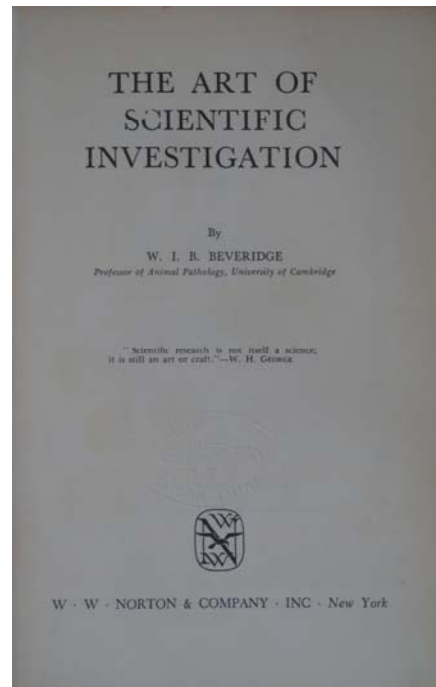
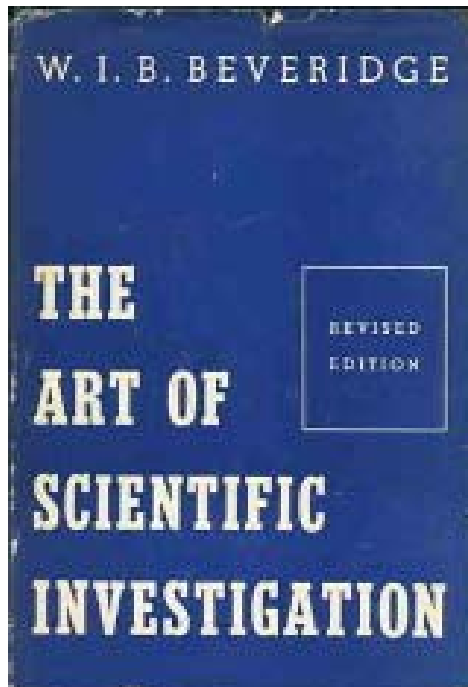


The Art of Scientific Investigation



217
547

| CHAPTER | CONTENTS | Page |
|---|----------|------|
| PREFACE | | viii |
| I. PREPARATION | | 1 |
| Study | | 1 |
| Setting about the Problem | | 8 |
| II. EXPERIMENTATION | | 13 |
| Biological experiments | | 13 |
| Planning and assessing experiments | | 19 |
| Misleading experiments | | 23 |
| III. CHANGE | | 27 |
| Illustrations | | 27 |
| Role of chance in discoveries | | 31 |
| Recognising chance opportunities | | 34 |
| Exploiting opportunities | | 37 |
| IV. HYPOTHESES | | 41 |
| Illustrations | | 41 |
| Use of hypothesis in research | | 46 |
| Precautions in the use of hypothesis | | 48 |
| V. IMAGINATION | | 53 |
| Productive thinking | | 53 |
| False trails | | 58 |
| Curiosity as an incentive to thinking | | 61 |
| Discussion as a stimulus to the mind | | 63 |
| Conditioned thinking | | 64 |
| VI. INTUITION | | 68 |
| Definitions and illustrations | | 68 |
| Psychology of intuition | | 73 |
| Technique of seeking and capturing intuitions | | 76 |
| Scientific taste | | 78 |

v

669621

| CHAPTER | Page |
|--|------|
| VII. REASON | |
| Limitations and hazards | 82 |
| Some safeguards in use of reason in research | 86 |
| The rôle of reason in research | 92 |
| VIII. OBSERVATION | |
| Illustrations | 95 |
| Some general principles in observation | 98 |
| Scientific observation | 102 |
| IX. DIFFICULTIES | |
| Mental resistance to new ideas | 106 |
| Opposition to discoveries | 111 |
| Errors of interpretation | 115 |
| X. STRATEGY | |
| Planning and organising research | 121 |
| Different types of research | 126 |
| The transfer method in research | 129 |
| Tactics | 131 |
| XI. SCIENTISTS | |
| Attributes required for research | 139 |
| Incentives and rewards | 142 |
| The ethics of research | 145 |
| Different types of scientific minds | 148 |
| The scientific life | 151 |
| APPENDIX | 160 |
| BIBLIOGRAPHY | 169 |
| INDEX | 275 |

