

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080501

天外有天—以訓練過的自定義 GPT 人工智慧模型來測判太陽系外行星的天空外觀與適居性

學校名稱：臺北市大安區仁愛國民小學

作者： 小六 莊佳倩 小四 莊佳浩	指導老師： 潘滢方
-------------------------	--------------

關鍵詞：太陽系外行星、光的散射現象、人工智慧

摘要

本研究主要在探討太陽系外行星的天空外觀和適居性。除了光的散射，行星大氣層中的物質大小、密度和溫度、行星的恆星類型、溫度和光度也是影響天空外觀的因素。我們使用 Python 程式語言從科學資料庫中提取和轉換太陽系外行星的數據，並用 GPT-4 平台來創造一個人工智慧模型。透過專家訪問和科學論文閱讀，我們把所學到的知識用英文寫出描述影響天空外觀和適居性的因素以訓練這個模型。最後，結合我們輸入的太陽系外行星資料，我們訓練的自定義人工智慧模型成功預測出符合科學數據之天空外觀和適居性的描述，並製作出細節豐富的圖片。我們是第一個使用人工智慧來預測太陽系外行星的天空外觀和適居性的研究，也自創了一個新且容易的恆星光譜類型記憶口訣。

壹、前言

一、研究動機

去年有一份學校作業，讓我們探討不同的光散射方式對天空顏色的影響，以及天空中的物質導致天空變成什麼顏色。在做這份作業的時候，我們獲悉蔡博士（Tsai, S.-M.）和他的團隊於 2023 年發現了一個新的太陽系外行星的大氣層；所以我們聯絡並訪問了蔡博士，請教他天空顏色的相關問題。我們也察知近年來因為詹姆斯·韋伯太空望遠鏡的使用，許多太陽系外行星和它們的大氣層都在被快速發現中（平均一個月發現 20 個太陽系外行星，是十年前的兩倍），也因此引起了我們更進一步的好奇與興趣。

我們想要更深入了解這些現象的原理，還想知道在其他行星上會改變天空外觀的因素是什麼？我們從閱讀科學論文（例如：Seager & Deming, 2010）中學到天空外觀會因為瑞利散射、米氏散射、天空中的塵埃顆粒、大氣層密度和溫度、太陽系外行星和恆星的距離、太陽系外行星的恆星類型、恆星溫度和恆星光度而發生變化；而恆星大小、恆星距離、地心引力、潮汐鎖定、風向、行星轉動速度、行星歲數和大氣中的物質等，則影響行星的適居性。

我們也和古人與科學家們一樣非常想知道：在廣袤無涯的宇宙中，是不是有某個地方，也有像地球一樣適合生物生存與居住的星球？在這些太陽系外行星上的天空究竟呈現出何等壯麗的景象呢？我們能不能從對太空的觀察中，從太陽系外行星天空的外觀來判斷這個行星適合我們的生存嗎？

目前天文學家需要使用非常複雜的數學技術和電腦程式（蒙地卡羅模擬）來預測太陽系外行星的顏色和外觀。就連模擬瑞利散射都需要的複雜電腦圖學演算法。這種複雜的數學技

術超出了小學生的能力範圍，可是我們發現近期人工智慧正在快速的發展，所以想嘗試利用人工智慧科技可以自動化處理工作的流程，包括使用 ChatGPT 來了解這個複雜的研究領域。

我們會用光的散射和其他影響天空外觀的因素來創造並訓練一個自定義的人工智慧模型；透過每次遵循相同程序的自動化和演算法，在資料處理、分析的任務上消除錯誤，然後我們會在這個人工智慧模型裡輸入行星、空氣中的物質等等條件，而獲得這個行星天空外觀的預測，同時利用 GPT-4o 生成式 AI 圖像化的能力，根據從資料中學習到的模式來建立新內容，製作出一幀這個系外行星的天空外觀圖片；而且我們還想要透過人工智慧來預測某個行星是否適合生物居住。

如果以上兩個實驗假設獲得落實，便可以證明人工智慧先進的用處，在龐大的資料中計算和預測出天空的外觀，或者人工智慧能更進一步適用於其他複雜大數據的研究領域，並得到研究加速與開發應用的可行性。

二、研究目的

我們研究的總體目標如下：

- (一) 尋找、整理和分析太陽系外行星的數據，我們還將一些找不到的數據加入計算，並且創造一個資料庫。
- (二) 利用現有所知影響天空外觀和適居性的因素，製造和訓練一個自定義模擬天空外觀和適居性的人工智慧模型。
- (三) 透過自定義的人工智慧模型（在第二步驟中創建）來預測太陽系外行星的天空外觀和適居性，並製造出一張太陽系外行星（基於第一步驟中處理的數據）天空外觀的圖片。
- (四) 透過自定義的人工智慧模型和太陽系外行星數據來預測太陽系外行星是否適合目前地球上存活的生物居住。

三、文獻回顧

(一) 著名研究與應用

我們的探索主要啟發自三項研究：

1. 瑞利的光散射實驗解釋了為什麼天空是藍色的：

1899 年 Strutt 發表了一篇關於為甚麼天空會因為光的散射是藍色的科學論文。之後，在 1918 年，他在一個自製的黑色管子裡照白色光，隨後就觀察到了藍色的光在管子中。這是第一個模擬太陽光在大氣層中散射的實驗。

2.最近發現的太陽系外行星的大氣層：

近年來，科學家利用先進的太空望遠鏡發現了許多太陽系外行星。科學家使用這些太空望遠鏡來觀察太陽系外行星凌日時所發出來的光環，判斷太陽系外行星大氣層中的化學物質和氣體，並將其發現發表於科學論文（Seidel、Nielsen 與 Sarkar，2023）。

2023 年蔡尚旻和他的研究團隊使用詹姆斯·韋伯太空望遠鏡來觀察 WASP-39b 的大氣層，看到了二氧化硫（sulfur dioxide，SO₂）(Tsai et al, 2023)。另外，2023 年 11 月 Bell 等 (2023) 使用了詹姆斯·韋伯太空望遠鏡發現了 WASP-80b 的大氣層裡面有甲烷（methane，CH₄）。最後，2024 年 1 月 Roy 等（2024）在太陽系外行星 GJ 9827d 的大氣層中觀察到蒸氣（水，H₂O），這是至今發現擁有蒸氣的最小太陽系外行星（它的直徑是地球的 3 倍）。

3.用於學習和推理複雜議題的人工智慧技術：

隨著大型語言模組（large language model，LLM）的發展，人工智慧在近來演變到可以用來理解語言並獲取新知識。一套稱為 GPT Builder 的人工智慧技術可以依照輸入的資料和信息來創造一個 GPT。

2023 年 3 月 OpenAI 公司的電腦工程 Altman 等（2023）創造了 GPT-4。Bubeck 等（2023）匯報 Microsoft 科學家發現 GPT-4 比之前的 GPT 版本更可靠、更有創意，也更能夠處理細微的指令。在 2023 年 11 月，OpenAI 創造了一個叫做 GPT Builder 新電腦程序，給使用者訓練自定義人工智慧模型的能力。在 2024 年 5 月，Open AI 推出了 GPT-4o，它是目前最新版本的 GPT，它比 GPT-4 的運轉速度快兩倍，也有更大的上下文窗口。

許多研究者已經開始在不同的領域中使用 GPT-4，例如 Hatakeyama-Sato 等（2023）使用 GPT-4 來解答化學工程的問題，他們發現 GPT-4 需要額外的訓練資料和知識才能製造出更高深的推理（對我們研究的重要發現）。目前，人工智慧已在自然語言處理上取得突破，並應用於多種行業，例如交易、零售業、防詐騙、醫療、石化業、場所安全等。

(二)歷屆中華民國中小學科學展覽會作品

表 1

本研究與中華民國歷屆科展作品關係比較

文 獻 名 稱	研 究 結 果	與 本 研 究 相 關 之 處
夕陽無限好，「散射」知多少－黃耀陞（2014）	夕陽是否有規律性質，夕陽顏色的變化。	提到了瑞利散射對天空顏色的影響，跟本研究中瑞利散射會使天空變成藍色的原因相同。
探討霧的散射光－顏彩竹、賴致仁、蕭景鴻（2022）	利用光譜儀測量煙霧和水霧的散射光，當煙霧與水霧濃度、與煙霧距離、與煙霧和水霧夾角不同時，散射光的特性與能量變化趨勢。	測試了瑞利散射碰到不同大小的粒子會散射出什麼顏色的光，跟我們的作品一樣有提到瑞利散射對不同大小的粒子和光波的影響。
以校園望遠鏡尋找 M39 星團的系外行星與變星－蔡侑岑、翁可盼（2023）	這項研究利用校園望遠鏡觀察 M39 星團。結果中，發現了一顆疑似「Lava Worlds」（熱木星 Hot Jupiters）型態的太陽系外行星和兩顆潛在變星。	研究者用望遠鏡觀察了恆星的光度，發現太陽系外行星 Kepler-6 b 和 Kepler-8 b 的行星凌日擋住了恆星，我們在研究中也同樣解釋了行星凌日現象。
太陽系外行星 HD 189733 b 和 HD 209458 b 光度測量－陳漢洲（2007）	天文學家通過望遠鏡觀察行星凌日它們的恆星，分析光變曲線圖以瞭解行星大小、轉動角度及距離。	這是另一個解釋行星凌日的作品，他們是第一個在台灣看到太陽系外行星 HD 189733 的人，跟我們的研究一樣解釋了行星凌日。
系外行星凌星光譜的模擬與探究－李杰霖、胡恆為、胡景勛（2017）	模擬凌星過程中，系外行星凌星曲線的凌星深度受影響的主要因素。曲線的外型係數會受到行星大小及視軌道傾斜的影響恆星盤面不同波段的臨邊昏暗效應會有差異。	研究者利用光源進行多波段光譜資料分析，了解母恆星能量強度會影響凌星深度，我們也在研究中運用行星凌日現象的光譜分析數據。

註：前兩個科展報告解釋了影響天空外觀的光散射的一些關鍵概念。中二個科展報告利用了太空望遠鏡所觀測到的行星凌日來測量系外行星的特性。最後一則是以模擬的方式觀察並探討影響行星凌日現象觀察的要素。

四、名詞解釋

以下是有關太陽系外行星和它們特色的重要名詞，這些科學現象和化學物質的術語將成為訓練人工智慧模型所需要的英文指令基礎。

(一) 一般術語

1. 太陽系外行星 (exoplanet)：圍繞太陽以外的恆星進行公轉的行星。科學家們至今已發現超過 5000 顆太陽系外行星。最早被發現的太陽系外行星是在 1992 年被發現的脈衝星行星 (Pulsar planet)。離我們最近 (距地球 1.3 秒差距, 4.24 光年) 的太陽系外行星是比鄰星 b (Proxima Centauri b)。
2. 行星凌日 (planetary transit)：又稱行星過境；太陽系外行星圍繞著它的恆星運行時，會有一段時間繞到該恆星和地球之間，這稱為行星凌日。行星凌日時，恆星的光會穿過或反射於行星的大氣層，地球上的科學家們就能用太空望遠鏡來觀察那顆行星的光環，並以光環的光波長短來判斷該行星大氣層中的物質。

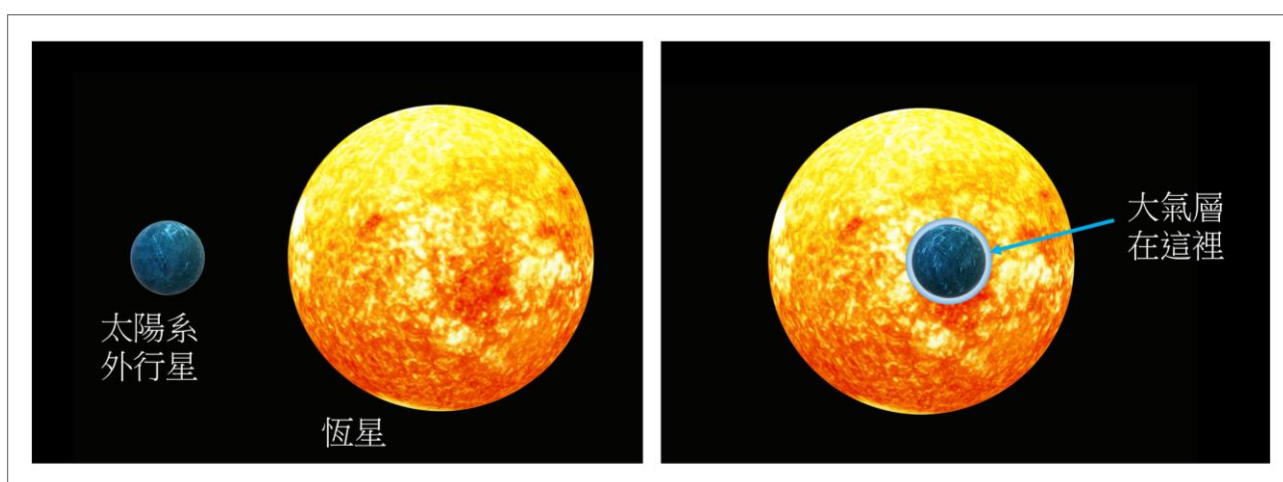


圖 1 行星凌日圖。左側顯示過境前後，望遠鏡只見恆星；右側呈現行星凌日時，透過大氣層分析恆星光，可以檢測出太陽系外行星大氣層存在的元素。資料來源：作者自行繪製。

3. 光譜分析 (spectroscopic analysis)：當行星凌日時，大氣層中的元素和化合物會吸收或發射特定波長的光。通過光譜分析的方式來分析行星光環的光波長短，科學家可以識別大氣層的化學組成。光譜分析可以檢測到行星大氣層中的氣體，例如二氧化碳、甲烷、蒸氣和氧氣。對於太陽系外行星，光譜分析對於研究行星大氣層和尋找生命跡象非常的重要。
4. 詹姆斯·韋伯太空望遠鏡 (James Webb Space Telescope, 以下簡稱 JWST)：根據 NASA (2022) 的描述，JWST 是一個用來觀察外太空天體的高效能望遠鏡。地球上的許多塵埃和光會干擾望遠鏡在地球上的觀測，所以 2021 年科學家們把 JWST 發射到外太空中讓它跟著地球環繞太陽。此太空望遠鏡的照相機可以拍攝非常遠的行星(約 10 億光年)，也有高科技反光鏡能避免望遠鏡被太陽干擾，能讓人類更深入的觀察前所未見的太陽系外行星和它的母恆星。JWST 寬 6.5 公尺，由 18 面鍍金鏡子所組成；是由美國航空太空總署 (NASA)、歐洲太空總署

