

地球科學 多元選修+

第一期

跨界

天氣預報是啥東東？ P02

桃園高中多元選修課程一水資源 P09



#1



55581N2/A/000000



龍騰文化



康熹文化



天氣預報 是啥東東？

中央氣象局 氣象預報中心 預報員
林伯東



十 天氣預報簡史

一、古代人怎麼預報天氣

《三國演義》中「孔明借東風」是許多人耳熟能詳的故事，諸葛亮利用自身經驗及過去書籍紀錄，推測未來可能的天氣狀態，最後果真如諸葛亮所言，劉備與孫權聯軍獲得勝利，奠定三國鼎立的態勢。

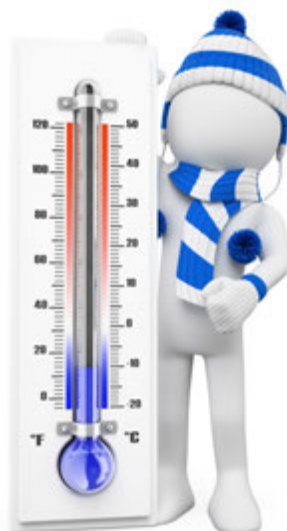
從春秋戰國時代的文字記錄，「節氣」的概念就已經建立，由天文學的角度而言，節氣反映的是太陽在黃道上的位置且帶有氣候狀態的概念，足見古代人們對於一年四季季節變化是有一定的掌握度。

至於天氣預報呢？近代氣象科技發展前，人們主要是藉由當下某些特定的天氣現象並利用自身或他人過去經驗去推估未來的狀態，文字上面的紀錄大多是口耳相傳的天氣諺語，例如：「一雷破九颱」，有些經過現代人的驗證是具有可信度地，有些卻不然，其可能原因是人們依據過去經驗的推測可能只適用於某個地區或某個季節，抑或是該因果關係根本不存在。

二、近代氣象科技的進步

直到十六世紀過後科學革命興起，物理學、數學及自然科學的進步，人們開始定量的去描述大氣的狀態，例如：氣壓、溫度及溼度等等；十八、十九世紀工業革命，除各項測量儀器改善增加了量測地精準度外，無線通訊技術發展使得觀測資料蒐集更為快速方便。另外，人們在流體力學及動力學上的發展更是將人們對於大氣狀態的描述推升至另一個層次。

天氣預報部分，二十世紀初期挪威的氣象學家 Bjerknes 提出了「極鋒理論」對於中緯度地區的天氣預報做出極大的貢獻，即便時至今日，許多氣象學的論述仍是奠基於他的理論。



三、遙測技術、電腦科學與數值天氣預報

二次大戰過後，雷達技術發展讓人們更了解降水的機制與型態；冷戰時期衛星科技的出現則填補了傳統地面觀測的不足（尤其是洋面上的狀態，雖然仍是推估）；另外，基於無線電技術的高空觀測（例如：探空氣球、投落送等等）將原有二維平面的描述進階至三維空間的觀點，許多理論得以驗證。二十世紀晚期，電腦科學技術迅速蓬勃地發展，再加上前述觀測資料愈來愈密集且品質良好，以流體力學、動力學及熱力學為基礎的數值天氣預報不再是遙不可及的目標，迄今已是現代天氣預報的主流。

十 天氣預報怎麼來？

（以數值天氣預報的觀點）

以數值方法為基礎的天氣預報大致上可以分為三個階段：觀測資料蒐集階段、數值模擬階段及預報員詮釋製作階段。所謂的數值方法就是將物理過程用數學式表示，再將已知條件（觀測資料）代入式子求解，但是求解過程相當複雜，必須倚賴電腦完成。以下將由最上游的觀測資料蒐集階段開始說明天氣預報的流程，並逐一說明每一段的誤差來源，以致於天氣預報無法百分百準確的核心原因。

一、一切皆由觀測開始

觀測大致上可分為：地面觀測（含海上）、高空觀測及遙測。其中地面觀測資料大約從十八世紀中期過後就開始有紀錄了，時至今日全球各地約有上萬個綜觀氣象站在運作，大部分測站每天固定在 00、06、12、18 四個世界時（UTC）執行觀測任務。相較於陸地觀測，海上的氣象資料就難以取得，僅能利用船舶、浮標或是海上小島來執行觀測，受限於維護及



▲ 圖 1 氣象觀測坪俯視圖

資料傳遞的困難，資料品質難與陸地觀測資料相比。

高空觀測是利用探空氣球、航空器本身的儀器或是由航空器投擲儀器來做量測，主要是為了得到除了地面以外的大氣狀態，有助於了解大氣的垂直結構。

遙測的主力則是衛星及雷達觀測：衛星是利用各波段的紅外線或可見光感測儀得知大氣中水氣或是雲形的變化；雷達則是主動發射電磁波並接收大氣中液態或固態水所反射回來的能量大小得知水的分布情形。

綜合以上，縱使有這麼多的方式，每天不間斷地觀測，我們對於三維大氣的實際狀態仍無法全面性地掌握，此為誤差來源之一；再者，量測本身即有誤差，人們永遠不可能得到真值。

二、數值模擬

數值模擬階段的任務就像是一個數學函式（只不過相當複雜），輸入一種狀況（自變數），經過運算後得到結果（應變數）。

人們在研究氣象學的過程發現有些關係式主導地球大氣系統，一開始，科學家嘗試身體力行直接求解，結果發現計算結束時，原來預報的時間不知早已過去多久，這樣的方式在當時顯然不太可行，數值天氣預報遇到非常大的瓶頸。直到電腦（計算機）問世，數值天氣預報才又被往事重提，隨著資訊科技進步神速，計算速度早已不是問題，問題必須回歸到

