

科技文化

# 尋找夏娃 ——現代智人起源的辯論

◎ 李逆熵

在世界上每個廣大區域中，現存哺乳動物都是和由進化而來的同區物種密切相關的。因此，非洲很可能是和大猩猩以及黑猩猩有親屬關係的絕種猿猴的故居之地；而這兩種動物既然是人類的近親，那麼我們的遠祖發源於非洲大陸的可能性也比其他地方為大。但這問題單靠猜測是沒有用的。

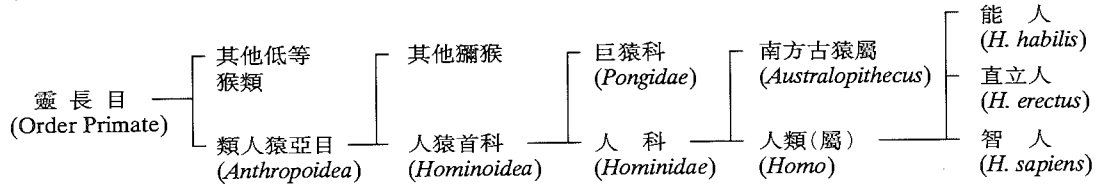
達爾文：《人的世系》<sup>①</sup>

從達爾文作出以上預言至今，已經超過120年。在這一個多世紀間，由《物種起源》(*The Origin of Species*)所引起的思想風暴久已止息，由嚴復《天演論》提出的「物競天擇」觀念，也早已在中國傳統思想的樊籬上衝破缺口，為新文化運動鋪平道路。然而，在同一時間內，我們所認識的人類進化歷程雖然已經從少數化石所提供的斷續線索變為建立在詳確證據之上的學問，但在古人類學者之間，有關這歷程的爭論卻反而愈趨激烈。這弔詭的現象一方面顯示人類起源始終是敏感問題，另一方面，卻也正顯示出科學進步的特有模式。

## 一 人類的遠祖

在《人的世系》出版後半個世紀(1871-1921)，我們對人類遠祖所知，只是限於荷蘭醫生杜波斯(Eugene Dubois)所發現的爪哇人(1891-92，當時稱為「直立猿人」*Pithecanthropos erectus*，現在定為「直立人」*Homo erectus*)以及屬

人和猿猴的分類共有目(order)、亞目(sub-order)、首科(super-family)、科(family)、屬(genus)和種(species)等六個不同層次：



其中智人可以分為現代智人(*H. sapiens sapiens*)和古代智人(archaic *H. sapiens*)兩個亞種：直立人和能人是智人的直系先祖：南方古猿則是在進化過程中從人科分出來現在已經滅絕的另一支：而巨猿科則包括現代的黑猩猩(chimpanzee)、大猩猩(gorilla)和長臂猿(gibbon)等。

於「智人」(*Homo sapiens*)的尼安德陀人(*Neanderthals*)和羅得西亞人(*Rhodesians*)等三、五種化石而已<sup>②</sup>。由此而擬猜的人類世系，自然是十分粗略不可靠的。

在隨後半個世紀(1921-71)，這情況開始慢慢改觀，大量屬於人科(*Hominidae*)也就是人類遠祖的骨骼化石相繼在非洲和亞洲出現了<sup>③</sup>：

- 1925 達德(Dart)在南非湯村(Taung)發現小兒頭骨，定為非洲種南方古猿(*Australopithecus africanus*，簡稱*A. africanus*即非種南猿)。
- 1927 在周口店發現北京猿人，其後定為「直立人」。
- 1932 路易斯(Edward Lewis)將其其在印度所發現的一片上顎骨命名為拉瑪古猿(*Ramapithecus*)。
- 1936 布林 (Robert Broom) 在南非 Transvaal 發現粗健種南猿(*A. robustus*)。
- 1959 瑪麗·歷奇(Mary Leakey)在坦桑尼亞Olduvai峽谷發現波西種南猿(*A. Boisei*)。
- 1960-68 歷奇夫婦(L.S.B. & Mary Leakey)在同一地點發現介乎南方古猿與「直立人」之間的化石，由圖拜斯(Philip A. Tobias)定為「能人」(*Homo habilis*)。

這些人類遠祖的化石，大抵可以由地層斷定年代，以及由比較解剖學斷定進化次序，建立世系關係。例如從骨骼化石可以判斷大腦容量、直立行走姿態、手的掌握能力、犬齒退化程度等等所謂「人化」(hominidisations)的特徵：而不同類型石器的出現，和所謂性別異態(sexual dimorphism，即雌、雄二性體型相異)，則是使用工具和出現社會組織的跡象。由此可以知道，南方古猿已經開始採取直立行走的形態，但腦容量則只有現代人的1/3左右<sup>④</sup>(圖1)；石器的應用，從250萬年前的「能人」開始；至於「直立人」則相當於舊石器時代早期。在60年代古人類學家據此建立的人類世系<sup>⑤</sup>，其實已經和今日的理解相去不遠。

