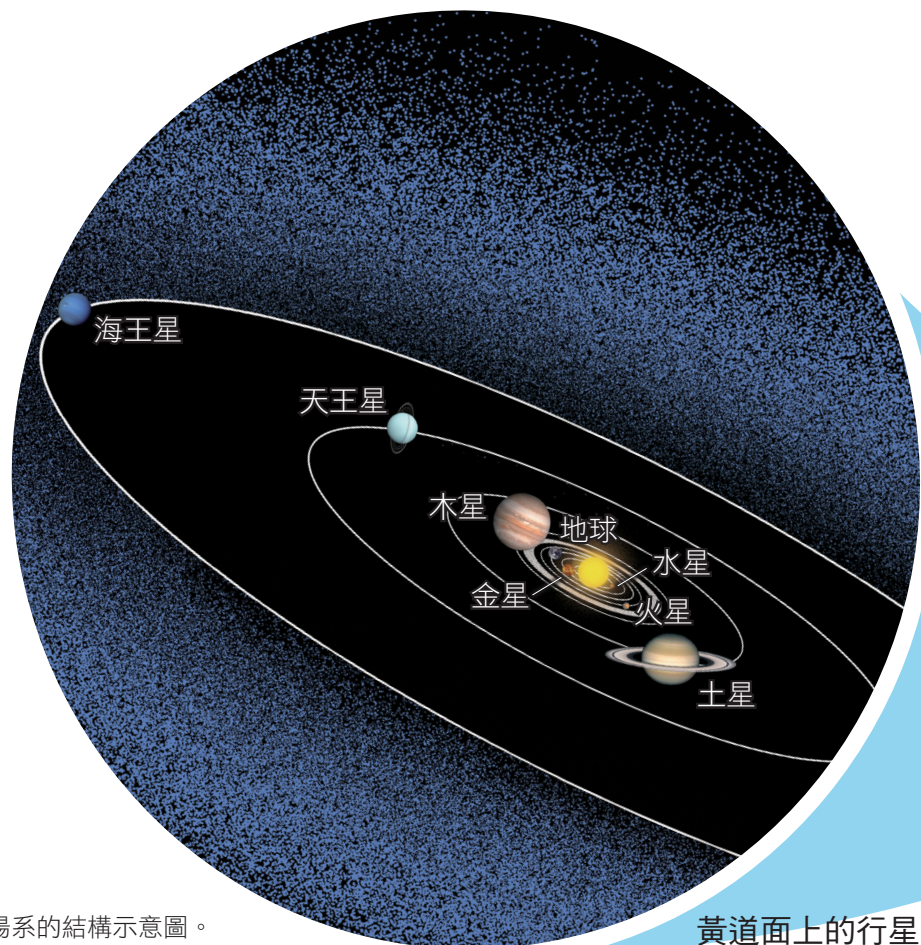


地球從何而來？地球環境為何會孕育生命？如果我們要幫地球寫歷史，該如何進行研究？科學家從太陽系的結構剖析，提出假說說明太陽系與地球的起源。孕育生命需要適當的環境，在大氣演化的過程中，海洋的形成與生命的誕生，是改變大氣組成的關鍵。研究不同時代的岩層，結合地質學方法與現代科技，能建構出地球的歷史。

5

## 1-1 地球的起源與演變

天文學家以太陽星雲學說解釋了太陽系的起源與形成。在太陽系的環境中，為何地球有別於其他的類地行星與小天體，適合生命的發生與繁衍？行星地球到底有哪些條件與演化歷程，利於生命的存在與發展？

