

星球永續健康線上直播

星球健康週新知 &

專題: 量子健康科學 (4)

模擬量子運算聯邦學習擴展健康應用

2026-08-19

CHE團隊：

陳秀熙教授、許辰陽醫師、陳立昇教授、嚴明芳教授、林庭瑀博士、
劉秋燕、林家妤、陳虹彬、邱士紘、甘芳瑜、陳芷萱



資訊連結:

<https://www.realscience.top/7>

星球永續健康線上直播



<https://www.realscience.top/7>

Youtube影片連結:

https://youtube.com/channel/UCCHTox4rUysI30QW4e_xliA?si=IDlj9qln3bZWmtNG

漢聲廣播星球永續健康: <https://reurl.cc/WbGALy>

新聞稿連結: <https://www.realscience.top/7>

本週大綱

- 健康科學新知 (2026 / W33)
- 張量網路結構量子模擬與精準醫療擴展
- 張量網路量子聯邦學習跨院醫療輔助應用

健康科學新知

2026 / W33

環太平洋火山帶強震致災：「天搖地動」

哥倫比亞西部8/10發生芮氏規模 7.4 級的強震全國進入緊急狀態全力搜救





亞洲極端氣候糧食安全挑戰:「水火交迫」

海豚颱風襲擊

風速接近每小時 100 英里

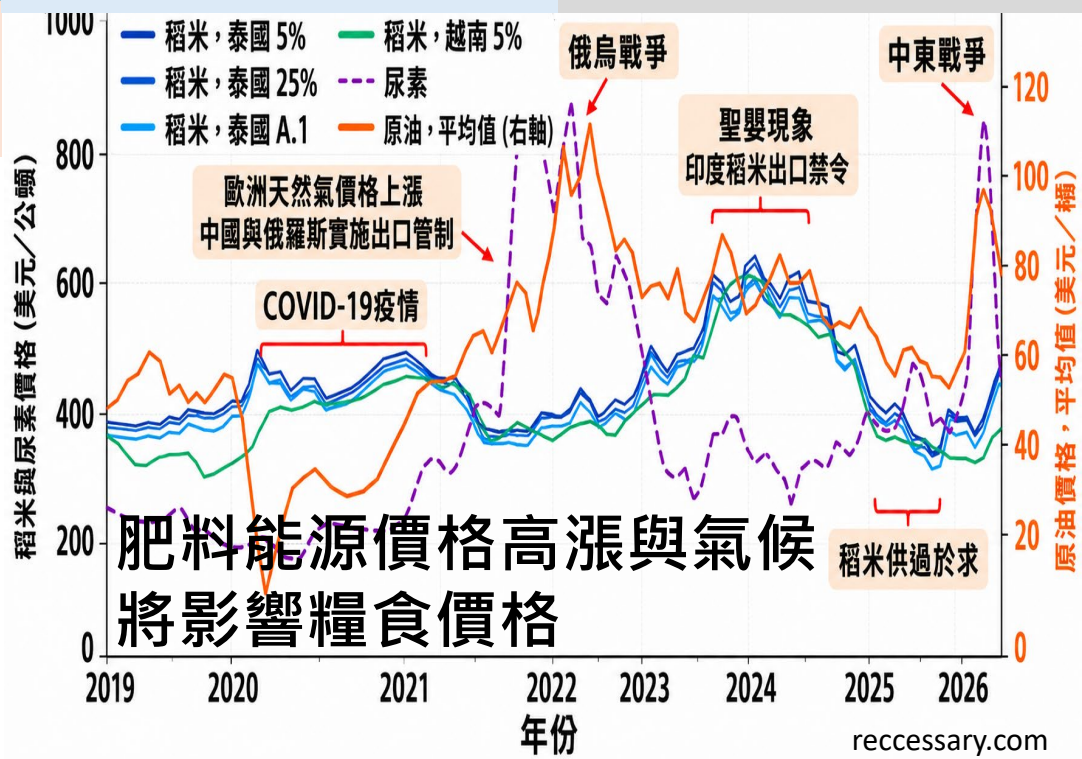
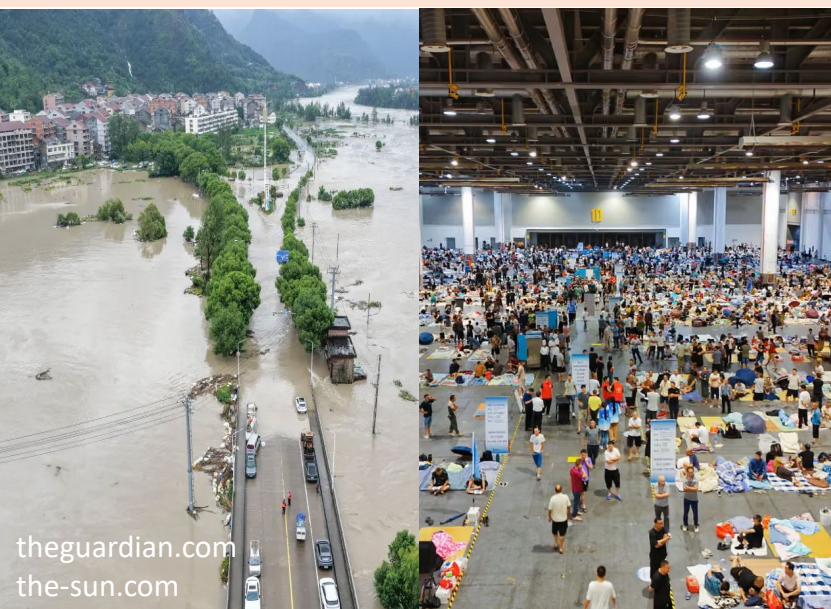


