



咖啡杯裡的一座小山

本課講 2011 年的一篇網上文章（博客）。科學家 Scott Aaronson 問了一個問題：越來越亂的世界，為什麼中間會變得這麼有趣？

適合 10 歲左右

約 40 分鐘

需要：鉛筆、一位同伴、透明杯、一盒兩色棋子或紙片

1 熱身：打電話畫畫

假設你在打電話，要讓朋友畫出一模一樣的圖。朋友看不到圖，只能聽你說。每張圖要說幾句話，朋友才能畫對？



圖 A

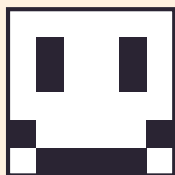


圖 B

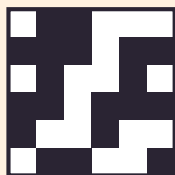


圖 C

圖 A：_____句

圖 B：_____句

圖 C：_____句

最有趣：圖 _____

圖 A 一句話就夠：「上面 3 行白，下面 3 行黑。」圖 B 要說幾句：眼睛在哪兒，嘴巴在哪兒。圖 C 沒有規律，36 個格子只能一格一格地念。奇怪的事來了：圖 C 最費話，可它並**不有趣**，只是亂。最有趣的是圖 B。今天就來想想這件怪事。

2 亂的程度只會越來越大

往清水裡滴一滴墨水。墨水會慢慢散開，最後整杯水都變了顏色。等一整天，它也不會自己聚回成一滴。

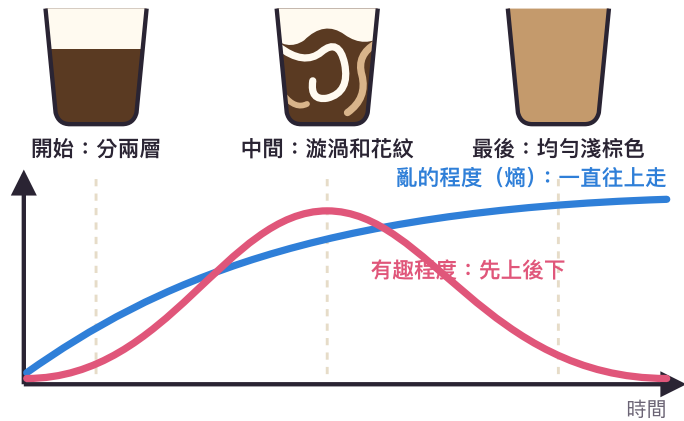
科學家把「亂的程度」叫作**熵**（shāng）。物理學裡有一條很有名的規律：在一個**封閉**的地方，熵只會變大，不會自己變小。「封閉」的意思是：沒有人從外面插手。

為什麼總是越來越亂？10 支不同顏色的彩筆排成一排，一共有 362 萬多種排法。按彩虹順序排，只有 1 種。隨手一放，幾乎一定是亂的。因為**亂的排法比整齊的排法多得多**。

書包也一樣。你不整理，它只會越來越亂。整理書包要花力氣，這就是「從外面插手」。

3 有趣程度不一樣：像一座小山

2011 年，物理學家 Sean Carroll 在一次討論「時間」的會議上提了一個問題。Aaronson 寫這篇博客來回答。問題要從一杯牛奶咖啡說起。



往黑咖啡上輕輕倒一層牛奶。**開始時**上白下黑，很簡單。**過一會兒**，冒出白色的卷卷和漩渦，很複雜，很好看。**最後**整杯變成均勻的淺棕色，又簡單了。

亂的程度（藍線）一直變大。有趣程度（紅線）卻像一座小山：先上去，再下來。

宇宙也是這樣。宇宙剛誕生時，到處差不多一樣，很簡單。很多科學家推測，很久很久以後，宇宙會冷下來，到處又差不多一樣。現在正好在中間：有星系，有地球，還有我們。

Carroll 的問題是：「有趣程度」到底是什麼？能不能給它打分，再證明它真的先變大、再變小？

4 怎麼給「有趣程度」打分

還記得熱身遊戲嗎？Aaronson 的思路和它很像：**描述一個東西要用多少話**。

- 想法 1：所有細節都要說。最後那杯咖啡，湊近看是無數個小奶滴和咖啡滴，位置全是亂的。每一滴都說清楚，要說好幾輩子。所以想法 1 量出來的是「亂」，不是「有趣」。
- 想法 2：只說樣子，不說亂七八糟的細節。這是 Aaronson 的思路（簡化版）。最後那杯只要說：「整杯淺棕色，小滴的位置是隨便的。」小滴具體在哪兒，不算分。

三杯咖啡	想法 1：連細節都說	想法 2：只說樣子
開始：分兩層	1 句	1 句
中間：漩渦和花紋	很多句	好幾句（卷卷在哪兒、什麼形狀）
最後：均勻淺棕色	多得說不完	1 句

想法 2 的分數正好是一座小山！Aaronson 給它起名叫**複雜熵**。他還加了一條規矩：照著描述畫圖，電腦必須能很快畫完。這條規矩防止有人鑽空子，細節先不講。他猜複雜熵會先變大、再變小，可是**沒法證明**。這種「覺得對、還沒證明」的想法，叫作**猜想**。