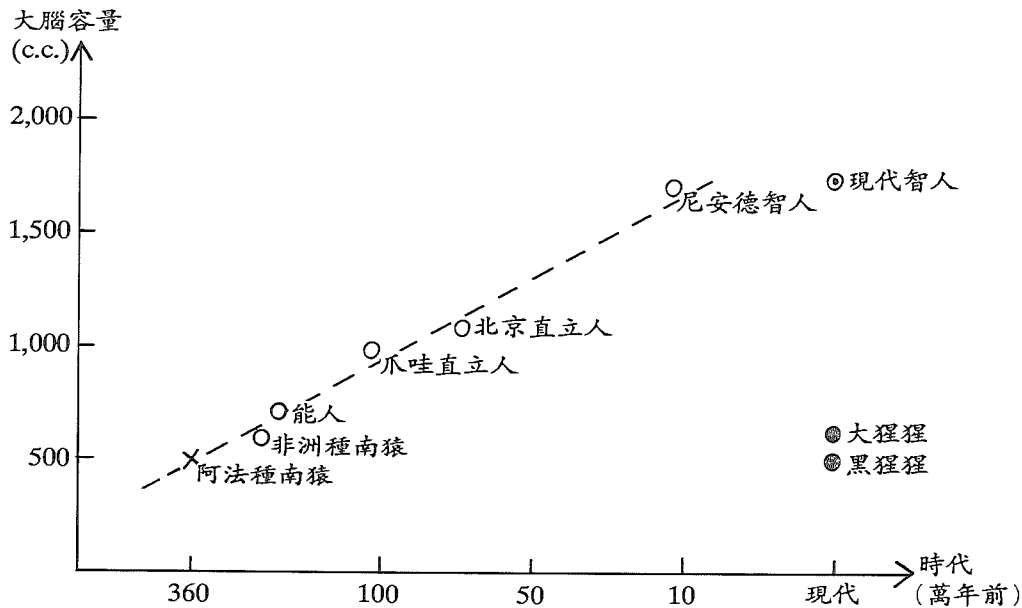


圖1 人類進化與大腦容量的關係。注意橫軸為年代之對數值，而且數據在10-360萬年間大致成直線。

據下列資料繪：G. Clark, p. 22表4資料，但阿法南猿(x)資料來自T.D. White et al, in R.L. Ciochon & R.S. Corauccini, p. 745腳註。

然而，這個世系並不完全：因為它僅僅是人類直屬遠祖，即所謂 *Hominidae* 的世系，卻沒有涉及現代人和巨猿各自先祖之間的世系關係：或者不同種族的現代人（即所謂現代智人 *H. sapiens sapiens*），譬如說中國人或印尼人，和各種不同的直立人，譬如說北京人、爪哇人或東非直立人，之間的關係。也就是說，它是被限制在所謂更新世（Pleistocene）早期和中期（約250-20萬年間）的。

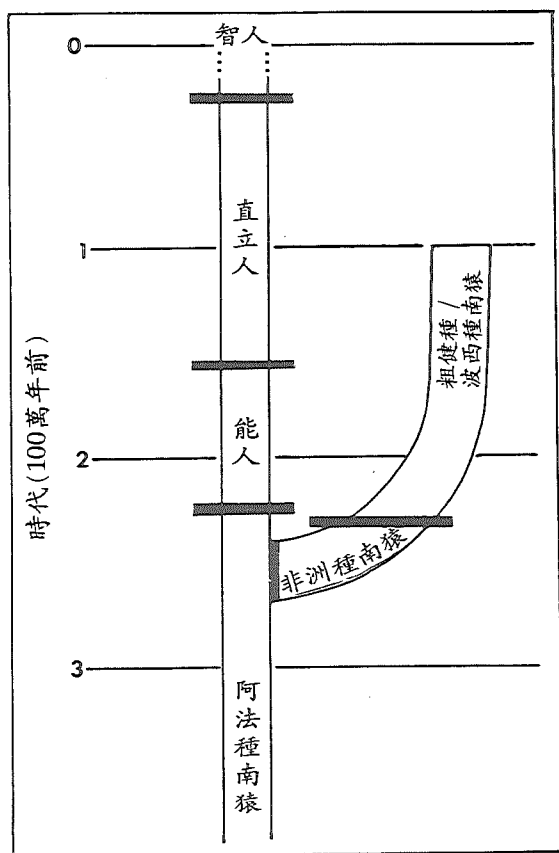
恰恰就在60年代末，分子生物學出現了。它立即就為古人類學家提供了一種最有力的檢定物種親疏關係的工具，令上述兩大問題的解決產生突破性進展。同時，它帶來的驚人結果，也在古人類學家之間，兩度引起激烈爭辯。

