

日本科學教育與能源發展

有馬朗人

日本同位元素協會會長

1. 日本小孩的理科學科能力和成人對科學技術的理解不足

日本的雜誌情報、大眾媒體敘述，最近 20 年來，日本小孩的學科能力低下，此一說並不正確。仔細觀察日本的文部科學省從 1960 年代至今所收集的學科能力調查資料的話便可以理解，(圖 1) 為現在小孩的數學學科能力。

針對小學生、國中生的數學學科能力、理科學科能力進行的國際性調查稱作 TIMSS。(圖 2) 為 TIMSS 針對小學生的理科學科能力所調查的資料。可判斷出日本、台灣、韓國、新加坡等亞洲各國的學生其理科學科能力較高。(圖 3) 為 TIMSS 針對國中生的理科學科能力所調查的資料。新加坡、台灣、韓國、日本依舊居於上位。看不出日本小孩在國際性的學科能力評價上有低下的問題。可看出亞洲各國小孩的學歷較高，針對數學的調查，TIMSS 的結果也和理科的調查幾乎相同。

我們來看一個有趣的數據。對於學習理科的喜好程度為橫軸，考試的成績為縱軸。成績較好的國家集結在左上方；而出現在右方的國家的小孩其理科成績較低。從(圖 4)來看，可以解讀是，如果想讓理科學科能力變高的話，只要讓小孩討厭學理科就可以了。看到這傾向我也嚇了一大跳，這個現象呈

現了有馬論點的反論，稱為有馬反論(paradox)。此為日本、台灣、韓國、香港等地的共通現象。至於生成此現象的原因為何，希望關心教育事業的各位能好好思考。

15歲(高中生)的科學學科能力的國際比較評估依照 OECD 進行。這個稱為 PISA (圖 5)。從這圖表也能判斷出日本、上海、香港、新加坡等地學生的學科能力較高。由於參加國的數量從 2000 年的 31 國增加到 2012 年的 65 國，因此順位多少會進行變動，這是理所當然的 (圖 6)。

日本小孩的理科的學科能力雖然較高，但成為大人後，對科學技術的理解度卻反而下降，歐洲和美國的小孩雖然小時候學科能力低，但成為大人後，反而對科學技術的理解力變高 (圖 7)。

從此事實可看出，日本在科學技術上的生涯學習部分有其問題存在。這是聽聞福島第一核電廠事件產生了放射線、放射能後，日本人出現過剩反應和恐懼心的原因之一。

以前日本國中的理科教育有個重要的缺點，從 198 年到 201 年為止，並未編入關於放射能的教育。在那時代接受教育的人現在皆為成人，成人對放射線、放射能理解不足的話，對國中的理科教育有極大的影響。從 201 年以後，國中理科教育又編入了有關放射線、放射能的教育內容。同時也積極的讓國中的理科教職人員，進行針對放射線、放射能的研修會。放射線、放射能肩負重要職責，需利用於醫學、工學和農學中，同

時也必須正確地教育放射線、放射能的危險性。這是國家的責任。

慶幸的是，日本成人的理解力和數學學科能力在全球排名非常高，這點在 2013 年 PECD 的調查中可以得知（圖 8）。是相當不錯的成績，我們希望，若科學技術中的生涯學習也能夠更加充實的話，是再好不過的了。而現今日本全國正致力於小、國中生到成人放射線、放射能教育。

2. 一次性能源以及電力需求的增加

日本今後人口將會減少。但世界人口在 2011 年突破了 70 億人，2050 年可能會增加至 92 億人（圖 9）。到了 2100 年，可能將達到 100 億人以上（圖 10）。每一個人究竟需要多少能源呢？根據圖 11，美國、加拿大的國民 1 年消費的石油換算約需 7 噸，歐洲各國、日本、韓國約 4 噸，中國為 1.7 噸、印度為 0.6 噸（圖 11）。2011 年的 70 億人中，平均消費量為 1.8 噸／年。2100 年若全世界的人比照歐洲各國生活狀況，1 年需要 4 噸的能源。人口暴增到 100 億人的話，用簡單的計算來看，可判斷 2100 年需要的能源消費量為現在的 3.2 倍。

