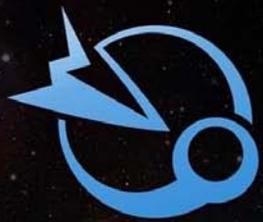


文/ 潘康嫻

星星向來在黑夜中閃爍，偶爾出現的奇景與新聞，總是這麼美好與令人驚豔。但這次的防禦計畫提醒地球人，我們時時刻刻都有被天體撞擊的風險，地球在太空運行其實並不平靜。

# 保衛地球大作戰

## 小行星撞地球防禦計畫啟動



# DART

Double Asteroid Redirection Test

NASA'S FIRST  
PLANETARY  
DEFENSE TEST  
MISSION



NASA的行星防禦測試計畫第一階段

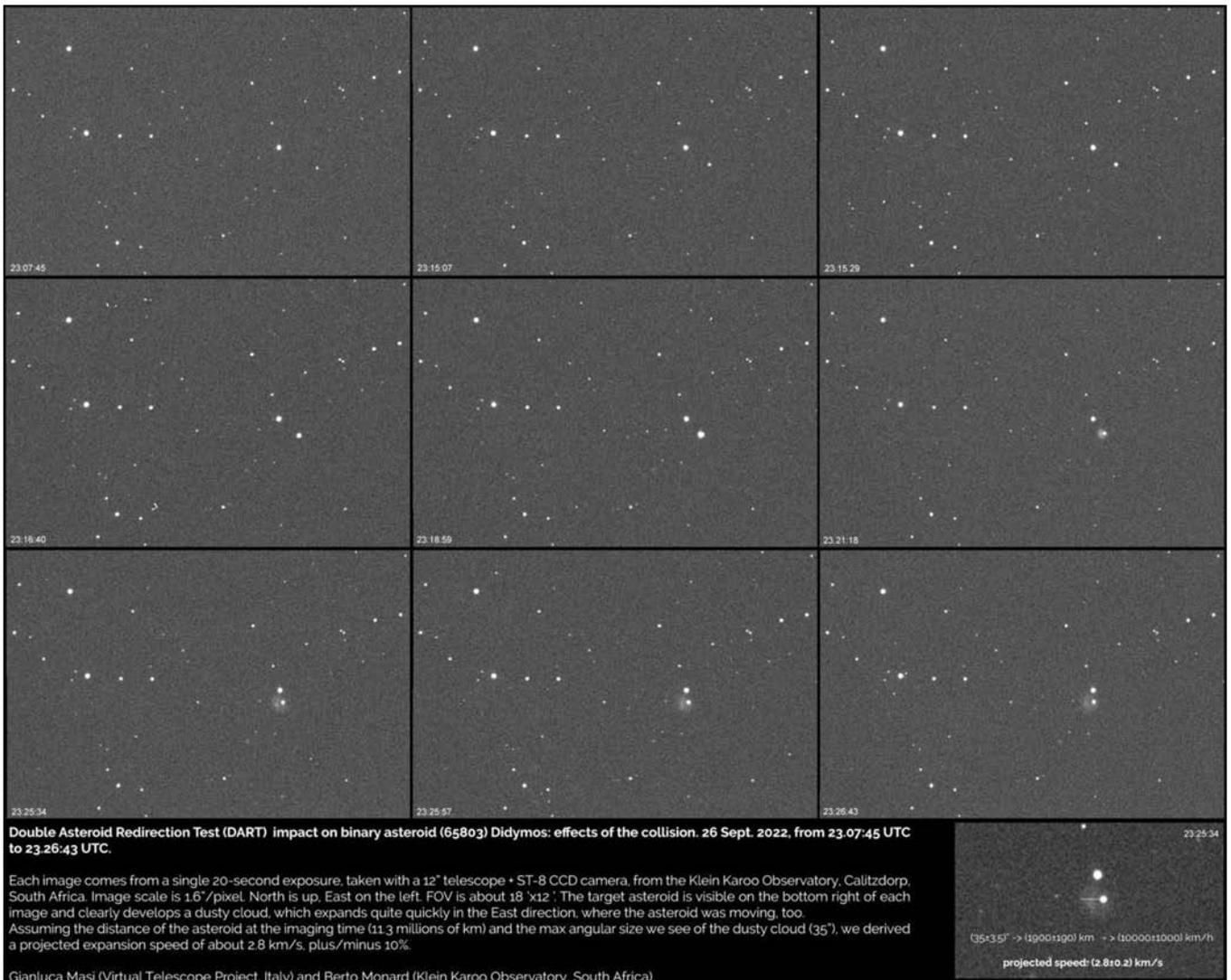


圖1. 地面望遠鏡觀測DART撞擊Dimorphos過程之照片，可看出撞擊當下所揚起的粉塵。圖片來源：THE VIRTUAL TELESCOPE PROJECT 2.0

