

潘朵拉魔盒打開了？ ——當人工智慧遇見量子科技

文·圖/張慶瑞

通用人工智慧（Artificial General Intelligence, AGI）是指須具備人類智慧特徵，如感知、判斷、記憶等，甚至包括自覺、意識等複雜人類反應。生成式人工智慧（Generative AI, GenAI）是為特定任務而設計出能夠產生新內容、模仿人類創造力的模型。GenAI使用大量資料後，可以自行創建產生相關且真實的輸出，例如圖像、文字、音樂或程式碼，但缺乏AGI的全面理解或學習能力。大型語言模型（Large Language Models, LLMs）在各種文本、繪畫與動畫方面的成功，顯示人工智慧「奇點」時代已經接近。2024年三月底在AI大法師黃仁勳的全力推動下，GTC2024展示出各種人形機器人的神奇表演，更驚人的是數位孿生技術已經變成實體世界與數據世界的橋樑，利用數位生成技術在虛擬世界中可以加速訓練機器人。虛擬世界的各種成熟經驗再轉回真實世界中應用與造福人類，這種虛實合一的結合可為產業、工業設計、醫療護理和城市規劃等領域帶來不可思議的改變。儘管這些



圖1：（A）2016年前往IBM Watson討論臺大與IBM的量子計算合作，有幸親身使用IBM Watson戰勝Jeopardy的歷史現場的Blue Gene機器。（B）2023年在紐約參加IBM Quantum Summit，IBM宣布將以身背後的Heron量子晶片結構組成IBM system 2為基礎，在2029年推出容錯型通用量子電腦，可以有效達成ASI的需求。

驚人進展不斷發生，Meta的Yann LeCunn仍表示Gen AI還比不上貓狗聰明，主要是因為高階GPU仍然不足以達成AGI的需求，明顯需要後摩爾技術才可能達成全方面智慧。

量子科技近來因為能夠突破摩爾障礙而快速成長，在量子科技與人工智慧雙引擎共同推動下，科技創新大爆發時代已經啟動。量子科技遇上人工智慧的跨域組合是科技顛覆技術的平方，產生的衝擊力仍看不見終點。人工智慧就像火，量子科技就像氧氣，在有充足氧氣環境下的大火將熾熱燃燒，量子人工智慧的新舞台上將出現地球從未有過的盛宴。量子人工智慧（Quantum AI, QAI）利用量子計算解決高維度參數的複雜問題，並結合機器學習方法來突破量子領域的困境。量子科技遇見人工智慧就像天作之合的絕配，超越AGI的**超人工智慧**（Artificial Super Intelligence, ASI）也隱隱然成形中。

1950年圖靈提出“Can machines think?”大哉問後，就出現人工智慧概念，1956年達特茅斯人工智慧計畫（Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence）後誕生了操作方法，但由於硬體技術無法跟上，使得人工智慧首度陷入低潮。八0年代由於超級電腦出現，專家系統（Expert System）宣稱可以取代許多職業，但由於無法定義出各種問題的處理模型以及超級電腦的計算力與儲存力仍然遠遠不足，專家系統也很快再度進入寒冬期。近年來由於算力、儲存力與數據傳輸都有極大進展，由IBM Watson深藍擊敗西洋棋世界冠軍開始，又再度啟動人工智慧的春天。AlphaGo使用蒙地卡羅樹搜尋與深度神經網路相結合的方法，擊敗世界圍棋冠軍後更注入強心針，而AlphaFold以深度學習系統克服困難的蛋白質摺疊問題更讓大家眼睛一亮。2023年ChatGPT的大語言模型與GenAI的成功更是讓所有人驚喜與興奮，ChatGPT成為用戶數最快破億的商業應用。2023年馬斯克（Elon Musk）認為在2026年左右，GenAI或是AGI-like就可以寫出比哈利波特更出色的文學作品，並自行進行生成新技術發明能力。Fields Medal 得主陶哲軒認為應該利用GenAI結果作為對人的新提示，藉以激發出更多靈感來推導出新數學方向。這種思考方法論正符合蘇格拉底的批判性思維的衍生，利用GenAI協助對事實、證據、觀察結果和論據的分析，來協助人類形成嶄新的判斷與推論。