這只是非常粗糙的計算法，但也相去不遠了。根據國際能源機關 IEA 的預估，2035 年需要的一次性能源為 2010 年的 1.35 倍，非 OECD 的需求則為 1.6 倍。

以此增加比例延伸來看，100 年後跟 2010 年比較的話，將延伸到 140%，也就是 2010 年的 2.4 倍。這數字和方才粗略預

測的 3.2 倍差距並不到，也就是說，2100 年所需要的一次性能源，必須要有比現在增加 2 倍到 3 倍左右的覺悟。

電力的部分又是什麼狀況呢？根據 IEA 預設 2035 年需要 2010 年的 1.73 倍電力。這比一次性的需求延伸還快了 2 倍。

順便一提，日本的能源資源自給率只有 4%。台灣的一次性能源也有 94% 仰賴進口，也就是說，自給率為 6%。不管是哪個國家，都必須致力於保障能源的安全。

3. 地球暖化

根據 IPCC 數據，地球確實出現了暖化現象，從 1950 年以後，觀測到的變動可說是史無前例的大。空氣和海洋的溫度上升，雪和冰的量減少，海水平面上升，空氣中的溫室氣體量增加。這張圖大家都知道，顯示出這 100 年來，溫度上升了 1°C 左右。而這張圖來看，自從工業革命以來，大氣中的二氧化碳量從 280ppm，到了 2000 年上升至 360ppm。這 10 年來，大氣中的 CO₂ 含量更是上升到接近 400ppm。最近的 IPCC 報告中，大氣中的 CO₂ 量為 ppm。

根據東京大學住明正教授們的計算，非常明確可指出，人為釋放溫室氣體（主要為二氧化碳）是地球暖化的原因。

若將人為釋放 CO₂ 的影響算到太陽或火山噴發等的影響內，來進行計算的話，空氣的溫度顯示為紅線，和顯示為黑線的實測值幾乎一致（圖 12），只靠自然影響的話，便完全無法說明黑線所顯示的進 20 年氣溫上升的實測值。

根據最近 IPCC 的報告，從工業革命開始，為了讓氣溫上升 2 度以下，到 2050 年以前，人為的溫室氣體必須從 40% 減少至 70% 才行。因此，火力發電必須大幅地減少。

4. 再生能源

我們來考慮不會釋放二氧化碳的發電吧。首先需要大幅延伸再生能源，但為達成此目的，需要進行長時間且巨大的投資。圖 13 為 IEA 針對世界總發電量的預測。接下來圖 14 為再生能源的預測。根據這些預測，除了水力發電以外，再生能源進行的發電，在 2010 年只佔了總發電量的 4%，2035 年也只不過佔了 15%。

我們以德國做為例子吧。德國從 2000 年開始導入買斷制度，大幅延伸了再生能源的發電，其努力可堪稱為模範。而除了水力發電以外，2010 年的發電量達到了 829 億千瓦。這樣的量非常地龐大，我們向德國的努力表達致意。但卻只有日本在 2010 年的總電量（9762 億 kW）的 8.5% 而已。2010 年，日本的核能發電量為 3004 億 kW，德國在 2010 年除了水力以外的再生能源發電量只有日本 2010 年核能發電量的 28% 而已。因此，即使德國做出這麼大的努力生成的再生能源，若要取代日本核能發電，還需要 30 年才行。

德國非常致力於開發再生能源的理由，主要目的是為了地球暖化防範措施，必須減少火力發電量。雖然他們打算停止使用核能發電，但打算持續使用到 2022 年。另外，以石炭為中

心進行的火力發電已達到了 50% 左右，依然釋放出大量的 CO₂。

為了停用能源，日本必須要依賴火力發電，為了進口化石燃料，每年必須支付約 4 兆日圓（約 400 億美元）國家財產，這是非常龐大的經濟負擔。

如果得顧慮到地球暖化防範措施的話，日本必須停用核能發電，並且已再生能源代替核能發電和火力發電。是否有可能在短時間增加發電量呢？對日本來說，為了防止地球暖化、規劃經濟力的安定化，以及保障能源的供給，必須要慎重地檢討能源政策，盡快訂立縝密的能源計畫。