2022年，世界協調時間（Universal Time Coordinated）9月26日23時14分（臺灣時間9月27日上午7時14分），雙小行星改道測試計畫（Double Asteroid Redirection Test, DART）成功地衝撞目標小行星Dimorphos。NASA特地打造飛行器製造一場太空中的相撞，為的是什麼呢？

太陽系的各種天體，一字排開，大多數成員，如八大行星、矮行星、主帶小行星等等，在各自的跑道上環繞著太陽。但有些小小成員的路線，像近地小天體Near-Earth Objects（NEOs，包含小行星和彗星），以各種圓錐曲線的路徑繞著太陽運行，根據行星防禦協會的說明，大小約30~50公尺的物體，其最小軌道交會距離小於0.05天文單位（AU），稱為潛在撞擊威脅小天體（Potentially Hazardous Objects, PHOs）。

地球自備保護機制，  
用大氣層把它燒成灰燼，但有極限。

小小塵埃經過大氣層，燃燒成了流星。要是塵埃夠大，大氣層不足以燃燒殆盡，殘餘猶如火球般地墜往地表，若威力太大還會砸出隕石坑。上一回小行星撞擊事件，發生在2013年2月15日，位於俄羅斯中部的Chelyabinsk，當地時間上午9點20分，天際出現一顆美麗的大流星，沒想到越看越大顆，在距離地表23公里的高空爆炸，其震波震碎了500平方公里內房屋的玻璃窗，造成超過1,600餘位民眾受傷。這顆火球般的小行星直徑約18公尺，以每秒18.6公里的速度，低角度飛進地球的大氣層，在接近地表時解體。其隕石碎片，也提供了科學家更多認識小行星的線索。



圖2. 2013年2月15日早晨，在俄羅斯的Chelyabinsk，行車記錄器清楚地紀錄這從天而降的火球畫過天際，隨後在空中解體爆炸。圖片來源：UNIVERSE TODAY

翻開地表現存的隕石坑，經調查其範圍、深度、地貌特徵、隕石碎塊的物質，輔以地質礦物學定年法的測量，小行星撞地球的事件逐漸清晰。例如發生在6千6百萬年前，造成恐龍滅絕事件的小行星，大小約10公里，落地在今日的墨西哥灣，引起1.5公里高的海嘯（臺北101大樓之3倍高度），在48小時內席捲全球。對現今最具威脅的是，地球約一萬年就有機會遭受140公尺小行星的撞擊，所造成的震波和海嘯足以摧毀一個國家。