(ESA) 和加拿大太空總署 (CSA) 合作研發製造，花費金額非常龐大 (約 3200 億新臺幣)。

5. 適居帶 (金髮姑娘帶, habitable zone) : 天文學的一種空間名稱; 依 Kasting (2010) 的定義, 適居帶指的是恆星軌道範圍內適合生命存在的區域。所以適居帶是繞著恆星的一個有寬度的區域。如 McKay (2014) 所描述的, 科學家們認為, 要有生命存在就要有熱源或光源 (如恆星)、化學物質中的營養素 (如托林產生出的化學物質) 和液體 (如水) 以促進生物反應。而影響適居帶擁有液態水的主要原因是那個區域的溫度, 溫度太高水會蒸發、溫度太低水會結冰。再者, 影響適居帶溫度的主要原因是恆星的溫度高低和與恆星的距離: 如果恆星的溫度很高, 適居帶就會離恆星遠一點; 如果恆星的溫度很低, 適居帶就會離恆星近一點。如果有行星剛好在適居帶的範圍裡, 這就代表那顆行星 (如 Kepler-1229b) 上有液態水和生命存在的可能。

(二) 影響天空外觀或太陽系外行星適居性的主要因素術語

1. 恆星光譜 (stellar spectrum) : 每個恆星都有被分類成自己的恆星光譜, 可以用來識別恆星種類、溫度和光度。恆星光譜可以告訴我們恆星光的顏色, 而恆星光的顏色會使行星天空的顏色偏向恆星光的顏色。

恆星光譜分成三部分: 第一個部分的光譜類型 (spectral type) 是用字母來分類恆星的溫度 (O、B、A、F、G、K、M、L、T、Y)。O 是最熱的恆星 (溫度超過 30,000 K, Kelvin/克耳文), B 是第二熱的恆星……以此類推。

第二部分的光譜類型是用數字來更細分類恆星的溫度: 0 是最熱的, 1 是第二熱……以此類推。依上述, 假如有三個恆星的恆星光譜分別是 B8、B9 和 A0, 那麼 B8 最熱, B9 第二熱, A0 是最冷的。

第三部分是光度類別 (luminosity), 用羅馬數字表示。但光度類別會依前兩個部分有所不同, 因此以光度來分類會非常困難, 對我們的研究沒有太大幫助。

目前課本上都教導要記住光譜類型得利用一個簡單的英文背誦口訣: 「Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me」。但是因為這個句子有性騷擾的寓意, 也漏掉了最冷的 L、T 和 Y 的光譜類型, 所以我們就自創了一個英文的背誦口訣: 「One Big And Friendly Gorilla Keeps Making Little Tacos, Yummy!」。我們覺得老師們和書上有關光譜類型的內容應該改成我們自創的口訣, 因為它確實好記又沒有不良的意義。

2. 瑞利散射 (Rayleigh scattering) : 當散射光的物質小於光波的 1/10, 瑞利散射就會發生。地球空氣裡的物質大約是 0.3 nm, 光波是 400-700 nm, 比物質大超過 10

倍，所以會發生瑞利散射。瑞利散射會使波長較短的光散射得多。藍光的波長是最短的，因此藍光會比紅、黃光散射得多。被散射的藍光會在天空散開，所以整個天空都是藍色的（Strutt, 1899）。日落和日出時，太陽在天空中角度會變低，光波會穿過更多的空氣。此時，因為藍色的光都被散射掉了，便只剩下紅光。

3. 米氏散射 (Mie scattering)：當散射光的物質 (例如蒸氣) 大於光波的 $1/10$ ，米氏散射就會發生。米氏散射會平均的散射所有的可見光，而全部加起來便是白色。米氏散射發生時，大部份的光都被往前散射 (forward scattering) 到地表，所以雲是白色的；但因為無法散射到整個天空，所以天空大多是藍色的。
4. 潮汐鎖定行星 (tidal locking)：潮汐鎖定行星是指行星的一面會一直面朝恆星，另一面會一直背對恆星。大多數靠近恆星的行星，尤其是那些軌道離心率小於 0.1 的行星，更可能會被潮汐鎖定 (Barnes, 2017)。潮汐鎖定對適居性可能會有不利影響，因為會導致極端的天氣現象。然而，如果行星圍繞一顆較冷的恆星 (例如 M 矮星) 運行，即使距離很近行星也可能會比較冷。另外，就算是一顆很熱的恆星也沒關係，因為如果有風能將白天的那一面的溫度 (dayside) 流向夜晚的那一面 (nightside)，溫差就會比較平均。最後，生命有可能存在於被稱為黃昏圈的交界處 (twilight zone)，因為那裏的氣候不冷不熱。

可見光波長
400-700 nm

瑞利散射

- 粒子 $< 1/10$ 光波長
- 散射藍光多於紅光
- 向所有方向散射
- 天空呈現藍色

米氏散射

- $> 1/10$ 的光波長度
- 往前散射
- 散射所有光
- 雲和霧白色

反射

- 光會在一些物質上反射，並使那個物質呈現被反射的光的顏色
- 這種反射的顏色與塵埃中的物質有關
- 托林 (Tholins) 和氧化鐵 (Iron Oxide) 會因為反射紅光而讓天空看起來紅紅的

空氣 大小 0.3 nm
水滴 大小 20,000 nm
塵埃顆粒

從松山俯瞰的臺北

火星· 探測器拍的

Lord Rayleigh (瑞利男爵) 1842-1919
Gustav Mie (古斯塔夫·米) 1869-1957
Carl Sagan (卡爾·薩根) 1934-1996

圖 2 瑞利散射和米氏散射根據粒子的大小以不同的方式散射光，塵埃顆粒會因為反射而改變天空的顏色。資料來源：作者自行繪製。

(三) 行星上的大氣層氣體、塵埃和影響天空外觀或適居性的其他因素

太陽系外行星的大氣層可能由不同類型的氣體、蒸氣和顆粒組成，這些成分具有不同的化學性質，可能影響行星的適居性、天空的透明度，甚至讓天空呈現某種顏色。當來自恆星的光線撞擊這些氣體或蒸氣分子時，通常會發生瑞利散射或米氏散射，更進一步影響天空的外觀。此外，空氣中的物質是被風吹起的塵埃，雖不會造成瑞利散射，但可以通過反射光來改變天空的顏色。這種反射的顏色則與塵埃中的物質有關；例如，火星上的橘紅色塵埃會影響天空的顏色；在一些太陽系外行星上也有發現塵埃的存在。請看圖 3 來獲得更多資訊和視覺呈現。

為了教導 AI 模型的知識，我們研究了許多不同氣體、化學物質、顆粒和其他材料的特性，以確定它們對天空外觀的影響，基於粒子大小、反射光的顏色（通過光譜分析）及其他因素進行分析。這些材料包括水蒸氣、二甲硫醚、氫氣、甲烷、氧氣、二氧化硫、氨、二氧化鈦、氧化鈦、氧化鐵、二氧化矽。我們還研究了托林，它使塵埃呈現紅色或橙色，能夠阻擋紫外線輻射，且某些土壤細菌可以將托林作為碳和能量的來源，提供自養生物演化前食物的來源，也將提高生物適居的可能（Sagan & Khare, 1979）。

我們也研究了其他對太陽系外行星天空外觀及適居性的影響因素，例如：恆星溫度（溫度影響顏色，恆星的顏色會影響繞著它的行星的天空顏色）、恆星磁場（產生極光）、金屬量、行星溫度和反照率。

貳、研究設備及器材

一、訓練人工智慧程式的設備與器材

- (一) 電腦硬體設備，如筆記型電腦。
- (二) GPT-4o 人工智慧系統（來自 OpenAI）：透過線上訂閱獲取。
- (三) GPT Builder（也來自 OpenAI）：電腦程式用來製造自定義 GPT-based 人工智慧模型，我們會訓練它來判斷天空的外觀。
- (四) Visual Studio Code（簡稱 VS Code，來自微軟公司）：電腦程式用來寫 Python 程式語言來提取和轉換太陽系外行星資料。

二、系外行星數據資料來源

我們下載和處理了四個主要資料庫的數據，這些資料庫涵蓋了目前所知道的所有太陽系外行星和恆星的資料（5000 多個太陽系外行星和 4000 多個恆星）。我們也針對一些有趣的行星、衛星和太陽系外行星進行了額外的獨立研究，來尋找數據庫中所沒有的細節。例如：大氣層壓力、風、雲的類型和數量，以及托林的存在。

表 2

太陽系外行星和恆星主要的資料來源（均為線上可下載之數據）

資料庫名稱	內容描述
太陽系外行星目錄 Catalogue of Exoplanets	它有超過 5586 顆太陽系外行星及其恆星的數據，其持續被頻繁更新，依照自 1891 年以來超過 25000 篇科學論文發表的數據。
NASA 外行星檔案館 NASA Exoplanet Archive	它有超過 5638 顆太陽系外行星及其恆星的數據。它的每一顆行星都會有許多種不同的資料，因此我們決定會傾向於較新的數據。
京都大學星體資料庫 ExoKyoto	由京都大學創建和維護。它擁有超過 4000 顆行星和恆星的數據。相比法國的太陽系外行星目錄，京都大學星體資料庫補上了許多恆星的光譜類型資料。光譜類型有助於了解恆星的溫度和顏色，由此影響行星天空的外觀。
適居帶資料庫 Habitable Zones Gallery	它擁有 4854 顆行星及其適居帶的數據。適居帶的資料是利用公式計算出的。它提供了行星軌道在嚴格的（conservative）和寬鬆的（optimistic）在適居帶中度過的時間。

註：以上的四個資料庫持續的被更新，所以我們啟動電腦程式前，有進行新一次的數據下載(最近更新的時間是 6/1/2024，且會隨研究而持續下載更新)。資料來源：1. 太陽系外行星目錄係由法國巴黎天文台主編發布；2. NASA 外行星檔案館為美國太空總署的行星資料庫；3. 京都大學星體資料庫由日本京都大學管理；4. 適居帶資料庫乃是美國加州大學河濱分校加加州理工學院所轄管的星體資料庫。

參、研究過程或方法

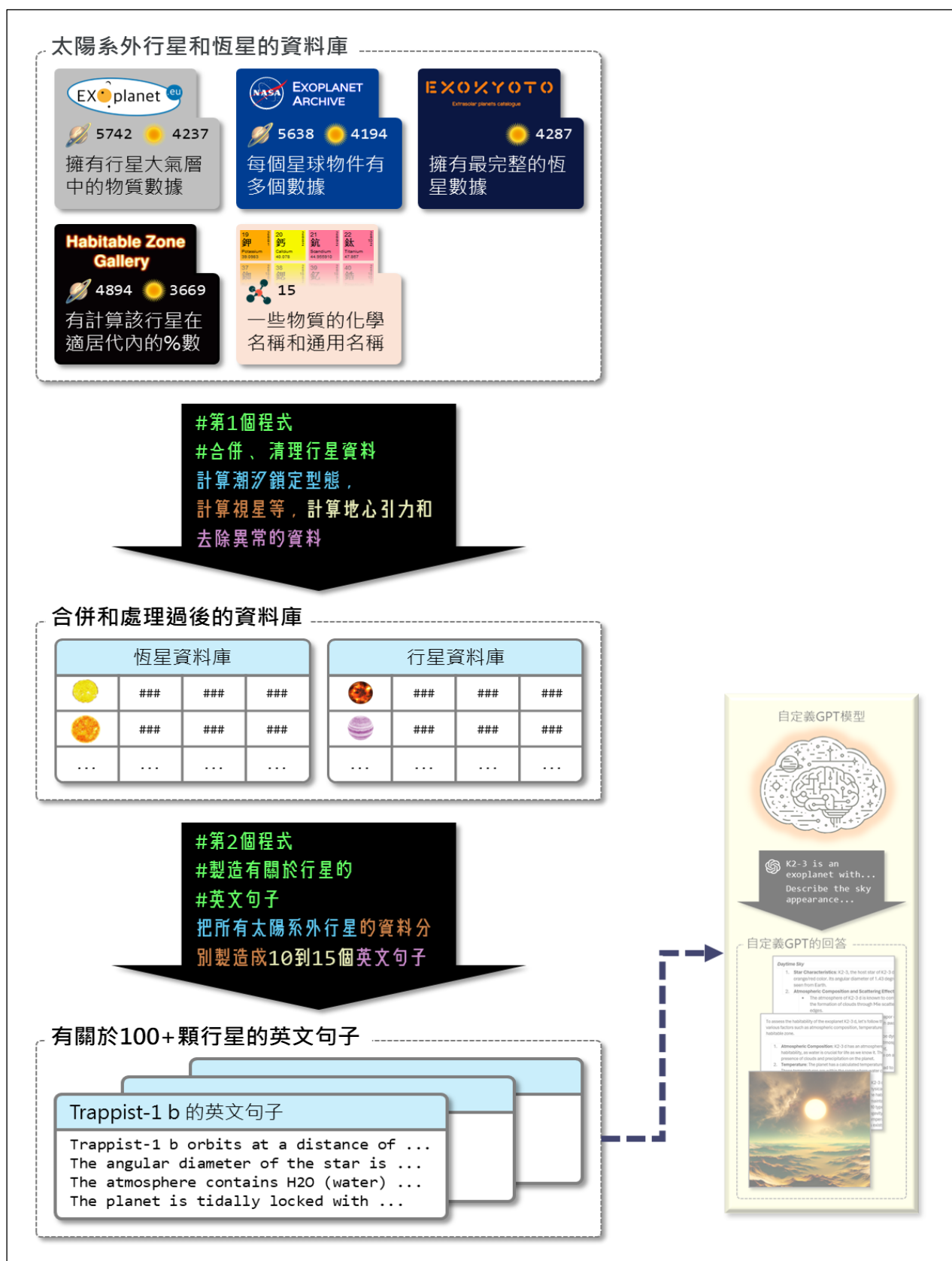


圖 4 研究圖形摘要第一部分：整理資料庫並且製成有關於行星的英文指令。資料來源：作者自行繪製。



圖 5 研究圖形摘要第二部分：用科學指令和科學論文訓練人工智慧模型，用人工智慧模型來測判太陽系外行星天空外觀和適居性。資料來源：作者自行繪製。

我們的研究主要分為三個階段：

一、處理太陽系外行星資料庫

下載、整理並且修改資料。我們下載了 5000 多個太陽系外行星數據，並利用資料庫中的數據來計算有用的數據，最後再把蒐集到的資料寫成簡單的英文指令。

我們所寫的程式處理了 6497 顆行星，其中有 123 顆行星的大氣層含有化學物質，209 顆位於適居帶，而且我們有利用 NASA 太陽系外行星檔案來增加 753 顆太陽系外行星。程式也處理了 4095 顆恆星，從 ExoKyoto 更新了 2440 個，製造出超過 1200 個語句。運行程式花了不到十秒的時間。有些時候我們的程式會去重複的增加同一個行星，那是因為該行星的名稱很多，我們嘗試命令程式不要重複處理同一行星，但它還是可能出錯，需人工檢視刪除。

