

助人

為

演化之本

在演化過程中，合作不是偶然發生，而是最主要的動力！

撰文／諾瓦克（Martin A. Nowak）

翻譯／涂可欣

SCIENTIFIC
AMERICAN
科學人雜誌



SCIENTIFIC
AMERICAN

科學人雜誌



關於作者

諾瓦克是美國哈佛大學生物和數學教授，並擔任演化動力學計畫主任。他研究的主題為演化的數學基礎。

較多後代。如果把這個邏輯推論到極致，我們很快就會得到這樣的結論：永遠不該幫助對手，反而要不惜投機取巧以求領先，管它是利誘還是詐騙，贏得生命競賽才是最重要的事。

那麼為什麼無私行為會如此常見？過去20年來，我用賽局理論的工具來探討這看似矛盾的問題，我的研究顯示，從第一個細胞的形成到智人的出現，合作一直與對立競爭共同影響著地球上生命的演化。因此生命絕不只是鬥爭求生，它還需要「相擁」求生。利他對人類演化的影響尤其深遠，我的研究結果解釋了其中原因，也暗示著互助除了造就人類過去的成功外，對人類的未來也至為重要。

化敵為友

1987年，我和教授及同學參加了在阿爾卑斯山舉行的研習營，開始對合作產生興趣。那時我還是在奧地利維也納大學攻讀數學和生物學的研究生，首次接觸了賽局理論的「囚犯兩難」，這個問題巧妙點出了演化生物學家會對合作現象不知所措的原因。囚犯兩難是這樣的：想像有兩個人因為共謀犯案而被逮捕，面臨了坐牢的判決，檢察官分別偵訊這兩名嫌犯，並明說交換條件，如果其中一人指證另一人，而被指證者保持緘默，指證者只需服刑一年，沉默者將被判刑四年；如果兩人合作互不出賣對方，兩人的刑期就會減至兩年；但若兩人互咬對方，他們都會被判刑三年。

由於兩名嫌犯是分開偵訊，他們無法得知對方會背叛還是合作。若將可能的後果畫成所謂的償付矩陣（見右頁〈天生反骨〉），我們可看出從個人角度來看，最好的選擇是指控對方，避免最嚴重的結果（判刑四年）。然而若兩方都用相同邏輯思考，互相指控對方，兩人都會獲得第三好的結果（判刑三年），而不是合作下的兩年刑期。

能探討衝突與合作矛盾關係的囚犯兩難立刻吸引了我。我和我的博士指導教授西格蒙德（Karl Sigmund）後來發展了電腦模擬技術來分析這兩難局面，不過我們不再局限於兩名囚犯，而是套用在大群體。利用這方法，我們可觀察群體成員在成長和衰退循環下從背叛到合作、又回到背叛的策略。經由模擬程式，我們找出了一種機制，可以克

2011年春天，在一場致命的地震和海嘯後，日本福島第一核電廠的反應爐爐心融毀，一名20多歲的維修工人自願加入福島壯士的行列，返回核電廠試圖控制災變。他知道廠內空氣有毒，也清楚這樣的選擇會讓他失去結婚生育的可能，因為健康問題會成為家人的重擔，但他還是穿過福島電廠的大門，進入輻射瀰漫的廠房內展開工作。除了平常微薄的薪資，他沒有額外補償。這名希望保持匿名的工人，去年7月告訴英國《獨立報》：「這項工作只有我們幾個人能做，我年輕又單身，我覺得幫忙解決這個問題是我的職責。」

在自然界裡，無私的行為比比皆是，雖然不是所有例子都如此偉大壯烈。生物體內的細胞會互相協調，維持分工並避免癌症形成；許多種螞蟻的工蟻會犧牲自己的繁殖力來侍奉蟻后和蟻群；同一獅群的母獅會互相哺育幼獅；而人類則是從食物取得、找尋伴侶到捍衛領土等所有事情都互助合作，儘管助人者未必冒著生命危險，卻仍冒著犧牲生殖成就的風險來成全他人。

數十年來，生物學家為了合作現象傷透腦筋。演化論的主流觀點就像詩人丁尼生（Alfred Lord Tennyson）的生動描述：「沾滿鮮血的獠牙與利爪。」達爾文以天擇說來闡述演化時，稱這競爭為「最激烈的生存鬥爭」。天擇說主張帶有適合性狀的個體比同伴有更多繁殖機會，因此生育

重點提要

- 人們以為演化純粹是狗咬狗的生存鬥爭，然而實際上，合作一直是演化的動力。
- 從細菌到人類，物種成員間的合作都出於五種機制。
- 人類因間接互惠機制而特別樂於助人，我們會根據個人聲譽而幫忙樂於助人的人。

