

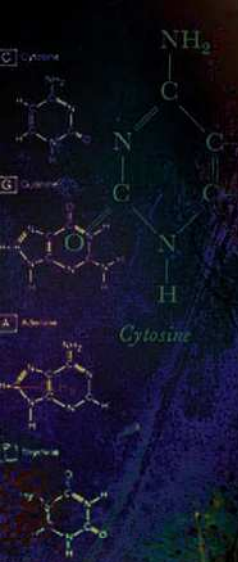
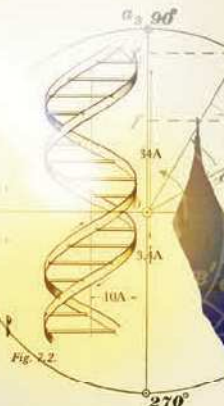
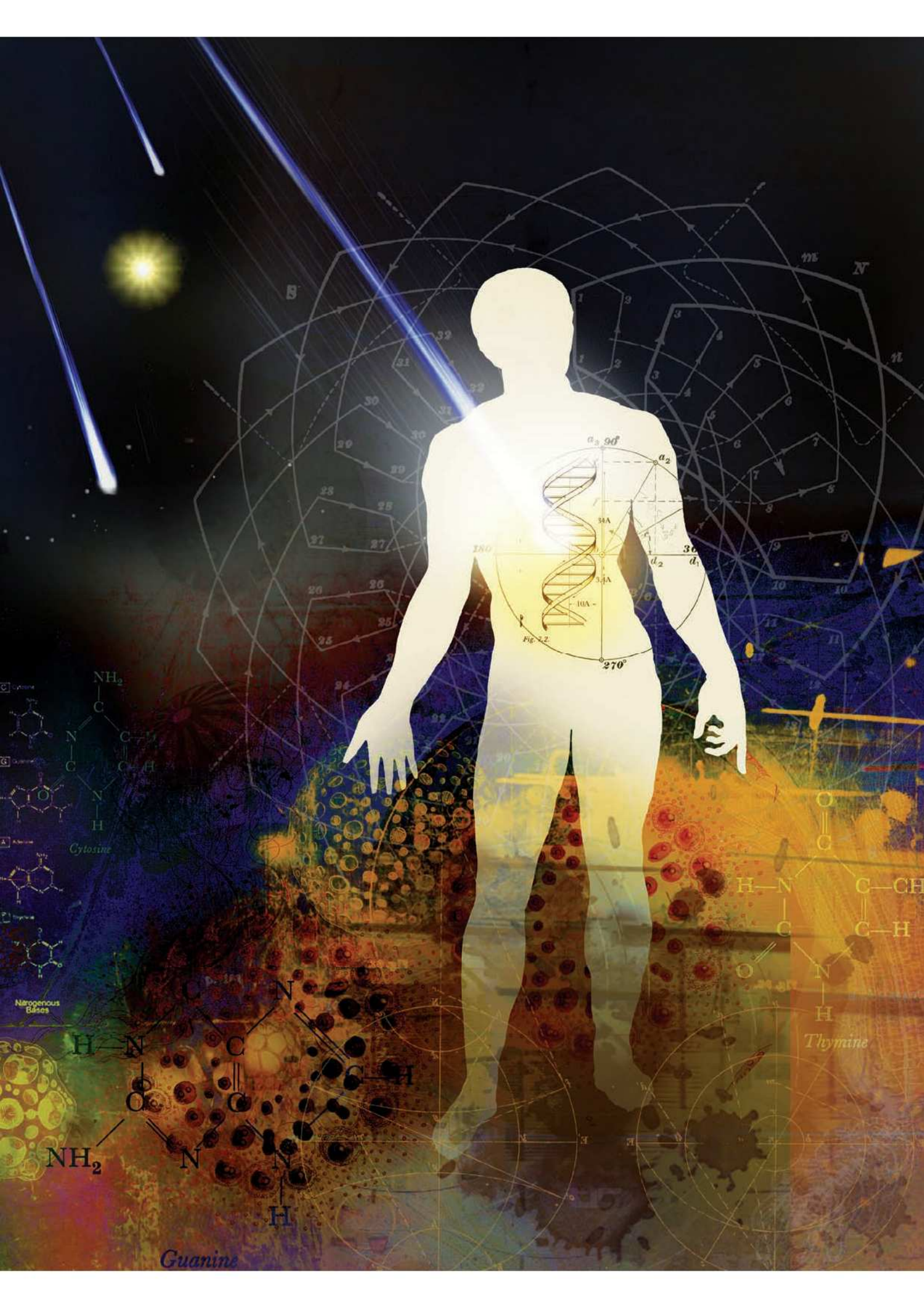
行星科學

我們都是 火星人的？

地球上的生命來自外太空嗎？
最新研究證實，微生物
能在火星到地球的旅程中存活，
星際間，或許還有其他生物！

撰文 華佛拉西 (David Warmflash)、魏斯 (Benjamin Weiss)

