

地球生物能否耐外太空的生活

何耀坤

台南市私立光華女中

去年(1989年)八月二十五日美國太空船航海家二號(Voyager 2)極接近海王星,該太空船於1977年八月二十日發射入太空後,這一次可謂其第十二次生日的祝福。航海家二號曾於1979年和木星會合,於1981年和土星,1986年和天王星會合,將各衛星照片和錄影帶送回地球,美中不足是沒有太空人同乘。美國和蘇俄太空船登陸月球時都有乘太空人,又帶回月球的岩石和其他資料。

以現在的科學技術,太空人乘太空船到太陽系的各行星有許多困難。例如人在太空中的生存問題,如氧、水和食料的供應,如何克服輻射線,高溫和低溫,太空人的適應及能持續的時間問題。現在的宇宙科技能克服這些困難到什麼程度,將來能不能?本文根據人造衛星的生物實驗,並以理論推理人類將來能否到更遠的恒星,甚至小宇宙。

一、從宇宙回來的人

1988年12月29日蘇俄太空人由利·洛馬尼科,創下太空生活327天新記錄返回基地。蘇俄以電視報導其消息時,洛馬尼科如嬰孩躺臥在太空艙不能起來,因為他長期在無重力環境,其肌肉廢用而萎縮。我們在地球上的人時常有重力之負荷,所以肌肉常呈緊張狀態。若無重力時無此需要,所以肌肉就會萎縮,如洛馬尼科的腳肌肉萎縮了15%。

太空人的肌肉習慣於無重力狀態後,返回地球時再次承受重力負荷,如衰弱的老人背上忽然加上70公斤的重物,所以無法起來。長期太空生活後不但肌肉連骨骼也會變弱。我們的骨骼時常新陳代謝形成新物質,骨骼發育必需有適當的刺激,例如日常生活有重力負荷和肌肉緊張負荷是其刺激。在太空上這些負荷頓減,所以骨骼也發生廢用萎縮,尤其發生所謂「疏鬆化現象」。如老人骨骼因為鈣質流失,裏面產生空洞,所以即使大量補充鈣質營養也無法補救。尤其在骨骼適性負荷呈喪失狀態,鈣質必需量減少,怎樣供應鈣質也無法吸收。

同樣現象在循環系也會發生,如我們血液也有重力作用,所以必須抵抗重力將血液壓至心臟,血液才能循環。若在無重力狀態時沒有其負荷,血液輕壓就可循環,因此心

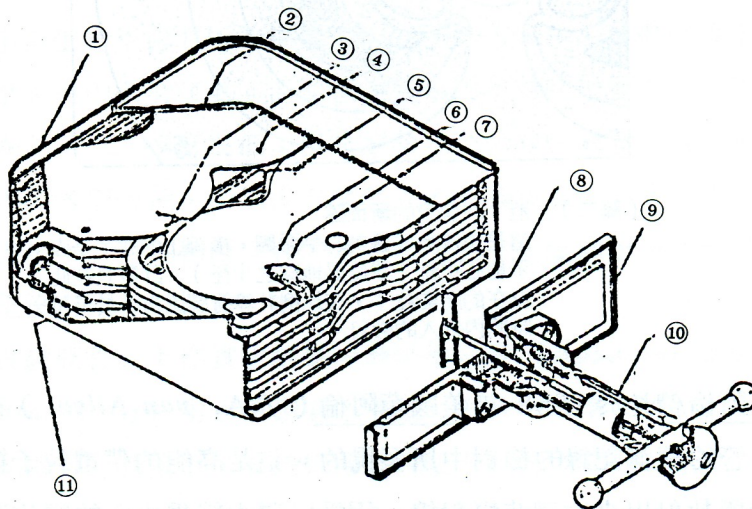
臟血管系機能會顯著低落，連心室容量也變小。爲了血液重力，我們的腳裏貯存約二公升血液，但在無重力下就沒有此血液之需要。因此使上肢血液量增加，心臟搏動次數減少，血球數減少，是一種適應太空生活的現象。在太空生活若不降低心臟血管系機能，必產生能力過剩。

