

科學素養的教育：

有關的觀念及其在教學方面之運用

郭 鴻 銘

國立臺灣師範大學

譯者按：爲使讀者對“科學素養”有較深刻之了解，我們再翻譯一篇有關闡明此一名詞之文章，作爲第一期“科學素養之涵義”文之註解

(原著者：Michael W. Agin Science Education, 58⁽³⁾ 403(1974))

科學教育之主要目標

社會上的每一成員均須要接受科學教育。各人須要的程度，隨其目標與興趣而異。有些人希望對自然現象深入瞭解，而另外一些人則對科學知識的應用方面有偏好。除此之外，一般的老百姓也須對基本的科學概念及活動有較深刻的瞭解，目的不在使其成爲較優秀的科學家，而是使他們成爲知識豐富的公民。

根據此種須要，專家們提出了許多科學教育各種不同的程度的目標，主要的有：

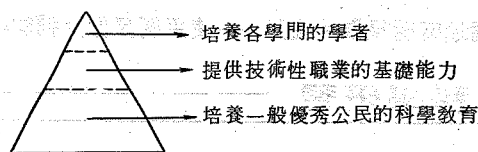
- (1) 爲科學的各學門培養專家學者。
- (2) 訓練職業性的工程、技術人員。
- (3) 提供社會上每一個人科學之基礎，作爲培養優秀公民之通材教育的一部分。

這些不同的目的所包括的各類人數比例，可由圖一顯示。三角形頂端所佔有的小比例人數包括各門各科的學術研究人材，他們主要的工作是從事抽象性、理論性的科學工作，通常被稱爲“純科學家”。

與純科學家關係頗密切的是第二種，所佔人數較多，被稱爲應用科學家的人，他們從事與科學有關的工藝技術方面的職業。這些應用科學家

一包括工程師、醫生、護士……等，具有優良的科學基礎，但其動機與目標則與純科學家大異其趣。對於這些人的科學教育，應理論與實用並重。

第三類的人，雖然生活在科技的時代，但通常對科學與工藝對人生的影響懵然不知，對科技也毫不感興趣。科學教育應對這第三類的大衆特別加強。



圖一 科學教育的基本目的

我們政治、經濟的領袖及一般勤儉工作的大衆大部分來自第三類的人。這些人是否能有效的行使領導職權或克盡公民的職守，應列爲教育的主要目標。科學教育能在下述的兩方面幫助發展基本能力。

(1) 使個人體會大家須要對科學與工藝有較深的瞭解。

(2) 引起他們滿足此種需要的動機。

此種全民科學教育的說法，久已有之。富蘭克林在制定科學院校教義時曾論及科學教育能培

養優秀公民，他除了說明有各型各類的優秀公民之外，更述及科學教育能增進公民能力，他這樣寫着：

我們除了閱讀人類、時間、國家之歷史之外，尚須閱讀一些最佳的“自然歷史”，此不僅令年輕人感到愉快，……將來他們從事各行各業時，不管是商人、工匠或神職也對他們非常有用。使他們不但對商品、藥物……等有較佳的瞭解，且能使用新的材料、物質以增進他們的生意或成品等，即使對於從事神職的人，也能以知識裝飾言談，證明神的恩賜。

自富蘭克林以降，出現過許多類似的觀點。例如赫德（Hurd）（註三）認為教育的設計一包括科學教育應培養未來的成人，能預期未來的變化，且能面對變化，不憂、不懼、鎮靜逾恆。為達此目的，他們建議科學教育應給予如下的機會。（1）一窺科學的門徑，（2）觀察科學概念的成長，（3）身歷科學活動的知識，（4）學習科學與其他各類社會活動的交互關係。換句話說，科學教育應使個人瞭解科學。以幫助個人從事明斷的社會、政治決定。

在1950年代之間，人們創造許多新的名詞，以表示經由科學教育培養公民能力的追求。最常用的名詞就是“科學素養”。美國著名的教育家及科學教師聯盟（NSTA）之課程委員會宣佈：「科學教育的結果應培養出具有科學素養的公民」。（註四）