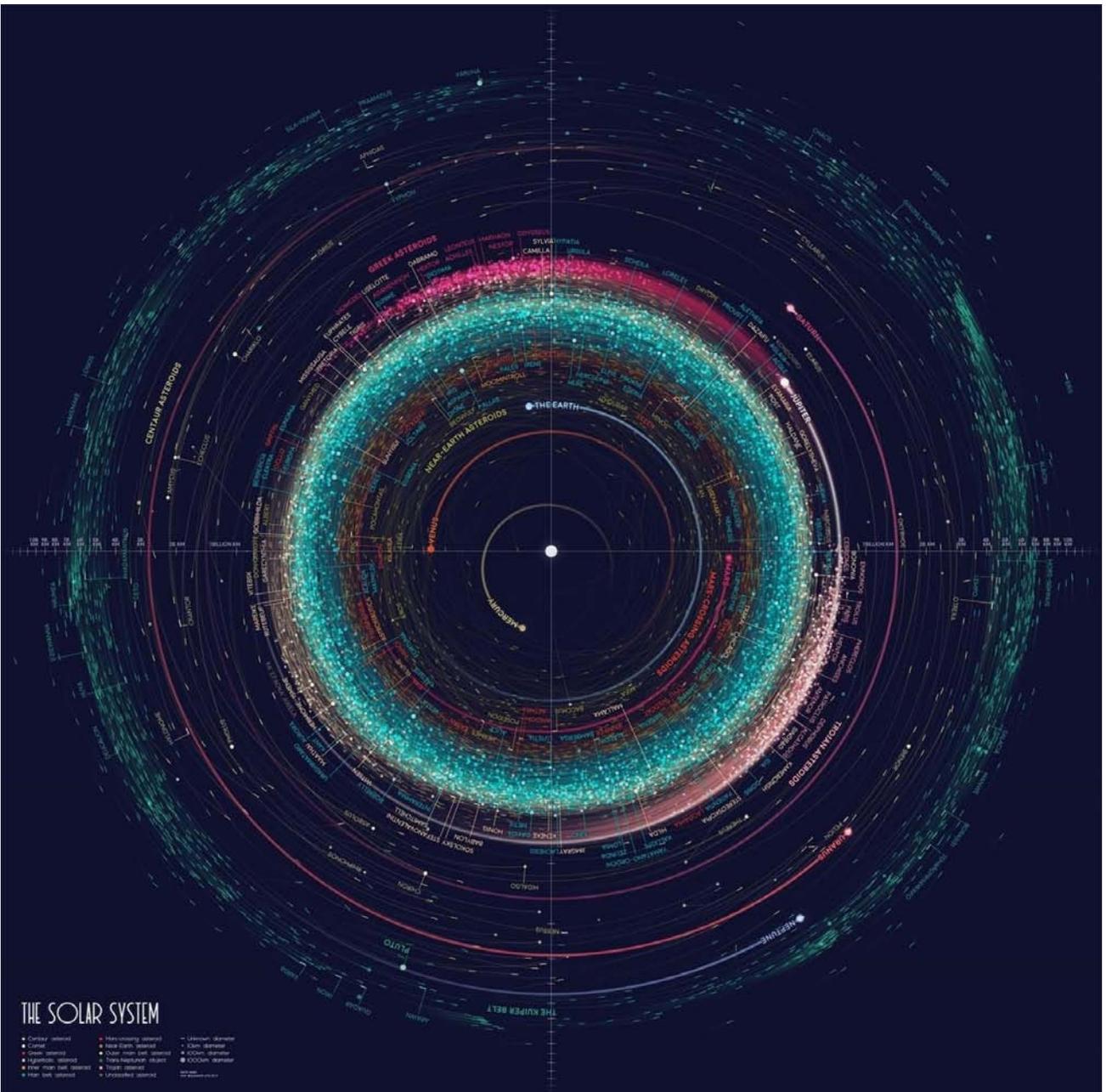


圖3. 太陽系中已知的18,000小行星地圖。圖片來源：NASA

目前人類所在的世代，  
已相安無事好長一段時間，  
但會不會是不鳴則已，一鳴驚人？

人類世代難得一次有預測、計畫、目睹以及後續調查的太陽系撞擊事件，就屬1994年的舒梅克-李維9號彗星（Comet Shoemaker-Levy 9）撞擊木星的大新聞。1993年無意間發現一顆軌道不是繞著太陽的彗星，以極橢圓的軌道（離心率0.99）繞著木星，且彗核寬度不小。因木星重力對彗星舒梅克-李維9號彗星受力不均造成的潮汐力，將其碎裂成21個碎片（依字母順序A-W標記），片片以每秒60

公里的速度，連續六天在木星南半球的大氣層，有如小石塊扔進水中所引起的漣漪，撞出了許多巨大黑色的疤痕。

彗星撞木星事件引起在觀眾席的地球高度關注，一來讓科學家藉機觀測木星的大氣結構組成；二來發現木星擔任太陽系的太空吸塵器之重要角色，降低內行星受到撞擊的機率；三是人類開始重視來自太空中的威脅，得從長計議一系列的應變對策。若以舒梅克-李維9號彗星原來的大小（估計為1.5~2公里）撞擊到地球，將會是下一個全球巨變的毀滅。

## Impact Structures and Deposits of the World

(n = 199 + 40, as of April 2019)