Earth Science

本質，大致可分為幾個面向：

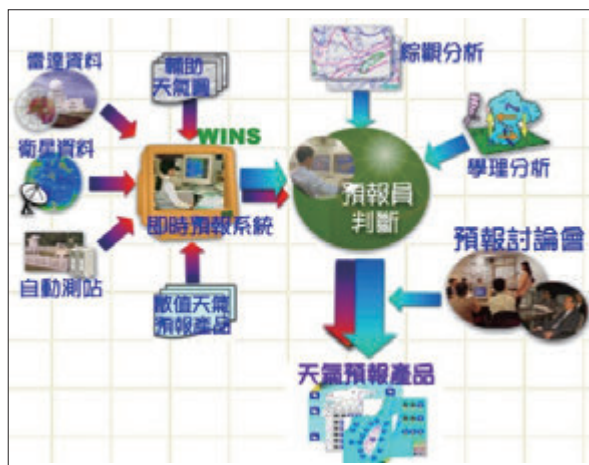
1. 電腦只能做到你告訴它的事，數值天氣預報的成功與否在於人們對於大氣系統瞭解的程度。

2. 誤差放大效應：電腦每完成一個階段的運算就會有誤差（無論這個誤差來自什麼原因），上一個階段的結果被放入下一個階段作運算誤差就會被累積被放大，預報長度不可能無限制地延長。

3. 電腦除了是預報工具之外，也可以是瞭解實際天氣現象的工具，在解讀預報結果的同時，也應回頭查驗反覆校驗比對進而更理解模式慣性。

三、預報員的作業日常

目前中央氣象局的預報產品皆是以數值天氣預報為基礎，配合上傳統分析及預報員主觀判斷統整而成，以下將說明作業流程：



▲ 圖 2 天氣預報流程圖

1. 前置資料蒐集整合

由於資料來自各處，若由預報員自行到處蒐羅效率太低，因此氣象局和美國國家海洋大氣總署 (NOAA) 合作開發氣象資訊整合與即時預報系統 (WINS, Weather Integration and Nowcasting System)，預報員可以藉由這個系統快速取得各種預報指引，當然在這個系統後端所需的維護資源也是相當重要。

2. 資料判讀及討論

預報員每天進入預報作業室第一件事情就是看各種資料作為指引，判讀這些資料時需要經驗，每一種資料都有其特性，藉由交叉比對後，預報員們一天兩次聚在一起討論未來可能發生的狀況，得出未來一星期甚至十天的天氣結論，若有特殊天氣現象發生將視情況增加討論的次數（事實上是隨時都在討論）。討論的目的在於，每個預報員對於同樣的資料可能會有不同解讀，必須藉此整合彼此的意見，避免淪為單一且主觀的結論。



▲ 圖 3 預報討論會

3. 預報製作及發布

討論結束後，預報員依據結論分工合作製作各種預報產品。過去氣象局的預報產品以文字為主體圖形為輔，預報分區也只是以縣市為單位，時間則是以天或半天為單位，隨著人們對於精緻預報需求增加、氣象科技進步以及預報員經驗的累積，預報產品也漸漸地轉成圖形為主文字為輔，由縣市預報走向鄉鎮預報，時間單位由天走向小時，也因此預報員已經不太可能僅用人工編寫文字描述預報結論，格點化的圖形編輯介面應運而生，預報員可以用類

似像畫圖的方式編輯預報結論，藉由電腦幫助轉化成各項圖形化或是傳統文字化的產品。

製作完成之後就是發布，管道有很多種：傳真、網際網路、電視媒體及廣播，時下最流行則是以手機應用程式為媒介，人們可以利用手機軟體即時取得最新的預報資訊。

十 解讀天氣預報產品

一、前提

1. 瞭解需求

每個人因為其生活方式不同，所需要的預報產品都不太一樣，例如：擺攤做生意的商家很在意下雨；漁民朋友在意海上風浪如何、會不會起霧；一般大眾則是在意出門會不會下雨，溫度如何。在查看天氣預報之前應該先瞭解自己的需求，才不會得到許多垃圾資訊。

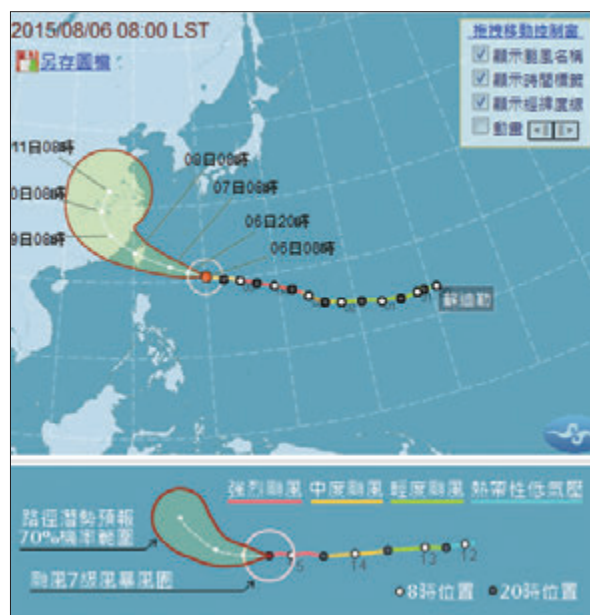
2. 預報極限與風險概念

再來就必須瞭解預報提供者能夠給予多少資訊，預報一定有誤差，不可能百分之百正確，預報產品是由眾多預報員討論出來的結論，代表有某種程度的信心天氣可能會這樣發生，但現況不一定會如此，當人們在使用預報產品時也應抱持有可能不會是如此的想法，甚至做出預防措施，這就是風險管理。