翻譯 張雨青



絕大多數科學家向來認定，地球上的生命是一種土生土長的現象。根據傳統的假說，最初的活細胞，肇生於數十億年前地球上的化學演化過程，這種說法稱為無生源說。還有一種可能性，則令許多人覺得宛如科幻小說情節：活細胞或其前驅物是來自外太空。然而，地球的生物圈可能發源自地球之外，這個概念歷經過去數十年的發展，可信度已經更上一層樓。

液態水是公認的生命基本要素。我們所居住的太陽系，初期可能曾經有過好幾個液態水世界，行星學家對此已了然於心。美國航太總署（NASA）的火星巡迴者號最近傳回的資料，證實了先前的猜測：這顆紅色行星過去曾經有水，至少斷斷續續有水流過。要假設生命曾經存在於遠古的火星，而且或許一直在那裡延續，都不為過。木星的第四大衛星——木衛二，可能也有生命演化，因為木衛二冰凍的表面下方，似乎有液態水的蹤跡。土星最大的衛星——土衛六，則富含有機化合物；土衛六上天寒地凍，要是發現了活的生命型態，肯定教人跌破眼鏡，但也不能完全排除這種可能性。生命甚至可能曾經在酷熱的水星上立足。水星表面或許過於炙熱，而且氣壓太高不宜居住，不過這顆行星的高空大氣層，

卻有可能支持細菌的生長。而水星表面的狀況，也很可能並非一直如此嚴酷，它或許曾經與早期的地球類似。

此外，廣闊的行星際空間，並非如過去認為是看似無法跨越的藩籬。近20年來，科學家已根據部份封存於岩石內的氣體組成，鑑定出在地球上所發現的隕石，其中有超過30顆原本來自火星地殼。生物學家同時也在這類隕石的內部發現到至少禁得起短程旅途而保存的有機物。縱然目前沒有人能說這些特別的有機物真的經歷過這趟旅程，它們還是被視為一項原理驗證。生命可能誕生於火星而後來到地球，反之亦然，都不算光怪陸離。研究人員現正全力探究生物體在行星之間如何轉移，期能更加理解這種現象是否曾經發生。這樣的努力也許能闡明近代科學中，最令人神往不已的若干問題：生命起於何處？如何形成？可能有不同的生命型態存在嗎？浩瀚宇宙中，生命有多尋常？

從哲學到實驗室

對古代哲學家而言，創生於無生命物質的生命，宛如天神的國度般不可思議。因此，真的有人寧願相信生命是以既有的型態，從別處來到地球的說法。2500年前的希臘哲學家阿那克薩哥拉提出一種假說，稱為「胚種說」。在希臘文中，胚種（panspermia）意為「所有的種子」。

這個假說推斷：一切生命乃至萬物的起源，皆由遍佈宇宙之間的微小種子結合而成。近代有幾位首屈一指的科學家，包括英國物理學家克爾文爵士、瑞典化學家阿瑞尼斯，以及去氧核糖核酸（DNA）結構的共同發現者克里克在內，皆曾經提倡過各類胚種的觀念。這種概念確實鮮少受到重量級擁護者的支持，但是，胚種說是一項嚴肅的假說，以及一種可能發生的現象，這卻是不爭的事實。當我們探討宇宙中生命的分佈與演化，以及生命為何只存在於地球之際，這個假說都不容忽視。

時至今日，胚種說討論的重點，是生物體如何抵達我們所居住的行星，而不再是生命如何在其發源地發生。生命無論發源於何處，必定起於無生命物質。1950年代，美國芝加哥大學化學家米勒與游理證明，胺基酸與其他形成生命的重要分子，可由簡單的化合物所產生，這些化合物據信存在於早期的地球。無生源說自此從哲學的國度步入了實驗的領域。現在也有人認為，核糖核酸（RNA）分子可能是由較小的化合物所構成，而在生命的發展中扮演不可或缺的角色。

當今的細胞之內，特化的RNA分子會協助建構蛋白質。某些RNA擔任基因與核糖體之間的傳信者，基因由DNA所構成，核糖體則是細胞的蛋白質工廠。其他RNA攜帶了胺基酸（組成蛋白質的單元）給核糖體，核糖體則又帶有另一種RNA。RNA與幫助胺基酸結合的蛋白酵素通力合作，但研究人員發現，核糖體內的RNA在蛋白質的合成中，可獨自擔綱決定性的步驟。也許在生命演化的初期階段，所有酵素都是RNA，而非蛋白質。由於RNA酵素不需仰賴既存的蛋白質酵素啟動，就能製造出最初的蛋白質，因