印度阿薩姆邦洪水死亡人數達 100 人，數千人失去家園



印尼乾旱天氣聖嬰現象提高旱季火災風險

強烈颱風海豚於中國引發洪水與土石流超過百萬人撤離

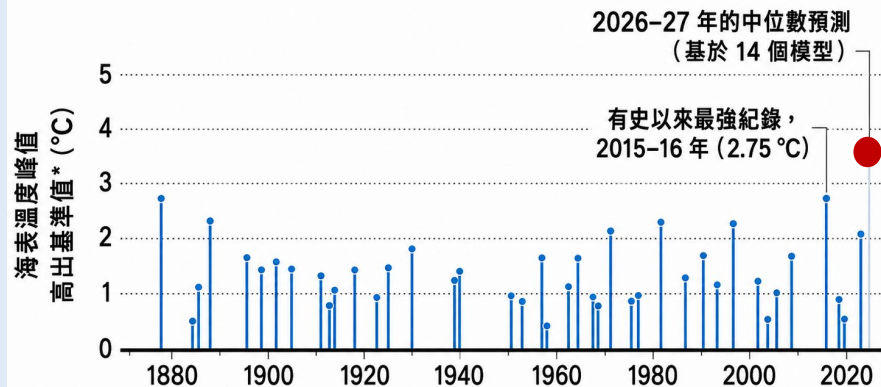


超強聖嬰來襲：「熱浪將至」

全球高溫將創新

Nature, 2026

- 聖嬰現象2026-27年聖嬰可能成為至少150年來最強
- 太平洋海溫峰值可能高於平均 3.6°C



極端氣候風險增加

- 全球氣溫可能升至工業化前 $+1.7^{\circ}\text{C}$ ，2027年創最熱紀錄
- 聖嬰狀態持續至2027年4月
- 可能加劇熱浪、乾旱、洪水與野火等極端天氣



熱浪



乾旱



洪水



野火



經濟與生態影響

- 至2032年經濟損失恐達10兆美元
- 海洋碳吸收下降、珊瑚礁白化加劇
- 暖化是否使聖嬰更強、更頻繁仍待確認

極端氣候降溫新方案：「以冷制熱」

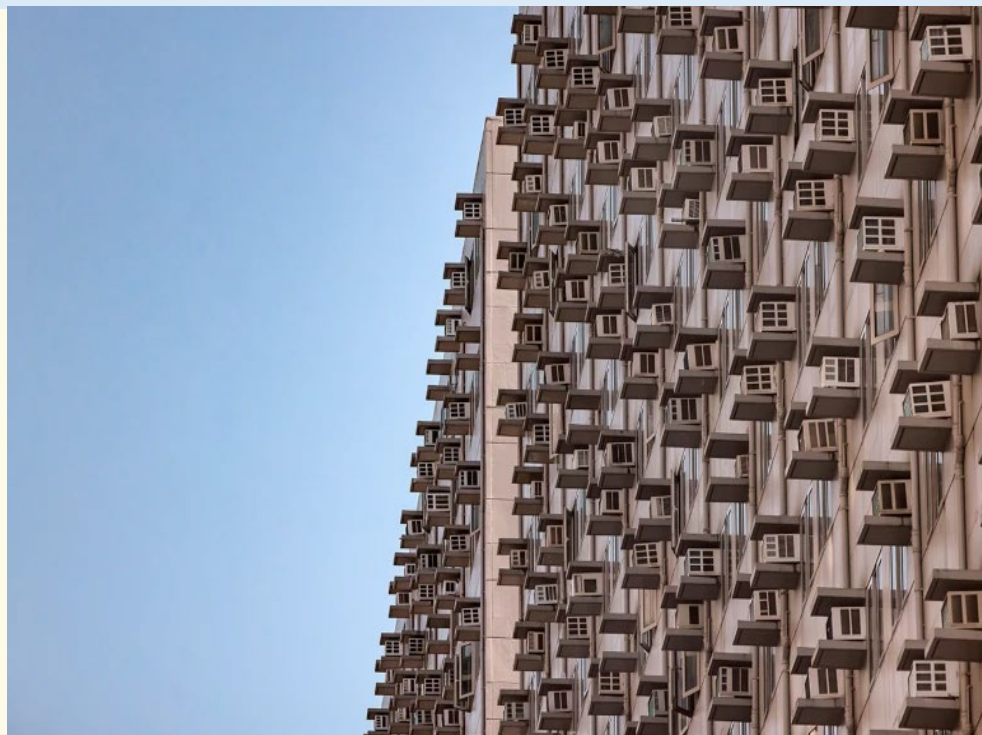
空調降溫問題

Rachel Fieldhouse, *Nature*, 2026

全球熱浪加劇使空調需求增加，但空調耗能與成本高，且會將熱量排放至室外，提高城市溫度。建築降溫已占近 10% 全球用電量，未來需求預計將持續上升

被動式降溫技術

- 自動百葉窗與窗板可減少陽光進入建築，降低室內溫度及空調使用需求。
- 特殊塗料、玻璃與凝膠可反射太陽能，並將熱量排放至太空。塗層可反射 97% 太陽能，降低表面溫度約 5.26°C 。
- 結合水凝膠塑膠薄膜可降低表面溫度約 7°C 。



未來應用與發展

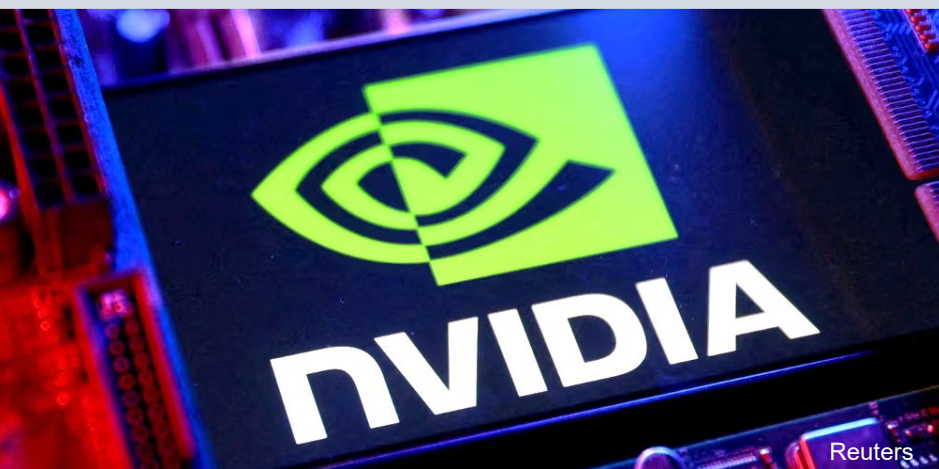
這些新型冷卻材料未來可應用於建築屋頂及其他表面，降低室內溫度與空調需求。政策研究建議各國政府應制定相關政策與建築規範，鼓勵新建築採用被動降溫技術。

