



中国地质大学
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
北京·BEIJING

—— 复杂系统管理学读书会 ——

复杂系统涌现的突破式变革及其 动力学机制

突破式替代

汇报人：段月然 >

E-mail: dyr_09@cugb.edu.cn

2021年12月8日



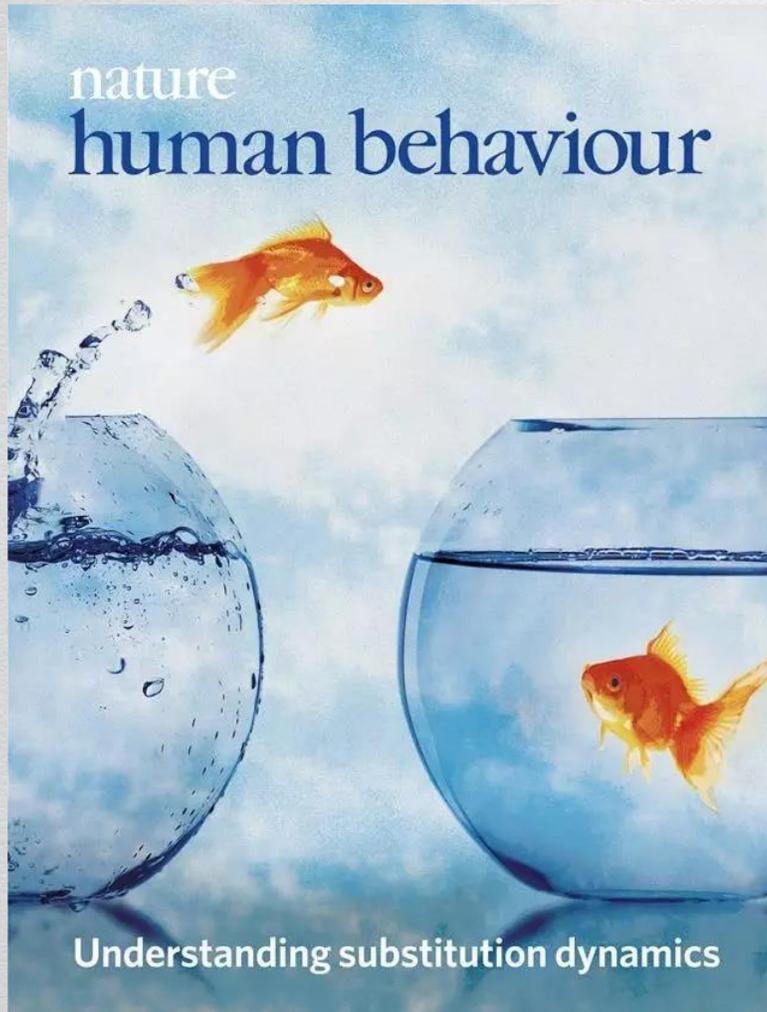
复杂系统与组织变革四象限

范围Scope

| | | Radical 突破式 | 讲座结构 |
|------------------------|------|--|---|
| 节奏 P a c e | 连续的 | <p>第四象限</p> <p>系统大不稳定性</p> <p>框架弯曲(frame-bending)下发生的适应的模式涌现，系统层面的适应逐步累积并形成模式</p> <p>正反向和负反馈，将系统拉向相反反向——有界不稳定性</p> <p>紧密耦合，使本地适应可被放大形成突破式变革</p> | <p>突破式变革：杨二茶 (40 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> Plowman, Donde Ashmos, et al. "Radical change accidentally: The emergence and amplification of small change." Academy of management Journal 50.3 (2007): 515-543. |
| | 不定期的 | <p>第三象限</p> <p>大惰性</p> <p>框架弯曲(frame-bending)下发生的戏剧性替代</p> <p>计划，系统层面</p> <p>负反馈，强调重大的替代</p> <p>紧密耦合，要求系统层面的突破式替代</p> | <p>突破式替代：段月然 (40 min)</p> <ul style="list-style-type: none"> Yin, Yian, Yang Wang, James Evans & Dashun Wang. 2019. "Quantifying dynamics of failure across science, startups, and security." Nature 575: 190-194. Ching Jin, Chaoming Song, Johannes Bjelland, Geoffrey Canright, Dashun Wang, Emergence of Scaling in Complex Substitutive Systems. Nature Human Behaviour, 2019. |



Emergence of Scaling in Complex Substitutive Systems



替代模型的动力学机制？

nature
human behaviour

ARTICLES

<https://doi.org/10.1038/s41562-019-0638-y>

Emergence of scaling in complex substitutive systems

Ching Jin^{1,2,3,7}, Chaoming Song^{4,7}, Johannes Bjelland⁵, Geoffrey Canright⁵ and Dashun Wang^{1,2,6*}

Diffusion processes are central to human interactions. One common prediction of the current modelling frameworks is that initial spreading dynamics follow exponential growth. Here we find that, for subjects ranging from mobile handsets to automobiles and from smartphone apps to scientific fields, early growth patterns follow a power law with non-integer exponents. We test the hypothesis that mechanisms specific to substitution dynamics may play a role, by analysing unique data tracing 3.6 million individuals substituting different mobile handsets. We uncover three generic ingredients governing substitutions, allowing us to develop a minimal substitution model, which not only explains the power-law growth, but also collapses diverse growth trajectories of individual constituents into a single curve. These results offer a mechanistic understanding of power-law early growth patterns emerging from various domains and demonstrate that substitution dynamics are governed by robust self-organizing principles that go beyond the particulars of individual systems.

扩散模型和替代模型

传播扩散模型



指数增长

替代模型



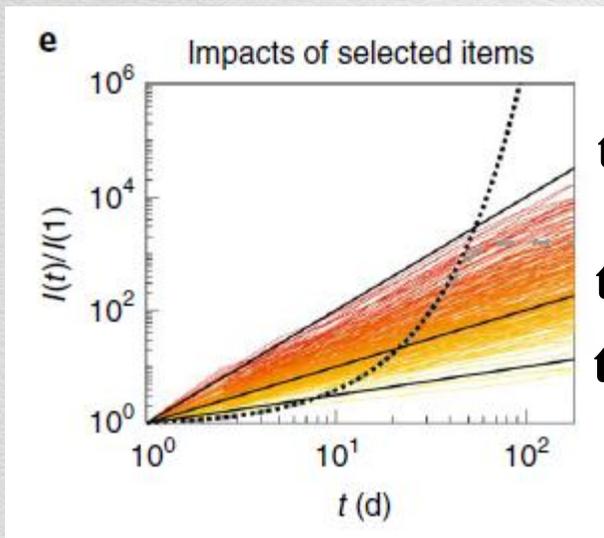
?



Ching Jin, Chaoming Song, Johannes Bjelland, Geoffrey Canright, Dashun Wang, [Emergence of Scaling in Complex Substitutive Systems](#). Nature Human Behaviour, 2019.