以下將就目前比較常見的預報產品說明解讀的方式。

論後決定出來的，70% 誤差機率圓則是依據路徑曲線，配合過去各主客觀預報路徑的誤差計算出圓形的範圍，其代表意義為：未來某一時間點颱風中心位置有 70% 的機率落在該範圍之內，當然也會有 30% 的機率落在之外，機率圓愈小信心度愈高，預報時間愈後面理論上信心度愈低。

七級風暴風圈對某地的侵襲機率：一樣是利用預報員決定的路徑，以過去幾年氣象局對於所有颱風預測的誤差計算而得，例如：在某天的預報中看到臺北 65%，代表未來 120 小時有 65% 的機率七級風暴風圈的範圍會通過臺北，和剛剛機率圓的概念除了計算的母體不同外，這裡指的是未來 120 小時的時間區間內，前面的機率圓則是特定某個時間點。



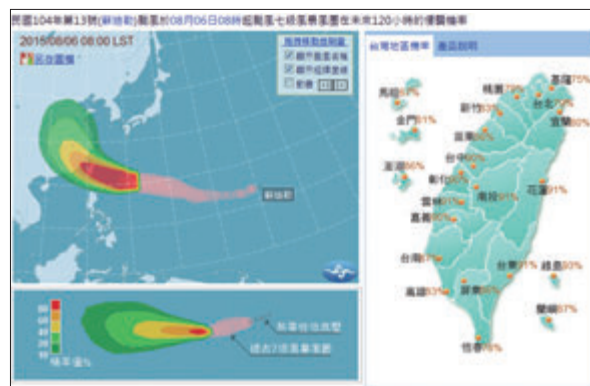
▲ 圖 4 颱風潛勢預報圖範例

二、颱風預測及颱風警報

1. 颱風路徑預測及颱風資訊

颱風形成後，氣象局就會開始啟動預測作業，預測未來 120 小時颱風路徑、強度及七級風暴風圈對某地的侵襲機率，每 6 小時發布一次。

路徑預報：由路徑曲線及 70% 誤差機率圓兩個部分組成，路徑曲線是經過預報員討



▲ 圖 5 颱風七級風暴風半徑侵襲機率預報範例



Earth Science

無論是以上哪種機率，機率的目的就是一種風險概念的延伸，機率愈高，所作的準備就要愈充足，每個人可以視自己的狀況而做出因應。

2. 颱風警報定義及內容

海上（陸上）颱風警報：預測颱風的 7 級風暴風範圍可能侵襲臺灣本島或澎湖、金門、馬祖「100 公里以內海域」（陸地）時之前的 24（18）小時，就會發布某海域的海上颱風警報，通常每 3 小時發布一次，必要的時候會加發。

警報的意義在於提醒所有人，如果預報的路徑及暴風圈真的都如預期，未來 18 小時（陸上）或 24 小時（海上）之內警戒區域（縣市或海面）會受到該颱風的七級風暴風圈侵襲，在該區域的所有人應盡快做好防颱措施（陸上），船隻也應盡快駛離（海上）。



▲ 圖 6 颱風警報單範例

3. 風雨預測與防災假

陸上颱風警報發布後還會啟動風雨預測的發布，同樣是每 3 小時一次，不過發布的時間是晚陸上颱風警報 2 小時，例如早上 8 點發布第 1 報陸上颱風警報，早上 10 點才會有第 1 報風雨預測。風雨預測包含三種產品：風力預測、總雨量預測及未來 24 小時雨量預測；颱風警報期間，會將一些資深預報員組成一個任務編組，奠基於前述預報員討論出的颱風路

徑及強度，除了運用資深預報員的經驗之外，也會利用氣候統計及數值模擬技術，找出最有可能的風雨狀況。

風力預測會分兩個時段預測，一個時段最多包含 6 小時，每個時段結束時間一定是 00、06、12、18 時（地方時），預測的參數是平均風風速及陣風風速，用蒲福風級表示，代表的意義是在該縣市該時段可能出現的最大平均風速及最大陣風風速。所謂的平均風速，以目前氣象局的定義是觀測時間過去 10 分鐘的平均，陣風風速則是過去 10 分鐘出現的最大風速，不需要經過平均。

兩種雨量預測運用的技術是一樣的，差別只在於期間，一個是未來 24 小時，另一個是整個颱風警報期間（包含已經過去的時間）。由於警戒區域是用暴風圈（風力）作判斷，降雨事件發生的範圍與風力較大的區域不一定完全配合，臺灣幅員不大，一個具規模的颱風雲系通常都橫跨 3 至 5 個經緯度（也就是 300 至 500 公里），因此當陸上颱風警報發布時，全臺所有縣市都會進行雨量預測，即便不再警戒區域內。預測時山區與平地會分開預測，山區的定義是海拔 500 公尺以上的區域，與地理學 1000 公尺以上的定義不同，這是需要注意的地方，一旦預測量值達到豪大雨特報的標準會同步發布豪大雨特報。

風雨預測除了一般大眾，地方政府（縣市政府）防災單位也會參考，與防災假的決策有關，所謂的防災假就是大家經常說的颱風假，這個用意是希望所有人不需要冒著風雨過大的危險出門、上下班、上下課，是風險管理及防災決策的一部分，希望能將死傷降到最低，既然是風險管理，必定會考慮預報誤差，寧可停止上班上課卻沒有大風雨發生，也絕對不會冒著大風雨可能發生的危險繼續讓大大家上班上課。

