

通才教育中的科學教育

— 第七屆中華民國科學教育學術研討會主題演講 —

李遠哲博士*

美國加州大學柏克萊校區化學系

廖焜熙記錄

由能量轉換的兩個起點談起

在目前臺灣的情況下，通才教育的科學教育比研究科學還重要，這是有很多原因的。在這個世紀之內，尤其在廿世紀末葉，科學進步的非常快，而且也對人類社會與社會生活有非常深遠的影響。但是，一般說來，社會上對科學的了解與認識，似乎是沒跟上科學本身的進步。所以現在有很多危機存在。其中最大的危機就是科學的進展本身與一般社會大眾的了解之間有很大的差距。我先從這幾個世紀來科學對人類社會帶來的一些影響，作一簡單報告。

我們都知道，在人類歷史上，常常看到一些轟轟烈烈的事，也許是改朝換代的許多事，但是如果看人類歷史，大家都會同意：真正改變人類社會的是「科學」與「技術」的發展。比如，二百年前有幾樣事情是很重要的：一個是牛頓力學的發展。由於牛頓對力學的貢獻，使我們知道天體上星球的運轉、精確地計算日月蝕的時刻。這種力學的觀念，是很深遠的影響著我們對人類社會的看法。我等一下會再回到這點上面；另一樣事是像瓦特（James Watt）發明蒸汽機，所帶來的工業革命。但如果從科學的觀點來看，我們可以說瓦特蒸汽機的發明，也只是在人類發展過程中，知道把一種能源轉化為

*李遠哲博士，係一九八六年化學諾貝爾獎得主。為中華民國中央研究院院士，美國科學院院士，現任美國加州大學柏克萊校區化學系所教授。本學年度利用教授休假（Sabbatical leave）返國在國立臺灣大學化學系所，中央研究院原子分子研究所，國立臺灣師範大學化學系所講學。本演講稿係應中華民國科學教育學會年會及學術研討會之邀請所做的主題演講。

另一種能源的開始。瓦特以前，社會大眾經由體力勞動做很多事。有時也用動物的勞動替人類服務。瓦特以後，人類學會了很簡單的能量儲存方法、輸送方法。以後的內燃機、電動馬達、發電機也都是屬於這些能量轉變方式。人類知道怎樣把能量轉變，也就是解放了自然界許多能量，這就促進了工業革命，機器代替人工的開始。

推動社會運轉的原動力——科學與技術

隨著人類物質文明的發展，現在我們上班都能舒舒服服地坐汽車，但卻帶來了不好的空氣汙染，這些都是由能量轉換開始的。由上所提到的兩點，我們一定想到有些事情：一是我們看社會的時候，常把社會當作一個很大的機器來看待。比如我們說某某人或師範教育是推動社會進步的引擎，把整個社會當做一個大機器的話，某一個部份是引擎，校長是舵手，我們大家是小螺絲釘。這種把整個社會看作一個機件，可以說和牛頓的力學及 James Watt 蒸汽機的發展是有關的。但是很多人在討論社會上很多事情時，談到我們不但要有硬體建設，也要好的軟體建設。硬體與軟體是什麼呢？假如我們把人類社會看做一個電子計算機，當然這種把整個人類社會看做一個機器或是電子計算機，這是跟人類科學技術發展有關的。但是人類社會在發展過程中，一直沒有達到平衡狀態，這就不是一部機器，也不是一個電子計算機。而很多領導社會進步的人，一直把我們的社會當作一部機器或計算機的話，這是不對的。最近生物學有很大的進步，像楊教授研究的生物科學，社會就像人體的很多化學現象，如 DNA 等，或是像大自然。又比如像大自然的原始森林、熱帶原始森林，有互相幫忙、互相競爭、自生自滅的現象。如果我們的社會，真正的是像原始森林的話，那就不是幾個人能夠把社會這樣設計的。而是要想辦法怎樣扶植社會的生長、社會的發達。如果科學深遠的影響著人類，這不只是科學帶來的生產力的進步，而是對整個人類、對整個社會的看法，且對人類將來的看法，也有深遠的影響。最後我們常常在談論蘇聯最近為什麼搞的這麼壞呢？有人就說：「很多共產國家的計畫經濟，常把一個社會當作一部機器。」這大概是不對的。如果我們的社會不是機器而像原始森林的話，那蘇聯的這個作法，根本是不會成功的，是不會對的。隨著科學的進步，社會生產力也會提昇的很快。尤其是廿世紀的下半葉，生產的自動化、電子計算機的自動化，使生產力變的很高、提昇的很快，比如，在臺灣生產的 PC，小的電腦，可供給全世界。韓國如果做汽車的話，也供給整個東南亞。生產力提昇的很高，帶來世界經濟的國際化。住在臺灣的人，每天看報紙，就會說外銷怎麼樣？美國景氣不