替代模型中的幂律分布

从实证数据中观测增长曲线

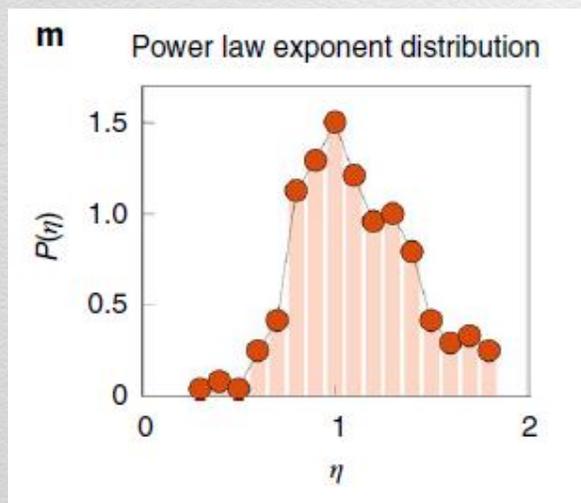


数据1: 不同手机的销量增长

$$I(t)/I(1)$$

双对数坐标下，每类手机和销量都是直线
→ 满足幂律分布：

$$I(t) \sim t^{\eta_i}$$



当幂律分布的指数是一个 <1 的非整数时，

假设 $I(t) \sim t^{0.8}$

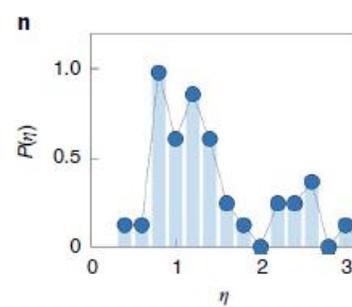
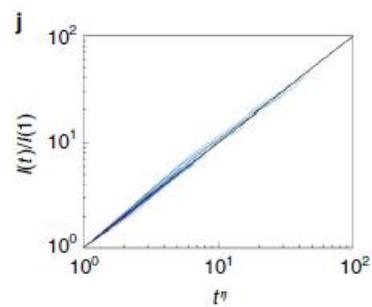
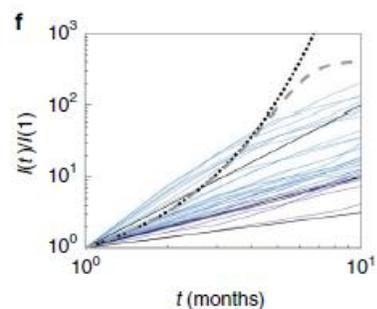
求导 $\frac{dI(t)}{dt} \sim 0.8t^{-0.2}$

当 $t=0$ 时， $\frac{dI(t)}{dt} \rightarrow \infty$

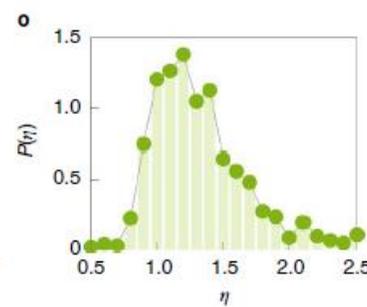
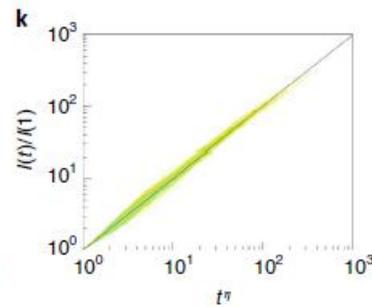
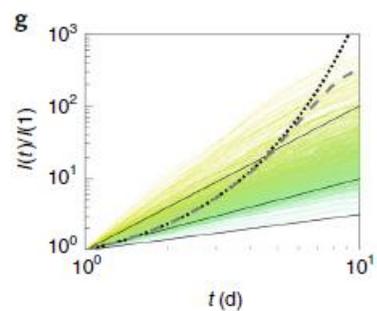
突发式快速增长!!!

替代模型中的幂律分布

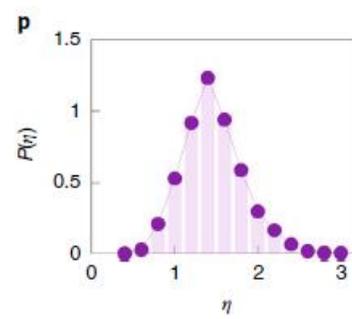
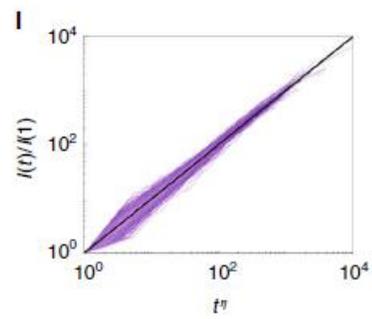
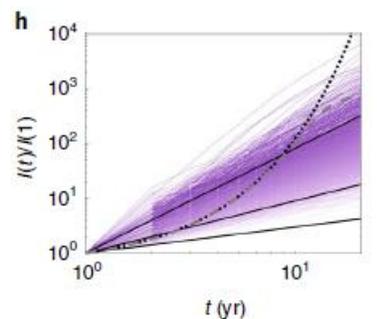
汽车销售



App下载



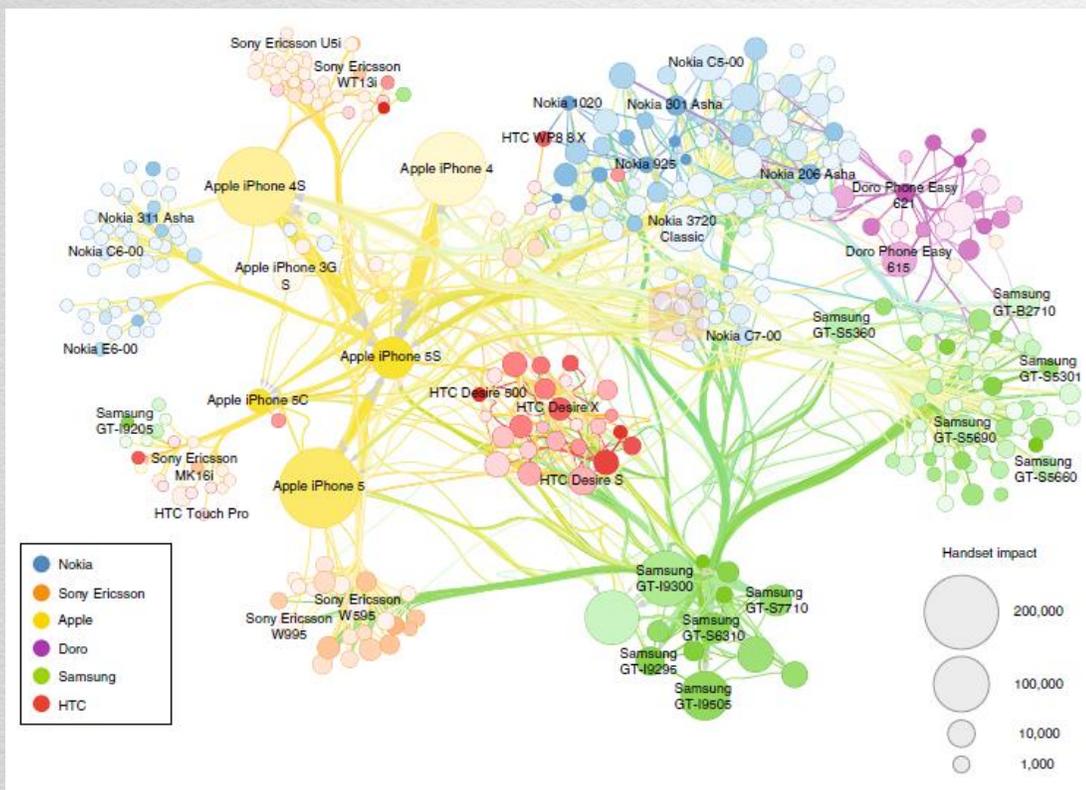
科学领域



$$I(t) \sim t^{\eta_i}$$

替代模型的动力学机制

手机替代网络



每一类手机的增长曲线:

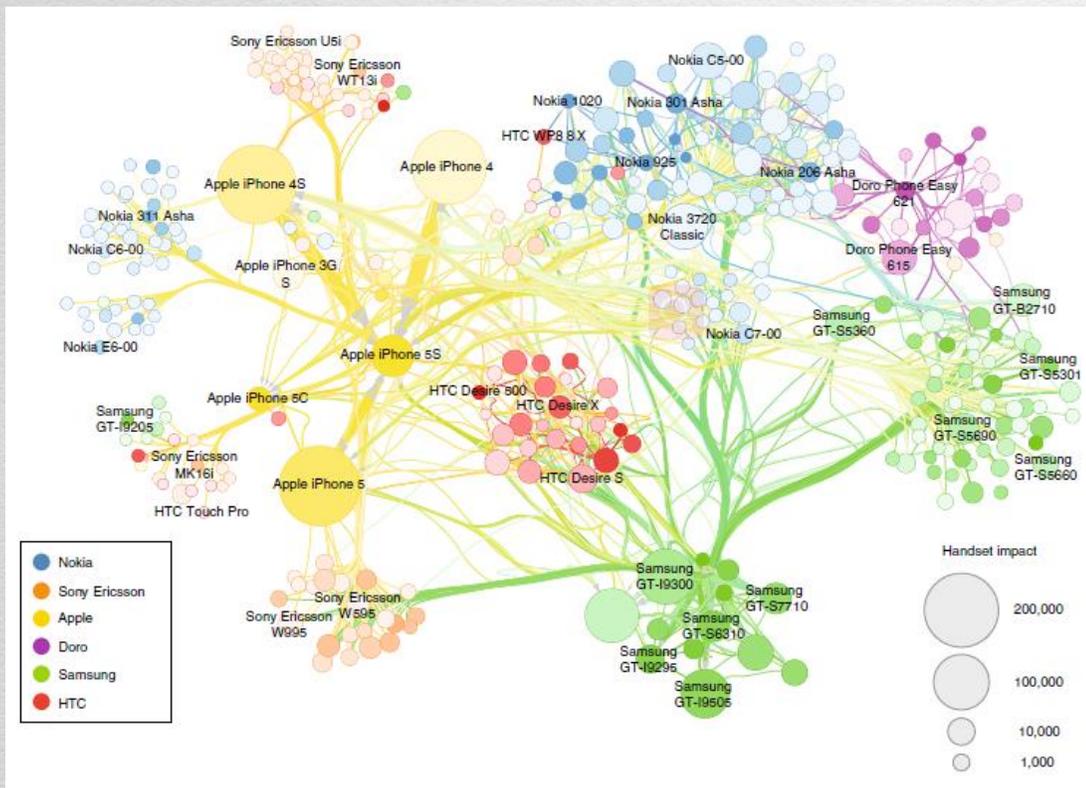
$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_k \Pi_{k \rightarrow i}(t) N_k - \sum_j \Pi_{i \rightarrow j}(t) N_j$$

从k手机换成i手机

从i手机换成j手机

替代模型的动力学机制

手机替代网络



每一类手机的增长曲线:

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_k \Pi_{k \rightarrow i}(t) N_k - \sum_j \Pi_{i \rightarrow j}(t) N_j$$

替换概率 ($\Pi_{i \rightarrow j}$) 与什么相关?

替代模型的动力学机制

优先链接 (Preferential Attachment)

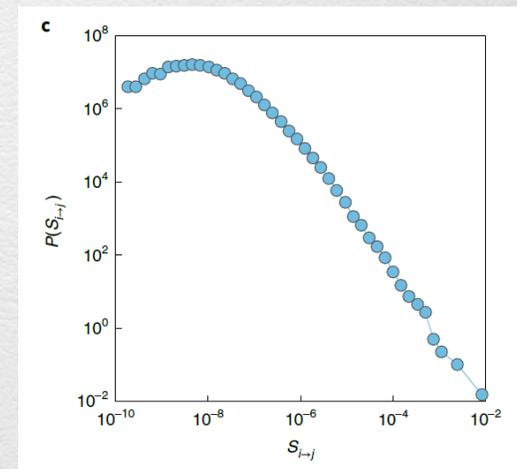
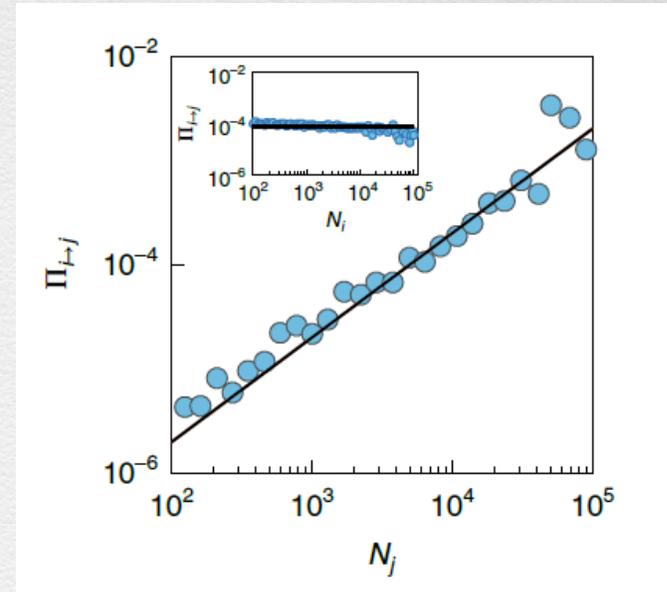
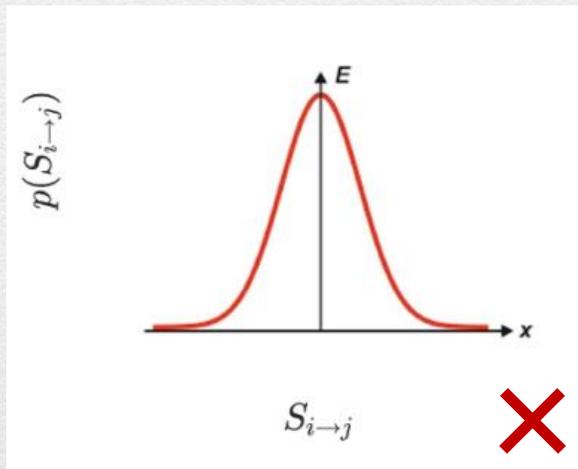
$$\Pi_{i \rightarrow j} \sim N_j$$

只和 N_j 相关和 N_i 不相关

如果 $\Pi_{i \rightarrow j}$ 是否只与优先链接相关:

那么定义一个替换速率

$$S_{i \rightarrow j} \equiv \Pi_{i \rightarrow j} / N_j$$



替代模型的动力学机制

时效性(Recency)

替代模型与发行时间的关系？

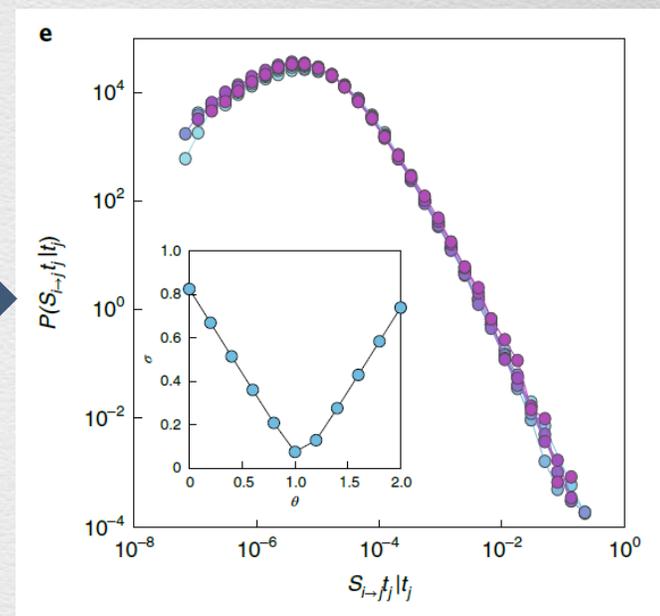
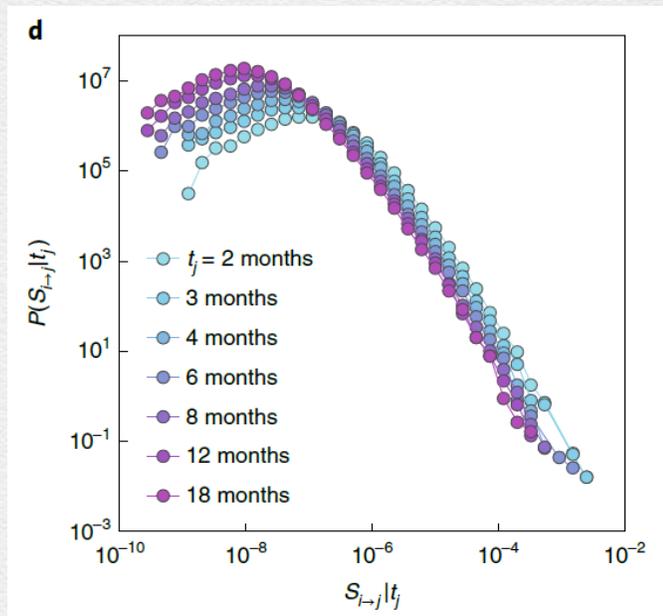
$$S_{i \rightarrow j} \equiv \Pi_{i \rightarrow j} / N_j$$