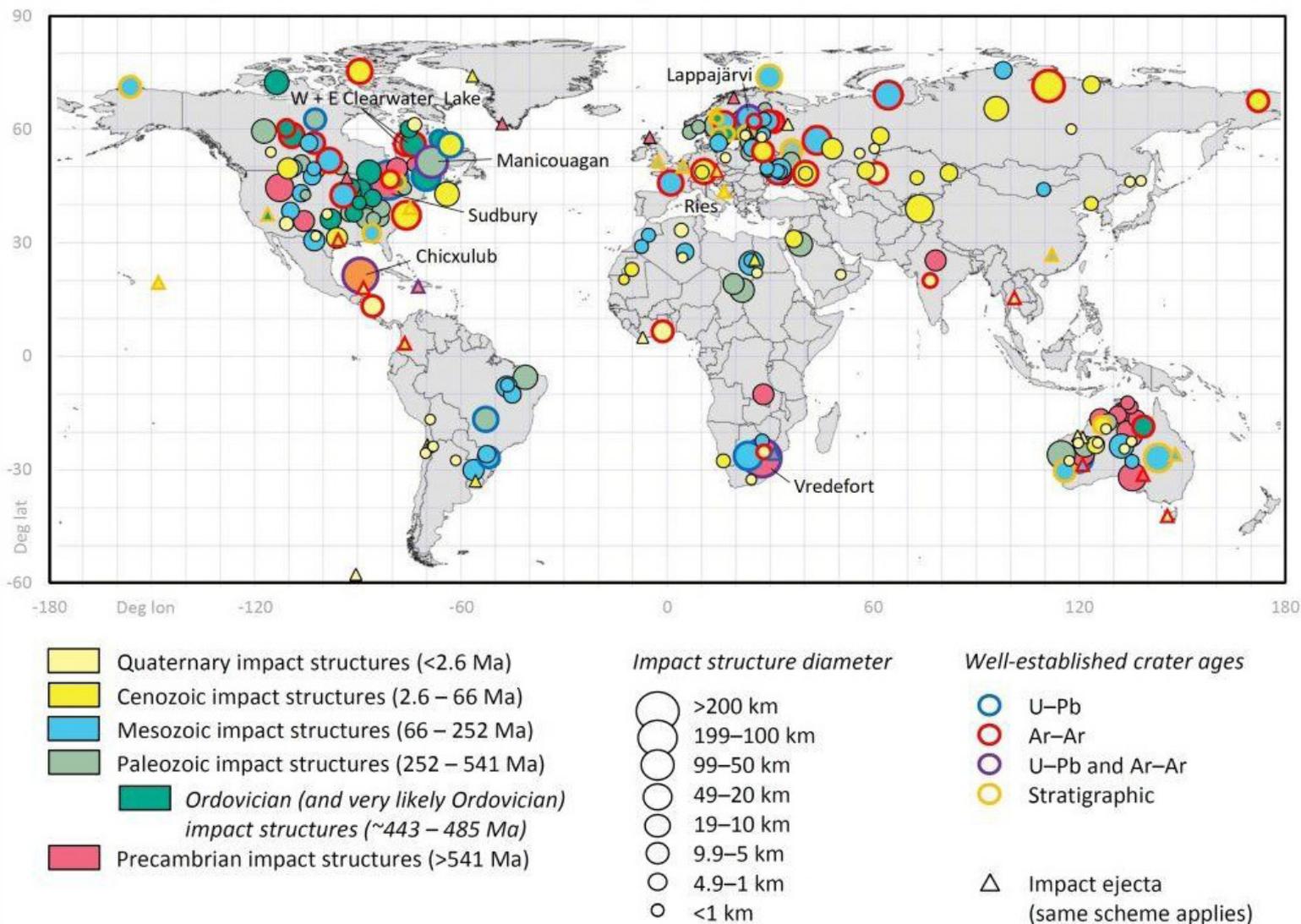


圖4. 地球上現存的隕石坑分佈。圓圈的大小表示隕石坑的直徑，圓內滿版顏色表示年代，圓框線的顏色為測量年代的使用方法。圖片來源：Lunar and Planetary Institute



圖5. 1994年哈伯太空望遠鏡拍攝木星和舒梅克-李維9號彗星的碎片。圖片來源：NASA

人類面對自然災害，就這麼束手無策嗎？在臺灣，我們有氣象預報、防災措施、預警系統、以及防災教育宣導等等，讓生活在臺灣的民衆，面臨地震和颱風時，能有適當的應對及逃生的策略。

太空來的災害，  
我們也能有應變措施嗎？

相對其他自然災害，若能在天體撞擊地球前就發現它的蹤跡，那麼我們將還有求生存的時間。現在的科技能不能讓我們化被動為主動，拿出永不放棄的精神，在反應時間內，正面迎擊跟它力拼一搏？

天文學家決定來做點什麼

美國NASA和其他國家的太空總署，共同提出主動型態的防禦計畫，第一階段進行雙小行星改道測試計畫DART，主要開發與執行單位是位於美國馬里蘭州的約翰霍普金斯大學應用物理實驗室（The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, JHUAPL），進行一場在太空中的動力撞擊（kinetic impact）測試實驗。

