



# 太空運算：人工智慧的終極疆界

剖析軌道資料中心如何破解AI能源困局，開啟下一個兆元級科技賽道

# AI的兩難：指數級增長撞上地球資源的極限

AI的發展正以前所未有的速度消耗地球資源，我們即將面臨能源、水和土地的「運算高牆」。



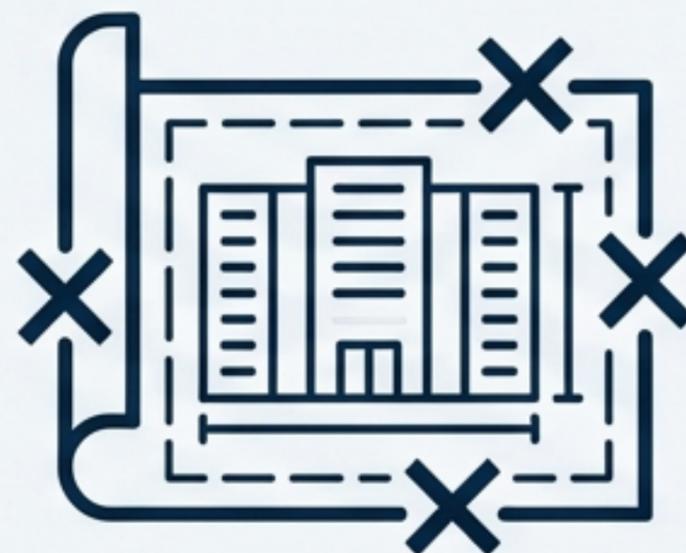
## 電力 (Power)

全球資料中心電力需求預計將從 17 GW (2022年) 倍增至 35 GW (2027年)，而AI工作負載到2030年可能需要 **60-100 GW** 的電力。



## 水資源 (Water)

目前資料中心每年用於冷卻的水消耗量高達 **1.2 兆公升**。



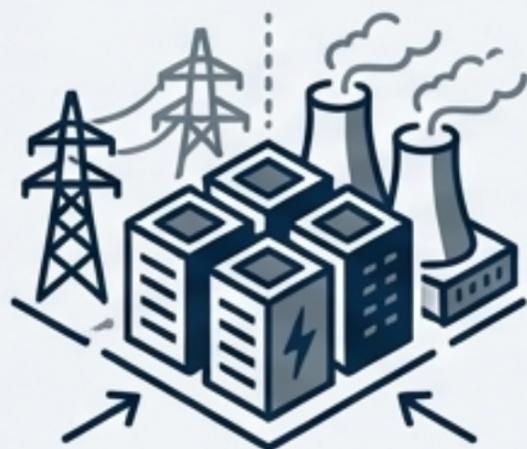
## 土地 (Land)

建設大型機房面臨土地稀缺、環境審查與社區衝突等瓶頸。

# 終極解方：在能源與空間皆為無限的疆域

解決方案就在我們頭頂之上，那裡有著近乎無限的能源、完美的冷卻環境和無盡的空間。

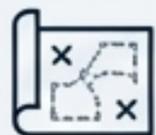
## 地球限制 (Terrestrial Limits)