对不同发行时间的手机归一化后，发现这样的规律：

$$S_{i \rightarrow j} = \lambda_{i \rightarrow j} t_j^{-1}$$

$\lambda_{i \rightarrow j}$ 表示两款手机的距离

Propensity



替代模型的动力学机制

替代模型的三种机制

优先链接 (Preferential Attachment)
时效性 (Recency)
倾向性 (Propensity)

如果新手机进入市场的速率是恒定的

$$\eta_i \equiv \sum_k \lambda_{k \rightarrow i} N_k$$
$$\tau_i \equiv 1 / \sum_j \lambda_{i \rightarrow j} N_j t_j^{-1}$$

$$S_{i \rightarrow j} \equiv \Pi_{i \rightarrow j} / N_j \quad S_{i \rightarrow j} = \lambda_{i \rightarrow j} t_j^{-1}$$

替换概率



$$\Pi_{i \rightarrow j} = \lambda_{i \rightarrow j} t_j^{-1} N_j$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_k \Pi_{k \rightarrow i}(t) N_k - \sum_j \Pi_{i \rightarrow j}(t) N_j$$

手机增长曲线

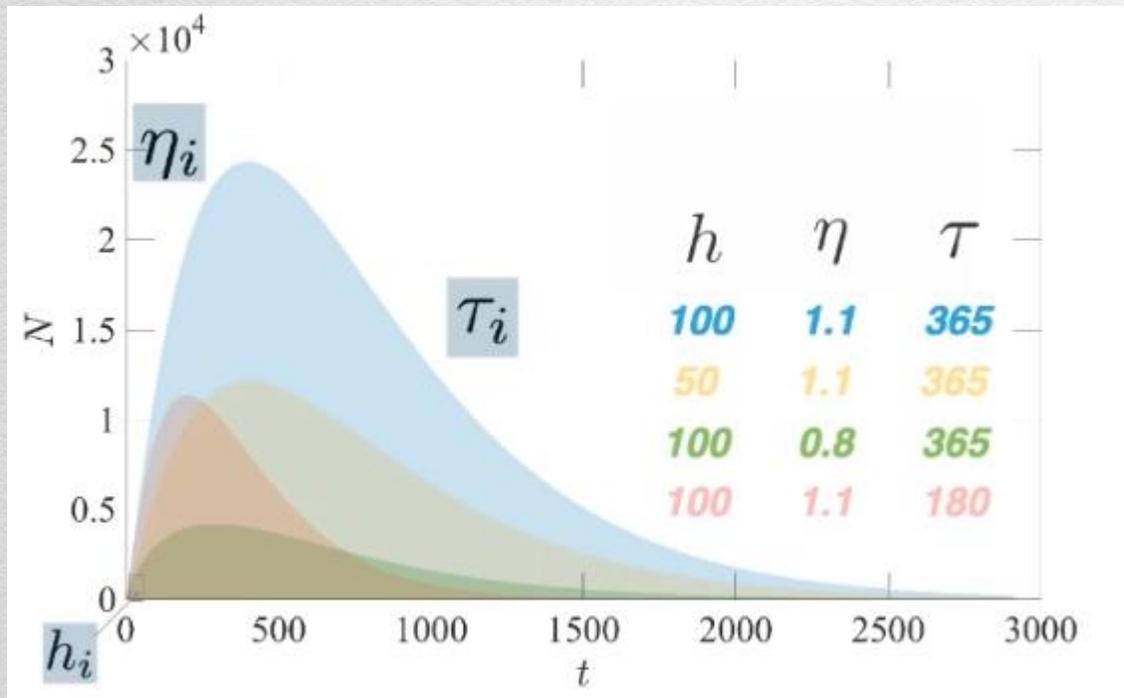
$$\frac{dN_i}{dt} = \eta_i N_i t_i^{-1} - N_i / \tau_i$$

最简替代模型

$$\frac{dN_i}{dt} = \eta_i N_i t_i^{-1} - N_i / \tau_i$$



$$N_i(t) = h_i t^{\eta_i} e^{-t/\tau_i}$$



h_i (Anticipation)

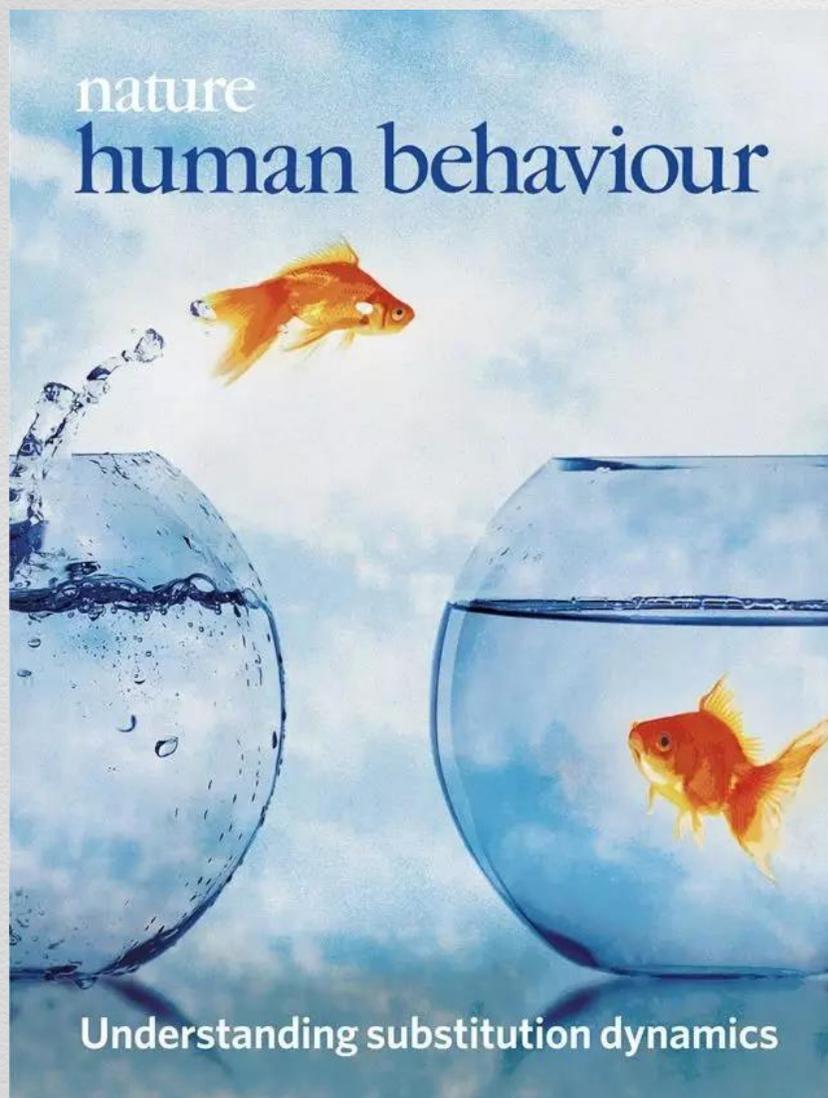
表示第一天多少人买了这款手机

η_i (Fitness)

捕捉了模型早期增长的状态

τ_i (Longevity)