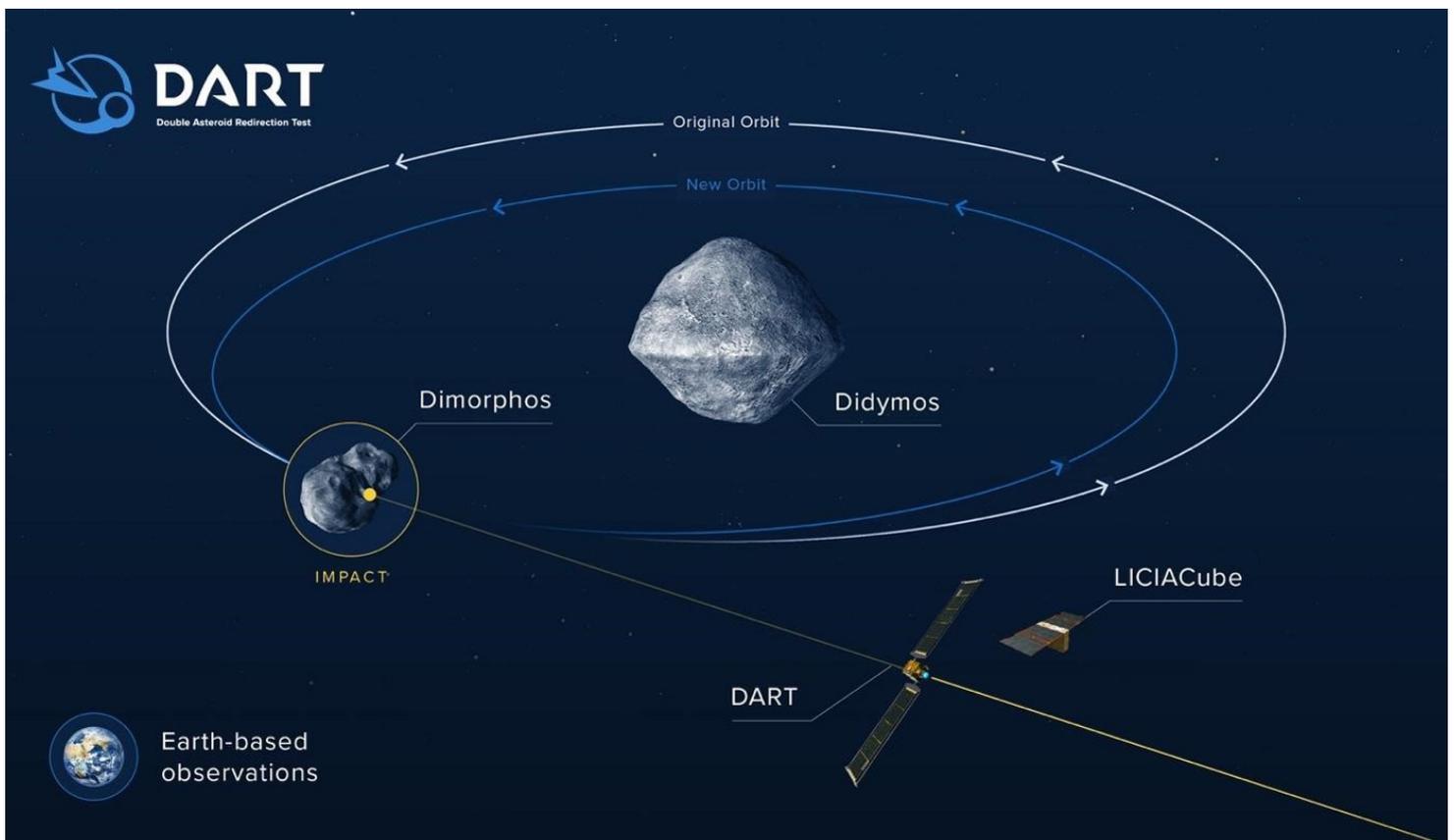


圖6. DART雙小行星改道測試計畫執行概念圖。Dimorphos的撞擊前軌道為白色線所示，撞擊後的預測新軌道以藍色線標記。圖片來源：DART

# DART at Scale

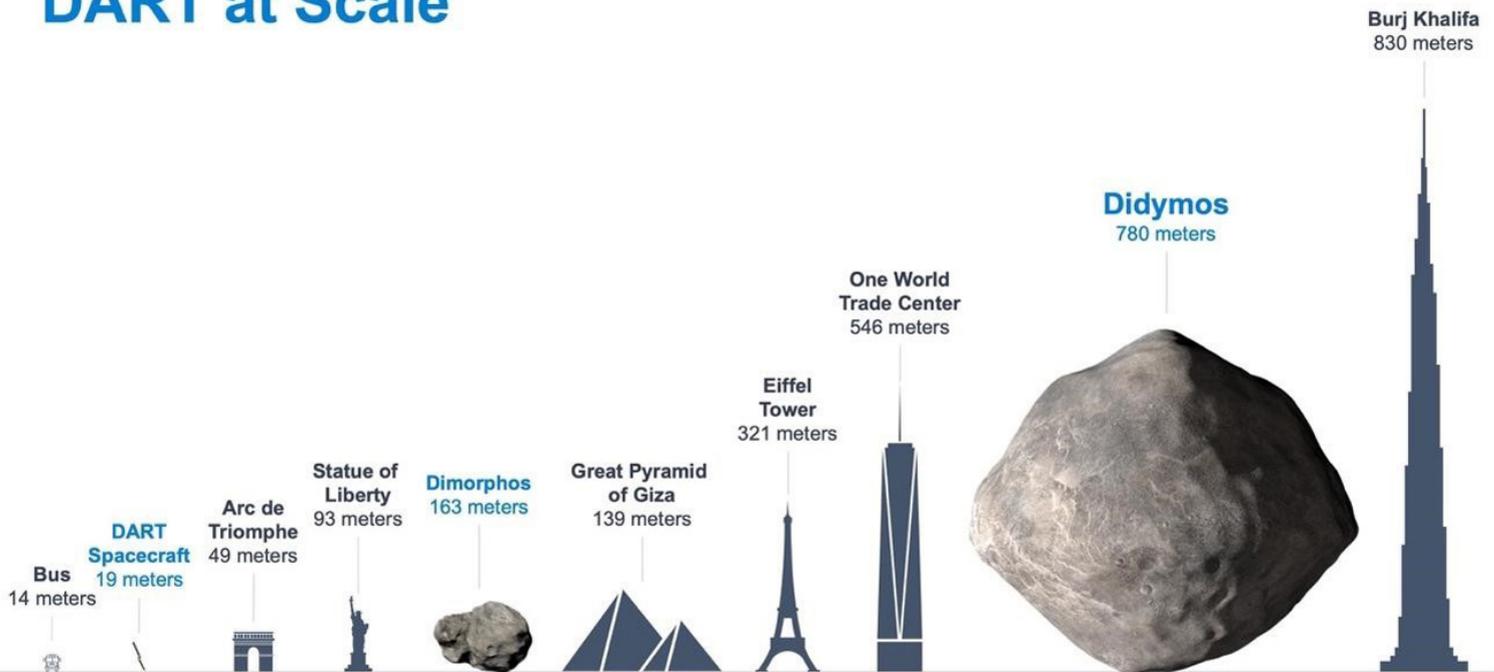


圖7. DART飛行器、目標雙小行星Didymos、Dimorphos和地球上其他大型人造物的高度比例。圖片來源：DART

在DART出發之前，藉由軌道模擬計算，天文學家基於下列幾個提問：

1. 讓小行星軌道偏轉的最佳時機為何？
2. 讓小行星與地球擦身而過，小行星需要改變多少速度？
3. 為了攔截小行星，撞擊用飛行器何時得要發射到太空？
4. 一次的改道飛行器發射計畫，可適用多大的小行星？
5. 根據小行星的物理性質，撞擊後的小行星最容易往哪個方向偏轉？

提出應對的構思，在2015的行星防禦會議中，使用NASA/JPL NEO Deflection APP (NDA) 進行行星撞擊的演習。當年設定情境演習用的資料，收錄在NASA的[近地小天體研究中心網站](#)。

軌道模擬如同實驗預報的預期結果，下一階段就來進行驗證的實驗。實驗用目標需要其軌道穩定又好觀測，對地球不影響，讓科學家能安心進行測試與後續的觀測研究。因此選定一對距離地球1,100萬公里的雙小行星：(65803)Didymos (直徑

約780公尺)，和其伴星Dimorphos (直徑約160公尺)。Didymos屬於S-type的小行星，以矽岩為主要物質，與日本JAXA的隼鳥號 (Hayabusa) 所探訪的(25143)Itokawa糸川小行星，屬同一類型。在已知的近地小行星中，S-type小行星的數量最多。