天生反骨

在賽局理論中有一個稱為囚犯兩難的難題，可以解釋為什麼自然界中，合作的存在會讓人詭異。兩個共謀犯案的人將被判入獄服刑，他們的刑期取決於他們選擇合作（保持沉默），還是背叛對方（招供），下方列出償付矩陣。由於囚犯不知同夥會怎麼做，為自己爭取最佳結果的合理選擇，是背叛。

		囚犯乙	
		合作 (保持沉默)	背叛 (招供)
囚犯甲	合作 (保持沉默)	2年刑期 2年刑期	4年刑期 1年刑期
	背叛 (招供)	1年刑期 4年刑期	3年刑期 3年刑期

服天擇偏好的自私傾向，讓可能的背叛者選擇伸出援手。

模擬程式一開始，背叛者和合作者是隨機分佈的，每一輪賽局的優勝者都能繁衍後代來參與下一輪賽局，而子代大多沿襲父母的策略，但也可能因隨機突變而改變。隨著模擬程式的運作，我們發現在短短幾代之內，每一輪賽局中的每個個體都選擇背叛，然後經過一段時間後，突然又出現了新的策略：個體開始合作，並仿效對手的做法，一報還一報。這個改變很快導致群體中合作者佔多數。

在經常相遇的個體間形成的合作機制，稱為「直接互惠」，最明顯的例子是吸血蝙蝠。如果有隻蝙蝠某天錯失直接吸食獵物血液的機會，牠會向同巢飽食的同伴乞食，運氣好的話，有個同伴會將血液反芻到飢餓蝙蝠的嘴裡。吸血蝙蝠的群體很穩定，每天獵食後都會返回巢穴，因此同巢蝙蝠經常相遇。研究顯示，蝙蝠會記得誰曾經在自己需要時伸出援手，當那隻慷慨的同伴哪天需要食物時，之前接受過幫助的蝙蝠很可能會回報恩惠。

還有其他不同的直接互惠機制，讓我們早期的電腦模擬結果更有趣。在經過20代最初「一報還一報」的策略後，群體中出現了更寬宏大量的策略：即使對手背叛，成員仍可能合作。也可以說我們目睹了原諒的演化，這是一種讓成員忽視對方偶犯錯誤的直接互惠策略。

除了直接互惠之外，我後來發現了另外四種合作的演化機制。科學家發表了數千篇論文來推敲合作者如何在演化中勝出，他們描述的所有情境，全部都可以歸類在這五種機制中。

合作能在族群內生根的第二種方式，發生於合作者和背叛者在群體內分佈不均勻時，這種機制稱為「空間選擇」。鄰居或社群網絡中的朋友通常較可能互助，因此群體中散佈了一群一群合作者，這些樂於助人的個體形成了聚集，聚集會成長，然後超越背叛者。空間選擇也存在於較簡單的生物，例如在酵母菌之間，合作者會消耗自己的資源來製造一種可消化醣類的酵素，而背叛的酵母菌卻可坐享其成。美國麻省理工學院的高爾（Jeff Gore）和哈佛大學的莫瑞（Andrew Murray）分別發現，生長在混合均勻的酵母菌群體中，背叛者會勝出，然而在合作者和背叛者分別聚集的群體內，合作的聚集會勝出。

在這些機制中，或許最符合直覺的無私行為就是遺傳血親間的合作，或稱「親緣選擇」。為了帶有相同基因的親人，個體願意捨己。援助需要幫助的親人雖然會降低自

己直接繁殖的適性，卻有助散播自己與受援者共享的基因。20世紀提出親緣選擇觀念的生物學家霍爾丹（J.B.S. Haldane）說：「我會跳進河裡搶救兩名兄弟或八個堂兄弟。」含意就是手足間有50%的DNA相同，堂（表）兄弟姊妹則有12.5%的DNA相同。（計算親緣選擇適性其實相當複雜，讓很多研究人員困惑，目前我和同事就為了親緣選擇的數學基礎而激烈辯論。）

第四種促進合作的機制是「間接互惠」，與我和西格蒙德最初發現的直接互惠有很大的差異。在間接互惠機制下，個體決定幫助一名陌生人，完全決定於求援者的聲譽。願意在他人陷入困境時慷慨接濟的人，很可能是在自己時運不濟時獲得過陌生人的施予，因此合作的心態不再是「我幫你，你也幫我」，而是「我幫你，別人也會幫我」。以日本獼猴為例，族群裡階級較低的猴子會幫階級高（聲譽好）的猴子清理毛髮，因為和階級高的猴子混在一起，會改善自己的聲譽，因此也能獲得較多被清理毛髮的機會。