代表了手机衰减速度



Emergence of Scaling in Complex Substitutive Systems

替代模型的早期增长并不遵循扩散模型的指数增长，而是一种非整数指数的幂律增长；

替代模型的三种动力学机制：优先链接、时效性和倾向性；

构建了一个最简替代模型，增长曲线由 h_i (Anticipation), η_i (Fitness) 和 τ_i (Longevity) 三个参数决定。

如何寻找替代性变革的临界点？

失败的动力学机制

Article

Quantifying the dynamics of failure across science, startups and security

<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1725-y>

Yian Yin^{1,2,3}, Fang Wang^{1,2,4}, James A. Evans^{5,6} & Dashun Wang^{1,2,3,4*}

Received: 15 February 2019

Accepted: 27 September 2019

Published online: 30 October 2019

There are amendments to this paper

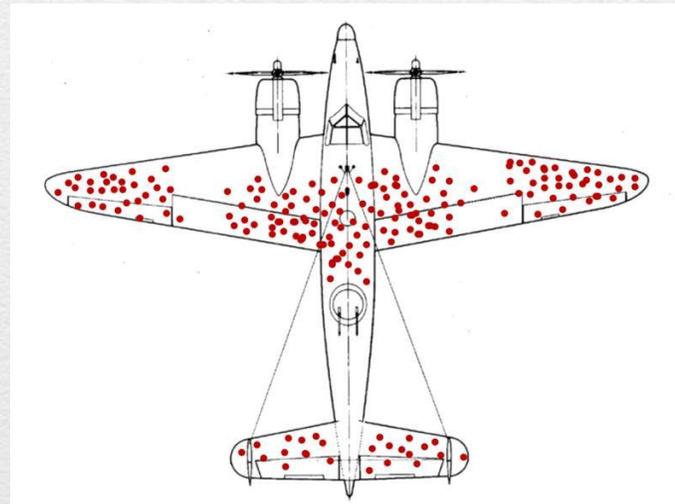
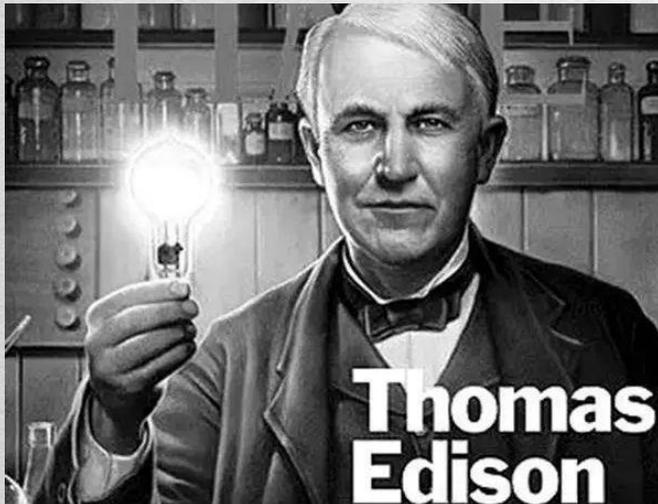
Human achievements are often preceded by repeated attempts that fail, but little is known about the mechanisms that govern the dynamics of failure. Here, building on previous research relating to innovation¹⁻⁷, human dynamics⁸⁻¹¹ and learning¹²⁻¹⁷, we develop a simple one-parameter model that mimics how successful future attempts

成功是不断失败的尝试后的结果。

“失败是成功之母”

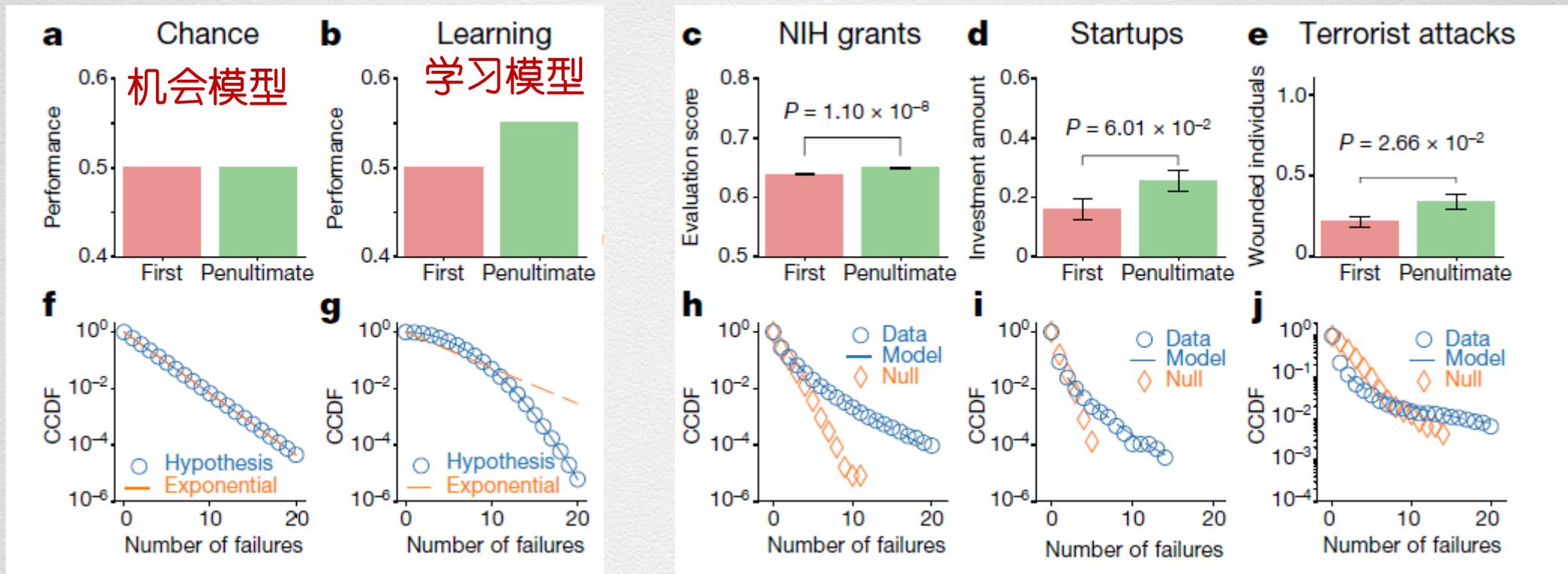


失败的动力学机制



“不观察失败，成功和失败的区别也不会被发现”