能源：綠電受限於氣候與晝夜。



冷卻：每年消耗1.2兆公升水資源。



空間：土地稀缺且面臨環境限制。

## 太空優勢 (Orbital Advantages)



能源：太陽能板效率高達**8倍**，可24/7不間斷發電。可利用的太陽能是人類總發電量的**100兆倍**。

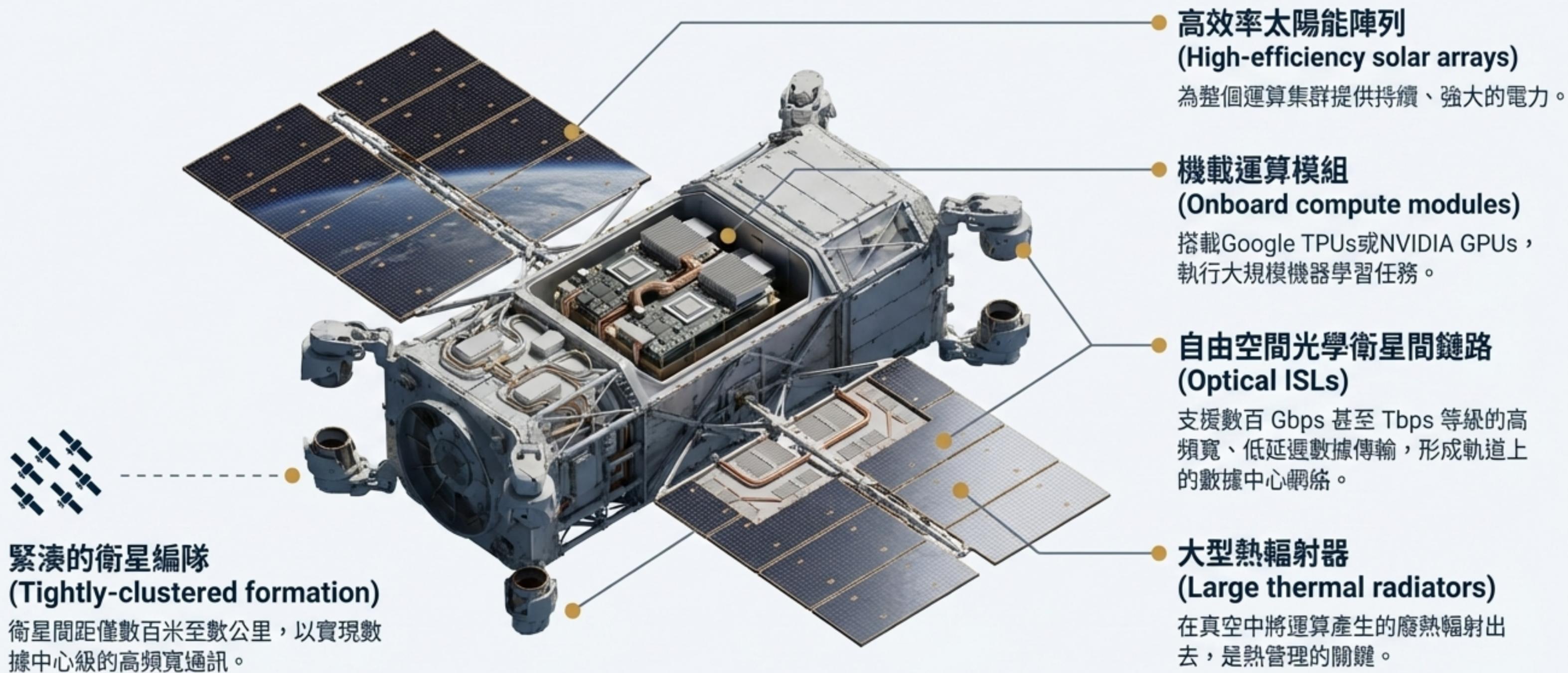


冷卻：真空提供高效輻射冷卻，效率是地球上的**3倍**，且不消耗任何水資源。