最後，有些個體會表現出無私的行為，不只是為了幫助

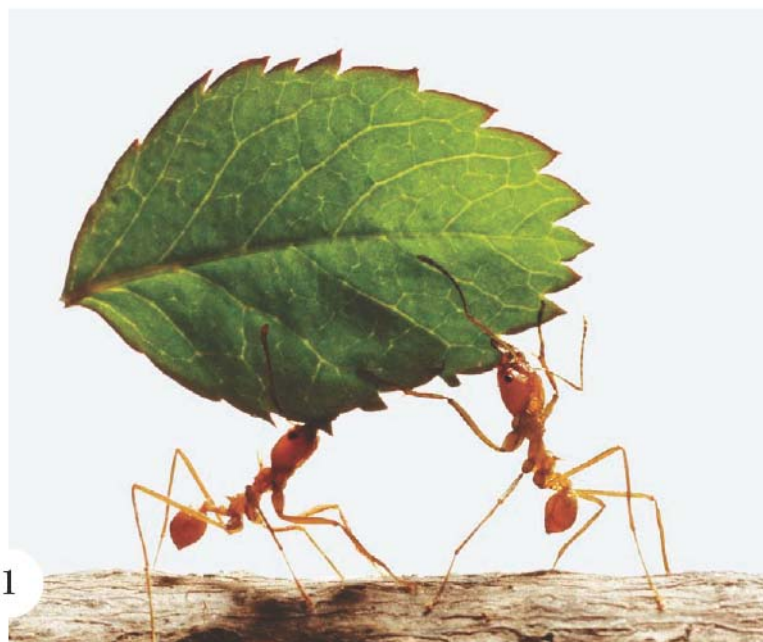
單一個體，更是為了造福群體，這第五種在族群內生根的機制稱為「群體選擇」。在1871年出版的《人類原始與性擇》中，達爾文觀察到：「一個部落裡若有許多人願意隨時伸出援手，為共同福利犧牲自己，這部落將比其他許多部落成功，而有利天擇。」在那時起，生物學家即開始辯論這個天擇可能偏好合作以改善團體繁殖潛力的概念。不過我和其他研究人員建立的數學模型顯示，天擇可能作用在很多層次上，從個別基因到家族、到整個物種，因此公司員工會為了晉升而彼此競爭，但也會合作以確保他們能領先其他公司。

我為人人

這五種合作的機制適用於變形蟲到斑馬等所有生物，在某些情況下，甚至還包括基因和其他細胞組成。這種普遍性顯示，自從地球有生命以來，合作就是演化的動力。合作對人類的影響尤其深遠，讓我們這種行動緩慢又無防衛能力的猿類，經過數百萬年的演化，最後成為地球上最有影響力的物種，發明了各種驚人的科技，可以潛入深海、探索外太空，或是將我們的成就即時散播到世界各個角落。我們能夠完成這些豐功偉業，全是透過合作。人類是最合作的物種，甚至可以稱得上「超級合作體」，只要你願意。

既然這五種合作機制在自然界處處可見，那麼問題就變成：什麼因素讓人類格外願意伸出援手？就我來看，人類比其他任何生物都願意因為間接互惠（聲譽）而助人。為什麼？因為人類有完整成熟的語言，衍生出名字來互相稱呼，讓我們能與直系血親或地球另一端完全陌生的人分享資訊，我們對「誰對誰為了什麼原因做了哪些事」特別感興趣，我們必須在周遭的社會網絡中卡到好位置。研究顯示，從捐助哪個慈善團體到投資哪家新創企業，我們在做任何決定時，都會考慮聲譽。我的哈佛大學同事韓德森（Rebecca Henderson）是商業競爭策略專家，她指出，1980年代讓豐田汽車超越其他車廠的一個競爭優勢，就是公平對待零件供應商而獲得的聲譽。

語言與間接互惠的交互作用，帶動了快速的文化變遷，這是人類適應的關鍵，當人口膨脹、氣候改變，我們更需要善用這適應性，並合力找出拯救地球和其公民的方法。從目前的環境記錄來看，我們能達成這項目標的勝算不大，賽局理論可再度提供一些有用的見解。牽涉兩人以上



