

2012 深耕輻射與核電知識訪日交流心得

陳 好 甄 國立南投高中三年級

e-mail : hooya950313@yahoo.com.tw

前言

去年參加清華大學深耕輻射與核電知識科學營，剛好是 311 日本福島核電廠爆炸事件經過不久，因為大家對於看不到的輻射危險總會特別恐懼，包括我自己在內，原本對於輻射也是一知半解，再加上報章新聞談話節目大力放送核輻射的危險和恐怖，大家都人心惶惶，對核能發電充滿無限的恐懼。從核四廠建立之初至今，常常看到一些反核人士，高喊著環保及防止輻射污染的口號抗議時，相信很多人和我一樣，對於反對核能只是基於對核污染的粗淺認識而已，大家對於反對核電廠建立的觀念上，缺乏深入的認知與了解，所以一直無法達成應有的共識，絕大多數的人也都想了解所謂的『真相』，懷著對核能的好奇心，而我在去年參加了貴校所舉辦 2011 暑期「深耕輻射與核電知識」科學研習營活動，開啟了一連串的核電知識之旅，讓我對這方面有了更進一層的認識。很高興今年能有機會到日本參觀核電設施，以及與日本學生交流對核能的想法。



福島高校交流



女川核電廠展示館

我眼中的核能

核能發電確實蘊藏著危機，但經由媒體聳動的報導，核電廠儼然是顆原子彈，經過深入的了解會發現我們現代的人類無法不依靠核能發電。核能有許多用途，目前我們利用核能當動力從事發電，提高人類的生活水準；在醫學上利用它來醫治病症，增進人類的健康；在農業上利用它來消滅病菌和害蟲，延長蔬果儲存時間，改良農作物的品質，增加農業生產；在工

業上利用它的放射來檢查產品；在科學上利用它來從事太空探險，製造核能電池，測定化石年代等等。由此可知，核能在我們日常生活中的用途非常的廣泛。

核能發電廠和火力發電廠一樣是利用水蒸氣來推動汽輪機，帶動發電機發電，其不同的是核能發電是用鈾作為燃料來代替煤碳、石油或天然氣的燃燒，看不到火亦看不到煙霧，不會造成空氣汙染。目前核能發電是利用鈾 235 為燃料，當它在反應爐中進行核分裂連鎖反應時，會產生大量的熱能，將水加熱為水蒸氣，推動汽渦輪機，再帶動發電機產生電力。

臺電公司核能一廠、核能二廠所採用的核反應爐是沸水式反應爐(BWR, Boiling Water Reactor)，其爐心燃料所產生的熱能，使鈾燃料棒周圍的水直接沸騰產生蒸氣，再把蒸氣用鋼管引導到汽輪機帶動發電機發電的，然後以海水冷卻回復液態送回壓力槽內。沒有化為水蒸氣的水，則以再循環水泵送出高壓水帶動噴射泵，在壓力槽內造成強制循環。

臺電公司的核能三廠所用的核反應爐是壓水式反應爐(PWR, Pressurized Water Reactor)，以爐心把水加熱到華氏 600 度，但是由於受到高壓力，水也不會沸騰，把這不會沸騰的高溫熱水，再用鋼管引到一個叫「蒸汽產生器」的設備裡，把熱管外圍的水加熱，使之產生蒸氣。管內和管外的水不曾相混，所以，管內的水可以用抽水機打回爐心，再用管外的蒸氣引到汽輪機來發電。

核能發電能為我們減少二氧化碳排放的量，並且一粒燃料丸就能產生電子 2044KWh，燃料丸體積小、重量輕，運輸及儲存方便，其發電成本穩定較不易受到國際能源價格波動的影響。台灣有超過 99%的能源依賴進口，雖然鈾的進口會造成碳足跡，但在核能發電的過程不像火力發電般產生大量的二氧化碳，核能發電可能為我們減少溫室氣體，且擁有強大的發電功率，我們的生活中怎麼能缺少核能發電這樣的一個好選擇。