5. 福島第一核電廠事件

2011 年 3 月 11 日日本東北發生毀滅性的地震，伴隨著海嘯的發生。芮氏規模 9.0、海嘯高度甚至超過了福島第一核電廠的 15m。

此次東日本大震災、大海嘯災害中，台灣送來了大量的救難金，台灣人不管是物質上還是精神上，都對日本人伸出了援手，日本國民在此向各位傳達感謝之意，非常謝謝你們。

海嘯奪走了約 16,000 人的生命，大約 3,000 人至今行蹤不明。福島第一核電廠事件中出現的放射能沉降物至今並未造成死傷，但使得多數居民被強迫疏散，移動到避難所等處，讓居民承受肉體與精神性的疲勞，甚至造成 100 人以上因此死亡。我們在此對海嘯以及核能事件造成多數人民死亡表示哀悼。

為了加強防災工學，我們強調，今後必須要更加致力於防備天災。另外，總被害額達到了 1700 億日元，共計 130,000 間住家完全毀壞，270,000 間半毀。受到被害的耕作地面積為 24000ha，有 4 處的核能發電和 12 處的火力發電遭到破壞。

地震帶上有 15 個商業用核能，其中 14 個因為海嘯而受到傷害。特別是福島第一核電廠中，由於 3 個反應爐的爐心受到損害，造成非常嚴重的事態。

發生地震和海嘯前，福島第一核電廠的 6 個反應爐中，1、2、3 號爐正運轉中，4 號爐進入周期檢查，所有的燃料棒都從爐中移動到使用過的燃料用燃料池。5、6 爐則也進入周期檢查。

發生地震後，1、2、3 號爐自動停止，啟動緊急用柴油發電機。不幸的是，經過地震和海嘯後，外部的 AC 電力供給源頭與反應爐的連接被破壞。另外，因為海嘯使得緊急用發電機停止。結果讓反應爐與放置已使用核燃料的燃料池無法冷卻。因此，1、2、3 號爐的爐心熔解，1 號、3 號以及 4 號爐的氫氣發生爆炸。1、2、3 號爐開始進行第 2 階段的冷卻作業。2011 年 12 月 16 日開始，日本政府宣布反應爐已冷卻完成。

現在最大的課題，是福島第一核電廠事件造成的放射能污染，以及廢爐的處理。這是目前 2012 年 10 月 31 日的放射能污染狀況。

我們將此事件和 25 年前發生的車諾比核電廠事件一同比較吧。福島第一核能事件和車諾比核能事件相較之下，銫 137 的釋放量為 1/6，汙染面積約為 6%左右的規模。上方是車諾比，下方式福島地圖，以同樣的縮圖比例尺顯示。

和車諾比相較之下，福島釋放出的碘 137 等的量較少，此解說顯示於這張表上。

這張圖中，福島 1、2、3 號爐所釋放的銫在 2011 年 3 月 15 日為 1015Bq/h，2013 年 5 月為 1000 萬 Bq/h，而現在則是 1/8000 萬。

另一個大課題為放射能汙染水的處理，也就是福島第一核電廠面對的港口及其周邊海水的汙染。現在從 1 號到 4 號爐的吸水口附近海水中的 β 線以及氫的密度在變動，銫 137 的量為 100Bq/h。但是港內海水中，放射性物質的密度在可觀測的界限以下，港外的密度和港內差不多或比較低。反應爐的海面 3km 和 15km 中，所有的 β 線以及氫的密度在可觀測的界限以下。

但地上的反應爐周邊依舊和汙染水進行苦鬥，目前終於剛和漁民之間的交涉有了共識，讓沒有被汙染的地下水流放到海中，為了讓 1 號～4 號爐周邊的汙染水不要流到外面，進行了凍水遮土壁工程。另外，會使用 ALPS 裝置盡力去除銫等放射性核物質，處理後產生含有氫的水也必須要謹慎保管。

更大的課題是關於廢爐的處理，估計必須要花費 30~40 年進行，為此在 2011 年的 12 月製作了工程表。現在的進度狀況由這張表顯示，終於進展到得以出發的階段了。此廢爐在國際的協助之下促進並創設了技術研究組合國際廢爐研究開發機構(IRID International Research Institute for Nuclear Decommissioning)。此研究所的宿願為盡早設立解決方法，處理核爆碎片等重大課題。