三、特報與即時天氣訊息

1. 特報

較常發布的特報種類表 1 皆有說明，特報的目的是一樣是提醒一般大眾可能或已經發生的天氣現象，而這樣的天气現象可能會造成一些影響或災害，但是嚴重程度可能沒有像颱風這類複合性的災害來得大。

2. 即時天氣訊息

即時天氣訊息的目的在於提示特定範圍（不一定以縣市為單位）即將要發生或已發生的未預期天氣現象，例如：高溫、冰雹、大雷雨、長浪，期望接受到訊息的人如果可能的話請盡快做出因應措施以避免傷害，通常文字上會非常簡短且包含大家可能可以做的對策供使用者參考。

四、降水相關產品

1. 降雨機率

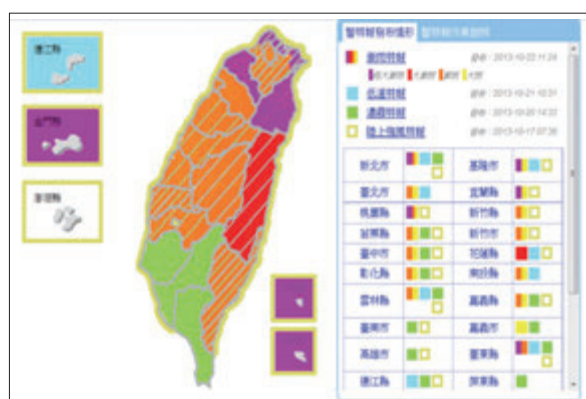
降雨機率有很多定義方式，在氣象局現行作業中僅代表某地點出現 0.1 毫米以上降水的機會，與降水面積及降水量都無關（此資訊能在定量降水預報見到）。機率值愈高，代表預報員對於那個地點出現 0.1 毫米以上降雨的信心愈高。過去通常靠預報員主觀判斷，現在

引進許多數值天氣預報模式的產品供預報員參考，已客觀許多。

2. 時間描述及區域普遍性描述

常見的時間描述詞有下列三種：「短暫」、「有」（或不提）、「午後」。「短暫」代表預期降水累積時數佔預報有效時間比例不足 1/4，白話來說就是下雨（雪）時間不長。「有」（或不提）則代表據其降水累積時數占預報有效時間比例超過 1/4，也就是下雨（雪）時間長。「午後」很簡單就是近中午或是中午過後。

常見的區域描述詞則有：「局部」、「零星」、或是完全不提，為的是形容該現象在該預報區的普遍性，普遍性由大而小為完全不提 > 局部 > 零星。



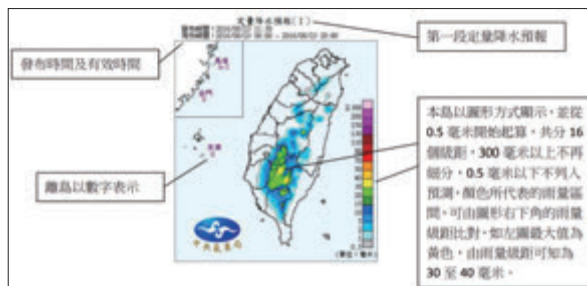
▲ 圖 7 利用地圖呈現各種警特報

▼ 表 1 特報種類

特報種類	說明
豪大雨	降雨量預期或觀測已發生下列情形： (1)大雨：24 小時累積 80 毫米以上或是 1 小時累積 40 毫米以上。 (2)豪雨：24 小時累積 200 毫米以上或是 3 小時累積 100 毫米以上。 (3)大豪雨：24 小時累積 350 毫米以上。 (4)超大豪雨：24 小時累積 500 毫米以上。
強風	風力預期或觀測已發生下列情形： (1)海上：遠海平均風達 6 級，陣風達 8 級。 (2)陸上：近海或沿海區域平均風達 8 級，陣風達 10 級。
濃霧	預期或觀測能見度不足 200 公尺。
低溫	平地（海拔 500 公尺以下）預期或觀測溫度達 10 度或以下。

3. 定量降水預報

因為近年來數值預報技術品質大量提升，對於強降雨量值的預報已經可以比較準確了，疊加上地圖的降雨分布圖可以讓使用者更全面性的了解各地的累積雨量（也就是下多少雨）。這個產品的特性是對於鋒面、颱風或是中尺度對流系統掌握度比較高，而對於局部性的小對流造成的降水掌握度低。



▲ 圖 8 定量降水預報範例及說明

五、結語及未來發展趨勢

以上大概只就眾多預報產品的一小部分說明，前面提到最重要的概念不外乎預報誤差、機率預報及風險管理。因為預報不可能完全準確，在使用預報產品時不可以僅參考天氣現象或是單一一條路徑線，必須配合機率預報的產品做出自己的風險管理。

由於人類生活方式的改變及預報技術的不斷進步，氣象預報產品也應該與時俱進，在能力許可的範圍之內盡量滿足大家的需求，以下是幾個目前正在進行的方向：

1. 即時天氣預報

所謂的即時天氣預報又可以稱為極短期預報，指得是未來 30 分鐘至 3 小時的天氣預報，以前資訊傳播沒有這麼發達、資料時間解析度通常為 6 小時以上（甚至 12 小時），根本沒有能力做這麼短時間的預報，不過隨著資料時間解析度提升，現代網路資訊傳播相當迅速，對於下幾個小時的天氣開始有能力預報了，目前氣象局主要是著力在前面有提到的即時天氣訊息部分，以前要發生了才有辦法，現在比較能夠提早個幾十分鐘把資訊傳播出去，讓大家能及時反應。