大眾眼中的核能

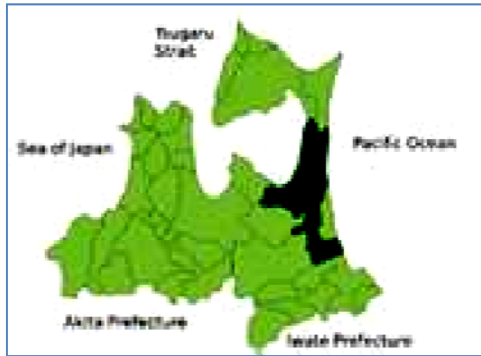
「談核色變」——一般大眾對核能發電最主要的疑慮之一就是核輻射的問題，以往民眾大部分都是經由媒體報導認識核能，幾乎都是由被動方式得到核電資訊，只有少數真正想了解核電的人才會主動尋找資料。畢竟媒體不是萬能，也不是核電這方面的專家，有時製造誇張的標題，為的就是吸收較多的讀者，較為糟糕的是甚至連報導內容也錯誤連連，這更加深民眾對核能不好的印象。為消除不必要的疑慮及恐懼，有必要增加人民對放射核種的來源、種類及分佈的了解，並定時或隨時(如有必要)公佈核電廠環境監測結果。

311 日本福島第一核電廠爆炸事件，經由媒體的大肆報導，距離日本不遠的台灣人民從此對核電廠貼了害怕的標籤，害怕的心理來自於對核電的不了解，他們可能只看見核分裂後產生的輻射所帶來的危險，卻忘了核電帶來的強大效益。

認識核能發電

核電廠一旦開始運轉後，每天就會不間斷的生產放射性廢棄物，其中有所謂的「低放射性」核廢料，這裡面包含核電廠內的工作人員的防輻射衣、手套、接觸過一些低放射性物質的東西，使用過後需要丟棄的就是低放射性的核廢料。需經過壓縮，然後用水泥被覆，放入用銦元素製成的防腐蝕的桶子。這些物質人們只要待在核廢桶旁五小時就有生命危險。最近國內也為了低放射性廢棄物儲存在蘭嶼的議題吵得沸沸揚揚，蘭嶼拒絕再接受核廢料，反觀現在日本把這些低放射性核廢料，全部拿去青森縣的六所村核燃基地存放，預計在那裡埋設

三百萬桶，管理三百年。起初日本的青森縣六所村低放射性廢物最終處置場要設立時，其實居民們一開始是不太反對的，只有少數外地來的和專業反核人士站反對立場，因為誰能預料三百年後，這些核廢桶會變怎樣？這些廢棄物的管理業者還永續存在嗎？但自從設立後到現在將近 20 年，居民們也說他們不可能是完全不擔心的，但低放射性廢物最終處置場蓋了那麼久，到目前為止也沒有造成任何影響，反而讓他們的生活更富裕。



左圖：日本青森縣的地理位置



右圖：青森縣六個所村低放射性廢料處置設施鳥瞰圖

但除了這些「低放射性」核廢料外，另有一種「高放射性」核廢料，也就是核能反應爐內所用完的燃料，如未反應的鈾元素、燃料棒、控制棒、重水等，具有高度的放射性。它必須與玻璃一起固化，並封閉在堅固的金屬容器裡，人類只要站在容器旁兩分鐘就會死亡。這些散發高熱的核廢料必須持續冷卻三十至五十年，等溫度降低後再把它埋入幾百公尺深的地底，存放一萬年以上。北歐國家—芬蘭採取在地下四百公尺挖核廢料儲存庫，盼能將此至少密封十萬年。北歐國家因為地盤非常穩定，還可以期待不會發生地層變動而暴露出來，雖然誰也無法保證、見證那麼久以後的事，況且台灣的核電廠密度排名世界第一！同樣位於環太平洋地震帶的日本、台灣，怎麼找也找不到這種地方可以儲存，還有台灣的核電廠有個特色是：鄰近地帶不是有斷層就是有海底火山；當前最燙手的問題就在於最終處理場，這問題至今仍遲遲不能解決，也因此造成人民心中的不安。