空間：無限的物理空間，不存在土地衝突。

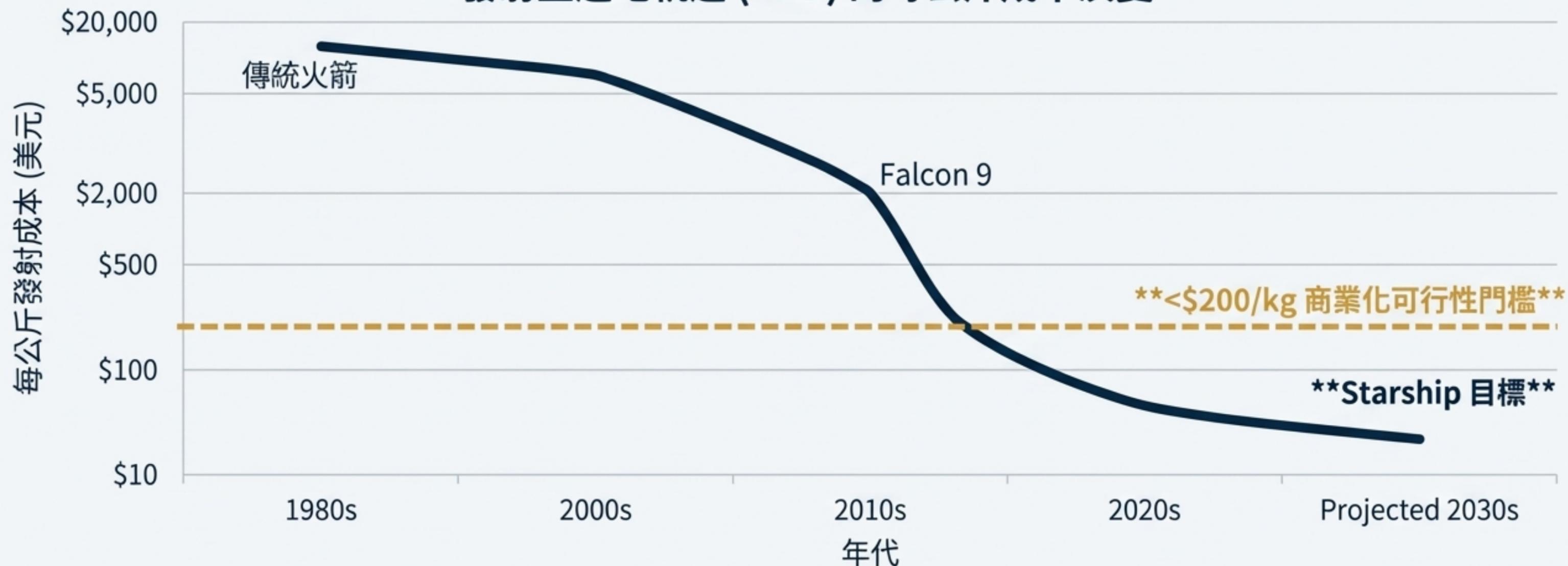
# 願景藍圖：打造行星級 運算基礎設施



# 挑戰一：打破成本的枷鎖

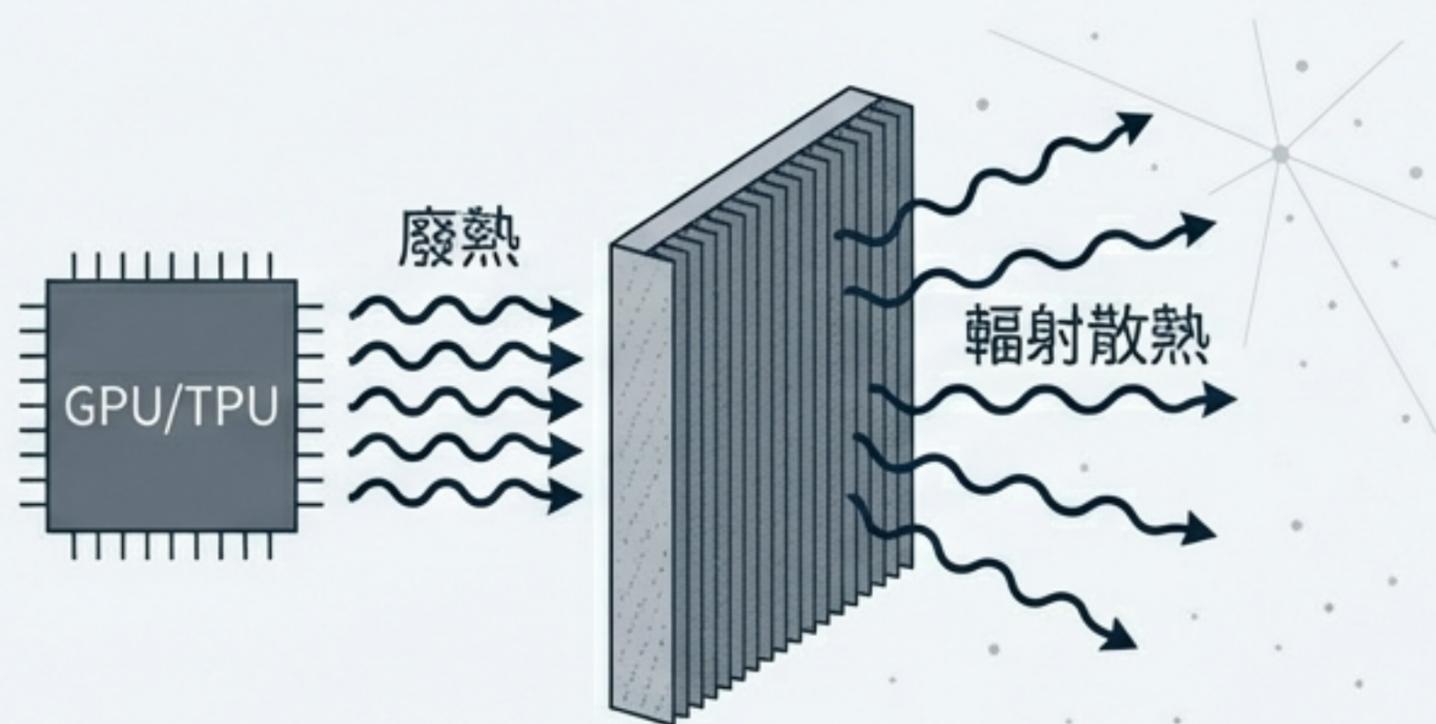
在理論上，太空運算一直可行，但高昂的發射成本使其在經濟上不切實際。直到可重複使用火箭的出現，才將成本降至商業化的臨界點。

