

语言学中的演化视角

路易吉·路卡·卡瓦利-斯福扎^①

（斯坦福大学遗传学系）

谢郴伟 王文博 译

目前学界关于语言演化的研究相对较少，此情景不禁让人思考这是否源于1866年巴黎语言学会那个著名禁令的延迟效应^②。虽然历史学家可能会考虑这个问题，但作为一名生物学家，我认为这种禁令是站不住脚的，即便在当时这种做法可能是合理的。因为对生物学家来说，语言演化研究的价值显而易见。我认为演化的视角甚至是必要的，没有任何理由可以否认其在语言学领域的适用性。我知道对语言学家来说，“演化”这个词似乎不太受欢迎，可能是因为它暗含着进步的意思。在语言学界，“语言变化”这个说法似乎在某种程度上更“政治正确”。但是我们不应该因为担心演化必然意味着“进步”而受到困扰。至少在生物演化中，进步通常是极其缓慢的，是短期内很难甚至不可能察觉到的。进步的进程可能只能在很长的时间跨度内才能被发现。就语言而言，用于衡量“进步”的时间间隔（即文字存在的时间）太短，故而无法回答这个问题。更重要的是，进步是很难去定义和衡量的。另一方面，如果在人类进化的最后500万年里，也就是现代人和我们的近亲黑猩猩的祖先共同生活的那段时期，交流方面没有取得重大进展，那才是让人诧异呢。而且如果在这一时期，语言从无到有，并立即达到目前的复杂程度，这也让人匪夷所思。但是，时至今日我们仍然很难完全有把握地描述出其中的细节。当然，这些考虑

都是在接受人类存在的时间远早于公元前4004年（阿马（Armagh）大主教詹姆斯·厄谢尔（James Ussher）确定的创世日期）的情况下才有效。至少对于我来说，把“演化”和“变化”这两个词作为基本同义词使用没有任何不妥，只是其中“演化”稍微更具普遍性，从过程的角度来说更为恰当一些。

一、语言演化研究的经典模型

在谈到语言演化时，人们经常会提到两个对立的模型：树状模型和波浪理论，但很少有人尝试填补这两者之间的鸿沟。有趣的是，在生物学领域也存在类似的情况，不过生物学在理论发展方面要丰富得多。树状模型是语言学和生物学中都是最早创建的模型，产生于大致相同的时期，这要归功于查尔斯·达尔文（Charles Darwin）（1859年）和奥古斯特·施莱歇尔（August Schleicher）（1863年）。但在他们之前也有一些先驱者（帕西瓦尔（Percival）、威尔斯（Wells）、科纳（Koerner）等人：相关引用可见于H.M. 霍尼格斯瓦尔德（Hoenigswald）和L.F.维纳（Wiener）编辑的《支系分类中的生物学隐喻（Biological Metaphors in Cladistic Classification）》一书，宾夕法尼亚大学出版社，费城，1987年）。生物学中与波浪理论相对应的概念是“距离隔离（isolation by distance）”，这是一个相对较晚但

^① 路易吉·路卡·卡瓦利-斯福扎（意大利语：Luigi Luca Cavalli-Sforza，1922年1月25日—2018年8月31日），意大利群体遗传学家，中国台湾中央研究院名誉院士。1944年从帕维亚大学医学系毕业后，前往剑桥大学追随统计学家与演化生物学家罗纳德·费雪研究细菌基因学，后在意大利北部的米兰、帕尔马（意大利）和帕维亚等大学任教。1970年移往斯坦福大学，20世纪最著名的遗传学家之一。

该文最初发表在《纪念王士元先生：语言和语言变化的跨学科研究（An evolutionary view in linguistics. In Honor of William S.Y. Wang: Interdisciplinary Studies on Language and Language Change）》一书中，该书由陈渊泉和曾志朗编订，于1994年由英国诺丁汉的金字塔出版社（Pyramid Press）出版。

^② 译者注：“1866年巴黎语言学会的禁令”指的是禁止在学会的会议和出版物中讨论有关于“语言起源（origin of language）”的问题。禁令的理由是，当时关于语言起源的讨论大多基于猜测且缺乏实证依据，而由于缺乏直接的经验证据，学会认为这种讨论既无益于语言学的发展，也容易导致学术的不严谨性。后文中的脚注皆为译者注，以便于理解该问的内容和相关背景。