AI熱潮席捲資本市場：「資金逐浪」

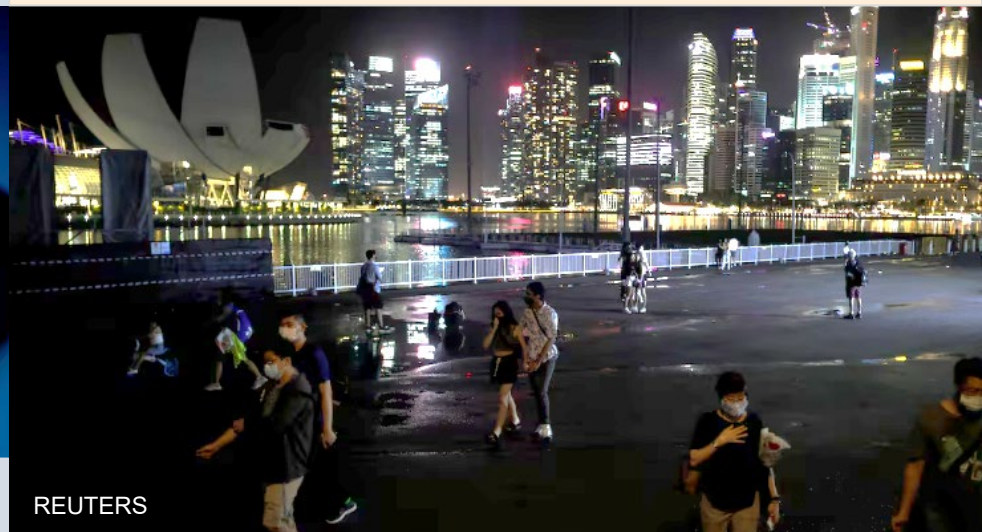
英特爾趁股價大幅回升之際，透過超額擴大的股票發行籌集 200 億美元，用於加速其晶圓代工業務的建置與轉型



Nvidia 攜手華爾街六大金融巨頭籌集逾 5,000 億美元資金加速建置AI基礎設施，降低客戶取得GPU算力門檻，推廣專有AI應用



得益於全球強勁的 AI 投資熱潮與需求及應用可能性提高，新加坡大幅上調 2026 年經濟成長預估至 4.5% 至 5.5%。



宇樹科技成為中國首家在A股上市的人形機器人企業，雖引發散戶搶購狂熱，但商業化距離及銷售限制等地緣政治風險，仍令部分投資人保持戒心



AI新創研究發表智財保護兩難：「盛名之下」

Science, 2026

AI 新創公司積極推動技術創新，但多數缺乏公開研究成果，降低技術的透明度、可驗證性與技術應用擴展與安全性

研究方法

- 分析1998–2025共317家AI 獨角獸公司論文與預印本發表情形

研究發現

- 超過一半公司從未發表研究成果
- 2025年僅占全球AI 論文約0.1%
- 前5%公司貢獻超過90%的引用，OpenAI占近40%



原因與趨勢

- 企業較少發表論文，商業競爭與專利保護有限，公開研究易遭模仿
- 學術審查耗時，企業更傾向以技術報告、部落格及程式碼發布成果
- 中國 AI 公司發表論文較多，美國則更傾向採用封閉模型

動態量子位元挑戰大型運算：「進退兩難」

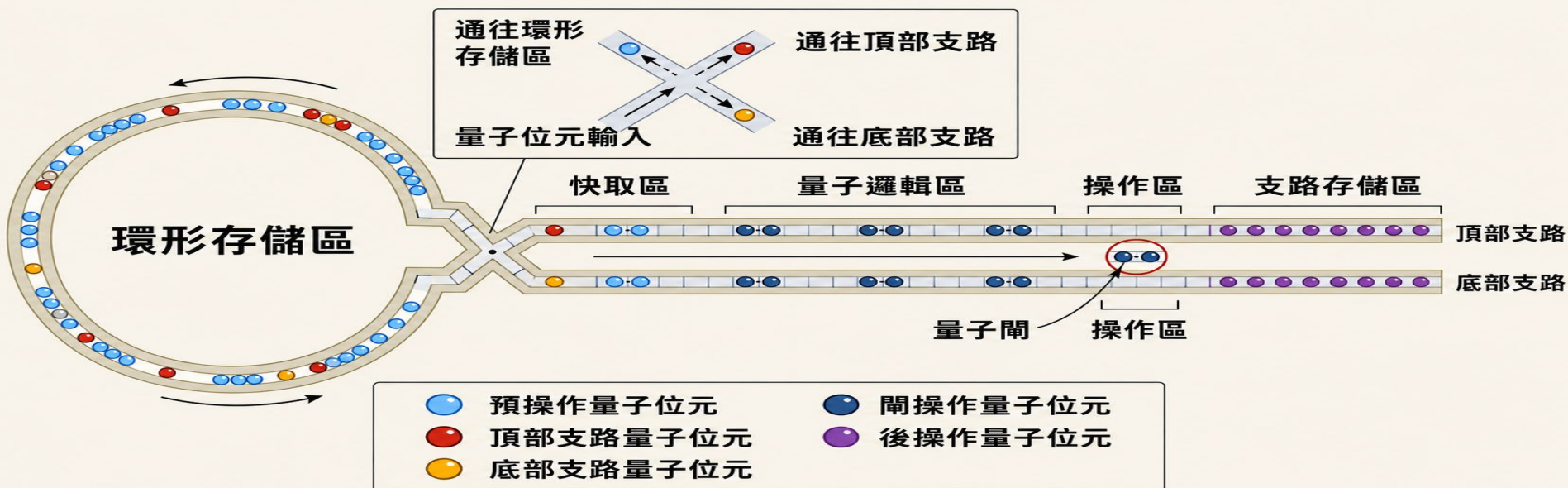
CRYSTAL NOEL, *Nature*, 2026.