2. 中長期天氣預報

再來就是超過一星期的天氣預報，目前以綜觀天氣系統為主的天氣預報，有較好表現的大致上是 5 至 7 天左右，如果系統尺度較小預報能力甚至只有 3 天以內，而對於第二個星期的天氣預報仍是需要突破的部分，氣象局現行作業是提供一周天氣預報，另外會在天氣 10 日報這個文字輔助產品提供第 8 天至第 10 天的天氣定性描述，但準確度仍有待加強。

3. 精緻化預報品質提升

氣象局除了一周各縣市天氣預報之外，也提供 368 個鄉鎮的一星期之內逐三小時的天氣預報，這個產品是未來會持續走下去的趨勢，雖然目前準確度上面有待考驗，目前後端技術支援團隊持續發展一些校驗平台，幫助提高預報準確性；資深觀測員也會提供他們對於當地天氣的經驗，藉由這些經驗上的交換，對於預報員在調整預報上也有幫助，期望預報能夠愈來愈精細準確。

圖片來源

圖 1~ 圖 8：中央氣象局

插畫：shutterstock



桃園高中 多元選修課程 水資源

桃園高中
林士然 老師

十 開課動機

12 年國教自然科學領域的核心概念，已經從「能力指標」轉變為「素養導向」，其中包含了「科學核心概念」、「科學探究」以及「科學的態度與本質」，此外，對於普通高中來說，原本物理、化學、生物及地科的必修學分刪減，另增設 4 學分的「探究與實作」課程。因此本校的自然科於 2 年前便開始逐步規劃相關課程，透過跨學科間的整合，試圖找出一個能引導學生進行探討且執行實作的多元選修課程，藉此為未來的探究與實作扎底。幾經調整後，決定以「水資源」為主體，讓學生從既有的經驗出發，進行主動探索、實驗操作與多元學習。我們期待此課程能讓他們找到橋接理論與實踐之間的繩索，建構多層次且具系統性的思考方式與團隊合作的能力。

此套多元選修課程，對象是高一學生，該課程是由同學自行選擇修課科目，因此每個班級的組成成員皆來自不同的班別。而課程內

容涵跨自然四大科，在各科每位教師本身授課時數早已滿載甚至超載的情況下，不同周次的上課教師不同，以因應課程內容的專業度以及減低授課負擔，而該節為空堂的教師亦可入班觀課，互相學習成長。

十 課程規劃

因為各科老師專業能力不同，因此對於同一主題勢必有不同的看法，為了達成跨科合作的目標，打算從原本基礎地球科學上冊之「全球環境變遷」為出發點，討論氣候變化對全世界水資源的影響，藉由資料閱讀，先建立學生的基本知識，同時教導閱讀科學文章的方法，透過 ORID- 焦點討論法^{【註 1】}，讓學生把文章中發散的內容逐漸整理收斂出重點來，接著利用系統思考^{【註 2】}的相關概念，讓學生了解地球系統內的各項因子之間密不可分的關連，甚至大系統內還有小系統的作用，因而產生不同正、負回饋的作用。

註 1：焦點討論法（Focused Conversation Method）又可稱作 ORID 討論法，運用其中四個元素做到從發散到收斂的過程。ORID 四個字分別代表以下：Objective（客觀、事實）Reflective（感受、反應）Interpretive（意義、價值、經驗）Decisional（決定、行動）。

註 2：系統思考（Thinking in Systems）就是面對一項事物時，能先掌握整體，再進入分析組成部件以及其關聯性，再由個別部件往下拆解、分析更小的部件，整個掌握事物的結構與層次，才能透徹了解整個事物的內涵。



