

科技訊息

基因譜的資訊爆炸

從兩年前開始，生物基因譜測定和發表的速率大約是每3個月一譜^①，但過去幾個月內，已經上升到每個月一譜左右，看來在今後數年間這速率還會繼續甚至增加。

我們在這一期報導的基因譜，是屬於兩種有特殊重要性的生物：其一是長1,667,867bp（昔酸對）的幽門螺旋菌（*Helicobacter pylori*），它在十餘年前才被發現是胃潰瘍的主要成因^②；其二則是生物學者、衛生部官員乃至一般人所最熟悉的大腸桿菌（*Escherichia coli*），它一方面是最普遍的食道感染因素（最近特殊猛毒類型的出現更造成多宗死亡症例），另一方面，由於其生長迅速，又是生物學家所常用以作為生物功能和結構研究的所謂生命模型系統^③。它長達4,639,221 bp的基因譜之測定恰好為這些研究提供了基礎藍圖資訊。

事實上，除了這兩個正式在科學期刊上發表的基因譜之外，像枯草桿菌（*Bacillus subtilis*）和引起關節炎（Lyme disease）的螺旋狀菌（*Borrelia burgdorferi*）的基因譜也都已經

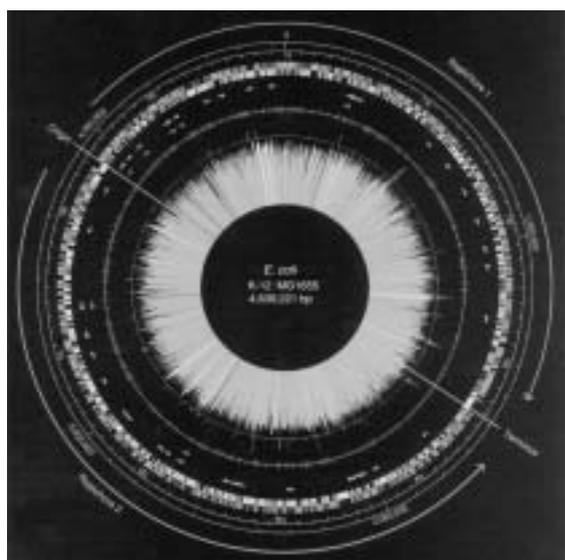


圖1 大腸桿菌(K-12 MG1655類型)環狀DNA的整體結構示意圖。基因譜的87.8%是複製蛋白分子的傳碼基因，約11%是控制和其他功能段，無作用的重複段只佔0.7%。

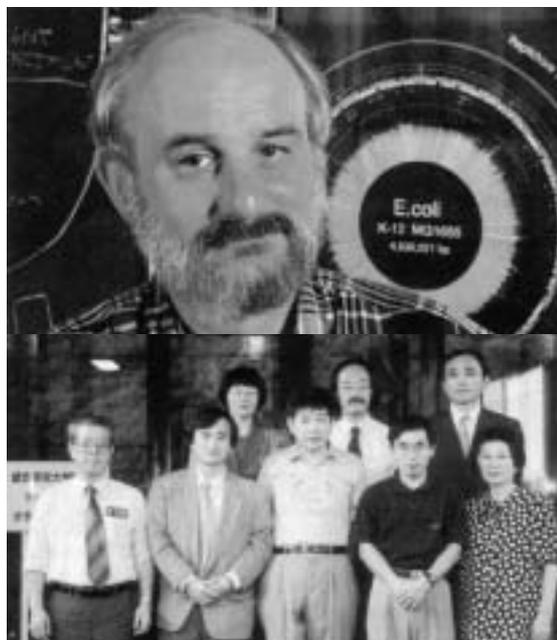


圖2 十年競爭中，布勒那(上圖)比日本對手崛內隆(下圖前排正中)僅僅快一星期。

在會議或互聯網上發表，所以迄今已知的基因譜已經達到12個。預期今年之內將發表的，還有引致肺結核、瘧疾、沙門氏病、癩瘋、腦膜炎等多種重要疾病細菌的基因譜^④。我們在上一期科技訊息中所說的基因譜「進軍」，已經成為名副其實的「資訊爆炸」了。