研究背景

- 量子電腦不能只看量子位元數量，還須兼顧運算準確度與穩定性
- 系統規模越大，錯誤與雜訊越難控制，是量子電腦發展主要挑戰
- 侷限量子可長時間保存資訊並在晶片上移動，有助提升量子位元連接能力

研究突破與未來挑戰

- Helios 採用 98 個鋇離子量子位元，任意兩個量子位元都能互相連接
- 量子閘準確率超過 99.9%，並完成傳統電腦難以處理的計算
- 目前仍受限於離子搬運時間、雷射功率與控制系統規模
- 未來能否整合成更大型系統，仍是重要考驗



張量網絡結構量子模擬 與精準醫療擴展

邊緣危機(Fringe): 未行之路



The Road Not Taken

Robert Frost

- 彼得、華特、奧莉薇亞三位主角所屬的國土安全部小組，專門調查科學難以解釋的離奇案件
- Robert Frost 〈The Road Not Taken〉，岔路象徵不同人生與平行現實

紐約街頭自燃事件



- 一名年輕女子蘇珊搭上市區公車在公車上突然呼吸困難，急忙下車後竟當街自燃後發生爆炸
- 能量與火焰直接從蘇珊體內產生

公車司機報警
一名激動的女子下了他的公車

三人小組調查自燃事件真相



- 現場找不到任何助燃劑或縱火裝置
- 華特認為人體蘊藏巨大能量，只要存在觸發器，就可能引發異常燃燒，奧莉薇亞仍懷疑一連串離奇事件間關聯

分叉平行世界乍現



我們做的每個選擇
都會創造新的現實
那是另一條路徑

- 奧莉薇亞瞥見同一街區在另一個現實中化為戰火廢墟，轉眼又恢復正常
- 華特以不斷分岔樹解釋每個選擇都可能創造另一條現實，似曾相識或許就是短暫看見其他時間線

平行雙胞胎線索破解疑案



—好
—是我，請他聽電話

我是聯邦探員奧莉薇亞
救救我，拜託

他們對妳、我動了手脚
就在我們還小的時候
我只要妳專心的
把熱源移開我們

- 借助平行世界線索奧莉維亞找到蘇珊雙胞胎南西，兩人幼年皆是華特實驗對象
- 危機之際奧莉維亞幫助南西轉移能量逃過自燃危機

張量網路量子特徵模擬

Pervishko et al., 2019

量子 $\neq$ 古典，而是共生：
張量網路把 2^N 的成本壓到可行範圍

量子態的三個本質特徵

疊加 多態共存

糾纏 狀態聯動

干涉 相長或相消

完整波函數需 2^N 個振幅

TN 以壓縮降至可行範圍

兩條互補的驗證路線

127-qubit IBM Eagle

BP-TN 重現古典基準，手機可執行

壓縮約 10^{29} 倍

MPS $\rightarrow$ PQC

先以 MPS 求解
再映射為 PQC 初始參數
 χ 越大效能通常越好

效率取決於三件事

① 網路結構匹配度

結構越匹配，成本越低

② 收縮順序最佳化

順序不同，中間張量差很多

③ 近似收縮的利用

適合帶環路的複雜網路

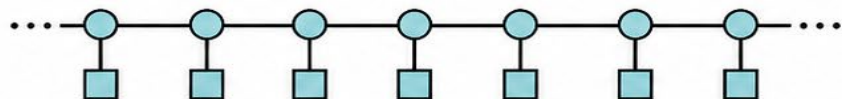
TN 既是量子優勢的古典基準線，
也是量子電路預訓練與初始化的起點

張量網絡模擬量子糾纏關聯架構

Pervishko et al., 2019; Tindall et al., 2023

矩陣乘積態 (Matrix Product State, MPS) 的優勢

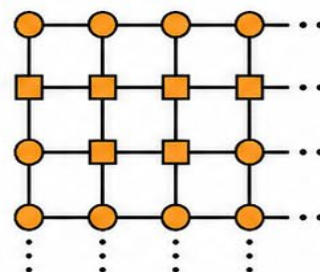
一維鏈式結構 (Matrix Product State, MPS)



- ✓ 結構簡潔
- ✓ 適合一維或近一維相關
- ✓ 可作為參數化量子電路 (Parameterized Quantum Circuit, PQC) 的良好初始化來源

矩陣乘積態 (Matrix Product State, MPS) 的限制

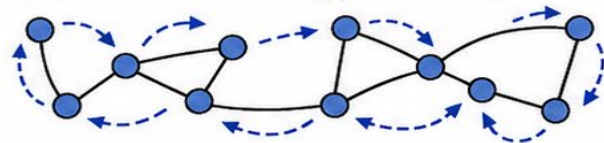
二維相關的網格 (示意：BAS/Checkerboard)



- ✗ 一維拓撲偏置
- ✗ 面對二維相關資料時可能產生 bias mismatch
- ✗ 參數化量子電路 (Parameterized Quantum Circuit, PQC) 必須先修正不當偏置，可能遇到鞍點或局部極小

為何信念傳播 (Belief Propagation, BP) 會變重要？

含環路的網路 (Loopy Network)



- — 節點連接
- ↔ — 訊息傳遞 (Message Passing)

