

有朋自遠方來——專訪

James A. Yorke 教授

策劃：劉太平

訪問：李天岩、杜寶生、陳建隆、陳怡全

時間：民國94年5月17日

地點：國家理論科學中心數學組(新竹)

整理：陳怡全

James A. Yorke 教授 1941 年出生於美國，1963 年自哥倫比亞大學畢業後，由於馬里蘭大學的理工研究院 (IPST, Institute for Physical Science and Technology) 提供跨領域的研究機會，促使他到馬里蘭大學深造，三年後拿到博士學位，留下來成為 IPST 的一員，後又擔任 IPST 研究主任長達 16 年，目前為馬里蘭大學的傑出講座教授，同時也是數學系與物理系的教授。Yorke 教授最為一般人所知曉的，可能是他與李天岩教授 (清華大學數學系畢業，1969~1974 年間為 Yorke 教授之博士生，現為密西根州立大學傑出講座教授) 共同發表的文章：週期三導致混沌。在這篇文章中，他們首次給了混沌一個很明確的定義，從而開啓了研究混沌理論的先河。Yorke 教授的研究興趣在混沌理論，氣象預報，基因組研究以及 HIV/AIDS 等病毒的擴散動力學。他在動態系統方面有很根本的貢獻，並因而與耶魯大學的 Benoit Mandelbrot 以他們在 Science and Technology of Complexity 方面的貢獻共同得到 2003 年的 Japan Prize。

陳怡全(以下簡稱「全」): 首先要謝謝你接受我們的訪問。通常，我們從受訪者的數學背景談起。

比如，你為什麼要學數學，是什麼因素讓你進入混沌 (Chaos) 的領域呢？

Yorke: 中學的時候，學校有些科普讀物是由著名的科學家所撰寫的。這些書不是很技術性，他們設定的讀者群就是中學生。我讀了其中一系列由 Nobert Wiener 所寫的書，談論到大氣中的原子、分子如何以複雜的方式相互碰撞，而這是某種的「混沌」(chaos) 現象。

全: 他使用「混沌」(Chaos) 這個詞嗎？

Yorke: 沒有。不過他談論的是複雜運動，我開始熟悉了關於兩球相互碰撞、分開這樣的複雜運動，你把一顆球，碰撞前的角度做小小地改變，碰撞後的行進角度將大大地不同。所以生命中是充滿著小改變導致大變化的情形。例如說車禍，假如人們早個或晚個十秒鐘出門，或許就可避免掉一場車禍。所以小小的改變可以導致很大的變化。在中學時，我喜歡閱讀這些由著名科學家，包括愛因斯坦所寫的科普文章。因此我其實受到這些科學家的影響遠大於學校老師的影響。這些科學家是我心目中認為值得去做做的對象。有一本由 E. T. Bell 所著的「Men of Mathematics」的書，敘述許多著名數學家的研究事蹟和他們所探究的數學。這些數學家的研究有些解釋起來很複雜，但有些我們可以了解。這是我對數學產生興趣的原因。後來，當我開始研讀一些討論混沌現象的文章時（當然文章作者們並沒稱之為混沌），我體認到這些現象和我在中學時所閱讀到的是有關連的。

有一位從波蘭來的訪問學者 A. Lasota 教授，他是有想法的，他講機率：當你離開一間屋子時，你出門的時間在前後相差約一分鐘的時間內都可能，隨著時間，又有不同的機率及可能發生的事要去考慮。比如，有百分之十的可能，你會發生車禍，而被送進醫院；或許，有百分之十的機會，一個男孩會遇見從未謀面的女孩，而深深為之著迷，一切皆是偶然。所以，事情會演變得愈來愈複雜，所有的事都牽涉到機率。這一點，Wiener 在他的書中也提到過，試著去探索事情是如何以不同的機率在發生。

杜寶生(以下簡稱「杜」): 所以，Wiener 和 Lasota 都談到機率...