(一) 下載和讀取超過 5000 個太陽系外行星和 4000 個恆星的線上數據

太陽系外行星及其恆星的數據來源是許多的科學家發表的研究論文，而且每週都有新的太陽系外行星被發現和分析。到目前為止，有超過 5000 顆太陽系外行星的數據已經被記入天文資料庫中。我們將使用這些數據來輸入我們的人工智慧模型，才能詢問人工智慧關於太陽系外行星上天空的外觀和適居性。

首先，我們的程式會讀取有關恆星和行星的科學數據：Catalogue of Exoplanets、NASA Exoplanet Archive、ExoKyoto、Habitable Zones Gallery 和額外的科學知識句子。這四個資料庫擁有現在所有知道的太陽系外行星和恆星的數據。

(二) 合併和清理行星資料

人工智慧的作業精準度取決於系統及數據量；提取提取資料後，我們必須將數據轉換為更有意義的單位、合併來自不同數據來源的數據、合併或刪除重複值、刪除數據異常值、將首字母縮寫詞一及將縮寫的詞語擴展為更常見的術語等。

以下是我們添加數據到程式中的主要處理任務：

1. 尋找大氣層化學物質的較長名稱：資料庫將大氣層化學物質（分子）以簡單的形式提供，沒有正確的下標格式。為了幫助 GPT 模型理解化學名稱並將它們與人工智慧模型中的化學物質聯繫起來，我們查詢了正式的長化英文名稱並將它們添加到程式裡的行星物件中。以下是我們如何將資料庫中的化學名稱轉換成長化英文名稱和帶有的下標的版本的一個範例：(1)文件中的原始名稱：CO₂；(2)帶有正確的下標的名稱：CO₂；(3)長化的英文名稱：Carbon Dioxide。
2. 轉換為更有意義的單位：某些測量的單位對於人工智慧模型來說可能並不熟悉：例如，木星半徑的倍數（ R_{2J} 或 R_J ）。我們使用轉換公式把它們轉換成更常見的單位。

表 3

罕見的原始單位和轉換後的單位

屬性	原始單位	轉換後單位	換算系數
行星半徑	木星半徑 (R_{J})	公里 (km)	69911
軌道距離	天文單位 (AU)	公里 (km)	149597870.7
星距	光年 (ly)	秒差距 (pc)	0.30660139
行星質量	木星質量 (M_{J})	公斤 (kg)	1.89813×10^{27}

註：資料庫使用便於比較的單位，但提供系外行星資料給人工智慧模型時，需轉換為更有意義的單位。

3. 確定恆星光譜類型和顏色：恆星的光譜類型應該有一個標準格式：類型的溫度字母，該類型中的溫度數字，以及光度的羅馬數字。恆星分類應為 O、B、A、F、G、K、M、L、T 或 Y 之一。此類型對應於溫度範圍和顏色。例如，太陽的光譜類型是 G2V。這意味著它是一顆 G 型恆星（白黃色），溫度為 2 級（G 內），光度為 V 級，即是「主序」恆星。另一顆恆星是 51 Eri，屬於 F0IV，或 F 型（顏色為白黃色），溫度為 0 級，光度為 IV 級，是「亞巨星」。但有些恆星的溫度數字在資料庫裡被列為 2.5，或者是奇怪的類型，如「sd」或「DQ」。因此，我們必須研究所有不同的類型以了解每種類型並找出如何向人工智慧描述恆星的類型。我們使用規則運算式（Python 程式語言中尋找某些字母或一組數字等模式的方法）來更新程式。

表 4

罕見的光譜類型

恆星	原始光譜類型	修改後的光譜類型	光度等級	顏色
55 Cnc	K0IV-V	K0	IV-V	橘色
BW Scl	WD	白矮星 (WD)		白藍色
GP Com	DBe D	脈動白矮星 (DB)		白藍色
Aldebaran	K5III	K5	III	橘色

註：使用規則運算式，我們能夠將一些奇怪的光譜類型轉換成人工智慧模型可以理解的類型。

我們所做的處理並不完美。光譜類型有些邊緣情況，我們無法一一使用規則運算式來轉換它們。但是邊緣情況是少數所以錯誤率還是非常小，因此我們認為這是確定大多數恆星的光譜類型、光度和顏色的好方法。這種數據處理將幫人工智慧模型衡量恆星的顏色和溫度作為影響太陽系外行星的天空外觀的因素。

(三) 利用資料庫中的數據來計算對我們有用但找不到的數據

除了整理數據，我們還有計算許多找不到的數值。計算出來的這些數值對天空外觀和適居性有影響，我們用 Python 來計算這些數值，這樣小學生也可以自己算。

表 5

計算數值的原因與數學公式

為什麼要計算這個數值	數學公式
母恆星的視星等 (apparent magnitude) 母恆星在子行星上的視星等會影響天空外觀。資料庫中只有母恆星在地球上的視星等。	M：絕對星等、m：視星等、d：與恆星的距離 $M = m_{\text{從地球}} - 5 \log_{10} \frac{d_{\text{從地球}}}{10}$ $m_{\text{從行星}} = M + 5 \log_{10} \frac{d_{\text{從行星}}}{10}$
行星地心引力 (gravity) 地心引力的強度會影響行星的適居性，還有行星是否能保留大氣中的物質。	G：萬有引力常數、M：行星質量、R：行星半徑 $g = \frac{GM}{R^2}$
恆星的角直徑 (angular diameter) 恆星在行星天空中的角直徑能幫助我們理解恆星在該行星天空中看起來有多大。	R：恆星半徑、d：行星根橫星的距離 $D = 2 \tan^{-1} \frac{R}{d} \quad \text{乘以} \frac{360}{2\pi} \text{ 來換算成角度}$
潮汐鎖定半徑 (tidal locking radius) 許多太陽系外行星離它們的母恆星很近，因此導致它們潮汐鎖定，所以適居性較低。如果行星和恆星的距離小於潮汐鎖定半徑，那麼行星就很有可能是潮汐鎖定。	Q：衛星的散逸函數，科學家建議可以設置成 100。P ₀ ：行星的初始輪換週期，科學家建議可以設置成 13.5 小時、t：恆星年齡、M _s ：恆星質量、M _p ：行星質量、R _p ：行星半徑 $r = \left(\frac{P_0 M_s^2 R_p^3 t}{24 Q M_p} \right)^{\frac{1}{6}}$ 這個公式來自計算潮汐鎖定時間，我們重新整理了算式來讓算式計算出潮汐鎖定半徑。

註：我們有進行額外的計算方法，包括行星平衡溫度（根據恆星溫度計算）和行星日照通量（由 NASA 提供，測量太陽在行星上照射的能量）。

1. 母恆星的視星等：計算視星等的公式使用對數函數，計算移動的另一個值越多時，上升或下降的速度就越多；例如，恆星的距離每減少 10 秒差距，其光度就會加倍。我們在學校裡還沒有學過對數函數，但我們能夠用 Python 程式語言對其進

行程式設計。另一個問題是資料庫包含不同光波長下的多個視星等值。有時資料庫有 m_v ，是可見光譜中的視星等，可以直接使用。但有時候，資料庫中的視星等是在其他光譜帶中，所以我們需要把它轉換成同樣的可見光譜中的視星等。對於不在可見光波段的視星等，計算出所有知道的視星等的平均值就會取得近似我們需要的視星等。

2. 恆星在行星上的角直徑：計算恆星角直徑的公式對我們來說太複雜了，因為它涉及到使用反正切（arctangent）這類的三角函數。雖然我們還沒學過三角學，但如果我們用 Python 去做計算，就會方便很多。我們只需要把公式輸入到 Python 程式碼中，它就能幫我們完成這些複雜的計算。
3. 潮汐鎖定半徑：我們找到幾個不同的公式來計算行星被潮汐鎖定所需的時間。我們選了一個簡單的公式，並發現它可以重新排列，來提供給定行星年齡的潮汐鎖定半徑。因此，如果行星在這個半徑內，它很可能已經被潮汐鎖定了。
4. 大氣層氣體的逃逸速度：我們計劃在未來增加一個計算，來求解大氣層中氣體的逃逸速度。

我們發現沒有一個資料庫有記載恆星在太陽系外行星上的視星等。我們認為將其包含在未來的資料庫中是個好主意，會對將來天文學有很大的幫助。我們建議在資料庫中也應該加入恆星在行星上的角直徑、行星的地心引力、潮汐鎖定半徑、行星平衡溫度和行星日照通量等因素，雖然這些可能是可選的數值，但科學家們仍然可以自行進行計算。

(四) 製造關於太陽系外行星的簡單英文句子

程式的最後一部分是輸出關於太陽系外行星及其恆星的句子。每個行星都有大約 10 個句子（基於所知的數據量）。然後，我們將這些句子放入文字檔案中，以便於將其做成問 GPT 的問題（例如：K2-18 b's gravity is 1.78 times Earth's. Its atmosphere contains Methane (CH₄), Carbon Dioxide (CO₂), Water (H₂O), and Ammonia (NH₃). It orbits within the habitable zone and probably has liquid water and may support life. In the sky, the star appears to be 2.9 times the size of the Sun and has an effective temperature of 3457 K, which implies a color of yellow-orange...）。

句子會是英文是因為 GPT 對英文比較熟悉（利用超過幾百億個英文檔案來訓練的），所以如果我們用英文來問它問題，它會給出比較好的答案。而且，GPT 是用自然語言來訓練的，所以輸入的資料最好是寫成英文的句子。

二、 建立和訓練人工智慧模型

我們使用 OpenAI 的 GPT Builder 來研製一個能夠模擬行星天空外觀和適居性的自定義 GPT，也蒐集和研究科學論文來創造 50 多個有關影響天空外觀和適居性因素的句子來做為訓練這個自定義 GPT 的基礎。

(一) 用 OpenAI GPT Builder 來做一個可以模擬行星天空外觀和適居性的自定義 GPT

人工智慧協助處理重複性高、繁冗的資料分析，讓人擁有更多彈性執行更細緻的任務。GPT-4o 是個神經網路科技的平台，專注於使用深度學習來處理和理解語言，使它能夠像人一樣處理複雜的訊息，並適應大量數據的理解。同時，它還能根據特定指示進行學習和調整。

GPT Builder 是一款能幫助使用者設計特殊指令和參數以輸入 GPT-4o 的工具。使用 GPT Builder 首先要跟它解釋我們需要它做的事情，然後詳細描述 GPT 將涵蓋的每個步驟，也可以指定 GPT Builder 回答的方式。為了能檢修 GPT Builder 錯誤的答案，我們要求 GPT Builder 把判斷天空顏色的原因一項項寫出來，好讓我們判斷哪一項是錯的，再去修改錯誤的地方。

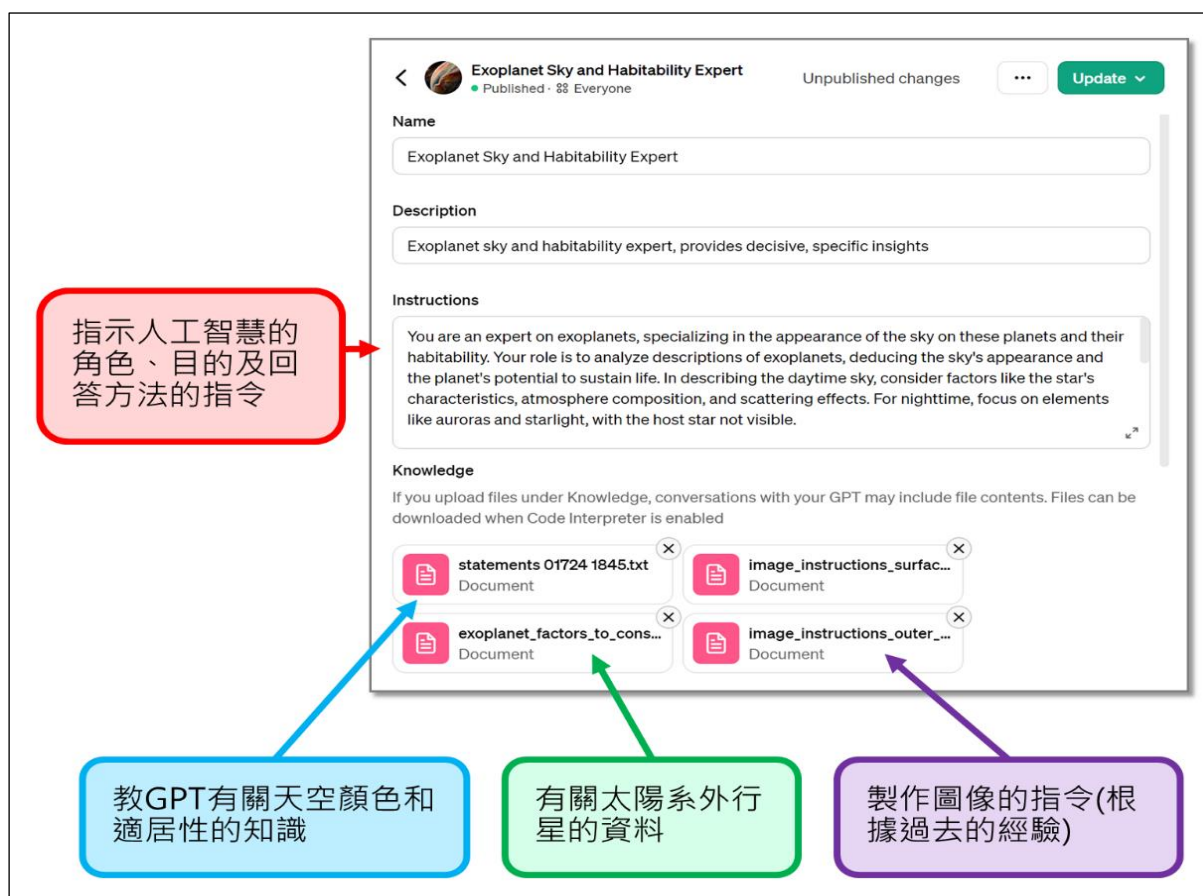


圖 6 GPT Builder 的兩個主要部份：第一個部分是 GPT 的指示，用紅色的格子代表，我們需要在這個地方輸入人工智慧模型所扮演的角色、目的及回答方法。第二個部分是 GPT 需要知道的知識，用藍、綠和紫色的格子代表。資料來源：作者自行繪製。

在建立一個 GPT 模型時（或者任何電腦程式時），使用非常簡單而無法出錯的指令是非常重要的。如果指令寫的不夠清楚，電腦程式將無法自行判斷怎麼去執行它的任務。以下是一些我們寫的範例指令（我們有隨著時間的推移對說明進行調整和修改）：

- You are an expert on exoplanets. You are interested in the appearance of the sky on exoplanets. You are also interested in whether the planets can sustain life (habitability).
- You are trained on a set of uploaded statements about how different factors influence the appearance of the sky and habitability on exoplanets.
- Your goal is to process the user's description of an exoplanet and its properties, and then come up with specific guesses about the appearance of the sky and habitability of that exoplanet.