## 二 人猿之間

分子生物學第一個驚人發現是把人和猿分家的年代削減了四分之三。

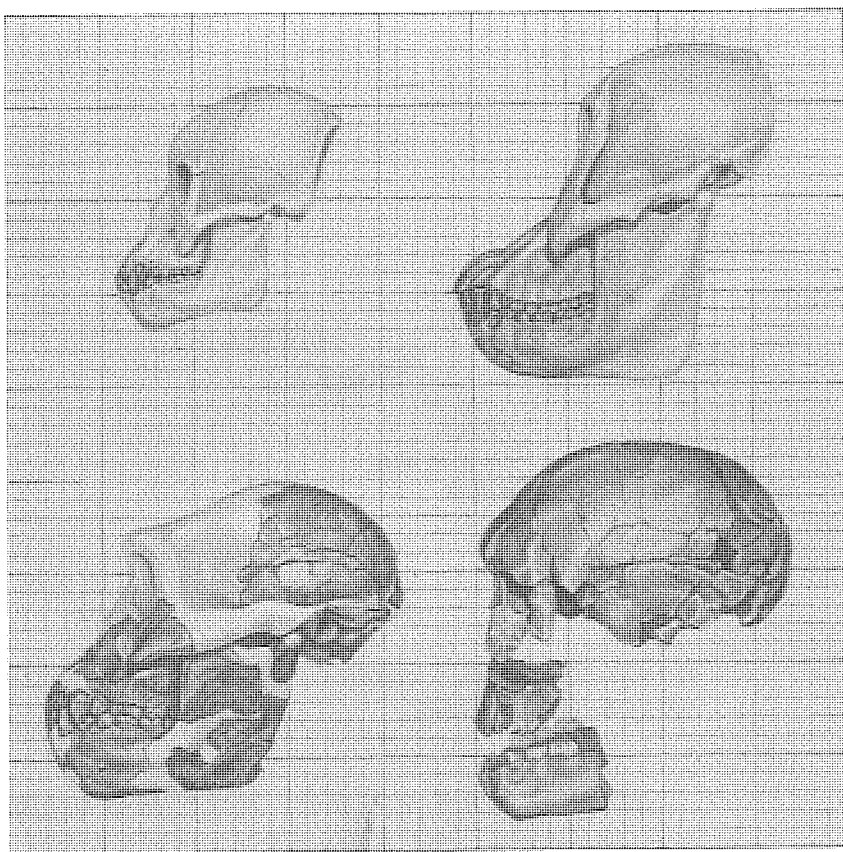
本來，從形態上判斷，古人類學家向來認為，首先在印度然後在亞洲許多地方發現的拉瑪古猿是人科和巨猿科分支之後才出現的人類直系始祖，因此人類起源於亞洲，而且人、猿分支，是2,500萬年（這是拉瑪古猿的年代）以前的事⑤。

可是，在1967年，加州大學柏克萊校園生化教授威爾遜（Allan C. Wilson）手下工作的沙里茲（Vincent M. Sarich）卻通過現代人和猿猴血液中蛋白質的氨基酸序列的比較證明，血統上和人最接近的不是亞洲猿猴而是非洲猿猴，特別是黑猩猩（chimpanzee）和大猩猩（gorilla）：他又推算出來人類和這兩者的先祖



據D.C. Johanson (Fig. 19) in L.-K. Königsson, ed., p. 64重繪。

圖2 人科的種系發展過程



David Pilbeam, Sc. Am. (March 1984), p. 61.

圖A 人猿進化四個關鍵階段：人和猿的共同始祖非洲種普羅康修爾古猿 (*Proconsul africanus*, 2,500萬年前, 左上)；亞洲猿的始祖施瓦古猿(700萬年前, 右上)；人類的最早直系始祖阿法南猿(360萬年前, 左下)；能人(200萬年前, 右下)。注意在進化中大齒的退化，腦殼容量的增加以及臉面變垂直。

分支至今，分別只不過有600萬和1,000萬年而已<sup>⑥</sup>。那也就是說，一個世紀之前達爾文憑直覺所作的猜想完全正確，而當時古人類學家的見解卻完全錯了！這在當時引起極為激烈的爭論。一直到十年後，即1972-78年期間，約翰遜(Donald Johanson)在東非坦桑尼亞Hadar和Laetoli等地發現了大批360萬年前的所謂阿法種南猿(*A. Afarensis*, 暱名“Lucy”)化石，它明顯地是人類最早的祖先，問題才明朗化，而一個更可靠的人類世系也得以建立起來<sup>⑦</sup>(圖2)。

現在大家都承認，人類遠祖起源於東非，人猿分支，只是500-600萬年前的事，而拉瑪古猿(它其實也只有700萬年歷史)和其他亞洲古猿則只剩下猩猩(orangutan)一種遺裔，它和人的關係極之疏遠。

事實上，分子生物學和大陸板塊(plate tectonics)理論已經使我們對包括所有猿猴的靈長目的進化過程得到更多了解。我們現在知道<sup>⑧</sup>(圖3)，大約4,500萬年前，也就是原本相接連的非洲和南美洲開始漂離的時候，高等猿猴分為南美的新大陸猴(Platyrrhini)和非洲、中東的舊大陸猴(Catarrhini)兩大支：後者在2,000-3,000萬年前分出巨猿(great apes)這一支；巨猿又再在1,200-1,600萬

