
聰明的人腦

吳京一 童麗珠*

國立臺灣師範大學 生命科學系

壹、前言

下面是舞台劇 Hamlet (王子復仇記)

Act II 中的台詞：

What a piece of work is a man!

How noble in reason!

Now infinite in faculty!

*In form and moving how express and
admirable!*

In action how like an Angel!

In apprehension how like a god!

The beauty of the world!

The paragon of animals! (Hamlet Act II)

人何等巧妙的一件天工

理性何等的高貴

智能何等的廣大

儀容舉止是何等勻稱可愛！

行動是多麼像天使

悟性是多麼像神明

真是世界之美，萬物之靈

(中文翻譯來自梁實秋《莎士比亞全集)

臺北，遠東)

以上是 Hamlet (哈姆雷特) 舞台劇第二幕第二景中，Hamlet 與他的親友 Guildenstern 的談話當中，Shakespeare (莎

士比亞) 藉著 Hamlet 的嘴，讚美「人」的幾句話。

而「人」之所以是「人」之緣故，即「人」是持有人心(mind)之「腦」才會是 Hamlet 所說之「萬物之靈」。腦是所有動物在學習行為上所必需有的組織。動物有了腦，才能成功學習；像鳥類學會飛翔，家雞學挖土找小蟲吃。人類在年幼時，學習數學、自然科學等的學習，成人後亦學開車或新語言、打電腦等。不過，腦之學習是受限制的，它決定學習範圍，在多少時間內學習什麼、學到什麼及判斷你學習的夠不夠等，腦之學習是在這複雜的世界裏要活下去所必需的。而如上述，腦之學習自有限界，此決定與腦之智商有關。

在現存的陸生哺乳動物中，哪一種的智商最高？毫無疑問是人類！其次為黑猩猩，這也是大家所公認的。

在動物分類系統上，人類在 1000 萬年前與黑猩猩、大猩猩、紅毛猩猩(orangutan) 有共同祖先，由這共同祖先分化，先分出紅毛猩猩，再分出大猩猩，至 500 萬年前，黑猩猩才與人類分支(圖 1)。

*為本文通訊作者

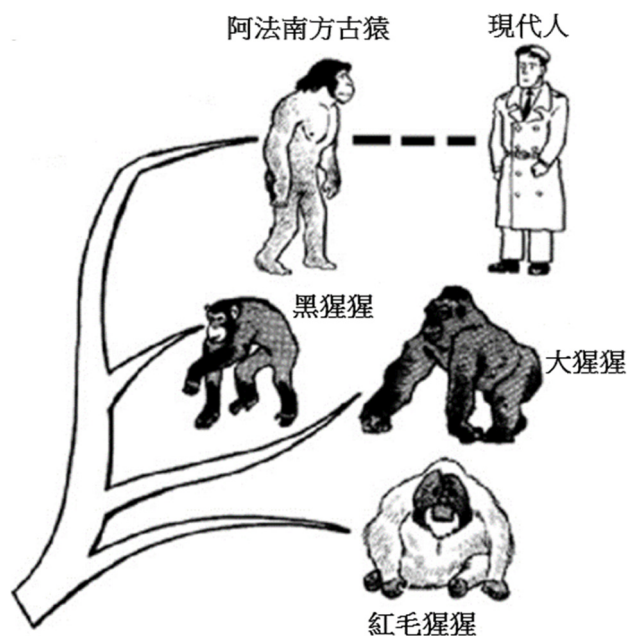


圖 1、他們都由同一種動物分化。圖中 5 種動物都持有共同祖先。圖來源：
<https://kids.gakken.co.jp/kagaku/kagaku110/science0043>

分支或分開並非一朝一夕，需要經過幾千年或幾萬年的持續改變，才成為現在的樣子(即所謂演化)。由化石人類學的知識知道，最古的人類是 390 萬~290 萬年前住在東非(East Africa)的人類，被稱為 *Australopithecus afarensis* (阿法南方古猿) (Wikipedia google)。他(她)們的人類特點只有用雙足走路一項，大腦大小與猿猴、黑猩猩差不多，比現代人小很多，可知他(她)是在演化中。就由這阿法南方古猿在 400 萬年間持續的一代、一代地繁衍中，身體一些部分持續發生變化，而演化成現代的人類。