(二) 研究科學論文來創造 50 多個影響天空和適居性的科學知識以及訓練自定義 GPT

在閱讀和蒐集許多資料之後，我們把一些會影響天空外觀還有行星適居性的因素寫成英文指令，再把英文指令輸入給 GPT Builder 來訓練我們的人工智慧模型。

我們用英文寫出以下的指令範例（能影響太陽系外行星的天空外觀和適居性的因素，摘錄如下）：Dust in the sky of an exoplanet will absorb and reflect light…… The following chemicals, if present as dust, will cause the sky to appear hazy in the specified color(s) …… If the atmosphere has Dimethyl Sulfide (DMS or $(\text{CH}_3)_2\text{S}$), then there may be life on the planet since it is a product of marine life……

三、人工智慧模型預測天空外觀和適居性

循環測試和改良 GPT 模型，並用我們的自定義 GPT 模型來回答有關太陽系外行星天空外觀及適居性的問題，並且製造一張圖片。

(一) 測試實驗：嘗試創造一個簡易的自定義 GPT

在我們製作複雜的自定義 GPT 前，為了確認能達到理想的效果，還有測試我們到底可不可以成功的訓練自定義 GPT 模型，我們製作了一個比較簡易的自定義 GPT 來測試：

1. 選擇水豚作為主題。因為水豚是一個我們有興趣且很少人使用過的主題，告訴 GPT 一些可能影響水豚外觀的假條件，例如：雄性水豚的毛是直的，雌水豚的毛是捲的。
2. 接著告訴人工智慧模型一隻特定水豚的特徵，有些好判斷，有些難判斷，例如：沒直接講性別，只有寫牠的名字。請人工智慧根據提供的這些特徵來描述水豚的樣貌。

3. 人工智慧模型描述了水豚的外觀，但是產生了些錯誤，所以我們糾正了 GPT。例如：它不知道如何去判斷水豚的性別，因此我們需要教它依據水豚的名字來做判斷。這個實驗讓我們學到了人工智慧容易出錯的地方、糾正人工智慧的方式，使之後的實驗更有效率。
4. 最後我們請經過訓練的 GPT 畫出這幾隻水豚的圖片，但人工智慧模型需要花很長的時間、進行多次修改才能製造出令人滿意的圖片，例如：圖片中一直出現一些沒有用的英文字母，我們就要一再請它拿掉。這些更改圖片的技巧對我們後續的實驗有巨大的幫助。


You

你是一個研究水豚毛的專家。想像我們在一個虛擬世界，請依據我給你的資料來判斷在這個虛擬世界中水豚的毛是什麼樣子的。在這個虛擬世界裡面，以下的因素會影響水豚毛的顏色：(1)如果這隻水豚的重量比水豚的平均重量重，那麼它的顏色就會偏向彩虹的藍、紫色，如果水豚很重，那麼水豚可能會是紫外線顏色；如果水豚比平均的水豚重量輕，那麼水豚就會偏向彩虹的橘、紅色。(2)如果這隻水豚的憋氣能力比水豚的平均憋氣能力強，那麼它的毛量就會很多；相對的，如果水豚的憋氣能力比水豚平均的憋氣能力弱，那麼它的毛量會越少。(3)如果平常水豚跟其他水豚比起來身上的動物比較多，那麼它的毛就會比較軟；如果平常水豚跟其他水豚比起來身上的動物比較少，那麼它的毛就會比較硬。

ChatGPT

根據您提供的資料，我們可以分析這三隻水豚的毛髮特徵：


1. 亦璇 (女性水豚)：
 - 重量45公斤：毛髮顏色偏向紅色。
 - 憋氣45秒：毛量普通。
 - 身上能支撐一整個鴨子家庭：毛髮較軟。
 - 喜歡吃巧克力，毛髮顏色飽和度較高。



You

根據這些因素，請告訴我以下三隻水豚毛的特徵：(1)名字是亦璇，它的重量是45公斤，它可以憋氣45秒鐘，亦璇可以在身上支撐一整個鴨子家庭，它喜歡吃巧克力。(2)名字是伯睿，它的重量是100公斤，它可以在水底由1公里不換氣，它可以在水底游泳1公里不換氣，它喜歡吃維吉麥，它的身體支撐一隻成年大象。(3)名字是筱薇，體重跟一隻貓差不多一樣重，它可以憋氣2秒鐘，它喜歡吃西瓜，它的身體可以支撐一個1公升又充滿魚的魚缸。水豚的性別可以用名字來判斷。

ChatGPT



這裡是根據您提供的特徵所繪製的三隻水豚：亦璇、伯睿和筱薇。每隻水豚都有其獨特的毛髮顏色、質地和其他特徵，並且與它們各自所支撐的不同物體一起呈現。

圖 7 簡易自定義人工智慧模型的製作過程圖。資料來源：作者自行繪製。

(二) 循環測試和改良太陽系外行星人工智慧模型

我們挑了幾顆太陽系外行星來測試我們訓練過的人工智慧模型。每次的測試中，我們輸入一顆行星的描述，然後要求人工智慧模型描述天空的外觀和適居性並製作天空圖片。

要求人工智慧模型產生描述和圖像，讓我們有效地評量成果的正確度來進行模型改良。與 Horsey (2023) 的觀察相似，在這個過程中我們發現比起傳統電腦程式，GPT 特別需要測試和改良。每次我們改良人工智慧程式，我們都會測試改良後的結果；再根據新的結果，進行下一輪的改良。然後重複的測試和改良來得到最終的結果和模型。

我們遇到了以下特殊的 GPT 問題並提出了解決方案：

1. 決策困難：有時候，GPT 會對於天空的外觀或其他的結論呈現模稜兩可的結果。例如，它有時會列出多種可能的天空顏色，然後說「天空可能有多種顏色」。或

者，它會說「這顆行星可能不支持生命，但也許可以」。因此，我們更新了指令，強調我們需要得到具體結論，但也要附加上任何有疑問的地方。

2. 人工智慧模型沒有完成所有的任務：為了得到精準的答案，我們輸入了許多指令和步驟（4 頁）。我們發現人工智慧模型的長期記憶不是很好，所以無法處理較長和複雜的指令。例如，它會忘記它需要創作圖像，或者會以不同的格式建立文字的描述。為了解決這個問題，我們將指令拆分為多個文件。

表 6

用來訓練 GPT 的範例句子。

檔案名稱	範例說明（英文）
需要考慮的太陽系外行星因素	<ul style="list-style-type: none"> * Rayleigh scattering of any gas particles in the atmosphere * Reflection from any dust particles in the atmosphere that might create a haze or clouds, with color due to the light reflected by each chemical * Thickness, density, height, and pressure of the atmosphere based on the specified gases and temperature * The percent of the planet's orbit in the habitable zone of its star
圖像指令	<ul style="list-style-type: none"> * The images should appear as if the observer is on the surface of the planet. * The image should be at a specific time of day. If nighttime, the star should not be in the picture.

註：不同的指令文件覆蓋不同的主題，這讓我們能夠分別修改文件來訓練 GPT 模型。

3. 人工智慧模型對夜間天空的恆星感到困惑：在描述太陽系外行星夜間的天空時，人工智慧模型一直加入它的恆星白天所發出的光。我們認為這是因為人工智慧模型誤認我們是在問地球夜間天空的描述，而不是太陽系外行星的。我們跟人工智慧模型強調需要太陽系外行星夜間的天空來解決這個問題。
4. 人工智慧模型加入多餘的天體在圖片中：儘管我們有明確的要求，但模型仍然不斷地將太陽系外行星和衛星放入圖片中。我們試著用多種不同的方式告訴它不要這樣做，例如「再試一次。背景中不要顯示任何太陽系外行星或衛星」、「天空還有一顆巨大的太陽系外行星。請產生沒有任何太陽系外行星或衛星漂浮在天空或背景的影像」、「你總是犯同樣的錯誤。天空中仍然有一顆太陽系外行星或月亮。天空應該是空的，除了雲、灰塵、薄霧和類似的東西之外，沒有任何物體。請確保天空中沒有顯示任何太陽系外行星或衛星」。我們最終透過改良物件的說明和指令文件來緩解該這個問題。

5. GPT 並未透過網路上的一般知識來增強其知識庫：我們的 GPT 模型並未適當地使用網路來補充它的資訊和背景知識；例如，理解金屬含量與金屬和離子有關。透過「在提示中包含特定指令」來解決這個問題，以便同時使用一般網路知識。

(三) 提供自定義 GPT 有關該行星的資料命令它來做描述

我們有給自定義 GPT 太陽系外行星和它們的性質，並跟熟悉的太陽系天體的性質的對比，例如："GJ 1132 b" has an atmosphere which contains Carbon Dioxide (CO2), Hydrogen, ..."GJ 1132 b" orbits the star "GJ 1132" at a distance of ...The star is type M3.5, which means it has a red color...The apparent magnitude of star "GJ 1132" on the planet is -27.53, so it appears brighter than the Sun does on Earth...雖然我們的資料有可能不夠齊全，但我們覺得已經挺不錯了。

(四) 命令自定義 GPT 來描述太陽系外行星的天空外觀和適居性

下一步是將由程序產生出關於行星的陳述，作為輸入給人工智慧模型的訓練資料，要求模型製造出太陽系外行星天空外觀和適居性的文字描述。適居性的文字描述有一個適居性的分數，由 1 到 5—1 等於低適居性；5 等於高適居性。同時，也可以根據描述包含了多少相關因素來評估描述結果。我們初步的實驗將涵蓋幾顆行星，未來的實驗可以涵蓋所有有資料的太陽系外行星。因為 GPT 沒有辦法回答超過 500 字，所以我們先讓 GPT 描述外觀，再描述適居性，每一個回覆大約需要花 30 秒。

(五) 命令自定義 GPT 來製造太陽系外行星天空的圖片

最後的一個步驟是要求人工智慧模型根據所學到的知識來製造出太陽系外行星天空的圖片。同樣，我們可根據圖中包含的相關特徵，如雲層、恆星大小與顏色、塵埃等，來評估這些圖片的良窳。

肆、研究結果

一、人工智慧模型輸出對太陽系外行星天空外觀的描述

我們使用電腦程式產生許多太陽系外行星特徵的陳述。然後，我們選了 22 顆太陽系外行星，並把它們的資料輸入到人工智慧模型來製造天空外觀的描述。我們之所以選擇這 22 顆太陽系外行星，是因為它們有與眾不同的大氣層和其他有趣的特徵。我們還特別選擇了陳漢洲在 2007 年全國科展中提到的：HD 189733 b 和 HD 209458 b 等兩個太陽系外行星來進行天空外觀的研究描述與生成 AI 繪圖。

這些描述非常詳細，並且包含來自多項來源的資訊：

(一) 程式整理我們給它的資料庫並產生出的資料語句（例如：天空中恆星的角直徑）。

(二) 我們上傳給人工智慧模型產生的資料語句，來讓人工智慧學習這些知識。

(三) 人工智慧模型使用自己的運算常識來思考資料語句，並將它所學到知識陳述出來。

Exoplanet Sky and Habitability Expert

- Atmospheric Composition and Chemical Reactions:**
 - WASP-80 b's atmosphere contains Acetylene, Methane, Carbon Monoxide, Carbon Dioxide, Hydrogen, Water, Hydrogen Cyanide, Helium, Potassium, Sodium, and Ammonia.
 - The presence of methane and water indicates possible cloud formations. Methane, in high concentrations, can give a bluish or greenish tint to the planet, as seen in the case of Neptune and Uranus in our solar system.
 - The presence of tholins, which are complex organic molecules, typically lends a reddish or brownish color to the atmosphere. On Saturn's moon Titan, tholins contribute to its orange appearance.
- Star and Temperature Influence:**
 - The host star, WASP-80, is a red dwarf with a K7 spectral type, emitting light that is orange in color. This starlight could influence the coloration of the planet, especially in the upper atmosphere where scattering of the orange starlight occurs.
 - The high equilibrium temperature of 827 K could affect the chemical stability of atmospheric compounds, potentially altering their contribution to the planet's overall color.
- Metallicity and Other Factors:**
 - The 4-5 times solar metallicity of the planet suggests a rich presence of heavier elements in the atmosphere. This could lead to a variety of colors depending on the specific compounds formed.
 - High metallicity often results in cloud formations and hazes, which can reflect and scatter light in ways that add to the planet's color complexity.
- Conclusion on Color:**
 - Considering these factors, WASP-80 b is likely to exhibit a complex coloration when viewed from outer space. The dominant colors could be a mix of bluish-green due to methane, reddish-brown due to tholins, and possibly some orange hues influenced by the star's light and the planet's metallicity.
 - The specific shade would be a unique combination of these elements, potentially resulting in a mottled appearance with varying hues.