凱文·凱利（Kevin Kelly）在《5000天後的世界》中預測，全世界未來有影響力的智慧體裡面，有超過80%都將是AI智慧體，人類將與AI融合並存。AI與BI（Brain Intelligence）有效結合的新穎智慧體（AI-assisted BI, AIaBI）將創造無限的可能，嶄新的《後人類世時代》（Post-Anthropocene）將在地球上出現。

人工智慧使用大量資料來訓練與優化演算法參數，再應用訓練好的模型來處理新的資料並自行產生優化結果。隨著參數越來越多，模型演算法越來越複雜，訓練時間越來越長與訓練成

本越來越昂貴。ChatGPT訓練資料通常需要45 TB，而訓練參數也高達1750億個以上，至少要上萬片Nvidia的GPU A100才能建立良好模型，GPT-4的參數規模更需要萬億級以上的參數。OpenAI訓練GPT-4使用約25000片A100 GPU，而訓練GPT-5更將高達5萬片H100。現在一片H100售價為2.5萬至3萬美元，昂貴設備與維護已經不是個人與公司可以參與。大量資料與參數的優點是不漏掉所有數據特徵，卻給古典機器帶來「高維度詛咒」的重大挑戰。因為生成資料量會隨著維度增加而呈指數增長，高維度空間中資料的稀疏性使學習過程更困難。利用量子力學的疊加、糾纏等原理，量子電腦可以快速處理大量資訊與參數，提高機器學習的能力與準確性，量子機器學習（Quantum Machine Learning, QML）應運而生，對LLMs模型的發展特別有幫助。量子人工智慧目前發展方兩大方向：尋找人工智慧的量子版本，及利用人工智慧來理解量子系統並加速量子科技的應用。

積體電路上元件每隔18至24個月增加一倍，但電晶體越做越小，摩爾定律因此碰到天花板。持續增加電晶體的數量也導致高能耗，Nvidia 2020年發表的A100，耗電量最高為400瓦，一片H100每月消耗的電約為500度，大概是臺灣平均每戶在用電淡季的使用量。一片GPU使用一戶用電，LLMs至少需要上萬片H100，GPT-5甚至需要5萬片以上，可謂是現代供養的科技萬戶侯。Nvidia新推出的GPU

Blackwell B200，由2080億個電晶體組成，數量是原來的兩倍以上。超級人工智慧晶片「GB200」中包括2個Blackwell GPU 與1個Grace CPU，人工智慧晶片持續擴大效能，隨之而來的能源使用增加量是無法避免之惡，也導致必須使用液體冷卻才能替新品片降溫。陸游有首詩：『少年意薄萬戶侯，白首乃作窮山囚。』，現在用來比喻只要不投資現代萬戶侯的AI數據中心，很快就會後悔成為資訊界的窮山囚，也算不錯的舊瓶裝新酒的嶄新解釋。根據估計，目前數據中心的用電量占全球電力消耗的1.5%至2%，預計到2030年，數據中心的耗能將上升到4%。矽產業的快速成長與AI數據中心過度發展，耗費大量電能與水，已經偏離聯合國的地球永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs），讓2050年的淨零排放目標變成困難達成的目標。AI要永續發展，短期內所遇到的困擾非常多，目前晶片生產數量遠不足以支撐需求，造成Nvidia、台積電與鴻海的股票大漲。Altman要募七兆美元並至少要蓋一百座晶圓廠來補足晶片需求缺口，但即使順利募集資金，是否有足夠的工程師及水電來生產也是大問題。儘管ASI擁有強大優勢，由於缺晶片，缺能源，現在許多工作可能由人完成會更符合經濟學的成本效益。ASI與勞動生產力間的競合關係必須從科學技術觀點轉向經濟觀點來重新審慎評估，ASI機器人時代會不會出現？最後會由勞動生產價值與經濟學決定，而不僅僅是科技