DART主體為約1.8X1.9X2.6公尺的立方體，帶上每片約8.5X5公尺可捲收的太陽能板，搭載新技術的儀器，其一為Didymos Reconnaissance and Asteroid Camera for Optical navigation (DRACO)，追蹤型的光學導航相機，用於偵測大小、形狀、地質環境尋找適合撞擊點；其二為義大利的光學微型衛星相機Light Italian CubeSat for Imaging of Asteroids (LICIA Cube)，在撞擊前15天展開部署，以記錄撞擊和粉塵噴發的過程。DART飛行器於2021年11月24日升空出發，以更有效率的太陽能離子電力推動系統，飛行了一年左右的時間，自備靈活性高又能滾動式修正的導航新科技，以570公斤「故意」衝撞雙小行星的伴星Dimorphos。

動力撞擊過程也是全球焦點，全球各地的地面和太空望遠鏡，一同觀測Dimorphos小行星撞擊前後的軌道發展和物質噴發。Dimorphos撞擊前

以11小時55分鐘的軌道週期繞著Didymos，預估撞期後的軌道週期會縮短1%（約減少10分鐘）。持續追蹤數天後，10月12日NASA公布新軌道的週期為11小時23分鐘（誤差2分鐘），本次撞擊減少了32分鐘，表示實際縮短程度比預估地還要成功。另外，Dimorphos受到外力撞擊，鬆動了原結構的平衡，因此在穩定之前，崩塌的碎石在軌道上脫出了一條長長的尾巴，成為了第一顆人造彗星。

第一步的成功，也預告了第二階段的展開：Hera任務（由歐洲太空總署的太空維安計畫主持ESA, space safety and security activities），將在2024年升空，預計在2026年抵達Didymos附近，對兩顆小行星進行精確地調