## 發射至近地軌道 (LEO) 的每公斤成本演變



# 挑戰二：與物理定律的搏鬥

## 熱管理 (Thermal Management)

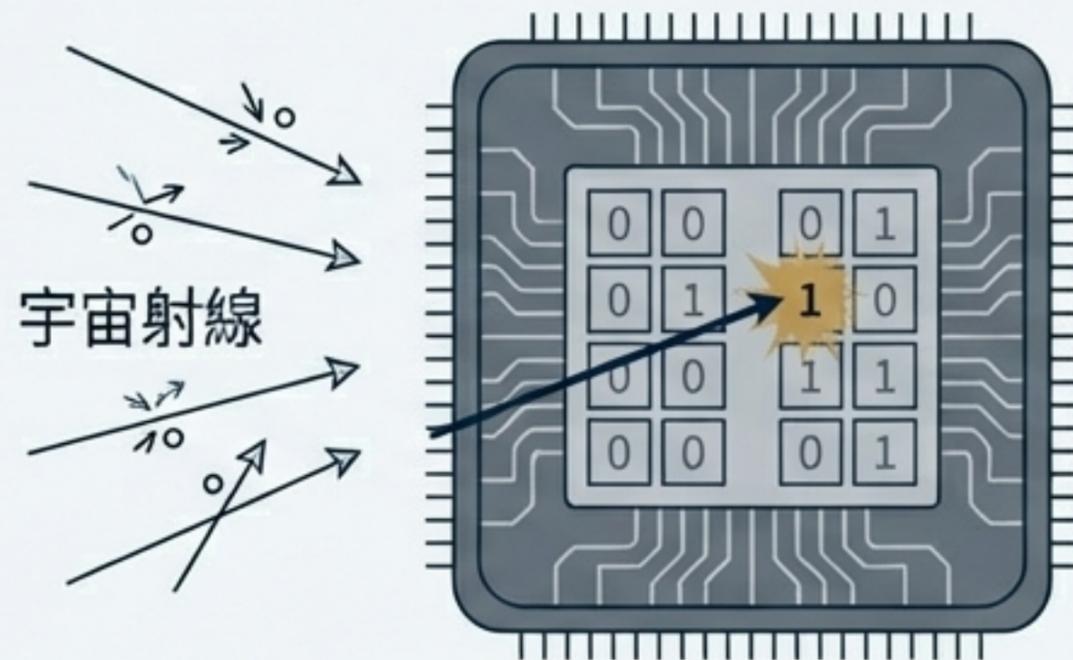


史蒂芬-波茲曼定律： $Q = \epsilon\sigma AT^4$

在真空中，熱量只能透過輻射散失。

一個 2 MW 的設施需要一個面積約 **4,000 平方公尺** 的巨大輻射器才能有效散熱，其質量可能超過運算設備本身。

## 太空輻射 (Radiation)



宇宙射線會對商用電子元件造成累積性損害和單粒子翻轉效應 (SEEs)。

商用品片在低地球軌道的預期壽命僅為 **2-5年**。  
真實案例：HPE Spaceborne Computer 在國際太空站任務期間，**45% 的 SSD 失效**。