量子計算於人工智慧的應用潛力

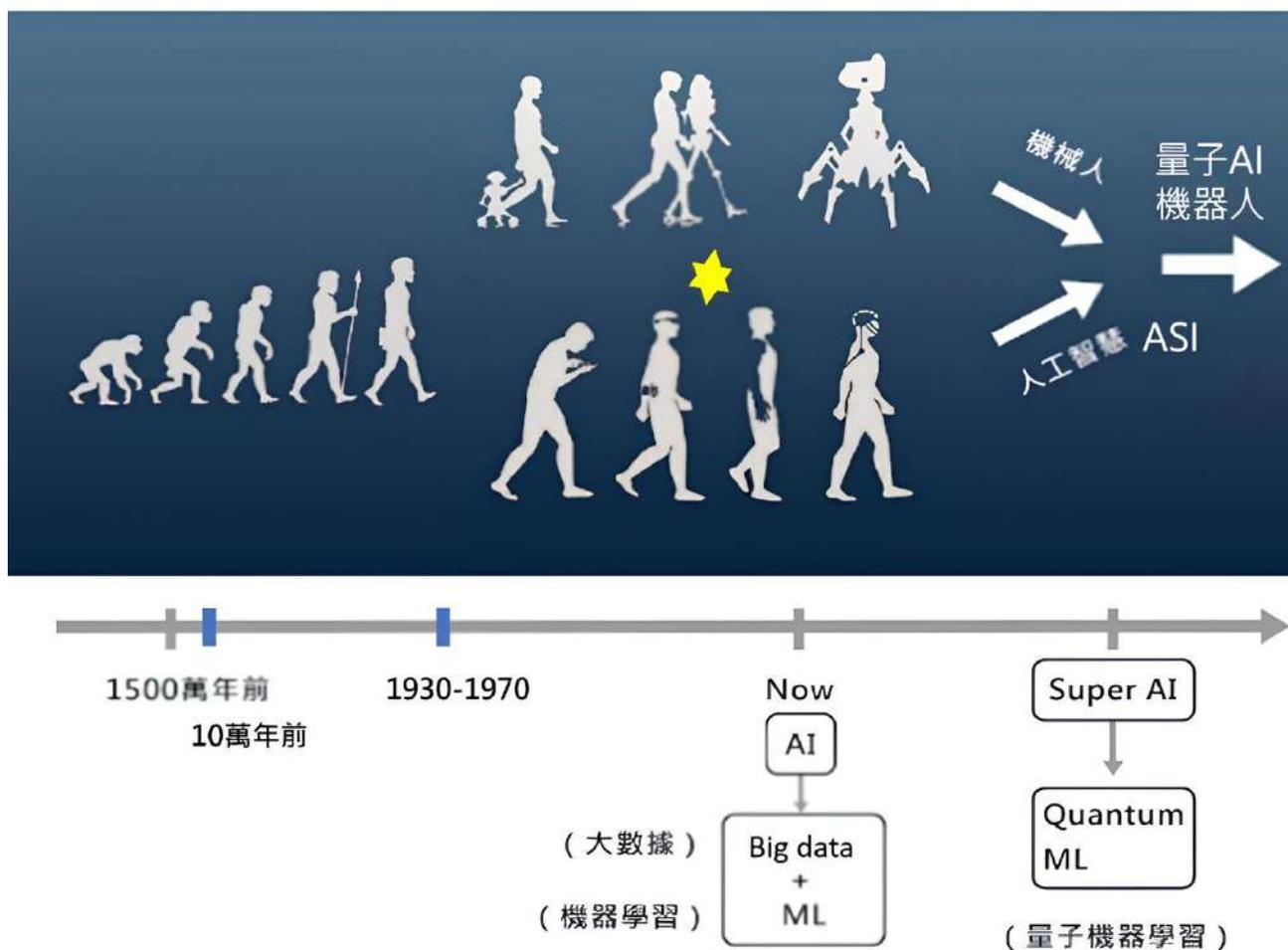


圖2：地球上人類文明的進化史，人工智慧機器人是發明火以後的最重大發明，在量子科技提供的無窮氧氣下，未來具有高智慧的ASI 量子機器人將可替代人類做更多事，是福是禍，尚待觀察。量子AI 科技即將點燃《後人類世》時代的火花，這個改變將遠比瓦特蒸汽機所觸發的《人類世》，對地球產生更劇烈且深遠的影響。