貳、人類、黑猩猩及猿猴類基因之差異：

爾來，猿猴類、黑猩猩及人類，若由外型看來，這三者間在有無體毛及尾巴、能否雙腳走路等有明顯不同。黑猩猩能用雙腳走路外，在需要急速行走時，亦可用較長的前腳來步行(Knuckle Walking) (註 1)。這是人類與牠們在行為上不同處。但最明顯的不同是牠們的智慧遠不及人類。黑猩猩與人類基因之差異不到 2%。其餘 98% 多之基因是一樣的(註 2) (Fujiyama 等，2002)。雖然基因差異似很小，不過大部分是與腦部發育有關。但這些差別大部分起因於人類某些基因「缺如」所致。換言之，該有的基因中，人缺少其中小部分的基因，就因這些基因缺如或脫落，使身體發生障礙或畸形。身體畸形並不表示種之廢退，反而是向「進化」的第一步

(Winder & Winder, 2015)。這很明顯的是人類缺如“抑制腦容量繼續增加”之基因。而黑猩猩及其他多數哺乳類，在演化的過程中，牠們因持有抑制腦部繼續變大之基因，因而腦部不變大。

參、腦重量與智商：

相當多人誤認腦重量或腦容量與智商有直接關係：腦愈大，智商愈高，愈適合生存(圖 2)。

其實，現在已經消失的尼安德塔人 (*Homo neanderthalensis*) (註 3)腦容量有 1600 cm^3 ，比現代人 (*Homo sapiens*) 腦容量 (1450 cm^3) 大很多。若相信腦愈大，智商

愈發達的話，而僅以腦容量或頭部大小來推測智商，我們比尼安德塔人笨，早被他們消滅。尼安德塔人儘管基本生存模式與我們接近，但其社會文化遠不如我們發達。如此顯示腦袋大小不足以解釋智商高低。

又曾有人認為 20 世紀最偉大的物理學家愛因斯坦 (Albert Einstein, 1879-1955) 的大腦重量高於常人，但解剖專家測出其腦重量只有 1230 公克，比一般男人腦重量平均 1400 公克還要小，且他的大腦皮層的表面積與正常人無異 (Einstein's brain weight 1230 grams, google)。可見只以腦大小、重量來討論腦之進化，會引起錯誤結論。

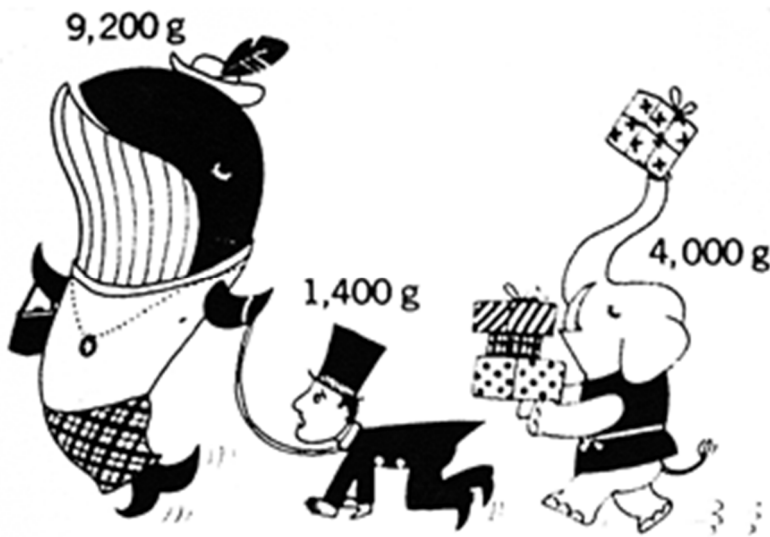


圖 2、如果智能是靠腦重量來決定的話……。

如果腦重量愈大，智商愈高的話，就像圖示：腦重量最重的鯨魚則會是這世界的主人，腦重量最輕的人類像一隻惶恐的寵物狗，被鯨魚牽著走；而腦重量比鯨魚輕的大象，是鯨魚的侍從，跟在後面提著物品走。

本卡通圖來源：腦(時實，1968)

腦化指數 (Encephalization Quotient, 簡稱 EQ) (註 4) 是動物腦重量佔其體重的比率, 一般用其來比較智力高低。EQ 愈高, 知能愈高。因此頭部之增大是人類適應演化之狀態。在 2004 年 3 月, 在 Nature 雜誌上記載與擴大頭部有關的一篇報告, 引起人類學及考古學學術界的興趣。報告中提到在 240 萬年前, 東非 (East Africa) 草原地帶生活的人類發生了突變, 形成顎部肌肉有關之遺傳基因 (MYH16) 欠如消失, 因此他們的上下顎變小、咬肌力量變弱, 而誘發頭骨構造變化, 使腦容量變增大, EQ 隨之提高。有些學者認為這論文違反演化理論, 但有些學者則贊同 (Stedman 等, 2004)。在這樣的情況下, 人類在自然界裡, 用來攻擊、捕食所必要的下顎肌肉、咬肌等收縮力減少, 反而使頭蓋骨整體增長。頭部、腦部的擴大, 就有很好的演化條件。