# 新太空競賽：一個全新的生態系正在形成

## 願景擘劃與整合者

Google  amazon

## 開創性新創公司

 Starcloud 

## 核心技術供應商

## 雲端服務夥伴

## 衛星與發射服務

# 進度聚焦：元年里程碑

這不再是紙上談兵。第一批開拓者已經在軌道上驗證了核心概念。

## Starcloud

2025年11月



成功在軌道上運行 **NVIDIA H100 GPU**，從頭訓練了一個 NanoGPT AI 模型，並傳回訊息「地球人，你們好！」

首次在太空驗證了從訓練到推理的完整 AI 工作負載。

## Axiom Space

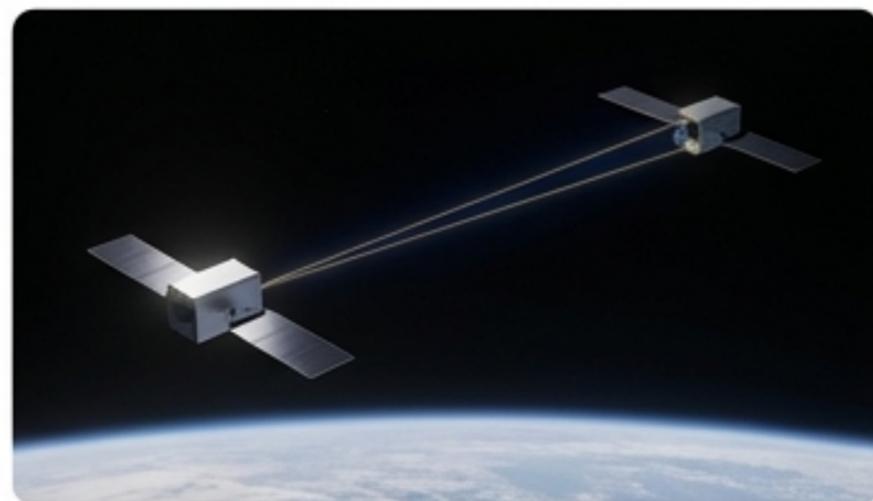
預計 2025年底



將發射首批兩個 **軌道資料中心 (ODC) 節點**，專注於國家安全與商業應用。

## Google Project Suncatcher

預計 2027年初



將與 Planet 合作發射兩顆 **原型衛星**，測試 TPU 硬體在太空的運作及光學衛星間鏈路。

# 科技巨頭的終極賭注

**「我的估計是.....從現在起不會超過五年，進行 AI 計算的最低成本方式，將會是使用太陽能 AI 衛星。」**

My estimate is... it's probably less than five years from now that the lowest-cost way to do AI computation will be with solar-powered AI satellites.