在這一階段的「爆炸」之中，基因譜學者的注意力，已經從原來認為最重要的人類，暫時轉移到細菌上去。原因很簡單：在目前，這是進展最迅速而效益又最大的領域。高等生物基因譜的解破，會需要比目前效率更高的自動化定序機器（automatic sequencing machine），和更精巧迅速的資料處理軟件。但這只不過是時間問題而已，在二十一世紀初，一個資訊量高得多的第二階段「爆炸」是必然會發生的。

但屆時中國的科學家將會站在那裏呢？目前基因譜的破解，絕大部分是歐美實驗室，特別是「粉碎法」發明者樊特（J. Craig Venter）的基因譜研究所（TIGR）的工作。唯一例外似乎是大腸桿菌基因譜：首先發表此譜的雖然仍是威斯

Reprinted with permission from *Science* 277, 1432 (up); 1434 (down). Copyright 1997 American Association for the Advancement of Science.

Reprinted with permission from *Science* 277, 1455. Copyright 1997 American Association for the Advancement of Science.

康辛大學的布勒那 (Frederick Blattner) 小組，但日本國立基本生物研究所的堀內隆 (Takashi Horiuchi) 小組在持續十年之久的劇烈競爭之中最後只不過是比美國對手慢了僅僅一星期而已。在整個中國科學院的經費最多只能與西方一所主要大學相比 (兩者都屬每年2至4億美元數量級) 的情況之下，中國科學工作者有足夠資源站到這場將生命解碼的競賽的起步線上去嗎？這一前景，是十分令人憂慮的。

① 見本刊 42, 88 (1997年8月) 的介紹。

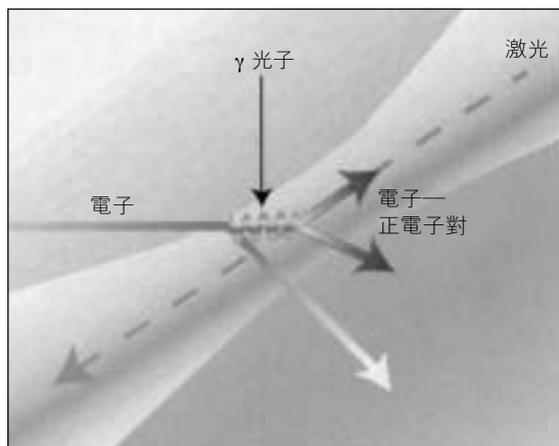
② Jean-F. Tomb *et al.*, *Nature* 388, 539 (7 August 1997).

③ Frederick R. Blattner *et al.*, *Science* 277, 1453 (5 September 1997).

④ Elizabeth Pennisi, *Science* 277, 1432, 1433 (5 September 1997).

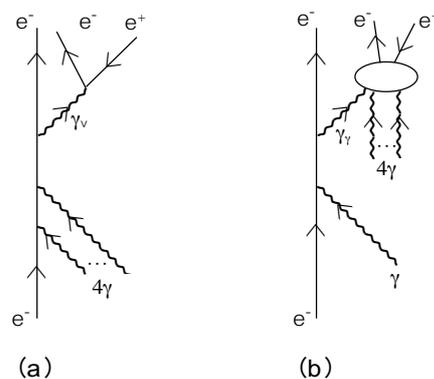
從光創造物質

能量守恆，但物質卻非不滅——例如電子和正電子 (positron) 碰撞，二者就會變為一對無質量的高能光子，或即 γ 射線。這所謂「湮沒」(annihilation) 過程，是大家熟知的。倘若時光能夠倒流，那麼「湮沒」就應當反過來，成為光子互相碰撞而產生電子—正電子對的「創造」(creation) 過程了。