我們的程式整理我們給他的資料庫並產生出資料語句（例如：天空中恆星的角直徑）。

我們上傳入人工智慧模型產生的資料語句，來讓人工智慧學習這些知識。

人工智慧模型使用自己的常識來思考的資料語句，並且將他學到的知識陳述出來。

圖 8 人工智慧模型的輸出範例。圖片中的顏色標示了我們傳入人工智慧模型不同的資料庫。資料來源：作者自行繪製。

所有人工智慧模型對 22 顆太陽系外行星天空外觀的完整描述均詳載於實驗日誌補充資料中。此外，我們分析了天空外觀的描述，包括所呈現因素的數量，以衡量描述的品質。我們發現每則描述平均考慮了 8.0 個天空外觀因素（範圍 6-10 個因素）。

二、人工智慧模型輸出對太陽系外行星適居性的評估

與天空外觀描述類似，GPT 製造出很多細節來描述適居性。GPT 所使用影響適居性的因素包括直接來自數據陳述的信息、我們提供的知識的人工智慧模型，和一般知識的人工智慧模型(我們將所有行星人工智慧模型的完整適居性描述記錄於實驗日誌中)。並且，我們分析

了適居性的描述，包括所呈現的因素的數量，以衡量描述的品質。這些描述平均考慮了 5.6 個適居性因素（範圍 4-9 個因素）。

表 7

人工智慧模型對太陽系外行星天空外觀的描述、考慮的因素和行星類型

太陽系外行星	行星類型	外觀描述文字（英文，只有取一部份）	因素的數量
55 Cnc e	熱地球型	... silicate vapor ... tinting the sky with orange or red hues ...	10
GJ 1132 b	超級地球	... tholins ... could add a reddish-brown haze ...	9
GJ 436 b	迷你海王星	... methane ... might give the sky a greenish hue ...	10
HAT-P-7 b	熱木星	... clouds formed from metal vapors ... a metallic sheen ...	8
HD 80606 b	熱木星	... Potassium ... can impact a light purple tint ...	8
HD 97658 b	超級地球	... a significant level of twilight ...	8
K2-18 b	迷你海王星	... methane and ammonia... a yellowish or greenish tint ...	9
K2-3 d	超級地球	... water vapor can lead to the formation of clouds ...	6
KELT-11 b	氣體巨星	... possibly forming clouds of metallic or silicate compounds ...	7
Trappist 1-c	地球型	... potentially giving the sky a blue tint ...	7
WASP-107 b	類海王星	... auroras ... due to the extended helium atmosphere ...	9

註：以上的描述是通過連續查詢人工智慧模型所產生出的。表格中的英文文字是描述中的一小部分摘錄，原文長大約 20 倍。最右邊的那一欄是人工智慧模型所使用影響天空外觀的因素數量。

表 8

人工智慧模型對太陽系外行星適居性的描述、考慮的因素和行星類型

太陽系外行星	行星類型	適居性至描述文字（英文，只有取一部份）	因素的數量
HAT-P-26 b	類海王星	... lower surface gravity, affecting atmosphere retention ...	7
HAT-P-7 b	熱木星	... outside the conventional habitable zone ...	7
HD 189733 b	熱木星	... these components could contribute to a greenhouse effect ...	4
HD 80606 b	熱木星	... extreme variations in solar radiation and temperature ...	6
K2-18 b	迷你海王星	... presence of water vapor and the possibility of oceans ...	9
K2-3 d	超級地球	... within the range suitable for liquid water ...	6
Kepler-167 e	氣體巨星	... extreme cold environment is not conducive ...	4
Trappist 1-c	地球型	... surface conditions could support a stable atmosphere ...	6
Trappist 1-e	地球型	... the possibility of complex organic processes ...	6
WASP-39 b	熱木星	... intense radiation and heat, further challenging habitability ...	5

註：以上的描述是通過連續查詢人工智慧模型所產生出的。表格中的英文文字是描述中的一小部分摘錄，並整理為圖 9 太陽系外行星泡泡圖。最右邊的那一欄是人工智慧模型所使用影響適居性的因素數量。

三、太陽系外行星特性、與地球距離對適居性指數之比較

我們透過人工智慧模型來創建一個太陽系外行星泡泡圖，以顯示我們分析的所有太陽系外行星。圖中繪製了每個太陽系外行星與地球的距離(x 軸)、適居性指數(y 軸)、行星大小(圖上泡泡的大小)、行星顏色(泡泡的顏色)、恆星光度(圖上另一個泡泡的大小)、恆星顏色(另一個泡泡的顏色)。隨著將來使用人工智慧分析更多的太陽系外行星，我們也可以將新的太陽系外行星添加到泡泡圖中。這張圖有助於快速辨別太陽系外行星天空外觀的特徵，可以讓我們更有效率地進行下一步該系外行星適居性的研究。

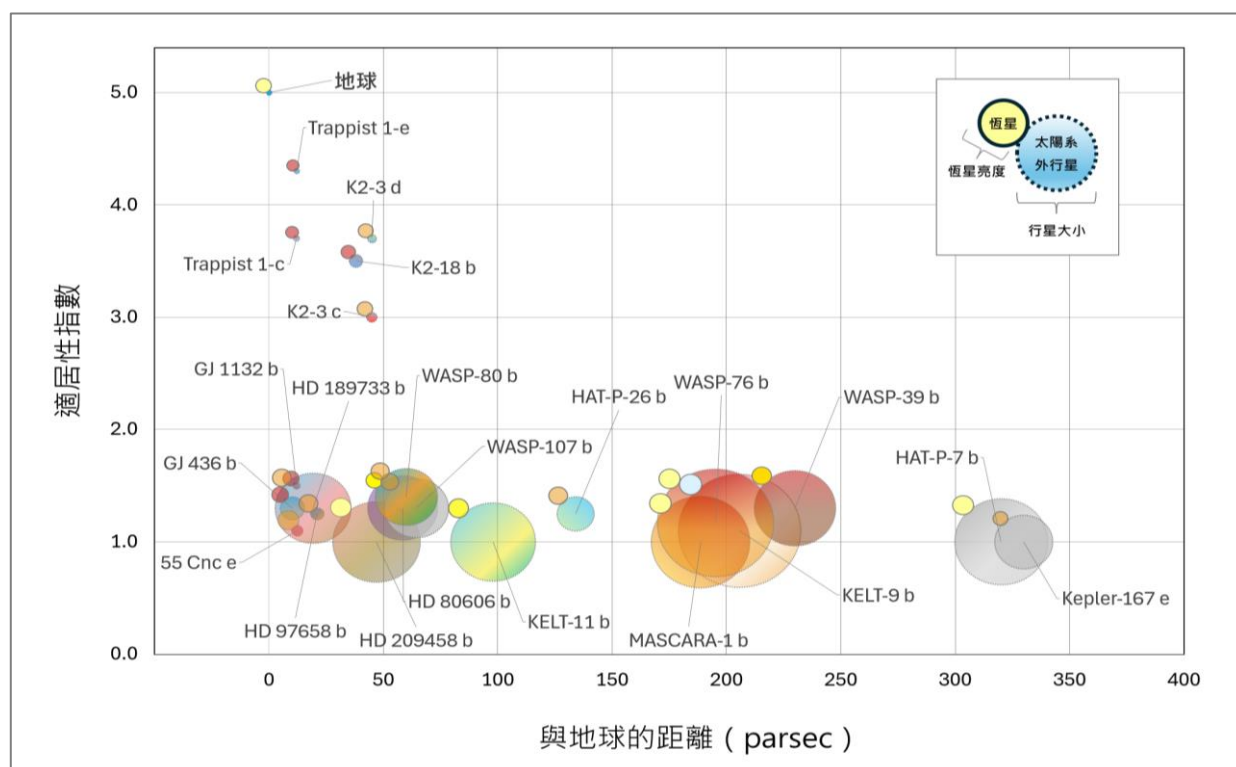


圖 9 太陽系外行星泡泡圖，可以讓我們看到該太陽系外行星的適居性指數、與地球的距離（秒差距）、太陽系外行星的大小、顏色（從外太空）、恆星光度和恆星光的顏色。資料來源：作者自行繪製。

四、人工智慧模型繪製太陽系外行星天空的圖片

我們還要求人工智慧模型根據訓練和先前產生出的描述，來製作太陽系外行星天空的 AI 生成圖片。如前所述，製作這些天空圖片需要對人工智慧模型進行一些額外的「指導」，以幫助它糾正錯誤（像是避免在背景放入其他太陽系外行星或衛星）。我們的自定義人工智慧模型給了我們很正確和清晰的圖片和結果，也沒有漏掉會影響天空外觀的因素，符合了跟自定義人工智慧模型描述的天空外觀。

我們總共要求人工智慧模型做出了 22 張太陽系外行星的天空外觀圖片並放到我們的實驗日誌裡，以下是實驗結果的其中 6 張圖片：



圖 10 人工智慧模型製作的太陽系外行星圖。資料來源：作者自行繪製。

伍、討論

一、原數據處理

(一)數據來源品質

雖然我們的數據都來自專業的科學論文，但這些數據來源的品質參差不齊，有時候資料不齊全，有時甚至出現不一致的情況。例如，太陽系外行星目錄缺少恆星光譜數據，而且有些資料庫中對於行星和恆星的名稱略有不同。我們對於整理這些數據所需的大量工作感到意外，但我們很高興 Python 程式語言能夠被使用來完成這項工作。

(二)計算出的數值

我們發現有幾個數值需要我們另外計算(因為資料庫中並沒有記錄這些數值)，例如：從行星上看其恆星的視星等。我們還將資料庫中某些不太合理的單位轉換成人工智慧較能理解的單位。我們運用 Python 程式語言來計算數據，為我們增加了視星等、地心引力、恆星的角直徑（在天空中的大小）等計算出的數值。

(三)Python

原本我們是運用 Python 程式的新手，後來我們發現用 Python 來寫處理數據的程式相對容易。我們在數據格式（字符串、浮點數、整數）方面遇到了一些困難，但在經過研究後最終被我們找出了解決的方法。Python 處理 5000+行星和它們的恆星並計算出數千個數值只需要大約 5 - 10 秒，所以很適合處理大量的數據。我們在 Python 上寫了大約 1000 行的指令，其中 30%的行數是註解。

二、人工智慧設置與 GPT Builder

(一)使用英語

對於說明和訓練指令全部使用英語來寫是一件非常困難的工作，需要我們進行大量的校正和翻譯。但這是不可避免的挑戰，因為絕大部分的 GPT 知識是用英語寫的、GPT 的英語語言模型更成熟、我們上傳和處理的所有科學論文都是用英文寫作的。而且就算我們想用中文也不行，那是因為 GPT 和其他 LLM 模型對中文，尤其是對繁體中文的知識非常少。根據 Das (2024)，小於 2% 的 GPT 詞元是中文，而其中小於 1% 是繁體中文。

(二)GPT Builder 和 GPT 的缺點

GPT Builder 是一項非常新的技術。我們遇到了一些問題和限制：例如訓練指令太長，所以不得不將指令分散。在使用時也用盡了配額／點數。希望未來 GPT 能提高使用者的詢問次數、增加回覆速度。由於 GPT 僅透過對大量文本數據的學

習，導致存在常識和背景知識方面缺乏的問題，我們對 GPT 系統需要太多指導感到沮喪，例如：確保它不會認為行星的恆星會影響夜間天空，或其他行星或衛星會出現在圖片中。此外，未經訓練的 GPT 知道很多知識，但有時會給出一些看似正確、但實則錯誤的回應。因為它漸能結合搜尋引擎(如微軟的 Bing)提供即時資料的更新，便可提升進階答案的準確率。目前 GPT Builder 和 GPT 還在不斷改進、測試的階段，我們期待會隨著時間會持續推出可以提供更準確答案與品質穩定的版本。

三、 研究價值與應用

(一)成功的研究成果

1. 我們創造和訓練的人工智慧模型能夠處理有關太陽系外行星的知識，並產生由數據支持的天空外觀和適居性的描述。對於每一個描述，我們也都能夠檢核人工智慧所用來推理的數據和屬性。生成的人工智慧繪圖也大多能符合所輸入數據和描述，雖然生成的圖片品質有時會存在一些製作的挑戰，例如需要對圖片中隨機出現的行星和衛星進行二次指令的刪除或修改，但我們仍耐心的去檢視每個描述是否被正確的執行並生成繪圖。
2. 蔡尚旻在今年五月份發表一篇文章(Tsai, Innes, Wogan, & Schwieterman, 2024)指出：K2-18b (在圖 9 中第四個適居星球)發現可能有生命存在，內容數據可以說明本研究中 ChatGPT-4o 預測可能是對的。雖然在泡泡圖中我們把這星球放在約 3.5 的評分，但這個新研究的發現確實能帶給我們很大的幫助與正向回饋。
3. 2024 年 5 月 Nature 期刊發表了對本研究泡泡圖(圖 9)最左下角 55 Cnc e 星球的分析(Hu, Bello-Arufe, & Zhang et al., 2024)。研究者認為大氣層被認定是孕育生命的必要條件之一，天文學家多年來持續尋找太陽系外具有大氣層的類地行星，終於找到了這顆 55 Cnc e。不過，這顆系外行星很可能並無法住人(本研究適居性指數評分 1.1)，因為它距離恆星太近，表面都是熔岩，溫度高達 1725°C。我們知道溫度是影響適居性的一個很大因素，但是因為容易觀察到的太陽系外行星常常離它的母恆星很近，所以大多數溫度都太高了。所以近期也有天文物理學家將精力投注於尋找溫度比較冷的紅矮星。
4. 我們發明的用於記憶恆星類型的口訣「One Big And Friendly Gorilla Keeps Making Little Tacos, Yummy!」，易於理解且無冒犯性。
5. 我們將「恆星在太陽系外行星上的視星等」補充登載入來源資料庫中，對將來天文科學研究能有很大的幫助。

(二)證明人工智慧能力的重要功能

這個研究證明了使用現代人工智慧技術來綜合大量數據，然後使用特定訓練來達成結論的可能性。雖然它不像蒙地卡羅模擬和光線追蹤等的純數字模型那樣準確或可重複，但人工智慧的使用具有以下潛力：

1. 以較簡易、不複雜的人工智慧模型設計和數學分析模式進行問題的探究和推理。
2. 更快地綜合更豐富複雜的文字和數據。
3. 使尚未學習高等數學和數值分析技巧的學生能夠接觸到複雜的分析。

根據以上的優點，小學生就可以創制一個能給很多建議的人工智慧模型，例如：

1. 輔助醫生，模擬不同術式的可能方法與狀況。
2. 根據耕地特性，建議農人選擇要種植的農作物。
3. 訂定管理的策略與方針（利用資訊來做決定，學習以前決定的動機和結果）。

四、未來研究與改進

(一)系統設計

我們計劃通過直接將我們創建的資料庫上傳到人工智慧模型來簡化使用者所需要用的指令，讓使用者只要求模型「告訴我關於（行星名稱）的訊息」。我們還將繼續調整人工智慧指令，以產生更好的結果並避免任何錯誤。未來研究與改進可以考慮併同利用其他的 AI 模型如 Google 的 Gemini 或 Anthropic 的 Claude 的 builder 來檢查不同的 AI 模型出來的判斷系統是否彼此沒有矛盾。