- ✓ 網路更複雜時，信念傳播 (BP) 更重要
- ✓ 可利用關聯結構近似收縮
- ✓ 是處理 loopy network 的關鍵工具

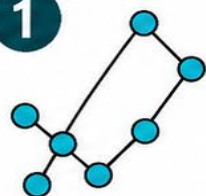
不是越大越好



更大的超級電腦
不是唯一答案；
選對幾何、順序與
近似方式，往往
更關鍵。

實作上最重要的三個判斷

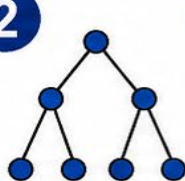
1



網路幾何是否匹配
問題結構

結構匹配越好，
需要表達的關聯越少，
成本越低。

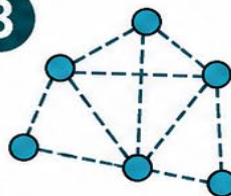
2



收縮順序是否夠好

不同順序造成的
中間張量大小差異
可達數個數量級。

3



信念傳播 (Belief Propagation, BP) 的
誤差與收斂是否可接受
不只看最終誤差，
還要看收斂速度與
穩定性。

張量網絡模擬量子糾纏關聯架構

Pervishko et al., 2019; Tindall et al., 2023

矩陣乘積態 (MPS) 的優勢

- 一維鏈式結構，形式簡潔
- 適合一維或近一維相關系統
- 可作參數化量子電路的良好初始化

矩陣乘積態 (MPS) 的限制

- 一維拓撲偏置
- 二維相關資料易 bias mismatch
- PQC 須先修正偏置，恐遇鞍點

信念傳播 (BP) 為何變重要？

- 網路含環路 (loopy) 時，BP 是關鍵工具
- 可利用關聯結構進行近似收縮

不是越大越好

更大的超級電腦不是唯一答案；選對幾何、順序與近似方式，往往更關鍵。

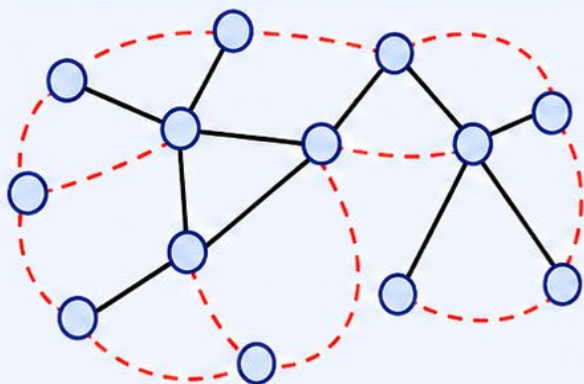
實作三判斷：幾何是否匹配
收縮順序是否夠好
BP 誤差是否可接受

簡化張量網路近似量子糾纏結構

Pervishko et al., 2019; Tindall et al., 2023

— 壓縮關鍵不在全部保留，而在保留對問題最重要的關聯 —

原始關聯結構



—— 樹狀關聯 (保留)
- - - 環路關聯 (可能捨棄)

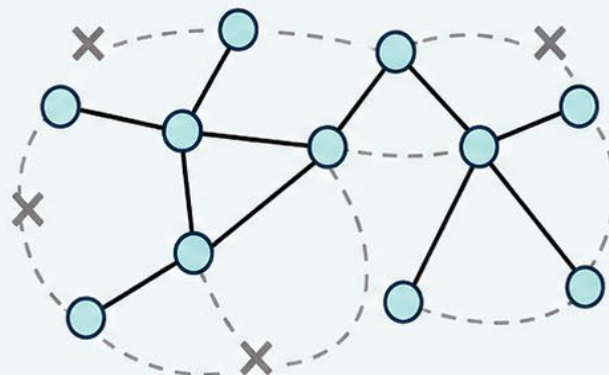
壓縮 / 截斷



✓ 忽略部分糾纏資訊

✓ 在受控誤差下
簡化波函數

壓縮後保留的結構



—— 樹狀關聯 (保留)
- X - 環路關聯 (已捨棄)



信念傳播 (Belief Propagation) 壓縮假設：
只保留部分資訊，
特別是量子位元間的部分糾纏，可被忽略。



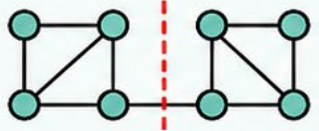
為何可行？
問題波函數有偏向
樹狀關聯的傾向，
捨棄環路關聯費用低，
可有效維持主要資訊。



常見工具：
截斷 SVD、
選擇性捨棄
環路關聯

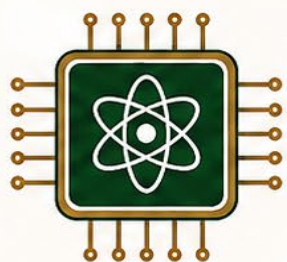
張量網路壓縮進似提高模擬效率

Pervishko et al., 2019

特徵	張量網路中的表示	成本來源	可用的壓縮手段
1 疊加 	階數 N 係數張量的所有元素	2^N 個振幅的儲存	因式分解為低階張量網路
2 糾纏 	鍵維度 χ (跨割線的 Schmidt 秩上限)	χ 隨糾纏成長； 面積律 vs 體積律	截斷 SVD、 選擇性捨棄 環路關聯
3 干涉 	收縮時複數振幅的 相加相消	無額外儲存成本， 但不可用非負權重 近似取代	無——必須完整保留， 否則物理錯誤