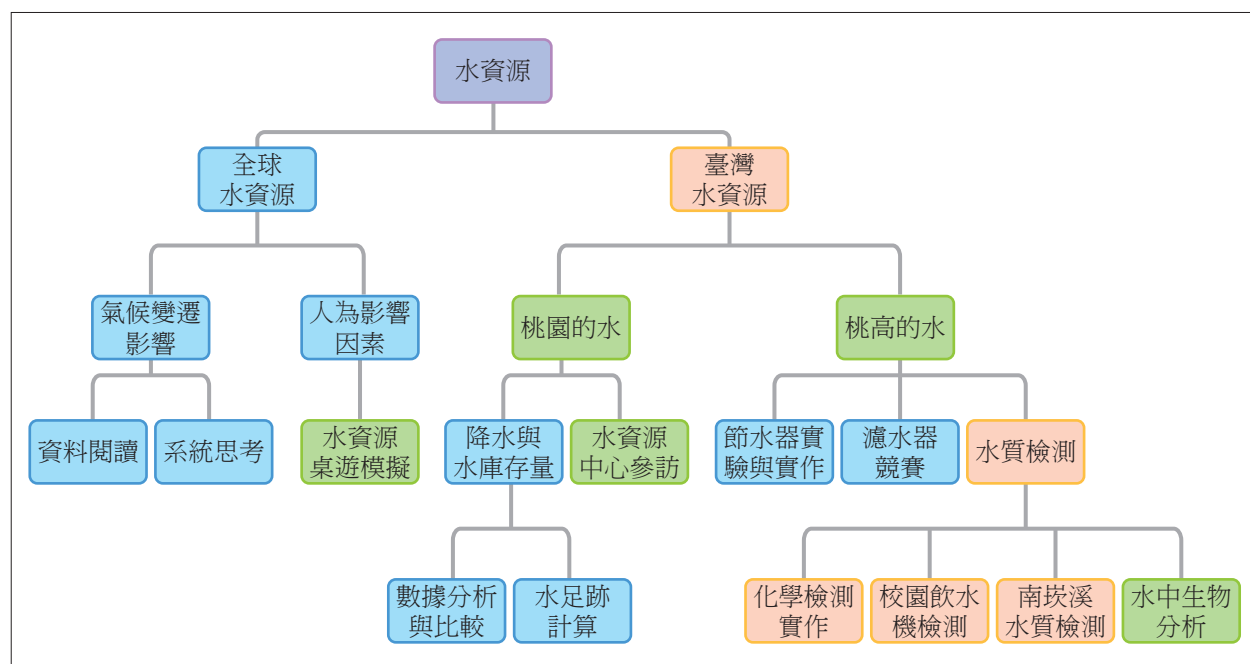
Earth Science

在學生對地球環境與水資源這主題有初步概念後，開始討論人類在其中所扮演的角色，關於此部分，為避免流於空泛的資料閱讀與文字討論，我們邀請師大科教所鄭博士帶領大家玩桌遊「瘋水輪流轉」，了解每個人在生活中所耗掉的水量有多少，並練習計算自己的「水足跡」；此外，也在整班學生（24人）一同進行之下，試玩還在開發中的大型桌遊「藍晶方舟」，由扮演與水資源相關的組織之決策者，實際的面對問題和發展解決策略，在互動、協商與管理決策下，自我體會、關心與建構水資源調適的科學系統、社會運作與永續可能。

接著我們將尺度縮小到臺灣、桃園甚至桃園高中內。桃園地區近年來缺水事件頻仍，

諷刺的是我們卻擁有全臺第三大的水庫，因此透過氣象局及石管局提供的數據，讓學生嘗試，利用這些數據找出限水的時段、限水的原因及背後的各種可能。最後回到自身，環境品質文教基金會網頁提供的水足跡計算機小程序，讓學生計算每天到底耗掉了多少水資源，並與各地區的平均做比較。

最後在學生對水資源有大體的認識後，我們接著進行幾個實驗，讓學生了解平常大家在水，該怎麼省？乾淨嗎？裡頭有些什麼礦物或生物？並分析學校旁邊的南崁溪溪水品質，然後讓大家自行設計濾水器，分組挑戰看誰能讓教師提供的汙水變得最乾淨。



▲ 圖 1 整體課程架構。藍色為地科老師負責部分、綠色為生物老師而橘色則為化學老師。



十 教學流程安排

周次	課程	單元目標	教學模式	備註
1~2	環境變遷與水資源	建立學生基本知識。 閱讀理解培養。 焦點討論與系統思考法建立。	問題引導合作學習 焦點討論法	
3~4	水資源桌遊— 瘋水輪流轉、藍晶方舟	透過角色扮演練習資源分配、認識社會問題。 找到自身對水資源的收支。	體驗教學 合作學習 分組競賽	
5~6	降雨與水庫存量	學習圖表製作。 學會資料分類、分析、比較及閱讀。 建立數據與實際現象的關聯。	專題探究 問題引導	
7	外出參訪— 水資源回收中心	瞭解桃園地區水資源回收及利用現況。 認識汙水處理方法。 能提出桃園目前汙染相關之問題。	體驗教學 合作學習 問題討論	
8~10	節水器實驗與實作	能進行專題研究，找操縱變因，設定操作變因。 能規劃實驗流程及步驟。 學習撰寫實驗報告。 學會分組分工合作進行實作。	問題引導 體驗教學 合作學習	
11	水質檢測—化學	學習化學儀器使用方式。 瞭解化學相關測量原理。	講述教學 實作教學	
12	水質檢測— 學校飲水機	應用化學測量相關原理進行實驗。 瞭解平常飲用水的品質。 找出飲用水品質不一原因。	問題引導 實作教學	
13	水質檢測—南崁溪	應用化學測量相關原理進行實驗。 瞭解生活周邊河川汙染程度，並反省思考解決方案。	問題引導 實作教學	
14~15	水質檢測— 水中生物分析	學習微生物觀察的基本知識。 學會使用顯微鏡或行動式顯微鏡進行觀察記錄。	問題引導 實作教學	
16~17	濾水器實作與競賽	瞭解濾水器相關原理。 學會同儕合作。 能發揮創意，找出最佳策略並加以實現。	專題探究 合作學習 實作教學	