肆、人類與黑猩猩及其他哺乳動物之腦形成過程及機能之差異：

人類與黑猩猩及其他哺乳類腦形成過程是相當不同。人類的胎兒在母體懷孕 266 天期間, 腦部尚未完全發育時就被產出。相對的, 除類人猿外, 其他哺乳類胎兒的腦部, 在母體內幾乎是完全成熟後, 才出生。一般情形下, 哺乳動物在外敵多、安全性受威脅下生活、繁殖。因此牠們胎兒離開母體後, 一旦被外敵發現, 新生兒易被消滅。要避免新生兒遇到這種狀況, 出生的新生兒盡量能與母親一起, 避免受

害。因此在母體內的胎兒腦部已發育完成, 離開母體幾小時內, 就可以站立走路, 行動自如, 與母親一起行動。腦部大部分已成熟, 出生之後, 腦部幾乎沒有空間接受新(或不同)環境或新刺激再發育。只以腦部原有機能(即本能)來應付環境的變化或採取應對行動為主。相對的, 人類胎兒腦部雖未充分發育就被產出, 在出生後幾年間, 幼兒需有母親照顧過得安全。幼兒一面學習對付新環境各種刺激之反應, 腦部就此一面漸次成熟。如此, 人類在幼兒發育階段中, 就有本能的腦(大部分是在右腦)及可以應對新環境變化、產生適當反應的腦(大部分是在左腦)育成。

伍、人、黑猩猩及恆河猴之幼兒腦部發育過程：

日本京都大學靈長類研究所 Sakai 等研究小組, 以 3 隻黑猩猩乳幼兒(雄 1, 雌 2)從出生後至 6 歲(即牠們的乳兒期至青春前期)、2 隻成熟黑猩猩、與發育相似時間之人類乳幼兒作研究, 且以恆河猴(Rhesus monkey)幼兒報告為對照參考, 比較三者乳兒期的大腦體積增加度。使用核磁共振造影(magnetic resonance imaging, MRI)在沒有傷害腦組織的條件下測定, 並分析人、黑猩猩、恆河猴的腦內部構造變化, 希望得到人類特異腦進化的直接證據(Malkova 等, 2006; Matsuzawa 等, 2001; Sakai 等, 2013)。

本研究得到下列幾項有趣的結果：

(一) 黑猩猩與人類的大腦發育是持續成長到幼兒期為止。

黑猩猩在乳兒前期(出生後 6 個月)時，大腦體積為成熟黑猩猩大腦體積的 73.8%；人在幼兒前期(出生後 1 年)時，為成人的 74.2%。然在此時期恆河猴大腦容積已發育完全，已達成成熟恆河猴大腦容積(100%)。

(二) 黑猩猩與人類大腦體積之成長方式是截然不同的。

以相當的乳兒前期來比較。在乳兒前期間，黑猩猩的大腦體積增加率是 8.4%(出生後 6 個月~1 歲)，人類增加率 16.4%(出生後 1~2 歲)。顯示：黑猩猩乳兒前期間的大腦體積增加率是人類嬰兒之一半。但在恆河猴(出生後 3~4.8 個月)增加率就只有 1.6%。在乳幼兒之前期間，人類與黑猩猩大腦發育是有這麼大的差異。Sakai 等認為係因大腦內構造發展方式之不同。因此她們分析乳幼兒前期間大腦中灰質(註 5-1)/白質(註 5-2)比之成長變化。結果測得：黑猩猩比率為 3.51(生後 6 個月)；人類為 3.29(出生後 1 個月)；恆河猴只有 1.93%(出生後 3 個月)(Sakai 等，2013)。顯示黑猩猩、人類與恆河猴，在乳兒前期灰、白質比率大不同的。

其實，人類乳兒前期中，大腦體積的灰質/白質比是急速降低的。即由 3.29 降為 2.05(出生之後 1~2 歲)。但在黑猩猩比

率是由 3.51 降為 3.18(出生後 6 個月~1 歲)；在恆河猴只由 1.93 降為 1.82(出生後 3 個月~4.8 個月)，此兩者降低並不顯著。以上結果可見，人類幼兒前期(出生後 1 歲至 2 歲)腦組織內部係白質體積增加(由 8.4%增至 42.8%)；黑猩猩(出生後 6 個月至 1 歲)由 5.2%增至 17.2%；而恆河猴(出生後 3 個月至 4.8 個月)增加率為 9.4%，幾乎不變。而且只有人類出生後至 2 歲之間大腦會強化大部份的神經聯絡，並有再成長現象(圖 3)(Sakai 等，2013)。人在出生後 2 歲左右大腦發達之成熟，會影響學習行為，幼兒期後之語言，及長大後可以接受文化智能、IQ、接受新社會生活等(見灰質功用(見註 5-1 灰質功用)。這些皆因人在 2 歲後灰質在大腦比率增加而獲得。