量子-古典橋接架構精準醫療推展

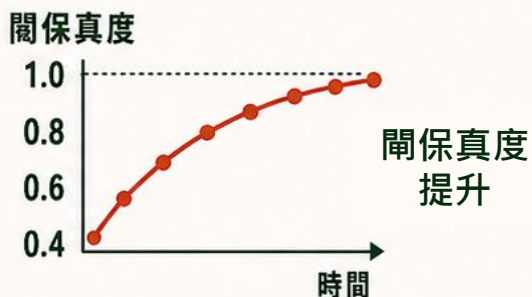
量子端進展



量子晶片



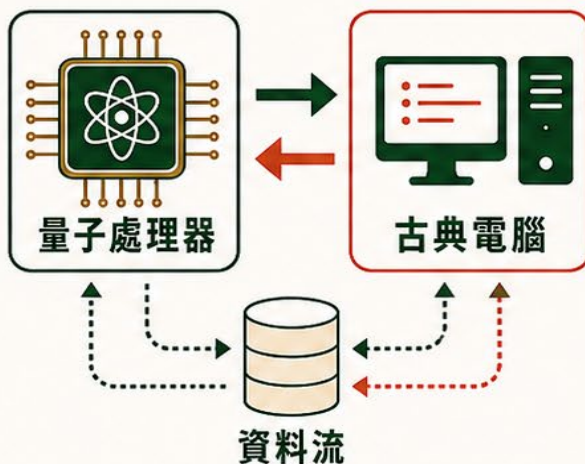
量子位元數增加



閾保真度提升

橋接層

混合式量子-古典工作流程



量子機器學習



精準醫療臨床應用



基因體分析



疾病診斷



藥物探索



個人化治療



病患照護



量子端的持續進展



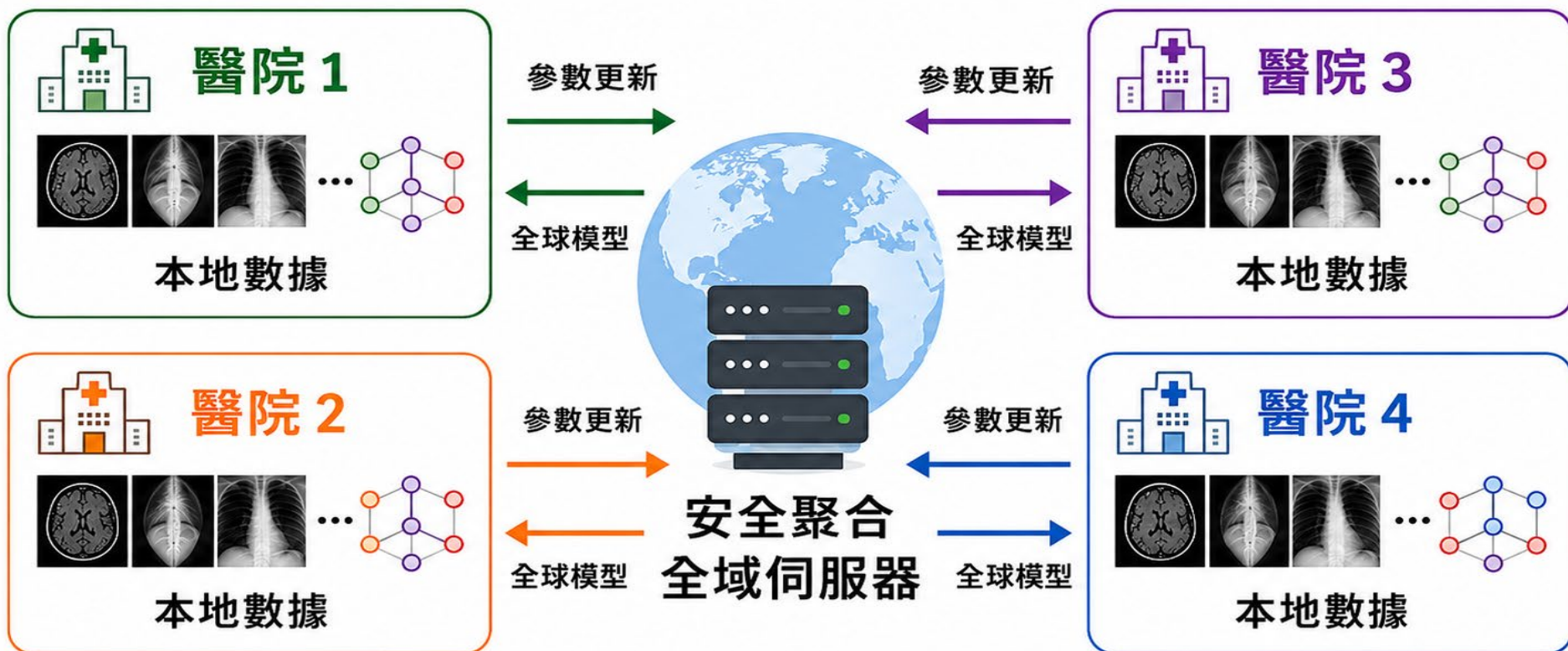
透過橋接層轉譯整合



落地精準醫療
改善病患照護

張量網路量子聯邦學習擴展醫療應用

Pervishko et al., 2019



保護隱私

數據不離開醫院



協同學習

結合多家醫院
提升模型效果



量子優化

以量子技術加速
提升模型效能



提升效益

支援更多醫療應用
擴大影響力

張量網路量子聯邦學習

跨院醫療輔助應用

聯邦學習精準醫療案例

Bhatia et al., 2024



病例重點摘要

- 1 李女士，56 歲，從不吸菸
- 2 金屬加工廠行政工作 28 年，具職業暴露背景
- 3 左上葉 7 mm 部分實性結節，先前評為 Lung-RADS 3
- 4 前兩次追蹤：大小無明顯變化
- 5 本次 AI 提示：惡性風險 **0.71** (前次 0.43)
- 6 實性成分比例：18% → **34%**
- 7 熱圖聚焦於實性成分與周圍毛玻璃交界

過去已具病理確診結節的經驗累積，經驗分布決定了判讀一致性。

	甲院（醫學中心）	乙院（區域醫院）	丙院（地區醫院）
			
年 LDCT 檢查量	6,800 例	2,300 例	900 例
具病理確診之結節	約 420 顆	約 90 顆	約 25 顆
胸腔專科放射科醫師	6 位	2 位	無，委外判讀
對外頻寬	專線 1 Gbps	專線 500 Mbps	VPN 20 Mbps