十 地球科學各單元教學理念

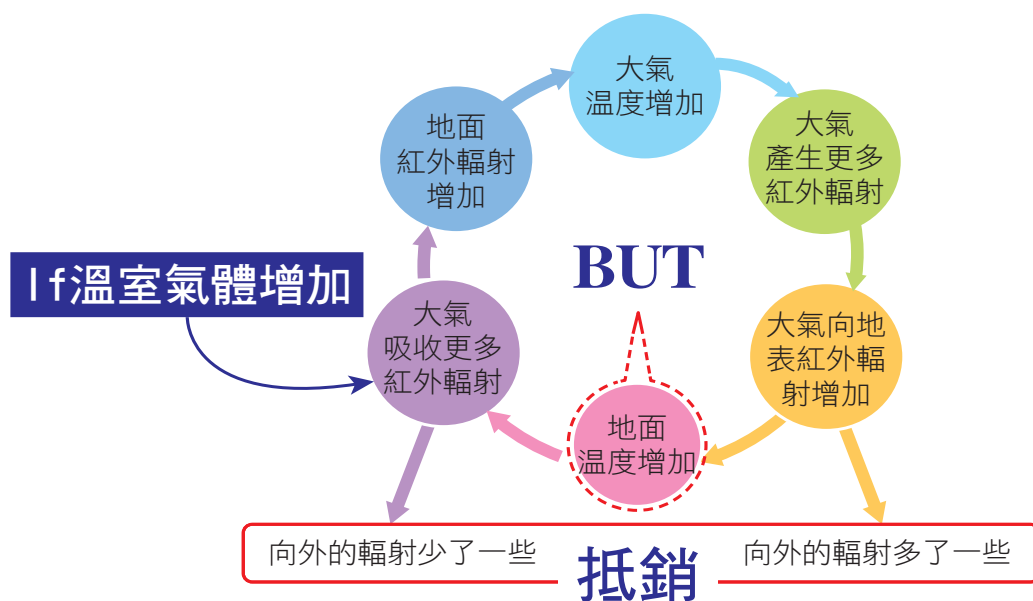
一、環境變遷與水資源

在此課程的規劃裡，我們希望學生在開始進行科學相關課程時，能先具備一些基本的科學文章閱讀能力、對內容的思辨能力以及對整個自然環境的系統概念，因此前兩周的課程當中，先透過文本的閱讀及分析討論，引入整學期的主題——水資源，而其中，環境變遷是一個非常適合的切入點。

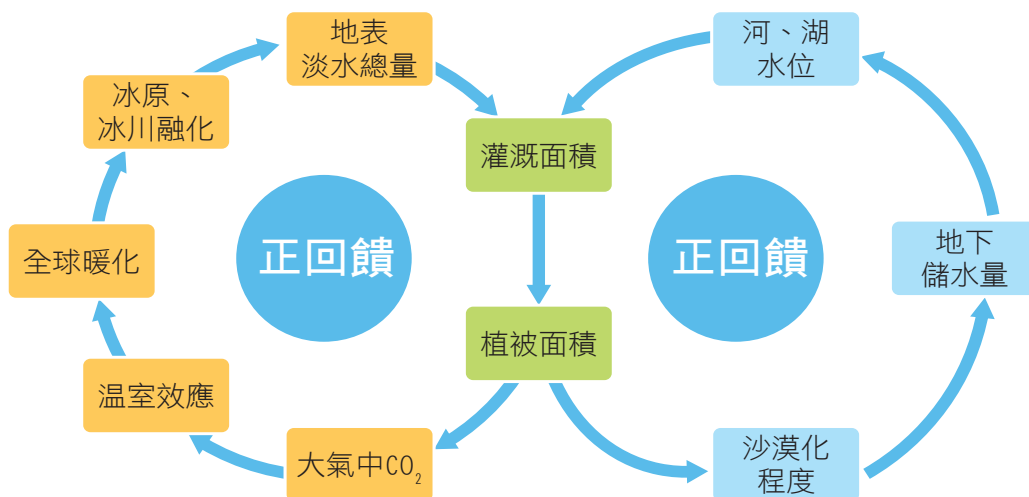
利用全球暖化的現象以及其對生態環境的衝擊，進行系統性分析，帶領學生畫出各現

象之間的回饋圖表，間接地引導出，暖化將導致大量冰原、冰川溶解，海水體積增加，但我們卻可能會面臨水源匱乏的窘境。

譬如利用 IPCC AR4 提出的地球能量收支圖，但這次重點不在計算能量收支，而是讓同學討論，為何地球整體在收支平衡下，我們測量到的氣溫仍持續不斷升高？並利用前面學習之系統思考法，劃出整個系統內各項因子的影響，如圖 2。再接著希望他們多做聯想，把平均溫度升高這件事與我們可用的水資源多做連結，再次劃出系統圖，如圖 3。



▲ 圖 2 地球能量收支圖之大氣增溫系統分析圖。



▲ 圖 3 大氣增溫與水循環及水資源利用系統分析圖。

評量方式：各小組所畫出的系統圖，以正、負回饋的內容正確性為主，各項次之間的關聯性以及多元性亦列入評分參考。

二、水資源桌遊——瘋水輪流轉、藍晶方舟

許多地球科學相關的實驗，無法如物理、化學的實驗能直接在實驗室裡完成，因常常牽涉到生活中各種面向，所以我們採用讓學生透過玩桌遊來模擬社會上的各種問題以及解決方法。

瘋水輪流轉這款桌遊的設計理念起於——我們每天都需要食物和飲水，這些東西除了有直觀水量以外，還蘊含隱形的水資源（虛擬水）。例如 200 c.c. 的牛奶，若額外考量如飼料、牧草以及飼養乳牛還有包裝及運送牛奶損耗的水，便會產生背後隱形水資源的消耗量，這，就稱為水足跡，因此 200 c.c. 的牛奶，很可能水足跡為 200,000c.c.。

遊戲中，大家的可用水量都相同，且是由不可控制的天氣、降雨量、政策和事件所決定，如牌卡內含有颱風、梅雨季或乾旱等影響水資源的因素。因此同學的行為牽涉到的水足跡多寡，會有強烈地感受與印象。遊戲過程，端賴「水。求生。永續」的競爭機制，但是，若遊戲中有任一玩家因為缺水過多健康值降為零時，則全體玩家皆輸，這將促使同學間除了競爭，也得互相援助水資源，以維持基本的社會正義。

藍晶方舟是款可以讓全班（24）人一起進行的大型桌遊，其中「藍晶」代表著水資源，「方舟」則是指臺灣，各小組扮演有大量用水需求的組織，以及代表組織中的職位（圖 4），呈現擬真的社會環境、經濟和環境的兩難問題。遊戲過程中，充滿各行業的角力與拉扯，彼此間環環相扣、競爭又相互依存的關係情境。提供玩家大量的邏輯思考、談判協商、解決問題的機會。藉由這樣的角色扮演模擬，讓水資源調適、永續經營的理念、各角色行業的體認與感受，落實在同學身上（圖 5）。