來自太空的生命

- 「胚種假說」假設：活細胞或其前驅物可能於數十億年前發源自其他行星或月球上，並且搭隕石的便車來到地球。
- 小行星或彗星在撞擊火星時，所轟出的岩石之中，有少數可以在僅僅數年之內就抵達地球。
- 研究人員打算研究：微生物是否可以在星際旅行中存活，並據以評估胚種說存在的可能性。

此無生源說便不再如往昔所認為，是雞生蛋、蛋生雞的問題。RNA與蛋白質的原生系統，能逐步發展出複製其分子部件的能力。剛開始並不精緻，但之後越來越有效率。

這種對生命起源的全新領略，已使科學上關於胚種說的議論改觀。這已不再是「最初的微生物要不是發源於地球，就是來自外太空」這種非此即彼的問題。在太陽系初期的混沌中，地球遭受含單一有機化合物的隕石激

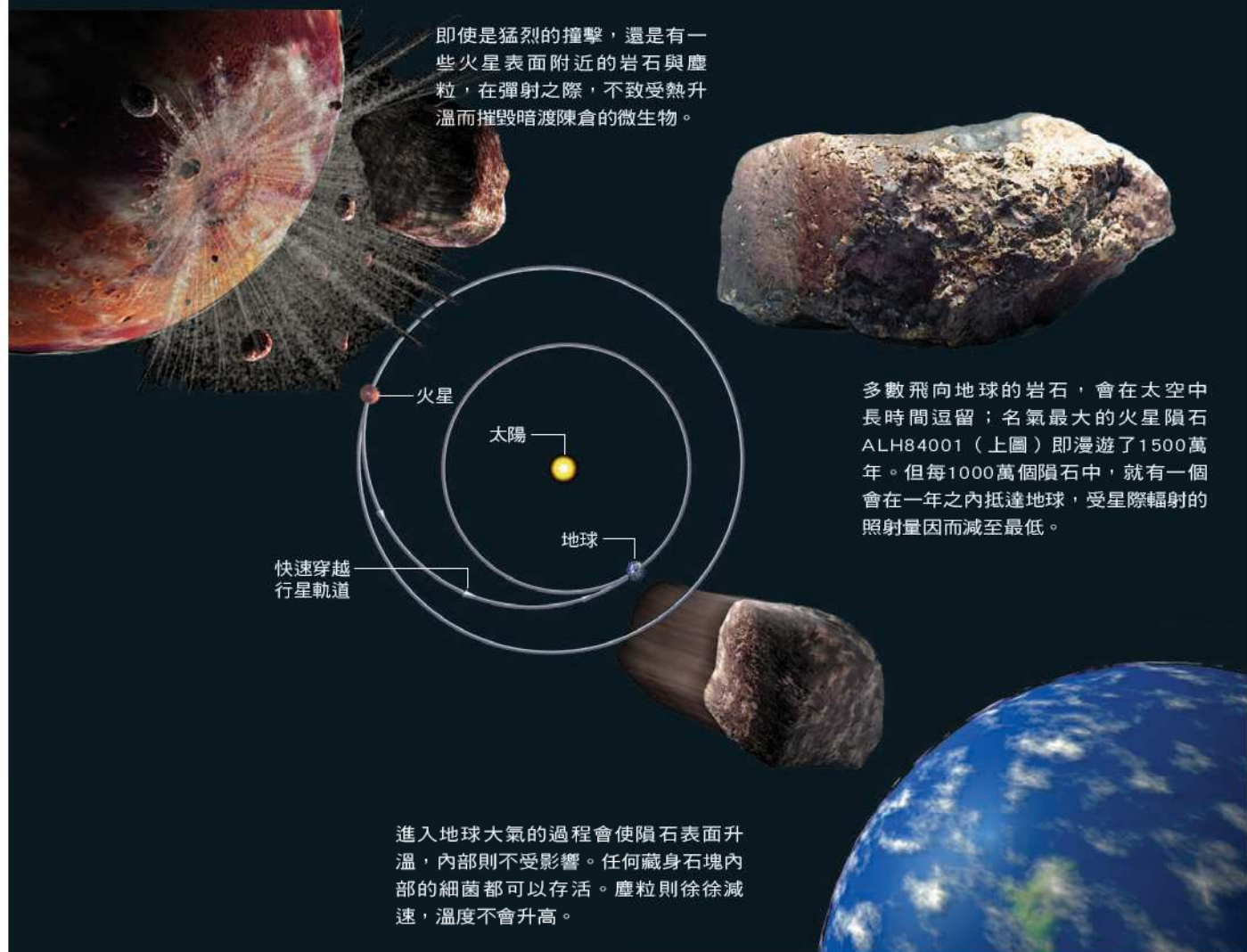
烈碰撞。年輕的地球也會接收到具有酵素機能的複雜分子，還有一些分子尚屬於前生命期，卻是準生命系統的一部份。這些分子在地球上合適的棲身之所落腳之後，就能繼續演化出活細胞。或者，另一種折衷的說法可能是：生命既生根於地球，也來自太空。但是，生命演化中的哪些階段是在何處發生？而生命一旦站穩了腳步，又會延續到何種程度？