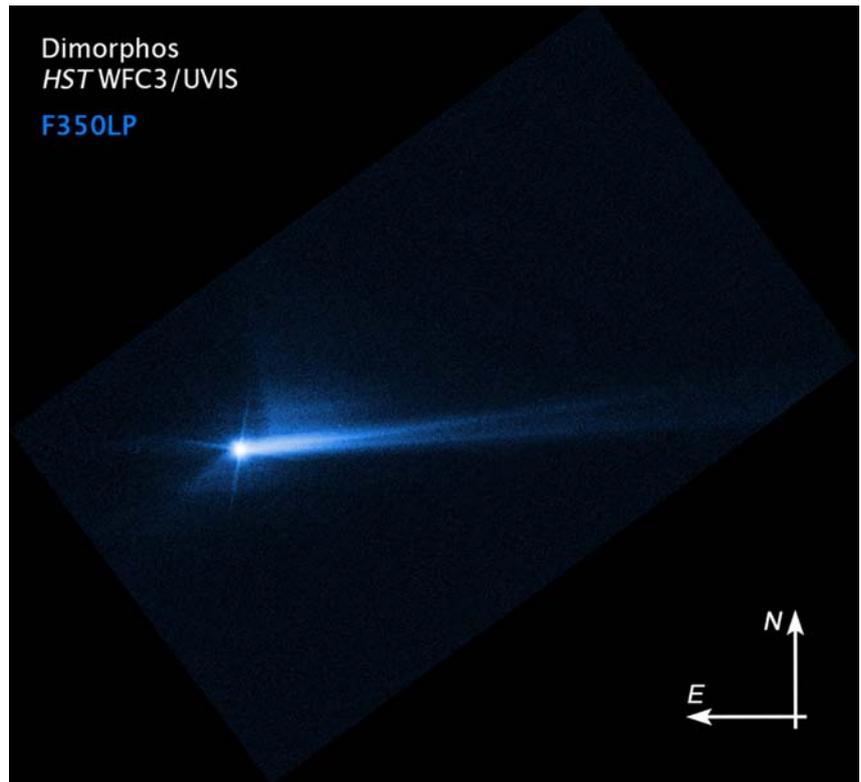


圖8. 哈伯望遠鏡在10月8日所拍攝的影像，在撞擊後的285小時，可見Dimorphos噴出的碎片。其人造彗尾隨著時間的變化，反映了小行星的物質組成，可幫助科學家深入了解這顆小行星。圖片來源：NASA



圖9. 全球各地地面望遠鏡和太空望遠鏡齊聚一堂，一同關注DART撞擊過程，也持續追蹤撞擊後的Dimorphos後續發展。圖片來源：DART

查，尤其是(65803) Didymos上「DART坑」和後來的質量，以整合出更符合實際的軌道預測模型，評估整體小行星改道成效與可行性，為未來撞擊應對規劃作準備。

地球上的各種自然災害，  
了解地越多，越知道如何應對。

### 行星防衛隊歡迎你的加入

天文觀測技術在二十一世紀大幅進步，自1995年起，對太陽系小天體逐一清點，這20多年的觀測，讓我們提前掌握了許多有潛在撞擊威脅的小天體，並建立近地小行星資料庫做長期追蹤，以供後續的科學研究和軌道接近預報。至2022年10月，已收錄超過三萬顆小行星，但僅佔了25%，還有更多未發現的小行星，待天文學家一一清查。

預防勝於治療，DART撞擊實驗的成功，驗收了小行星軌道預測和撞擊預防的技術成熟度，讓科學家後續的行星防禦策略上，有更具體的規劃與行動。NASA執行長Bill Nelson表示：「人人有責任保衛家園，畢竟這是我們唯一的地球。」天文學家努力不懈地研究小行星，關注小行星撞擊風險以保持警戒、防範未然，加上科技的進步與教育的普及，也許在不久的將來，人類會有小天體撞擊地球之跨國界的防災演習。