大腦內的神經網路，在孩子 4~6 歲成長過程中，部分被消滅，有益於腦神經回路之發展。即人胎兒出生後，0~2 歲腦內神經數目迅速增加，每個神經元都滋生大量的神經纖維，來與其他神經元形成突觸(synapse)。如此，滿 6 歲的孩子腦子發育大小已是成人的 95%。同時應付新環境、學習新經驗。然後開始刪除之前因經驗所形成的「沒有用的」或「很少用的」突觸。先前任意建立之突觸就被選擇性地消除，這過程叫做「突觸修剪」(synapse pruning, synapse elimination)，修剪是依據「用進廢退」之原則(圖 3)。

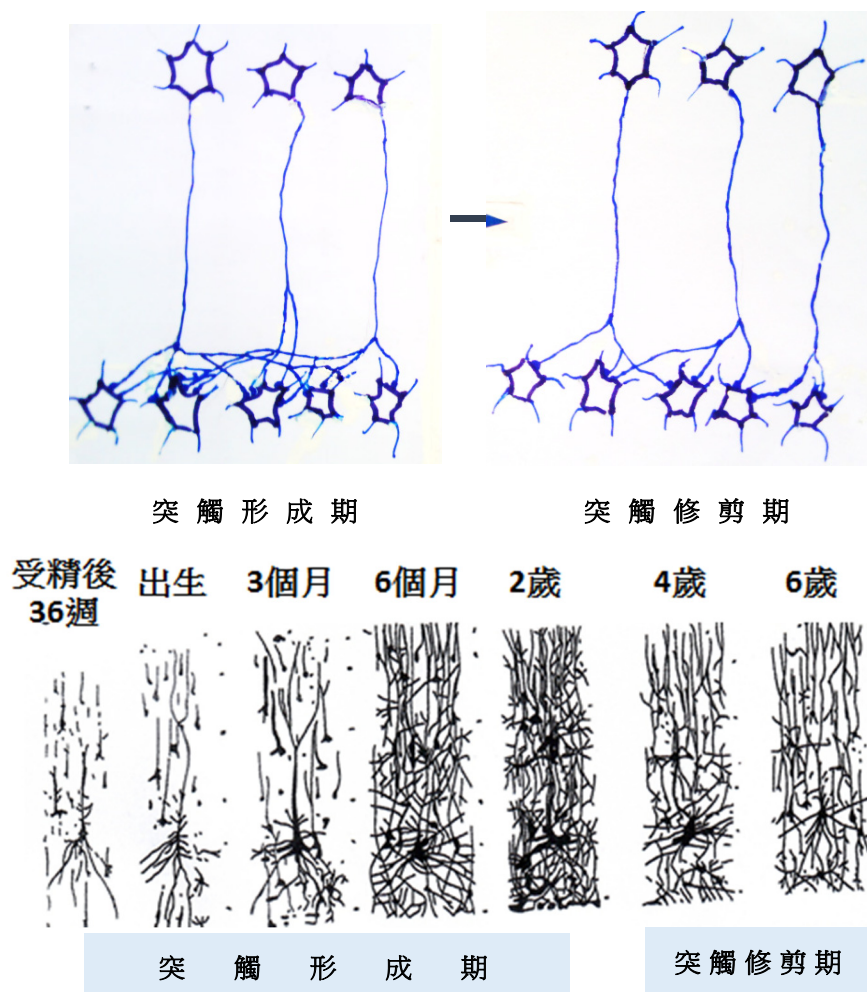


圖 3、人腦發育過程的突觸變化

突觸在人類幼兒期(1~2歲)突觸形成期，有臨時性的過多突觸形成。2歲之後，在突觸修剪期時被修剪、整理好後，形成強固的突觸。上圖為手繪示意圖；下圖來源：已得大隅典子著《腦之誕生》，筑摩書房，2017，127頁)之轉載許可。

人類大腦在6歲前發育最快，被認為是大腦發育的「黃金期」。6歲之後大腦終生都具有可塑性，腦能因應環境改變、獲取新的訊息等生活經驗改變大腦神經迴路的設定，透過不斷地學習使大腦神經元網路連結得更密集。與前述相同的，人的大腦為了生存絕不浪費任何能量，依據「用