Yorke: 是的。所以當 Lasota 來美國講關於機率時，它已是我所熟悉的事了。獲得博士學位之後，我看到一篇氣象學家 Edward Lorenz 寫的論文，探討一由三個微分方程式耦合 (coupled) 而成的系統。這系統有著非常複雜的動態行為，現在被稱為「Lorenz 系統」。文章中，他提出很多有趣的現象，也闡述了一些有意義的想法。我把這篇論文給李天岩看，想了解其中的奧妙。我們就是因為想明瞭這篇論文的內涵，而引發我們提出「混沌」(chaos) 這個想法。

李天岩(以下簡稱「李」): 在二維系統，有 Poincaré-Bendixson 定理，它大略是說有界軌跡終究將漸近於週期解。傳統上人們一直相信，在高維系統中有界軌跡也應該有類似的行為，會有漸近於諸如類週期解 (quasi-periodic)、近週期解 (almost-periodic) 等等的事，但是沒有人能證得出。換句話說，人們基本上還是認為有界軌跡是以某種規律的方式在運動著。Lorenz 系統的一個要點就是，即使在三維空間中，存在著有些有界軌跡 (或是說有界解)，其最終的變化是完完全全不可捉摸的。這些軌跡會被吸引到所謂的「Lorenz 奇異吸子」(Lorenz strange attractor)，這吸子是一有著「奇異」外觀 (strange looking) 的集合，能夠吸引所有鄰近的軌道。Yorke 教授就是因為 Lorenz 教授的那篇論文，而有了混沌這個想法的那個人：Lorenz 方程中解的不可捉摸、不可預測等等複雜行為並非計算誤差所造成，而是可被嚴格證明的。

全：所以，「混沌」這詞的靈感是來自於 Lorenz 方程。

Yorke：對，我是因為 Lorenz 而有所啓發的。

全：如今動力系統已經成爲頗大的研究領域了。你能否提供一些建議給有興趣踏入這領域的學生？

Yorke：我想從事動力系統研究的人比純數某些領域的研究者有較大的優勢。做研究的最重要的是要 有新的想法。而要得到新的想法，人們必須去想像些過去從沒有人想像過的事。在純數那些領域裡，已有過大多數學家思考過或者嘗試著去思考過某些問題，因此你很難有新的想法。我的建議是去做數值計算(numerical studies)。高斯曾於十九世紀初期花費大量的時間從事數值方面的研究。今日我們能做的比高斯那時快上幾百萬倍，但很多人不做數值研究，這是有點悖乎常理。如果一個問題有兩個人在做，而其中之一以數值研究來尋找答案，在其它客觀條件皆相等的情況下，那人是比較可能成功的。在做數值研究時，你時常會看見令人（或者是令你自已）訝異的結果，而如何去解釋這些出人意料的結果就是對你的挑戰。這是從事研究的一個方法。所謂做研究，有一種看法——研究就是去發現教人讚嘆的想法。我發覺電腦對於新想法的獲得大有助益。就如同當年發現盤尼西林時，佛萊明 (Fleming) 並不是一開始就要去找盤尼西林。他注意到有些令他感到意外的東西，不是那些他自己思索出來的，而是外在他所看到的。他進而探求這個謎團，然後發現一種黴菌（即盤尼西林黴菌），能夠殺死細菌。其實，在抗生素的發展上其他的人做了更多的貢獻，但這一切都源自佛萊明所觀察到的現象。那數學家要如何看我們外在的世界呢？答案是憑藉著數值研究。這就是我的建議。利用許多軟體，如 Matlab, Maple, Mathematica 等等，你可以做各式各樣的事情。

全：照你的思路，你是否認爲與實驗的專家合作也是一樣重要的？

Yorke：可以這麼說，但是實驗是很緩慢的。做數值實驗就快速多了。所以我要強調，人們要做他們自己的數值實驗。如果他們不要做數值實驗，那我建議他們找一些不必須要做的領域，一些簡單的領域，例如大腦手術... (衆笑...)

全：既使是在非常純粹的數學或是動力系統的領域也是如此的嗎...