小型院所帶標籤結節
太少，無法單獨訓練
深度模型



跨院集中影像常受
個資與 IRB
實務限制



問題核心：**經驗與資源分布不均**，最需要協作的院所，
往往最缺資料與頻寬。

聯邦學習跨院張量網路模擬強化

Bhatia et al., 2024

臨床面臨的挑戰

1 資料敏感 不能任意外流



影像、病歷等
涉及隱私，
依法受保護



2 資料分散 單院樣本有限



多數醫院樣本少，
難以訓練高準確
模型



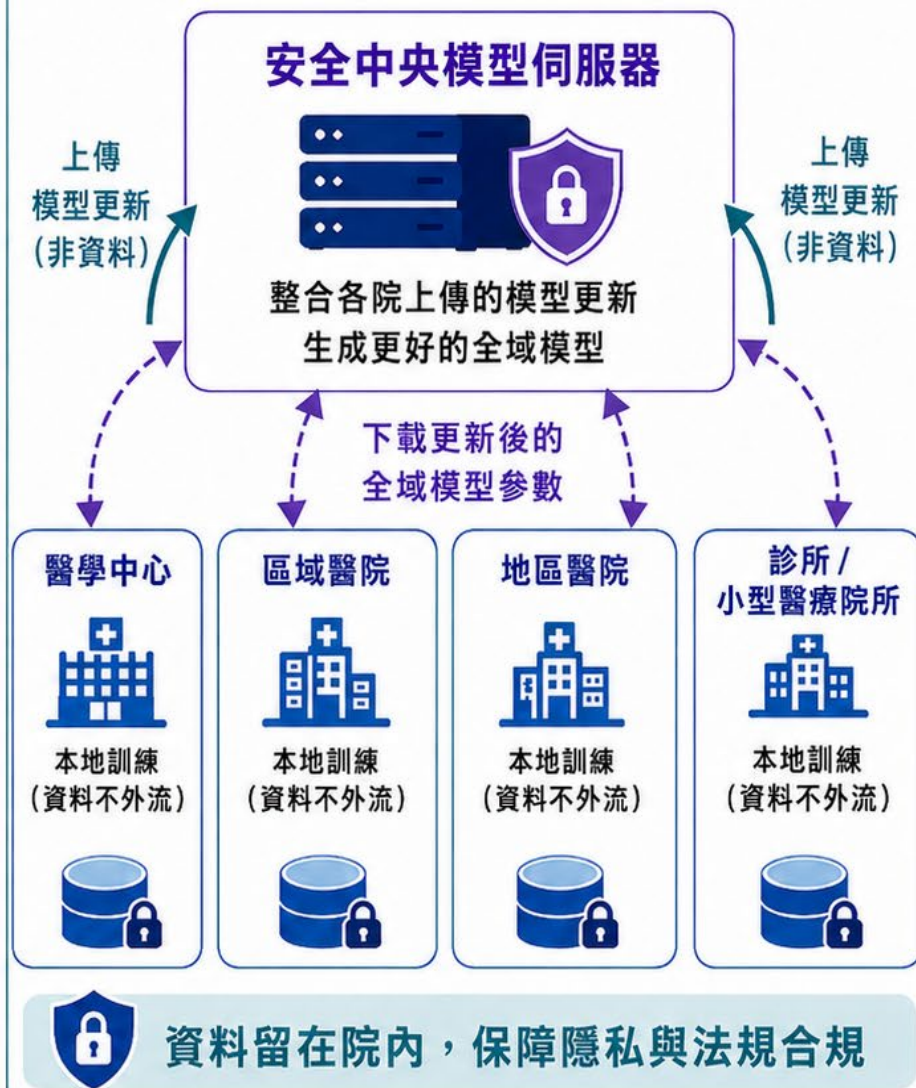
3 數據差異大 模型不易泛化



族群差異
疾病差異
設備差異

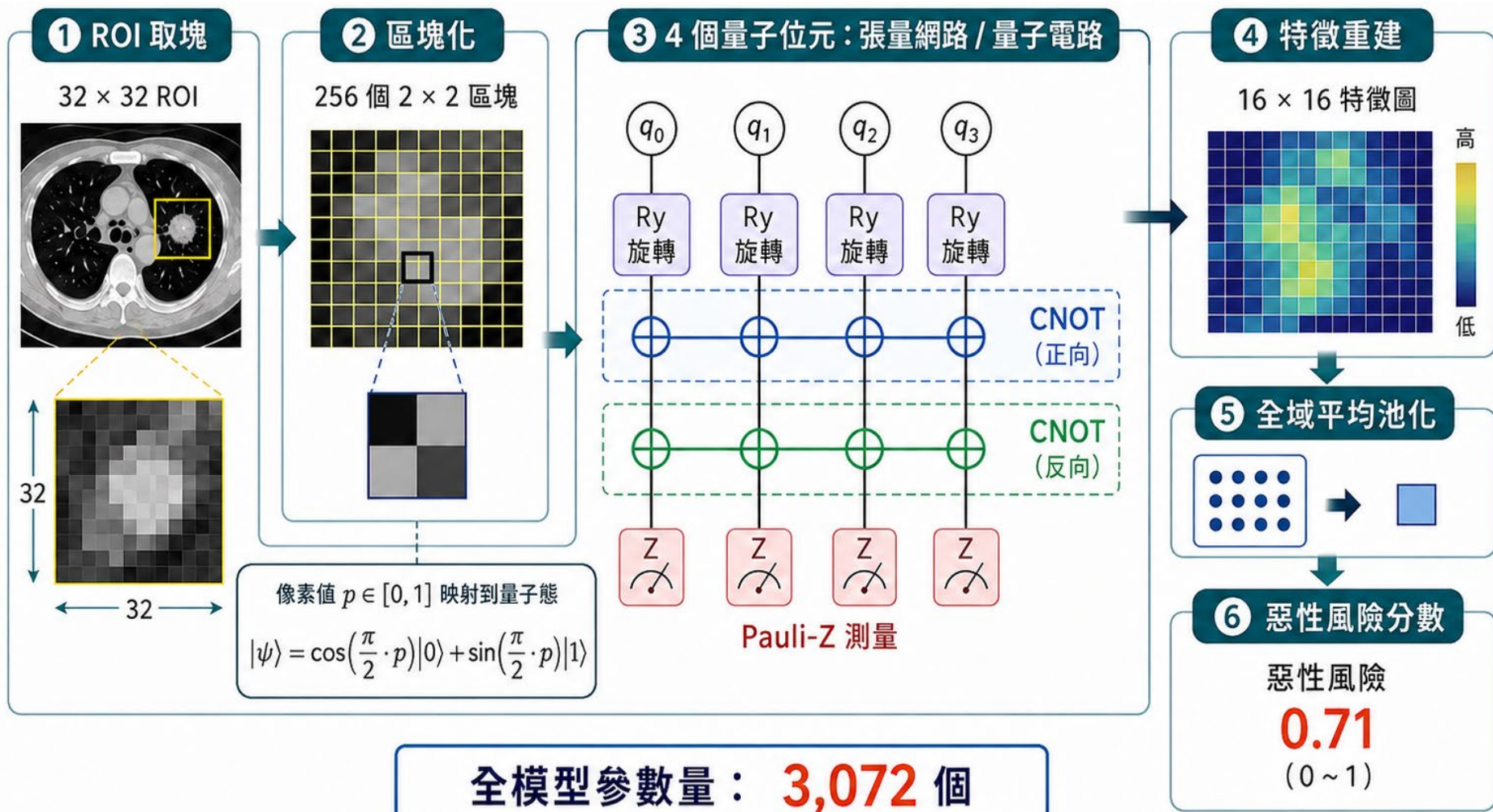


FedQTN 的解決方案：資料不出院，模型一起變聰明



張量網路量子模擬影像特徵辨識

Bhatia et al., 2024



以小參數量擷取局部量子特徵，再整合為惡性風險評估。

聯邦學習差分隱私保護機制

Bhatia et al., 2024



醫院 A (本地端)

訓練模型並產生參數更新

1 產生原始更新

$\Delta\theta$ (梯度 / 參數更新)

θ_1 θ_2 ... θ_d

2 梯度裁切

將更新的 L_2 範數
限制在剪裁閾值 C 內



裁切保護

3 加入高斯雜訊

加入 $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$ 雜訊
模糊個別樣本的影響



雜訊保護

4 上傳保護後的更新

將保護後的更新
上傳至伺服器



加入隱私保護，讓伺服器無法還原個別樣本資訊

原始更新 $\Delta\theta$

θ_1 θ_2 ... θ_d

可能洩漏特定樣本資訊

梯度裁切



$\hat{\theta}_1$ $\hat{\theta}_2$... $\hat{\theta}_d$

限制更新幅度
($\|\Delta\theta\|_2 \leq C$)

加入高斯雜訊



$\tilde{\theta}_1$ $\tilde{\theta}_2$... $\tilde{\theta}_d$

模糊精確數值，
降低辨識風險