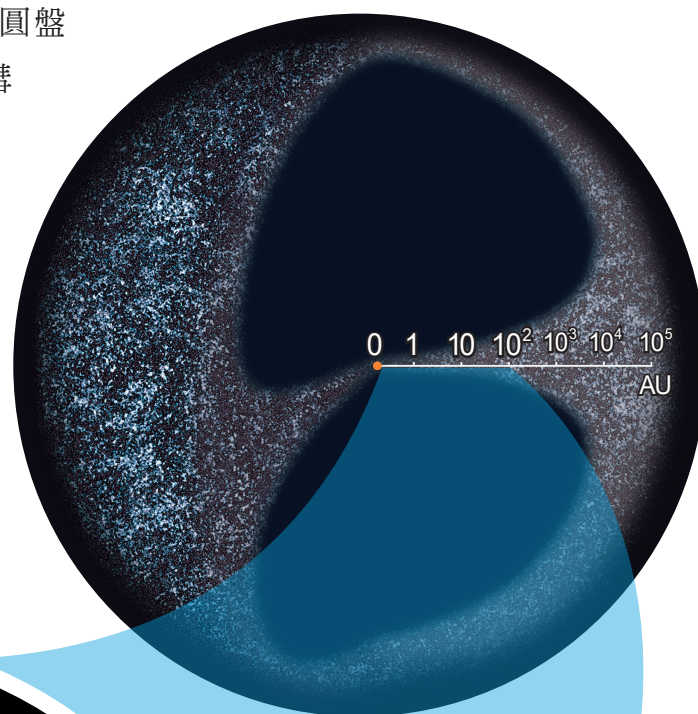


► 圖 1-1 太陽系的結構示意圖。

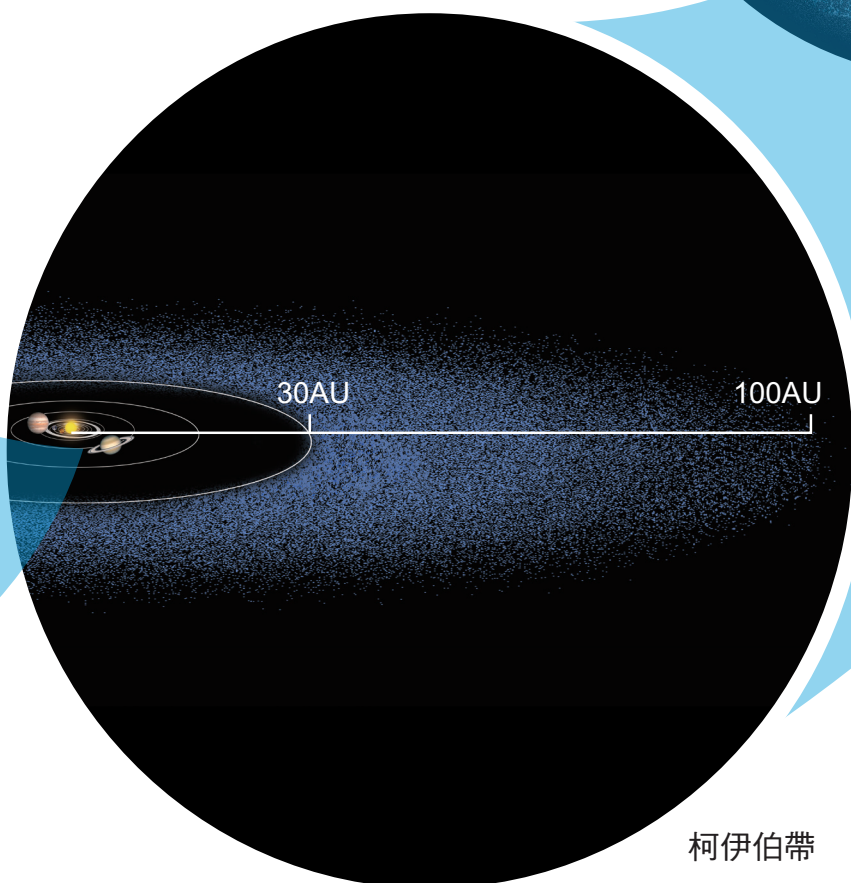
## 1-1.1 太陽系的結構與起源

天文學家從太陽系各成員的軌道特性中抽絲剝繭，逐漸拼湊出太陽系的結構（圖 1-1）。行星軌道與小行星帶均位在黃道面（地球繞日公轉軌道面）附近，絕大部

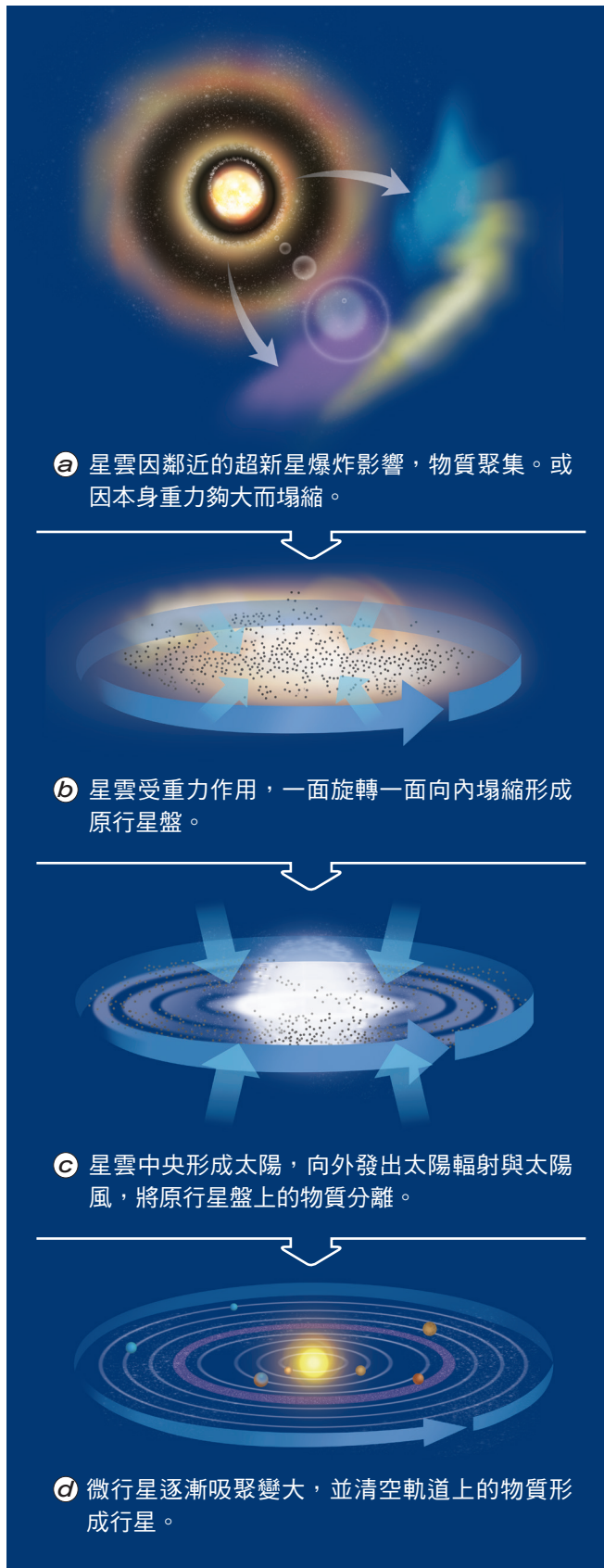
- 5 分以相同的方向繞著太陽系運行，呈一圓盤狀的分布。另外，天文學家也從週期性彗星的軌道特性，發現太陽系更外圍的結構。短週期彗星的軌道面多與黃道面夾角較小，可能來自位於海王星外側的**柯伊伯帶**，這個區域也位在黃道面附近；而長週期彗星的公轉週期長，軌道面與黃道面夾角較大，可能來自太陽系外圍球殼狀的**歐特雲**。
- 10



歐特雲



柯伊伯帶



▲ 圖 1-2 太陽星雲學說。

根據太陽系主要天體的軌道特性相似，形成時間也相近，以及行星與彗星的位置分布，天文學家提出太陽星雲學說來解釋太陽系的生成。此學說推測太陽系約始於 46 億年前的一團巨大星雲中，部分的星際物質受擾動而聚集（圖 1-2 a），在重力的作用下使得氣體與灰塵開始塌縮，並旋轉形成一個圓盤狀的原行星盤（圖 1-2 b）。

大部分的質量集中在原行星盤的中央，持續的縮聚讓溫度不斷升高，當核心溫度可驅動氫核融合反應時，向外發光發熱，太陽就此誕生（圖 1-2 c）。此時的原行星盤內熱外冷，在太陽輻射與太陽風的吹送下，內側多殘留高熔點的金屬與岩石所形成的微行星，而易揮發的水和氣體則在外側形成微行星。最後，這些微行星進一步吸聚變大，在太陽系內側形成岩質的類地行星，在外側形成巨大的類木行星（圖 1-2 d）。