相反地以此狀態返回地球時，在重力負荷下不能保持充分的循環，會患腦貧血、頭暈、失神，所以從太空返回後不能隨時起來，原因是肌肉衰弱，加上循環不全的問題。此外在無重力狀態時，內分泌系，免疫系也會顯出大的變化。總而言之，在太空上人類的基本生理會變化，那麼人類能適應多少，這些問題相關到將來建設太空基地、太空工廠等長期的太空工作，以及火星探索等長期飛行。

美國及蘇俄長年作這方面的研究，除了人類以外，也把各種動物和植物隨太空船帶上太空，實驗其生理變化。也帶上試驗管內人類的各種培養細胞，以細胞單位來觀察在無重力環境下的影響，現在已知在太空上細胞也會產生各種變化。

二、美國傑尼米三號衛星的實驗

1965年3月23日在美國佛羅里達州的甘內迪太空中心發射傑尼米（Zemini）三號衛星，裏面裝載有人類血球細胞和放射線（放射性 P^{32} 放射 β 線）的小裝置（如圖一）。

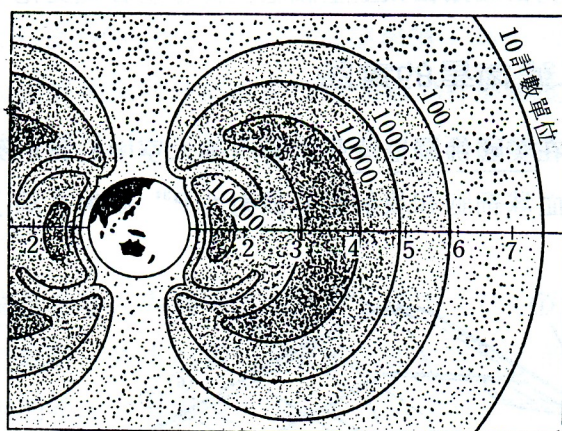


（圖一） Zemini 實驗使用的 ^{32}P 照射裝置內部構造

- ① 外套容器。② 容器側板。③ ^{32}P 線源圓板。④ 線源台板。
- ⑤ 血液容器。⑥ 血液。⑦ 螺絲栓、栓幹中的玻璃棒線量計。
- ⑧ 測定器整套。⑨ 容器上側板。⑩ 照射操作機構。⑪ 對照（非照射）血液容器。

該人造衛星被送上軌道後，太空人押實驗裝置的把手時，細胞就被放射線照射，約20分鐘，同時在地球太空中心也有完全相同實驗裝置，也照射20分鐘放射線，後來將兩者互相比較。這實驗的目的是比較試驗在無重力狀態下受曝射放射線，和地上曝射的效應。蘇俄科學家曾經報告，生物細胞在太空中的曝射效應較強和地球上的有很大的差。傑尼米十一號曾作同種實驗，尤其以細胞內染色體被切斷頻度為指標，結果在太空中的照射效應（染色體異常頻度）和地球上相等，這實驗算結束。

離地球面不遠地方有一放射能雲，稱范·阿倫帶（*van Allen belts*）。太陽神計劃中太空人到月球後返回地球時，必須經過這放射能帶。這雖然不是很強的放射能，但若無重力之下的放射線曝射效應比地球上達數十倍強時，太陽神計劃必須要有大的改變。由傑尼米實驗證明，不必考慮這問題，因此太陽神計劃如期完成。雖然如此，曾對參加太陽神計劃的太空人作過血液細胞的染色體檢查，但是都正常。



（圖二） 范·阿倫帶的斷面圖

這是包含地球磁軸的平面圖，橫線上的數字是表示地心距離（單位是地球之半徑）。計數是在此存在的高能粒子，在比例計算管裝置內，於單位時間內進入的數目。

所謂范·阿倫帶是於1958年美國范阿倫（*J.A. van Allen*）在人造衛星內所載的放射線計量管的觀測記錄的檢討中所發現的。這是高能帶電粒子繞地球兩極的磁力線做螺旋運動所放射出來的同步輻射線，因為以磁力線為中心的螺旋運動，所以放射帶呈環狀，尤其放射特強的有兩處。一處自南緯20°至北緯20°的高空，從地球面高度約3000至4000公里；另一處在南緯50°至北緯50°之高空，高度在13000至20000公里，兩帶的放射強度以蓋克（*Geiger*）計數管量測都在一分鐘達10000計數單位。外