激光束(來自右上角)與電子(來自左方)碰撞後所產生的高能 γ 光子再次與激光光子碰撞而產生電子對。

事實上，光子和電子之間最主要的電磁作用的確是服從所謂「時間逆轉守恆」(time reversal invariance) 定律的，而早在30年代，光子互相碰撞產生電子的或然率就已經計算清楚了①。但60年來這一過程的實際觀測卻一直未能實現。這並非由於過程發生或然率低 (它大體上和電子對湮沒的或然率相若)，而實在只是由於實驗室中所能產生的光子束或則密度高而能量低 (例如激光)，不足以「創造」電子對，或則能量夠高而密度低 (例如由電子束與固定靶碰撞產生的 γ 射線束)，沒有足夠的發生或然率來產生可觀測事例而已。



強烈激光與電子束對撞後產生電子對 e^-e^+ 的機制有(a)、(b)兩種：(a)是電子先同時與4個激光光子作用；(b)是受電子逆散射的高能 γ 光子與4個激光光子作用。實驗與理論的比較證明(b)是正確的。 e^- 、 e^+ 、 γ 、 γ_v 、 γ_r 分別指電子、正電子、激光光子、虛光子和高能 γ 光子。

這一困難，現在似乎已經由一組在史丹福大學線性加速器中心 (SLAC) 工作的物理學者在無意之中解決了②。他們將一束高度聚焦 (寬 6μ) 的高功率 (約 5×10^{11} W) 激光脈衝與加速器所產生的高能聚焦電子束 (寬 30μ) 脈衝迎頭碰撞，從而測量到背景事件以上的106顆正電子。這一相當大數目的電子對之生成可以有兩種不同解釋，但從模擬計算與實驗的比較顯示，只有下列解釋是合理的：激光的低能光子受電子撞擊而逆行，並且大大增加能量，成為 γ 光子。這些逆行的高能 γ 光子在與原激光脈衝之中四個或以上光子再碰撞的時候，便會產生電子對。

這一實驗雖然並沒有可見的現實用途，甚至也並不代表理論上的新發現，但卻應該再一次提起物理學界對量子電動力學 (quantum electrodynamics, 或QED) 這個深奧而精妙的理論以及其極之精確的預測的興趣。這一理論雖然在50年代就已經完成，被寫成教科書，但它所預測的一些微妙效應 (例如光子之間的散射作用) 是至今還因為太細微而未能觀測的^③。這些效應對物理學者永遠有強大吸引力，因為它們得到實證的話，那麼便再次顯現了由數學表達的自然規律所能達到的奧妙境界；而萬一它們與理論之間出現了哪怕是極微小的偏差，那麼便將會是又一個新的、同樣令人興奮的大發現的開端。

① G. Breit and J.A. Wheeler, *Physical Review* 46, 1087 (1934).

② D.L. Burke *et al.*, *Physical Review Letters* 79, 1626 (1 September 1997).

③ 有關量子電動力學的一本經典教科書是J.M. Jauch and F. Rohrlich, *The Theory of Photons and Electrons* (Addison-Wesley, 1955)。該書第13章就是專門討論光子—光子碰撞，包括其散射與電子對之產生的。

粗糙更勝平滑？弔詭的湍流阻力

流體動力學至今已經有將近300年歷史。然而由於流體基本上是高向度乃至無限向度系統，所以即使在現代強有力的分析數學、精確實驗和超級電腦計算三者的合力攻擊下，它還是保留了許多無法完全解破的領域，在其中湍流 (turbulent flow) 就是最顯著的一個。