## 1-1.2 孕育生命的條件

如果行星要成爲一個可以孕育生命的地方，那麼它需要有穩定繞行恆星的軌道系統，如同地球。孕育生命也需要非常長的時間，地球約形成數億年後才孕育出第一個單細胞生命。

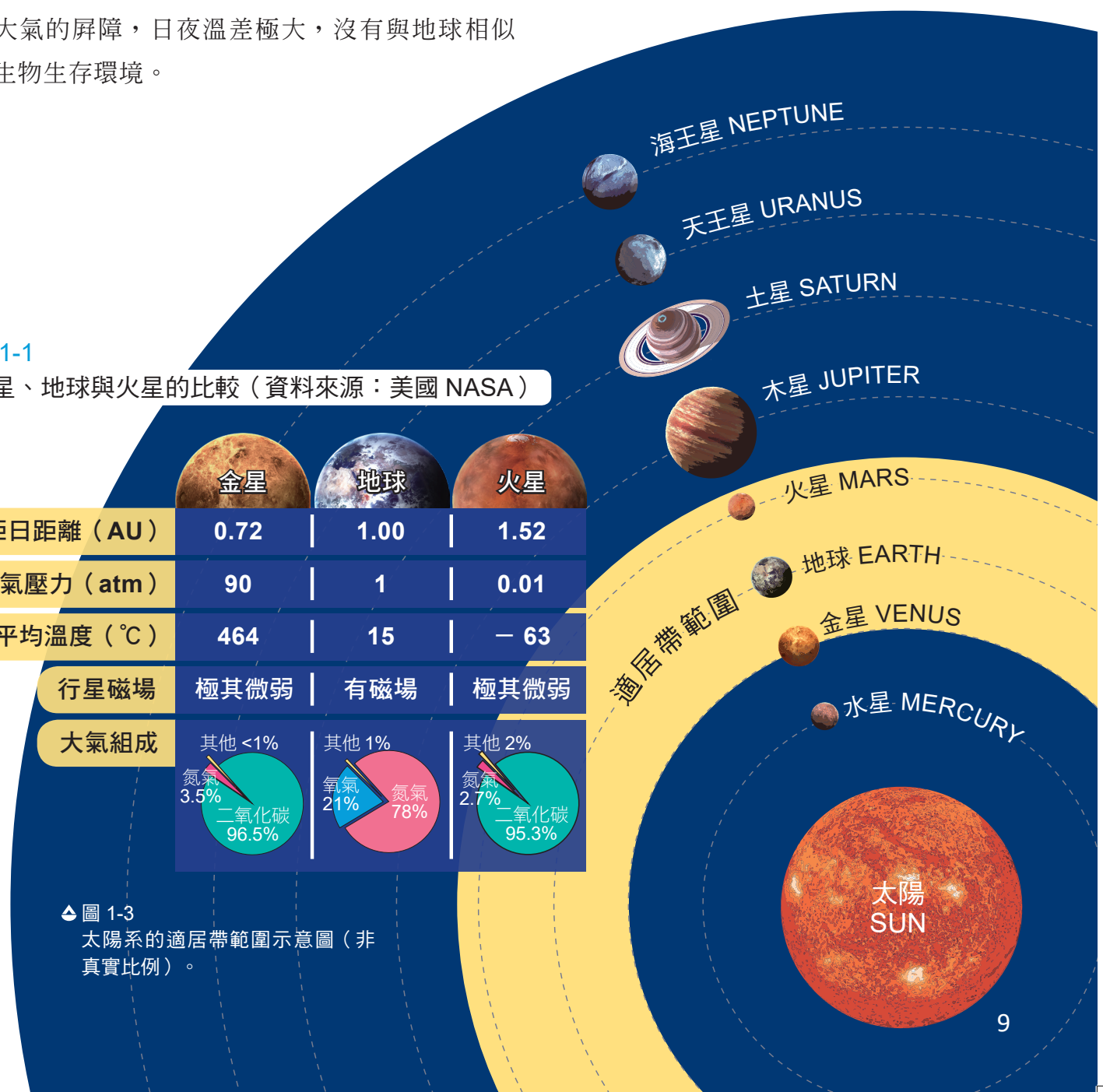
恆星穩定的發光能力也是很重要的因素，天文學家以此定義了**適居帶**的概念，行星繞行恆星的距離必須適中，適宜的溫度能讓液態水存在。發光能力小的恆星存在較窄的適居帶，發光能力大的恆星則較寬。