單一因素！

人工智慧如果要永續發展，算力提高與能耗降低是關鍵問題，但由於摩爾定律已趨於極限，在現有技術上是極大挑戰。量子計算就像計算界的聖杯，具有**平行計算**潛力與**可逆計算**的特色，量子人工智慧將帶來「速度」和「節能」兩大好處。相較於古典計算，量子計算至少有以下四大方面的優勢，有機會提供人工智慧永續發展的解決方案：

- (1) 算力優勢：量子的疊加與糾纏態，使得量子計算有指數級加速優越性。
- (2) 儲存優勢：量子記憶體容量也是指數成長。當位元數為 n 個時，比起古典電腦只能儲存 n 位元資訊，量子電腦的訊息儲存空間則為 2^n 次方。在 $n=70$ 時，就已遠遠超過全球最強大電腦的記憶體容量。人工智慧現在所需要的萬億級 ($>10^{12}$) 的訓練參數在糾纏的量子位元所張

開的高維度Hilbert空間，則只需要約50個邏輯量子位元（*i.e.*, $2^{50} \sim 10^{12}$ ）就可輕易達成。

(3) 頻寬優勢：量子計算資料可以壓縮存儲，未來可指數級優化頻寬。

(4) 可逆計算：量子計算屬於可逆運算，這與數位計算的不可逆運算完全不同，按照資訊熵（Shannon Entropy）的估算，量子可逆運算幾乎不耗能。

量子軟體演算法也快速發展，像 Zapata、Riverlane、1Qbit等量子計算初創公司如雨後春筍般誕生。隨著量子硬體和量子機器學習演算法的趨於完善，精確藥物與材料研發、準確醫療診斷以及高效供應鏈管理都逐漸成熟而實用化。由於量子電腦的高效率，在通用型的大語言模型之外，未來會出現各式各樣的小語言模型應用在各種專業領域。

IBM 宣布在2033年將達到可糾錯的十億個量子位元，並發展自然語言的友善工作介面，量子運算即服務（QCaaS）將成為量子人工智慧平台來解決基礎、工業、生物醫學和金融問題。QCaaS經常被戲稱是古典計算的救世主，S代表救世主（Savior）而不是服務（Service）。今天的智慧型手機比阿波羅登月計畫中使用的電腦強大數百萬倍，而2030年以後的量子電腦可能比今天的超級電腦快一億倍！大企業與許多國家深知「今天不投資，明天就後悔」的邏輯，也明白科技指數成長的「奇點」就是現在，因此紛紛積極投資量子計算與人工智慧。在今天量子科技遇上人工智慧的歷史關鍵點，誰能在優先取得突破，誰就能成為創新領導者。GenAI現在雖然非常成功，但許多例子也顯示由於環境中的「噪音」干擾AI的識別學習系統，機器會產生「幻覺」，並做出各種意想不到的判斷而出現危及人類的行為。有識之士更擔心沒有適當倫理節制，未來的AGI/ASI會變成野心份子武器，目前的ChatGPT內就設計有兩種機器人，一個專門回答問題，另外一個檢查敏感內容，拒絕回答任何不當請求。AI與量子計算融合的QAI/ASI可以更準確快速的解決更多困難問題，但隨之而來也是更無法預測的結局。如圖2所示，人類花幾十萬年的時間進化成現今的智人，但工業革命之後，短短四百年的時間，就快速發展出AGI的智慧機器人，目前完全不可預測人類在未來數百年會演化成何種生活型態。為了準確描述量子AI快速成長帶來的未知焦慮，英文單字FOOM被創造來警告人類，科技「奇點」即將爆發，不像BOOM是已經爆炸的強大爆炸聲，FOOM是像一種在大爆炸前的低頻震動聲響。量子AI科技即將點燃《後人類世》時代，這個改變將遠比瓦特蒸汽機觸發的《人類世》，對地球產生更劇烈且深遠的影響。我個人將FOOM四個字母解釋為“Fear Of Obsoleted Mankind”的縮寫，是人類害怕即將被量子AI科技淘汰的潛在深層憂慮。人工智慧是發明火以後的最