最後，我們還想添加一個功能：讓人工智慧創造出中文摘要，我們可以請人工智慧模型將系外行星天空外觀與適居性的描述結果翻譯成中文。

對於把結果翻譯成中文，最佳的翻譯方式是保留知識和行星資料為英文。我們可能需要探索不同的電腦程式架構來進行翻譯，其中一個選擇是全新的 TAIDE 語言翻譯模型。TAIDE (Trustworthy AI Dialogue Engine) 由國科會推動，目的是在打造強大的大型語言模型。2024 年 4 月，國科會釋出 TAIDE-LX-7B，這是一款結合臺灣文化的 70 億參數模型，具備繁體中文生成能力，提升摘要、寫信、寫文章及中英翻譯等功能，並強調可信任性（王若樸，2024）。

(二)通過人工智慧進行品質評估

為了更好地評估研究結果的品質，我們認為可以創建另一個自定義人工智慧模型來審查天空外觀和適居性的描述。該人工智慧模型將對描述進行「評分」（如同老師或者系外行星適居性指數）並提供有關特異性的程度和考慮的參數廣度的回

饋。這可以讓我們創造更多對太陽系外行星的描述。此外，也可以考慮用其他公司的人工智慧模型對結果進行交互比對。

(三)計算和數據

我們計劃下載更多的科學論文和數據，並創建更多關於太陽系外行星的自定義聲明，因為每週都有越來越多有關太陽系外行星的科學論文，及更新的凌日資料。

人工智慧模型的優劣取決於訓練它的資料，因此資料集與數據庫的大小和品質相當重要。在數據方面，我們還可以繼續尋找更多缺失或錯誤的數據，也可以加入更多數據來源。我們對於所發現的缺失或錯誤數據，還計劃向資料庫擁有者提交錯誤報告(在研究的初期我們便已剔除錯誤的資料與有疑慮的數據，不列入做為訓練生成式 AI 的知識基礎)。

我們想看看是否可以添加更多計算值。例如，使用一個簡單的公式來確定瑞利散射對更厚或更高大氣層的影響。初步調查顯示，恆星會變得越來越紅，而天空可能變得越來越白。這將是加入我們模型的一個重要因素。我們也想要透過程式蒐集超過 5000 顆行星的天空外觀，按外觀進行分類。

陸、結論

我們的研究結合太陽系外行星屬性數據庫，創新的運用科學原理訓練人工智慧模型，產生太陽系外行星天空外觀和適居性的合理準確描述。研究結果已經超越利用光線散射原理來瞭解宇宙遙遠那方其他行星大氣組成的最初想定，更進而發明了記憶恆星類型的新口訣，還將之前未列的恆星在太陽系外行星上的視星等登載入行星資料庫。

利用人工智慧模型生成了符合現有數據和知識的太陽系外行星從表面或軌道視角的天空外觀繪圖，提供天文物理與地球科學研究的新視角；並由系外行星天空景象的物理意義探討目前地球上生物在太陽系外行星是否適合居住的可能，為 GPT 賦予了新的意義，也增加了人工智慧在科學運用上的價值。

Python 讓我們能夠處理許多不同的太陽系外行星和恆星數據。這是我們能夠彌補缺失數據和計算出額外數據的有效方法，對於指導人工智慧模型非常的有幫助。

本研究展示了在無需複雜和專業的技術或數學知識的情況下，GPT 的人工智慧模型探索複雜主題的潛力。然而，從研究過程中我們也瞭解到：不管將來人工智慧的演進會到如何完善的地步，人們都不能將 AI 提供的答案當作唯一的決策依據，且需要保有對答案的懷疑態度，以及最重要的一持續獨立思考的能力。

柒、參考文獻資料

1. 王若樸 (2024 年 4 月 15 日). *國科會釋出繁中語言模型 TAIDE-LX-7B 了!*. iThome. <https://www.ithome.com.tw/news/162312>.
2. 李杰霖、胡恆為、胡景勛 (2017)。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會：*系外行星凌星光譜的模擬與探究*。
3. 陳漢洲 (2007)。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會：太陽系外行星 HD 189733 b 和 HD 209458 b 光度測量與分析。
4. 黃耀陞 (2014)。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會：*夕陽無限好，「散射」知多少*。
5. 蔡侑岑、翁可盼 (2023)。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會：*以校園望遠鏡尋找 M39 星團的系外行星與變星*。
6. 顏彩竹、賴致仁、蕭景鴻 (2022)。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會：*探討霧的散射光*。
7. Arnold, H. (2000). *Planetary habitability and stellar activity*. World Scientific. https://www.researchgate.net/publication/330291406_Planetary_habitability_and_stellar_activity
8. Altman, S., Murati, B., Sutskever, I. et al. (2023). *GPT-4 Technical Report*. OpenAI. Retrieved November 10, 2023, from <https://arxiv.org/abs/2303.08774>
9. Barnes, R. (2017). *Tidal locking of habitable exoplanets*. *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, 129 (4), 509-536.
10. Bell, T. J., Welbanks, L., Schlawin, E., et al. (2023). *Methane throughout the atmosphere of the warm exoplanet WASP-80b*. *Nature* 623(7988), 709-712.
11. Bubeck, S., Chandrasekaran, V., Eldan, R., Gehrke, J., Horvitz, E., Kamar, E., ... Zhang, Y. (2023). *Sparks of Artificial General Intelligence: Early experiments with GPT-4*. Microsoft Research.
12. Das, D. [@deedydas]. (2024, May 14). *Not enough people are talking about the fact that OpenAI FINALLY tokenizes different languages better* [Tweet]. X. <https://x.com/deedydas/status/1790211188955230463>.
13. Hatakeyama-Sato, K., Yamane, N., Igarashi, et al. (2023). *Prompt engineering of GPT-4 for chemical research: what can/cannot be done?* *Science and Technology of Advanced Materials: Methods* 3(1).
14. Hu, R., Bello-Arufe, A., & Zhang, M. et al. (2024). *A secondary atmosphere on the rocky Exoplanet 55 Cancri e*. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07432-x>
15. Kasting, J. (2010). *How to Find a Habitable Planet (Vol. 17)*. Princeton University Press.
16. McKay C. P. (2014). *Requirements and limits for life in the context of exoplanets*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 111(35), 12628-12633.
17. Roy, P.-A., Benneke, B., Piaulet, C., ... Lothringer, J. D. (2023). *Water absorption in the transmission spectrum of the water world candidate GJ 9827 d*. *The Astrophysical Journal. Letters*, 954(2), L52.
18. Sagan, C., & Khare, B. N. (1979). *Tholins: organic chemistry of interstellar grains and gas*. *Nature*, 277(5692), 102-107.
19. Seager, S., & Deming, D.L. (2010). *Exoplanet Atmospheres: Physical Processes*. Princeton University Press.
20. Seidel, J. V., Nielsen, L. D., & Sarkar, S. (2023). *Review of JWST opens a window on exoplanet skies*. *Nature*, 614(7949), 632-633.
21. Strutt, J. W. (1899). *On the transmission of light through an atmosphere containing small particles in suspension, and on the origin of the blue of the sky*. *Philosophical Magazine Series 1*, 47, 375-384.
22. Tsai, S.-M., Lee, E. K. H., Powell, et al. (2023). *Photochemically produced SO₂ in the atmosphere of WASP-39b*. *Nature*, 617(7961), 483-487.
23. Tsai, S.-M., Innes, H., Wogan, N. F., & Schwieterman, E. W. (2024). *Biogenic Sulfur Gases as Biosignatures on Temperate Sub-Neptune Waterworlds*. *The Astrophysical Journal Letters*, 966: L24 (11pp), <https://arxiv.org/abs/2403.14805>

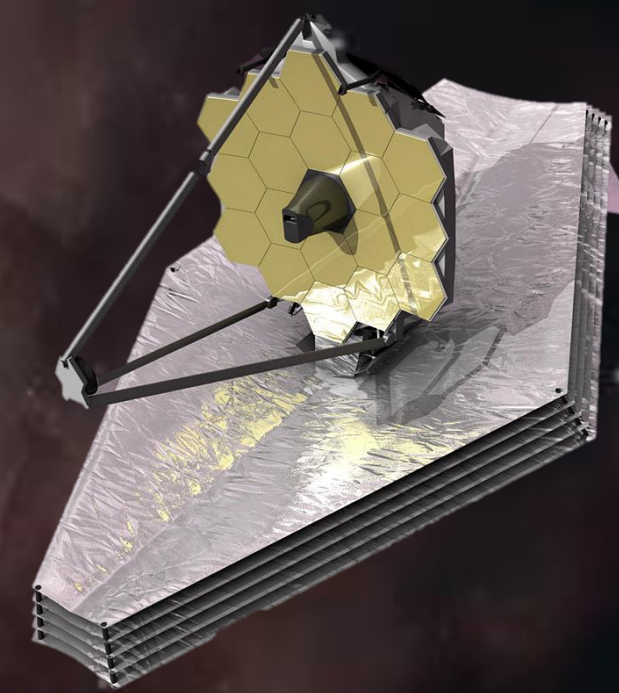
【評語】 080501

本研究彙整眾多資料，並用這些資料訓練並建立一個人工智慧模型。整體而言，此團隊進行很詳細的前人研究回顧，而研究方法及訓練人工智慧的邏輯也相當清楚。從前人回顧來看，目前尚未有任何與天文相關題目使用人工智慧，本研究的概念值得鼓勵。不過，想要使用人工智慧訓練的前提，訓練人在該領域具備一定的知識背景，以及有一定可靠的資料當作材料。目前，團隊成員都還在接受科學訓練，另外這個報告中提到”我們還將一些找不到的數據加入計算”（第五頁），團隊必須思考這樣建立的模型是否可信。同時也需要想想，人工智慧這個方法，是否適用於天文觀察相關的研究。

作品簡報



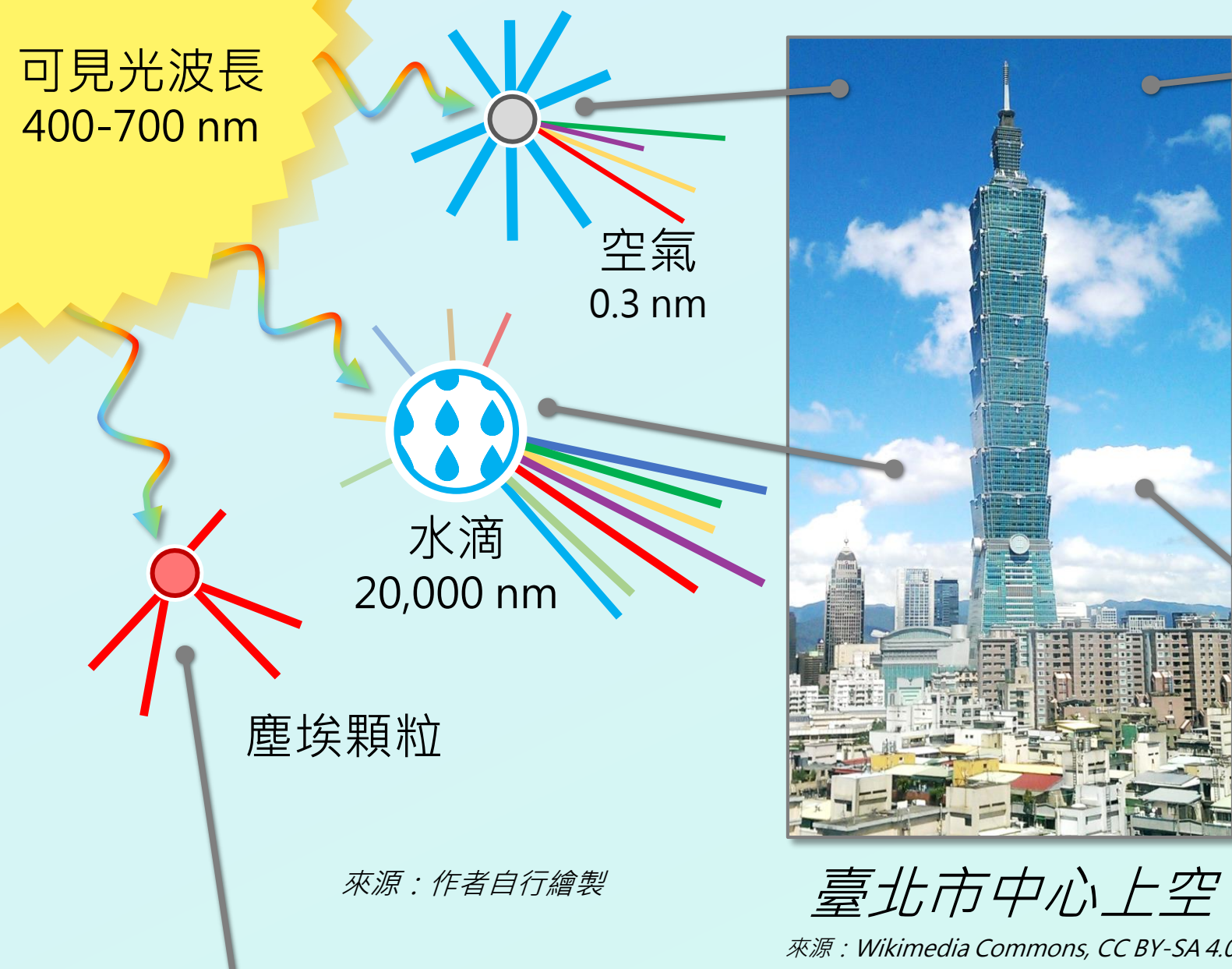
天外有天——以訓練過的自定義
GPT人工智慧模型來測判太陽
系外行星的天空外觀與適居性



摘要

本研究主要在探討太陽系外行星的天空外觀和適居性。除了光的散射，行星大氣層中的物質大小、密度和溫度、行星的恆星類型、溫度和光度也是影響天空外觀的因素。我們使用Python程式語言從科學資料庫中提取和轉換太陽系外行星的數據，並用GPT-4平台來創造一個人工智慧模型。透過專家訪問和科學論文閱讀，我們把所學到的知識用英文寫出描述影響天空外觀和適居性的因素以訓練這個模型。最後，結合我們輸入的太陽系外行星資料，我們訓練的自定義人工智慧模型成功預測出符合科學數據之天空外觀和適居性的描述，並製作出細節豐富的圖片。我們是第一個使用人工智慧來研究太陽系外行星的天空外觀和適居性，同時自創一組新且易記的恆星光譜類型口訣。

研究動機



- 瑞利散射**
- 粒子 < 1/10 光波長
 - 散射藍光多於紅光
 - 向所有方向散射
 - 天空呈現藍色
- 米氏散射**
- 粒子 > 1/10 光波長
 - 所有光無差別散射
 - 往前散射
 - 雲和霧白色



John William Strutt, 3rd Baron Rayleigh
第三代瑞利男爵
約翰·威廉·斯特拉特
1842-1919
來源：<https://makingsscience.royalsociety.org/people/na6090/john-william-strutt>



Gustav Mie
古斯塔夫·米
1869-1957
來源：<https://hal.science/hal-03002351>



Carl Sagan
卡爾·薩根
1934-1996
來源：<https://www.seti.org/carl-sagan>

人工智慧的發展

- 1950 圖靈測試用以區分人工智慧與人類
- 1966 ELIZA 是第一個用自然語言的聊天機器人
- 1997 IBM 的深藍人工智慧打敗西洋棋世界冠軍
- 2016 Google 的人工智慧打敗了圍棋世界冠軍
- 2018 Waymo 推出無人駕駛計程車
- 2020 OpenAI 的 GPT-3 可解決 70% 的心智理論
- 2020 台積電運用人工智慧來管理營業機密
- 2023 OpenAI 發明 GPT-4 和 custom GPT

研究過程與方法

太陽系外行星和恆星的資料庫

EXoplanet

5742 4237

擁有行星大氣層中的物質數據

NASA EXOPLANET ARCHIVE

5638 4194

每個星球物件有多個數據

EXOXYOTO

4287

擁有最完整的恆星數據

Habitable Zone Gallery

4894 3669

有計算該行星在適居帶內的%數

一些物質的化學名稱和通用名稱

第一個階段
合併、清理行星資料
計算潮汐鎖定狀態、視星等、地心引力和去除異常的資料

合併和處理過後的資料庫

恆星資料庫			行星資料庫		
☀️	###	###	🌍	###	###
🌟	###	###	🌕	###	###
...