目前太陽系的適居帶範圍大致從金星至火星軌道（圖 1-3），金星含有大量二氧化碳造成極強的溫室效應，使得溫度太高，火星則是大氣稀薄，無法以溫室效應蓄熱，致使溫度太低（表 1-1）。地球的衛星月球也位處在適居帶中，但缺乏大氣的屏障，日夜溫差極大，沒有與地球相似的生物生存環境。

表 1-1  
金星、地球與火星的比較（資料來源：美國 NASA）

	金星	地球	火星
距日距離 (AU)	0.72	1.00	1.52
大氣壓力 (atm)	90	1	0.01
表面平均溫度 (°C)	464	15	-63
行星磁場	極其微弱	有磁場	極其微弱
大氣組成	其他 <1% 氮氣 3.5% 二氧化碳 96.5%	其他 1% 氧氣 21% 氮氣 78%	其他 2% 氮氣 2.7% 二氧化碳 95.3%

▲ 圖 1-3  
太陽系的適居帶範圍示意圖（非真實比例）。





▲圖 1-4 隕石在車里雅賓斯克天空留下的痕跡。估計隕石進入大氣層時直徑約 15 公尺（米，m），質量約 7 千公噸，在空中留下大約 10 公里（千米，km）長的軌跡。隕石衝擊大氣的效應，造成 1,613 人受傷及約 7,320 座建築物受損。

### 1-1.3 得天獨厚的地球

自太陽形成之後，太陽輻射與太陽風便源源不斷的產生，短波輻射的能量與高速運動的帶電粒子衝向四周，行星在此環境下若要孕育以及繁衍生命，則需要一些獨特條件的配合。

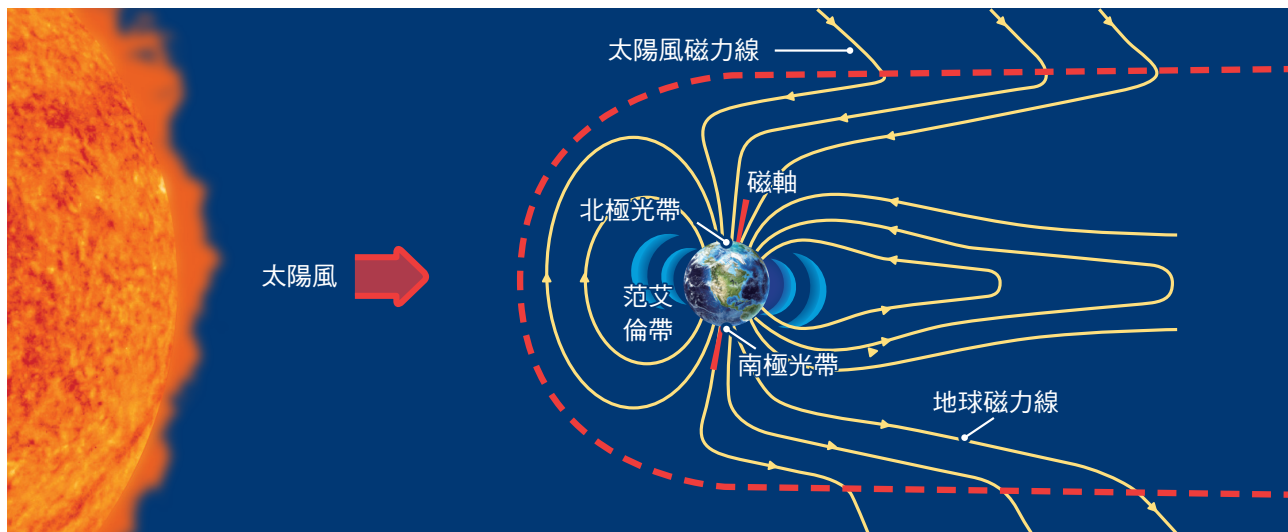
### 地球大氣的保護

太陽輻射中的  $\gamma$  射線、X 光與紫外線這類的短波輻射，對地球生命體破壞性很大。地球大氣層恰巧扮演著保護的角色，最外層大氣能夠有效吸收  $\gamma$  射線、X 光與短波紫外線，平流層內的臭氧則可以有效吸收中、長波紫外線。這些危害生命體的短波輻射，經由大氣吸收後，才使得地表形成一個安全孕育生命的環境。