Yorke：高斯在探究數論的質數時，做了一大堆的計算。我想沒有比高斯更偉大的數學家了，他沒有電腦，但他爲何要做這些計算呢？因爲他愚昧嗎？我可不這樣想。現在做計算是如此地容易，但很多人卻不做。或許他們認爲數學是一個他們可以避免使用電腦的領域，但我不相信這樣的事。不過人們必須要能理解電腦所產生的結果，不論是圖形、圖像、還是數字。人們必須非常努力、用心去明瞭電腦究竟做了些什麼。如果發現任何異狀，必須徹底了解才是。所以，不是電腦在做研究，是我們在做研究。高斯得到一些公式，而他試著去實驗看看不同的公式會得到怎樣不同的性質，結果他發現有些特殊的式子有很有趣的特性。如果那時高斯有部電腦的話，他的工作將會輕鬆很多。

全：對於動力系統的發展，你的看法是什麼？

Yorke：關於動力系統，所有的科學家都應了解它是研究事物如何變化的一門學問。不是所有的數學家都必須知道事物是如何變化的，只有非常少數的數學家必須。所以當一位動力系統的學者，或是說一位數學家，在尋找和發展概念時，最自然的聽眾就是生物學家、工程師和物理學家等等。物理學家有可能有一個公式，並且認為那公式是對的，就繼續研究下去。然而數學家會試著去證明此公式。數年之後，他或者她證明了這個公式是對的，可是物理學家或許根本就不在乎。物理學家會說我們想當然它無論如何就是對的（所以我們不需要一個證明。）因此，數學家的角色應該是去引導科學家，而不是去追隨科學家。我們的目標應該是去幫助科學家，去告訴科學家他們所不知道的事。這是我的看法。

和其它學科的人一同合作研究對於數學家也是非常有用的。假如一個數學家要寫一篇給化學家看的文章，那麼跟一位化學家合作就會有幫助，因為這樣才可以知道什麼是化學家所能接受的論證。又譬如說一位數學家要寫一篇能讓生物學者感到重要的文章，這位數學家如何知道要說些什麼呢？數學家想的是一套，但生物學家想的又是另一套。他或許有一些很好的概念，但他卻可能不知如何描述才會引起生物學者的興趣。單這一點就非常值得和其他科學家合作。

李：我記得 Yorke 教授你也同意 Lasota 所說的「你能夠以解決一個無聊的問題而獲得費爾茲獎。」(You can solve a stupid problem to get a Fields medal.) 我想他企圖去強調一個問題的所謂的「困難度」並不就意味著這個問題是有意義的。一個困難的問題它或許是蠻重要的，但不一定等價於一個有深遠意涵的問題。我遇見過很多傑出的數學家，但說到判斷何種問題是最重要且最值得探究，Yorke 教授或許是我最相信的人了。因此，我想要請教你是如何評斷什麼問題值得研究、什麼問題是有意義的？

Yorke：我想你會同意數學家總覺得缺乏好的研究題材。所以如果好的研究題目很少，而有人因為解決了一個好的題目而獲得一項榮譽，那為何不頒個獎金給想出那個問題的人？而不是給解決問題的人。(眾笑) 我們應當要給費馬一個獎，即使他已去世了三百年。許多人認為一個偉大的數學家的工作是去解決未解決的問題。如果是這樣的話，那就不會有新的問題出現了。反之，我認為的方式是 人們必須要去想問題，簡單的問題，然後試著去了解一些事。但是你必須不斷地修正你要解決的問題，將之與你已了解的融會在一起。將你已知的融會一起是指將問題與答案放在一起。只有當你有一個好的答案時，你才真正地有一個好問題。這是和專注於著名的懸案非常不同的想法。發掘新問題是科學家真正必須去做的事。所有的科學家，所有的數學家必須要有新問題。憑藉對某些想法的理解，你產生新的問題，然後你試著將二個一半的椰子合在一起，這個椰子裡就是你的核心理想，一半是問題的陳述，另一半是答案的證明，而裡面是你將這二半融會貫通後的想法——兩個一半的椰子，以及整個想法。

你必須要找到這兩個二分之一，找到問題來問，和找到方法回答。你可以從一個問題開始，然後有些解決問題的想法，然而你可能沒有真正地解答該問題，因此你修正或者改變問題。同時，你必須問「什麼是我真正想要知道的？」我覺得人們應該花一半的時間問自己「我們應當問什麼？」不只是在剛開始時要問，是要持續不斷地問。直到你有了最終的答案，不然你永遠不算解決一個問題。這是我認為數學家應該要有的方式。

李：這只是前面的一半，那第二半呢？通常，在如此繁多的研究題目中，是什麼樣的直覺讓你決定那些是最值得去探求的？舉例來說，那時你說用數值方法來找 Brouwer's 固定點，肯定是值得研究的方向。很老實說，在當時我不懂為何這題目是那麼重要，我只是聽從你的建議去做。

Yorke：我問過我自己很多次「什麼是一個好的問題？」，而我的回答也變了很多遍。一個答案是你能有一個出人意料的想法嗎？或者是你能有一個人們需要的想法嗎？

李：關於 Brouwer's 固定點的問題，在我們發表我們的結果時，我認為我們會是唯一研究此問題的人，但結果發現已有一大群人以其它的方法也在做這個問題。你是如何知道...

