

touch

對於變化，我們需要的不是觀察。而是接觸。

a touch book

Locus Publishing Company

2-3 Alley 20, Lane 142, Sec. 6, Roosevelt Road, Taipei, Taiwan

ISBN 957-8468-56-3 Chinese Language Edition

Copyright © 1998. Standard Chinese Characters language edition
arranged with Stuart Krichevsky Literary Agency, Inc.
through Big Apple Tuttle-Mori Library Agency, Inc.

Printed in Taiwan

本書中文版權經由大蘋果版權代理公司取得
版權所有 翻印必究

NEXT: 20 years and after

作者：加來道雄 (Michio Kaku)

譯者：陳婷／徐中緒

責任編輯：陳郁馨 美術編輯：何萍萍

法律顧問：全理律師事務所董安丹律師

發行人：廖立文 出版者：大塊文化出版股份有限公司

台北市117羅斯福路六段142巷20弄2-3號 讀者服務專線：080-006689

TEL:(02) 29357190 FAX:(02) 29356037

郵撥帳號：18955675 戶名：大塊文化出版股份有限公司

e-mail: locus@ms12.hinet.net

行政院新聞局局版北市業字第706號

總經銷：北城圖書有限公司 地址：台北縣三重市大智路139號

TEL:(02) 29818089 (代表號) FAX:(02) 29883028 29813049

排版：天翼電腦排版有限公司 製版：源耕印刷事業有限公司

初版一刷：1998年9月 定價：新台幣380元

touch

NEXT

20 years and after

財富、生命與智慧，在未來20年及之後的面貌

Visions

How Science Will Revolutionize the 21st Century

Michio Kaku

新世紀的科學前瞻

陳婷／徐中緒◎譯

目錄

前言 6

序曲 13

未來文明的預示

第一部：心智的形態與運用

0.1 界限之後

1 無形化的電腦 37

當微晶片無所不在

2 有智能的地球 63

織一張無邊的溝通網路

3 會思考的機器 101

開發人工智慧

4 突破0.1界限 137

尋找矽的代替物

5 再想一想 163

以電腦為競爭力

第二部：生命的組成與操縱

基因定序之後

6 DNA 地圖完全顯影 191

解開基因的祕密

7 修補基因 221

征服癌症與遺傳性疾病

8 在分子醫學的時代 247

控制病毒，了解免疫系統

9 對抗自由基 277

假如老化只是一種病

10 扮演上帝的角色 307

操縱基因與複製生物

11 三思而後行 335

遺傳學研究的幾個問題

第三部：物質的延伸與未來

第零類文明之後

12 不需要道路的未來 365

無限量度的量子發展

13 外太空有人嗎 405

星際探險與旅行

14 別讓地球崩潰 441

邁向一個行星文明

15 宇宙的第四支柱 463

支配時間與空間

前言

本書討論科學與技術無限的未來，時間重點將擺在未來的一百年及之後。

要以適切的範圍、深度和相當的正確性，著書描述日新月異、快速進步的科學發展，若無促成這些進展的科學家之智慧與卓見，這樣的書根本不可能實現。

單一個人絕對無法獨自發明未來。這世界存有太多知識，太多可能性和太多的專門學問。而事實上，大多數對未來的預測都站不住腳，因為這些預測只呈現出單一個人偏頗、狹隘的觀點。

本書則非如此。在著書、發表文章和科學評論的過程中，我有幸訪談了一百五十多位各領域的科學家，前後共花了十年的時間完成這些訪問。

我從這些訪談出發，仔細描述在未來的時間裡，哪些推測可能實現，哪些不會實現。有些科學家預測某些科技將在二〇二〇年發生，有些科學家的預測，則是在更久以後的二〇五〇到二一〇〇年之間。因此，並非所有的預測都具有相同的準確性；有些預測因為眼光超前，無可避免的，將因而顯得較具揣測性。我在書裡定下的時間表，讀者諸君應將之視為指標，以作為對趨勢與科技出現的時間的大概認識。

本書大綱如下：第一部探討電腦革命驚人的進展。電腦革命已經開始改變商業、傳播和人類的的生活方式。我相信電腦革命將賦予人類能力，在全球各個角落設置具有信息處理的智慧機制。第二部探討分子生物革命；此革命終將賦予人類改變、合成新生命，以及創造新藥物與治療方式的能力。

第三部是量子革命：它將使人類有能力控制物質本身，因此有可能成爲最具深遠影響的革命。我要感謝以下的科學家，他們在我寫作這本書時，提供了寶貴的時間、建議與意見。

華特·吉爾柏 (Walter Gilbert)，諾貝爾化學獎得主，哈佛大學

墨瑞·葛爾曼 (Murray Gell-Mann)，諾貝爾物理獎得主，聖塔菲學院

亨利·坎德爾 (Henry Kendall)，諾貝爾物理獎得主，麻省理工學院

里恩·賴德曼 (Leon Lederman)，諾貝爾物理獎得主，伊利諾理工學院

史提芬·溫伯格 (Steven Weinberg)，諾貝爾物理獎得主，德州大學

喬瑟夫·羅伯 (Joseph Rotblat)，物理學家，諾貝爾和平獎得主

卡爾·沙岡 (Carl Sagan)，康乃爾大學星際研究所所長

史提芬·傑·顧爾德 (Steven Jay Gould)，哈佛大學生物教授

菲力普·摩里森 (Philip Morrison)，麻省理工學院物理教授

米蓋爾·維洛索洛 (Miguel Virasoro)，國際理論物理研究中心所長，義大利

馬克·魏瑟 (Mark Weiser)，全錄帕拉阿圖研究中心

賴瑞·泰勒勒 (Larry Tesler)，蘋果電腦首席科學家

保羅·厄力克 (Paul Ehrlich)，環境學家，史丹福大學

保羅·沙弗 (Paul Safo)，未來學研究院院長

法蘭西斯·柯林斯 (Francis Collins)，美國國家衛生研究院人類基因研究中心所長

- 麥克·布里斯 (Michael Blaes)，美國國家衛生研究院臨床基因治療部
- 勞倫斯·柏迪 (Lawrence Brody)，美國國家衛生研究院基因轉植實驗中心
- 艾瑞克·格林 (Eric Green)，美國國家衛生研究院診斷發展部
- 傑佛瑞·崔恩特 (Jeffrey Trent)，美國國家衛生研究院器官內研究部門所長
- 保羅·梅爾茲 (Paul Melzer)，美國國家衛生研究院癌症基因實驗中心
- 萊斯利·拜塞克 (Leslie Biesecker)，美國國家衛生研究院基因疾病研究室
- 安瑟尼·溫沙伯瑞斯 (Anthony Wynshaw-Boris)，美國國家衛生研究院基因疾病研究室
- 史提芬·羅森寶 (Steven Rosenberg)，美國國家衛生研究院外科所長
- 羅伯·鮑曼 (Robert Bowman)，太空安全研究學院院長
- 羅伯·哈夫曼 (Paul Hoffman)，《發現》雜誌主編
- 雷納·海福力克 (Leonard Hayflick)，加州大學舊金山校區醫學系解剖教授
- 愛德華·魏頓 (Edward Witten)，物理學家，普林斯頓高等研究學院
- 康蘭·凡法 (Cumrun Vafa)，哈佛大學物理學家
- 保羅·湯森 (Paul Townsend)，劍橋大學物理學家
- 巴瑞·康蒙納 (Barry Commoner)，環境學家，紐約市立皇后區大學
- 羅尼·布魯克斯 (Rodney Brooks)，麻省理工學院人工智慧實驗所副所長
- 羅伯·艾力 (Robert Irie)，麻省理工學院人工智慧實驗室
- 詹姆士·麥勒金 (James McLurkin)，麻省理工學院人工智慧實驗室

- 傑·傑洛斯拉夫 (Jay Jaroslav)，麻省理工學院人工智慧實驗室
- 彼得·狄爾渥斯 (Peter DiIworth)，麻省理工學院人工智慧實驗室
- 麥克·韋斯勒 (Mike Wessler)，麻省理工學院人工智慧實驗室
- 尼爾·葛遜菲德 (Neal Gershenfeld)，麻省理工學院媒體實驗室物理媒體組首席調查員
- 派蒂·梅絲 (Patti Maes)，麻省理工學院媒體實驗室自發物質組首席調查員
- 大衛·瑞奎爾 (David Riquier)，麻省理工學院媒體實驗室傳播與贊助關係研究所副所長
- 布萊德利·羅德 (Bradley Rhodes)，麻省理工學院媒體實驗室
- 唐娜·薛莉 (Donna Shirley)，噴射推進實驗室，火星探索任務主任
- 法蘭克·范西波 (Frank Von Hippel)，普林斯頓大學物理學家
- 約翰·派克 (John Pike)，美國科學家聯盟
- 史提夫·艾富特古德 (Steve Aftergood)，美國科學家聯盟
- 約翰·荷根 (John Horgan)，《美國科學》雜誌作家
- 萊斯特·布朗 (Lester Brown)，世界展望研究所創立人／所長
- 克里斯多夫·佛萊汶 (Christopher Flavin)，世界展望研究所
- 尼爾·泰森 (Neal Tyson)，美國自然歷史博物館海頓天文館館長
- 布萊恩·蘇利文 (Brian Sullivan)，海頓天文館企劃
- 麥可·歐本海姆 (Michael Oppenheimer)，環境保護基金會首席科學家
- 羅貝卡·戈柏 (Rebecca Goldberg)，環境保護基金會首席科學家

克里佛·史鐸 (Clifford Stoll)，電腦分析家

約翰·路易斯 (John Lewis)，美國航太總署／亞利桑那大學太空工程研究中心所長

李察·穆勒 (Richard Muller)，柏克萊大學物理系教授

賴瑞·克勞斯 (Larry Krauss)，大學物理系系主任

大衛·葛勒納 (David Geletner)，耶魯大學電算系副教授

泰德·泰勒 (Ted Taylor)，原子彈設計，洛斯阿拉莫斯原子能研究中心

大衛·納哈穆 (David Nahamoo)，IBM 人類語言技術資深經理

保羅·舒克 (Paul Shuch)，尋找外星智慧計劃執行董事

亞瑟·卡波蘭 (Arthur Caplan)，賓州大學生物倫理中心所長

雅蘭妲·摩絲 (Yolanda Moses)，美國人類學會會長，紐約市立大學校長

梅瑞德絲·思摩 (Meredith Small)，康乃爾大學人類學系副教授

福里曼·戴森 (Freeman Dyson)，普林斯頓高等研究院物理教授

麥可·傑考森 (Michael Jacobson)，公益科學中心執行董事

羅伯·艾維瑞茲 (Robert Alvarez)，能源部雇員

史提夫·庫克 (Steve Cook)，美國航空太空總署發言人

卡爾·葛斯曼 (Carl Grossman)，紐約州立大學新聞系教授

海倫·卡蒂凱 (Helen Caldicott)，小兒科醫師，和平運動者

傑·顧德 (Jay Gould)，前環保署官員

亞鈞·麥希賈尼 (Arjun Makhiani)，環境能源研究學院院長

湯瑪斯·柯蘭 (Thomas Cochran)，自然資源保護委員會資深科學家

艾斯霍·古普塔 (Ashok Gupta)，自然資源保護委員會資深能源政策分析

大衛·史瓦茲巴赫 (David Schwarzbach)，自然資源保護委員會核能計劃委員

理察·高特 (Richard Gott)，普林斯頓大學天文學家

卡爾·達利卡 (Karl Drlica)，紐約大學生物暨微生物系教授

溫蒂·麥克古恩 (Wendy McGoodwyn)，明智遺傳學會執行董事

安德魯·金伯爾 (Andrew Kimbrell)，前經濟趨勢基金會政策指導

傑洛米·葛蘭 (Jerome Glenn)，千禧年計劃

珍·李思樂 (Jane Kissler)，關心公益科學家聯盟資深科學家

查理斯·皮勒 (Charles Pillar)，《基因戰爭》作者

艾瑞克·齊維恩 (Eric Chivian)，國際預防核戰醫師協會

傑克·基格 (Jack Geiger)，醫師社會責任協會共同創立人

高登·湯普森 (Gordon Thompson)，資源安全研究所所長

我還要感謝給予我鼓勵及閱讀本書的人：卡爾·達利卡、喬·葛斯登 (Joel Gersten)、安撒爾夫婦 (Mike and Iris Anshel)、塔蜜蕊·范卡泰許 (Tadmiri Venkatesh) 等人。我要特別感謝我的代理商·史都華·克查夫斯基 (Stuart Krichewsky)，本人數部暢銷書作，從概念產生到出版上市，均由他