(The reference numbers throughout the book refer to the numbers in the bibliography)

vi

First Published 1950 • Second Edition 1953 • Revised Edition 1957

imagine

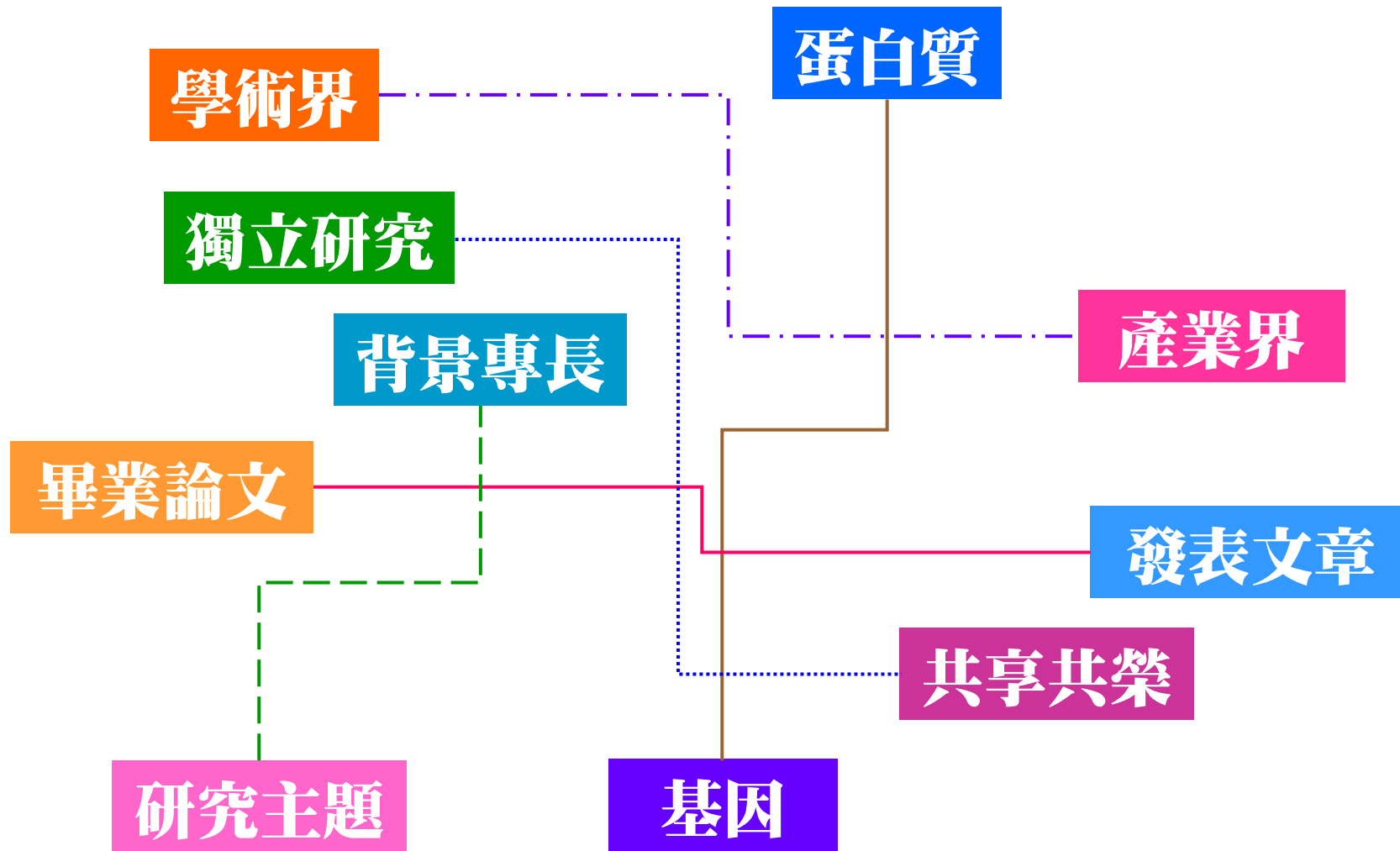


新生專題 08 科學之路

莊榮輝

<http://juang.bst.ntu.edu.tw/art%20science/Freshman/index.htm>

Make a right decision



科學之路.....