1971年NSTA課程委員會，再重申如下：

“科學的主要目標是培養具有科學素養且自我關心的個人，他必須具有高等理性思考與行動的能力”。（註五）許多科學家及科學教育家都同意蓋伍（Gatewood）的說法，他說：處在我們今日的科技時代，每一個學生就科學內容、科學過程、科學的成果、科學的哲學及科學對社會的影響……等方面均應接受廣面的教育……學校科學課程唯一最重要的目標，應是培養未來具有科學

素養的公民。（註六）

赫德喜歡用“科學教化”一詞以強調“科學素養”，並鼓吹果決，周到的課程改革。他說：

大部分的成人對科學的意義及其對當代物質、社會、知識生活的影響，或為不知，或為誤解，……我們現在所須要的是設計一種課程使大家瞭解科學與工藝的王國及社會科技融合的各種情形……將重點置放在配合社會之科學教化的廣面遠景，我們即能使現在孤立的學校科學課程走出象牙塔外。（註三）

何謂科學素養？

許多人使用“科學素養”一詞，但對其意義却不甚瞭解，為使大家有共通一致的瞭解，對其下明確之定義實有必要。因此我們對其宜建立一套參考性的標準敘述，期有助於概括，固牢各種不同的定義。

對於“何謂科學素養？”已經有許多不同的解說，諸如：

（1）一個具有科學素養的人知道科學在社會的地位及科學存續的文化條件，並且知道探討問題的方法及如何發明新觀念。一個具有科學素養的人瞭解科學與社會的相互關係，控制科學家的倫理觀念及包括科學基本概念及科學、人文間相互關係的科學本質。（註四）

（2）……一位受有教育的人士，對科學應有人文化的瞭解……他能以非專門性的說法與人交談科學，閱讀類似書籍，亦覺自然。（註七）

（3）一個具有科學素養的人對物質、事件的起因、緣故深抱好奇心——有興趣於閱讀或聽聞科學家費心費時注意之事。……他或許不能創造合乎科學的構想，但却精通已被考慮的構想。（註八）

赫德和蓋拉格（Gollagher）較詳密的敘述包括了各種科學素養的特質。他們着重成長而非

已完成的成果，他們視學校的科學教育為個人繼續成長的基石。

根據他們兩人說法，具有科學素養的人將繼續增進：

(A)瞭解科學的社會歷史性發展

1. 領悟近代科學是近年來的發展結果。
2. 瞭解自中世紀以來，人們在思想上有根本的改變。
3. 體認近代科學知識的累積與累積的加速。

(B)瞭解近代科學的時代思潮

1. 體認科學通用性之重要性。
2. 體認構想必須經常接受驗證，以辨明其有效性。
3. 體認科學知識是公共社會性的。
4. 瞭解科學家所追求的是對宇宙的瞭解及為人類謀幸福。
5. 瞭解科學家存疑的態度。

(C)瞭解並體認科學的社會、文化關係

1. 瞭解社會對科學的影響。
2. 瞭解科學與文化並非毫無關聯，科學可說是其文化背景的產物。
3. 瞭解近代科學對社會的影響。
4. 瞭解科學與工藝對近代社會之影響及其所伴隨產生的問題。

(D)認清科學的社會責任

1. 努力縮短尖端科學研究與大眾知識之差距。
2. 由關心教育着手，為國儲備適當的科學人力。
3. 在作社會與道德的決策時，能作理性的選擇。
4. 瞭解對發明作適當的應用，應受社會的

支配。

5. 瞭解科學家具有將其研究成果以通常常識的觀點解釋的能力，是科學家的責任。

如果我們接受上述的敘述為適當，即每一個人均能增進其對科學各方面之瞭解與體認，那麼正式的科學教育將不會產生完成的成果，而僅提供為個人智慧成長的基石。本文的哲學基礎，即在於尋求人們在科學上成長得更成熟。

科學素養的教學

我們也須要考慮應用的問題。在這方面主要的問題是“如何能組織設計科學的教學，以促成培養具有科學素養之國民的有效發展？”拉賓諾維屈對此問題的回答是：

……科學教育除了使下一代瞭解科學之外，更重要的是培養他們鑑賞影響將來人類之科學特質，鑑賞科學對大眾事物，對國家前途及全體人類之影響。這意思表示我們不能把科學當作孤立的技術事實或概念來教，而必須與塑造年輕人之傾向與他們對社會所持之態度的學科如歷史學、政治學、社會學等相配合。（註一〇）

