

把宇宙三角化

這個四維的四面體理論，將成為弦論的最大對手。

撰文／阿爾珀特（Mark Alpert）

尺度決定維度

由「因果動力三角形」（CDT）理論推導出的宇宙模型中，最奇特的特性之一，就是它的維數要依將它們切割到多細而定。在大尺度下，CDT的時空是四維的，但一到了普朗克尺度（ 10^{-33} 公分），將這些非古典（而且通常是極度彎曲）的幾何學積分之後，所產生出的時空卻只有二維。CDT宇宙就像一件表面粗糙的毛衣，它足以讓一隻大蜘蛛橫越毛衣的二維表面，但是小小的塵蟎卻只能沿著一維的毛線爬行。

想像一下，有一幅由超微小三角形結構所構成的風景，而這些小小三角形亦不斷重新排列，呈現出新的風景圖樣。如果我們站遠一點，這幅風景看起來是連續平順的，但要是稍微站近一點，就會看到一團不斷變化的奇異幾何。這個模型看似簡單，但卻是「因果動力三角形」（causal dynamical triangulation, CDT）這門新理論的核心。這個理論的出現，很有希望解決物理界長久以來最爭論不休的問題：如何將重力學定律與量子力學結合？

20多年前，弦論在大統一理論中獨領風騷，它假定宇宙最基本的粒子和力都是微小的能量弦。但有些科學家認為，這個理論誤導大家，因為它將弦設定在固定的背景上；他們認為，較好的理論應該不僅僅能導出粒子和力，還能導出它們所處的時空。1980~90年代，這些研究人員便發展出「環圈量子重力論」，這種理論將時空描述為由許多直徑 10^{-33} 公分的小小環圈所構成的網絡。即便

這個理論成果不凡（例如它預測了黑洞的特性），卻仍未通過一項最基本的考驗：無法解釋這一大堆的小環圈何以能夠聚在一起，形成我們日常生活世界所熟悉的四維時空。

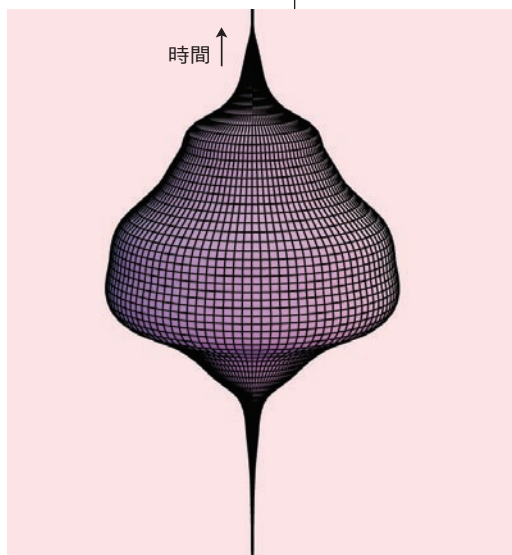
CDT出現的時間還不到10年，但卻已經跨越了這道障礙。它主要是由荷蘭烏特列

茲大學的羅列（Renate Loll）、丹麥哥本哈根大學的安柏裘恩（Jan Ambjorn）以及波蘭亞格隆尼大學的尤爾克維茲（Jerzy Jurkiewicz）這三位歐洲的理論學者所提出。該理論以簡單的三角形結構

來建構出時空幾何，這和美國建築師富勒（Buckminster Fuller）以三角形去建構短線圓頂體（geodesic dome）的意思是一樣的。時空的基本建材是一種四維體，它的意義等同於四面體，只不過是位於四維時空中（就像四面體有四個三角形，四維體則有五個四面體）。即使每個四維體在幾何上是平的，但它們卻可以聚集在一起，形成各式各樣的圖案，而製造出彎曲的時空。因為量子理論規定，在很小的尺度下，時空的結構必須持續變換，因此這些研究人員便以這些四維體可能結構的或然率之總和，來決定時空的總體幾何。

過去，想要以這種方法來將宇宙「三角化」的嘗試，最後都無疾而終，例如將宇宙視為無限多維的波紋，或是視為只有二維的捲筒狀幾何。CDT的主要特點在於，排除了非因果式的結構（亦即先有事件才有原因），而這便是這種難以想像的幾何學的竅門。2004年，羅列、安柏裘恩和尤爾克維茲以電腦模擬顯示出，建構出這種宇宙模型的數十萬塊幾何體是四維的。最近，這些研究人員又證明了他們這種宇宙的大尺度外形，就和宇宙學標準模型所預測的一樣。

CDT下一步進展，就是要將物質納入該模型中，看看是否能夠模擬出廣義相對論的所有方程式。根據加拿大安大略省滑鐵盧的圓周理論物理研究院的斯莫林（Lee Smolin）表示，該理論或許最後能夠導出可測試的預測，像是在小尺度下模型的非古典幾何學，對高能光子速度所能造成的細微改變。斯莫林是環圈量子重力論的元老級人物之一，他認為，CDT在理論物理學界尚未受到應有的重視，這可能是因為它在很多部份都仰賴電腦模擬。他說：「要進入這個領域不是一件簡單的事，單靠鉛筆和一張紙已經不夠了。」（宋宜真 譯）



由「因果動力三角形」理論所推導出的宇宙模型，可以重現標準宇宙學理論中的特徵，例如空間在時間中的擴張和收縮。