進廢退」的原則，大腦裡閒閒沒事幹的神經元會被修剪取代。

大腦突觸修剪，消除了沒必要的突觸，留下必要或特定之突觸。如此，使神經訊息傳達效率大為提高。在人類社會中，有了此卓越大腦才能發展出特有的學習及認知，並發展成高等、複雜的概念。

陸、左右大腦之分化：

一般人都知道左腦主要是管理人體之右半身機能，右腦主要管理身體左半邊機能。而萬能的雙手及左右腦分化也是人類進化原因之一。不同於人類，彌猴的大腦沒有明顯的右腦與左腦機能分化，且沒有像人類一樣有所謂的「慣用手，dominant hand, handedness」。觀察與人類最近緣的類人猿來說，除了大猩猩外，包括黑猩猩、紅毛猩猩、長臂猿等，其左右兩側手中慣用一側手比例大約為 50%。換言之，牠們沒有慣用手，這表示沒有左右大腦機能之分化。他們在樹上生活，而要攀爬的樹枝及食物(果實)生長方向是四面八方，猴子伸出任何一隻手抓住樹枝或拿食物。如此較難常用同一隻手，無法成為慣用手(大腦

工作亦左右兩腦同時發揮作用)。但，人類(90%)、大猩猩(72%)皆持有相當高比例的慣用手(圖 4)(松村，2011)。人類、大猩猩幾千萬年前已立足地上，身體在兩腳上站定，因此容易伸出任何一手可以拿東西，此時，左腦所控制的右手容易伸出，而大部分時間以右手完成工作，故左腦所控制的右手容易成為慣用手。換句話說，左右腦各自容易分化，因此大猩猩的慣用手之比率較高，是與地上生活習慣化有關。總而言之，對環境的適應，人類除右腦參與外也有左腦，加上持有萬能的雙手，就有超強的能力來對付新環境、新刺激，因而增大生存的機會。而黑猩猩、紅毛猩猩、長臂猿等的行為，主要是靠右腦(即本能腦)，這就無法像人類對新環境有高的適應性。

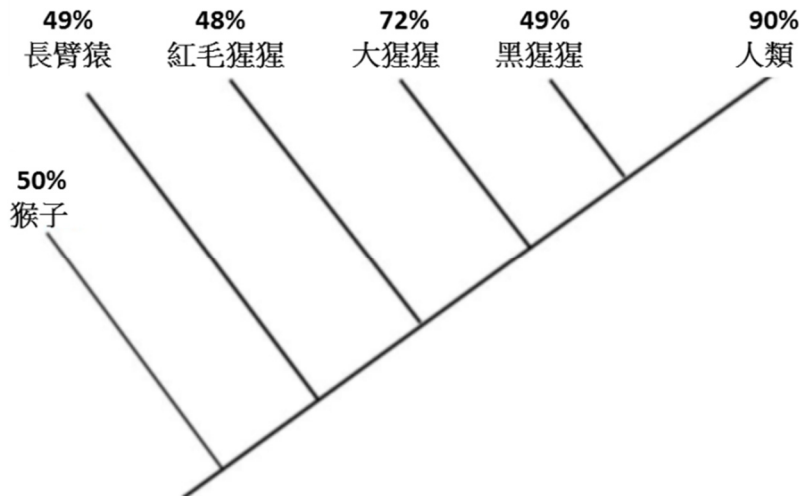


圖 4、靈長類的系統關係與單側優勢性(右慣用手)的所佔百分比。圖來源：google, Matsamura A (2011) 日本人類學會，KIKITE

在腦組織中，左腦、右腦之間是有強力的腦梁聯繫。人類因有右腦、左腦的機能分化，使之能互相控制、抑制或協助的作用。

人類能有進化，靠的是雙足之步行、語言之使用、有特大的大腦等，而能適應新環境、新刺激的部分腦；不管是左腦或右腦(如慣用左手的人)來適應新機制，亦是推動進化的原因之一。

柒、人與黑猩猩腦內物質之比較：

德國 Max Planck 進化人類學研究所 Khaitovich 研究小組，以 5 個人及 6 隻黑猩猩的腦細胞為材料，研究其基因排列差異。發現人與黑猩猩之腦內所含氮鹼基對排列差不多，但在腦內生成蛋白質的功能上，有非常大的差異(Khaitovich 等，2005)。人腦裡有多種蛋白質成分的神經傳遞物質或賀爾蒙，它們是在腦活動時不可缺少的物質。另外，人腦所消費的熱量亦比其他動物高很多，因此腦內細胞需要有高能力產生必要蛋白質、醣份等的遺傳基因。