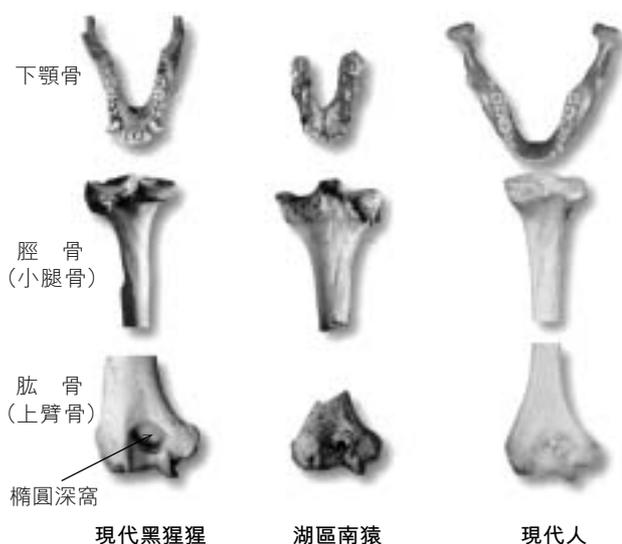
很明顯，減低湍流與流道面之間的阻力 (drag) 有很大實際應用價值——飛機外殼或者輸油管內面的設計就是很好的例子；跑車或者滑浪板表面的設計則是更普通生活中的例子。從常識出發，如果表面越光滑，那麼對湍流的阻力似乎應當越小。這個直覺想法現在已經站不住了：實驗證明，正好與直覺相反，粗糙勝

於平滑：在截面為扁長方形的長管道中，倘若管道面刻上大量隨機分布的微細V形隆凸 (protuberances) (V的尖頂對上流，中軸與流向一致)，那麼湍流阻力可以減低12%左右^①。這「反常」現象的解釋似乎是和管道面2mm以內的微細旋渦所形成的半規則結構有密切關係，但確切原因恐怕還要再過相當時間才能闡明。而這一發現是否有很大實際工程用途，目前也還不能確定。

① L. Sirovich and S. Karlsson, *Nature* 388, 753 (21 August 1997).

直立的湖區南猿

在過去四、五年間，古人類學者先後在東非發現了湖區南猿 (*Australopithecus anamensis*，約3.9-4.2百萬年前) 和拉米度地猿 (*Ardipithecus ramidus*，約4.3-4.5百萬年前) 這兩種更早於亞法南猿 (*A. afarensis*) 的古人猿化石，幾乎可以



湖區南猿的U形下顎骨與黑猩猩相似，而與人不同(上)；但它的脛骨頂端不成T形，而是由於有海綿狀軟骨組織而擴大，顯示需要承受直立行走的衝擊(中)；此外，它肱骨底端缺乏與尺骨接榫的橢圓深窩，顯示其臂彎節的穩定不那麼重要，也就是不如猿猴般以指節踞地作四肢行走(下)。就這兩點，它都是與直立行走的現代人相近。

說已追尋到人和猿先祖的分支點①。現在我們在上圖複製的，便是湖區南猿發現者歷奇 (Meave Leakey) 和獲克 (Alan Walker) 所提供的這一南猿已經能直立行走的證據②。

① 見下列介紹：本刊26，95(1994年12月)以及31，122(1995年10月)。

② M. Leakey and A. Walker, *Scientific American* (June 1997), 60.

銅板掉到水裏之後

一個銅板掉到水裏，它有多少種墜落的模式？這些模式由甚麼決定？這個似乎十分簡單但其實又十分麻煩的問題(其麻煩處是任何企圖拿起筆來作計算的物理學者都會立即察覺到的)，現在已經由科羅拉多州立大學和密芝根大學的一組物理學者用實驗方法以及高度非線性動力系統相空間的概念給出答案了①：在液體中下墜的光滑圓碟一共有四種運動模式(圖1)，而這模式不論起始狀態如何，都是由碟的無量綱轉動慣量 I^* ($=I/\rho_f d^5$ ，其中 I 是碟轉動慣量， d 是碟直徑， ρ_f 是液體密度) 和下墜運動