Yorke：有一些人做研究是看著出名的人的工作在做，然後他們企圖去做得更好些。

李：根據你的看法，這肯定是錯的途徑。

Yorke：沒錯，這不是一個好的途徑，因為出名的人並不一定會說明為什麼他們認為這問題是有意義的。在數學上有一個大的缺失就是人們不寫下為什麼他們認為一個問題是值得關心的，他們常常只是寫下結果。所以就有人跟著做這些問題而不曉得這些問題的價值在那裡。通常，這些問題並不簡單，所以即使你做得較那些有名的人好，也很難引起任何人注意。我叫這「one-ups-man-ship」，這意思舉個例子來說明的話就是說，你跳8公尺，我就試著去跳9公尺，不管跳8公尺或9公尺是不是重要，而我總是要佔上風的心態或做法，就叫做 one-ups-man-ship 也就是不管怎樣，就是要比你好一點。這樣做是沒有內涵的。我認為要緊的是去從事一個你自己覺得重要的問題。就如李天岩所舉的例子，也許沒有人會注意到那個研究，但至少你知道有一個原委為什麼要研究它。現在，假如有人因為跳了8公尺而變得很有名氣，而你跳了9公尺，但你卻沒有因此變得有名，那也許是因為有一條小溪流寬7公尺，所以他要跳8公尺去越過它，所以也就沒有任何必要去跳9公尺。對吧？如果你跳9公尺的目的只為了要比別人多1公尺，而又沒人在意的話，那你就惘然了。這是因為你做的事情沒有實質的目的，別人不會注意的。所以我認為你自己相信自己的研究題目很重要，你有重要的研究結果 要與很多人分享，這對於研究的能否繼續是相當要緊的。也因為如此，你還必須常問你自己你的聽眾是誰。有些從事生物數學(mathematical biology) 研究的學者說他們的某篇文章的讀者會是生物學家和數學家，那就幾乎注定要失敗。因為沒有人有辦法寫出兩造皆能了解且皆能欣賞的論文。比較好的做法是寫兩篇文章，一篇給生物學家看，一篇給數學家，講大致相似的事，但針對不同讀者以不同的方式來論述。

李：你告訴過我在你的學術生涯中你看到過太多事的起起落落。就像剛開始時，有「控制理論 (control theory)」、「介穩定性 (meta-stability)」、「分歧理論 (bifurcations)」、「delay equations」等等，而後有「混沌理論」。我記得在1982年我問你說混沌現在是那麼熱門，它會繼續下去嗎？我也清楚地記得你說「我看不出任何它會繼續熱門下去的理由。」

Yorke：人們記得其中基本的想法，而這些想法會持續被應用。或許會有其它做研究的方式，但混沌這想法、這觀念將一直存在而且為人所用。

李：換個話題，財務數學是當今的一個熱門，你覺得它會持續多久？

Yorke：是的，如果有人想知道我認為的一些熱門的研究領域，可以看看我的網頁 yorke.umd.edu 在上頭我列了些我正在進行的計劃。其中一個主題是氣象預測。什麼是氣象預測呢？就是拿現在的全球大氣資訊去推測未來。我們團隊主要的想法和努力的方向是要發展出一些較佳的方法來理解什麼是「現在」全球的大氣狀態。我們利用非線性動力學來研究這目標，並且希望能產生較佳的天氣預測想法。這是一個相當重要但同時也很困難的問題。所以我們一群人一起做，這裡，混沌這想法也用得上。我們希望在未來的數年內能發展出全世界都採用來訂定什麼是氣象的起始狀態的想法來。其它的人也在從事這方面的研究，當然他們也會提出他們的想法，但我們希望我們對如何完成這事有真正的影響。