捌、黑猩猩的智慧：

(一) Viki 與人類語言

黑猩猩的智慧很高，因此，早有多位研究者試探訓練牠們學習人類之語言。

Hayes 與 Hayes (1952) 欲試探訓練黑猩猩說人類的語言。名為 Viki 之黑猩猩，從小就被人類小孩般的養育。在 6 年的研究期間，他們用人類言語障礙治療法及發聲訓練等一切能用得上的方法，給予訓練

發音。但牠只會講出 4 個人語(英語)說出媽媽(mama)、爸爸(papa)、杯子(cup)、及上(up)之四個單詞(word)，而其他一概不會(Viki chimpanzee, Wikipedia)(Hayes & Hayes, 1952)。此結果是目前為止，唯一成功之例子(Gardner & Gardner, 1969)。很多學者認為牠們不會講人語的原因，是喉部構造與人類不同，或被認為是腦內神經網(neuron circuit)與人不同。Hayes 等人的研究引起很多研究者之興趣與懷疑，認為 Viki 會講的四個人類語言，Viki 是否知道所含之意義？最後大家認定為黑猩猩不會講「人類語言」。

雌黑猩猩孕期大約有 8 個月，出生後小黑猩猩約在 5 歲時才會斷奶。但牠們至少到 6 歲左右會留在母猩猩身邊，且常一生都需要母猩猩的陪伴，較年長的會在母猩猩死亡後，仍然負起照顧年幼弟妹的責任。這樣新生的黑猩猩都接受到媽媽的教導及兄姊的生活經驗。

如前述，黑猩猩的知能較高。實驗者用圖形文字訓練，可使黑猩猩了解抽象記號及單詞。這樣黑猩猩能自己作了很簡單的話句傳達給對方，也能玩人類所玩的剪刀、石頭、布的猜拳(註 6)。若與人 3~6 歲兒童(n=38)的智能比較，黑猩猩持有相當於人兒童 4 歲程度之知能(Gao, Su, Tomonaga & Matsuzawa, 2018)。如上述，會玩電腦猜拳外，牠們還持有超過 30 個以上的語言，來交換意見！！(黑猩猩的叫聲，Google)。

(二) Gua 與人兒童

黑猩猩的知能相當高。如果幼黑猩猩給予和人類乳幼兒一樣的生活形式，幼黑猩猩將會怎樣發展？有人進行了這有趣的實驗。在 1931 年，比較心理學家 Winthrop Kellogg 博士，讓出生後 7.5 個月之雌黑猩猩(名為 Gua)與他們自己的男孩子 Donald Kellogg (生後 10 個月)一起生活、教育。連續 9 個月觀察他們兩個之生長變化；如身高、體重、血壓、知覺、運動機能，甚至測定頭蓋骨大小發育程度。在同一條件的生活環境下，發現 Gua 比 Donald 有較強的環境適應能力，Donald 多半學 Gua 之行為，譬如如果他們肚子餓了，Gua 就會叫，要求 Kellogg 博士給她食物，而 Donald 亦一樣用猴叫方式，而不是用人語言(他當時只會說出三個人類語言)來要求食物 (Kellogg & Kellogg, 1934) (Gua chimpanzee.wikipedia, google)，因此，聽說 Kellogg 博士夫人強烈反對繼續做此實驗，而不再繼續觀察研究。

(三) Ham, Enos 與美國太空總署 (NASA)

另外有名叫 HAM 及 Enos 的黑猩猩，在美國太空總署裡受過簡單的地上訓練後，1961 年 HAM 坐太空艙被送至太空 (滯太空時間 16 分 39 秒)，然後安全回到地球。初次實驗成功完成高等動物在太空可以維持生命，而且可以正確地作業(HAM chimpanzee, Wikipedia)。後來，Enos 亦很成功地完成牠的任務。

(四) 動物園逃脫事件

2014 年，美國 Kansas city 動物園發生了令人噴飯的趣事，7 隻黑猩猩逃出動物園圍牆。牠們折斷了一些較高的樹木，斜掛在圍牆壁上當作梯子，爬到牆上，逃出動物園(Dockterman, 2014)。雖然在報導中未說明圍牆高度，從逃亡的 Video 中可以看到圍牆是相當高。