一手監督。我也要感謝我的編輯，羅傑·史科 (Roger Scholl)，他敏銳嚴謹的態度，大大提高了本書的可讀性，並使訊息傳達更加清晰完整。

序曲

未來文明的預示

21世紀的每一項科技，
幾乎都深植於量子、電腦和分子生物革命。
這三項革命不僅是下一世紀科技突破的關鍵，
也是富裕繁榮背後的推動引擎。
對這三項革命的重要性嗤之以鼻的國家，
將發現自己被排擠於21世紀的全球市場之外。

「二十世紀科學發展有三個重大的主題：原子、電腦與基因。」

美國國家衛生研究院院長，法穆斯 (Harold Varmus)

三百年前，牛頓寫道：「我就像個在沙灘上玩耍的男孩，偶爾發現了一塊光滑的石子或美麗的貝殼，而在我面前的大海，卻蘊藏著無邊未經發掘的真相。」

當牛頓探索他面前未經發掘的真實時，自然法則還披著一層揉合畏懼、迷信、不可突破的神秘面紗。我們現今所知道的科學，當時並不存在。

牛頓時代的生活短暫殘酷。人們多為文盲，一生未曾擁有一本書，也未曾踏進教室接受學問，更少遠離出生地。白天，人們於烈日下辛勤地從事田野工作。夜晚，除了夜的寂靜，很少能有任何娛樂或消遣。大部分的人，對於饑荒和折磨人的慢性疾病都有直接體驗，他們的壽命多半不超過三十歲，一生產兒十數，而多半出生即夭折。

不過，牛頓和其他科學家在海邊拾起的幾塊美妙石子和貝殼，開啓了一連串神奇的變化，人類社會產生了深遠影響的變革。牛頓的力學創造了機器，最後發展出推動世界變革的蒸汽機。工廠如雨後春筍般設立，刺激了商業發展，農業社會淡出，工業革命開始，鐵路打通了整個歐洲大陸。

到了十九世紀，一系列的科學發現早已在進行中。科學和醫藥的重要進展，幫助人類不再受赤貧與無知之苦。人類的生活更加豐富，見聞增廣，看見了新的世界。這些變化進而促成歐洲封建王朝、世襲制度和帝國的衰退。

科學到了二十世紀末，已經到達一個終點——原子之謎揭曉了，分子之密闡明了，電子電腦也發明了。有了這三項由量子革命、DNA革命和電腦革命所引發的重大成就，物質、生命和電腦運算的基本法則，可說已經得到解釋。

科學的史詩時代即將結束；一個時代的結束，代表另一個新時代就要開始。

本書即是關於這個在我們面前開展的科技新時代。重點放在接下來的一百年裡及其後的科學發展。這個新科學世紀的影響，將比上一個世紀更加深遠，更加廣泛。

很明顯的，我們即將面臨另一個革命（註一）。人類知識每十年增加一倍。過去十年來的科學知識，比整個人類歷史的發現還來得多。電腦運算能力每十八個月增加一倍；網際網路每年擴充一倍；我們分析出來的DNA數目每兩年增加一倍；幾乎每天，我們都能在報紙上讀到電腦、電傳視訊、生化科技或太空探索的新知識。科技發展顛覆了所有的產業和生活方式，而新的科技還不斷出現。這些令人不解又推陳出新的科技，並非只是在數量上驚人，它們還代表著新世紀門窗的開啓。

今日的我們，又像是在海邊閒晃的孩子。只不過牛頓所知道的海洋已經消失了，在我們面前的是一個嶄新的海洋，一個充滿科學可能和無窮應用的海洋，一個人類第一次能依意願改造自然力量的新世紀。

在人類漫長的歷史中，我們多半只能像旁觀者一樣，觀看自然力量美麗的舞蹈，而今，我們站立在新紀元的轉折點：人類即將從被動的觀察者，轉成爲主動編造自然舞蹈的編舞者。這就是本書的主旨。這個新世紀將是最令人興奮的世紀之一，因爲生活在這世紀的我們，能夠享受前兩千年科學發展的果實。科學的發現世紀快要結束，而科學的主導世紀即將來臨。

科學家的共識形成

未來會是什麼樣子？科幻作家做出許多荒誕不羈的假設，譬如到火星度假或是令所有疾病滅跡等。即使在大眾媒體中，某單一個人的褊狹論述常取代了整個科學界的觀點。譬如在一九九六年，《紐約時報雜誌》(The New York Times Magazine) 做了未來一百年的生活專刊。來稿包括新聞記者、社會學家、作家、時裝設計師、藝術家和哲學家。驚人的是，沒有任何一位科學家受邀供稿。可是，專業科學家對於未來所做的預測，通常比社論家來得有科學證據。他們的預測，也比在科學法則尚未出現前的科學家所做的推測來得正確。

這正是本書不同之處。本書提出的是科學界開始形成共識的看法。而大眾媒體對未來的預測，幾乎全為作家、記者、科幻小說家，甚至是科技的消費者而非創造並塑造科技的人所書寫的預測。這不禁令人想起一九四五年，美國海軍總司令對杜魯門總統說的一段話：「身為彈藥專家，我要說，這是我們做過最愚蠢的事……原子彈絕對不可能爆炸。」這位總司令，就如今日許多的未來學專家，以他個人的偏見，自行取代了製作原子彈的物理學家的意見。

身為從事研究的物理學者，我相信，物理學家對未來的總體預測十分成功。我的工作是在基礎物理，意欲完成愛因斯坦的夢想，找到一個「萬物理論」(theory of everything)。因此，我經常不忘量子物理對二十世紀重要發現的影響。

物理學家在過去留下的紀錄十分驚人：我們和許多重大發明都有密切的關係。譬如：電視、收音機、X光、電晶體、電腦、雷射和原子彈的發明；解出DNA分子；正電釋放斷層掃描(PET)、

核磁共振影像 (MRI)、電腦斷層掃描 (CAT) 等掃描射線的發展；甚至設計了網際網路和全球資訊網 (World Wide Web)。物理學家絕非預測未來的先知（而我們也絕非做出可笑預測的人）。但是當今科學史上，許多全新知識領域的打開，的確是來自頂尖物理學者的洞察力和灼見。

本書對於未來的預測，必將出現驚人的意外和轉折，或甚至重大的遺缺——我將很可能遺漏二十一世紀某些重要的創造和發明。但藉由審視三大科學革命的相互關聯，參照促成這些革命的科學家意見，並檢視他們的發明，我希望，我們能對未來科學的發展方向有相當的瞭解，力求正確。

寫這本書的十年間，我有幸訪問了一百五十多位科學家，其中不乏多位諾貝爾獎得主。其間，我也同時製作每週播出的全美科學廣播節目，不定期寫作科學評論文章。

這些科學家在最前線工作，努力不懈，為二十一世紀奠定基礎，其中多位並為科學重要發現立下汗馬功勞。經由這些訪問和我自己的研究，我得以重新檢閱過去浩瀚的科學發展，並汲取各方專業知識。這些科學家慷慨打開他們的辦公室和實驗室，與我分享他們最私密的科學新觀。我將在這本書中，試圖捕捉科學家在科學發現時刻最原始的興奮與活力，以求回饋他們對我的盛情。我個人認為，在這科技不斷更新的詭譎多變世界，若要維持旺盛的民主力量，那麼，激發一般大眾（尤其是年輕人）對科學的熱情，是一樁刻不容緩的重要課題。

事實上，從事未來科學研究的學者，已有大方向的共識。由於量子理論、電腦和分子生物學的法則已經建立得相當完備，因此，科學界已能夠對未來科學的發展做出預測。此所以我認為，此處所提出的預測比過去的預測更正確。

以下便是科學研究者共同的想法。

科學三大柱樑

物質，生命，心智。

這三個元素組成現代科學的柱樑。歷史學家若要記述二十世紀輝煌的科學發展，內容極有可能是這三個柱樑基本構成要素的揭曉：原子核的分裂，細胞核的分解，電腦的發展。隨著我們對物質與生命有了基本的瞭解，我們正巨擊科學史上一個偉大章節的結束。（這並不代表人類已經完全瞭解這三大柱樑的所有法則，目前我們只不過明白其最基本的法則。譬如電腦的法則我們已經明白，但是我們對於人工智慧和人腦仍只瞭解一部分。）

二十世紀科學革命中，第一個也是最重大的就是量子革命。量子革命促成其後兩個重要的革命：分子生物革命和電腦革命。

量子革命

世界由何組成，自原初即為人類所疑惑。希臘人認為宇宙是由水、空氣、泥土和火四種元素構成。唯物哲學家德謨克利特（Democritus）認為，這些元素還可以分解成更小的單位，並把它們稱為「原子」。但是，試圖解釋原子如何構成我們在大自然中所見的大千萬物，科學家一直無法提出令人信服的有力證據，即使是發現了運動定律解釋星球和月球運動的牛頓，也無法解釋物質的真相。

一九二五年，量子論出現後，這一切都改變了。量子論開啓了如狂潮般至今未衰的科學發現，量子革命帶給我們對物質幾近完整的解釋。人類生活周遭看似複雜的萬物，均能以一束粒子來解釋；

這就像一張色彩鮮艷、繁複萬分的壁毯，其實只是由幾種顏色的線條編織而成的。

由薛丁格 (Erwin Schrödinger)、海森堡 (Werner Heisenberg) 及其他物理學家創立的量子論，將物質之謎簡化為幾項基本原理。首先，能量並非如古人認為的是連續不斷的，而是以能區分的「量子」(quanta) 形態存在。(譬如光子便是個量子或是一束光。) 再者，次原子粒子同時具有粒子和波狀性質 (註二)，並遵循薛丁格波動方程式。此方程式決定事物發生的機率。有了這個定律，我們便可先分析物質的性質，然後將它們在實驗室中重現。量子論的最大成就就是「標準模型」(Standard Model)，它能預測出小自次原子的夸克，大至外太空超新星的性質。