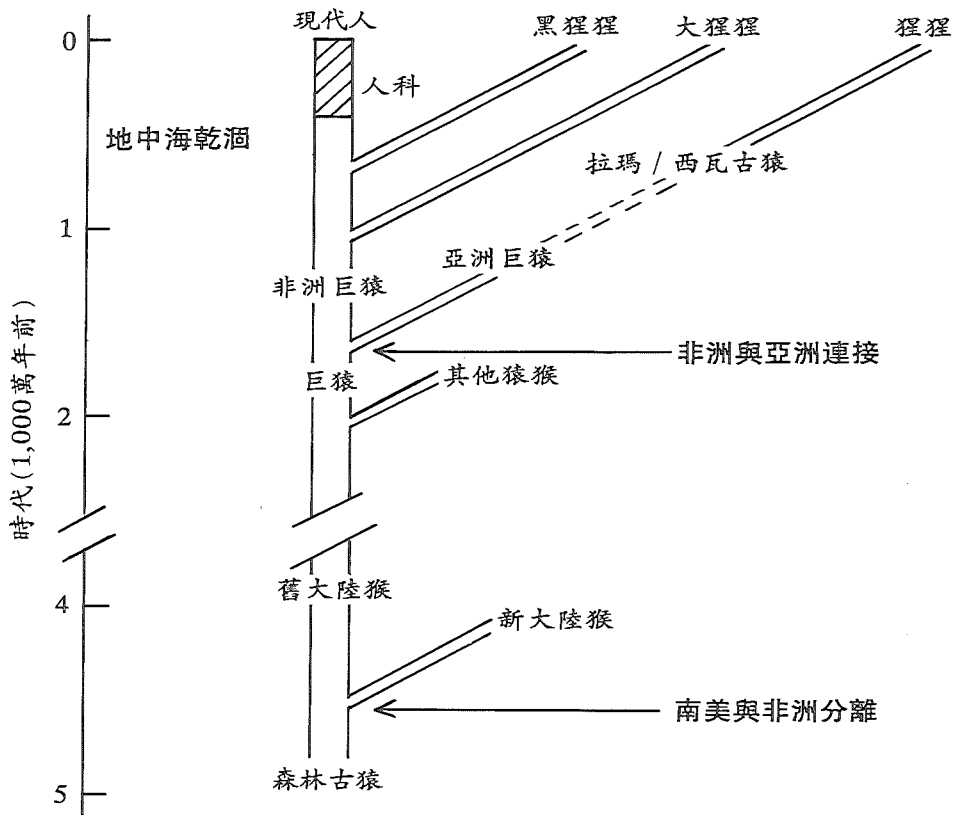


圖3 靈長目和人猿首科的種系大略發展過程示意圖

據Pilbeam (1984)文內容繪。

年前左右(這恰是分隔非洲和歐亞大陸的古達地斯海[Tethys Sea]退縮, 兩個大陸之間有了陸橋連接之後)分為亞洲和非洲兩支。非洲巨猿分出人科之後不久, 地中海就由於歐洲的造山運動而一度完全乾涸, 這對於整個非洲的自然環境和生態, 都產生莫大壓力。但它是否和300-400萬年前人類(Genus *Homo*)的出現有直接關係, 則還不易判斷。

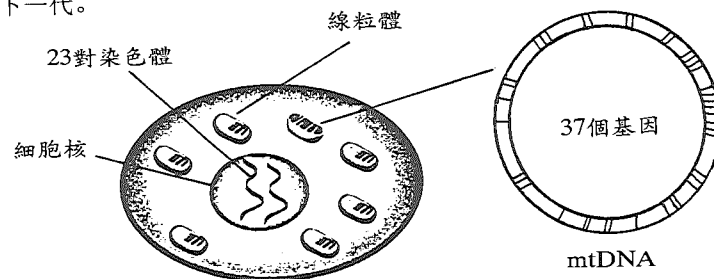
### 三 夏娃的衝擊

六年前(1987), 也就是沙里茲的發現之後二十年, 柏克萊的威爾遜和他兩位前學生, 夏威夷大學的坎恩(Rebecca Cann)以及柏克萊的史東金(Mark Stoneking), 宣佈應用分子生物學研究所得的又一項驚人發現: 即現代人(*H. sapiens sapiens*)的線粒體基因(mitochondria DNA, 簡寫為mtDNA), 全部都可以溯源到大約20萬年前在非洲的一名女性<sup>⑨</sup>。也就是說, 就母系而言, 各個區域的現代人並不是由同一區域的直立人進化而來, 而是散佈到全世界的非洲現代智人的後裔。這就是所謂「夏娃」(Eve)理論。

這驚人發現的關鍵繫於mtDNA的一項特性: 它單獨通過母系遺傳, 父系mtDNA對下一代完全沒有影響。因此, mtDNA的類型不會由於繁殖而產生改

線粒體(mitochondria)是高等生物細胞內數目頗多，而且可以自由游弋的所謂細胞器(organelles)，功能是幫助細胞呼吸，以及將外來食物轉變為細胞其他部分可以應用的能量形式。在進化之初，它們很可能是獨立存在的原核細胞(procaryotic)生物，後來在共生的情況下逐漸被整合，成為細胞的一部分。

因此，線粒體有本身的壁膜和內部結構。更重要的是，它本身有(存在於環形去氧核糖核酸DNA分子，即mtDNA上)的遺傳基因，這是和細胞核之中存在於染色體上的遺傳基因不一樣的。後者(即核DNA)是雙性生殖，上一代父母雙方對下一代的基因都有影響，而mtDNA則是單性生殖，即只有母系mtDNA才能傳到下一代。



人體細胞中的核和線粒體示意圖

變。這帶來兩個極之重要的後果。第一，一個族群的每一代總有些女性不育或者沒有女性後代，其mtDNA的形態因而失傳。經過許多代之後，這種偶然性的淘汰就會只留下一種mtDNA類型——也就是說，整個族群後裔的mtDNA都與原族群一個「幸運」女性同型。反過來說，就mtDNA的遺傳而言，則(作為後裔的)每一族群必然有一位共同祖母即「夏娃」存在。這並非一個發現，而只不過是mtDNA遺傳方式的特性。但利用這特性，就有可能追尋現代人(作為整個族群)共同先祖的發源地。