玖、結論

如果，我們被問到「在地球上最聰明的動物是什麼？」我們毫不考慮的回答是「人類」。在地球上共有 137 萬種動物，其中 70% 是昆蟲。為何人類是最聰明呢？因為人類在這複雜殘酷環境中，時時刻刻都在「學習應對」謀求生存，而這就靠人類特有之進化大腦完成。本文特以與人類分類學上最近之黑猩猩或恆河猴來比較，以腦化指數、大腦發達過程，或左右腦機能分化等方面加以討論，以瞭解人腦之特異性。顯示人類大腦隨時隨地在觀察、學習、創造中演進著。

備註

註 1：knuckle walking (手指關節步行，拳頭走)：黑猩猩與大猩猩用此法步行。牠們的手臂很長，站立時垂下手臂可達膝蓋。在牠們要急速行走時，手可輕輕地握拳，以手指中節骨壓地，協助雙足。如圖 5 人手輕輕握拳，以手掌中節骨背面著地。



圖 5、人手握拳

註 2: 人與黑猩猩 DNA 基因差異不到 2%，是真的嗎？……

坊間，常聽到說：「人與黑猩猩基因之不同的部分不到 2%，其餘的均與黑猩猩一樣」，這話當真？人類與黑猩猩的 DNA 訊息(A.T.C.G.鹼基對)是非常不同。人與黑猩猩在 600~800 萬年前自共同祖先分出後各自演化，遺傳訊息亦隨之而變化。人類染色體有 23 對，黑猩猩有 24 對，而其基因序列之排列，人類有人類所特有者，黑猩猩也有黑猩猩所特有者。除兩者所特有的排列者外，大部分是一樣。

註 3: 尼安德塔人(*Homo neanderthalensis*):

目前科學研究的尼安德塔人頭骨化石是，1856 年在德國 Neanderthal 峽谷的洞窟內(cavern)發現的，最初被認為是歐洲現代人之祖先。尼安德塔人到底是現代人的祖先？在學術界中爭論多時，1997 年德國 Maxplanck 進化人類學研究所，自尼安德塔人骨中抽

出 DNA 分析，詳細討論後，確切的否定了尼安德塔人是現代人論說 (Wikipedia google)。



圖 6、現代人(左)及尼安德塔人(右)頭蓋骨之比較圖。德國尼安德塔博物館(展示圖片)圖源自：
[https://ja.wikipedia.org/wiki/ Neanderthal](https://ja.wikipedia.org/wiki/Neanderthal) (日) (Google)

表一、現代人與尼安德塔人頭部比較表

現代人	尼安德塔人
1. 腦容量：1450 cm ³ (男)	1600cm ³ (男)
2. 顏臉較小	較大
3. 眼窩平滑	成眼窩上隆起
4. 下顎肌肉收縮力：弱	強
5. 上氣道長	短

資料源自：[Ja.wikipedia.org/wiki/neandertal](https://ja.wikipedia.org/wiki/neandertal) (日) (google)

另外，在 https://en.wikipedia.org/wiki/Human_brain#Gross_anatomy 登載：人類成年男性腦重量為 1180-1620 公克；女性為 1030-1400 公克。成年男性腦容積為 1260 cm³；女性為 1130cm³。這些數值實質上是有一個範圍，因是有個別差異的。

註 4：腦化指數(encephalization quotient, EQ)

EQ 為大腦重量佔該動物體重之比率。它的比率愈大，被認為其智能愈高。可用下列公式計算 EQ 值 (Jerison, H. J., 1973)。

$$EQ = \frac{\text{brain mass}}{0.12 \times \text{body mass} (2/3)}$$

上述公式中，0.12：Constant of average growth

表二、不同動物的腦化指數

動物	腦化指數
人類	0.89
海豚	0.64
黑猩猩	0.30
猿猴	0.25
鯨魚	0.21
烏鴉	0.16
狗	0.14
貓	0.12
麻雀	0.12
馬	0.10
鼯鼠	0.08
牛	0.06
豬	0.05
鴨	0.05
家雞	0.03

註 5-1：大腦灰質 (gray matter)：大腦皮質內之神經細胞團。人類大腦灰質體積至青春前期都持續增加，然後減

少，它與經驗、學習、情報交換等的大腦皮質可塑性有關。

註 5-2：大腦白質 (white matter)：大腦內神經纖維束之聚集處。人類至 30 歲左右，白質體積有增加趨勢。這增加是因神經纖維髓鞘化所致。髓鞘指包圍在神經纖維周圍的絕緣物，可加速神經細胞上神經衝動 (impulse) 的傳導速度，因此，白質體積增加被認為可強化大腦皮質功能。