量子論在二十世紀已賦予我們瞭解周遭事物的能力。下一世紀，量子革命可能開啓另一嶄新大門：操控編造新的生命形式。

電腦革命

過去的電腦是算數奇物——它充滿數不清的裝置、操縱桿和齒輪，是個超級龐大笨重的特殊發明。到了二次世界大戰，真空管取代了機械電腦，但體積還是十分龐大，整個房間只看到成堆的真空管。

貝爾實驗室的科學家在一九四八年發明電晶體後，才使現今電腦的出現成爲可能。十年後，雷射發明了，它對網際網路和資訊高速公路的建造有莫大的影響，此二者都是量子的機械應用。

依據量子論，電可以由電子的運動來解釋，就如同河流可以由水滴構成一樣。量子論令人驚奇的發現是，電流中含有「氣泡」(bubbles)，或叫「洞」(holes)，這些電洞代表電態中的空隙，而且

行為有如帶正電的電子。電洞和電子的運動，讓電晶體能夠將微小的電子訊號放大，這正是現代電子學的基礎。

今日，數千萬個電晶體能塞進如指甲般大的範圍。未來，當微晶片多到我們的環境中滿布數百萬個智慧系統時，人類的生活形態必將隨之改變。

過去，我們只能驚嘆於所謂「智慧」的現象；未來，我們將能隨心所欲控制「智慧」。

分子生物革命

歷史上的生物學家都受「生機論」(vitalism) 的影響，這說法認為，生物的機能是由一種神秘的生命力所主宰。薛丁格在他一九四四年出版的《生命是什麼》(What Is Life?) 一書中，挑戰了此一信仰，並提出主張，認為生命可以用細胞分子上的「遺傳密碼」來解釋。這在當時是個大膽的觀念——生命之謎竟然可以用量子論來解釋。

華生 (James Watson) 和克里克 (Francis Crick)，受到薛丁格著作的啟發，兩人使用 X 光結晶學證明了薛氏的言論。他們藉由分析散布在 DNA 分子上的 X 射線，重建了 DNA 詳細的原子結構，並且找出 DNA 的雙螺旋性質。量子論也說明了原子之間結合的角度和強度，因此我們便能找出像 HIV 這樣複雜的病毒的所有分子位置。

分子生物學能讓我們像讀一本書般地讀取生命的遺傳密碼。現在已有數種生物如病毒、單細胞細菌、酵母菌等的 DNA 密碼，已經完全分析出來。

人類基因將在二〇〇五年獲得全盤解釋，我們將能擁有人類身體的「使用說明」。這將鋪陳出二

十一世紀的科學與醫學發展。我們將不再只是欣賞生命舞蹈的觀者，分子生物革命將賦予我們類似上帝的操縱生命的能力。

從被動的觀賞到主動參與自然的編作

目睹過去這一世紀科學史重大發展的評論家曾經宣稱，我們正眼見科學帝國的滅亡。作家荷根（John Horgan）在他的《科學之終結》（*The End of Science*）一書中寫道：「相信科學的人，必須接受一個可能性——或甚至這個機率：科學發現的偉大時代已經結束。……接下來的研究很可能不能再產生偉大的發現和革命，而只是獲得漸漸減少的收獲。」

就某個小範圍來說，荷根是正確的。無疑的，現代科學已經發現了大部分科學原則的定律：物質的量子論、愛因斯坦的時空理論、天文學的大爆炸理論、達爾文的進化論，以及DNA和生命的分子基礎。除了幾個明顯的例外，如意識的本質為何，以及超弦理論（我所專攻的研究範疇）是否即為傳說中的統合場論等尚無定論之外，科學的「重大觀念」基本上都已經找到。

同樣的，主張還原論（*reductionism*，或譯化約論）——將所有物質還原到最小成分——的時期，就要結束。還原論在二十世紀相當成功，解開了原子、DNA分子和電腦邏輯迴路之謎。但是，還原論差不多已瀕終點。

不過，科學的浪漫曲才剛開始。這些重大里程碑標明了與過去科學觀念的告別，以往人類只能以泛靈論、神秘論和唯靈論來解釋「自然」。而與這些古老觀念的告別，為我們打開一扇通往全新科學時代的門。

下一個世紀將會目睹影響更深遠的科學革命，因為我們正從解開大自然之祕轉變成大自然的主
人。諾貝爾物理獎得主葛萊蕭 (Sheldon Glashow)，以一個名叫亞瑟的外星人第一次遇見地球人的象
徵故事，描述這個差別：

亞瑟是一個來自遠方星球，具有智慧的外星生物。他來到紐約市的華盛頓廣場，看見兩個老頭
兒在下西洋棋。好奇的亞瑟給了自己兩個任務：一、學習如何下棋；二、成爲下棋高手。他仔細觀
察他們下棋，慢慢地，他瞭解了棋局的規則，如卒子前進的方法，皇后吃掉騎士的方法，也知道
國王是如何脆弱。但是，明白下棋的規則並不代表亞瑟已經成爲下棋高手。葛萊蕭說：「這兩個任
務都很重要。一個較屬於『有關』(relevant)，另一個則比較算是『基本』(fundamental)。兩者都代
表對人類智慧的高度挑戰。」

就某方面來說，科學已經解出大自然的許多基本「規則」，但這並不代表我們已成爲高手。換言
之，雖然我們已經大致瞭解星球中基本粒子的舞蹈，以及人體內DNA分子捲曲的韻律，但這並不
代表我們已經成爲生命的編舞者。

事實上，二十世紀的結束，雖然結束了科學史第一個偉大的章節，它其實爲我們打開下一個更
精彩的章節。我們現正處於從下棋生手蛻變爲棋藝大師的轉折點。

從簡化到增效

這也讓科學家對自己的學科訓練有了全新的看法。過去的還原論思考模式成就非凡，爲現代物
理、化學和生物學奠定了基礎。

這個成就的中心是量子論的創立，而量子論間接促成了另外兩大革命。

量子革命、電腦革命（電晶體、雷射）
分子生物革命（X光結晶學、化學鍵理論）

藉由電晶體、雷射、X光結晶學和化學鍵理論，量子革命促成電腦革命與分子生物革命。

量子論於一九五〇年代促成此二革命的誕生後，它們各自成熟發展，與物理學無關，二者亦無重疊關係。原因在於「專業化」；科學家無視其他領域的發展，而只是汲汲鑽研所屬領域的更深階層。然而，還原論的黃金歲月可說已經結束，只採取還原論的作法，已無法解決難度愈來愈高的障礙。三大革命通力合作而增效（synergy）的新時代已經開始了。

這是本書的第二個主題。

和以往世紀不同的是，二十一世紀將是三大領域相互交流，彼此得益的增效時期。這也將是科學發展的一個重大轉捩點。此三大革命的交流將大幅加快速度，豐富科學發展過程，給予人類前所未有的能力來運用物質、生命和心智。

將來，在這三項領域缺乏工作經驗的科學家，將很難繼續研究工作。事實上，對此三大革命缺乏認識的科學家，已經發現自己陷入明顯的競爭劣勢。

這三大革命之間的新關係將非常具有活力。當一個領域遇上難解問題時，另一領域的新發展經

常便碰巧出現問題的解答。譬如，生物學界一度認為，欲解開數百萬基因上所攜帶的生命訊息，似乎是項遙遙無期的浩瀚工程。而近來，實驗室發現的基因如潮水般湧出，這項進展其實是拜另一項領域發展之賜：電腦能力有驚人的進步，能將基因定序過程機械化和自動化，因而加快了基因定序的步伐。另一方面，矽製晶片終將因體積太大，不適合下世紀電腦需求而面臨重大瓶頸，不過，DNA研究上的進展卻提供了電腦新架構的可能，一種在有機分子上進行運算的新方向。因此，一個領域的發現，能夠幫助另一個不相關領域的發展，共同作用的效果要比各自單獨作用之和來得大。這三個領域密切合作帶來一項結果：科學發現的速度原本是固定的，正以不斷增加的速率快速成長。

國富論

科技邁向下一世紀的快速發展，一定會對國家的財富和人類的的生活水準產生重大影響。在過去的三百年裡，能夠聚積財富的國家，通常是拜豐富的自然資源或龐大的資金所賜。十九世紀的歐洲強國和二十世紀的美國，正符合了「國富論」這古典的教科書原理。

然而，誠如麻省理工學院史隆管理研究所 (Sloan School of Management) 前所長，蘇洛 (Lester C. Thurow) 曾經強調的，在這即將來臨的世紀裡，國家財富將出現歷史性的變動，坐擁天然資源和資金的國家，財富將開始外流。如同地殼變動會造成嚴重地震一樣，財富的劇烈移轉將造成世界國家強弱的重新分配。蘇洛寫道：「腦力與想像力、發明及新科技企業，將是二十一世紀的關鍵策略

要素。」事實上，許多擁有豐富天然資源的國家，將發現它們的財富劇減。因為在未來市場上，商品將會變得便宜，貿易將走向全球性發展，所有市場也將由電子連接。從一九七〇年代到九〇年代這二十年間，許多天然資源商品的價格已劇降了百分之六十，而依照蘇洛的估計，到了二〇二〇年，價格還會再下降百分之六十。

即使資金本身，都將變成以電子形式環繞地球的商品。缺乏天然資源的國家將在下一世紀強盛，因為它們把重點擺在科技發展，而這給予它們在全球市場上競爭的優勢。「今日，知識與技術已經成為比較優勢的唯一來源。」蘇洛如此強調。

因此，若干國家已經著手籌劃，準備列出在二十一世紀能為國家帶來繁榮的主要科技發展清單。日本通商產業部一九九〇年定出的清單即是最佳例子：

- 微細電子
- 生化科技
- 新材料科學產業
- 電傳視訊
- 民航製造業
- 機器工具與機器人
- 電腦（硬體與軟體）

領導二十一世紀的每一項科技均深植於量子、電腦和DNA革命，幾乎無例外。

這裡要強調，這三項革命不僅是下一世紀科技突破的關鍵，也是富裕繁榮背後的推動引擎。任何活動都有輸贏，而最有勝算的贏家將是深刻明白這三大科學革命重要性的國家。對這三項革命重要性嗤之以鼻的國家，將發現自己被排擠於二十一世紀的全球市場之外。

未來時間表

對未來提出預測時，我們必須先明白一點：不同的科技有不同的成熟時期。本書預見的未來時間表分為三個範圍：現在到二〇二〇年間的科學突破與進展；二〇二〇年到二〇五〇年的科技演化；二〇五〇年到二十一世紀結束之間將出現的科技。（這並非絕對的時間表，而是代表科技或科學達到成熟階段的大約時期。）

