

生物在玩沒有數字的數學遊戲

李後晶

遊戲規則

我們知道，遊戲要玩得好，必須先瞭解遊戲規則才行。而生物的遊戲規則就是「物競天擇，適者生存」。在這規則下，巧取豪奪，無所不用其極，就是要確保生物的生存及繁衍。生物遊戲玩得好，自然多子多孫，而遊戲玩得差，不但個體提早出局，就是物種也會走向滅亡之路。因此每一種生物都戰戰兢兢地在玩這種生與死的數學遊戲。每一個體在乎的是吃了多少食物，花了多少時間，交配了幾次，產了多少後代，而這些數字的加加減減，讓我們瞭解、甚至預測某種生物在此遊戲中，將是贏家或輸家。

在「物競天擇，適者生存」戰略指導原則下，「在適當的地點，選擇適當的時機，做適當的行為」則是戰術的最佳原則。動物的行為，充滿著數學的概念與運算，然而動物已進化至將這些複雜的數學概念，烙進了基因，而多層次的數學運算，已簡化至感官與腦的神經網絡。因此動物可以在迅雷不及掩耳的情況下，做出適當的行為。現在我針對動物如何選擇適當的地點及適當的時機二項，來做分析，介紹這些隱藏式的數學概念及運算。

適當的地點

動物在選擇棲地時，必須考量地點的可及性、隱蔽性及資源豐富度。其中隱蔽性考慮的是遮蔭避雨及躲避天敵。尤其是後者的考量，可是攸關生死的，它的機率計算是首要考慮項目。然而這種考慮不需要經過複雜的計算，動物可由競爭者的多寡及天敵活動蹤跡的線索，來決定此棲地之適當與否。競爭者眾代表著棲地品質佳、天敵少，然而也會因競爭者多，產生排擠效應。從天敵的角度來考量，競爭者眾產生稀釋效應，減低單一個體被捕食的機率。而競爭者少，可能反映出棲地的隱蔽性高或者天敵出沒頻繁，危險性高。這些高度複雜性的狀況，需要反覆的偵測及機率的計算，然而動物卻可以由本身之感覺系統，經由環境刺激，引起動物停留或離開此棲地的行為，達到宛如機率計算的最佳結果。任何一種行為，皆需花費能量，而棲地選擇，可由可獲得的能量來評估。因此在可及性及資源豐富度的考量上，可以獲得能量的多寡做為評估的標準。當可及性高，則花費在達到棲地的能量就相較地低。這項考慮因子其實也必

須與資源的豐富度一併考慮，也就是在達到某一棲地時，此地點之資源豐富與否，也決定這些動物是否會在此地停留或離開。這種資源多寡的考量或能量消耗的計算，非常複雜，而且它的數值一直在變動。例如：資源隨時在被利用，也同時在增長中，而自身能量的消耗雖然隨時間的消逝而增加，但在取得資源後，就可加以補充。當然這些狀況也接續下一個問題，就是何時離開這個棲地，另尋較好場所？我提出了這些需要計算（考量）的因子後，再來看動物如何去做，才能得到最好的棲地選擇結果。當動物在尋找棲地時，它可能運用視覺、嗅覺或聽覺去查知潛在棲地的方向與位置，而其體內生理狀態，則會決定是否朝那一個刺激源去找尋。而尋找時間的長短，則會影響體內能量消耗的多少。消耗愈多，表示地點的可及性差，就需要有較高的資源豐富度來讓此個體願意選擇此棲地。這些環境、生理狀況的偵測與考量，皆能將複雜的數學運算，化做簡單的刺激—反應模式。由環境刺激引起行為反應，則是停留在此棲地，利用裡面的資源；或是離開此地點，繼續尋找，直到能引起停留行為的產生為止。適當的地點代表著動物日常生活或繁衍後代可以在此順利進行。它可能是單一地點，也可能是多塊地區的混合使用。無論如何，它與動物之間是種動態的關係，適當的地點必須與時間相結合。晚上適合睡覺的地點，不一定是白天獵食的好場所。今天適合的地點，明天可能因為競爭者的入侵，而使資源變少，此地點就成為不良的棲地。因此動物只有依賴刺激—反應模式，唯有在適當的地點，配合適當的時機，特定的環境刺激才可以引起適當的行為。

適當的時機

生物必須能適應環境的變動，才能生存繁衍下去。而這種環境的變動可從短時間的半天潮汐週期、日夜變化、一年中四季更替，至長時間的地質年代變動。然而生物並無法對長時間的環境變動做預測或配合，只有利用個體的歧異度，讓環境來做自然選汰。因此有些種可以長期繁衍下來，有些種則被時間的洪流沖入歷史的閣樓。但是環境中短時期的變動，確有軌跡可尋。它是太陽、地球、月亮三個星體，互相環繞、運轉及萬有引力牽扯所造成的規律性的變動。生物為了配合這些潮汐、日夜及季節的變動，必須在體內發展出一種具有計時功能的所謂「生物時鐘」。這個內在時鐘，可以與外界的時間週期同步，然後在特定的時間點上，遭遇某一刺激，就引起了特定行為反應。當然在這時間點上，若是經過「自然選汰」過的適當時機，則此行為就發生了適當的功能，反之，則此時機就會造成生物的不適，甚至死亡。如此一來，這個時機的選擇就鎖定在這個族群的基因層次上。因此個體並不需要去評估、判斷時機的適當性，其體內之生物時鐘，在這特定的時刻，就會經由生理的調控，在接收環境刺激的敏感度上做適當的調整，使得同一強度之環境刺激，只有在此特定時刻，才會引起一系列行為反應，若在其他時刻，就不會引起這些反應。現在舉例說明：當一塊蛋糕在我們眼前，它的色香味可以刺激我們的食慾，將之一口吃下。但是若你正在參加一項考試，則這塊蛋糕的誘引力，就無法引起你的食慾，因此你就不會產生吃的行為。所以同一塊蛋糕的刺激，會因為我們所在