目前這些東西仍大多放置於核電廠內，尚未外送處理。現在各核電廠暫時都將高輻射的核廢料，儲放在各自廠區內原子爐上方的核燃料冷卻池裡，原本是三十組一束，插在類似傘架的長方形容器裡，但後來變成六十組一束，現在又變成九十組一束。目前各核電廠的冷卻池都大爆滿，用過的燃料棒沒地方放，無法換新棒，只好增加冷卻池的儲存密度。核電廠是用來發電，已是輻射污染區，再存放廢料無異是污染加污染。尤其廠區比一般地區的中子數多，中子我們是看不到，中子碰到一般金屬的鈷五十九，就會變成具有放射性的鈷六十。國內處理核廢料會把廢料放在鋼桶裡面，但廠區的中子會讓鋼桶的鈷五十九活化成可以致命的鈷六十，再與核廢料的鈷六十加起來，最後是加強整體的輻射強度，所以把核廢料放在廠區是件極危險的事情。台灣核電三十幾年來，上萬組用過的燃料棒都儲放在四個原子爐上方的冷卻池裡，每個池有二、三千組，這樣的數量非常驚人，在世界上也很少見。核廢料之間的儲存距離非常重要，單單是燃料棒吊上吊下更換時不小心掉落的風險，或作業人員不小心將重物掉到池裡，都有可能造成破損而產生核反應，池裡的燃料棒密度越高，發生事故的可能性就越高。

各國處理核廢料方式不是埋藏在陸地下就是掩埋在海底，因為輻射線有害人體，所以當

然是埋得愈遠、愈底層對人類來說是愈安全。話說低階放射線至少要監測 300 年才可以確定其安全穩定性，可是台灣有些核廢料是屬於高階放射線，就算監測 300 年也沒用，因為毒性是一點也不會衰退。再想想那些需要看管上萬年的核廢料、還有管理核廢料也需要電力跟石油，到時能源的總使用量必定超出核電所產生的能量。而且負責管理這些東西的不只是我們，也是往後世代子孫的職責，所以必須做好萬無一失的安全措施。

核廢料的輻射會對人體有危害，照射劑量不宜過多，輻射可能造成細胞突變，甚至導致死亡，種種因素正是人們害怕核廢料放出輻射的原因，但如果可以把低放射性廢料妥善的處理，將會得到人民的信任和多一點放心，就可以像日本青森縣六所村低放射性廢物最終處置場一樣，在附近的奧入瀨溪流依然優美，青森出產的蘋果依然香甜好吃，不知道有座低放射性廢物最終處置場在其中的人可能還會很驚訝，這樣的好山好水竟然完全不受影響。另外核燃料在反應爐中使用後，其中仍含有 97%~96%可再重複使用的物質(如鈾與鈾的原子)，核燃料棒所含的「鈾」不僅可以再供反應器使用，也可以成為核武的製造原料(這部分就有些可怕了)。

日本的核電

日本六所村低放射性廢棄物最終處置場位於日本青森縣上北郡六所村，該處置場於 1990 年開始興建，1992 年完成並開始運轉。第一階段容量為 40,000 立方公尺，約為 200,000 桶，處置設施規劃為 40 個處置坑，每一個處置坑為 24 公尺長、24 公尺寬、6 公尺深，劃分為 16 個處置槽，每一個處置槽分為 8 層，每層 8 列、5 行，可容納 320 桶廢棄物桶(每桶 55 加侖)，每一處置坑可容納 5,120 桶。目前每年約接收 20,000 桶，預估 2012 年告一段落。日本六所村低放射性廢棄物最終處置場，係視實際需求分階段規劃施工，當最終階段完成後，六所村處置場之處置容量將可達 60 萬立方公尺，約為 300 萬桶。

低放射性廢棄物先暫存於廠區貯存設施內，最後仍需運至最終處置場處置，低放射性廢棄物最終處置場的安全功能設計，世界各國皆採「多重障壁」的概念，也就是利用多項的防護措施，隔絕放射性廢棄物於人類生活環境之外。這些多重障壁包括放射性廢棄物固化體障壁、廢棄物容器障壁、工程障壁、填充材料障壁、排水設施障壁及天然障壁等，且將來處置場尚需監管三百年，故在此嚴格管制下，並無核種外洩之虞。

選擇最終處置場時最重要的考慮是如何避免或減少因地下水等媒介將放射性核種遷移至人類生活圈。最終處置場可藉多重障壁之設計來阻滯放射性核種的遷移，確保長期置放的過程中，不致對環境品質與人類生活安全造成不良之影響。目前美國、法國、日本、西班牙、瑞典、德國、英國、芬蘭、南非等國皆採用此種方式處置低放射性廢棄物，且順利運轉中。