從現在到二〇二〇年

科學家預測，從現在到二〇二〇年，科學活動將出現前所未有的爆炸性發展。在電腦能力和DNA定序這兩大科技項目中，我們將看到驚人的科學進展造成整個工業的誕生或滅亡。從一九五〇年代至今，電腦能力有了將近一百億倍的成長。事實上，電腦能力和DNA定序能力都是每兩年增加一倍，以此速度計算，我們就可大約估算出若干科技突破將會於何時發生。這代表我們有相當正確的統計資料，預測出電腦和生化科技在二〇二〇年前的發展。

在電腦方面，它的驚人成長速率可用摩爾定律 (Moore's Law) 來表示：電腦的運算能力大約每十八個月便增加一倍。這句話是由英特爾 (Intel) 企業創立人之一的戈登·摩爾 (Gordon Moore) 於一九六五年說出。摩爾定律並不是像牛頓定律那種的科學定律，而是一項經驗法則，因為它事先預測到電腦能力好幾十年的發展。摩爾定律反過來也決定了擁有數百億資金的電腦公司將遭逢何命運——這些公司對未來的估計和生產線，即是根據對於電腦的持續成長的估計而定的。到了二〇二〇年，微處理器將可能和紙張（便條紙、廢紙等隨意取用的紙張）一樣大量且便宜，和紙張一樣散布在人類的環境中，讓我們能夠在生活周遭都有智慧型裝置。這將改變一切的生活，大至商業活動和國家財富，小至人際溝通、工作、遊樂和居住的方式。我們將有智慧型的住家、汽車、電視、衣服、珠寶及金錢；我們能和家居用品說話，而它們也會回應。科學家還預測，網際網路將遍布全世界，演變成具有數百萬電腦網絡，籠罩全球的網膜，將地球變成一個「智慧型星球」。網際網路最終將發展成能夠截取人類智慧，一如童話中法力無邊的「魔鏡」，能以人類一般的智慧發言。

由於在晶圓上嵌入愈來愈小的電晶體技術持續快速發展，科學家預測，電腦威力將愈來愈強大，電腦種類也將不斷更新發展；到二〇二〇年時，量子物理的鐵律又將主導一切，微晶片零件的大小將發展到只有分子般大小。矽谷傳說結束，量子效應接手。

生化科技在這段期間的成長曲線也將同樣精彩。在分子生物的研究方面，電腦和機器人的引進，將DNA定序過程自動化，加快了解譯生命之謎的進程。這個不懈進程將持續到二〇二〇年，終至解開數千種生物完整的DNA密碼。屆時，地球上所有人類也許都能擁有一片儲存自己DNA密碼

資料的光碟，我們就會擁有一套「生命百科全書」。

這對生物學和醫藥將產生深遠的影響。只要將擁有正確基因的細胞注入人體，就能使許多遺傳疾病銷聲匿跡。目前，我們知道癌症是由基因突變所引起的，因此，屆時，我們再不需要擾人的手術或化學治療，就能醫治許多癌症。同樣的，許多與感染性疾病有關的微生物也將被征服。使用虛擬實境，找出分子脆弱部位，再製造出抵禦這些脆弱部位的物質，如此就能治療疾病。有了對細胞分子的瞭解，我們也將發展出在實驗室培育肝、腎等器官的能力。

從二〇二〇年到二〇五〇年

要說從現在開始到二〇二〇年，電腦能力和DNA定序都能不斷呈爆炸性成長，其實有些過於樂觀；電腦能力的成長有賴於在電晶體上嵌入愈來愈多的晶片，而電腦化是解譯DNA序列的關鍵——兩者皆仰賴已知的技術。但我們同時也知道，這些技術不可能永遠以等比級數的速率成長，瓶頸遲早會出現。

到了二〇二〇年左右，兩者都會遇上重大阻礙。由於矽晶片技術的限制，我們終將必須發展新科技。這些尚未做過太多探索和測試的科技包括：光學電腦、分子電腦、DNA電腦或量子電腦。根據量子論，前所未有的新設計必將出現，而它將影響電腦科學。到最後，微處理器的時代必須結束，而由量子物理學接手。

如果能克服這些電腦技術的困難，那麼，二〇二〇年到二〇五〇年這段時間，我們便進入了一

個嶄新科技的市場——製造出真正具有常識的機器人，它們不但能瞭解人類語言、辨別並操控環境中的物體，還能從錯誤中學習。這項發展將可能永遠改變我們與機器的關係。

同樣的，生化科技到了二〇二〇年也會碰到新的問題。這個領域將會充滿成千上萬人類尚未瞭解其基本功能的基因。二〇二〇年後的重點，將會由DNA定序轉移到瞭解基因基本功能（此工作無法電腦化），以及瞭解多基因疾病（牽涉多個基因互相作用的疾病）及其特徵。重心移轉到多基因疾病，也許將是解決人類重大慢性疾病的關鍵。這些疾病包括：心臟病、關節炎、自發免疫性疾疾病和精神病等。此工作或許也將引出複製人的發展，找出傳說中的老化基因，進而增長人類的壽命。

二〇二〇年之後，我們也可能看到物理實驗室中的新技術發展成熟。這些令人期待的技術包括：新一代的雷射、全像式立體電視和核融合技術。室溫超導體也許能有商業應用，進而開啓「第二次工業革命」。而量子論將讓我們有能力製造分子般大小的機器，引出「微細科技」(nanotechnology)這一門具有嶄新性質的機器類別。我們也將能發展出由離子推動的噴射引擎，讓星際之間的旅行成爲稀鬆平常的事。

從二〇五〇年到二二〇〇年暨之後

最後，本書將預測科學與技術從二〇五〇年到二十二世紀初的突破性發展。對如此遙遠的未來所做的預測，必定是相當模糊的，但這個階段極可能是由數項新科技主導的時期。機器人將會擁有自己的意識，以及某種程度的「自覺」。它們將能做獨立判斷，擔起如秘書、管家、助理等職責，因

此，機器人在社會上的適用度將大幅增加。同樣的，DNA革命也會有極大的進展。生化遺傳學家將能製造新的生物，轉殖數百個基因（現在只能轉殖數個），增加人類的糧食，精進醫藥和增強人體健康。它也可能讓我們有能力製造新的生命形式，讓父母親可以決定兒女的外貌，甚至心智。不過，這同時也將引發一連串的道德爭議。

量子論也將在二十一世紀發揮巨大的影響力，特別是在能源生產方面。我們也許會見到火箭有能力旅行到鄰近星球，並開始籌備太空拓殖地的建立。

有些科學家預測，二一〇〇年後，三大革命將出現更進一步的結合：量子論給了我們電晶體電路和小如分子的機器，讓我們能在電腦上複製出人腦的神經脈絡。從這段時期開始，科學家會提出各種延長壽命的可能性，方法包括培育新的器官與肢體、操控基因組合，甚至製造出人類與電腦裝置的融合體。

邁向行星文明

面對範圍如此巨大的科技變動，有些反對聲浪開始出現，認為我們走得太遠，走得太快，這些科技革命將引發目前還看不到的社會問題。

我將謹慎探討這三大革命對社會造成的影響，特別是可能加深社會既有鴻溝的影響，藉以設法回答上述的問題與疑慮。

此外，我也要探討一個更遠的問題：這一切將帶領人類前往何處？如果科學的一個時代結束

了，另一個正要開始，那麼，這要把人類帶到哪兒？

這個問題，正是在浩瀚天體中尋找外太空文明（可能較人類進步許多）跡象的天文物理學家所提出的。我們的銀河系中約有兩千億顆星球，而外太空中約有數兆個銀河系。天文物理學家不再花幾百萬美元的經費，隨機尋找所有可能存有智慧文明跡象的星球，轉而先對於比人類進步數百年，甚至千年的文明之能源特徵和跡象提出推論，再進行尋找。

根據熱動力學及能源學定律，天文物理學家如俄羅斯天文學家卡達謝夫（Nikolai Kardashev），以及普林斯頓大學物理學家戴森（Freeman Dyson）依使用能源的方式，將外太空文明分成三種類型。假設每年的能源消耗量會增加少許，依此可推算出到多少年之後某項能源將會用罄，使社會必須晉級到下一個層次。

第一類文明掌握了該地球上所有形式的能源。這型文明能改變氣候，採用海洋資源，以及從地心擷取能源。此文明有大量的能源需求，所以必須利用地球上所有可採用的能源。如此大範圍的資源使用和管理，需要居民間相當程度的合作，以及精細完善的溝通管道。這代表居民必須達到真正的行星文明，摒棄派系、宗教、國籍等標明身分的衝突。

第二類文明掌握了該星球外的星際能源。他們的能源需求極大，必須使用太陽能來運作機器。戴森曾經推測，此類文明可藉由在太陽外建造球體（spheria），進而使用太陽全部的能源輸出。此級的文明也開始了探勘任務，並可能在鄰近星系建造殖民地。

第三類文明已經耗盡了一顆恆星的能源，因此必須開發鄰近的星系和星團，最後並有可能發展

成銀河文明。他們的能源來自開發銀河中的星系。

這些文明的範圍有多大？科幻影集《星際爭霸戰》(Star Trek)也許可算是剛形成的第二類文明。該影集中的「星球聯邦」(United Federation of Planets)，剛發展出點燃恆星的能力，也拓殖了鄰近的星系，可說是接近了第二級文明(註三)。

這種文明分類法堪稱合理，因為它依據能源供給來分類。任何進步文明所能利用的能源，將只有三種方式，即由他們所居住的行星、他們的恆星，以及他們的銀河取得能源。除此之外，別無選擇。

由每年百分之三的成长率——這是地球上一個國家典型的成長速度——我們可以計算出地球晉升到更高文明所需的時間。天文物理學家衡量能源因素後預測，不同的文明類型，對能源需求的差異可能有一百億倍的差距。此驚人數值乍看之下似乎不可能超越，但其實，即使百分之三的成长率也能超越此數值的差距。事實上，我們將可能在一世紀或兩世紀後達到第一類文明，而到達第二類文明也不會超過八百年的時間。至於到第三類文明所需的時間，視星際交通的物理性質而定，可能要花上一萬年或更長的時間。然而即使如此，從宇宙的角度來看，這都只不過是一眨眼的時間罷了。

您或許納悶，我們現在處於哪個階段？我們目前還在零級文明。基本上，我們使用死的植物(煤、石油)來運作機器。就上述分類方式來看，我們還像幼兒般搖搖晃晃地向太空跨出第一步。不過，到了二十一世紀末期，三大科學革命的力量，將促使地球上的國家出現史所未見的廣泛合作。而到二十二世紀時，我們將已鋪下第一類文明的基礎，人類也開始往天上的星球前進。

資訊革命已建造了人類史上無可比擬的全球網路，拆除狹隘的利益藩籬，創造全球性文化。十五世紀時德國人古騰堡（Gutenberg）發明的活字印刷術，讓人發覺了所住小村子以外的世界；而資訊革命也從數千個不同的文化中，創造出共通的全球文化。

這些突飛猛進的科技發展，有一天將帶領我們到達第一類文明——一個真正利用行星能量的星球文明。通往行星文明的路程將是緩慢的，一點一點成就，充滿無數意外轉折與挫折。而核戰爆發、致命瘟疫傳染和環境毀滅等危機，都有可能伺機出現。若這些災難沒有發生，我想科學的進步有足夠的潛力，得以讓人類晉昇到第一類文明。