景氣？是否影響了我們股票的漲落？這都是整個世界經濟國際化的結果。當然相對的，通訊交通的發達，世界變的很小。在廿世紀中，發明了很多器具、工具，其很快的傳送到世界各地。電視、音響之類的現代化產品，真的是分佈到世界各地。所以無論你走到世界那個地方，常常可看到一些年輕人所聽到的音樂，音調大概都很像，因此可使全世界的年輕人共鳴而起舞。這種現象發展的很快，不過我們也知道世界經濟國際化之後，世界的政治也會隨著國際化。所以這些事情，是因科學進步所帶給人類社會的影響。

科技無知的背後：公害與污染

我們在實驗室裡面，做的很多研究工作：如遺傳工程的研究也好，化學污染相關的研究也好，這些累積的經驗、累積的知識，將會決定人類將來的走向。我們是不是要發展很多超音速的飛機？從這兒到紐約，三小時就可飛到，我們作這種決定的時候，一定會考慮到臭氧層的破裂等等的很多問題；至於墮胎的問題，是什麼時候可以合法化？人的生命是什麼時候開始的？再說很多的研究工作，一定會非常深遠的影響將來我們人類的走向。我們也知道到了下個世紀，社會上決定一樣事情，都不能夠偏離科學及技術的範疇。立法院決定一件事，就能知道這件事是對社會有用的還是沒有用的？我們要怎樣供給能源給社會呢？如果核能發電勢在必行的話，它的廢棄物怎樣處理？可見這些政治上決定的每一件事，都會跟科學有關。換句話說，到了下個世紀，不管科學家願不願意，他一定會從舞台的後面走到舞台的前面，從事社會領導工作的或是政治工作的，不管他們願不願意，人們都應該有些很好的科學知識，不然我們將會面臨很大的問題。

發人深醒的科學教育之迷思

一開始我說我挑了這個題目，就是通才教育的科學教育，是因為我們看到了目前科學本身在非常急速的進步，但是一般人對科學並不是很了解的，而有很大的脫節。我想我可以舉幾個例子。我曾在芝加哥大學教過一門大一的課，這個課是科學的課程，是教給一般文法學院學文學、法學、經濟等這方面的人。所選教的題材是屬通才教育的一部份。我還記得很清楚，教這門課的時候，很多教授就對我說：「李遠哲，你應該好好教，因為你應該想像到，這些班上的同學，也許是將來的國會議員，或是將來美國總統。如果這些人，你教不好的時候，以後他們做錯了很多事情，會後悔無窮的。」當然我教這

門課的時候，馬上發現到這些人對科學的認知，是有很大的差距。記得有一天，我在實驗室裡面，作示範水的分解，叫學生也作分析工作，我拿了一杯水，用電解法把水分解為氫與氧。我叫學生看水分解之後的結果將會有二個體積的氫及一體積的氧。我說明了為什麼會這樣的原理給他們聽。有位女生很好奇，跑來量了一下正是二比一。她看了我之後說：「李教授，你很幸運。」我說：「為什麼你說我很幸運呢？」她說：「剛才你說二比一，你作的實驗居然就是二比一。」所以她說我很幸運。我說：「不！不！不是我幸運，我是知道水的構造，而且我知道通電之後發生的化學反應，我真的是了解到底是發生怎樣的事。」她就說：「你再試試看。」我再電解一次，還是二比一，她量了之後仍是二比一，還是很不服氣。她說：「You are lucky again！」她還是說很幸運。「不！」，我每次都作一樣，我作了第三次，她又來量第三次，我作了第四次，她還是量得二比一。這位女生非常不服氣的說：「你們這些科學家，每次都說科學科學，什麼事情都懂得。你們都用電子計算機算很多複雜的東西。你看！天氣預報也是用電子計算機在算嗎？」我說：「是啊！」，「昨天天氣預報說今天是好天氣，為什麼在下雨呢？」其實這位女生，並沒有了解到，有些科學知識是精確的東西，確實是我們真正知道的。但有些是有很多因素是我們所不能把握的。這些事情，他們不能了解。自從那時我教了水的電解工作之後，才想到真的，我們好好的去教一般大眾，來體會科學的基本原理是很重要的。