赫德為支持上述之觀點，他說：

科學的一般教育使人們能鑑賞科學王國的價值，並利用其成就。這意義表示我們必須更改現階段的科學課程，使一般人對科學有更開闊的瞭解。此種更改將重新編排科學內容，配合文化背景，並更為關切人類之福利。

這些敘述均顯示重新改造科學教育的須要，此種改造應包括消弭各自然科學間及自然科學與社會科學，或人文科學間之隔閡、障礙。分隔的知識是人為而非自然的，我們必須超越此種傳統建立的障礙走向合科科學課程（綜合課程）的方向。為要達此目的，我們必須選妥主題並發展闡明這些主題之教學單元。

選擇能發展科學單元之主題是一件必須而困

難的工作。我們常須重新整理這些主題所包含下的科學知識，才能據以發展出教學單元。有些主題已發展出科際教學單元，其他許多主題亦可加以應用發展。

在本節我們將考慮一些可用來發展科際教學單元的主題。這些主題是從許多可能的主題中選出者，被選的主題不一定比未被選的好。其中有些主題已被發展成科際教學單元，有些則未。

本節的組織共分六類—科學與社會、科學的倫理、科學的本質、科學的概念、科學與工藝和科學與人文。各類中由培拉、俄恩和給爾（註一）所編纂科學素養之分析中所列之重要元次也隨之列出。這些元次—科學家與科學教育家之意見與關懷—作為設計科際教學單元之起點是頗為有用的。

科學與社會

科學與社會交互關係常被引述的元次計有：

1. 科學是社會改變的根源。
2. 社會控制資源以控制科學。
3. 在自由社會中，知識大眾指導科學的發展方向。
4. 科學將人類從迷信及假信仰中解脫出來，功不可沒。
5. 科學與工藝產生前所未有的社會問題。
6. 科學與工藝為未來改變之主要關鍵。
7. 科學與工藝並非萬能。
8. 一般大眾必須了解科學家及其研究方法。

波列斯（註一）利用自然蕃衍與生物法續生之爭論，將科學與社會交互關係之某些元次表露無遺。他利用複雜之方法追蹤人類對生命起源及疾病之學說。他考慮在「細菌說」未發現前，醫生治病之不利情況。在未能發現疾病根源之前，當然不知應用免疫與消毒……等。

波列斯使用許多資料來源，包括許多有關自然蕃衍與生物續生的實驗，並包括Recli、Needham、Spallanzani、Helmholtz與Pasteur等人之研究，他並討論了Jenner、Lister之貢獻，並敘述了“細菌說”之發現助長了預防性藥品之發展。

在波列斯的教學單元中也考慮了一些歷史事件，例如愛爾蘭一次馬鈴薯大歉收，引起許多災黎移民美國，而對馬鈴薯歉收一事卻所作甚少，原因是不知其歉收原因。許多愛爾蘭人相信車輪與鐵道磨擦所產生的電流引起馬鈴薯之枯萎。讀此單元時，產生許多可能之問題如：

1. 如果吾人至今未發現“細菌說”，則近代醫學治療將是何情狀？
2. 如果當時人們能治療馬鈴薯枯萎病，則對愛爾蘭人大舉移民美國一事會有什麼影響。

科學的倫理

科學的倫理是表示在追求新知時願受非正式法則規範的意願。一般被接受之科學的倫理之元次，常被稱為科學態度、科學精神、科學理想，操作概念及方法論之附則等。

1. 所有科學之事實須經客觀、嚴格之分析—有時稱為經驗主義或客觀性。
 2. 科學是對現象繼續不斷的尋求更佳之解釋—精簡性、概括性。
 3. 所有學說定律均以證據為基礎，而不以自明之真理、傳統或特殊興趣之力量為基礎。—不固執、存疑、暫時性。
 4. 科學之目標在增進吾人對物理及生物世界之知識而不管現在及將來之好壞影響—免疫性。
 5. 科學無秘密。科學家有責將其發現提出報告，給大眾瞭解—關切性。
- 原子核分裂反應的發現，及與其有關之社會，科學之發展，包含了許多科學家之心血與貢獻