我們目睹的不是科學的滅亡，反之，我們看到的是這三種科學革命發出的巨大力量，並極有可能帶領我們晉級到第一類文明。於是乎，當牛頓獨自望著廣大無邊的知識海洋時，他可能從未想到，他與其他科學家所開啓的連鎖反應，日後竟然影響了整個現代社會，甚至在邁向行星文明之外，更向天上繁星的探索旅程推進。

註釋

1. 關於這一點，只要比較每年出版的科學期刊的厚度就能明白。

2. 量子論第三假設表示，粒子位置座標的機率分布，由薛丁格波函數絕對值的平方所決定。因此，牛頓論者所宣稱的，任何事件均能極度確切測量，由可能性與波所取代。海森堡的「測不準原理」

（我們無法同時正確測出一粒子的位置與速度）也由此創立。

3. 在這影集中，只有一種稱得上是銀河文明，叫做「博格」（the Borg），也許可算是第三類文明。所有的第二類文明都十分懼怕這「博格」文明。影集中並有一種近似乎神明的神秘超級存在物種：Q物種（the Q）。Q物種可以隨意操縱空間、時間、物質與能量，也許可自成一類，是第四類文明。

第一部

心智的形態與運用

0.1界限之後

自從1950年代至今，
電腦的運算能力成長了將近一百億倍。
而電腦的能力與應用，
繼續朝著更快速、更無形、更有智慧的方向發展。
這方向包括了幾項期待：
在生活環境中，電腦微處理器無所不在；
讓網際網路連結整個地球；
製造出有意識且能思考的機器人；
找到代替矽的材料或方式，做出終極的運算機器。
而在達成這些理想的過程中，
我們必須思考伴隨而來的種種議題。

1

無形化的電腦

當微晶片無所不在

微晶片的功能強大，而且價格日見低廉。

大量的微晶片將會融入生活環境中，
巧妙地與牆壁、家電用品、住家、汽車，甚至珠寶結合。

將來，在日用器物上所擁有的運算能力，
可能比今天的超級電腦更強。

現在，這些裝置的初步設計已經出現，
總有一天，它們會悄悄跟隨我們穿房過室，
在無形中執行我們的指令。

「以長遠的眼光來看，因為電腦運算容易取得，個人電腦和工作站將式微，取而代之的是隨處可用的電腦：牆上，手腕上，甚至在便條紙上的電腦，人們有需要就能拿起來使用。」

魏瑟 (Mark Weiser)

全錄帕拉阿圖研究中心 (Xerox Park, 全錄帕研) 位於一個鳥瞰矽谷的山丘上，耀眼的陽光將它周圍的田野照得金黃燦爛。看到附近一群放牧在草原上的馬兒，誰也想不到，全錄帕研可能是二十世紀歷史的改造重心。誰要是懷疑全錄帕研無能預言未來的電腦科技，請先看一下它輝煌的歷史。這座研究中心的入口，沒有招牌或標語介紹它在電腦史上的重要成就。但事實上，全錄帕研絕對有權宣稱：「個人電腦在此發明。」其他如雷射印表機，以及成為麥金塔、視窗操作系統基礎的程式，當然也是在這兒發明的。

即使在矽谷這樣競爭激烈、快速成長的環境中，全錄帕研仍然建立了令人敬畏的名聲。矽谷的高科技新產品與發明得以不斷湧入市場，乃因全錄帕研為這些發明建立了基礎。

如果說有任何人曾經看到未來，那一定是曾經領導全錄帕研電腦實驗室的魏瑟和他的工程師小組。他們是由矽谷和麻州劍橋市 (Cambridge) 精心挑選出來的電腦科學家，自成一特殊精英階層；這群怪傑擁有將生冷技術和藝術創意相結合的罕見本領。魏瑟個頭不高，頂上漸疏，有著活潑迷人的風格和頑童般的笑容。他並且擔任一個嘈雜搖滾樂團「輪胎嚴重損毀」(Severe Tire Damage) 的鼓

手，該樂團在網路上以惡作劇出名。當他不玩搖滾樂的時候，便忙著建構二十一世紀的電腦藍圖。魏瑟率領的小組，目標是預知電腦演化的下一個階段。

魏瑟相信，由於微晶片功能強大、價格低廉，大量的微晶片將融入我們的環境中，巧妙地與牆壁、家電用品、住家、汽車，甚至珠寶結合。將來，一條簡單的領帶可能擁有比今日超級電腦更強的運算能力。即使是現在，這些裝置的初步設計已經出現，悄悄跟隨著我們穿房過室，於建築物間走動，在無形中執行我們的指令。

我們不必再強記大量指令才能讓電腦執行不同的任務，電腦將成為人類生活真正的解放力量。如同魏瑟所言：「機器融入了人類的生活環境，而非人類必須進入機器的環境。使用電腦將和到森林散步一樣令人神清氣爽。」這些無形的裝置能彼此溝通，直接與網際網路連線；隨著時間發展，它們也將具有智慧，能夠預測我們的想法，更因其能連上網路，而帶給我們來自全球的智慧。

此遠景的整體意涵十分驚人。因為相較之下，個人電腦只不過是個運算器。

全錄帕研等地人才的想法，吸引了各方的高度興趣——一個數十億美元資金的產業，其命運很可能將因這些科技鬼才的信手塗鴉和白日夢而改變。美國頂尖電腦專家形成一個共識：電腦不會成為科幻電影中四處掠奪的大怪物，相反的，電腦的體型將愈來愈小且無所不在（終至看不到），功能也會強大到我們忘了它的存在。魏瑟稱此想法為：「無所不在的電腦運算」(ubiquitous computing)。

消失中的個人電腦

這種趨於無形的努力，很可能成為人類行為的普遍規則。魏瑟說：「消失不是科技上的結果，

而是人類心理的必然結果。每當人嫻熟於某項事物後，自然就開始感覺不到它的存在。」

若認為這說法牽強，不妨想想電力和電動馬達的演化過程。十九世紀時，電力與電動馬達非常珍貴，因此整個工廠的設計就是爲了要能擺放電燈泡和笨重的馬達。工人的所在位置、機器零件、桌子等，都圍繞著電力與馬達的需要而安頓。

而今日世界中，到處都有電力；不是隱藏在牆壁裡，就是儲存在電池裡。馬達體積的縮小和普遍，使得一輛車子的車蓋下裝配了數組馬達，用來操作車窗、鏡子、收音機、錄音帶和天線。但我們開車時，根本感覺不到自己被二十二部馬達和二十五組螺線管圈圍繞。

電腦的下一個階段，可用書寫的演化過程來比擬。數千年前，書寫是一項令人羨妒的工作，一小群文書抄寫員經挑選後接受訓練，才得以在泥板上寫字。泥板非但不容易取得，並且還由國王的守衛辛苦地烘焙與監護。紙張甫問世時，也是非常珍貴的商品，一份紙卷得花好幾百個小時才能製成。如此昂貴的紙張只有貴族才負擔得起，而一般大眾可能一生都沒見過紙張的模樣。

反觀今日，我們根本沒有意識到我們的世界中充滿了紙張與書寫。告示板、口香糖包裝紙、街道招牌的文字，我們視而不見。我們每天隨手拿取紙張寫字，然後順手丟棄。從前被視爲神聖，僅爲皇公貴族、抄寫員專有的書寫溝通模式，演化到現今社會已是無形、可丟棄又無所不在。事實上，現代社會垃圾的一大來源，就是這些載有文字的紙張。

電腦功能強大且能無形隱藏於環境中，是否聽來不切實際而且十分昂貴？其實不然。微晶片價格不斷下降，使得電腦價格愈來愈便宜——以後將會便宜到像魏瑟說的：「以後我們到雜貨店購買六件裝的電腦，就像今天我們去買六個一組的電池一樣，完全不必考慮。」

電腦工業中，從概念出現到產品進入市場，所需的時間通常為十五年。第一部個人電腦是由全錄帕研於一九七二年發明的，不過，直到一九八〇年代末期才成為大眾商品。「無所不在的電腦運算」概念產生於一九八八年，所以可能要到二〇〇三年，它才能引起大眾的認同。而要達到臨界質量，進而引爆市場，可能還要到更久以後。不過，到了二〇一〇年，無所不在的電腦運算技術應當就能發展成熟。而到二〇二〇年，便將無所不在地存在於我們的生活。

電腦三階段

了解電腦演化的歷史，也許能使我們更清楚電腦對人類社會的影響。許多電腦分析家將電腦歷史分為三個或三個以上的演化階段。

第一階段是大型電腦 (mainframe computer)，由國際商業機器 (IBM)、博若 (Burroughs) 和漢威 (Honeywell) 等公司發展出來，具有高度處理能力。此階段的電腦十分昂貴，一整個部門的科學家 and 工程師只能共用一部主機。電腦與工程師的比例是一比一百。「電腦非常稀罕而昂貴，接近電腦時宛如古希臘人進入神殿一樣戰戰兢兢，」達特茅斯 (Dartmouth) 大學前校長凱孟尼 (John Kemeny) 說：「當時存有某種神秘氣氛，似乎只有特別選出來的『侍僧』才能擁有直接與電腦溝通的權力。」如同泥板書寫，一整群「僧侶」的工作是爲了服務電腦和設計程式。對外界來說，他們憑著造出神秘莫測的咒語和儀式，享有並捍衛他們接近主機電腦的權力，著實令人妒羨。

電腦的第二個階段始於一九七〇年代晚期。全錄帕研的工程師發現，晶片的體積愈發減小，而電腦的能力卻有爆炸性的增加。全錄帕研預見，電腦與人的比例將達到一比一。爲了測試這個想法，

他們在一九七二年造出第一部個人電腦，ALTO。

全錄帕研工程師明白，電腦的瓶頸在於其超級複雜的指令，以及有如電話簿般大小（繁瑣，但十分有用）的使用手冊。電腦並非給予使用者方便，而是與使用者敵對。於是他們便想：何不設計一個完全以圖像（icon）為基礎的螢幕，使用者只要用滑鼠一點，就能開啓程式並使用之？

一念之間，電腦不再是個有著痛苦過程的儀式，而是連三歲小孩都能操作的機器。瀏覽各個未曾探索的領域，遊走於圖像之間，使用電腦也可以是愉快甚至好玩的遊樂之旅。

而後，蘋果電腦借用了全錄帕研的構想，發展出麥金塔（Macintosh）電腦。微軟企業的視窗程式也來自相同的構想，後來IBM銷往全球的作業系統亦源自這個概念。這整個剽竊全錄帕研發明的過程，有人稱作是「發明過去」。（諷刺的很，蘋果電腦會想控告微軟盜用他們的麥金塔作業系統，而事實上，蘋果電腦自己也是盜用了全錄帕研的發明。）

這些階段的轉型過程絕非輕鬆容易。即使巨頭企業都會因為不能或不願意了解並接受這些階段的轉變，而像蛋殼般被碾碎。不久前，IBM、迪吉多（Digital）和王安企業，是電腦業的三大巨頭，各自在大型、迷你電腦和文書處理系統市場獨領風騷。但是他們誤以為這個階段將永遠持續下去，認為個人電腦只是一時流行。最後，這三家企業的基礎嚴重受創，王安幾乎破產，IBM和迪吉多也因數十億美元的損失，失去了龍頭地位。