1

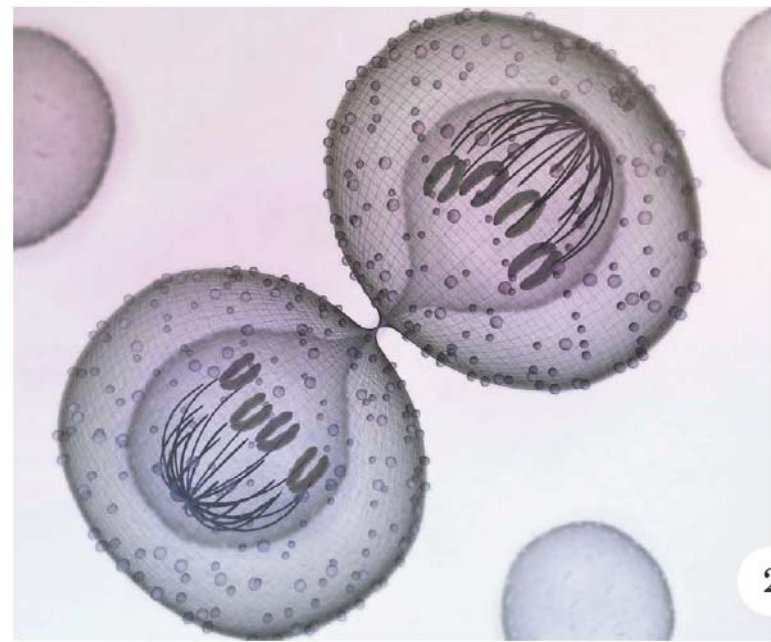


3

守望相助：切葉蟻合作將葉片運回蟻窩（1）。細胞會調節分工，避免癌症形成（2）。母獅互助哺育幼獅（3）。日本獼猴互相幫忙清理毛髮，提升自己在群體中的聲譽（4）。

的合作困境稱為「公共財賽局」：在一切平等的情况下，我的合作會讓團體中每個人獲益，但若我放棄合作選擇背叛，我的個人報酬會增加。因此雖然我希望團體成員合作，但我的「明智」選擇是背叛，但問題是，如果團體中每個人都這麼想，最初合作的團體就會以背叛收場。

已故生態學家哈定（Garrett Hardin）在1968年描述了一個典型的公共財情境，稱為「公地悲劇」。有一群農民共



2



4

用電腦實驗發現了幾個能鼓勵人們盡責守護公共財的誘因。研究人員給受試者每人40歐元，讓他們參與拯救地球氣候的電腦遊戲。受試者每一回合可捐贈一些錢到共同資金，當第10回合結束時，如果共同資金超過120歐元，代表氣候安全，參與遊戲的人可保留自己剩餘的資金，但若共同基金少於120歐元，意味氣候崩毀，每個人都將失去所有的錢。

雖然結果經常失敗，而且是只差了幾歐元，研究人員仍觀察到受試者每一回合的行為差異，藉此得知能刺激大方行為的因子。研究人員發現，當參與者獲得可信的氣候研究資訊時，比較願意做出利他行為，表示我們必須說服人們氣候問題確實存在，需要我們為公益做出犧牲。此外，當捐贈為公開而非匿名，也就是攸關受試者的聲譽時，他們也會變得較慷慨。另一項研究顯示了聲譽的重要性，英國新堡大學研究人員發現，當人們感到自己受到觀察時，他們會變得比較大方。

當我每個月收到瓦斯費帳單時，我就會想到這些因素。帳單上列出了我家和鄰近社區一般家庭的平均值，以及最節能的家庭有多少使用量。看到我家和別家的比較，就會激勵我節省瓦斯：每年冬天，我會試著將家裡暖氣溫度設定調低1°F。

演化模擬程式顯示，合作在本質上是不穩定的。在經歷一段旺盛的合作期之後，最後無可避免會以背叛收場，但是利他精神似乎總是能夠重現，我們的道德羅盤終究會回歸。放眼人類興衰史，包括政治與金融體系的振盪，處處可見合作與背叛的週期循環。我不確定我們現在位於週期中的哪個位置，但是我們在解決全世界最迫切問題的合作上顯然有待加強。賽局理論指引了一個途徑：決策者應把間接互惠、資訊及聲譽的重要性納入考量，讓背叛者收斂；他們也應探究如何發揮那些讓我們在公共財賽局中成為較佳合作者的因子，讓70億人齊心保育地球上快速減少的資源。

SA

涂可欣是陽明大學神經科學研究所碩士，曾經於美國伊利諾大學遺傳所進行博士研究，現專職科普翻譯。

延伸閱讀

Five Rules for the Evolution of Cooperation. Martin A. Nowak in *Science*, Vol. 314, pages 1560–1563; December 8, 2006.

Super Cooperators: Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed. Martin A. Nowak, with Roger Highfield. Free Press, 2012.

用一塊牧場，他們將家畜放養在那裡，造成公用地過度放牧，儘管農民知道這麼做最終會摧毀自己和其他所有人的資源。這個比喻顯然適用於真實世界裡從石油到乾淨飲水等天然資源。如果所有合作看護共同資產的成員都傾向背叛時，我們怎麼可能達成為後代子孫守護好地球生態資產的心願？

人人為我

幸運的是，我們還有一線希望。德國馬克士普朗克演化生物學研究所的米林斯基（Manfred Milinski）和同事，利