第二，mtDNA的類型雖然不會由於繁殖而改變，但是卻會由於宇宙輻射、特殊分子等原因而產生突變(mutation)。而mtDNA某些不具實際功能的部分則會產生不受進化壓力影響(因為它與個體的生理形態以及是否適應環境無關)的「中性突變」(neutral mutation)。這種突變的累積表現為同一族群內不同個體之間mtDNA形態的差異。它純粹是一種統計效應，突變累積時間愈長，差異

mtDNA分子鐘(molecular clock)的刻校有多種方法：從考古可以確定人類開始移居新畿內亞、澳洲和新大陸的年代分別是3萬、4萬和1.2萬年前，因此只要測定這三個地區現代族群各自的mtDNA發散度(divergence)，就可以對mtDNA的變異速率得出三個估計。同樣，由於已知人和黑猩猩分支是在5-7百萬年之前，所以由二者mtDNA的差異(這大約是現代人mtDNA分散度的25倍)也可以推算其變異速率；而其他已經有確定世系年代的生物，也都可以利用作相類的刻校工作。由這些方法得出的結果，大致相符，即變異速率為每百萬年2-4%。

這相當高的變異速率對仔細分辨年代有極大幫助。其實它和選擇mtDNA分子上那些部分作為測度發散度的標準有密切關係，因為分子上各部分的變異速率並不一樣。一般來說，沒有實際功能的部分變化快得多，因此往往被選為測定標準。

愈大。因此，仔細比較各種現代人(譬如說歐、亞、非、澳、新畿內亞等各大洲和地方)mtDNA的核酸序列(nucleotide sequence)差異，就可以建立這些mtDNA遺傳的世系，並且反過來推斷產生這些差異所需的突變累積時間。這樣，不同人體內mtDNA的差別，成了一個「分子鐘」(它的「速率」大致上是每百萬年變化2-4%)，應用它就有可能推測所有現代人共同先祖族群的時代。

一個多世紀以來，古人類學家登山涉水，窮思竭慮，夢寐以求的，就是釐清現代人起源的過程。對他們來說，斷定「夏娃」的居地和年代，自然是具有無上魅力的事。然而，當客觀研究所得結果與原來的臆測全然相反的時候，魅力卻又會變為強大的衝擊——非洲夏娃的出現，就是這樣一個衝擊。

## 四 智人之源

1985-86年間，當時還在柏克萊進修的坎恩在威爾遜和史東金協助之下，收集了來自全球五大區域(即亞、非、歐、澳和新畿內亞)145名女性分娩後排出的胎盤，以及一名南非土著、一名美國黑人的細胞組織，經過淨化、提煉之後，他們將得到的147種mtDNA加以仔細比較，而得到下列結論：

- (甲)現代智人起源於非洲，然後散佈到世界各地，因為以「最少分岔原則」(the principle of parsimony)在133個不同mtDNA類型(有些人是同型

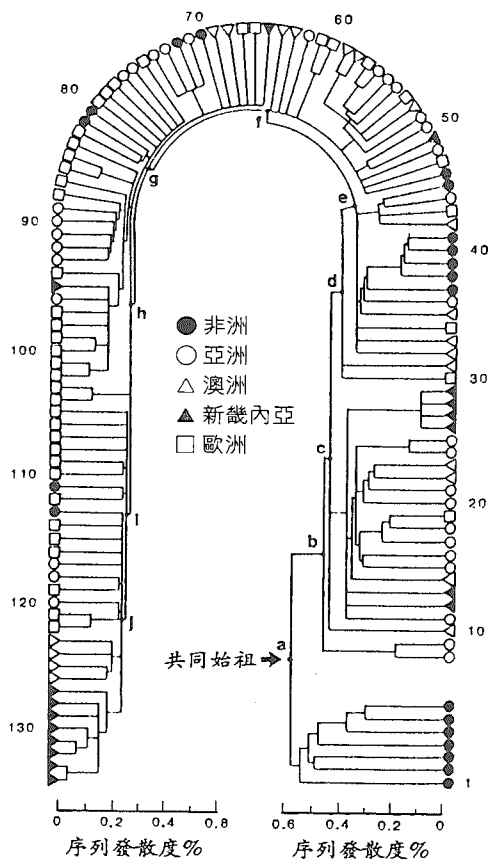


圖4 威爾遜等根據「最少分岔原則」為147個人的134種mtDNA類型(圖外側號碼)所建立的譜系樹，在這譜系中共有a-j等共10個不同層次的分支，最古老的一支(類型1-7)在非洲，它的始祖直接源於其餘各支共同始祖a，即「夏娃」。各支始祖的年代可以大約從其發散度(圖下方尺度)估計。例如最古老而不包括任何非洲mtDNA的一支是c分支之下類型11-29的一支，它的發散度是0.38%，因此其始祖大約是12-13萬年之前的人。

的)中建立「譜系樹」之後，發現屬於非洲人的類型最原始，可以直接追溯到共同始祖(圖4)。況且，在各大區域之中，非洲mtDNA發散度(divergence)最大，證明其淵源最久遠。

(乙)現代智人大約起源於20萬年之前。這可以從全部mtDNA的發散度為0.57%，以及分子鐘的速率(約3%/百萬元)估計出來：至於現代智人開始從非洲向全世界散佈的時代，倘若從譜系樹裏非洲以外最久遠的世系(圖4)推算，當在9-18萬年前，這和單純從亞洲mtDNA的發散度(0.35%)推算得的12萬年也大致相符。