第三階段，以及將來

電腦的第二個階段即為「無所不在的電腦運算」，所有的電腦都已彼此連接，電腦與人類的比例

相反過來，每個人有一百部電腦可以使用。

即使是今日的軟體巨頭微軟，也對於由網路開始的第三階段狂潮感到驚恐不已。比爾·蓋茲曾說：「……想來是有些可怕，微軟曾經是個人電腦時代的領導者。而電腦科技不斷向前衝，某一期位於領導地位的公司，從未曾在下一時期還能保有領導地位。」蓋茲驚覺，微軟可能因網路的發達而被擠入過往歷史中，於是將其龐大的企業做了大幅度調整，以便容納電腦網路的最新發展。而這項轉變，在他一九九五年的著作《擁抱未來》(The Road Ahead)一書的初版中，並未預見。

到了二〇二〇年，「無所不在的電腦運算」應當便已完全成熟，不過，即使這個階段也不會永久繼續。二〇二〇年之後，電腦的矽時代很可能結束，而由完全不同的結構取代。

若干電腦分析家相信，這將引導出第四個階段：電腦系統開始使用人工智慧。從二〇二〇年到五〇年之間，電腦世界將以網路連接網路的形式存在，並且幾乎全部的電腦都具有人工智慧。人工智慧能力將包括理解力、語言辨識，甚至一般常識。

有些評論家甚至認為，電算儀器將於二〇五〇年之後，進入具有自覺能力和意識的第五個階段。二〇二〇年到二一〇〇年的運算世界，於後面章節有更深入探討。

電腦演化階段的意義非凡，人類所有的生活層面都將受到影響。各類媒體已陸續報導即將來臨（尤其是十年內可能出現）的科技奇蹟。蓋茲的書中也已提到如皮夾式電腦和智慧住家等概念。讀者可能已經熟悉這些發展，我也將在此章稍做介紹。不過，我的重點不是這即將結束的十年，而是一直到二十一世紀末將會出現的發展。

摩爾定律

要充分評估將我們推向下一階段，具有驚人成長速度的電腦運算能力，首先必須明白，從一九五〇年到現在，電腦的運算能力有大约百億倍的成長。而這爆炸性成長的原因，即是所謂電腦運算能力每十八個月增加一倍的「摩爾定律」。這種快速成長的能力，幾乎不會在其他範疇的科技領域出現。

想知道電腦功能的成長到底有多大，不妨這麼想：它比從化學炸藥到氫彈的轉變還來得大！如果從八十年前開始算起，電腦的能力其實是增加了一兆倍。此一天文數字般的成長速度，將我們推向了電腦的第三階段。我們可以用摩爾定律估計出電腦科技未來二十五年的發展。初見摩爾定律似乎令人無法領略，因為人腦是以直線而非級數的方式思考。在短時間內，我們每年看到的變化不大，便誤以為無甚大進步，但是，若以五年或十年的長期時間來看，其中的變化是相當可觀的。

從兩大強方法則來看，「無所不在的電腦運算」的長期展望是可能的：經濟學原理與物理定律。許多人預測，由於微處理器價格持續大幅遞減，單憑經濟力量就能將電腦工業推向下一個階段。

MIPS 科技 (MIPS Technologies) 的董事長伯諾 (Ron Bernal) 預言：「微晶片價格在二〇〇〇年將降至一枚美金十分錢，二〇〇五年降到四分，二〇一〇年則是二分。」摩托羅拉半導體產品經理喬治 (Thomas George) 的預測值亦相去不遠：二〇〇〇年的微晶片價格是五十分，二〇〇五年是七分，二〇一〇年則是一分錢。終有一日，微處理器的價格將和碎紙片一樣便宜，而且數量一樣多。

電腦運算能力級數般的穩定成長，將引發現今市場上從未聽聞的新工業。當電腦晶片價格每枚

只有一分錢時，背後的經濟誘因將不可估量。因為從各式用品到家具、汽車、工廠等各個地方，商人必定都想多少塞入幾個晶片。不在產品中加入晶片的公司，將發現自己陷於嚴重的競爭劣勢。光是現在音樂賀卡內產生音樂的晶片，就比一九五〇年之前的任何一部電腦的運算能力都來得強。就如同現今所有的紙片幾乎都載有書寫文字一般，電腦第三時期的商品也可能都帶有一分錢的微處理器。

英特爾企業總裁葛洛夫（Andrew Grove）說，未來的電腦能力「幾乎免費，而且無邊」。要了解摩爾定律的運作和限制，必須先了解宇宙最基本理論——量子理論的力量。

摩爾定律的推動力

摩爾定律的成功秘密在於電晶體的運作方式和製造方法。電晶體基本上就是一個控制電流的開關。如同消防隊員利用水管開關來控制巨大的水量，電晶體上微小的電壓能控制巨大的電流量。半導體電晶體的運作方式由量子論決定。（根據量子理論，在一個半導體中缺一個電子所產生的作用，和與該電子帶相反性質的電子——即電洞——相同。量子理論決定了這些電子和電洞在電晶體中的運行方式。）

人類不斷縮小電晶體的努力，造就了摩爾定律。最早的電晶體是體積約為美金一毛硬幣，由電線連接的電子零件。再者，早期電晶體是由手工製造，現在則是以光束在矽片上鑄上凹槽和線條，用這稱為「光蝕法」的程序來製造電晶體。

這個程序的演變可與彩色T恤的製作相比擬。老式製作方法是以手工在每件T恤上畫上圖案。

而今有效率的方法則是只要在T恤上放上模板，再噴灑顏色即成。這個方法能大量、重複生產彩色T恤。「光蝕法」的步驟也是相同的道理。將刻有所需線條和電路圖，稱為「面具」的特製模板放在矽箔片上方，再以光束投射過面具即完成製作。光束透過面具，將圖案打在感光的矽片上。然後再以特殊氣體處理矽片嵌入電路，即完成了基本的電路架構圖。矽片噴灑特殊離子後，凹槽上即產生了電晶體。重複此過程約二十次，便可製作出帶有多層電線和電晶體的矽片。

從前，哲學家們辯論一根針上可以容納多少個跳舞的天使。今日的電腦專家，則辯論著蝕刻技術能在微處理器上嵌入多少個電晶體。摩托羅拉的Power PC 620，在一枚比郵票還小的矽晶片上，塞入了約七百萬個的電晶體。不過電晶體縮小的進程不可能永遠持續下去，箔片上能嵌入多少電線有其限度，這個限度的部分原因是光束的波長（根據瑞利定律〔Rayley's law〕，光束的清晰度〔resolution〕是由波長除以透鏡孔直徑而得）。

矽晶圓的蝕刻通常是使用水銀燈的光束。水銀燈光束的波長單位是微米（一米的百萬分之一）。最近數十年來，製造微處理器所使用的水銀光束之波長，愈來愈短，譬如 0.436 微米（目視範圍）和 0.365 微米（紫外線範圍）的波長。此二者的寬度大約是人髮的三分之一。

下一世紀開始的前幾年（也許到二〇〇五年），可能使用的技術是脈衝準分子雷射（pulsed excimer laser）。它能將波長推到 0.193 微米的深紫外線範圍。但是二〇二〇年後，此過程便會結束，而由完全不同的技術取代，這將在第四章進一步討論。

感應器與無形電腦

「無所不在的電腦運算」概念，已得到電腦界多位專家的認同與鼓吹。其中之一便是未來學研究院 (Institute for the Future) 的院長沙弗 (Paul Safto)，他同時也是美國頂尖的未來學家。沙弗和其他電腦專家都認為，只要微晶片的價格低廉加上大量製造，若干無所不在的電腦運算形式產生將是必然結果。沙弗所預測的未來世界叫做「電子生態」(electronic ecology)。

當分析一座森林的生態時，我們將森林中有著動態互動，卻又和諧並存的動植物視為一個整體。在沙弗的電子生態中，他認為每十年就會出現一項關鍵性的科技進展，改變這電子生態中生物的互動關係。

一九八〇年代，個人電腦革命的推動力是微晶片。而一九九〇年代，網際網路能有爆炸性的成長，乃是因為微處理器和價廉雷射的結合，促使數兆位元的資訊能以光速傳送。而到了二十一世紀，沙弗認為，推動電腦革命的力量除了現有的微處理器和雷射外，還包括了感應器。

在沙弗看來，到了未來的第三階段，人類將被微小無形的微處理器包圍。微處理器能感應我們的存在，預測我們的希望，甚至能讀出我們的情緒。所有的微處理器均與網路連接。沙弗「電子生態」中的「生物」擁有感應器，將具有大部分電腦所沒有的能力：能感應我們的存在，還能知道我們的心情。沙弗指出，現在的馬桶已經能辨識我們的存在（紅外線感應馬桶）。不過，現在即使是最先進的克萊 (Cra) 超級電腦，都還無法知道使用電腦的人身分為何，又位在何處。沙弗說：「如果一塊隕石打到正在家中使用電腦的我，電腦根本不知道到底發生了什麼事。它可能還優優等待我的

下一個指令！」

在沙弗預見的第三個階段裡，我們將能藉由手勢、聲音、體溫、電場、身體動作等等，與無形的電腦互動溝通。無形的電腦經由聲音和電磁波譜這兩種看不見的媒介來感應環境。不同的無形媒介各有不同的功能。譬如接收人聲執行指令的感應器。使用隱藏式攝影機的電腦能知道我們的位置，甚至辨別臉部表情。手脚和身體的位置，也能經由探測電場而得知。智慧型汽車能使用雷達探測其他車子的位置。紅外線感應器能經由人體體溫測出我們的位置。電腦能彼此溝通，並藉由無線電和微波與網路連線。

智慧型辦公室和未來型住家

邁向「無所不在的電腦運算」漫長但精彩旅程的第一步，乃是生產具有市場價值的電腦裝備：長一吋的「標籤」(tab)，一呎的「書寫片」(pad)，以及一碼的「電板」(board)。未來辦公室每個房間的配備大約為一百個標籤，十到二十個書寫片，一或二個電板。

標籤是員工戴在身上，一個約兩公分半大小的識別證。標籤和現在公司識別證相仿，但它具有紅外線傳導器，並且具有個人電腦的功能。一家專門製造辦公用機器的奧利維蒂·坎布里奇公司(Olivetti Cambridge)已經造出它的雛形。

員工在建築物中移動，經由標籤能測出所在位置。門在有人走近時會自動打開。房間燈光在有人進入或離開時，會自動開啓或關閉。總機能夠找到建築物中所有人的位置。通話器讓員工能以口頭接受指示，也能向主電腦詢問問題。

電腦標籤功能有無盡的可能性。標籤也許能夠瀏覽網路，讓配戴著標籤的人得知企業重要發展、股市近況、重要電話或家庭緊急事件等等。各標籤之間也能相互溝通，無聲地交換商業訊息。標籤最終將能小到可隱藏在袖扣或領帶來內。