日本的 311 大地震，在比較接近震央的女川發電廠沒有爆炸，但距離較遠的福島第一核電廠卻爆炸造成輻射外洩，從這就可以了解到核電廠發生爆炸問題算是人災而不完全的是天災，因為人為的連續疏失，以及訓練不足，再加上發電機具不合標準所導致，在台灣所採用的標準發電機具，更加強對員工進行危機處理的實地演練，何況由國外核電廠發生問題後，也實際證明了圍阻體確實是有功用的，因此在安全疑慮上也可安心。福島在核電廠爆炸後輻射外洩，導致民眾對核能發電充滿無限恐懼。東京距離福島核廠的直線距離約為 220 公里，與輻射源之距離增加輻射場的強度會急遽降低，所以不去考慮直接輻射的影響。但這次核電

廠意外影響我們較嚴重的是核分裂時產生的分裂產物散逸出來，也稱之為放射性落塵，會產生影響人體健康的游離輻射。其中最先偵測到的放射性元素是碘 131 和銫 137，其次是銨 89 和銨 90 等。



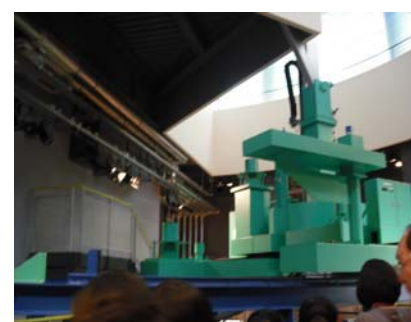
女川核電廠



受地震肆虐催毀校園



女川核電廠展示館



女川核電廠展示館

放射性物質的特色是有半衰期（其放射性活度衰減一半所需的時間），其中，核能意外中易被測出的銫 137 半衰期達 30 年，也就是大約要 300 年後才能在自然界中消失；在福島核災中也已測出銫 137，這樣的物質進入海水裡，雖然大海具有相當的自清能力，可以稀釋放射性物質在環境中的濃度，但並無法稀釋這些物質本身的放射性。也就是說，輻射污染已隨著福島核災進入海洋，將直接影響海洋生物、間接透過食物鏈而進入人類及海洋高階掠食動物如鯨豚、鮭魚等的體內，導致「體內受曝」，這比起體表受曝的殺傷力更大，且輻射物質比起工業常見的重金屬毒害更加難以代謝，進入體內的放射性物質，通常在三至五天內會隨著汗水或小便排出身體；但這些物質在體內循環的過程會對人體帶來傷害——更何況它們並不會百分之百排出體外。長年累積下來的放射能將會帶來疾病。

日本經濟產業省總合資源能源調查會基本問題委員會，將 2030 年核能依賴度目標設定為 0%、20%、25%、30% 等 4 種方案，日本政府於 2010 年策定的能源基本計畫中所設定的目標為在 2030 年前將再生能源依賴度提升至 20%，日本中央環境省議會預估 2020 年日本太陽、風力等再生能源導入比重最高將達 20.1%、2030 年則將上看 34.8%。2030 年的公投，日本民眾都傾向於核電 0% 發展，但沒有核發發電又可能造成其他問題的形成。

福島核電站在事故前，並不是對海嘯防護能力不足沒有認識，現在已有報導，東電研究人員數年前做出的估計表明，該核電站出現超越設計基準海嘯的概率絕對不能忽視，國際原子能機構組織的同樣評議報告中，也指出了海嘯防護能力不足的問題，日本的民間核資訊機構也向東電提出過這個問題。但即使如此，福島核電站依然通過了監管機構延長服役壽命的

審查。顯然，這反映出的並不是某一個監管操作上的局部問題，而是整個監管體制的問題。核安全監管從根本上來講，是一個糾錯體制，福島核電站事故使整個世界核能工業失去了藉口，這是在一個有最認真的監管當局，有最好的企業安全文化，當今核電主流堆型上發生的事故，事實驗證核能安全一旦失控，所造成的負面影響是海、陸、空、動植物包括人類都無法豁免的。過去，人類抱著「人定勝天」的信念，用層層圍阻體、厚厚的水泥牆來建構核子反應的安全係數。如今，在氣候變遷日趨極端之際，日本的超級震災及海嘯戳破了核電安全的神話。福島核電站事故對日本和當前的世界核電工業界無疑是個悲劇，但對人類的未來也可能是一件幸事。

輻射疑慮

輻射依其能量的高低或游離物質的能力可分為「非游離輻射」和「游離輻射」兩大類；非游離輻射指能量較低無法使物質產生游離的輻射，例如太陽光、燈光、紅外線、微波、無線電波、雷達波等。游離輻射是指能量高且能使物質產生游離作用的輻射，通常又可區分為：電磁波輻射，如 X 射線及加馬 (γ) 射線；粒子輻射，如阿伐 (α) 射線、貝他 (β) 射線及中子射線。一般所謂的輻射或放射線，都是指游離輻射而言。