研究胚種說的科學家過去只集中在

評估這個概念原則上是否合理，但他們近來已嘗試估算生物體自其他行星或衛星旅行到地球的可能性。這些物質必須受到彗星或小行星的撞擊，才會從原本所在的行星噴發到太空中，踏上星際之旅（見下方〈星際特快車〉）。噴出的岩石或塵粒在太空中漫遊之際，必須受到其他行星或衛星的重力所牽引，繼而穿越大氣層（如果大氣存在的話），在充份減速後散落地表。這類事件在整個太陽系內屢

星際特快車

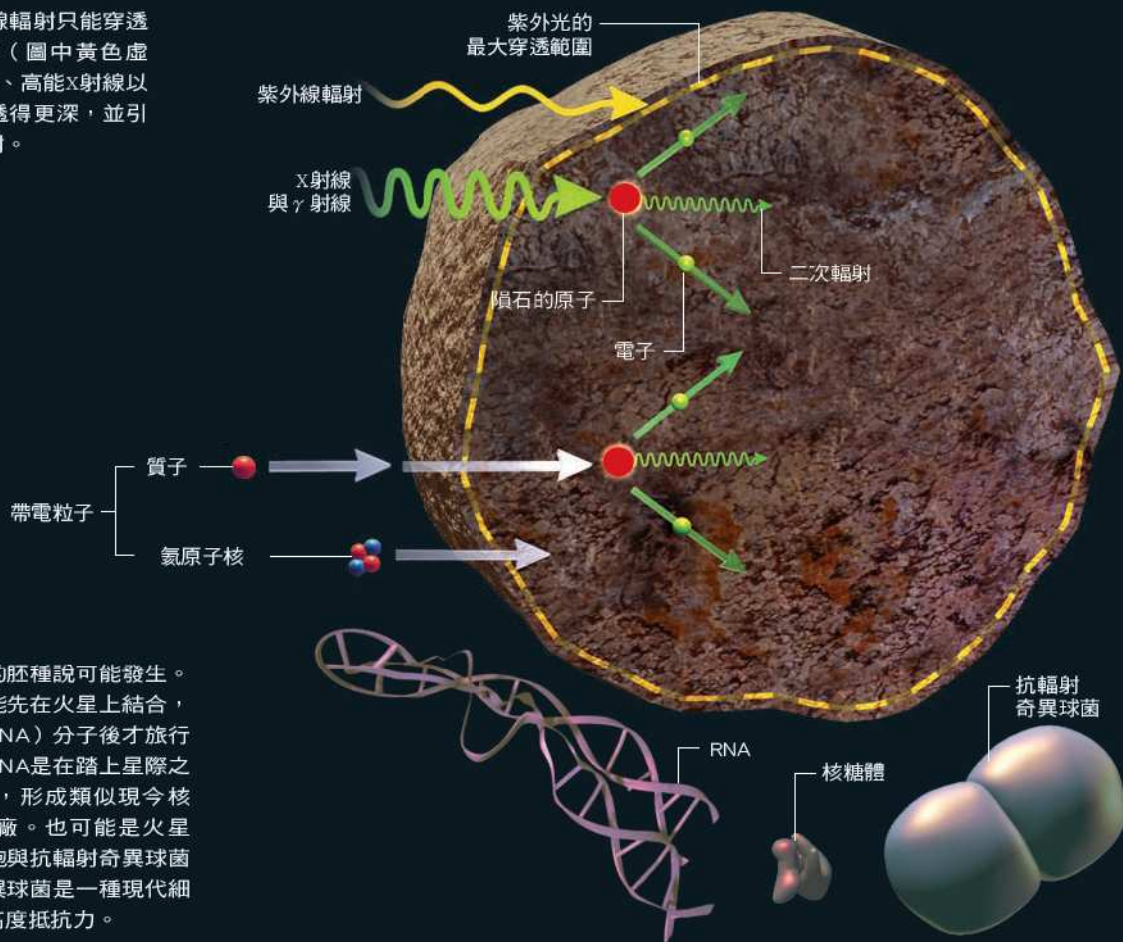
每隔數百萬年，就會有小行星或彗星撞擊火星，能量足以使岩石噴發，並脫離火星重力的作用，最後到達地球。如果數十億年前就有生命在火星上演化，可想像含生物體的岩石能快速飛行，而將地球外的種籽移植到地球上。



宇宙中的諾亞方舟

生物物質穿越危機重重的行星際空間時，躲藏在隕石內部可能是最佳的保命方式。輻射則是最主要的威脅。

來自太陽的紫外線輻射只能穿透岩石表面數微米（圖中黃色虛線），但帶電粒子、高能X射線以及 γ 射線則可穿透得更深，並引發二次輻射的簇射。



還有好幾種版本的胚種說可能發生。較小的化合物可能先在火星上結合，形成核糖核酸（RNA）分子後才旅行至地球。又或許RNA是在踏上星際之旅前便先行結合，形成類似現今核糖體的蛋白質工廠。也可能是火星隕石攜帶的活細胞與抗輻射奇異球菌同源。抗輻射奇異球菌是一種現代細菌，對輻射具有高度抵抗力。