另一件我們在進行的計劃是關於 HIV 病毒。今年年初我和我的合作者寫了一篇探討 HIV 病毒傳染力的論文，在論文裡我們完完全全地修正先前的答案，並將之發表在一個醫學期刊上。這也是一個重要的研究方向。我們把這傳染看做流行病的爆發，所以被感染的數目增加地很快，然後去了解在這樣很快地成長下的某些性質。當中有一些混沌般的行為發生，但主要還是以指數成長。另一個我們有興趣的主題是基因體，是要去了解基因序列。人們已經在做這方面的研究了，但我們想要找到較好的方法。而且我們希望以一、兩年的時間，能夠在比其它團隊誤差較少的前提下，理解什麼是基因。也許我們會成功，或許不會。我們這項研究，是在純數的領域的。

所以說，我同時在做很多不同主題的研究。這，我不建議人這樣做，因為相對而言這意味著每一項主題都進展得很慢。但，這是我做事的方式。今年是著名的愛因斯坦 1905 年的百年紀念，在那一年他寫下了四篇非常著名的論文，每一篇都非常不相同。這些是我在中學讀的東西，不是指文章本身，而是關於愛因斯坦和他所成就的非技術性的事蹟。所以，我總覺得，嗯，或許我可以在同一時候做不同的事，當然不是在愛因斯坦的層次，只是在同一時段做不同的事。做不同的事，你會獲得不一樣的想法，而這些想法將彼此互補。假如你要從事生物中細胞動力學 (cell dynamics) 的研究，你會發現你先前所學的非常有幫助。可能會為這領域帶來新的觀念，而這些觀念是在這領域的其他人所不知道的。當然，有太多關於細胞動力學你不知道而他們知道的事。所以，事情變得有點複雜。我只是喜歡去找一些有趣的問題，一些我想我能夠說說我的想法同時引起他人興趣的問題。

李：對於我問的有關所謂熱門的研究領域的問題，你所回答的是說不要去管熱不熱門...

Yorke：熱門的領域...是的，你看在基因體方面我們正試著做的稱做「whole genome shotgun assembly」。你拿一大段的基因，也許有3百萬個A, C, G和T的字母，然後你把它分解成一大堆相互重覆的DNA片段，而後你必須再把這些片段重組起來。即使說人們已經花費鉅資在使用這樣的技術，這樣的研究並不算熱門。它不是熱門的，是因為很多人認為它是一個已被解決的問題。但它應該是一個熱門的領域。Celera Genomics 這個生物技術公司利用了這項技術而拼成了一張人類基因的「草圖」。草圖是說他們所做的之中仍有些錯誤。若單就如何將這些DNA拼湊起來，有些人說這是項已被解決的問題。這就像是說當萊特兄弟於1903年成功地飛行了200英尺，他們就解決了重物飛行問題一般。然而，200英尺的飛行距離肯定不會太有用，所以現在我們在這個問題解決「後」，「又」長足進步了很多。因此，就如同李天岩所說的，這不被認為是一個熱門的問題，所以說並沒有很多競爭。或許，我應該這樣子說才對，人們可以瀏覽我的網頁看看一些我認為應該會是熱門的研究題目。

全：所以看來，一個題目是熱門與否，是跟有沒有人競爭有關。

Yorke：對的。常常是在生物學領域，人們會說，哇，某些事是一個大問題，而沒注意這問題是否有個可用的答案。但是，我要的是同時將問題和答案陳述在一起。

在過去的這幾年中我們一直在做的事是當有人把這些基因的片段組合在一塊時，我們去檢視他們結果的正確性如何。因為如此，我們發展出來一套新的途徑，而成功地偵測出好幾百個錯誤之處。當我們偵測出這些錯誤時，我們知道了一件其他人不知道的事，那就是錯誤的所在。然後我們得以找出為什麼人們會在那兒搞錯了，而且我們也得以試著去修復這些錯誤。不過，這是一個在任何層次都沒有被觸及過的問題：你要如何在基因草圖中找到錯誤？