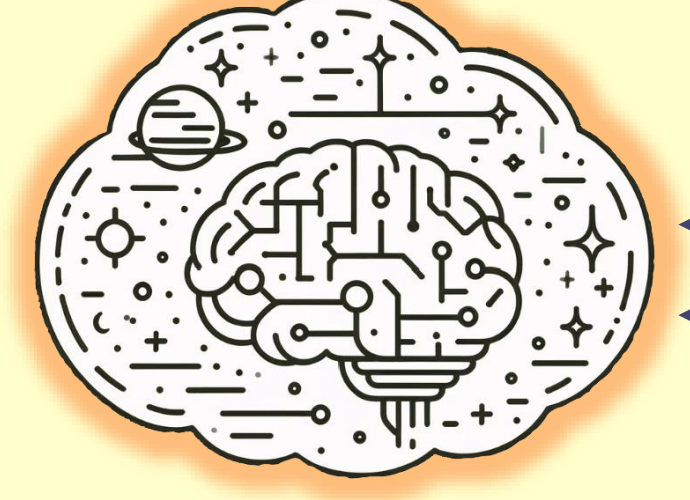
第二個階段
製造有關於行星的英文句子
把所有太陽系外行星的資料分別製造成10到15個英文句子

有關於超過100顆行星的英文句子

Trappist-1 b 的英文句子

Trappist-1 b orbits at a distance of ...
The angular diameter of the star is ...
The atmosphere contains H2O (water) ...
The planet is tidally locked with ...

自定義GPT模型



K2-3 c is an exoplanet with...
Describe its sky appearance based on ...
Describe and score its habitability using ...

自定義GPT模型的回答

Daytime Sky

- Star Characteristics:** K2-3, the host star of K2-3 d, orange/red color. Its angular diameter of 1.43 degree seen from Earth.
- Atmospheric Composition and Scattering Effects**
 - The atmosphere of K2-3 d is known to cont the formation of clouds through Mie scatter edges.
 - Given the star's color and the water vapor c from orange/red near the star to bluish awa
- Visual Appearance:**
 - The daytime sky of K2-3 d is likely to be dyn the star travels through more of the atmosp scattering of the star's orange/red light.
 - Away from the star, the sky might take on a light by the atmospheric gases.
 - The presence of water vapor could lead to t

To assess the habitability of the exoplanet K2-3 d, let's follow th various factors such as atmospheric composition, temperature habitable zone.

- Atmospheric Composition:** K2-3 d has an atmosph habitability, as water is crucial for life as we know it. Th presence of clouds and precipitation on the planet.
- Temperature:** The planet has a calculated temperature. These temperatures are within the range where water c which is essential for life.
- Gravity:** With a gravity 1.33 times that of Earth's, K2-3 d stronger gravity, however, could also affect the physica
- Orbit and Habitable Zone:** K2-3 d orbits within the hab optimistic habitable zone, which is conducive to maint
- Star Characteristics:** The host star, K2-3, is an M0 typi as a red dwarf. Red dwarfs are known for their longevit habitability. However, the lower luminosity and temper photosynthetic processes (if life similar to Earth's exist



有關太陽系外行星的科學知識

natureastronomy

SCIENTIFIC AMERICAN

Better Than Earth

Sci-Tech Vista

NATIONAL GEOGRAPHIC

國家地理

eHanlin

有關於太陽系外行星的科學論文、教科書、網站和課堂筆記。

閱讀科學資料並創造一個特殊的科學知識庫

為人工智慧創造的特殊科學知識庫

79個科學知識的描述

- Organic hazes are able to form with planetary temperature from 300-1500K ...
- If an atmosphere has sulfur dioxide (SO2), that may indicate the planet is volcanically ...
- Ammonia (NH3) in an exoplanet's atmosphere can make clouds look white or yellow, and it ...

重要的科學論文

我們創造出要給自定義GPT的指令

一般的指令

- The user will provide statements about the planet's properties...
- Use both the knowledge provided and general...

描述天空的指令

- Consider the composition of the planet's atmosphere, scattering effects, and temperature ...

描述適居性的指令

- Factors influencing habitability include temperature, percent of orbit in the habitable zone, chemicals in...

製造天空圖片的指令

- Add clouds and haze as appropriate ...
- The star should have a size corresponding to its angular diameter...

測試實驗

首先選擇有趣且特徵明顯的水豚為概念證明，並給GPT輸入一些假條件來製作簡易客製化 GPT：

一、輸入條件

You
你是一個研究水豚毛的專家。想像我們在一個虛擬世界，請依據我給你的資料來判斷在這個虛擬世界中水豚的毛是什麼樣子的。在一個虛擬世界裡面，以下的因素會影響水豚毛的顏色：(1)如果這隻水豚的平均重量比水豚的平均重量重，那麼它的顏色就會偏向彩虹的藍、紫色。如果水豚很重，那麼水豚可能會是紫外線顏色；如果水豚比平均的水豚重量輕，那麼水豚就會偏向彩虹的橘、紅色。(2)如果這隻水豚的怒氣能力比水豚的平均怒氣能力強，那麼它的毛量就會很多；相對的，如果水豚的怒氣能力比水豚的平均怒氣能力弱，那麼它的毛量就會很少。(3)如果平常水豚跟其他水豚比起來身上的動物比較多，那麼它的毛就會比較軟；如果平常水豚跟其他水豚比起來身上的動物比較少，那麼它的毛就會比較硬。(4)如果水豚跟其他水豚比起來更愛吃甜食，那麼它的毛髮顏色飽和度就會更高；如果水豚跟其他水豚比起來更討厭吃甜食，那麼它的毛髮顏色飽和度就會更低。(5)如果水豚是女生，那麼它的毛就會是卷的；如果水豚是男生，它的毛就會是直的。你現在是否了解我告訴你有關在虛擬世界裡影響水豚毛的特徵的因素？

二、告訴 GPT 條件

You
根據這些因素，請告訴我以下三隻水豚毛的特徵：(1)名字是亦璇，它的重量是45公斤，它可以怒氣45秒鐘，亦璇可以在身上支撐一個鴨子家庭，它喜歡吃巧克力。(2)名字是伯曾，它的重量是100公斤，它可以在水底由1公里不換氣，它可以在水底游泳1公里不換氣，它喜歡吃維吉麥，它的身體支撐一隻成年大象。(3)名字是筱薇，體重跟一隻貓差不多一樣重，它可以怒氣2秒鐘，它喜歡吃苦瓜，它的身體可以支撐一個1公升又充滿魚的魚缸。水豚的性別可以用名字來判斷。

三、實驗示範GPT能用複雜資料來推斷結論

ChatGPT
根據您提供的資料，我們可以分析這三隻水豚的毛髮特徵：

1. 亦璇 (女性水豚)：

- 重量45公斤；毛髮顏色
- 怒氣45秒；毛量普通
- 身上能支撐一個鴨子
- 喜歡吃巧克力；毛髮
- 毛髮是捲曲的 (女性)

ChatGPT
這裡是根據您提供的特徵所繪製的三隻水豚：亦璇、伯曾和筱薇。每隻水豚都有其獨特的毛髮顏色、質地和其他特徵，並且與它們各自所支撐的不同物體一起呈現。



GPT 的描述

Exoplanet Sky and Habitability Expert
Based on the provided details and my knowledge, the color of WASP-80 b as observed from outer space can be specifically assessed as follows:

1. **Atmospheric Composition and Chemical Reactions:**

- WASP-80 b's atmosphere contains Acetylene, Methane, Carbon Monoxide, Carbon Dioxide, Hydrogen, Water, Hydrogen Cyanide, Helium, Potassium, Sodium, and Ammonia.
- The presence of methane and water indicates possible cloud formations. Methane, in high concentrations, can give a bluish or greenish tint to the planet, as seen in the case of Neptune and Uranus in our solar system.
- The presence of tholins, which are complex organic molecules, typically lends a reddish or brownish color to the atmosphere. On Saturn's moon Titan, tholins contribute to its orange appearance.

2. **Star and Temperature Influence:**

- The host star, WASP-80, is a red dwarf with a K7 spectral type, emitting light that is orange in color. This starlight could influence the coloration of the planet, especially in the upper atmosphere where scattering of the orange starlight occurs.
- The high equilibrium temperature of 827 K could affect the chemical stability of atmospheric compounds, potentially altering their contribution to the planet's overall color.

3. **Metallicity and Other Factors:**

- The 4-5 times solar metallicity of the planet suggests a rich presence of heavier elements in the atmosphere. This could lead to a variety of colors depending on the specific compounds formed.
- High metallicity often results in cloud formations and hazes, which can reflect and scatter light in ways that add to the planet's color complexity.

4. **Conclusion on Color:**

- Considering these factors, WASP-80 b is likely to exhibit a complex coloration when viewed from outer space. The dominant colors could be a mix of bluish-green due to methane, reddish-brown due to tholins, and possibly some orange hues influenced by the star's light and the planet's metallicity.
- The specific shade would be a unique combination of these elements, potentially resulting in a mottled appearance with varying hues across the planet's disk.

In summary, WASP-80 b's color from outer space is likely to be a complex, multicolored appearance combining shades of blue-green, reddish-brown, and orange, influenced by its atmospheric composition, the light from its red dwarf star, and its high metallicity.

從程式輸入自定義人工智慧模型的知識。

我們寫給人工智慧模型的知識。

人工智慧模型利用網路常識寫出的知識。

太陽系外行星	行星類型	外觀描述文字 (英文, 只有取一部份)	因素的數量
55 Cnc e	熱地球型	... the atmosphere is likely to contain silicate vapor ... possibly tinting the sky with orange or red hues ...	10
GJ 1132 b	超級地球	... tholins ... could add a reddish-brown haze ...	9
GJ 436 b	迷你海王星	... methane ... might give the sky a greenish hue ...	10
HD 209458 b	熱木星	... extended helium atmosphere and high metallicity might contribute to a more opaque and hazy sky ...	8
HD 80606 b	熱木星	... Potassium ... can impact a light purple tint ...	8
K2-3 d	超級地球	... water vapor can lead to the formation of clouds ...	6
KELT-11 b	氣體巨星	... possibly forming clouds of metallic or silicate compounds ...	7

太陽系外行星	行星類型	適居性描述文字 (英文, 只有取一部份)	因素的數量
GJ 1132 b	超級地球	... could limit energy available for photosynthesis ...	6
HAT-P-26 b	類海王星	... lower surface gravity, affecting retention ...	7
HD 189733 b	熱木星	... these components could contribute to a greenhouse effect ...	4
K2-18 b	迷你海王星	... water vapor and the possibility of oceans ...	9
K2-3 c	超級地球	... close to the inner edge of the habitable zone ...	5
K2-3 d	超級地球	... within the range suitable for liquid water ...	6