失败的动力学机制——机会or学习？



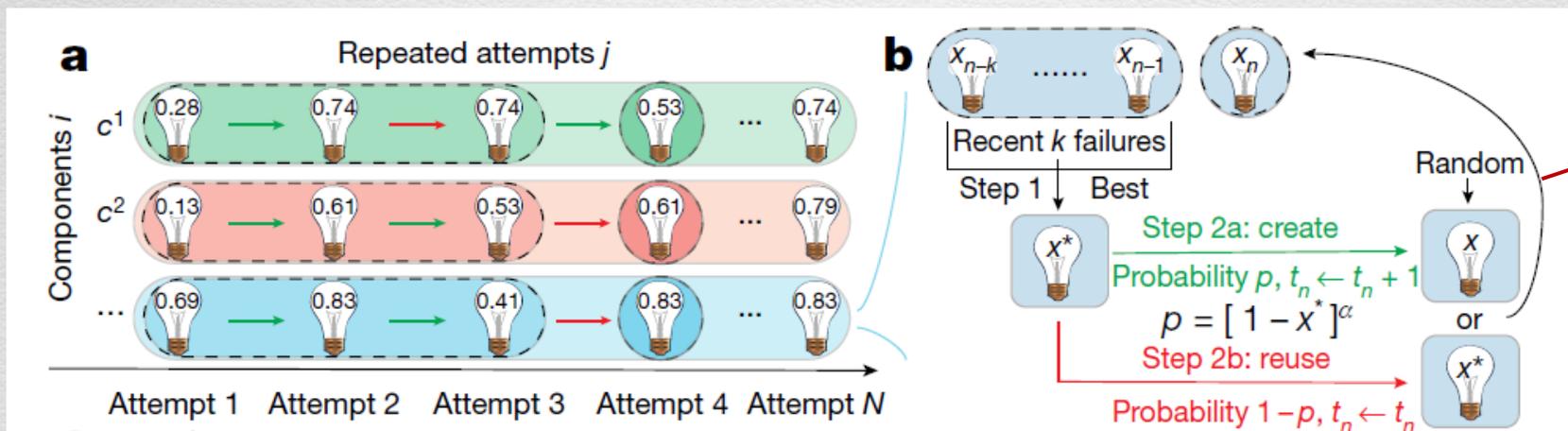
通过比较第一次和倒数第二次所作出努力的表现，观察不同系统性能。

→ 否定了机会驱动的观点，支持了学习机制。

在三个数据集中，连续失败的长度遵循一个厚尾分布。

→ 更复杂的动力机制在起作用。

失败动力学模型



服从 $U[0, 1]$ 分布

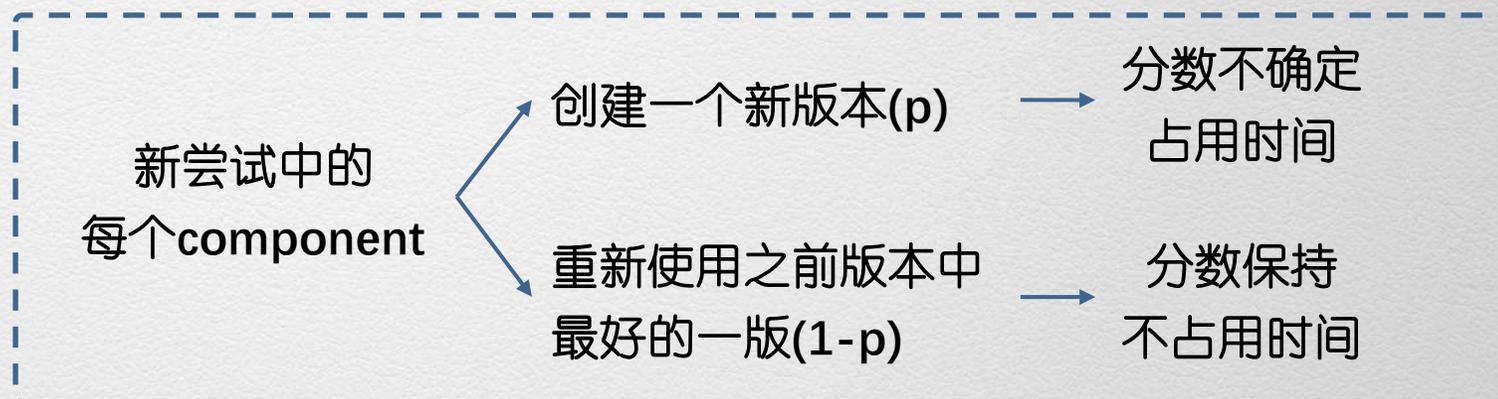
之前最好的版本的评分为 x^* , $1-x^*$ 代表了它的潜力, 潜力越大, 创建新版本的可能性就越高。

$$p = (1 - x^*)^\alpha \quad \alpha > 0$$

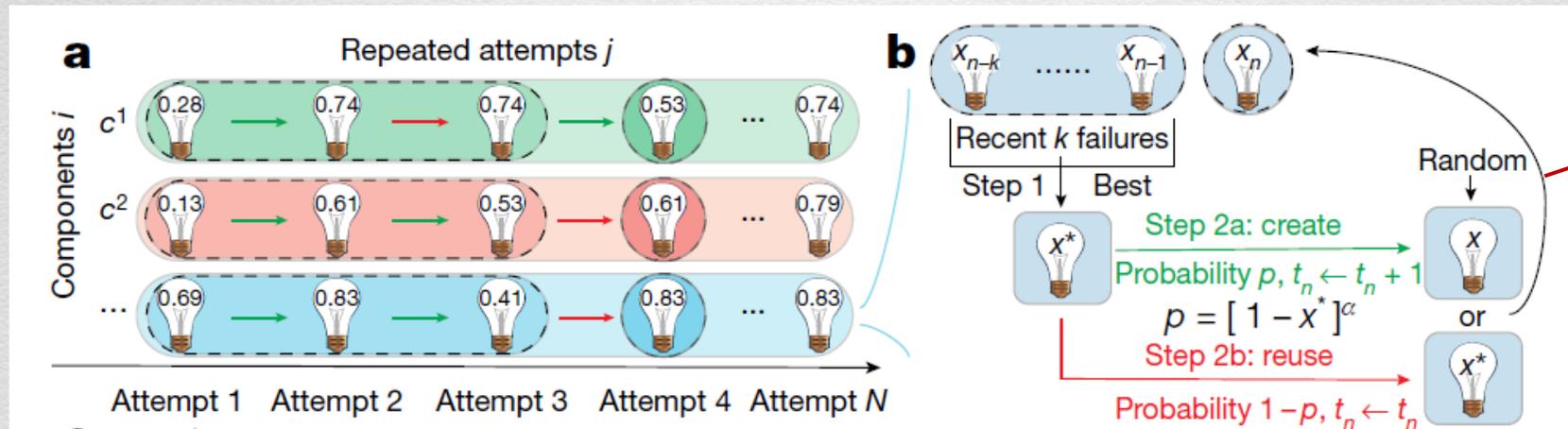
a. 将每次尝试分成几个步骤 (Component) :

b. 每个 component 的计算方式:

比如: 提交申请NIH的资助可以分为建立生物实验室、编制预算、写数据管理计划、添加数据以及列举影响等。



失败动力学模型



服从 $U[0, 1]$ 分布

之前最好的版本的评分为 x^* , $1 - x^*$ 代表了它的潜力, 潜力越大, 创建新版本的可能性就越高。

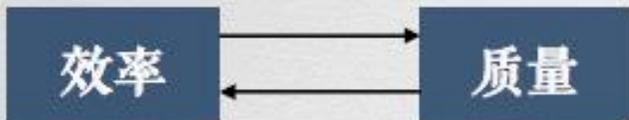
$$p = (1 - x^*)^\alpha \quad \alpha > 0$$

x_n 得分的动态变化可以用一个记忆长度为 k 的高阶马尔可夫过程描述:

$$x_n^* = \max\{x_{n-k}, \dots, x_{n-1}\}$$

$$x_n \sim \begin{cases} U[0, 1], & w.p. (1 - x_n^*)^\alpha \\ \delta(x - x_n^*), & w.p. 1 - (1 - x_n^*)^\alpha \end{cases}$$