見不鮮，儘管噴出的物質比較容易從距離太陽較遠的天體，飛向太陽附近的星球，但最後總是比較容易掉落在質量較大的天體上。的確，加拿大卑詩大學天文物理學家葛萊德曼（Brett Gladman）所做的動力模擬顯示，從地球移送到火星的岩塊，數量遠不及

從火星到地球上的。基於這個理由，最常受人討論的胚種說就是：微生物或其前驅物，是從火星送到地球的。

模擬小行星或彗星對火星的撞擊，可以看出物質能被推進很多種軌道。葛萊德曼等人估計，火星每隔數百萬元就會經歷一次猛烈的撞擊，威力足

以令岩石飛散，最後抵達地球。星際旅行通常遙遠漫長：每年有近一噸的火星噴出物落在地球上，其中大多數都已在太空中逗留了數百萬年，僅有極少數火星岩石不到一年就抵達地球表面，大約每1000萬個之中會有一個。在為期三年的撞擊事件期間，約有10個拳頭大小、重量超過100公克的岩石完成火星到地球之旅。卵石大小的岩石與塵粒這類較小的碎片，在行星之間快速移動的可能性更高；而更大的石塊要完成這趟旅程的機率則低得多。

關於作者

華佛拉西與魏斯運用不同卻可互補的方式，探究生命是否可能從其他星體來到地球。華佛拉西是美國休士頓大學兼美國航太總署詹森太空中心的太空生物學家，目前正協助開發分子鑑定法，搜索火星與木星的衛星木衛二上的微生物。魏斯為美國麻省理工學院行星學助理教授，他最近針對各種火星隕石進行的研究顯示，它們在從火星轉移到地球的途中，並未因為受到高溫滅菌的過程。

生物體在這趟旅程中能夠存活嗎？首先，讓我們試想：從隕石母體噴發的過程中，微生物能否生存？最近在實驗室中進行的撞擊實驗發現，某些菌株可承受一般從火星高壓噴發時所產生的加速度與急衝度（加速度的變化率）。然而，關鍵點在於，隕石在撞擊與噴發過程中的受熱程度，還不致摧毀其內部的生物體。

行星地質學家以前相信，只要撞擊噴出物的速度超過火星的脫離速度，幾乎會被蒸發，不然至少也會完全熔化。不過，隨之發現未熔化且狀態大致完好的月球與火星隕石，這個想法後來便無人問津。這些發現令美國亞利桑那大學的米洛許（H. Jay Melosh）覺得，有一小部份飛散的石塊在遭受撞擊時，的確可能絲毫未經加熱即自火星彈射而出。簡言之，米洛許提出：撞擊產生的壓力波，向上傳遞而抵達行星表面之際，相位會改變180°，幾乎抵消

了地表下方淺薄岩層內部的壓力，由於這個「擊碎區」受擠壓的程度極低，下方地層則承受巨大的壓力，因此地表附近的岩石，能在變形程度相對輕微的狀況下高速噴發。

其次，讓我們想想進入地球大氣時的存活率。曾任職於美國芝加哥大學費米研究院的安德斯（Edward Anders）指出，行星之間的塵粒在地球的上層大氣中徐徐減速，因而溫度不會升高。相對之下，隕石受到的摩擦非同小可，因此表面常在穿越大氣期間熔化。然而，熱脈衝最多只來得及向隕石內部行進數公釐，因此埋藏於岩石深處的有機體必能存活。

筆者之一的魏斯與同事，於過去五年間發表了一系列論文，分析透輝橄

無球粒隕石（nakhlite）與ALH84001這兩種火星隕石。透輝橄無球粒隕石是1100萬年前，小行星或彗星撞擊火星時轟出的一堆石塊；ALH84001脫離這顆紅色行星的時間，則更早了400萬年。1996年，NASA詹森太空中心一群以馬凱（David McKay）為首的科學家宣稱，ALH84001顯露的微生物化石痕跡，與地球上的細菌雷同，因而令它聲名大噪。10年之後，研究人員依舊為這顆隕石是否就是火星生命的證據而爭論不休。魏斯與共同研究人員檢驗隕石的磁性及包藏的氣體組成，發現ALH84001受熱不超過攝氏數百度；而至今所發現的七顆透輝橄無球粒隕石當中，至少有兩顆也是如此，因為它們同為火星表面的一部份。此外，透輝橄無球粒隕石幾乎都還完好如初，未遭高壓震波殃