李：但是，為什麼你會挑選這個題目呢？

Yorke：(笑...) 好吧！我在報紙上讀到一篇報導，說有一個研究團隊如何地將某一種細菌的基因體組合。我理解到他們將DNA裂解成很多重覆的小段，再將之組合在一塊。而我感覺雖然他們完成了一項了不起的工作，但有可能他們的工作並不盡善盡美。從事了不起的工作和從事善盡美的工作；還是有分別的。所以我想，如果我的學生也覺得這個有趣的話，那麼我們可以試著去做得好些。所以這單純是因閱讀報紙而開始的。我試著去閱讀各類科普的文章，因而能知道天下有什麼新的事發生，因而能有一些新的想法，就這樣。

全：這是你第二次造訪台灣，你覺得這裡的動力系統或者說非線性動力學的研究如何？

Yorke：愈來愈好，而且有相當的進步。

全：你能否給一些意見，我們要如何打造一個強的非線性系統的研究團隊。

Yorke：對於任何感興趣的題目，必定要做數值的實驗，就像數論或其他領域的人一樣。

全：你是說數值模擬？

Yorke: 是相關的數值研究, 也可以是數值模擬。

全: 為何你這樣子認為?

Yorke: 這是因為要想出新點子是非常不容易的。一般人藉由環顧週遭的種種進而以解釋一些道理。而我們數學家則是去做數值研究然後觀察數值研究呈現出怎樣的結果。

試著這樣想, 當你跑馬拉松時會穿鞋子嗎? 做數學而沒有電腦常常像跑馬拉松而不穿鞋子般, 你跑不遠的。

李: 1960年一位名叫 Abebe Bikila 的奧林匹克馬拉松冠軍就沒有穿鞋子賽跑。不過, 4年之後他又再一次獲得金牌, 但這次穿了鞋子。(眾笑)

Yorke: 有另一位非常出名的選手名叫 Emil Zatopek, 同樣地也是奧運冠軍。他穿的是陸軍的靴子。很多人東施效顰, 結果雙腳酸痛。所以呢, 一味地模倣別人或許不是件聰明的舉動, 不管是不穿鞋子或者是穿陸軍軍靴賽跑。

李: 這裡有個相關的問題。假設有人將一群非常有天份、有潛力的學生帶給你, 希望你能夠指導或引導他們, 你覺得怎麼做最好?

Yorke: 我不曉得什麼是最好的做法。但是, 他們應盡量不要只專注於某一領域。非線性系統似乎有太多知識你必須通曉以至於你沒辦法著手開始。你必須懂機率論, 你必須懂數值方法, 你必須懂拓樸學..., 全部的領域。你如果等到全部學會後才要開始, 那你永遠也無法開始。因此我認為在學會這些必備的知識之前, 就應試著著手一些小的研究, 應該要試著去建立自己的想法。不幸地, 在美國和大部分的其他地區當一個學生變成研究生時, 在他能夠開始去探究新想法之前, 他必須花數年的光陰研讀很多舊知識。我比較傾向人們盡可能早地去探究他們的新的想法來震撼他們自己, 而不要等到學會一大堆的東西之後。

李: 我一直不斷地重覆你跟我說的話給我的學生知道:「最好的學習方式就是在做中學習。」

Yorke: 沒錯。當你企圖去研究一個問題時, 要緊的是去學習那些你需要知曉的知識。平常你修一門課時, 你並不了解為何該門課重要。那麼, 這些所學的並沒有真正深深地烙印在你的腦海裡, 只是貯存在表面上的知識。然而當你從事某項研究, 而且發覺需要這些知識時, 你就領悟到它們的重要性。所以說, 最好一邊做、一邊學習。

全: 如此一來, 至少就明白一個為什麼要學習和為什麼重要的理由。

Yorke: 明白為什麼是重要的, 是的。它可以有不同的重要理由, 但光在課堂上被教是不夠的。你真要弄明白它與你所知道的一切知識間的關係, 而非只是其中一小部分的關聯性。

陳建隆(以下簡稱「陳」): 你能否為我們的讀者更進一步描述什麼是「混沌」?

全: 既然你是為「混沌」命名的人, 你...