另外一個例子是我們在美國也可常常看到的。臭氧層的南極部份有個破洞。有一個國會議員就說：「這幾年國家花了很多錢，作大氣化學的研究工作，你看我們愈研究，問題愈多。」他們發現了更多的問題，所以他就說：「我們的社會應該不要花那麼多錢作研究工作？如果不研究的話，就不會有這些問題。」這的確是出自一個國會議員的話。另外有一個國會議員，針對著某一樣事情，他不曉得說這件事是有明辨是非的機會的。他們常常說：「如果給甲教授一筆錢作研究，他就是甲說甲的對，公說公有理。如果有些錢給乙教授作像我的研究，他會說乙說乙的對、婆說婆有理的現象。」事實上，有很多人不知道在客觀世界的物質運轉，它是有些一定的規律的。當然我們學科學可以把握所謂的「了解」，他們以為我們作科學研究的，跟文學院的學生一樣，在唸了很多小說之後，就說哥德的很多思想大概我不同意。因為這是這樣…這樣…才對。我在教這門科學的課給非科學的學生的時候，要他把一個印象寫下來，就常常看到很多學生不了解。比如能量的守恒這些事的不了解，他們常常就說：「依我看熱力學的第二定理，根本沒什麼意思的！」沒什麼意思是他沒研究熱力學第二定理的根本原理。他們常常說：「這

個沒意思！」依我看來怎樣…怎樣…，他都用主觀的立場在看很多世界。所以我說這是非常嚴重的事情。

通才教育的海市蜃樓

科學教育常被誤解，為什麼我說科學教育常常被誤解呢？因為社會上，有些人成為科學家，一輩子是從事科學研究的。但是有些並不是。所以常常有人以為我們的科學教育，應該分成二種：一種是培養科學家的科學教育；另外一種是一般的科學教育。其實我們雖然在社會上可以看到有些人是會變為科學家，因為他的這方面可以作的很好，而大部份卻不是。但是科學教育的本身應該是很相似而不應該是不一樣的，就是探討要把握一些用物質客觀世界的物質運轉的規律，這些事情無論是學科學的也好，不學科學的也好，我們都應該探求這些規律、自然界物質運轉的規律，物質組成的這些構造到底是怎麼樣？因為很多人以為這些深奧的科學道理，其實這些道理並不是很深奧的。只是從事科學研究的人應該知道，而這些不研究科學的人就不必要了解這些量的關係，也就是說我們常常對科學教育有些誤解，而用不科學的方法教育不學科學的人，這就是非常反科學的作法。我們在通才教育裡面，一定要把科學的知識傳授的很好才對的。日常生活裡我們看到的很多現象，比如大自然我們看到的暴風雨啦，這些事情都可以解決的。從能量的關係、化學的轉化、生物的發展，這些事情在通才教育裡面，要好好的教給學生，要使學生知道，這些事情是有它根本原理的，我們是要把握這些原理。所以基本科學知識的傳授，對文法科或一般社會人士的科學教育是非常重要的。「一些模模糊糊的概念，大概就是這麼回事。」「你們不必要懂！大概就是這麼回事。」這種科學教育是反科學是不好的。

真正的作科學基本知識與穩穩的紮科學方法與精神

我還要講一件事情，就是從事教育工作的人，常常說科學教育是很重要的，但是我們講的科學教育應該是很廣泛的。我剛才講的，科學基本知識的傳授，我們要真正的作，穩穩的作。同樣地，我們要把科學的方法及科學的精神教給這些學生們。這話怎麼說呢？我們在作科學研究工作的人，在基本科學知識的學習時，一定要做到明辨是非、實事求是。有人以為這些將來不是要成為科學家的人給他一些觀念，給他一些模糊的觀念，這

是不對的。爲什麼呢？因爲科學本身就是要了解它的根本的道理，所以我們一定要把這些明辨是非、實事求是或者是說追根究底的這種精神，要教給學生們。如果我們把這些科學的精神、科學的方法傳授給學生的話，學生是不會迷信的。

我們的社會，好像進步的很快，受高等教育的人很多很多。但是即便受高等教育的人，還是非常迷信的，像看風水啦！擇黃道吉日啦！這怎樣，那怎麼樣。社會上的很多惡習，迷信並沒有好好破除，這是因爲我們對科學教育的科學方法與科學精神這兩樣事情，並沒有好好教育。除了這兩件事情之外，我想說一定要把科學的基本知識，好好的傳授給一般群眾。