暴露在紫外線的孢子 有萬分之一保住生機。

及，可見火星所受的撞擊並未使它們的溫度升破100°C。

地球上許多原核生物（簡單的單細胞生物，沒有細胞核結構，如細菌）與真核生物（有清楚細胞核結構的生物）都能存活於前述的溫度範圍內。儘管也有例外，但此結果是第一個實驗證據，直接證明物質在行星之間的旅行，從噴發到落地，全程都能夠免受「高溫殺菌」。

輻射危機

然而，胚種說真要發生，微生物除了從第一顆行星噴發、進入第二顆行星的大氣時必須倖存之外，還要能在整個行星際旅程中保住小命。帶有生命的流星體與塵粒，還會暴露在宇

宙的真空、極端的溫度與數種不同的輻射之下。其中，太陽所放射的高能紫外光，格外引人關切，它會切斷有機分子中碳原子彼此連接的化學鍵。不過，紫外光極易遮擋，只需要幾片 10^{-4} 公分厚的不透光材質，即足以讓細菌免於受到傷害。

一項使用NASA「長期輻照設施」（LDEF）所進行的歐洲研究顯示，鋁製薄罩確實對枯草桿菌的孢子提供了充份的紫外線遮蔽。LDEF是1984年由太空梭部署的衛星，六年後亦由太空梭自軌道收回。由於受到鋁的保護，即使暴露在真空且溫度極端的太空中，80%的孢子仍保有活力，於是研究人員在任務的尾聲將它們活化，成為具活性的細菌細胞。至於未受鋁片遮蔽而直接暴露於太陽紫外線輻射中的孢子，則大多遭到摧毀，但非全



軍覆沒，約有萬分之一未受遮蔽的孢子保住生機，葡萄糖與鹽類物質的存在，提高了它們的存活率。即便是小如塵埃的物體，太陽紫外線也不見得能將菌落全數殲滅。如果菌落藏身於卵石般大小的東西內部，紫外線防護效果就會顯著增加。

LDEF的研究固然提供了有用的資訊，卻是在低軌道實施，位於地球磁場絕佳的保護傘之下。因此，對遊走於行星之間，但是無法穿透地球磁層的帶電粒子所產生的效應，這項研究所透露的訊息不多。太陽有時會爆發高能的離子與電子；再者，以帶電粒子為主成份的銀河宇宙射線，也會頻頻轟擊我們的太陽系。要保護生物免受帶電粒子及 γ 射線這類高能輻射所

害，比遮蔽紫外線還煞費周章。一層只有數微米厚的岩石，就可以阻擋紫外線，但是添加更多遮蔽，反而會增加其他種類輻射的劑量。原因在於帶電粒子與高能光子會與岩石遮蔽物質交互作用，在隕石內部引發二次輻射的簇射。

岩石內部任何微生物的藏身之處，都避不開這些簇射，除非是直徑約兩公尺或更大的石塊。不過，前面曾經提及，在行星之間快速飛行的大石塊相當罕見。於是，除了紫外線防護之外，真正的問題在於，細菌如何防禦宇宙輻射中所有的成份，以及帶有生命的隕石如何從某一行星迅速移動至另一行星。路程越短，接受的總輻射劑量越低，生存的機會就越高。

事實上，就輻射防禦而言，枯草桿菌算是相當耐命。由農業學家安德森

(Arthur W. Anderson) 於1950年代所發現的抗輻射奇異球菌 (*Deinococcus radiodurans*)，甚至更為頑強。這種生物能活在食品殺菌時所使用的輻射劑量之下，連在核反應器內都能蓬勃生長。抗輻射奇異球菌仰賴某些細胞機制幫助修復DNA、建構超厚的細胞壁等，保護自身免受輻射所害。相同的細胞機制亦能舒緩脫水造成的危害。理論上，具有此類能力的有機體，若是藏身於某種物質的內部，自火星彈射而出時，又如同透輝橄欖無球粒隕石與ALH84001般未過度受熱的話，有相當比例的有機體，在行星際空間中經過多年，甚至數十年後仍可存活。