參考資料：

<https://dart.jhuapl.edu/>

<https://cneos.jpl.nasa.gov/>

<https://neo.ssa.esa.int/>

<https://www.nasa.gov/planetarydefense/dart/dart-news>

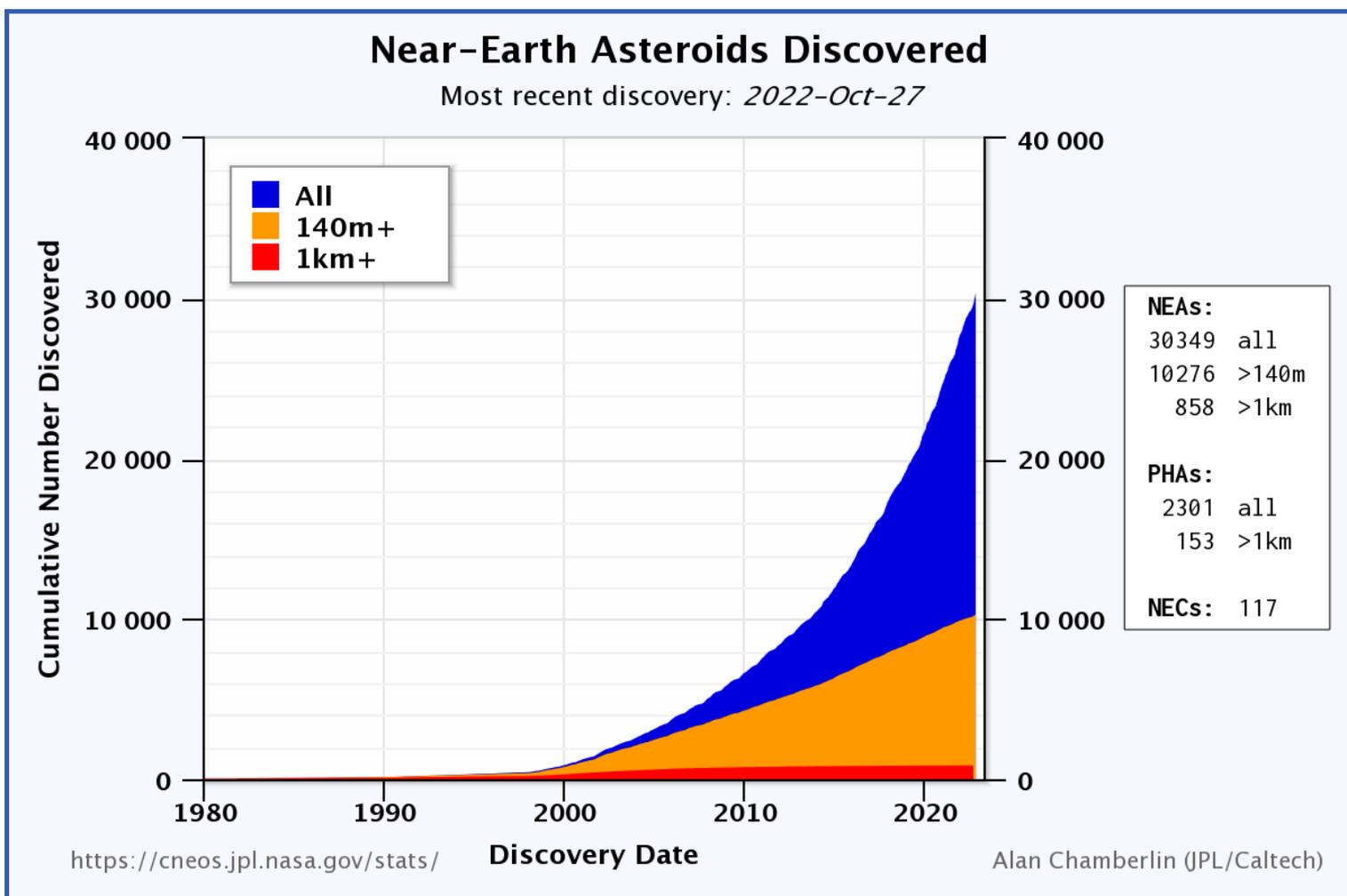


圖10. 截至目前為止所發現的近地小行星，直徑大於1公里的小行星約有858顆（紅色）。大於140公尺的有一萬多顆（橘色），和更小的行星（藍色）。在西元兩千年以後，所找到的數量逐年增加，也表示還有更多尚待清點的小行星。圖片來源：NASA/JPL

筆者小故事：

一覺醒來，驚呼 We are safe!

「昨晚一顆迷你小行星靜悄悄地飛掠地球。」發現它時，早已通過近地點六個小時了。臺灣時間2020年8月18號的早晨，筆者的電子信箱收到一封不緊急的緊急通知。一顆大小約3~6公尺的小行星，距離地球2,950公里飛掠南印度洋上方，刷新紀錄成為最接近、未撞到地球的小行星。不緊急的是剛好擦身而過，但緊急的是，像這樣無聲無息地，一旦發生撞擊，怕是措手不及呀，表示我們得要加快腳步繼續清點星空中的小行星。



圖11. 未發生擦撞的小行星最接近事件：小行星2020 QG於2020年8月16日靜悄悄地飛掠地球，最接近距離2,950公里。圖片來源：NASA

潘康嫻：臺北市立天文科學教育館

YouTube相關影片：



小行星獵人：隕石真的會掉到你家？  
探尋隱藏太陽系中的未知威脅

<https://www.youtube.com/watch?v=RuVdhPEs8-M>



DART計畫工作團隊

<https://www.youtube.com/watch?v=g7zdeQ-Uw8k>



上一回撞擊事件：舒梅克-李維9號彗星

<https://www.youtube.com/watch?v=gbsqWozEBBw>