Yorke: 混沌就是你在日常生活中看到的那些小改變會引起大改變的事。在數學裡也有同樣的情形, 在簡單的動力系統中, 我們同樣看到小改變可導致很大的改變。人們習慣的想法認為

數學解的軌跡就如同射出槍口的子彈般，如果改變一點瞄準的方向，子彈飛行的方向就改變一點，而子彈的落點也就跟著改變一些，並沒有太多的差異。然而在玩撞球遊戲時，如果你稍微變化著打第一顆球，被打的第二顆球前進的方式將大大地不同。所以我們說混沌是「對起始值敏感 (sensitivity to initial data)」，即是說起始狀態的小改變會引起大改變。我們在數學上也看到如同我們在週遭生活上所看到的同樣的事，這是為什麼我們稱它作混沌。只要想像多年以前微小的一點變化使你受孕成爲一名女孩所可能造成的演變，想像這世界如何大不相同，假使所有你認識的人都被生成相反的性別，一件小的改變能造成巨大的改變。

李：換言之，要預測不可預測的事是很困難的。

Yorke：可以說在短時間是可以預測的，但長期而言是無法預測的。

我有時候會這樣子說，成功的人通常都精於「B 計劃」。你也許會有一份想要著手做某件事的計劃，而且非常可能有些事情會發生而使得你的 A 計劃無法成功。混沌理論說你複雜的計劃有可能會因某種原因而失敗，因此你必須要隨時因應而改變成 B 計劃。混沌理論因此暗示說雖然事先計劃是重要的，但是你的計劃常常應該簡單就可，而且應該準備好隨時可改變。這就是我為什麼說：「成功的人都精於 B 計劃 (successful people are good in plan B)」，原因是他們通常必須去改變原先的計劃。

陳：有趣，這真是一個非常有趣、非常好的看法。

Yorke：我試著不去預測太遠的未來。什麼是10年後的未來？在這5年內我會變成怎樣？我不曉得。我並不預先規劃那麼遙遠的事情。李教授跟我因爲研究興趣的轉移而進入了混沌這領域，後來他的研究主要又轉變爲數值方法，我的興趣也有了些其他的轉變。在1990年，我和一些合作者興起了去研究「混沌控制 (controlling chaos)」的主意，自此這個題目也引起了很多人的興趣。

全：也就是變得很熱門!(衆笑)

Yorke：很熱門，沒錯。我們大概在1994年便停止相關的研究，但別人仍繼續這方面的努力。假使我現在再做這研究的話，那我必須要弄懂所有其他人所做的和正在進行的一切，所以我想最好還是做些基因、HIV(衆笑)、或者電腦網路等等其它的...

全：等到有其他的跟隨者出現時，或許你又將轉變研究方向了。

Yorke：或許是吧 (笑)。

陳：所以我可以說你有一個相當「動態 (dynamic)」的研究生涯，對吧？

Yorke：我是比較喜歡去探究「dynamic」的問題。基因體的研究也許不是如此的 dynamic，但是它非常有趣而且重要。我想講的是，如果你持續問自己「我在研究的題目爲什麼是重要的？」，或許你不會太高興，因爲你或許得不到太好的理由爲什麼它是重要的。然而，去問這樣的問題還是重要的。我看到有人不去問，而10年過後變得非常不快樂。所以，比較好的是，

即使明白你的工作並不如你想要它重要般的重要，而有點小小的不快樂，也不要迂迴蹉跎10年之後才瞭解到它一點都不重要。對誰而言很重要，那取決於你；究竟為何很重要，也取決於你，沒有唯一的答案。我喜歡看到我探討的問題能夠引起別人的興趣。我想一個數學家的工作如果沒有任何人關心，是蠻叫人感傷的。因為，科學是創造和想法的交流。我覺得你必定要能夠和別人交流你的想法，愈多人愈好。所以我重視學術交流，不是只埋首於問題和解決問題，而是想法的彼此交流。因為這些想法是重要的，因為它們會引起他人的關心，因為它們或許會讓人發笑...我不在意，因為這樣一來人們就會覺得有興趣了。

全：科學是創造和想法的交流，這真是一個非常適切、非常珍貴的見解。或許我們訪談可以在這裡停止，再次非常謝謝你。

—本文訪問者李天岩任教於美國密西根州立大學，陳建隆任教於中央大學數學系，杜寶生、陳怡全任職於中央研究院數學所—

相關文章請參見

1. 本期杜寶生、周謀鴻「『動力系統』的理論及數值模擬」及陳怡全「天羅地網 CANTOR 集」兩篇文章。
2. 本刊15卷3期「混沌與碎形」專題; 25卷1期「碎形」專題。
3. 本刊18卷4期, 陳義裕演講「淺談混沌」。