帶的帶電粒子是由太陽風來的帶電粒子受磁力線捕獲的，內帶的帶電粒子是宇宙線進入地球大氣而造成的中子的崩壞。這種放射能帶在木星、土星、天王星及海王星都有，但在水星、金星、火星未發現。

三、生物的太空實驗

關於地球生物在火星環境或其他的宇宙環境之耐性及適應性之研究，是探索宇宙的基礎而有實際的意義。下面所記述是爲了預備火星探索，曾經由美國國家航空及太空總署（NASA）的太空生物學研究所所作過的經海盜號（*Viking*）太空船的研究。

其基本問題是地球生物的形態，生理及生物化學特性對異常環境的耐性和適應性之關係，例如試驗怎樣的代謝型式才能耐火星環境？可能有兩點實際問題可提供火星生物的探查之參考。①能耐火星環境的地球生物，若實驗儀器到達火星時要特別小心。②如果沒有能克服火星環境的生物，對攜帶的儀器之滅菌問題不必考慮。於不久的將來，在火星上建造人類基地的時代將來臨，預備研究已開始。在地球自然界中也許沒有能耐火星環境的實用植物，所以在火星基地上建造大規模的和地球同樣環境是困難的。如果改變一點火星環境的話，也許可使植物繁殖，那麼可利用於火星基地上，即是選擇在火星上可栽培的植物。

（一）細菌方面

據NASA的宇宙生物學研究所的楊格（*Yung*）等的報告，他們假設下列環境可能相近火星環境。火星大氣中沒有氧氣。溫度在一天中四小時三十分左右是零度以上，最高到25°C，其餘在零下75°C。氣壓很低，但是細菌在1/100氣壓下或一氣壓下一般不受影響，在實驗時因爲考慮方便，所以沒有減壓。火星表面很少有水地方，可能局部地方有水，所以假定火星上有足夠細菌生存的水。如果火星上全面沒有水的話，那麼地球的生物在火星上完全沒有生存的機會。

按照這樣的實驗條件之下作實驗結果，地球的細菌 *Aerobacter aerogenes*，和某一種的 *Pseudomonas* 都十分能耐這種環境下增殖。當然在零下75°C時完全凍結不能增殖。在這種凍結和融解之反覆下，有些細菌會死亡，但是大部分可生存，若溫度升高到零度以上時再增殖。在這種試驗之下，有許多細菌無法忍受，如 *Sprillum intersonii* 和 *Rhodopseudomonas gelatinoso* 均死亡。

這種實驗未有廣汎試行，所以有關細菌的性質，如細菌的形態構造，尤其是代謝形式對火星環境的耐性及適應性，應在更廣汎的研究後才能確定。這種研究結果，一方面

能夠明白微生物對火星環境的適應性，對探究火星生物有重要參考。另一方面某些地球微生物也應該能適應火星環境，但要假定火星上有水。因此將儀器送達火星上時，要完全殺菌使呈無菌狀態才行。

由於火星探索的海盜號探查工作，對火星表層的條件明白了如下。火星大氣下層之組成有 CO_2 95.32%， N_2 2.7%， Ar 1.6%， O_2 0.3%。火星的極冠一直被認為是乾冰，而且在夏季也有，因此可知火星上有水之存在。

於太空生物研究方面，近年來對在極端環境之下微生物能否生活，有如下結果。於細菌之中，有的在平常溫度時不增殖，而在 70°C 左右就增殖很活潑，也有能耐 90°C 的好熱細菌。也有能耐強酸（ PH 1 以下）的好酸菌，也有耐強鹼（ PH 12 以上）的好鹼菌。另有好低溫菌（ 20°C 以上不能增殖），也有在食鹽的飽和溶液中能增殖的極好鹽菌，在深海的好高壓菌等，均為研究的對象。有人認為在火星上可能有相似的好低溫菌。

（二）高等植物

在高等植物方面，根據協和·卡比得（*Union Carbide*）研究所的基格爾（*Giegel*）等研究，他們在去除大部分空氣而以氫置換的環境中，選出能在該環境內生存的植物，尤其在一天內能否耐16小時— 30°C ，8小時 22°C 。又選出極缺乏水的環境中能生存的，或相近火星環境也能免枯死的植物，其中有黴類、酵母、芥菜種子等。