，這個內容是作為使學生學習科學的倫理之好題材。愛琴（註一二）說早期放射性的研究在科學界是非常公開的，每一個新的發現都引起大家的注意與興奮。當人們一旦發現原子核分裂之可能性時，政治即行介入，指導科學工作，而原子核之科學研究也列為機密。開始時科學家對自己的研究發現密而不宣，最後變成政府立法，使交換原子秘密成為非法。

學習這些活動，能引起一些推理性的問題。

1. 如果原子核分裂之知識任其自由傳播，將會發生些什麼事？
2. 如果原子核分裂發現得早些，將會發生些什麼事？
3. 如果原子核分裂發現得晚些，將會發生些什麼事？

上述的問題相信會使大家領悟原子科學的有關活動，可作成科學的倫理之教學的好教材。

科學的本質

科學包括知識成果與過程。科學的活動（即過程）受已發明之概念（知識成果）的滋潤與支持，科學的概念——其分類、定律、學說等——是由科學的活動產生或修正的，而這些概念又可作為進一步活動之基礎。以科學過程與成果交相依賴為基礎的科學本質，其重要的元次有：

1. 科學是以一連串的近似（approximation）發展的；其目的在對科學的或然性本質，謀求有系統而深入的瞭解。
2. 科學不是已完成的企業，待發現者尚多，其學說是暫時性的，因此學說的應用，並非因為其為正確的，而是因其為適當、可用的。
3. 科學的知識是以觀察研究大家可獲得之物質材料為基礎的，因此別人獨立的探討當亦能複製其知識。此謂科學的複製性。
4. 根據經驗，科學的進行有一重要假設，

即時、空物質為真實的，自然現象並非反覆無常的，而是有律可循的。

5. 有果必有因，而其“因”應可數值化；發展數值化的特質有助於定律、學說的發明。

6. 科學之方法並非只有一種，研究之過程可有許多不同之方法。

大部分的科學概念均可用來顯示這些元次，物質的粒子組成說，大陸漂移說等，如沿着歷史發展過程，可編成很好的教學單元，將科學企業的各種元次表現出來。“實驗科學的哈佛歷史個案”是構想呈現科學本質之良好資料來源。康南（Conant）與那西（Nash）發展出這一系列的單元目的在使讀文史的大學生瞭解科學的各面。康南說：

本系列歷史個案的目的是幫助讀者重溫參予過去重要科學發現者之興奮經驗……加強對過去偉大科學家實際工作的學習，即能清楚的瞭解他們所採用的研究方法。

“發展給高中生之科學個案史”之作者克洛佛（Klopfer）和華生（Watson）說：

一個個案討論一些新觀念的發展。它不僅包括科學探討的最後結果，且着重參予的科學家本人，當時的知識背景、學術界與社會的氣氛，及他們對較佳事實與解釋的追求。如此使得過去的科學成就成為我們知識、社會歷史的一部分。注重觀念的發展能將當時的構想轉移到現在或將來的科學探討。（註一四）

其中的一個單元“固定空氣的化學”包括了與布雷克（Joseph Black）研究二氧化碳有關的許多活動與觀念，該單元的目標包括了學生應瞭解有關科學的一些觀念，如：

1. 新儀器、新技術能促進新實驗及發現新構想。
2. 在科學工作中，構想與實驗不斷的在進行交互作用。
3. 新的觀察具有觸發的作用：它們可動搖

既已建立的觀念，並引起建立新的假說與實驗。

(註一五)

科學概念

各類科學雖然各有不同之結構，但却均以 N STA 課程委員會所選擇稱為“大概念或主要的概念結構”為基礎的。這些概念結構代表了各門各科科學概念的總括。部分科學家及科學教育家雖曾批評其為“過分偏重物理科學”，但以其作為骨架，組織概念知識却頗為有用。列在“化理論為行動”內的七個概念結構是：