保護後更新 $\Delta\tilde{\theta}$

$\tilde{\theta}_1$ $\tilde{\theta}_2$... $\tilde{\theta}_d$



安全上傳至伺服器
參與聯邦訓練

差分隱私 (DP) 核心公式

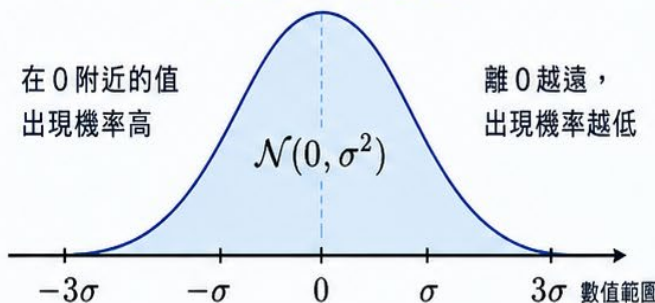
$$\tilde{\Delta\theta} = \Delta\theta + \mathcal{N}(0, \sigma^2 I)$$

$\tilde{\Delta\theta}$: 裁切後的更新 $\mathcal{N}(0, \sigma^2 I)$: 高斯雜訊 (平均 0, 變異數 σ^2)

高斯雜訊示意圖

在 0 附近的值
出現機率高

離 0 越遠，
出現機率越低



聯邦伺服器 (聚合更新)



- ✓ 先進行梯度裁切
- ✓ 再加入高斯雜訊
- ✓ 可降低單一樣本被識別的風險
- ✓ 在保護隱私下仍能參與聯邦訓練

張量網路量子聯邦學習跨院智慧強化

Bhatia et al., 2024



聯邦學習後：模型表現明顯提升



乙院

本地模型準確度

89.2%

94.5%

本地模型

聯邦後

乙院：本地模型準確度

89.2% → 94.5%



丙院

本地模型準確度

88.5%

94.5%

本地模型

聯邦後

丙院：本地模型準確度

88.5% → 94.5%



甲院

跨機構穩健度提升，
面對不同機型與
掃描參數時較穩定



乙院

職業暴露樣本補足，
原本欠缺的病例分布



丙院

模型性能追齊大院，
達到可臨床使用標準



對李女士而言



6 個月

原追蹤間隔



2 個月

新追蹤間隔

追蹤間隔由

6 個月縮短為 2 個月



聯邦學習讓三院彼此互補：小院得到可用模型，
大院得到更穩定的跨院表現。



林庭瑀
博士



陳秀熙
教授



國立台灣大學



林家妤



陳虹彬



許辰陽
醫師



陳芷萱



甘芳瑜



邱士紘



劉秋燕

星球永續健康 線上直播



梅少文 主持人



侯信恩 主持人



楊心怡 製作人



嚴明芳
教授



陳立昇
教授

台北醫學大學