註 6：黑猩猩懂猜拳

日本京都大學靈長類研究所松澤教授發表實驗結果，指出黑猩猩透過學習能夠理解「剪刀、石頭、布」的猜拳行為。他們以 7 隻 14~38 歲的黑猩猩(相當於人的 27-57 歲)進行實驗，利用「石頭與剪刀」、「剪刀與布」及「布與石頭」3 種圖像組合，讓黑猩猩辨識並學習猜拳的規則。黑猩猩透過螢幕觸控選出贏的一方，只要選擇答案正確可得蘋果的獎賞。經約 100 天每天 144 次的測試訓練後，有 5 隻作答正確率高達 100%。他們另外以 38 名 2 至 5 歲的幼兒進行相同的測試，結果發現 4 歲以上的幼兒幾乎都能理解猜拳的規則。依此分析，黑猩猩的理解能力相當於人類 4 歲的幼兒 (Gao, Su, Tomonaga & Matsuzawa, 2018)。

參考文獻

- 梁實秋：Hamlet. Google, (nccu.tw. Kangchan-Shakespeare. Parallel Hamlet)
- 松村秋芳(Matsumura, A.) (2011)。日本人類學會，慣用手 (KIKITE): Functional difference of limb dominance in hominoid locomotor of behavior (in Japanese). Journal of Anthropos Society, Nippon, Anthropology.jp/assets/files.JC3.pdf
- 時實利彥 (1968)。腦：東京大學。東京，東京大學出版。
- Dockterman, E. (2014). 7 chimps escape Kansas city zoo. Time (google)
- Fujiyama, A., Watanabe, H., Toyoda, A., Taylor, T.D., Itoh, T., Tsai, S. F., Park, H. S., Yaspo, M. L., Lehrach, H., Chen, Z., Fu, G., Saitou, N., Osoegawa, K., de Jong, P. J., Suto, Y., Hattori, M. & Sakaki, Y. (2002). Construction and analysis of a human-chimpanzee comparative clone map. *Science*, 295(5552), 131-134.
- Gao, J., Su, Y., Tomonaga, M. & Matsuzawa, T. (2018). Learning the rules of the rock–paper–scissors game: chimpanzees versus children. *Primates*, 59(1) 7-17.
- Gardner, R. A. & Gardner, B. T. (1969). Teaching sign language to a chimpanzee. *Science*, new series, 165, 3894. Aug. 15, 1969.
- Gua (chimpanzee, Wikipedia) Little ‘chimp’ process smarter than Human baby after 1 year. the Montreal gazette. Reuters. July 27, 1954.
- HAM, (Chimpanzee. Wikipedia): google
- Hayes, K. J. & Hayes, C. (1952). Imitation in a home-raised chimpanzee. *Journal of Comparative Physiological & Psychology*, 45(5), 450-459.
- Kellogg, W. N. & Kellogg, L. A. (1934). The ape and the child: a study of environmental influence upon early behavior. *Nature*, 133, 891-892. (abstract)
- Khaitovich, P., Hellmann, I., Enard, W., Nowick, K., Leinweber, M., Franz, H., Weiss, G., Lachmann, M. & Pääbo, S. (2005). Parallel patterns of evolution in the genomes and transcriptomes of humans and chimpanzees. *Science*, 309(5742), 1850-1854.
- Malkova, L., Heuer, E. & Saunders, R. C. (2006). Longitudinal magnetic resonance imaging study of rhesus monkey brain development. *European Journal of Neuroscience*, 24(11), 3204-3212.
- Matsuzawa, J., Matsui, M., Konishi, T., Noguchi, K., Gur, R. C., Bilker, W. & Miyawaki, T. (2001). Age-related volumetric changes of brain gray and white matter in healthy infants and children. *Cerebral Cortex*, 11(4), 335-342.
- Sakai, T., Matsui, M., Mikami, A., Malkova, L., Hamada, Y., Tomonaga, M., Suzuki, J., Tanaka, M., Miyabe-Nishiwaki, T., Makishima, H., Nakatsukasa, M. & Matsuzawa, T. (2013). Developmental patterns of chimpanzee cerebral tissues provide important clues for understanding the remarkable enlargement of the human brain. *Proceedings Biological sciences*, 280(1753): 20122398.
- Stedman, H. H., Kozyak, B. W., Nelson, A., Thesier, D. M., Su, L. T., Low, D.W., Bridges, C. R., Shrager, J. B., Minugh-Purvis, N. & Mitchell, M. A. (2004). Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. *Nature*, 428(6981), 415-418.
- Wiki chimpanzee, Wikipedia
- Winder, N. P. and Winder, I. C. (2015). Complexity, compassion and self-organization: human evolution and the vulnerable ape hypothesis. *Internet Archaeology* 40.