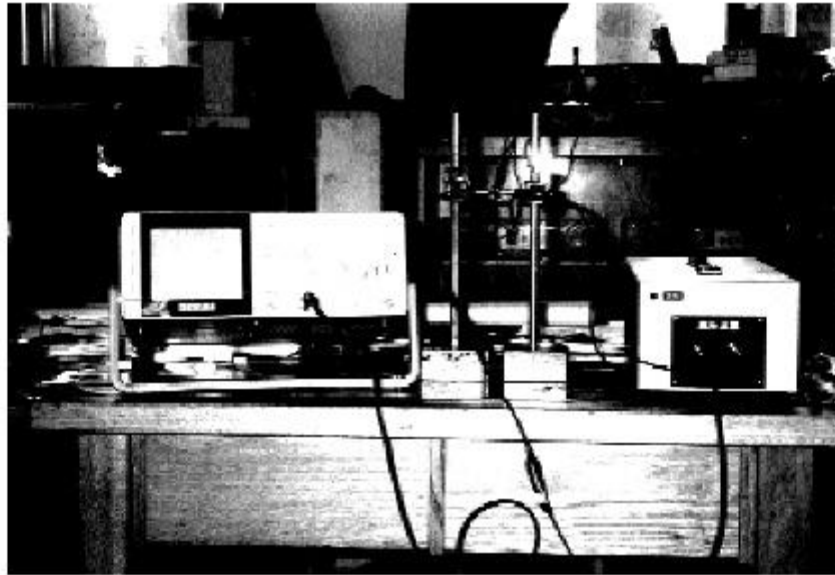
臺灣電力公司，高雄地區雷雨特性研究，劉廣英、曾鴻陽、李國隆、陳松森。

土木材料學，王櫻茂。

物理實驗大全（中）（下），徐氏基金會，科學圖書大庫。

八、誌謝

特別感謝臺灣大學大氣科學系陳正平教授提供一連串相關的資料，並告知我們臺灣電力公司有個觀測閃電的部門；感謝臺灣電力公司提供的臺灣地區閃電分佈資料，使得我們的討論獲得更充分的證明；也要感謝成功大學地球科學研究所楊孟修學長及余樹楨教授的協助。



附圖（一） 放電裝置

評語

本實驗研究閃電分佈的區域及發生時的環境因素，並以實驗室模擬放電的結果，推測閃電在全球尺度上會產生的區域，研究課題明確，方向清楚，所作的分析非常完整，各項影響閃電產生的變因均列入分析考慮，得出理論模型後，再以之預測短期內閃電在澳洲及非洲特定區域發生的地點，預測的結果與實際發生閃電處有明顯相關，成果斐然。

該組四名同學皆從頭參與此實驗，每人對實驗內容皆有完整了解並能流利解說，對該領域的背景知識有一定程度的了解。

該組同學並能充份使用國際電腦網路，下載相關資訊，作為理論模型與實際情況比較之參考，同時本身實驗成果有足夠國際參考價值，且計劃自己成立網站，提供研究成果給國際相關地區，非常值得鼓勵。