▲ 圖 4 活動開始前的組織分配及角色挑選。



▲ 圖 5 活動進行中老師從旁協助及提醒。

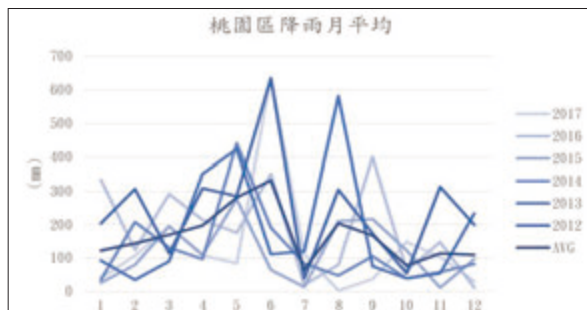
評量方式：各小組間競賽結果採額外加分，但若遊戲結果是全輸，則全體不予加、扣分。

三、降雨與水庫存量

近年桃園移入的人口總數不斷攀高，除了市區逐漸壅塞之外，用水量也大幅增加，而石門水庫因淤塞的問題，儲水量大不如前，因此每年某些時段若沒有相當量的降水挹注，將可能會出現限水的情形。

此課程需要把學生帶至電腦教室或提供每組數台筆電、平板，教師在未教導桃園地區降雨的時空分布前，先口頭問各組學生，過去停水的日子大約都是在幾月份，接著在讓他們利用中央氣象局的降雨資料進行驗證，桃園區的雨量變化（圖 6）真的跟石門水庫的水位變化（圖 7）一致嗎？

其實兩者的變化不太一致，當大家發現這點之時就是追問他們原因的最佳時機，讓各組腦力激盪，為何有時雨量多，存水卻少；

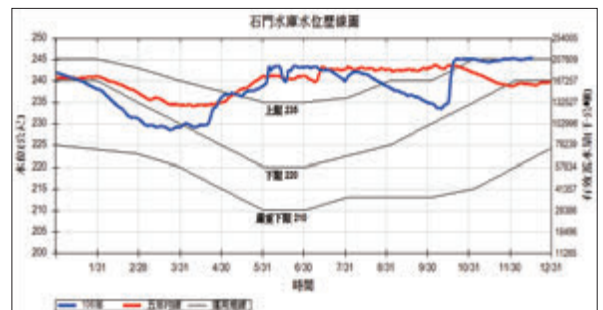


▲ 圖 6 桃園地區 2012-2017 各月份降雨及 6 年來降雨月均值變化。

有時雨量少卻沒有缺水？此課程的實作部分主要為資料的搜尋、整理及作圖，除此之外也讓他們對於前面的資料整理及作圖之結果進行分析，而要提出合理、又有說服力的解釋，便需要閱讀相關的文獻、報導甚至納入更多的項目一起討論。

最後各組簡單整理後，上台簡要報告說明他們找到的異同以及原因。

因為平常在課堂上操作電腦、筆電或平板的機會較少，因此延續水資源利用的主題，讓大家進入「環境品質文教基金會網頁」(<http://www.eqpf.org/WaterCalculator.aspx>) 計算每個人每天的水足跡（圖 8），再次讓同學們了解自己平常的作為，造成了多少水量的損失，並對現在及未來的生活習慣進行反省。



▲ 圖 7 石門水庫近五年及 106 年水位歷線圖。



▲ 圖 8 環境品質文教基金會之水足跡計算機，(a) 總統計項目分類，(b) 飲食方面水足跡計算，(c) 住想方面水足跡計算。

評量方式：各組的分析報告，以數據分析正確性、原因解釋合理性為主要評分依據，內容的完整度及流暢程度亦納入考量，另外上台簡報狀況如優良者則再額外加分。

十 教學建議

此課程主軸為「水資源」，除了帶領學生瞭解世界水資源的變化、臺灣水資源的匱乏、自身對水資源的使用以及水質安全與否外，還有另一個目標，即是培養學生對不瞭解的事務進行探究以及為了解決問題而動手實作的能力，課程內容其實所運用的科學理論並不艱深，也並無需要背誦記憶的部分，因此在執行本課程的時候，老師僅需特別提醒自己，不要對每個問題給予固定且正確的答案、不能看到學生做錯就馬上糾正，讓學生學著自己對自己的實驗、觀察或分析結果作出解釋，引導他們找到問題、面對問題甚至製造出新的問題。

坦白說，一開始進行此類課程時，大多數學生會感到無所適從，因為沒有課本、講義甚至老師也沒給明確的步驟，但是，第一次覺得奇怪、第二次覺得茫然，慢慢地幾次後會逐漸養成新的習慣，習慣自己思考、自己驗證、自己給出合理的解釋，而非等老師告訴他們這題是因為這樣所以那樣，那麼我們就不用再擔心他們的學習了。

十 參考資料及圖片來源

- 艾奎克 - 文教創意坊
<http://educrecul.blogspot.tw/>
- 石門水庫全球資訊網
<https://www.wranb.gov.tw/mp.asp?mp=4>
- 中央氣象局
<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
- 環境品質文教基金會
<http://www.eqpf.org/WaterCalculator.aspx>
- 圖 4、5 由陳筱嵐老師提供
- 圖 6、7 石門水庫全球資訊網
- 圖 8 環境品質文教基金會



龍騰文化事業股份有限公司
Lungteng Cultural Co., Ltd.



康熹文化事業股份有限公司
Kang Si Cultural Co., Ltd.

臺北總公司 24891 新北市五股區五工六路**30**號
臺中分公司 40755 臺中市西屯區環河路**86**號
高雄分公司 81368 高雄市左營區重信路**272**號