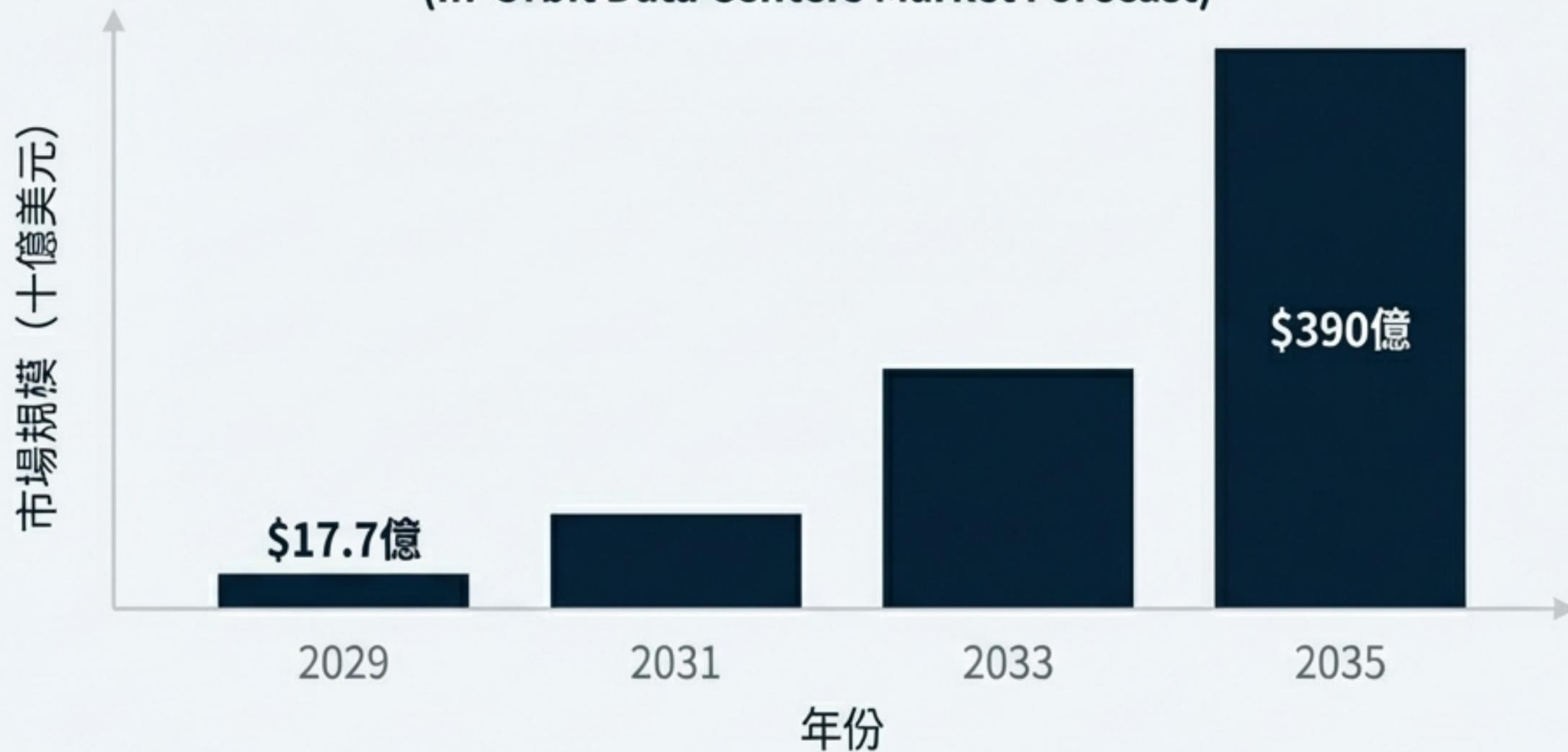
—— **Elon Musk**



# 市場機遇：一個從零創造的兆元級賽道

這場競賽的背後，是一個全新的、正在以驚人速度增長的龐大市場。

在軌資料中心市場規模預測  
(In-Orbit Data Centers Market Forecast)



## 關鍵指標

年複合成長率 (CAGR)