威爾遜等人的發現，其實是80年代以來利用mtDNA乃至核DNA研究現代人起源的大量工作之一<sup>⑩</sup>，只是它資料詳確，方法特殊，所以能夠得到最明確的結論。而其他研究結果和上述兩項結論，大體上也一致。1989年威爾遜領導的另一小組研究了83名非洲各地土著的mtDNA，發現非洲本地譜系樹淵源極其久遠而且單純，為原來的觀點提出有力佐證<sup>⑪</sup>。然而，從古人類學家的觀點看，這兩項結論卻完全推翻了他們向來的構想，可以說比1967年沙里茲的發現更有革命性和震撼力。因此，新的一場激辯便不可避免了。

## 五 單源和多源之爭

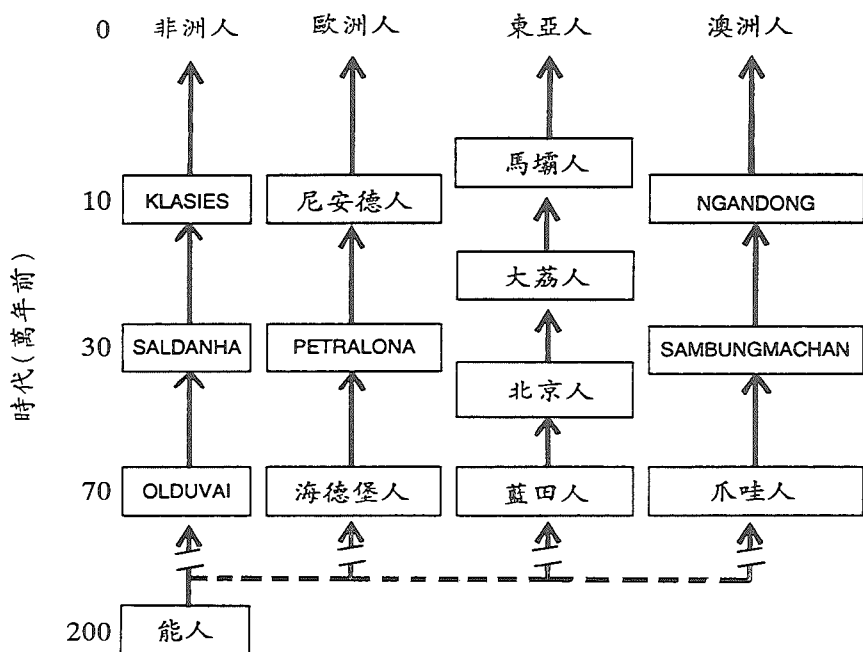
### 甲 兩個不可調和的理論

要明白這場激辯，必須記得，雖然在過去三十年間人類起源於東非已經成為古人類學家的共識，但這僅僅是指二、三百萬年前人的遠祖阿法南猿和能人而言。人類進化到「直立人」的階段(15-150萬年前)之後已經遍佈亞、歐、非三大洲，而且在這些相隔遙遠的區域各自留下了逐步從「直立人」連續地進化到智人的種種化石和考古遺跡。1980年捷克考古學家Jelinek說的「無論從解剖或文化角度，我們都沒有充分理由把更新世和它後期的人科分成直立人和智人」<sup>⑫</sup>是典型看法。我們翻開中國人類化石年表，那麼從70萬年前的藍田人，50萬年前的北京人到一萬八千年前的山頂洞人，其間順序有觀音洞人、大荔人、許家窩人、丁村人、馬鬪人、長陽人、柳江人、富林人等近20種人骨化石，它們似乎也正形成一系列連續的解剖形態和文化<sup>⑬</sup>。所以，智人是多起源(雖然「能人」是單源)的看法是非常之自然的(圖5a)。

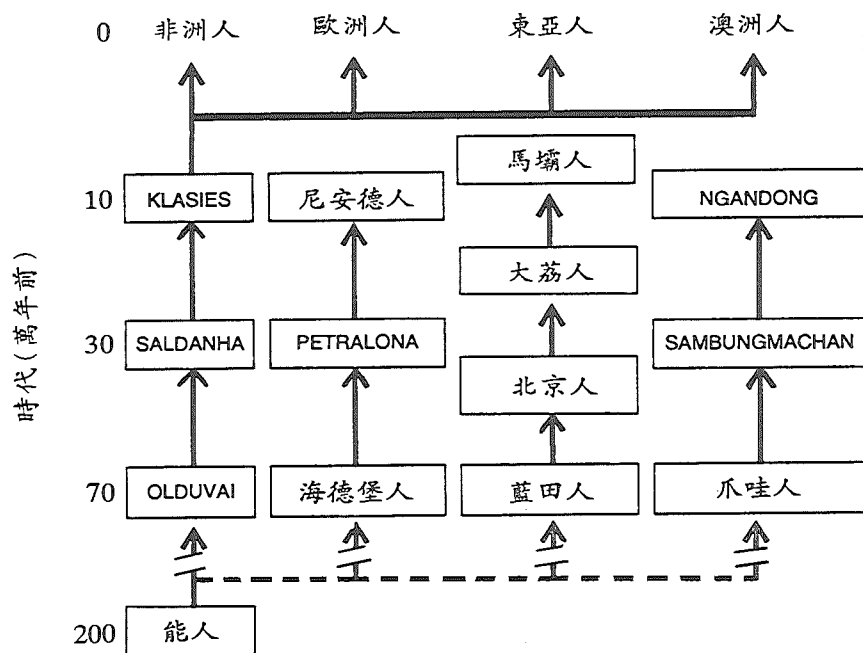
這種看法與威爾遜等的「單源論」，即「現代智人二十萬年前起源於非洲，然後在12萬年前向全世界擴散」的發現，以及由這發現而得出的引論，即「從非洲出來的現代智人完全取代了各地的直立人和古智人，而沒有和他們混合、融和」(圖5b)顯然是全然矛盾，絕對不能調和、相容的。