1. 所用的物質均由其基本粒子組成的。在某些情況下，這些粒子可轉變為能量，能量亦可轉變為粒子。
2. 物質以各種不同的單位存在，這些單位可因其複雜層次及組織程度而分類。
3. 宇宙中物質的行為可用統計之方法描述。
4. 物質之各單位間彼此發生交互作用。所有常見之交互作用其基礎不外電磁力、萬有引力、核力。
5. 所有交互作用的物質單位均有趨於平衡狀態的趨向，在平衡狀態時能的含量（熱焓）為最小而能的分佈（熱熵）最零亂。在趨於平衡之過程中，能量、物質、質能互換均發生，但宇宙質能之總和則維持不變。
6. 物質單位之運動為能的一種形式。此種運動即溫度、熱量及固、液、氣物態現象之根源。
7. 物質存在於時空之中，物質單位之交互作用會使物質隨時間而有改變。此種改變之速率與形式則可能各有不同。

以上七款包含了各類科學的概念是為科際之概念。故可以科際觀點視之。例如第五款之平衡概念囊括了數種科學學門。它所包括的一些特例如(a)生物—恆定 homeostasis (b)化學—李·查特里原理 (Lechateliers Principle) (c)物理

—槓桿平衡，(d)地質—地壳平衡說 (iso stasy) 等等。所有這些概念均受同一基本原理的統治—系統的各部分必成平衡。如果學生瞭解一般平衡原理的意義，他應能瞭解各個特殊情形。介紹平衡概念的單元可由介紹孤立系統的平衡開始然後延伸到較大而開放的系統如地球。對於此單元我個人願意命名為“我們不能無中生有”。

科學與工藝

許多作者務求區別科學與工藝；他們注意差異點而忽視相似點—這對實際情況有點言過其實。美國總統科學顧問委員會曾說：

將基本科學與應用科學或將科學與工藝作人為的區分至為不當。科學發展之應用，不會使其變為不科學。(註一六)

根據美國總統科學顧問委員會之說法，科學與工藝必須同時考慮，我們應重視其相似點而非其差異點。科學與工藝交互關係之重要元次是：

1. 科學與工藝之差別在於其動機與目的。
2. 純科學常產生工藝上有用之新知，工藝常能產生對純科學有用之概念結構。
3. 社會工藝的一面是科學家與非科學家交連的一環。
4. 社會變化之內部根源為科學與工藝。
5. 科學與工藝直接與社會交互作用。
6. 社會、經濟、政治最重要的問題與科學及工藝有關。(註一)

故科學與工藝相互關係之諸元次的實例很多。我們可花費許多小時於這一特徵之科學素養的教學。下面僅列數個可作為發展教學單元之例子，未列之例子尚多。

1. 原子核與社會之瓜葛。
2. 鼠疫藥與“寂靜的春天”。
3. 工藝的發展及其社會意義與下列的關係
(a)航海

(b)武器。

(c)開礦。

4. 希臘科學與羅馬工藝。

5. 優生學—道德、不道德與超道德。

美國的太空計畫—軍事和非軍事的一是顯示科學與工藝關係的好題材。作為太空計畫之基礎的許多科學概念，人們已熟知甚稔達三世紀之久。純科學家及應用科學家以之作為基礎而拓展知識。太空旅行、太空探險、飛彈等整個主題至今尚提供給我們許多令人深思而待決的問題，例如：

1. 為何太空飛行不可能早至1960年以前發生？

2. 對於太空計畫應給予多大的財力支持？

3. 太空工藝的發展產生了什麼新的產品？

4. 太空計畫中的那些活動須要純科學家？那些計畫須要應用科學家？為什麼？

學生回答這類問題時，我們應給予他們較大的自由度。每一問題不可能有唯一的答案。這些問題給予學生就科學、工藝的進展所產生的利益與問題加以思考之機會。

科學和人文

科學的人文性常被忽略，教師過分注重概念知識及科學活動，以致使科學的這一面特性掩蓋了科學存在於文化及社會母體中的事實。此種情形常使一些學者認為科學與文學是截然分離的社區。當我們考慮下述科學與人文關係的元次時，亦可看出上述看法之不當。

1. “科學是人文的一部分”，我們應以人文的方式瞭解科學。

2. 科學與人文之相隔，是起因於無知與誤解。

3. 社會決策須要智慧與同意，而這些則有賴於科學家與人文專家的溝通。

4. 科學是我們文化遺產的一部分。（註一）

科學史充滿了科學與文化遺產的實例。這些文化遺產導致文明的躍進，也引起了困難的社會問題。有些進展使人廣受其利，但有些進展則導致自然資源及人類無可計量的損失。在文化的圈圍內教科學，能鮮明的顯示科學與工業正反兩面的貢獻。