**67.4%**

# 市場演進時間線

## 第一階段: 2025-2027年 - 示範與驗證

多個概念驗證 (PoC) 任務啟動。早期採用者以國防和衛星數據處理為主。此階段目標是技術驗證，而非盈利。

## 第二階段: 2027-2031年 - 早期商業化

1-10 MW 級別的設施部署。地球觀測公司成為主要客戶。技術領導者實現收支平衡。

## 第三階段: 2031-2036年 - 成長與規模化

10-100 MW 級別的設施成為標準。主流雲端供應商開始整合軌道容量。大規模 AI 訓練工作負載轉移至太空。

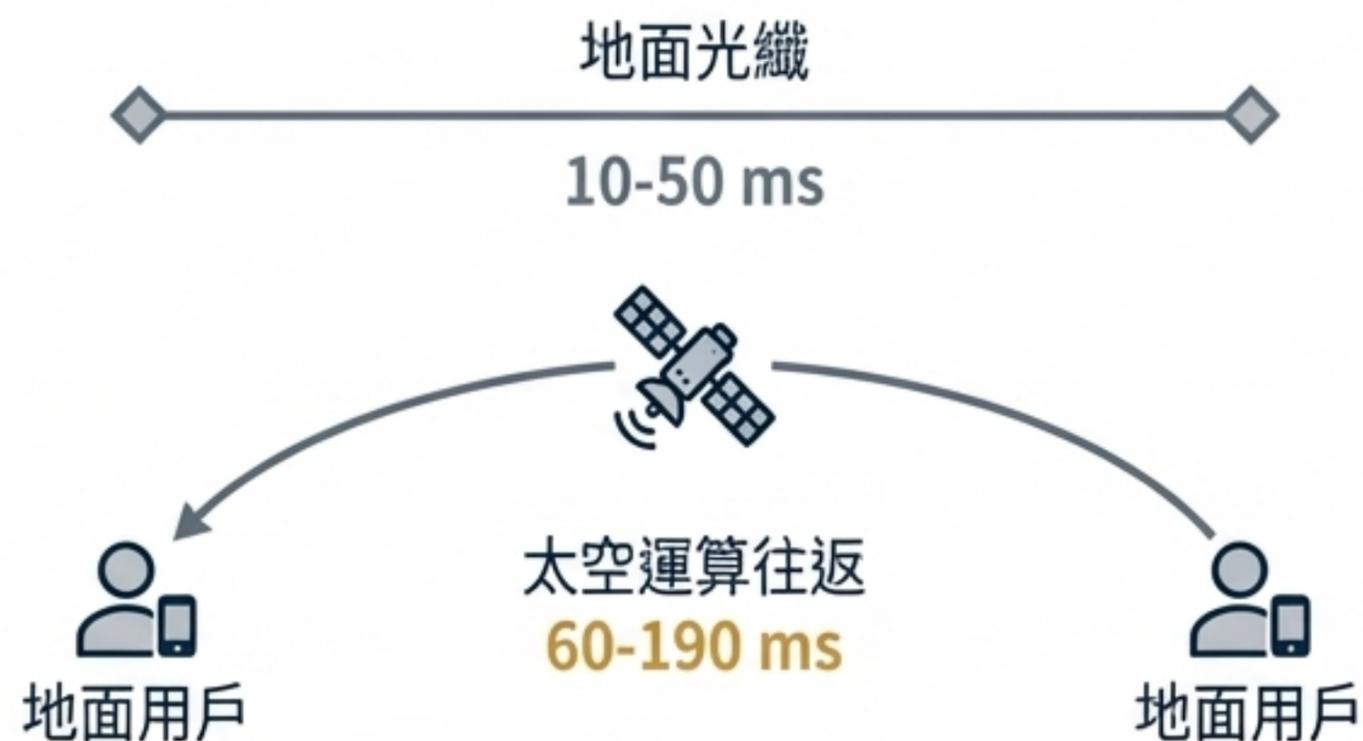
## 第四階段: 2036年以後 - 成熟期

GW 級超大規模設施出現。全球資料中心容量的 5-10% 位於軌道上，成為一個數兆美元的市場。

# 延遲悖論與初期殺手級應用

太空運算並非萬靈丹。由於物理限制，它對地面用戶會增加延遲。因此，其最初的價值在於解決「太空原生」的數據瓶頸問題。

## 延遲悖論

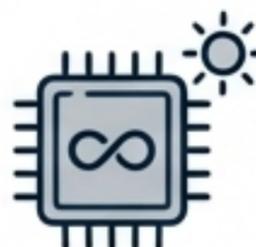


結論: 太空運算解決的是衛星數據處理問題，而非通用運算問題。

## 初期應用



**地球觀測：**在數據源頭（衛星）直接處理TB級的遙測和影像數據，無需等待漫長的下傳。



**大規模AI模型訓練：**利用太空中無限且潔淨的太陽能，進行耗能巨大的AI模型訓練。



**國家安全與災害應變：**提供一個物理上隔離、具備高韌性的基礎設施，不受地面災害或攻擊影響。

# 台灣供應鏈的太空紅利

隨著這個全新硬體生態系的建立，從通訊到能源，台灣在高科技供應鏈中的關鍵角色將迎來新的機遇。



## 昇達科 (3491)

領域：微波元件

(Microwave Components)

角色：提供衛星與地面站之間數據傳輸所需的高頻微波設備。

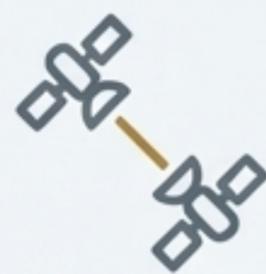


## 元晶 (6443)

領域：太陽能電池

(Solar Cells)

角色：供應軌道資料中心所需的高效率太空級太陽能電池。



## 萊德光電

領域：光學通訊

(Optical Communication)

角色：參與開發用於高速衛星間鏈路 (ISL) 的雷射通訊技術。

# 結論：人類運算的 下一個巨大飛躍

- **必然性 (Inevitable)**：AI 對能源的無盡需求，使太空運算成為一種必然。
- **賦能者 (Enabler)**：可重複使用火箭是解鎖這一切的關鍵賦能技術。
- **現實性 (Happening Now)**：挑戰巨大，但競賽已經鳴槍開跑。
- **願景 (Vision)**：我們正在見證的，是為人類文明構建一個全新的基礎設施層——從地表延伸至軌道。