失败动力学模型



$k=0$

每次尝试都独立于以前的尝试。

预测随着 n 的增加, x_n 和 t_n 都保持不变。

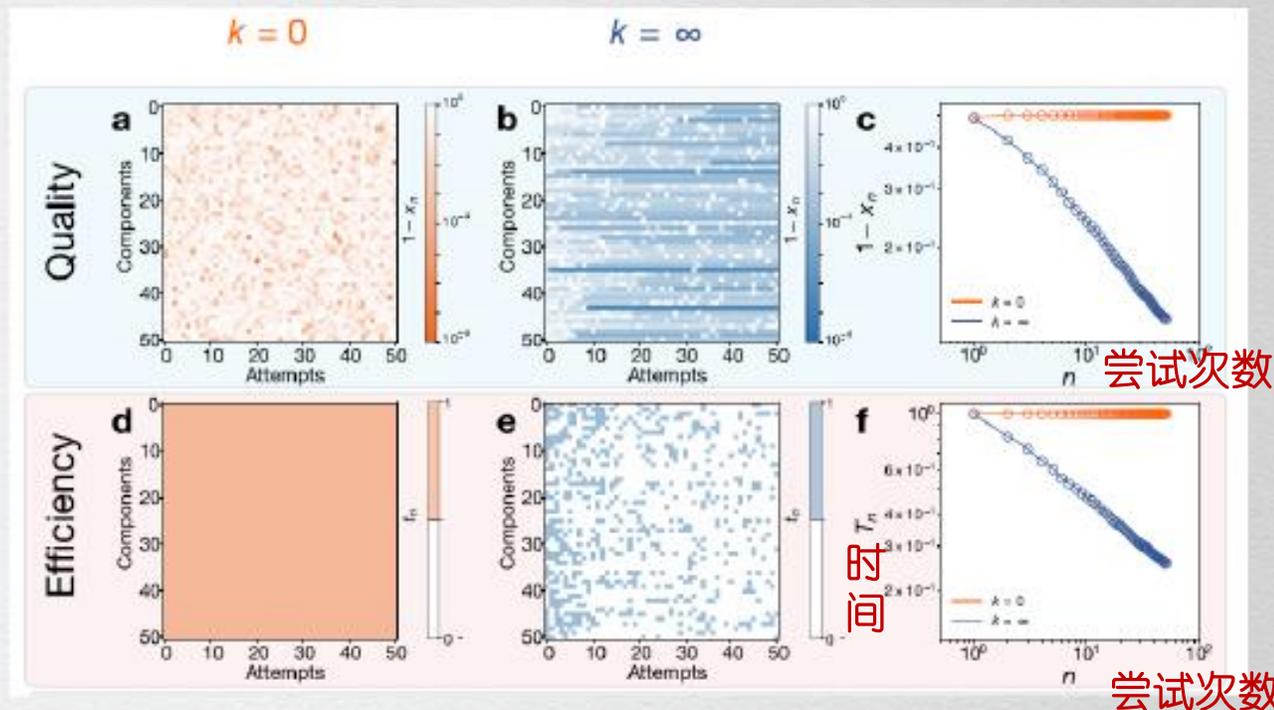
→ 不考虑过去的经验, 失败不会导致质量的提高。

$k=\infty$

考虑过去所有的尝试。

新的尝试所花费的时间随着 n 渐近地遵循幂律衰减 (e)

质量也会得到提高



当 $k=0$ 时, $t_n=1, x_n=1/2$

当 $k=\infty$ 时, $t_n \sim n^{-\frac{a}{a+1}}, x_n \sim n^{-\frac{\min\{1,a\}}{a+1}}$

通过计算第 n 次尝试后的质量和效率来量化模型的动态。

两个临界点的三级相变

$$[k^*] < k < [k^*] + 1$$

➤ 当 k 足够小, $k < k^*$

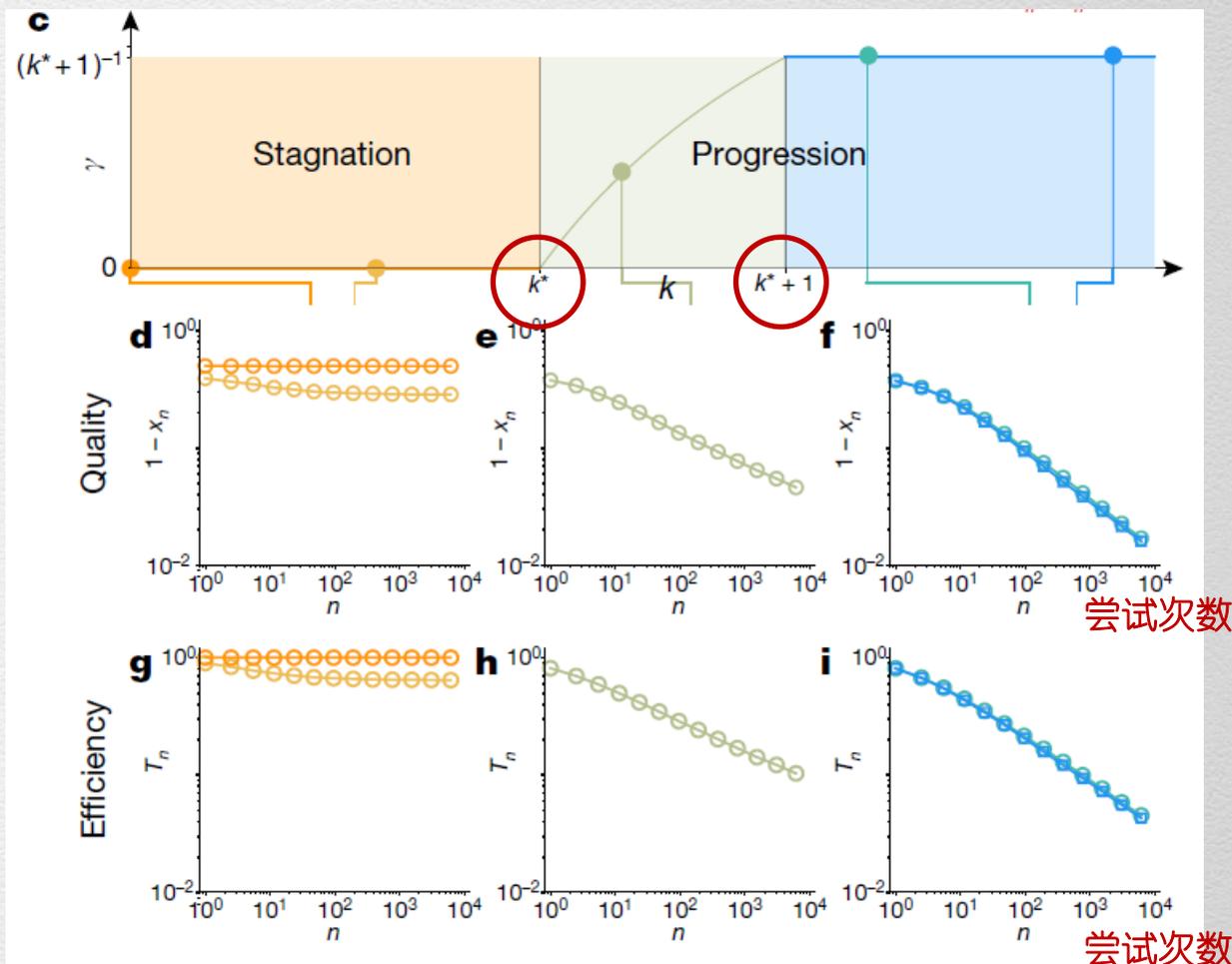
“遗忘过快”, 出现了一个好的版本缺很快被“遗忘”, 性能可能有所提高, 但很快就会饱和。(停滞区域)

➤ 当 k 达到阈值 k^* , $k^* < k < k^* + 1$

出现了Scaling behavior, 随着尝试次数的增加, 质量和效率都得到了很大的提高。(发展区域)

➤ 当 k 超过阈值 $k^* + 1$, $k > k^* + 1$

系统具有和第二种情况相同的动力学特征。(发展区域)