賢者如達文西、牛頓、伽利略、培根等因其在科學研究方面及公共服務、藝術、著作、教育工作方面的貢獻而聞名於世。他們以積極參與科學研究及社會問題而服務大眾。

美國亦有許多尚在或已死的賢者，對美國的文化遺產貢獻至鉅。例如富蘭克林、傑弗遜、康南、西堡及許多其他的人。研讀這些人的事蹟，可使人瞭解科學家不是關在實驗室內的，他們的貢獻是多方面的。

結 論

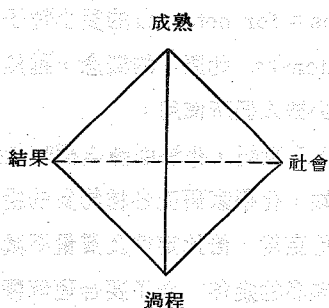
1964年NSTA課程委員會認為課程設計應包含三個元次：結果、過程、與時間。該委員會想像一個三度空間的課設計行列，我們將解釋如下：

兒童的學習經驗計畫必須配合時間，如此方能培養瞭解主要的科學知識結果（主要的概念）與過程（科學方法）……。

雖然不能將各種概念結構間的相互關係以該圖形表示，但我們不應忽略之。因為科學概念間之關係很密切，左軸上的分格頗為任意，它可包括或多或少的概念結果。此一三度空間的行列應為一大科學之整體，或至少是科學上學生所能接受的一部分。（註四）

科學也不單單是結果與過程，它也是一種活動，觀察我們的物理、社會環境以產生新概念。它是在社會環境下所進行的活動，受社會的影響，也影響社會。因此，僅包括結果與過程的課程設計是不夠的，科學的社會支流也應包含進去。

我們可用一個帶有四個頂點的三度空間圖形——四面體，代表課程設計的結構，圖2所示即為此種課程設計結構。四面體底面三個頂點代表科學三個範疇——即“結果”、“過程”和“社會”。連接底面各對頂點之諸線代表“結果”“過程”“社會”間的交互作用。三條直線由底面之三頂點豎起，歸集於頂端的第四頂點，我們以“成熟”標明之。（我們以“成熟”一詞代替“時間”，因其較能反應出教育之成長）。每一個人均受此一幾何圖形之管轄。不管個人性向如何，科學教育應能幫助他們成長成熟，使他們體會“結果”、“過程”和“社會”收斂成爲一個完整的整體。即



圖二 科學教育的課程設計結構

每一個人不應脫離社會，而應在社會環境的範疇中瞭解科學的結果與過程，開始，他們可能視科學爲彼此不相關的“結果”“過程”與“社會”的組合，但隨着他們的成熟，即能增進瞭解這些不同範疇的相互關係。最後科學成熟的個人，應能視科學爲具有交相關聯之科學概念，方法，應用及影響的社會活動——即成爲一個真正具有科學素養的人。正如培拉（Pella）所說：

我們的工作是發展出一個計畫與實施，它能夠反應出我們對科學如何影響社會及社會如何影響科學的知識，亦能反應出此種知識對希望參予社會福利決策之公民的重要性。人們安排人類的環境，必須顧及人類的現在與未來。