一英尺大小（約三十公分）的書寫片，就如同現今我們信手寫東西的便條紙。書寫片的外觀類似極薄的電腦螢幕，不過最後它的厚度將發展到幾乎如同紙張一樣薄。所有的房間都將具備拋棄型書寫片，所以我們不再需要大幅移動笨重的工作站。所有書寫片均無差別，亦無特定使用者之要求，而且就像便條紙一樣，散布在我們的書桌上。和便條紙不同的是，所有的書寫片都是一部和主電腦相連、功能齊全的個人電腦。這可說是智慧型紙張的開始。

當我們隨意在智慧型紙張上塗抹時，書寫片的內建圖畫程式，能將雜亂的塗鴉變成美麗的圖案，或使用編輯功能將我們所寫的摘要變成通順無誤的文章。使用完畢，存入主電腦後，就能再把書寫片丟回桌上。

一碼（約九十公分）長的電板，是懸掛在牆上的大型電腦化螢幕。家中的電板可以是互動電視或全球資訊網的大型螢幕。辦公室的電板則如告示板或黑板一樣，能夠隨意書寫或張示布告，也可以是和網路連接的超級個人電腦，或做為電傳視訊會議之用。公司不再需要花費大筆費用，負擔員工往返各地出差開會的交通費，老闆只需打開電板，就能與遠方的分公司開電傳視訊會議。醫生也可利用電板螢幕，監控遠處的手術進行過程。

過去，辦公室和家庭中的第一項「智慧」用品是打字機；而一部放入晶片的打字機成了文書處理器。今日家中仍可能到處都有晶片的存在，但這些零散的晶片並沒有連接在一起。未來，您的房

子會從網路接收氣象報告，通知家人預做防颱準備，或自動提高室內溫度，並能隨時提供最新的天氣預測。智慧浴室將能監測家人的健康。日本已推出一種能夠診斷簡單疾病的馬桶，使用馬桶時，馬桶能經由座椅感應大腿脈動而測出人體的脈搏，尿液的檢驗則能測出糖尿病。

這些醫療檢驗器材還很原始，但科學家認為，未來它們將能發展成精密的醫療分析儀器，也許是能偵測心臟健康的心電圖，或是偵測癌前組織所排出的蛋白質。在更遠的未來，智慧型住家也許能成為電腦護士，不但能詳細檢查個人的健康狀況，還能將檢驗結果自動送到醫生手中。

麻省理工學院媒體實驗室

由尼葛洛龐蒂 (Nicholas Negroponte) 所設立的麻省理工學院媒體實驗室 (MIT Media Laboratory)，是一個致力於結合媒體、藝術與科技的機構。麻省理工學院校園裡，建築物單調樸素，外觀千篇一律，媒體實驗室躲在這裡，但它所在的大樓乃是由建築師貝聿銘所設計，超級現代，外牆貼着白色面磚。此大樓設計極其獨特，當地人暱稱它為「貝氏馬桶」(Pai toilet)。

媒體實驗室有一項稱為「會思考的事物」(Things That Think) 計畫。此計畫來自無所不在的電腦運算概念的啓發，並且可能是有史以來最具企圖心也最受爭議的研究計劃。計畫負責人是物理學家葛遜菲德 (Neil Gershenfeld)，他預見將來人類周遭物體都將具備思考能力。

葛遜菲德是個高瘦、動作敏捷、有著鬍鬚、棕色捲髮的年輕人。他活潑、熱切，隨時都有好幾件事同時要辦。他一口氣說三件事的速度，比我們只說一件事還快。

葛遜菲德有一項重大突破：他發現了一項能讓電腦感應人體的新方式。人體周圍存在著如蜘蛛

網般、看不見的電場。這個電場是由聚集在人體皮膚上，如靜電等電子所形成的。當我們移動時，電場便如氛圍般隨著移動。

從前，這個電場氛圍被視為沒有商業價值。而葛遜菲德認為，如果有某種感應器能偵測出人體周圍的電子，那麼就能偵測出人體手臂和手指的位置。

於是「智慧桌」便產生了。葛遜菲德喜歡親自示範這項新科技產物。他在一張電腦化的桌子前任意揮動手臂。桌旁的螢幕便顯示出他的手臂如鬼影般出現在一管狀物體中，並記錄下他手臂所在位置的三維座標。葛遜菲德稱此為「電場感應」(electric field sensing)。

這項技術可以立即運用，因為它比個人電腦的平面溝通工具——滑鼠——更有變化且有更強的效果。電場感應也可用來協助虛擬實境的進行，使人們不需再穿戴笨拙的手套就能找出手的位置。(如果不用穿戴成像棵聖誕樹一樣，虛擬實境當然就更有虛幻效果。未來，只要在電腦螢幕前揮動手指，就能自由在虛擬百貨公司裡穿梭。)

葛遜菲德尋找下一世紀電腦的方法，是自問：「什麼地方還有尚未使用的空間？又該以何種方式加以利用？」有一個空間長久以來受到忽視，那就是我們所穿著的鞋子。鞋子尚有許多可貴的空間，只等我們讓它變得有智慧。

在未來，鞋子可能取代電腦所需要的電池。隨身攜帶電腦所用的笨重電池，是件煩人的事。根據葛遜菲德的說法，人體動作能產生八十瓦特的可用能源，單單鞋子就能取出一瓦特的能源。

葛遜菲德還發現了鞋子的另一項用處。將來，我們也許能夠在鞋子中放置可以傳送個人資料的電極。屆時，不需要再互遞名片，握個手就能完成資料的交換。因為人體皮膚帶有鹽性，能導電，

因此履歷表就能由鞋子傳到手，再傳到對方的手和鞋子。這終將成爲我們能在街上和他人交換大量電腦檔案的好方法。

在「會思考的事物」計劃實驗室，有幾句座右銘：

過去，鞋子會發臭。

現在，鞋子會發亮。

未來，鞋子會思考。

可穿戴電腦

「會思考的事物」另有一個重要的概念，來自很多人所配戴的眼鏡。麻省理工學院媒體實驗室已發展出可以附在眼鏡上的迷你電腦螢幕。他們將一個類似鑒賞珠寶的鏡片放在眼鏡上，鏡片中裝有一個由發光二極體照明的電腦螢幕。這個不到半英寸寬的螢幕，能讓人完整看到顯示明亮圖案的電腦螢幕。

天氣好的時候，你在校園裡會看到媒體實驗室的學生，穿戴盔帽、眼鏡、特製鏡片和許多纏繞在衣服上的電極，像個電子人。他們攜帶簡化的鍵盤，以便輸入資料到鏡片中的電腦螢幕。

媒體實驗室這項可穿戴電腦計劃所開始的構想，將使任何人都能活躍於全球資訊網路上。媒體實驗室的史蒂芬曼 (Steve Mann) 已經將他鏡片上的影像接上網際網路，讓不論遠近的人都能馬上看到他所看到的景象。未來，我們就能以此方式，和身在遠處的人共享眼前景象。

可穿戴電腦在很多方面類似行動電話與筆記型電腦的結合。筆記型電腦的銷售量不斷上升，現

在幾乎佔所有個人電腦銷售量的四分之一，證明了行動電腦是電腦遠景中不可或缺的一部分。隨著電腦價格繼續下跌，行動電話與筆記型電腦的使用者，必定歡迎一部具有超級電腦能力，卻不佔空間的無形智慧裝備。

對於經常搭乘飛機、計程車或身處購物中心的人來說，這將是一股大大的解放力量。可穿式電腦消費群還需要緊急醫療記錄的醫生、需要檔案資料的警察、需要資料寫新聞稿的記者、需要二十四小時股票行情的經紀人等等。

未來，可穿式電腦還能拯救人命。心臟病發作的人，若鄰近沒有醫院或電話，身上穿戴的電腦將能測出異常現象，通知救援。如遇車禍發生，可穿式電腦也會自動打電話叫救護車，再加上與「全球定位系統」衛星（GPS, Global Positioning System）連線，可穿式電腦還能傳送受傷患所在的位置。有太多心臟病發病患或車禍傷者，因無人在旁緊急求救而死亡。

智慧房間

媒體實驗室的長期目標之一，是設計出能夠完全辨識、模仿人類互動的機器。人類溝通不單使用語言；我們選用了大量豐富的訊號，譬如眼神接觸、表情、手勢、音調和身體姿勢。此目標的發展步驟之一是設計出不但能辨識人的存在，還能辨識人的手勢和情緒的智慧房間。

媒體實驗室擬造了一個未來智慧房間模型，這是一間極平凡的小室，在天花板裝有攝影機，地板也有大型螢幕。

麻省理工學院媒體實驗室的潘蘭（Alex Pentland）如此寫道：「想像一下，一所能告訴你孩子所

在位置和狀況的房子。或是一間辦公室，在你開重要會議時，能替你擋掉不必要的干擾。或者一部車子，它能察覺出你的疲累，而發出停車休息的警告。」

人的臉孔是電腦最難辨識的項目之一，現今電腦尚不能分辨由不同角度觀看的同一張面孔。不過媒體實驗室在這項難題上抄了捷徑。媒體實驗室的電腦已存有許多重要臉部特徵，當電腦對一張陌生臉孔進行掃描，且發現與記憶體中的臉部特徵相符時，那麼，電腦便有百分之九十九的機會，能在一群人中找到特定對象。

媒體實驗室的電腦能夠由臉部動作來辨認人的情緒。情緒乃由五官變化動作所呈現，將感應器放置於臉部，並做出微笑、大笑、傻笑、皺眉等表情，感應器能測出臉部肌肉使用的程度。科學家已經發現，電腦能夠經由情緒所造成的臉部變化而辨認出人的情緒，譬如微笑造成嘴部肌肉廣泛拉啓，驚訝讓眉頭上揚，憤怒會使額頭扭曲，不屑則牽動整個臉部。到目前為止的實驗證明，電腦正確辨認出受試者情緒的比例，高達百分之九十八。

智慧卡、數位金錢和網路鈔票

金錢已經數位化。

《紐約時報》的葛立克 (James Gleick) 指出：「金錢終於成爲如同資訊一般的數位貨幣。」對於大銀行和跨國企業來說，這已經是事實。今日流通的四兆元美國貨幣中，只有十分之一是以真正的紙幣或硬幣形式存在銀行保險櫃或人們的口袋。美國銀行家協會 (American Bankers Association) 的達吉歐 (Kawika Dagnio) 說：「現今社會已經沒有人用卡車載著五十億元，在銀行間跑來跑去。」

在未來，即使連那十分之一都會變成電子位元的形式。

待晶片價格劇減到只需幾分錢時，龐大的經濟壓力將迫使人們改用智慧卡 (smart card) 與數位金錢。這是因為，一個以使用鈔票為主的社會，需要非常龐大的維持費用。根據摩托羅拉公司研究智慧卡的芬契 (Carol H. Fancher) 表示：「鈔票的計算、搬運、儲存和保護，佔去所有交易的百分之四。持有現鈔和存放在戶頭的儲蓄兩者相較，所失去的利息相當可觀。」