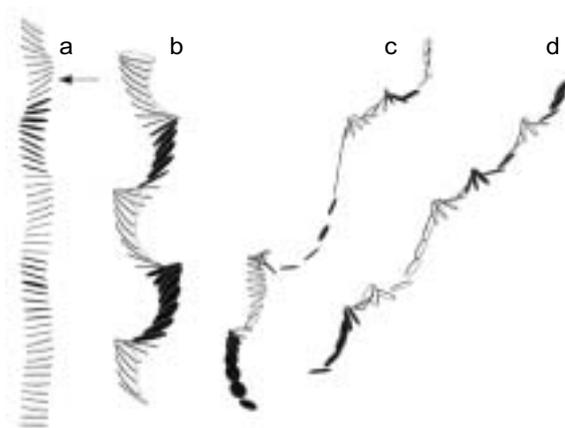


圖1 圓碟在液體墜落的四種運動模式：a：穩定墜落，最初由於起始角度而產生之擺動在箭嘴所示點逐漸消失；b：有明顯周期之擺動墜落；c：紊亂墜落，在幅度不斷增加之不規則擺動以及翻滾兩種模式之間來回變化；d：翻滾墜落加橫向漂動。這些都是以錄像機從圓碟側面拍攝，然後以電腦描繪外形的實際實驗情況；黑和白分別代表圓碟的兩面。

雷諾數 $Re (=Ud/\nu)$ ，其中 U 是平均下墜速度， ν 是液體的動態黏度) 這兩個數量決定的。

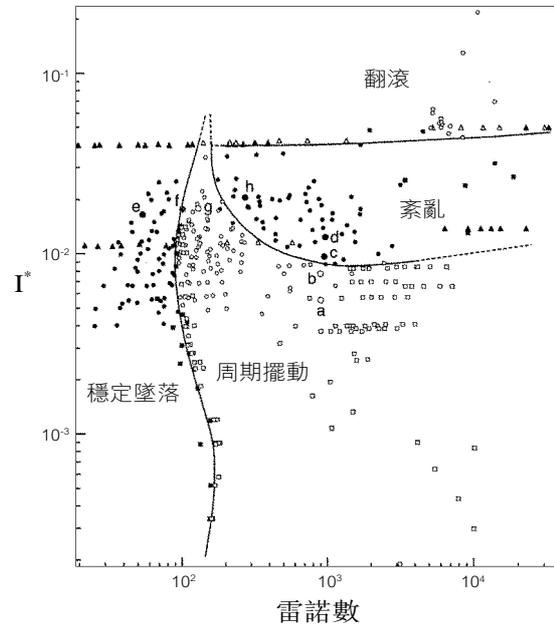


圖2 墜落圓碟運動模式的相圖(phase diagram)。圖中各種形狀的數據點代表不同實驗的結果，空心符號代表周期性擺動或翻滾模式，實心符號代表其他兩種模式。不同模式之間的分界線係根據數據點繪出。

從圖2所顯示的動態相圖可見，倘若碟極重或液體極稀薄(即 I^* 極大)，那麼下墜運動是連續翻滾，即除了有橫向位移外幾乎不受液體阻力影響。另一方面，倘若碟相對極輕(即 I^* 極小)，則在黏度大(即 Re 小)時，下墜是穩定的；而在黏度小的時候，運動則成為周期性擺動。這些大體上都可以從直覺得到了解。特別的是，在碟的相對轉動慣量 I^* 大約處於0.01-0.04這個數值段，而雷諾數 Re 又相當高的時候，上述周期性擺動卻變為紊亂(chaotic)運動，也就是說它是一連串幅度不斷增大的擺動以及翻滾這兩種運動的不規則交替。它雖然還是決定性的，但實際上已經不可預測了。這樣，在日常事物中，又出現了一個顯著的紊亂系統的例子。

① Stuart B. Field *et al.*, *Nature* 388, 252 (17 July 1997).