四、關於太空生物的推論和可能性

所謂地球型生物是以水和碳化物為基礎的，但是我們也可以想像和地球生物完全不同的生物。有人假設在還原性並低溫的天體中，可能有氨的海。如果那裡有生物，可能有有機物用氫還原，給甲烷和氨，而得能量。也有人假設以矽代碳，以砷代磷，以硫代氧的生物。現在地球上生物之中一部分也有如此的，如硫菌和鐵菌。可是將地球生物體的碳全部以矽來置換，這是無法想像的。因為矽原子和矽原子的直接結合 $\text{Si} - \text{Si}$ ，對水較弱，對含水的生物體，無法想像這情形。又假設兩個矽原子中間有氧原子的結合 $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ 為基礎的生物，那麼這種生物在那種環境，以如何的反應獲得能量，這也難以想像的。因為矽和碳都是四價，能造成大分子。化合物和碳化合物不同，對熱較強，適於高溫，可是這看法也許太天真。

如果以認真態度來假定以矽為基本的生物，那麼其遺傳資訊的傳遞和表現，以及能量的方向和轉變方式到底以什麼化合物來擔當，而在太空環境中如何配合，這些問題都

要考慮的。

我們從來沒有聽過有這麼周詳假定的非地球型生物之報告，這些課題在實驗科學上必須要有相當的基礎，免得變成無意義的空論。現在實驗科學完全用地球生物為中心來討論，這是理所當然的。

最近又有不少事實實驗證明，地球生物的基本構成之成分，如胺基酸、嘌呤、塩基、醣、碳化氫的連鎖，在外太空環境也能形成。日本富士通研究所於去年九月，借用蘇俄的太空囊佛頓 (*photon*) 實驗獲得在地球上無法得到的良質蛋白質結晶。這實驗是利用太空囊周轉地球十天間用從牛胰腺抽出的蛋白質核糖核酸酶 S (*Ribonuclease S*) 使結



(圖三) 在太空中生長的核糖核酸酶S的結晶，中央的結晶長度為 $0.7mm$ 。

晶並生長，用降落傘回收。共8支容器中有1支，結晶成長 $30.7mm$ (圖三)。用X射線繞射解析發現，其結晶比地球上所得結晶排列更整齊，立體構造更清楚，將來對人造蛋白質之應用很有希望。在太空中具有和地球相近的物理條件的天體，已證明廣義的地球生物演化的可能性。

結 語

太空生物學研究剛開始，所以對地球生物的基本特性，地球上的生命起源和演化，以宇宙環境及地球演化的必然的一環而理解，路途尚遠。人類太空船到太陽系各行星，或在行星上建基地，須要克服的困難很多。地球生物移到太空也要克服許多生活條件，因為太空環境對生物來說是極端的，雖然有許多實驗，但是都屬於初步，路途還遠。

主要參考書

Carl Sagan : Cosmos Ballantine Books (1985)

Geoffrey Bath : The State of the Universe (1979)

橫尾武夫： 宇宙を解く (恒星社)

鈴木敬信： 天文學辭典 (地人書館)

(上承第21頁)

六、教學上的應用

1. 此反應可提供高中化學課程中小班級的示範實驗，亦可錄製錄影帶放映或用投影機來投影示範，作為大班級教學的說明，是一個很有趣且具挑戰性的教材。

2. 與這項實驗有關的化學概念包括：溶液蒸氣壓、亨利定律、化學反應速率、化學平衡等。

3. 此反應可改變某些變因，如酸鹼度、反應物濃度、容器形狀、鹽類的加入等，以提供高中或大專學生專題研究的題材。

七、參考資料

1. Kaushik, S.M., Yuan, Z., and Noyes, R.M., *J. Chem. Edu.*, 63(1), 76 (1986).
2. Smith, K.W., *PhD thesis, university of Oregon*, (1981).
3. Smith, K.W., and Noyes, R.M., *J. phys. Chem.*, 87, 1520 (1983).
4. Volmer, M., "Kinetik der Phasenbildung," *steinkopf, Leipzig*, (1939).
5. Smith, K.W., Noyes, R.M., and Bowers, P.G., *J. Phys. Chem.*, 87, 1514 (1983).
6. Kaushik, S.M., and Noyes, R.M., *J. phys. Chem.*, 89, 2027 (1985).
7. Noyes, R.M., *J. Chem. Edu.*, 66(3), 190 (1988).