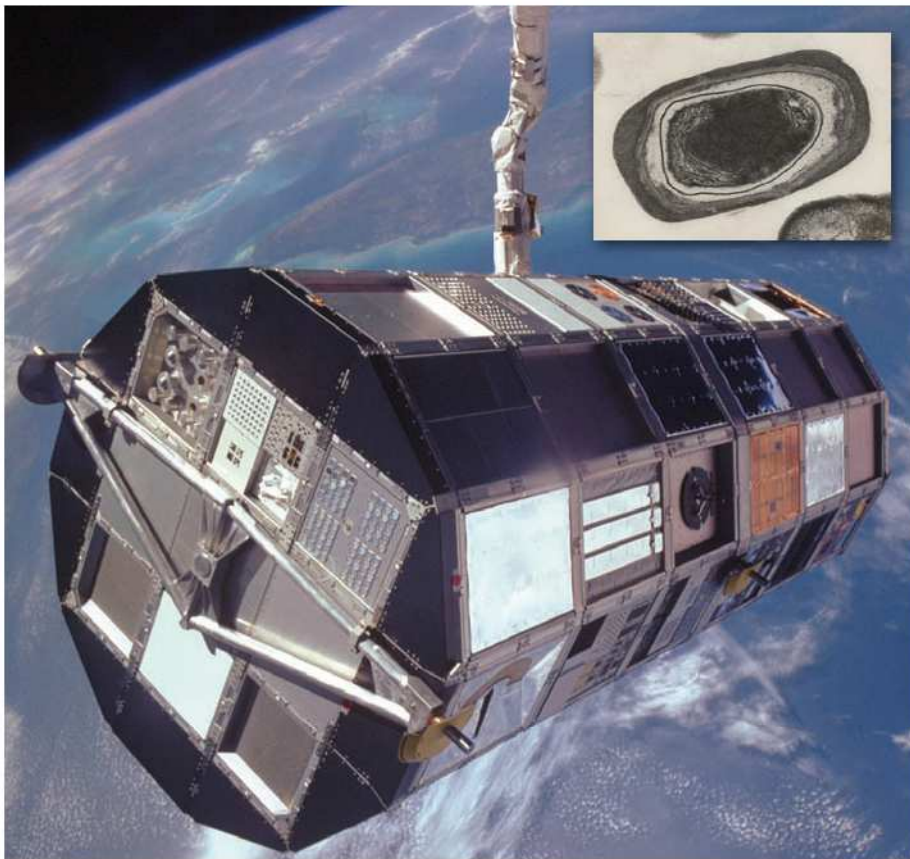
活性有機體、孢子或複雜的有機分子，在地球磁層之外能否長期倖存，則從未實地驗證過。這類實驗要將生物體置入仿造的隕石物質內，並且暴

露於行星際空間的環境，月球表面可充當試驗場。事實上，阿波羅登月任務所承載的生物標本，即為早期歐洲輻射研究的一部份。不過，為時最長的阿波羅任務不過12天，標本又保存在阿波羅太空船艙內，因此並非完全處於宇宙輻射的環境之下。科學家未來可將實驗設備設置於月球表面或行星之間的軌道上，幾年後再取回地球，進行實驗室分析。研究人員目前正在考慮使用這些方法。

同時，一項名為火星輻射環境實驗 (MARIE) 的長程計畫也正在進行中。2001年，NASA火星奧德賽號發射升空，在太空船環繞這顆紅色行星航行之際，MARIE的儀器也同步測量銀河宇宙射線與高能太陽粒子的劑量。儘管MARIE中並無生物體，但其感測器是針對宇宙輻射中，對DNA危害最大的範圍所設計。

未來的研究方向

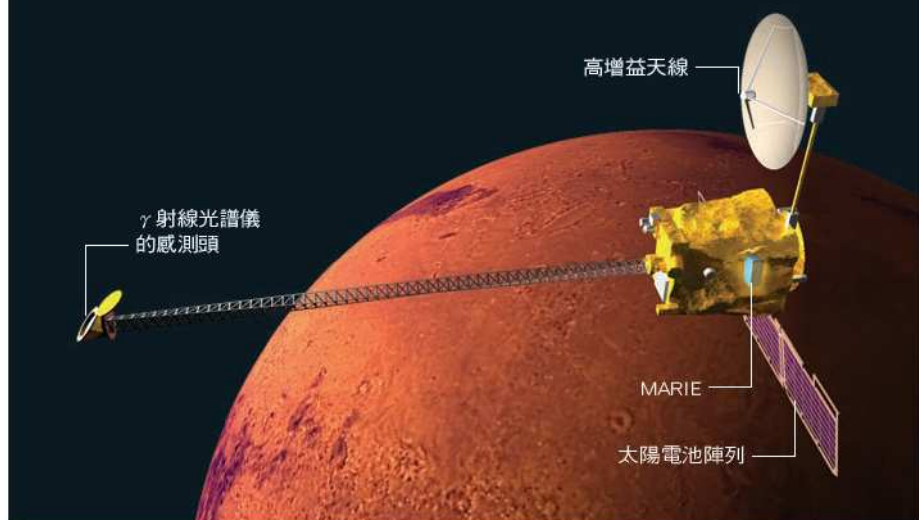
一如我們所述，胚種說的立論看似合理。然而不僅如此，這個假說的重要層面，已從現象的合理性轉移至計量科學。隕石證據顯示，從古到今，太陽系內不斷有物質穿梭於行星之間，而且這種過程發生的頻率非常固定。此外，實驗室中的研究已證實，從大小與火星相仿的行星噴射出的行星物質，其內部的微生物，大半能在飛入太空及穿透地球大氣之際倖存下來。不過，胚種說的其他部份則較難論定。研究人員需要更多資料，才能斷定枯草桿菌與抗輻射奇異球菌這類抗輻射生物體，能否活著完成星際之旅。而且就算是這種調查，也無法確知實際發生於地球生物圈的可能性，因為這些研究都涉及當今地球的生命型態。數十億年前，生物體的處境可能惡劣得多，也可能舒適得多。