我們看臺灣地區將來的發展，在民主化的過程裡面，如果我們好好作科學教育的話，把科學方法，科學精神給大家，很多不合理的事，很快就會消失。因爲每個人明辨是非、追根究底，很多貪污、腐化的事情，應該會消滅的很快、社會會進步的很快。

科學研究成果以科學教育轉化成爲社會生產力

有一件一般人大概沒有想，也不會想到的事，就是很多人作科學研究工作，累積下來的這些知識，總有一天有人會把它轉化爲社會的生產力。就是把它轉化爲社會生產力的這個事情，也就是技術的發展，就是科學知識可以變爲社會上從事生產的技術。科學及技術是不一樣的。但是一個社會發展了技術之後，它就可以用技術來提昇生產力促進社會的生存。然而社會上從事生產工作的人，往往不是研究科學的人，而社會上的生產力，以後在國際上怎麼競爭，這要看一般大眾的科學教育了。比如幾年前美國一家公司做電腦的記憶工作簿(Memory sheet)是由基層電路所作。在美國設廠。他設一個流程，從上面依序做下來，yield 即產量爲 25%，就是作了一百件之後，下游產生的產物只有 25% 是好的。爲什麼呢？因爲在操作流程裡面，有很多人在作業，而這些作業人員，有些是做的不太仔細，或是有些人對一些說明書的指導，了解的不夠好。結果這個流程下來，只有產生 25%。所以這公司的人，就覺得這很不好，因爲一百件做下來，只有 25 件是好的，75 件是不好的。他們做了一個研究，知道這是因爲做這些流程工作的人，大部份是中學畢業的學生，沒上過大學。而他們作了研究工作之後也發現：如果這個廠設在臺灣、香港兩個地區，流程下來產生的量，好的可以高達 50%；在日本做同樣的廠的話，這個流程下來可以做到 75%。也就是說一個日本的工人，他這樣做下來，一百件裡面有 75 件是好的。比較在美國的社會上，只有 25% 是好的，那就

是說其一般生產力比日本就差了三倍。如果我們的工資、美國的工資及日本的工資都是相似的話，那當然日本做出來的基層電路會便宜很多。以上的例子是科學教育成果反映在一般的生產力上面。在美國社會上，如果看中學的畢業生，他唸過物理，而作過物理實驗的人到底有百分之幾呢？答案是只有 10 %。大概有 25 % 學過化學作過化學實驗；25 % 學生學過生物也選生物實驗。所以現在大家在討論，對高中一般學生的選課，應該怎樣才好呢？我們應該注意到，現在科學與技術這麼深遠的影響人類的社會，我們讓學生選修的時候，沒有要求他們好好的學習科學、沒唸物理、化學、沒唸好數學，就讓他畢業，這會影響到整個社會的生產力、和以後的社會生存。這幾年美國的社會，一直想辦法糾正過來就是要中學的畢業生應該學這些科學才能畢業，但是沒能糾正好，為什麼呢？因為老師們反對，美國的教師學會，Teacher Organization，老師的一個組織一直反對這些事情。很有趣的是美國的社會，有不同的做法。比如中學畢業的時候，沒能迫使學生唸這些課程的話，他們是可以畢業的。到大學他可以有另一個做法，比如加州大學最近決定說二年之後，每個進大學的學生，一定要選三門科學的課程，大半都要學物理、化學及生命科學。而這三門科學課程裡面，一定要有實驗才能讓他們進大學，所以如果中學的畢業生，沒能使他們把需要學的東西變成完整的話，至少在進大學的要求上，我們就可以有比較好的要求，希望能促進一些一般大眾的科學知識。

現在臺灣是在轉型期，以後在國際上的競爭，一定是會很激烈，雖然隨著社會、世界經濟的國際化，世界的政治也會變的非常國際化。但是在下個世紀裡面，每個地區的科學研究會把它變成一個技術，然後以高技術為後盾的高經濟競爭，還是會繼續下去。我們是不是能夠和世界各地的人競爭，是要看我們能不能好好教育我們的下一代。很主要的一部份是一般的科學教育，不只是從事科學研究的培養這些科學家，而是一般大眾的科學教育，所以我覺得這是很重要的事，我們應該努力做到。