成功与失败的预测

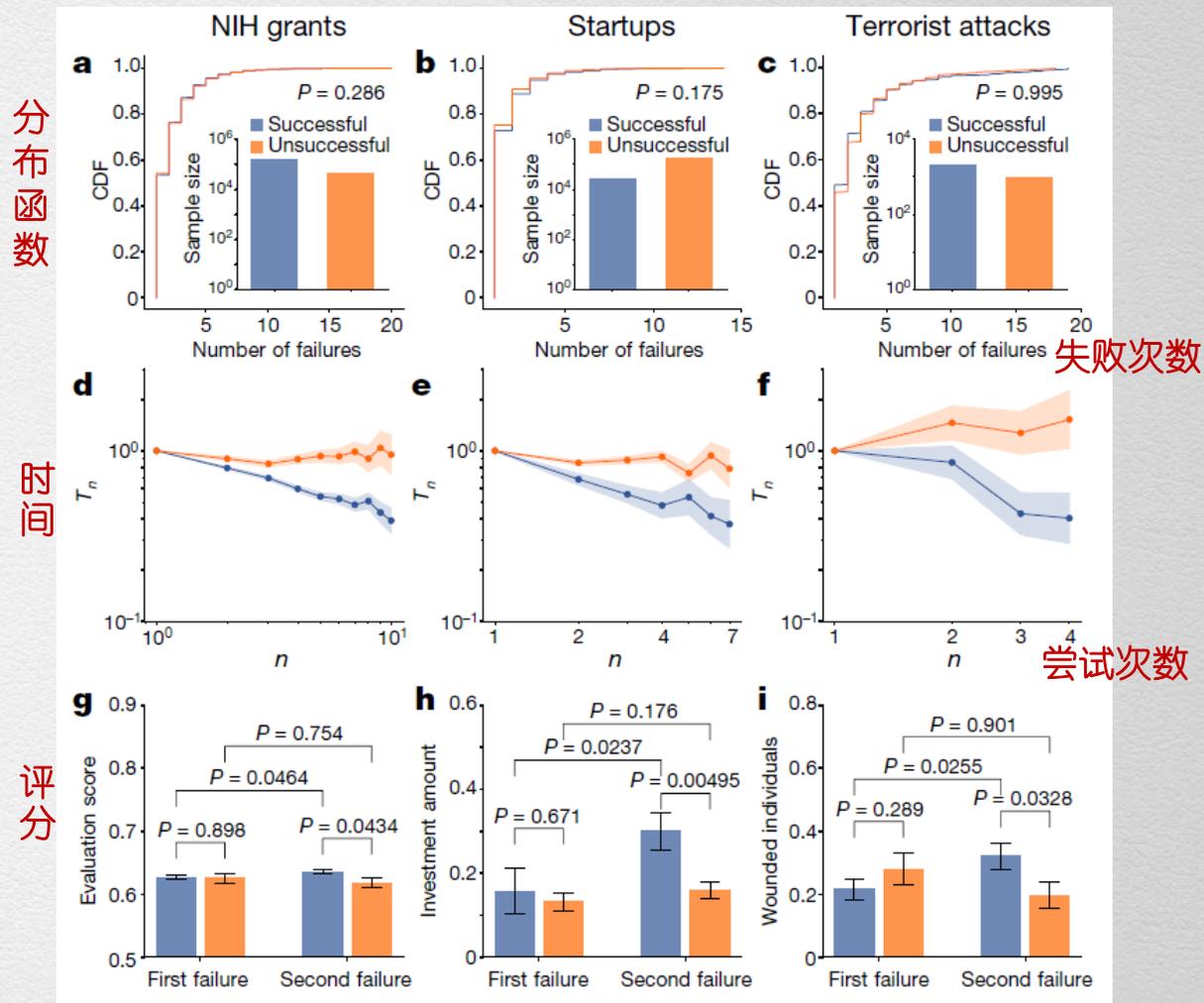
蓝色：成功组
橙色：失败组

- 不是所有的反复失败都会导致成功。
- 最终成功或不成功两类群体可能遵循完全不同的失败动态，在**早期阶段**就可以区分：

- 成功群体的 T_n 的衰变近似于幂律分布；
- 未成功的群体不具备这样的时间尺度；
- 在 $n=2$ 的时候就表现出可区分的动态。

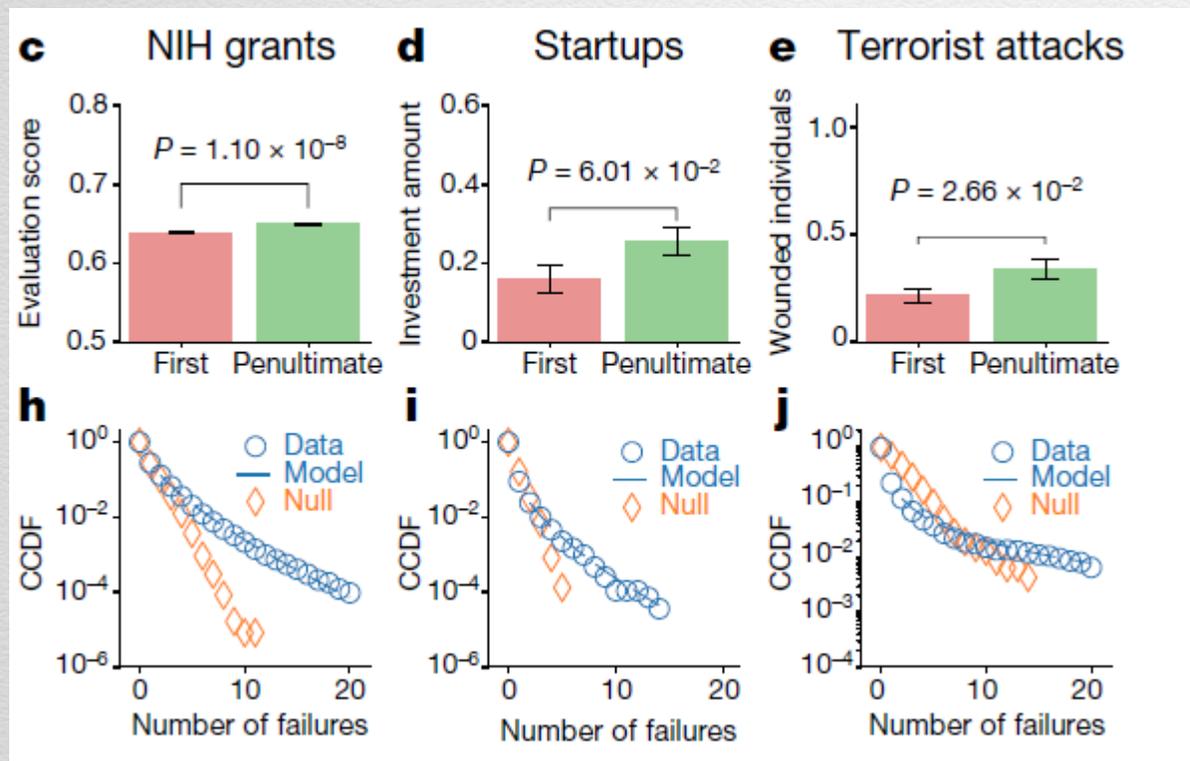
- 即使两组具有相同的初始性能，最终结果可能不太相同：

比较两组第一次失败和第二次失败的性能，成功组有显著改善，失败组没有提升。



成功与失败的预测

如果性能提高了，为什么失败周期要比我们预期的要长？



发展还是停滞的一个关键区别在于reuse部分。

Reuse有助于保留一个好的版本，但也可能使一个版本较长时间停留在一个次优的位置，导致最终的预测服从一个韦伯分布。

Quantifying the dynamics of failure across science, startups and security

主要贡献

重复失败的动态可能在早期阶段就可以发现可识别的统计特征。

即使没有区分初始特征，主体也可能经历完全不同的结果。

提出的单一参数 k 的模型揭示了可识别的早期信号，帮助我们预测失败导致的最终结果。

不仅加深了我们对失败背后复杂动力的理解，而且也为我们经历失败的个人或组织在促进或阻碍其最终突破方面提供了教训。

延伸思考

模型改进：

主体会有不同的动因改进或判断之前的工作，可以用于识别过去反馈的模糊推理，允许主体不总是选择最好的版本。

扩展研究：

模型只考虑若干次失败后成功的涌现，那在一次成功后的下一次尝试失败还是成功的状态可以进一步挖掘。

突破式变革

总结

- 量化的重要作用

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_k \Pi_{k \rightarrow i}(t) N_k - \sum_j \Pi_{i \rightarrow j}(t) N_j$$

替代增长曲线的动力学方程

- 巧妙的实验设计

第一篇：提出猜想+数据模拟+数学推导

第二篇：提出猜想+实验设计+数据模拟



从数据中寻找涌现的动力学机制

$$x_n^* = \max\{x_{n-k}, \dots, x_{n-1}\}$$

$$x_n \sim \begin{cases} U[0,1], & w.p. (1 - x_n^*)^\alpha \\ \delta(x - x_n^*), & w.p. 1 - (1 - x_n^*)^\alpha \end{cases}$$

尝试的评价得分的动态方程



—— 复杂系统管理学读书会 ——

**请各位批评指正！
祝大家实现突破性变革！**

分享人：段月然 >

E-mail: dyr_09@cugb.edu.cn

2021年12月8日