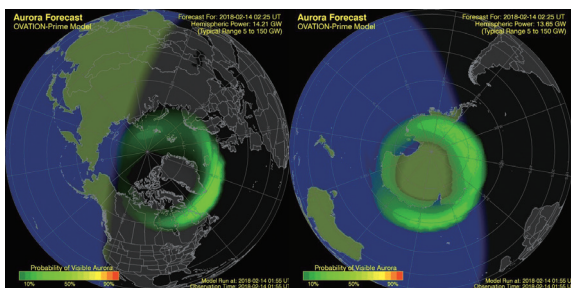
地球的萬有引力作用也經常吸引太空異物進入地球，濃密的大氣層會使得這些被引力加速的太空塊體與空氣粒子摩擦加熱燃燒。多數的太空異物會在大氣中燃燒殆盡，僅有少量會墜落地表。2013 年 2 月 15 日，在俄羅斯車里雅賓斯克就拍攝到巨型隕石穿越大氣層，經燃燒後產生大量濃煙的畫面（圖 1-4）。宇宙射線是來自外太空的極高速帶電粒子，對地球生命體也會造成傷害；同樣地，地球的大氣層也會降低宇宙射線所帶來的傷害。

### 地球磁層的保護

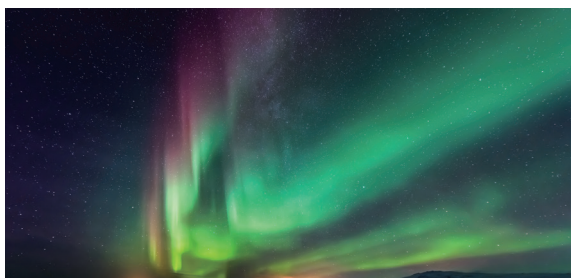
太陽除了對地球輻射能量之外，同時也發射出高速（約每秒 400 公里）的帶電粒子（主要是質子、電子與氦原子核），又稱**太陽風**。會對地球的生命體構成極大的威脅。



▲圖 1-5 地球磁場作用的地方稱為磁層區（虛線內）。地球的磁層區形狀不對稱，面向太陽一側呈盾狀，背向太陽一側則呈現長尾狀。范艾倫帶分為內層與外層兩處，是磁層捕捉帶電粒子所形成的區域。



Ⓐ 2018年2月14日南北極區的極光預測圖



Ⓑ 冰島上空的極光

▲ 圖 1-6 極光現象。

### 延伸閱讀

#### 范艾倫（輻射）帶

太陽風接近地球時，帶電粒子受地球磁場影響而改變運動方向，且多被侷限在赤道上方兩個輪胎狀的區域，分別為距地表 2,000 至 5,000 公里處的內輻射帶與 13,000 至 19,000 公里處的外輻射帶。范艾倫帶內的帶電粒子密度特別高。當太陽發生磁暴時，地球磁層受擾動變形，侷限在范艾倫帶的高能帶電粒子大量洩出，並隨磁力線於地球的極區進入大氣層，產生大量的極光。

當太陽風的帶電粒子接近地球時，受地球磁場作用影響，會沿著磁力線螺旋而行，在地球外側形成一層層的帶電粒子層，無法到達地球表面。在地球磁層內有兩個環狀區域的帶電粒子密度特別高，稱為**范艾倫（輻射）帶**（圖 1-5），由物理學家范艾倫博士在 1959 年發現而得名。部分的帶電粒子也會沿著磁力線，闖入南北極區上空進入大氣層激發空氣粒子，產生霓虹光彩豔麗的極光（圖 1-6）。金星與火星幾乎沒有磁場的保護，使得生命發展受到極大的限制。