除了最重要的mtDNA分子證據以外，單源論還有好些旁證。例如英國自然博物館的史特林格(Christopher B. Stringer)指出：利用鈾系元素、熱釋光、電子自旋共振等新斷代技術得到的結果，顯示遠在10-12萬年前就有迹象從非洲來的一支現代智人和形態相異的尼安德人曾經在中東洞穴中同時存在，而沒





(a) 多源論



(b) 單源論

圖5 現代人起源兩種理論示意圖。  
(a)多源論的基本假設是現代人種族的分支遠在100–200萬年前直立人時代；  
(b)單源論的觀點則是分支點僅在10–20萬年前，而海德堡人、藍田人、爪哇人等直立人的後裔都被從非洲Klasies遷徙到當地的現代智人取代而滅絕。

有混合。因此，他認為尼安德德人與現代人沒有直系關係，應該重名為 *H. neanderthalensis* 而不是 *H. sapiens neanderthalensis*⑭。又例如史丹福大學的卡史福沙(Luigi L. Cavalli-Sforza)則曾經利用全球人類血型(特別是負Rh因子)地圖來說明現代人種的分佈是源於非洲的多次向外遷徙潮(這大約從10萬年前開始)，而且，由此形成的種族譜系和人類語言譜系高度吻合⑮。

## 乙 對單源論的批判

對單源論批評最強烈的學者是美國密支根大學的沃波夫(Milford Wolpoff)。他和澳洲國立大學的索恩(Alan G. Thorne)的論據主要有三方面<sup>⑥</sup>。第一，他們強調在歐洲、中國和爪哇等地區的人類頭骨化石各有不同的顯著特徵，而這些特徵，例如尼安德陀人下顎保護神經線的骨壁，北京人上顎門牙的特殊內彎，還有爪哇人的原頭蓋骨以及眼眶以上粗直的骨突，是各該區人類從直立人進化到早期和晚期智人的過程中連續存在的。單源論(和相關的「取代論」)倘若成立，則必須假定遷徙到當地的非洲智人會各各再一次發展出同樣的解剖特徵。這自然是極之難以令人置信的事。

第二，分子生物學方面的證據並不一定可靠，因為mtDNA由於突變而產生發散的速率是否在跨越三個數量級的時間尺度(1-600萬年)上固定不變，實在頗成疑問。況且，在不同mtDNA類型之間建立譜系樹所根據的所謂「最少分岔原則」又是另一個未曾有確實證據的假定：用其他不同原則分析同樣數據所得到的譜系樹可能是多源的，或者源頭不在非洲。

第三，非洲智人散佈到全球，並取代當時所有的直立人(甚至早期智人)，卻絲毫不留下衝突、鬥爭痕迹，也沒有產生任何種族上的融和、混合，那是不合情理的事。對此沒有滿意解釋，單源論就不能成立。

## 丙 單源論的辯解

對這些反對論調，威爾遜等的辯解是<sup>⑦</sup>：第一，遷徙者由於要適應新地區的自然環境而再一次發展出和原居者同樣的解剖特徵，是有可能的；第二，分子生物學技術水平雖有限制，但目前所能得的最好證據是支持單源論的，決不可忽視；第三，古代人口稀疏，所以進化程度相異的不同族群在廣大地區同時共存，然後由於自然淘汰只有更進化的智人族群留存下來，和平取代原有族群，那也並非不可想像。第四，現代智人的特殊之處可能是率先發展了語言能力，這種(在解剖學上不易判斷的)特點使他們與原地較落後的居民產生鴻溝，所以不再混合、融和。

威爾遜等還進一步提出多源論的一個基本困難，即如何解釋各地區的直立人在數十至一百多萬年漫長的進化過程中仍然能夠維持同一種屬(species)而沒有衍化為許多形態各異的種屬(這一般認為會在50萬年左右出現)。這就使得多源論者必須對他們的模式加以修正，承認在更新世時期人類在各大洲的多支先祖雖然各自獨立發展，但彼此之間仍然是有基因交流的，因此能夠歷150萬年而仍然保持單一的種屬。

## 六 科學進步的模式

其實，威爾遜等的發現和二十年前沙里茲的發現相當類似：後者用分子生

物學的方法「否證」(falsify)了古人類學家對人猿分支年代的臆測，但它本身還不是一個完整的新理論，這要再過十年，待阿法南猿和其他相關化石出現，而人科的進化歷程已多少釐清之後，才逐漸形成。

同樣，威爾遜等的發現也可以視為用同類方法否證了我們對不同種族現代人分支年代的臆測，把這年代從100–200萬年前削減到10–20萬年前，而所謂「單源論」其實也絕未成為一個完整的新理論；它所產生的新問題，遠遠多於它所能解釋的事實。