6. 東北電力女川核電廠和東京電力福島第二核電廠

先不論芮氏規模 9.0 的地震撼 13m 的海嘯，單就曾防範意外發生的核電廠來談談吧。

6-1 東北電力女川核電廠

距離福島第一核電廠北方 100km 的宮城縣女川中，有一座東北電力女川核電廠。女川在過去曾有 13m 的海嘯，考慮到其歷史，東北電力在比 13m 還高 1m 的地點，也就是 14m 的高處建造了核電廠。其實因為地震，地盤下陷了 1m，即使如此，依舊能抵擋 13m 的海嘯。地盤下陷了 1m 呢，真是令人驚訝。

3 個反應爐耐住了芮氏規模 9.0 的地震撼 1m 的地盤下陷，在地震後，反應爐自動停止。不只這些，女川的居民們為了逃離海嘯，還進入了核電廠內避難。當時最多收容了 364 位避難民眾，而且收容他們長達 3 個月。

6-2 福島第二核電廠

福島第二核電廠距離第一核電所非常近，在第一核電所 15km 的南方。具備 1 到 4 號爐，總共 4 個反應爐。這裡也受到了海嘯的襲擊，但根據發電所員工的行動而免除了意外。

有了這 2 個例子是泛，只要具有防災的準備，並採取適切的行動，也能夠防止巨大地震、巨大海嘯等天災。

由於防災技術大大地進步，不只是核能，就連高層建築、高速鐵路、高速道路、飛機等工具不也為了防災而進行努力嗎？

發生東日本大震災的時候，當時位於地震地帶的新幹線上，有 80 台高速列車正在行駛，皆因為一偵測到地震，便為求安全而停車。如果謹慎防災，高速鐵路也很安全。

7. 世界核能的將來

日本現在所有的反應爐（總計 53 基座）全部停止。現在有 17 基座申請了反應爐的再次啟動核准，核能規制委員會正進行審查。目前推測今年 8 月至少會有 1 處再次啟動，但依然難以斷定，特別是活斷層的有無問題視為最重要的評估點。從現在的地球物理學的研究水準來看，針對活斷層等的判斷究竟能以科學之力評估到什麼程度，實在令人擔心。我認為將危險評估的比一般更高層級，並且在防災工學上進行對應，比較有其效果。

日本政府在今年 4 月，若核能發電合乎重要電源、規範基準的話，將進行再次運轉。並且訂立了能源基本計畫，將再生能源的比例往上提升到比以前的比例還高。這裡並未顯示出再生能源的具體數值目標，在此顯示出註釋中所寫的，以前的目標值為「20 年後為 13.5%、30 年後為約 2 成」。

此圖顯示出世界各國中，核能發電的現況和將來的計畫。可推測出美國、俄國、中國、印度等的核能發電將會再擴大。

不論是要推廣核能，還是要停止核能，都必須要趕緊確立核能的後端技術、特別還有使用過的核燃料的最終處置場。目前已決定的國家只有芬蘭和瑞典而已，其他國家也必須盡快決定。

為了推廣核能，或是反過來想要推廣停止核能的計畫，有必要研究且開發廢爐技術、以及使用過的核燃料的處置法。特別是發展出縮短已使用核燃料的壽命—例如 ADS，是有其必要的。為此需要利用核能，當然，站在停止核能的立場來說，也必須培養優秀的核能技術者、核能研究者。

本表是針對日本在核能教育的過去與現在。不僅是為了日本國內，也是為了全球，必須謹慎地進行核能教育，培養優秀人才，我也認為世界各國也需要對此予以協助。

8. 結論

不僅是為了防止地球暖化，也為了針對全世界大量增加一次性能源的消費量而需要建立的措施，人類必須要開發出不會釋放溫室氣體、特別是 CO₂ 的能源源頭。

為此，必須進行科學技術的研究與開發及教育。也必須要加強國際協助。

我相信人類的睿智。為了人類的將來，我們需要跨越國境，互相協助。一同解決人類所面對的困難課題。

謝謝各位觀眾的傾聽。