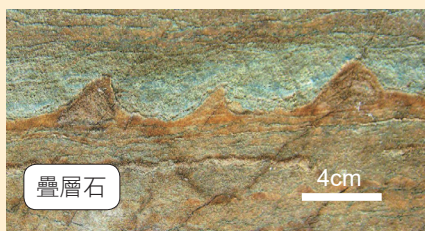
## 1-1.4 初期的地球

46 億年前地球形成之初，熾熱熔融，樣貌與今日模樣大大不同。在過去的時間裡，地球的樣貌一點一滴的改變，形成地殼、大氣與海洋，而後出現生命與其繁衍演化。

### 地球早期的歷史

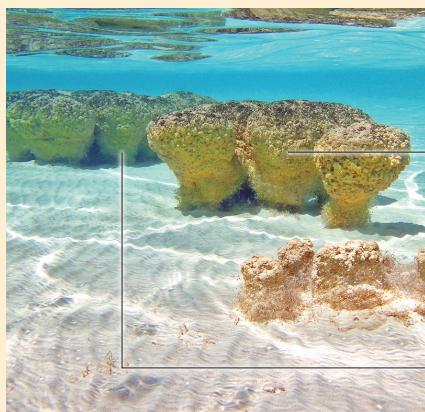
目前關於地球的初期演化史多屬推測，缺乏直接觀測證據。一般認為，初期地球表面為熾熱的熔融物質。此熾熱狀態可能延續數億年，隨後溫度逐漸下降，地殼才形成。

延伸閱讀

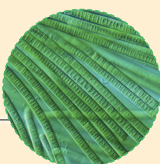


疊層石

目前地球最古老的疊層石（距今約 37 億年），發現於格陵蘭伊蘇阿表層地殼岩石中。



現生的疊層石外觀與疊層石的橫切面外觀。



疊層石是由藍綠菌與泥沙混合形成的層狀構造。

藍綠菌（藻）在顯微鏡下呈現藍綠色而得名。

## 大氣的演化

在地球形成過程中，來自於太陽星雲的氣體氫、氦、甲烷與氨，稱為原始大氣。太陽風與早期地球的環境溫度，使這些原始大氣脫離地球引力。此時，熾熱地球內部所釋放的氣體，快速的累積成為新的大氣，稱為次生大氣。這些釋出的氣體主要成分是水氣（約 70 ~ 80%）、二氧化碳（約 10%）、二氧化硫和氮等氣體（共約 10%）。

隨著地球溫度降低，水氣凝結成水滴而落下。初期落下的水滴，因地表仍處於較高溫

狀態，旋即蒸發返回大氣，直到地表溫度下降，雨水始積聚於低窪處，逐漸形成地球水圈（海洋、河川、湖泊）。約在 40 億年前，海洋即已形成。

最初的海洋溶解了一些岩石風化的產物，也溶解了大氣中的二氧化碳與其他易溶於水的氣體。溶於海洋中的二氧化碳與鈣或鎂離子形成碳酸鹽類沉澱於海床中，部分大氣中的二氧化碳也會與地表的岩石發生化學反應，形成化學風化產物。

生物作用亦改變大氣組成。目前發現最早行光合作用的生命有機體（藍綠菌），約出現在 37 億年前，其生命遺跡以疊層石的形式存於地層中。這些原始生物，將溶入海水中的二氧化碳轉化成氧氣。當氧氣濃度足與海水中的鐵離子反應，形成的氧化鐵沉澱，再經過地質作用成為帶狀鐵礦，約在二十多億年前地球有大量帶狀鐵礦形成（圖 1-7）。

光合作用產生的氧氣逸入大氣，使大氣中氧氣含量增加，並逐漸形成臭氧分子。約在 4 億年前，臭氧分子濃度已能有效吸收紫外線，這是日後海洋生物得以登陸的關鍵因素。氮氣不易與其他物質形成化合物，也不易溶於水中，氮氣在大氣中的比例逐漸提高，成為最主要的成分。



圖 1-7 產自澳洲西部卡瑞吉尼國家公園的帶狀鐵礦層。