不同的輻射具有不同的穿透能力，阿伐 (α) 射線的穿透能力最弱，一張紙就可以全部把它擋住。貝他 (β) 射線雖能穿透普通的紙張，但卻無法穿透鋁板。加馬 (γ) 或 X 射線的穿透力最強，需要適當厚度的鉛板或更厚的混凝土才能有效地阻擋，而能有效使中子減速而降低能量的材質則為含氫的水、石蠟或混凝土。

除了核能電廠輻射的問題，另一個冷卻水所造成的熱汙染，核電廠大都在冬季進行定期保養。保養結束後，幾十噸的放射性廢水會被直接排入大海。而在平常運轉時，也會有每分鐘數十噸單位的大量廢熱水被排進海洋。核電廠的冷卻水處理措施是將冷卻水混以大量海水降溫之後再將之直接排出到海洋，在核電廠出水口附近海水的水溫會大約上升 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ ，海中的生物，無論是浮游動植物甚至到一些小型魚類，它們對水溫上升的敏感度比人高很多，所以很明顯此溫度上升範圍對於一些較敏感魚類來說已經足以致命或致病，另外一個原因就是溶氧量，溫度上升隨之影響的對是水中的溶氧量，溶氧量降低，會使該部分海域的環境負載力下降，影響生物族群的數目和大小。

除了排放的廢熱水之外還有一點是從進水口引入大量海水時，往往會將魚苗、魚卵、或是一些小型比較無法抵抗進水口水流的生物吸入到管線中，影響到魚苗或是新生海洋生物的存活，使得在下一年的時候這些生物族群無法達到該有的族群數目及規模，但這都是影響附近海域生態的最大關鍵。政府或電力公司總是滿口保證核電絕對安全，久而久之國民也對核電造成的環境影響變得莫不關心。

核電未來的發展

國內每次碰到停建核四的訴求議題時，台電就會威脅大家一核四停建，台灣可能大缺電。到底台灣沒有了核電，我們的電力夠不夠用？這個答案，今夏的日本已經替我們做出解答，經過福島三一核災教訓之後，日本產業開始深思力行沒有核電的可能，省電成為全民首要行動，並且證明是做得到的，日本汽車工業龍頭鈴木汽車董事長鈴木修即表態：身為人類認

為應關核廠，沒有核電也不會缺電。東京這個擁有三千萬人口的大都市，過去日本總供電量中，核電曾經占到近三成的比率，在這個夏天失去五分之一的電力供應條件下，每天在超過攝氏三十二度的火熱七月之後，東京不僅燈火通明，還有很多額外發電能力，原本根據估算只要省 15% 電力就可以了，但現實卻表現得更好，透過工廠運作時間錯開的方式，工業界省下了 25% 的電力，擁有 10 萬人口的東京大學更率先省下 45%，日本人民發現，自己原來可以不那麼依賴核電，那台灣呢？台灣是否需要繼續依賴核電呢？

既然日本做得到，相信台灣也做得到。核電、用電都是生活的基本問題，台灣本身在核電議題上欠缺明確方法論述，以至於很快就變成少數掌權者的政治議題操控。當有一方反核，另一方甚至將他套上藍、綠色彩，如此一來便無法理性平和對話，永遠無法將問題本質好好地說清楚。台灣一旦發生如福島規模之核災，台灣如何應變呢？原能會只規劃 5 公里範圍內往外撤，而學者則推算 150 公里最安全，因此假設核一、核二（加上核四）出狀況時，當地居民至少得撤到南投縣以南；換成是核三廠拉警報，則台南新營以南的民眾皆得往北撤。目前來說疏散幾乎不可能，畢竟一但高輻射外洩那範圍之廣是我們無法推算想像的，最好的作法就是防範，在出問題前能有效的檢測出而進行關廠或修繕，可是有人會覺得奇怪，為什麼不把核電廠暫停起來修理？因為核電廠若是停機十小時，台電一座機組損失就至少新台幣二千四百萬元，台電講求的是「運轉效益」，運轉是為了賺錢，電力公司才不會做這種虧本的事，在企業眼中，金錢比人命重要。必須在相當緊急時才會「停機」進去維修，大部分時間是不輕易停機維修的！