William I.B. Beveridge 1908-

Professor of Animal Pathology, University of Cambridge

- 1951 *Infectious pneumonia of pigs.*
- 1951 *Commentary: [Teaching the art of research](#)*
- 1952 *Investigations on a virus pneumonia of long duration prevalent in pigs*
- 1963 *Acquired immunity: viral infections*
- 1965 *Influenza in horses.*
- 1970 *Influenza in horses and donkeys in Britain, 1969*
- 1975 *The origin of influenza pandemics.*
- 1977 *The start of pandemics: site, season and spread*
- 1991 *The chronicle of influenza epidemics*
- 1993 *Unravelling the ecology of influenza A virus*



科學之路

準備工作
Preparation

學習 · 著手研究問題

實驗
Experimentation

生物學實驗 · 實驗的部署與估價 · 給人錯誤印象的實驗

機遇
Chance

實例 · 機遇在新發現中的作用 · 認出機遇的機會 · 利用機會

假設
Hypothesis

實例 · 假設在研究中的運用 · 運用假設須知

想像力
Imagination

豐富的想像 · 虛假的線索 · 好奇心激發思考 · 討論激勵思想 · 受條件限制的思考

直覺
Intuition

定義與實例 · 直覺的心理學 · 探索與捕獲直覺的方法 · 科學鑒賞力

推理
Reason

推理的限度與危險 · 在研究中運用推理注意事項 · 推理在研究的作用

觀察
Observation

實例 · 觀察的原則 · 科學的觀察

戰略與戰術
Strategy

對新想法的抗拒心理 · 與新發現的對立 · 解釋的謬誤

困難
Difficulties

研究工作的計劃和組織 · 不同類型的研究 · 科學研究中的移植法 · 戰術

科學家
Scientists

研究工作要求的性格 · 鼓勵和報酬 · 科學道德觀 · 各種類型的科學頭腦 · 科學家的生活

附錄
Appendix

機遇在新發現中發揮作用的實例

構成學習上最大障礙的是已知的東西，而不是未知的東西。

如同看報一樣，使**閱讀**當前科學期刊的習慣，成為正常生活的一部分。
透過**閱讀**科學偉人的生平和著作，可以豐富自己的生活，並加深對科學的理解。

科學研究者如不培養**廣泛的興趣**，其知識層面可能只局限於自己的專業知識。
成功的科學家往往是**興趣廣泛**的人，他們的獨創精神可能來自他們的博學。

科學研究的訓練主要是**自我訓練**，若能得到有經驗科學家的指點則更好。
初學者應該請教本行中有經驗的研究工作者，以了解那些雜誌對自己最為重要。

一個兼做教學工作的科學家，比一個單純從事研究工作的科學家，更會要求在廣泛的領域裏跟上科學的進展。



青年時期所奠定的基礎及所能負載的極限，就是他日後科學思維發展的極限。

年輕科學家還要注意科學論文寫作的技巧和藝術。人們對科學論文的主要意見不在於英語不夠優美，而是不清晰、不準確。

參加科學會議對青年科學家是很有幫助的。在科學會議上，青年科學家可以看到別人如何發展其研究過程。認識你所讀論文的作者，甚至僅僅知道他們的容貌，都會給科學研究增添不少興味。科學會議也是一個無任何獨斷專行的民主氣氛之場所。因為在會議上，那些老資格的科學家也同樣可以受到批評。我們應爭取一切機會參加著名科學家舉行的特別報告會，因為這種報告會常常給人極大的啟發。

決定研究的題目有必要請教有經驗的科學家，但是做研究工作的學生若是自己擔起選題的主要責任，那麼成功的可能或許會更大。最好能在實驗室老資格科學家的研究範圍內選擇題目，這樣就能得益於他們的指導和關注。