1. Pella, Milton O., George T. O'Hearn, and Calvin W. Gale, "Referents to Scientific Literacy," *Journal of Research in Science Teaching*, 4: 199-208(1966).
2. Franklin, Benjamin, *Proposals Relating to the Education of Youth in Pennsylvania*, Philadelphia: University of Pennsylvania, (1749)1931.
3. Hurd, Paul H., "Scientific Enlightenment for an Age of Science," *The Science Teacher*, 37:13-15(1970).
4. National Science Teachers Association, *Theory Into Action*. Washington, D.C., 1964, pp.8-9.
5. Committee on Curriculum Studies, "School Science Education for the 70's," *The Science Teacher*, 38:46-51(1971).
6. Gatewood, Claud, "The Science Curriculum Viewed Nationally," *The Science Teacher*, 35:20 (1968).
7. Shamos, Morris, "The Price of Scientific Literacy," *National Association of School Principals*, 47:41-51(1963).
8. Johnson, Phillip G. "The Goals of Science Education," *Theory Into Practice*, 1:239-244.
9. Hurd, Paul D. and James J. Gallagher, "Goals Related to the Social Aspects of Science," in *Sequential Programs in Science for a Restructural Curriculum*, Cleveland: Educational Research Council, 1966, pp.12-18.
10. Rabinowitch, Eugene, "Science and Humanities in Education," *American Association of University Professors Bulletin*, 44:449-464(1958).
11. Boles, Ronald J., *The Feasibility of Teaching Biology Via A Socio-Historical Approach*, unpublished Ph. D. dissertation, University of Wisconsin, 1968, Madison, pp.1-92.
12. Agin, Michael L. and Milton O. Pella, "Teaching Interrelationships of Science and Society Using a Socio-Historical Approach," *School Science and Mathematics*, 72:320-334(1972).
13. Conant, James B. and Leonar K. Nash, *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Vols.I-II, Cambridge:Harvard Press, 1957.
14. Klopfer, Leopld E. and Fletcher Watson, "Hi-

(下接20頁)

- Ausubel, D. P. Educational Psychology : A Cognitive View. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- Bruner, J. S. The Process of Education. New York: Vintage Books, 1960.
- Bruner, J. S. The act of discovery, Harvard Educational Review, 1961, 31, 21-32.
- Bruner, J. S. Toward a Theory of Instruction, New York: W. W. Norton, 1966.
- Collete, A. T. Science Teaching in the Secondary School. Boston: Allyn and Bacon, 1973.
- Flavell, J. H. The developmental Psychology of Jean Piaget. Princeton, New Jersey: Van Nostrand, 1963.
- Gagné, R. M. The learning requirements for enquiry, Journal of Research in Science Teaching, Vol. 1, December 28, 1962. Issue 2, 1963, pp. 144-153.
- Gagné, R. M. The Conditions of learning (2nd ed). New York: Holt, Rinehart & Winston, 1970.
- Gagné, R. M. Essentials of Learning for Instruction. Illinois: Dryden Press, 1974.
- Piaget, J. Development and learning. Journal of Research in Science Teaching, 1964, 2(3), 176-186.
- Shulman, L. S. Psychological controversies in the teaching of science and mathematics, Science Teacher, 1968, 35(6), 24-38.
- Shulman, L. S. Psychology and mathematics education, Yearbook of the National Society for the Study of Educations. Edward Begle (ed.): Mathematics Education, University of Chicago Press, 1970.
- Stendler, C. B. Piaget's developmental theory of learning and its implications for instruction in science. In Victor, E. & Lerner, M. S. (eds): Readings in Science Education for the Elementary School, New York: Macmillan, 1971, pp. 379-391.
- Wittcook, M. C. Verbal stimuli in concept formation: learning by discovery. Journal of Educational Psychology, 1963, 64, 183-190.
-
- (上接科學素養的教育)
- Historical Materials and High School Science Teaching," *The Science Teacher*, 24:264-265(1957)
15. Klopfer, Leopold E., "The Use of Case Histories in Science Teaching," *School Science and Mathematics*, 64:660-666(1964).
16. President's Science Advisory Commission, *Scientific Process Universities and the Federal Government*, Washington, D. C.: U.S. Printing Office, p. 80.
17. Pella, Milton O., "Silver Symposia: The Next 25 Years," *The Science Teacher*, 36:14(1969).
-
- (上接談現代化的動物園)
- 特區斯密松尼館成立，目前即是該館最受歡迎的節目。
- 二、設立臺灣特有動物之展示園，例如帝雉、山雉、臺灣羌、熊、雲豹、飛鼠、貂鼠、鼬鼠等均為臺灣特有之種類，如能闢地大規模飼養，則一方面可讓觀眾觀賞臺灣特有之動物及了解其習性，另一方面使其繁殖，以便與其他國家交換其特有的動物。此等園內如能再以臺灣原產植物為佈景配合展出，則將更具意義。

參 考 文 獻

- Science News 110 (9): 139
- Science News 110 (7): 106-108