重大發明之一，在量子科技提供的無窮氧氣助攻下，特別是如果一旦出現違反倫理道德的AGI/ASI研發是否會引發無法控制的燎原大火而加速毀滅地球？歐盟在2023年12月8日通過《人工智慧法案》，為人工智慧應用分類，從必須禁止的「不可接受」技術，到高、中、低風險分別進行監管。嚴格禁止發展【對人類安全造成不可接受風險的人工智慧系統】，以及利用人性弱點進行任何有操縱目的AGI/ASI。道德、倫理、隱私和安全是AGI/ASI發展時必須首先考慮的重點，現在當務之急在量子科技初遇人工智慧時，就應規劃出符合人類倫理，創造幸福地球的發展方向。聯合國的193個成員國在2024年三月決議，「共同選擇掌控AI，而不是被AI掌控我們。」AI技術若被不當或惡意的設計、開發、發展、使用，可能會威脅到基本人權的保障、促進與享有，但也認知「AI系統的治理是個不斷發展的領域，需要進一步討論各種可能治理方法」，並強調創新和監管是相輔相成，而非互斥。

量子計算與人工智慧雖是絕配，但任何聲稱完全理解並能控制量子AI科技未來的人都在說謊。超大顛覆力量的乘積，在未來是替人類打開充滿希望的聚寶盆還是滿佈危險的潘朵拉魔盒，仍是未知之數。科技是為了人類幸福而存在，並不應該毫無節制的無限發展，老子道德經說過：『禍兮，福之所倚，福兮，禍之所伏。孰知其極？其無正也。正復為奇，善復為妖。』潘朵拉魔盒與聚寶盆本就是同一個盒子，一旦打開之後如何表現，端視人心所好與作為而定。在此修改詩人殷夫在1929年初所翻譯的一首匈牙利詩人裴多菲（Sándor Petőfi）的短詩，成為「智慧誠可貴，量子價更高，若為倫理故，兩者皆可拋。」量子AI是本世紀最重大的發明，重要性就像燧人氏與普羅米修斯引火入世，但這把科技大火會讓人類回到茹毛飲血的生活或是出現嶄新科技文明的結局，仍然要看人類未來如何使用科技。有人擔心量子AI會是人類的最後一個發明，就像亞當與夏娃吃下蘋果後，雖能分辨善惡羞恥，卻也從此出現無限煩惱，嫦娥應悔偷靈藥，碧海青天夜夜心。希望量子科技遇上人工智慧之後，所創造的地球未來是一片藍天美景，而不會出現末日大洪水淹沒整個地球。



張慶瑞 小檔案

1979年畢業於臺大物理學系，1988在加州大學聖地牙哥分校取得物理博士學位，1989年二月進入臺大服務，曾經擔任臺大副校長並代理校長。

張教授從事微磁學數值研究與自旋傳輸機制，已發表280篇以上專業論文並獲得28個專利。他是美國物理學會（APS）與國際工程學會（IEEE）會士，及俄國國際工程學會（RIAE）的院士。曾擔任亞洲磁性協會理事長，及臺灣磁性協會理事長暨臺灣物理學會理事長。近來曾主持NTU-IBM量子計畫，積極加速培養新興跨領域人才。近期推動量子計算相關研究，應用於新材料、新藥物合成，與財務金融領域，並創建臺灣量子電腦暨資訊科技協會，擔任理事長。於2022年擔任中原大學物理系講座教授並兼任校級量子資訊中心主任。