美國航太總署「長期輻照設施」攜帶著枯草桿菌的孢子(右上角圖)上軌道長達六年。研究人員發現薄薄一片鋁罩就足以為孢子抵擋紫外線輻射的危害，使80%的孢子得以存活。

監視火星

火星奧德賽號太空船使用名為MARIE的儀器，計測行星際環境中的危害。太空船一面繞行火星，MARIE一面測定銀河宇宙射線以及高能太陽粒子。



另外，現在或過去是否有生命存在於地球以外的行星？科學家也無法量化這個可能性。研究人員其實對一切生命系統的起源，包括地球的在內，都了解得不夠透徹，因此，對於無生源說是否可能發生在任何特定的星球，也無法獲致確切的結論。當萬事俱備，也許還必須經過幾億年，生命才會開始出現，但也許五分鐘就綽綽有餘。我們能肯定的只是，生命在27億或更早個幾億年前，就已經活躍於地球上。

由於當前無法量化胚種說情境中的所有步驟，研究人員無法估計某特定時期內，可能有多少生物體或活細胞抵達地球表面。此外，有生存能力的生物體遷移，未必表示它們能夠成功在接收它們的行星上落地生根，尤其是行星上已有生命存在的狀況下。舉例而言，如果在地球獨力孕育出生命之後，火星微生物才來到地球，這些地外生物便可能無法取代原生物種，或與之共存。來自火星的生命也可能真的在地球上覓得安身立命之所，只是科學家尚未認出它們。研究人員清查過的菌種，僅佔地球上總數的極小比例。好些在遺傳學上與地球上已知的生命毫無關聯的生物體，說不定就近在你我眼前，而我們卻毫不知情。

最後，科學家在其他行星或月球上發現生命之前，可能無從得知胚種說是否曾經發生以及發展至何種程度。例如，未來的太空任務如果在火星上發現了生命，並且回報紅色行星上的生化反應與地球的截然不同，研究人員馬上就可明白地球上的生命並非來自火星。反之，若生化反應近似，科學家會開始猜測兩個生物圈也許具有共同的起源。假如火星上的生命型態是用DNA儲存遺傳資訊，研究人員就能調查核苷酸序列使真相大白。倘若

火星生物的DNA序列，並不依循地球上活細胞用來製造蛋白質的同一套遺傳密碼，研究人員便能斷定「火星-地球」的胚種說有問題。不過還有許多其他可能的情境。研究人員可能會發現火星生命的複製過程，是由RNA或是其他物質全權主導。的確，地球上有些尚待探索的生物，可能也屬於這類案例。而居住於地球的外星生物，亦可能證實與火星的生命形式有所關聯。

無論地球上的生命是源於地球，或是來自太空的生物移民，還是介於兩者之間的演繹結果，答案都別具

意義。「火星-地球」胚種說如獲證實，表示生命一旦出現，便能輕易在星系內擴散。另一方面，如果研究人員找到火星生物的演化無關乎地球生命的證據，就表示無生源說可以輕易套用於整個宇宙。而且，生物學家也可以拿地球的生命型態與外星生命相互比較，對生命的定義做出更廣義的詮釋。我們終於開始用探索化學與物理定律的方式，了解生物定律為自然界的基本特性。 SA

張雨青 台灣大學海洋研究所海洋化學碩士，現任職於日本優貝克科技（ULVAC）公司，熱心於科學翻譯。

延伸閱讀

1. **Worlds in the Making: The Evolution of the Universe.** Svante Arrhenius. Harper, 1908.
2. **The Structural Basis of Ribosome Activity in Peptide Bond Synthesis.** P. Nissen, J. Hansen, N. Ban, P. B. Moore and T. A. Steitz in *Science*, Vol. 289, pages 878–879; August 11, 2000.
3. **Risks Threatening Viable Transfer of Microbes between Bodies in Our Solar System.** C. Mileikowsky, F. A. Cucinotta, J. W. Wilson, B. Gladman, G. Horneck, L. Lindgren, H. J. Melosh, H. Rickman, M. Vaitonen and J. Q. Zheng in *Planetary and Space Science*, Vol. 48, Issue 11, pages 1107–1115; September 2000.
4. **Martian Surface Paleotemperatures from Thermochronology of Meteorites.** D. L. Shuster and B. P. Weiss in *Science*, Vol. 309, pages 594–600; July 22, 2005.
5. **Origins of the Genetic Code: The Escaped Triplet Theory.** M. Yarus, J. G. Caporaso and R. Knight in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 74, pages 179–198; July 2005.