謹

慎

小

心

成功的實驗，其最基本條件是要能**再現**。

進行實驗時，**密切注意細節**，作出詳細的筆記以及客觀解釋實驗結果。

『**對照實驗**』是生物學實驗中最重要的概念之一。

開頭應盡可能進行一項關鍵性的簡單實驗，以判斷所考慮的**主要假設是否成立**。

切不可把觀察到的現象與實驗者本人對現象的解釋二者混為一談

切勿讓推理的進展超越事實，否則定會誤入歧途

『決定實驗結果的，正是我們對於表面上微不足道、枯燥乏味、而且不勝麻煩的細節時，所採取的**謹慎小心的態度**。』

生物統計學不僅涉及實驗結果的解釋，而且也用於實驗的部署。

用縮小可能性的方法，常常比直接但是盲目的猜測能更快地找到未知的事物。



機 遇

新發現是透過對最細小線索的注意而獲得的

提 高 警 覺

新知識常常起源於**研究過程中某種意外的觀察或機遇現象**。

雖然我們無法刻意製造這種捉摸不定的機遇，但我們可以對之**提高警覺，作好準備**，一俟機遇出現，就抓住它。

『**留意意外之事**』是研究工作者的座右銘

往往必須具有敏銳的觀察能力才能注意到線索，特別是在**觀察所預期事物的時候，要保持對意外事物的警覺性和敏感性**。

當頭腦中充斥著一大堆相關但尚未緊密聯繫起來的資料，或一大堆模糊概念的時候，**一件小事可能有助於形成某種清晰的概念，而將資料聯繫起來**。

由於觀察者的**經驗**是多年工作積累而成的，它使得勝利的瞬間能夠到來。

積極、勤勉，嘗試新步驟的研究人員遇到這種機會的次數更多。



任自己的想像馳騁，擁有『**夢想**』有時是有益的。

想像力雖是靈感的源泉，但如不受到**訓練**，也可能釀成危險。

豐富的想像力須用**批評的精神與判斷**來加以平衡。

要真正做到**多思考**，這樣就不致於在未獲充足理由之前，接受某一想法或肯定某一信念。

我們**知識的寶藏越豐富**，產生重要想法的可能性就越大。

牛頓從落下的蘋果想到引力的問題，是**有準備的想像力**的一種行動。



想像力

好奇心能激發思考 · 討論能激勵思想的形成

多 思 考

把思想具體化，在腦海中構成形象，能激發想像力。

養成把每個問題在頭腦中構成形象的習慣。把想法轉為圖形，能在科學思維中產生重要作用。

使思想擺脫條件限制的兩個主要方法是 (1) 暫時擺在一旁，(2) 討論它。

提出『為什麼』能有效地激發想像。

討論和溝通往往使人振作與激勵及鼓舞，特別在人們遇到困難與煩惱的時候。

學術討論常有助於創造性的思維活動。



反復看見某一事物而未加注意是完全可能的。

錯誤之所以出現，是由於頭腦容易無意識地根據過去的經歷、知識和自覺的意願去習慣性的臆想。

『觀察』不是僅止於看見事物，而是一種積極的思維過程。

進行有效的科學觀察還必須有良好的基礎，因為只有熟悉正常情況，才能注意到不尋常或尚未加以解釋的現象。

對事物進行科學觀察，就是要進行最專注的審慎細察，做詳盡的筆記和繪圖或攝影都是促進準確觀察的寶貴方法。

在研究工作中養成良好的觀察習慣比擁有豐富知識更為重要。

實驗的時候，如果僅僅注意那些預期的事物，就很可能錯過預料之外的現象。

培養以積極探究的態度注視事物的習慣，有助於觀察力的發展。



對研究人員來說，最基本的必備條件是**對科學的熱愛和難以滿足的好奇心**。

研究人員探測知識的疆界需要具有很多**與拓荒者同樣的性格**。

幾乎所有有成就的科學家都具有一種**百折不撓的精神**，
因為在面臨反覆挫折的時候，都需要**毅力和勇氣**。

聰明的資質、內在的幹勁、勤奮的工作態度和堅韌不拔的精神，
這些都是科學研究成功所需的部分條件。

人們最出色的工作，往往是在處於逆境的情況下做出來的。

一個人只要一生中體驗過一次**科學創造的歡樂**，就會終生難忘。

當你**終於確實明白了某件事物時**，你所感到的快樂
是人類所能感到的一種最大的快樂。



科學之路

準備工作
Preparation

研究人員的準備工作是永無止境的

學習

實驗
Experimentation

大多數生物實驗的基礎是對照實驗

耐心

機遇
Chance

新發現是透過對最細小線索的注意而獲得的

勇氣

假設
Hypothesis

想像力
Imagination

好奇心能激發思考・討論能激勵思想的形成

思考

直覺
Intuition

推理
Reason

觀察
Observation

我們見到的只是我們知道的

用心

戰略與戰術
Strategy

困難
Difficulties

科學家
Scientists

對科學的熱愛和難以滿足的好奇心

熱情

附錄
Appendix

發現問題

解決問題

態度

去熱丸小主
熱熱情