5 用壓縮軟件估一估

「描述要幾句話」很難數準。Aaronson 想了個偷懶的好辦法：用**壓縮軟件**。壓縮，就是用更短的寫法記下同樣的東西。

試一試：把下面寫得越短越好。

黑黑黑黑黑黑黑黑 → _____

黑白黑白黑白黑白 → _____

黑黑白黑白白白黑 → _____

前兩行可以寫成「黑×8」「黑白×4」。第三行沒有規律，只能照抄。電腦裡的壓縮軟件也這樣幹。有規律的圖壓得很小，亂的圖壓不小。所以**壓縮後的大小**可以粗略地代表「描述要多長」。

麻煩是：直接壓縮，全是亂點的最後那杯壓完最大，又變回了想法 1。辦法是先**眯起眼睛**看，把小細節抹掉，再壓縮。



Aaronson 建議用電腦做實驗：在格子圖上，黑格子是咖啡，白格子是牛奶。每一步隨機挑兩個挨著、顏色不同的格子，讓它們換位置。每隔一會兒，就「眯眼再壓縮」一次，看大小怎麼變。

寫博客時，大學生 Lauren Ouellette 已經開始和他做這個實驗。2014 年，他們和 Carroll 寫成論文「咖啡自動機」。結果怎麼樣？下一課揭曉。

6 這和今天有什麼關係

我們正活在「中間那段」。宇宙、地球、生命，都處在最有趣的那段時間。宇宙要是一鍋均勻的湯，就不會有星星，也不會有你。

聊天 AI 要學的也是「樣子」。ChatGPT、Claude 這些聊天 AI 讀過海量的文字。好的 AI 不是把每個字背下來，而是學會規律：句子怎麼組成，故事怎麼展開。這很像想法 2：記規律，不記亂細節。

要說清楚：這篇博客沒有造出任何 AI，它留下的是一個好問題。「有趣程度」該怎麼定義，科學家到今天還沒有完全想明白。

7 動手：一杯水裡的小山

玩法（2 個人，約 15 分鐘）

準備：透明杯裝大半杯涼水，食用色素或牛奶，1 把勺子。不要用熱咖啡，小心燙。沒有材料時，可以畫第 3 節的三杯咖啡來玩。

1. A 往水面輕輕滴 2 滴色素（或倒 1 小勺牛奶），不要攪動。
2. 在 3 個時刻各畫一張圖：剛滴進去、等 1 分鐘、攪拌 10 圈以後。
3. B 背過身。A 看著畫描述，B 照著畫。只說樣子，不說每一小點。記下用了幾句話。

	剛滴進去	等 1 分鐘	攪拌以後
畫下來			
用了幾句話			

你會發現：中間那張最難描述，也最好看。開始和最後只要一兩句話。

8 動手：搖盒子混合實驗

玩法（2—3 個人，約 15 分鐘）

準備：帶蓋的透明盒子，黑白圍棋子各 30 顆（或兩色紙片），兩種必須大小一樣。

1. 盒子平放，白的鋪左半邊，黑的鋪右半邊，蓋好。
2. 輕輕左右搖幾下，從上往下看，畫草圖。一起打「亂的分」和「有趣分」（1—5 分）。

一共搖了	0 下	2 下	5 下	10 下	50 下
草圖					
亂的分					
有趣分					

你會發現：「亂的分」一路往上漲，「有趣分」先漲後跌。

9 詞語小卡片

熵

亂的程度。沒人插手時，它只會變大，不會自己變小。

有趣程度（複雜程度）

只說樣子、不說亂細節時，描述要用多少話。

壓縮

用更短的寫法記下同樣的東西。有規律的壓得小，亂的壓不小。

猜想

覺得對、但還沒有證明的想法。Aaronson 的「小山」就是猜想。

10 想一想

1. 書包會自己變亂，卻不會自己變整齊。用第 2 節「排法」的道理說一說為什麼。

2. 一張白紙、一張亂塗的紙、一幅畫，哪個最有趣？用「描述要幾句話」說說你的理由。

3. 還有什麼東西也是先變有趣、再變無聊？舉一個例子，畫出它的三個樣子。

一句話記住：亂的程度一路往上走，有趣程度卻像一座小山。

給家長和老師：本課講的是 Scott Aaronson 2011 年的博文 [The First Law of Complexodynamics](#)。文章回應 Sean Carroll 的問題：熵單調上升，複雜度為什麼先升後降。Aaronson 指出 Kolmogorov 複雜度只度量隨機性，精巧度 (sophistication) 又因「初始狀態 + 步數」的捷徑而始終很小，於是提出加入計算時間限制的「複雜熵」(complextropy)，猜想它先升後降，並建議用咖啡混合模擬和 gzip 壓縮大小檢驗。後續論文 The Coffee Automaton (2014) 即第 7 天。

講義做了簡化：「只說樣子」對應精巧度的兩部分描述，「電腦要很快畫完」對應時間限制，「眯眼看」對應粗粒化。三杯咖啡圖、兩條曲線、熱身格子圖、「幾句話」表格都是示意，不是實測數據；亂點圖由程序隨機生成。

「362 萬多種」是 10 支筆的全排列數 (3,628,800)。動手活動寫的是一般結果，每次可能不同。想深入可看本站的 [第 6 天中文導讀](#)，代碼見開源項目 [30u30 第 6 天目錄](#) (英文)。