「鈔票是銀行的流動負債，」花旗銀行的羅森 (Sholom Rosen) 說：「它既非金也非銀，就這麼簡單。」放在銀行的鈔票，既不生利息也不升值，還得派人看護。

歐洲已開創大量製造智慧卡的先例，其中有些卡片的記憶體可高達數千個位元組。法國已見識到這些智慧卡的價值；法國現有兩千多萬張主要以電話卡形式為主的智慧卡。而歐洲其他國家的兩千五百萬張智慧卡，也已大半被訂購一空。

德國已經開始發行載有國民健康資料的智慧卡。美國在一九九六年亞特蘭大奧運會時期試用智慧卡，發行數量超過一百萬張，而且可以在餐廳、商店和地鐵使用。

智慧卡在未來將取代取款卡、電話卡、火車票、公車票、信用卡、停車卡、小額金錢交易和投幣販賣機。智慧卡將能儲存個人的醫療記錄、保險記錄、護照資料，甚至家族相簿，而且還可能與網路連接。

智慧汽車

即使是七十年來變動不大的汽車工業，也將開始領略到電腦革命的影響。

汽車工業是二十世紀最賺錢也最強大的工業之一。目前地球上共有五億輛汽車，也就是每十個人便擁有一部汽車。汽車工業的銷售額高達一兆美元，是世上最大的製造業。

汽車與其所使用的路面，將在二十一世紀產生革命性的改變。明日智慧汽車的關鍵在於感應器。「我們將看到，交通工具與路面都能看能聽，能感覺、有嗅覺、能說話，還能行動。」做此預測的是史柏澤 (Bill Spreitzer)，通用汽車 I T S 計劃的技術總監。I T S 計劃的內容即為設計未來智慧汽車和路面。

美國每年因交通事故死亡的人數約為四萬人。不幸在事故中喪生或至血肉模糊的死傷數目大得驚人，報紙也懶得提了。超過半數的死亡事故肇因於酒醉駕駛，再者為駕駛疏忽。智慧汽車將能大量減少這樣的意外發生，當車內感應器測知駕駛人的酒精濃度過高時，即發出訊號令引擎無法發動。若遭偷竊，智慧汽車也能通知警方車子的詳細位置。

目前已經出現一種智慧汽車，能夠監看路面和駕駛人的行車狀況。此類智慧汽車，能夠經由裝置在保險桿的小型雷達，而偵測出附近來車。如駕駛人未注意到視角盲點的其他車輛，打算強行抄換車道，電腦就會立刻發出警告聲響。

麻省理工學院媒體實驗室已經著手建造，能夠測試駕駛是否有睡意的智慧汽車。這計劃對於經常長時間駕駛的卡車司機尤其重要。卡車司機必須長時間盯著單調路面，並與令人昏昏欲睡的行程搏鬥。這項職業的高度危險性始終未受重視。智慧汽車測試駕駛人睡意的的方法，是在儀表板中裝設小型隱藏式攝影機，並對準駕駛的臉部和眼睛。在駕駛眼睛閉上太久，開車出現不穩現象時，儀表板中的電腦會發出警告訊號，避免意外發生。

開車最令人無法忍受的兩件事是迷路和塞車。這兩件事電腦革命不能解決，但也許多少能改善問題。車內感應器接上環繞地球衛星電波訊號，便能於任何時間找出車子所在位置，並能得知交通阻塞情況。我們現已有二十四小時環繞地球的 Navstar 衛星，能找出你所在位置的三十公尺範圍，形成所謂的「全球定位系統」。在任何時間裡，距離地面一萬七千公里的軌道中，都有數個全球定位衛星環繞運行。每個衛星均帶有四個依據量子論而準確擺動的原子鐘。

當衛星經過車子上方時，車內電腦能接收到衛星所發出的電波。藉由電波抵達所需的時間，電腦便能測量出衛星與車子的距離。加上我們現在已熟知光速的計算方式，因此，衛星訊號接收的延遲均能換算成距離。

日本現在已經有超過一百萬部配有若干導航裝置的汽車。（導航的方法之一是車內的電腦地圖，它會顯示出目前車子的所在位置。）

微晶片價格下降後，全球定位衛星在下一世紀將會有數不清的用途。麥哲倫導航系統 (Magellan Systems Corp.) 的霍夫曼 (Randy Hoffman) 說：「(導航系統的) 商用發展將會有爆炸性的成長。」盲人可使用 GPS 感應器引導，飛機能遙控降落，在山林中的登山者能知道自己的確實位置——說不完各種用途。

GPS 只是另一項稱為「遠距傳輸」(telematics) 計劃的一小部分，此一計劃的目標即是智慧汽車與智慧道路的完成。歐洲已開始試行智慧道路。美國加州也著手在公路上裝置電腦晶片、感應器和電波傳送器，進行交通阻塞和障礙的控制實驗。

這項實驗在聖地亞哥北方十英哩的十五號州際公路上，一段長十三公里的路面上進行。此段路

面裝置了一套由麻省理工學院設計的「自動駕駛」系統。這項系統控制交通的工具，是電腦和埋在地面下七公分半的感應磁條。先將所有車輛編入每組十至十二部、間距一·八公尺、統一行車速度的小隊，再全部由電腦控制。整個系統預計在二〇〇一年十二月完成運作。

電腦化公路的推動者對此計劃抱有很高信心。在二〇一〇年以前，也許我們就能見到「遠距傳輸」在美國的主要公路施行。如果施行成功，到了二〇二〇年，微晶片價格降到一分錢以下時，美國可能就有數千公里這樣的公路出現。這也將是環保的一大進程：節省燃料、減少交通阻塞、減輕空氣污染，並能防止公路擴建。

虛擬實境與網路科學

二〇二〇年另一項與世界密不可分科技，乃是虛擬實境。在某種程度來說，虛擬實境恰是無所不在的電腦運算的相反。無所不在的電腦運算讓真實世界更加確切；虛擬實境則是再創不存在的幻想世界，利用眼鏡和搖桿模擬穿梭時空，企圖創造電腦記憶中的世界。但是無所不在的電腦運算其實和虛擬實境相輔相成。一方面，電腦不斷增進已存在的真實世界，賦予人類周遭物體的智慧；另一方面，虛擬實境則將我們帶入電腦內部。

虛擬實境科技發展至今還十分簡略，但技術上的困難將隨時間而得到解決。目前使用的搖桿，將由能夠測知身體部位立體影像的特製服裝和電場感應器取代。眼鏡則由輕型的液晶螢幕取代。笨重的電纜也將替換成直接連結網際網路的接收器。

虛擬實境不但是作用強大的科技工具，它同時也是訓練工具和一項娛樂來源。它創造了一種新

的科學：「虛擬科學」(cyber science)，讓我們能模擬諸如黑洞、爆炸的星球、氣候，以及超音速噴射機表面等的複雜物理系統。

幾百年以來，科學的進步展現在兩方面：實驗與理論。有些科學家對外在世界進行實驗，有些科學家則試圖寫下所搜集資料背後的道理。然而，有一種以電腦模擬虛擬實境的新形式科學正逐漸產生，開展了科學研究的新範疇。

從牛頓以來的科學家，即以「微分方程式」(differential equations，形容物體的形狀或性質隨時間演變而產生的細微變化)來形容大自然。微分方程式很準確地提供了如暴風雨、火箭和次原子粒子的物理現象。電腦能測出物體在微秒甚至毫微秒的變化，因此電腦極適合用來模擬微分方程式，給予我們物體行為變化的準確預測。

電腦模擬的準確性使得許多領域的研究非它不成，連帶的，商用科技產業也將受到它的影響。事實上，很多領域解決微分方程式的唯一工具是電腦。以下列舉幾項適用網路科學研究的科目：

太空中來物體 我們需要電腦分析超新星、中子星和黑洞。美國航太總署的佛瑞索 (Bruce Fryxell) 說：「電腦模擬是我們將天文學變成實驗科學的唯一希望。」

蛋白質折疊 不能加以結晶的蛋白質，便無法以X光結晶術分析結構。因此，科學家便需使用量子論和電磁學來找出蛋白質結構。而只有使用電腦，才能解出複雜的蛋白質結構方程式。電腦極可能是唯一能估量蛋白質結構，或進一步的蛋白質性質的方法。

空氣動力學 電腦現在已能模擬出從汽車到超音速噴射機周圍的氣流。此法可能是未來廉價超音

速飛行的關鍵。

溫室效應 目前，欲測出空氣中二氧化碳濃度是否造成氣溫上升，進而引發全球暖化，唯一的方法是靠電腦。如果全球暖化於下一世紀初成爲事實，屆時全球氣候的變化將對世界經濟造成負面影響。

原料測試

電腦最適合用來測試工業原料的壓力及應變，以減少不必要的巨額測試費用。

受限於零點一界限？

摩爾定律讓我們能夠相當準確地預測，若干電腦新科技將在何時出現。微處理器、雷射和感應器將是促成電腦第三階段的催生工具。摩爾定律將能順利帶領我們到二〇二〇年，屆時，科學家也因量子論的驅使，而需採用與現今不同的全新電腦技術。

但是，要用小於〇·一微米（約爲DNA螺旋的寬度）的光束製造晶片，將會是一大難題。這就是所謂的「零點一界限」（Point One Limit）。有些電腦專家將超越此障礙的挑戰，比喻成衝破聲音的障礙。在零點一界限之下，科學家便無法再以紫外線，而必須改採難以控制的X光或電子來蝕刻晶片。但是在此範圍下，電子與原子的波長性質，將使得科學家必須放棄牛頓的物理理論，才能製造出更小的晶片。因爲有這些限制，在二〇二〇年左右，矽晶片的時代將因爲零點一界限而結束。

麻省理工學院媒體實驗室的科學家，喜歡以「原子」與「位元」的差別來說明資訊經濟的轉型。（位元是資訊的最小單位，譬如〇或1。）這些未來學家宣稱，未來將由位元主導，因爲原子的移

動既困難又昂貴，而位元則能輕鬆地隨著數位訊號，以接近光速的速度在電纜線中運動。因此他們認為，原子時代將被網路空間與資訊時代淘汰。

不過這說法只有一部分成立。推動資訊時代的摩爾定律，終將讓步給比電力還要強大的力量——量子理論。「原子」到最後還是會勝過「位元」。量子理論讓電晶體成爲可能，它也將造成這些科技的結束。微處理器所展開的革命，將於二〇二〇年結束，物理學家也將必須設計出新一代的電腦。

但由於矽晶片上能塞入愈來愈多的電晶體，摩爾定律的成長速率在未來二十五年裡將持續進展，不受影響。因此，我們還是能預測出從現在到二〇二〇年，在本章和下一章所敘述的新發明可能出現在市場上的大概時間。

再者，國際網路將在網路空間中創造出一個完整的宇宙，其中含有電子交易、電子金錢（money）、虛擬線上圖書館與大學、網路藥品等等。更精彩的是二〇二〇年後的世界。屆時，由於電腦功能的強大和普及，整個地球表面將形成一張活生生、具有智慧的網膜，成爲童話故事中法力無邊且無所不在的「魔鏡」。

下一章將討論電腦的第四個階段：「有智能的地球」。