很明顯，在過去五、六年間，由於分子生物學證據的衝擊，更新世晚期(20–1萬年前)和全新世的古人類學已經完全改觀了。我們可以預期：在未來5–10年間新的、更大規模的發掘，將會從考古學上提供現代智人出現過程更精確的證據；而目前大概已經在進行的其他分子生物學研究，例如利用Y染色體(這是單獨通過父系遺傳的基因)變異而建立現代人的父系系譜樹<sup>⑩</sup>，或者利用保存完好的古屍(譬如1992年意、奧邊境冰川中出現的約5,000年前的新石器時代獵人屍體)來測定mtDNA的短期變異速率，相信將會解決古人類學家對這種嶄新技術的許多疑問。但更重要的是，尋求解決論爭，會迫使我們面對一連串前所未曾注意的複雜問題(例如：人種單源和語言、文化單源，是否同一回事?)，並尋求一個更深刻、更高層次的新理論，它與今日的單源論或多源論，可能都不一樣。

分子生物學為人的研究，開闢了一個新天地，由此所引致的一場古人類學大革命，已經來臨了。

## 後 記

本文由李逆熵先生供稿，嗣由本刊編輯部補充相當部分資料，並重新編輯、整理、撰寫。又本文原稿曾經吳新智教授過目，改定後復經鄧聰先生及麥繼強教授過目，並提出寶貴意見，謹此致謝，惟錯誤仍當由本刊負責。

### 參考文獻

#### 專書及綜合介紹

- Grahame Clark: *The Stone Age Hunters* (London: Thames and Hudson, 1967).  
 Lars-König Königsson, ed.: *Current Argument on Early Man* (Pergamon Press, 1980).  
 Russell L. Ciochon & Robert S. Corruccini, ed.: *New Interpretations of Ape and Human Ancestry* (Plenum Press, 1983).  
 Sherwood L. Washburn: "The Evolution of Man", *Sc. Am.* (Sept. 1978).  
 David Pilbeam: "The Descent of Hominids and Hominoids", *Sc. Am.* (March 1984).  
 Christopher Stringer: "The Emergence of Modern Humans", *Sc. Am.* (Dec. 1990).

Milford H. Wolpoff & Alan G. Thorne: "The Case Against Eve", *New Scientist* (22 June 1991).

Luigi L. Cavalli-Sforza: "Genes, People and Languages", *Sc. Am.* (Nov. 1991).

Allan C. Wilson & Rebecca L. Cann: "The Recent Africa Genesis of Humans", *Sc. Am.* (Apr. 1992).

Alan G. Thorne & Milford H. Wolpoff: "The Multiregional Evolution of Humans", *Sc. Am.* (Apr. 1992).

### 註釋

① C. Darwin: *The Descent of Man* (1871).

② 見Sherwood Washburn (1978, p. 150) 所提Sir Arthur Keith 提出的世系。

③ P.V. Tobias: "From Linné to Leakey: Six Sign Posts in Human Evolution", in Lars-König Königsson, pp. 1–14.

④ Clark, pp. 21–23.

⑤ 見Clark, pp. 14–15及p. 20的圖2。這是他1967年的見解。

⑥ V.M. Sarich & A.C. Wilson, *Science* **158**, 1200–1203 (1967).

⑦ Donal Johanson: "Early African Hominid Phylogenesis: A Re-Evaluation", in Lars-König Königsson, pp. 31–69.

⑧ 以下撮要主要根據Pilbeam (1984)。

⑨ Rebecca L. Cann, Mark Stoneking & Allan C. Wilson, *Nature* **325**, 31 (1987).

⑩ 見註⑨所引註21、28 (mtDNA) 以及大量核 DNA 研究，但D.C. Wallace, K. Garrison & W.C. Knowler, *Am. J. Phys. Anthropol.* **68**, 149 (1985) 雖支持單源論，但把現代智人起源定為中國東南部。

⑪ Linda Vigilant et al, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **86**, 9350 (1989).

⑫ J. Jelinek: "European *Homo erectus* and the Origin of *Homo Sapiens*", in L.-K. Königsson, p. 143.

⑬ 吳新智: 〈中國遠古人類的進化〉, 《人類學學報》**9(4)**, 312 (1990); Milford H. Wolpoff, Wu Xinzhi & Alan G. Thorne in Fred H. Smith & Frank Spencer, ed.: *The Origins of Modern Humans: A World Survey of the Fossil Evidence* (Alan R. Liss, 1984).

⑭ Stringer (1990).

⑮ Luigi L. Cavalli-Sforza et al, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **85**, 6002 (1988); Cavalli-Sforza (1991).

⑯ Wolpoff & Thorne (1991); Thorne & Wolpoff (1992).

⑰ Wilson & Cann (1992).

⑱ 據悉法蘭西學院 (College de France) 的路科迪 (Gerald Lucotte) 正在進行這項工作。

**李逆熵** 香港氣象工作者，業餘時間熱衷於科學普及工作，1985年獲選為全港十大傑出青年。迄今發表的著作有《三分鐘宇宙》(科學概論)、《賣隕石的人》(科學散文)、《最後的問題》(西方科幻選譯)、《超人的孤寂》(科幻評論)、《夜空的呼喚》(科普創作)等。