天空外觀圖片

WASP-39 b



發現WASP-39 b大氣中物質的蔡博士覺得它的天空的基底是藍色的。

K2-3 d



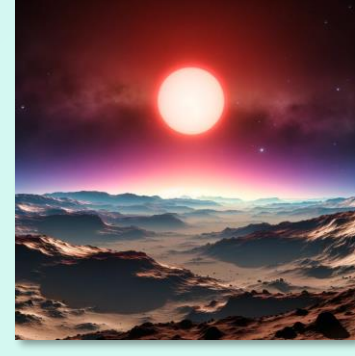
55 Cnc e



GJ 436 b



GJ 1132 b



HAT-P-7 b



HAT-P-26 b



HD 80606 b



HD 189733 b



HD 209458 b



K2-3 c



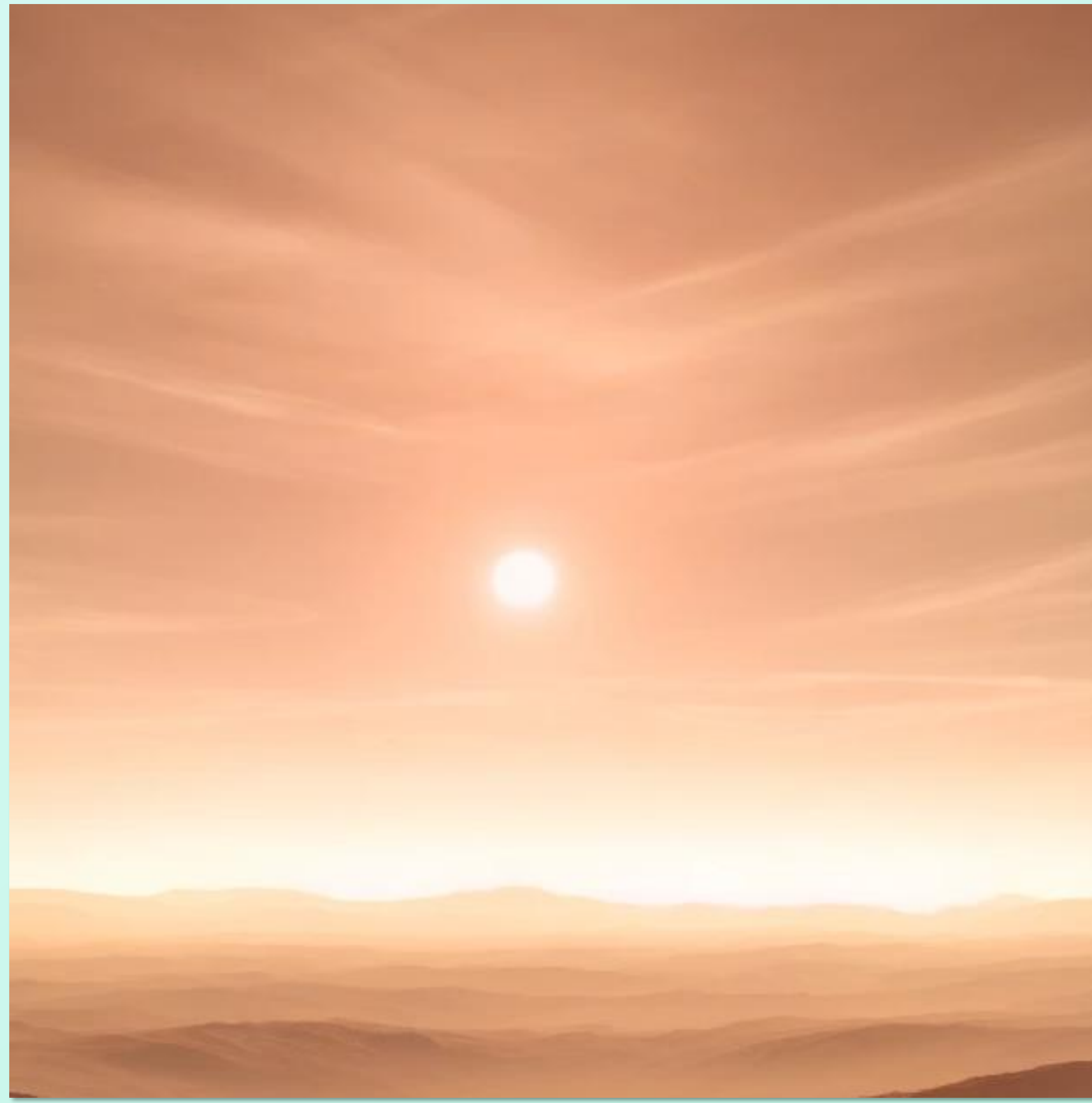
K2-18 b



DEECHO (地球驗證)



HUOSHING (火星驗證)



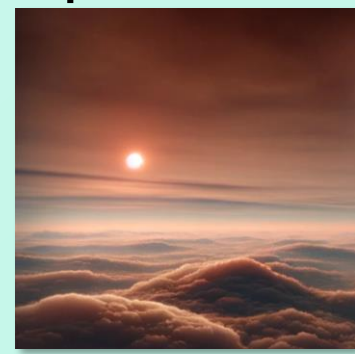
KELT-9 b



KELT-11 b



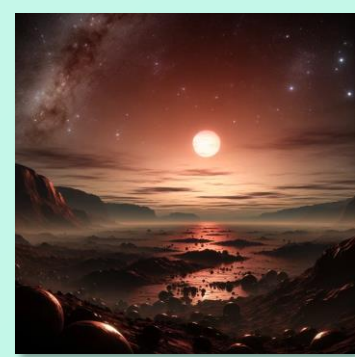
Kepler-167 e



MASCARA-1 b



TRAPPIST-1 e



WASP-76 b



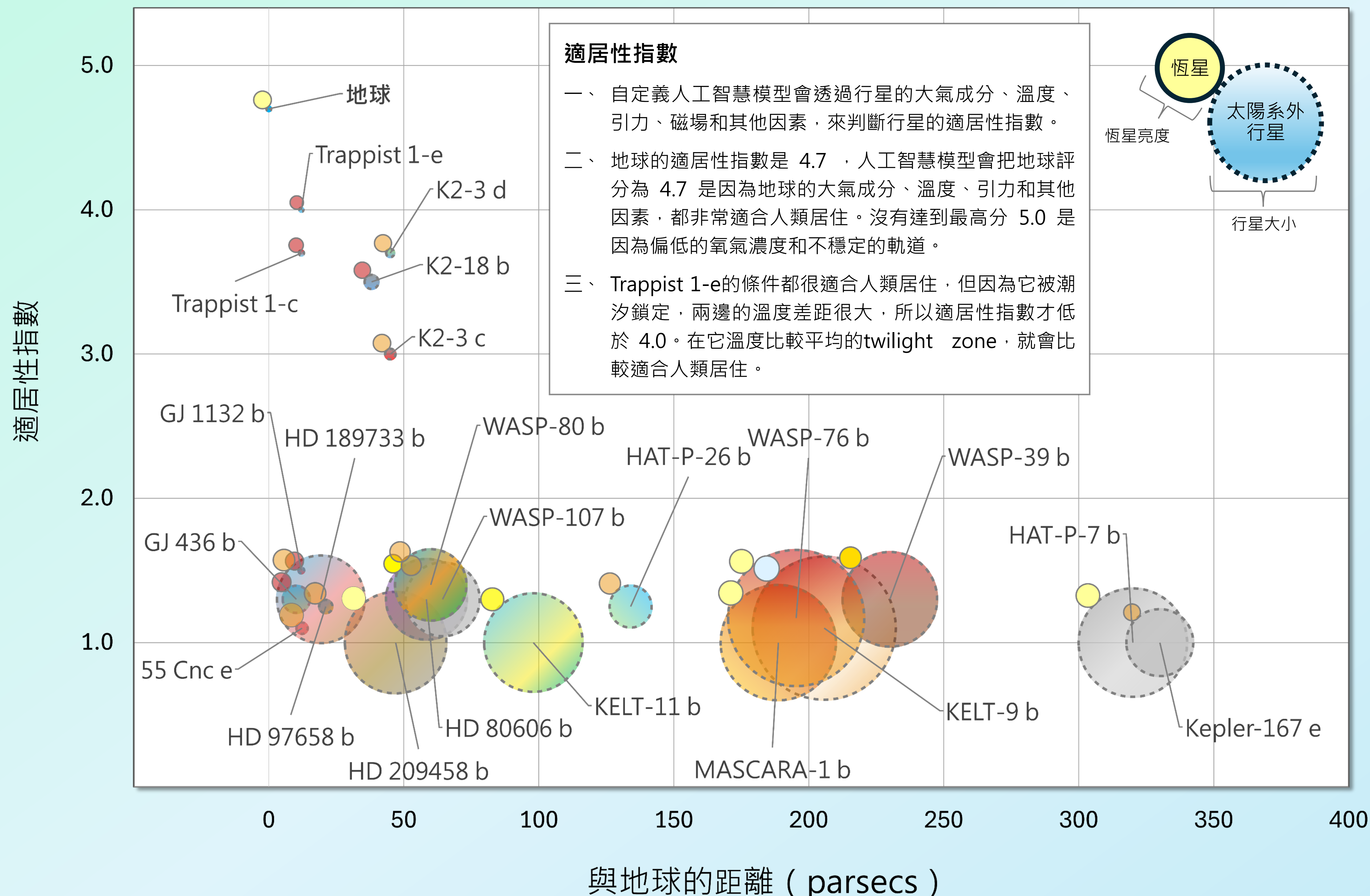
WASP-80 b



WASP-107 b



太陽系外行星泡泡圖



上圖的X軸代表該行星與地球的距離（用parsecs表示）；Y軸代表該行星的適居性指數（1.0 ~ 5.0）；行星的尺寸代表該行星的大小；行星的顏色代表該行星的天空外觀；恆星的大小代表該恆星的亮度；顏色代表該恆星的顏色。

圖片來源：作者自行繪製

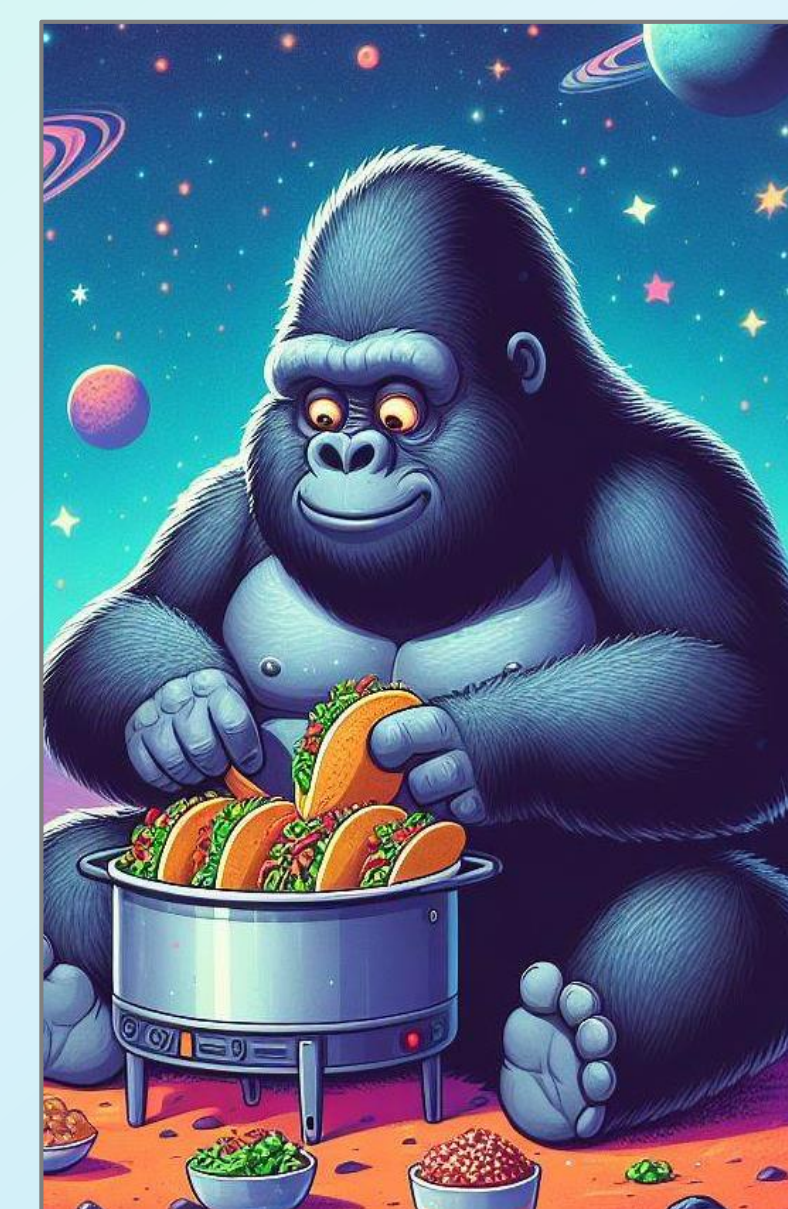
適居性分析

- 一、太空望遠鏡比較容易觀察到大的太陽系外行星。大的太陽系外行星通常都是氣態巨星，其表面幾乎都是液態或氣態，所以適居性都較低。
- 二、科學家們只能使用太空望遠鏡一個月來觀察一個區域和行星至少三次的凌日，因此他們會選擇研究公轉較快的太陽系外行星。這些行星都比較靠近它的恆星，所以擁有偏高的溫度也更容易被潮汐鎖定，因此適居性較低。

自創口訣

自創的恆星光譜類型記憶口訣

光譜類型	舊版本	新版本
O	Oh	One
B	Be	Big
A	A	And
F	Fine	Friendly
G	Girl/Guy	Gorilla
K	Kiss	Keeps
M	Me	Making
L	--	Little
T	--	Tacos
Y	--	Yummy



來源：作者自行繪製

討論與結論

- 一、學生能輕易使用Python來處理太陽系外行星和恆星數據庫，計算出缺失和額外的數據。



```
if s['distance'] and s['apparent_magnitude']:
    s['absolute_magnitude'] = \
        s['apparent_magnitude'] - 5 * \
        math.log10(s['distance']/10)
```

```
if s['radius']:
    radius_pc = s['radius'] * sun_radius_to_pc
    p['star_angular_diameter'] = \
        2*math.atan(radius_pc/distance_pc) \
        * 360/(2*math.pi)
```

來源：作者自行繪製

- 二、自行訓練的人工智慧模型產生出數據支持的天空外觀和適居性描述，展示了 GPT 探索複雜主題的潛力。
- 三、本研究期望可以繼續利用人工智慧，甚至實際去探索其他星球上的天空外觀和適居性。

展望與建議

- 一、本研究將繼續調整自定義人工智慧模型指令，以產生更好的結果並避免任何錯誤。
- 二、計畫畫添加能讓自定義人工智慧模型創造中文摘要的功能，避免語言上的翻譯錯誤。
- 三、未來可以創建另一個自定義人工智慧模型來對天空外觀和適居性的描述進行評分和回饋。
- 四、添加更多有關太陽系外行星的資料和算值，透過程式蒐集更多的行星天空外觀，並進行分類。

參考文獻

- Bubeck, S., Chandrasekaran, V., Eldan, R., Gehrke, J., Horvitz, E., Kamar, E., ... Zhang, Y. (2023). *Sparks of Artificial General Intelligence: Early experiments with GPT-4*. Microsoft Research.
- Sagan, C., & Khare, B. N. (1979). *Tholins: organic chemistry of interstellar grains and gas*. *Nature*, 277(5692), 102-107.
- Seidel, J. V., Nielsen, L. D., & Sarkar, S. (2023). *Review of JWST opens a window on exoplanet skies*. *Nature*, 614(7949), 632-633.
- Strutt, J. W. (1899). *On the transmission of light through an atmosphere containing small particles in suspension, and on the origin of the blue of the sky*. *Philosophical Magazine Series 1*, 47, 375-384.
- Tsai, S.-M., Lee, E. K. H., Powell, et al. (2023). *Photochemically produced SO2 in the atmosphere of WASP-39 b*. *Nature*, 617(7961), 483-487.