環境狀態及生理狀況的不同，產生截然不同的反應。而這種體內狀況的改變，會隨著我們體內生物時鐘的運轉，呈現接近 24 小時的規律性，因此我們對某種特定的刺激，就可在特定的時刻，做出適當的反應。

生物時鐘

至於生物時鐘如何去量測 24 小時的週期，而能調控生理的狀況，使之也隨著這 24 小時週期，呈現規律性的變動？這就牽扯到體內時鐘細胞如何製造出呈現 24 小時週期變化的時間訊息了。時間是由事件的順序所造成，量測時間是相當困難的。當然地球自轉一圈就代表著 24 小時的一天的時間，而地球公轉太陽一圈，就代表著一年的時間，這些時間的計量需要數學家及天文物理學家才能將之計算清楚。而生物如何量測這複雜的時間呢？當我們檢測生物體內的生物時鐘時，發現這個計時的構造，是由一系列的生化反應來產生時間訊息的。目前已知是有二個時鐘基因參與這個訊息的製造。當這二個基因啟動之後，會有二種相對應的蛋白質在細胞質中產生。這二種蛋白質互相結合後，一同進入細胞核中，將原本的二個時鐘基因關閉。當結合蛋白質進入細胞核的量愈來愈少時，會因抑制時鐘基因的結合蛋白質的量過少，而排除了原本抑制時鐘基因的因子，重新啟動時鐘基因的表現。如此一來，這種自我負回饋機制就造成了一個具有特定週期的循環訊息。這些特定週期經由自然選汰的結果，大致呈現 24 小時的生物時鐘週期。生物學家同時也發現

當有光的訊息存在時，會將其中的一種時鐘蛋白質分解掉，因此使得結合蛋白質的量減少，使得抑制蛋白質合成的速率減慢，因而延後了此次週期的結束，也就是將約 24 小時的週期延長，而某一特定的時間相位就此改變，如此就可能使這個週期與外界的光暗週期同步。也因為有這種機制，生物時鐘才有與地球的規律性變化（24 小時亮暗週期）配合的現象。生物就是藉由體內生物時鐘，來提供 24 小時週期內準確的時間性。即使是季節性變化的年週期，生物仍然可以藉由這種 24 小時週期的生物時鐘來量測或告知。在較高緯度地區，季節的變化，可由一天中日照時間的長短來代表。生物時鐘可以量測一天中陽光出現的時間，使生物得知年的時間性；生物時鐘也可以利用某種化學物質的累積，在經過每一次時間週期後，就會製造定量的物質屯積下來，而在達到特定量時，就可以開啓依季節變化所產生之某一特定生理狀態或行爲（如冬眠或遷徙）。這種年週律動的訊息偵測，亦可由 24 小時日週律動生物時鐘來達成。生物藉由體內之生物時鐘，提供適當的時間性，不但發生在一天或一年重覆出現的時間性（例如：休息活動週期或生殖週期），也可在同一個週期內，利用時間訊息做出行爲的修正（例如：蜜蜂在短暫下雨後，利用體內生物時鐘的時間來校正太陽方位，而重新找到正確的花蜜位置或是候鳥在長時間的遷徙飛行中，會依一天中太陽的移動方位，校正飛行的方向）。動物的時間性選擇，雖然牽扯複雜之數學運算，但是真正的執行，卻非常簡單易做。那是利用體內的生物時鐘，提供時間或是調控生

理狀況，使得某一行爲在特定的時刻表現出來。這些行爲的展現，若是能幫助個體成長或繁殖，則這行爲的時間性，就會因為「自然選汰」的作用，而將之固定在基因層次上，而成爲這些行爲表現的適當時機。

結語

動物的行爲表現充滿著複雜的計算與機率，憑藉著狹小的腦容量及短暫的生命，動物無法如人類一般地去學習，去計算這些複雜的數學遊戲，然而動物的生存之道「在適當的地點，適當時機，做適當的行爲」，卻是不必經由學習複雜的數學運算，就能憑藉著歷經長久的「自然選汰」結果，將這些複雜的

運算化做對環境的刺激，引起行爲反應。只是這些刺激—反應會經由生物時鐘所提供的時間性，經由生理狀況的調控，使得只有在適當地點所接收到的刺激，才能引起適當的行爲反應。這種行爲模式是建立在基因層次上，是所謂的本能行爲反應。即使是學習行爲，也是經由經驗的影響，造成原來刺激—反應的改變，而呈現舊刺激聯結新反應。只要這些新的刺激—反應，經得起環境的考驗，這樣仍然可以擺脫數學運算的煩惱。而在這場數學遊戲中就可以玩得出人頭地，多子多孫。

—本文作者任教於台大昆蟲系—