若以福島 311 的規模換算，台灣人民勢必將無路可退，而且當核災發生時，並非如天災發生瞬間後即漸停頓進入善後，核災是一場漫長無終了淹沒戰。以台電的立場看來只是機具設備的損失，且依照合約，台電有免責權，不須為天災導致的核災負責。近年來天氣異象不斷，誰也不敢說我們將來不會面對核災窘境，因為天災的變幻莫測，災變有可能就因此爆發，至今我們雖還未曾感受到輻射外洩的威脅，經日本 311 強震帶給大家不少省思，不要等到災難無可挽回的程度，才會想到要徹底的改變與檢討。

我認為無論何種發電方式，一定程度的污染是有的，由於目前地球排放二氧化碳過量，現今各國的發電方式—火力發電是主流，造成二氧化碳排放而導致溫室效應的問題，因此要降低二氧化碳的排放必為減少火力發電而採其他發電方式，然而自然的發電方式如水、潮汐、地熱、日光能發電，不是成本太高就是供電不穩，核能發電是原子不斷分裂所散發的能量來發電，雖然核能發電不會製造二氧化碳，卻有輻射外洩與核廢料處理的問題，強烈的輻射產生會對人體有害，若是能以核融合的方式來發電就無這些疑慮了，現在有許多學者朝這方面來研究，在沒有其他更好的發電方式前，核能發電大概是最後的選擇，所以整體而言無論哪種發電方式，最重要的問題是在於對有可能造成的污染有何防範措施。

學習心得

此次到日本福島高校與日本學生交流，交換很多對核能的想法，得知日本人民提議公投取消在 2030 年前把核電提高到 50% 的計畫，日本將要走向核電 0%，日本的學生也為此擔憂抱持著觀望態度，核能發電有利也有弊，兩者之間一線之隔，令人又愛又恨。日本政府向來仰賴核電和化石燃料為能源政策的支柱，現在要新增兩大支柱：包括太陽能、風力和生質在

內的再生能源，以及節約能源。日本在節約能源方面的成就向來領先群倫，但在減少溫室氣體排放上落後給其他國家，比美國和歐洲還慢採用太陽能和風力發電，今後必須致力走向於發展一個省能源社會。

目前的核能發電利用的是核分裂，現在人類正朝著核融合的方向研究前進，但核融合就像太陽內部的反應一般，釋放出的熱能高出核分裂好幾倍，這樣的高溫還尚未找到最適合的材料來承受。核融合的成功發明將會是人類的最大福祉，人們也將不會再為核能發電而論戰，但目前為止在核融合尚未能正式使用來發電之前，我們只好依賴核分裂的方式發電。許多人會提倡可以使用太陽能發電、水力發電或風力發電，但這樣的再生能源發電通常設備的費用昂貴，發電效益也不一定夠好，種種發電方式有利也有弊

日本 311 地震與海嘯重創福島核一廠，掀起民眾對核電廠安全的疑慮。已嚴重阻礙全球核電復甦腳步。也導致許多國家改變對核電的立場，例如德國已宣布暫時停建新的核電廠。加速實施一項 25 年逐步廢除核能的計畫，希望在 2020 年前就達成目標。日本經過限電考驗後發現暫停建造新的反應爐帶來的衝擊沒有想像中嚴重，因此許多人不認為日本的需求有大到需要興建這麼多座核電廠。展望各國逐漸限縮或停止對核電的依賴，轉向可能提高石油價格的策略，發展太陽能和風力等再生能源，我們政府面對核四廠問題更當審慎評估。

參考資料

1. http://content.edu.tw/junior/life_tech/tc_jr/student/course/305/305source20.htm
2. <http://www.oceantaiwan.com/society/20010222.htm>
3. <http://www.moneydj.com/KMDJ/News/NewsViewer.aspx?a=5a06acc7-1df7-4b44-96ba-63ff28f68db2>
4. <http://jjdavid-design.myweb.hinet.net/science0.htm>
5. <http://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=330&t=2083873&p=1&img=0>
6. <http://www.books.com.tw/http://www.businesstoday.com.tw>
7. <http://e-info.org.tw>
8. <http://blog.yam.com/>
9. <http://mag.epochtimes.com/>
10. <http://tw.myblog.yahoo.com>
11. <http://only-perception.blogspot.tw/>