发展得更为完善的理论，后文将会对此作简要讨论。

从理论角度来看，这两个学科之间的共同点不仅仅局限于这两种模型。例如，在二十世纪下半叶，生物学和语言学又出现了一种平行发展：分子钟（molecular clock）^①和语言年代学（glottochronology）^②。这两个概念都很有趣但都有不小的局限性，两个领域的许多科学家都认为它们存在争议。不过，在我们进一步探讨如何使用模型之前，我们不妨更深入地讨论一下其普遍实用性，以及“隐喻（metaphors）”、“模型（models）”、“假说（hypotheses）”、“理论（theories）”等词语的局限性。这些概念之间几乎是连续的，没有必要对这些词进行严格的区分。不过，我不太喜欢“隐喻”这个词，因为它容易让人产生偏见：许多人把隐喻看作是从另一门科学或领域完整借用的模型，即包含了母学科中的所有附属内容。因此，一些语言学家对那些源自生物学的模型持怀疑态度，他们认为这些模型会带来基因、孟德尔定律^③以及其他不相关的概念。相比假说或理论，我更倾向于使用“模型”这个词，因为它不需要完全照搬某个想法，而且可以更清楚地表达使用它的原因：即想要借助它来理解某个过程、结构或想要解释的任何东西，同时还保留一定的判断自由。实际上，世上没有任何一个模型是完美无缺的（真正的“理论”少之又少，尽管一个非常普遍且被广泛接受的模型可能被称为理论，但这也取决于我们如何定义“理论”）。于我而言，对所使用的模型保持一定的距离特别容易，因为我并不会把科学等同于确定性，而且我喜欢数学模型。我发现，对现象进行定量研究往往是检验模型是否符合数据的更准确的方式；与定性陈述相比，其产生误解的可能性更小。这是因为检验定量模型时我们必须非常仔细地定义变量及其之间的关系；而使用定性模型时，则可能且通常会含糊其辞。当然，并不是所有情况下都能获得定量数据，但只要有机会我们就应该这样做。在我看来，这才是做科学研究最精准的方式。诚然，我们不能总是期望像物理学那样成功，毕竟在物理学中，数学模型很多时候几乎都是完美地

符合实际数据。而在物理学之外，检验定量模型的精确度有严重的限制，并且当我们进行深入分析时，模型的拟合往往不够完美。这在许多生物学科，特别是在演化研究中尤为明显。即便如此，使用数学模型仍然能带来清晰度更高的信息。当然模型也有缺点，因为数学本身不太受欢迎，这可能会造成与某些科学家沟通上的困难，因为他们对数学往往会有过度排斥的反应，希望这种情况在未来能有所改变。然而，人们普遍没有意识到，真正有用的数学模型非常少，且都非常简单，而且无论应用于哪一门学科，实际上本质都是一样的（卡瓦利-斯福扎，1992）。基于简单模型的普适性，我们不可避免地会得到这样的推论：即“隐喻”一词是不恰当的。

使用数学模型的一个优点是可以精确地指定其特性，且应用精确的方法，还能在需要的时候设计新方法检验它们与观察结果的匹配程度，测量其潜在的偏差程度，并在必要时开发替代模型。例如，在使用树状模型时，我们应该谨记的一点是树的每个分支的演化过程都是相互独立的。我们可能想要检验这一假设的有效性，也想要检查每个分支中的演化速率是否真的恒定。虽然这些操作并不总是很容易实现，但原则上是可行的。只有在独立性的条件下（理想情况下，还需要恒定的进化速率），用真实数据获得的树才能真实地再现连续裂变的演化（历史）过程（卡瓦利-斯福扎和皮亚扎（Piazza），1975）。即使在缺乏独立性的情况下，树状模型仍然可以发挥有用的作用，尽管其适用范围较窄，近似程度也不尽人意。分支之间的重要交流或其他类型的相互影响可能会破坏树状模型的适用性，但如果这些交流能被记录并清楚地被区分出来，它们就会特别有趣。我们可以对分支间的交流进行建模和评估，例如以下两个分别来自生物学（鲍科克（Bowcock）等，1991）和语言学（恩布尔顿（Embleton），1986）的例子。在第一个例子中，假设新的人群是通过两个地理邻近群体的混合而产生的，随后独立演化。这在现代人类的发展中，或者说在一般的种内演化（intraspecific evolution）过程中，是一种比较

^① “分子钟”指的是一种基于分子序列变异速率来推算物种进化时间的生物学工具。

^② “语言年代学”：与“分子钟”概念相对应，指的是一种语言学方法，通过比较语言核心词汇的保留率来估算语言分化的时间。

^③ “孟德尔定律”指的是遗传学的基本规律，包括两条核心：分离定律（等位基因在配子形成时分离，每个配子只含一个）和独立分配定律（不同性状的等位基因的分离和组合互不影响），解释了性状如何通过基因从亲代传递给子代。该定律揭示了基因（遗传因子）是遗传的基本单位，遗传过程可以通过简单的数学规律解释。

常见的现象。这种混合事件不一定是突然发生的，往往是通过“基因流动（gene flow）”过程一点一点地发生。但即使每代的基因流动很小，在相对较短的时间内（例如，一两千年），如果一个人群每代从另一个人群接收 5% 的移民，也几乎可以完全替换其基因库（卡瓦利-斯福扎，梅诺齐（Menozzi）和皮亚扎，1993）。这个问题在研究人类的种内演化时很常见。在种间演化（interspecific evolution）中，物种间的交流受到防止种间杂交繁殖机制的阻碍，不同分支的演化独立性更有可能成为主导规则。

在第二个例子中，语言的分化由于在地理上存在相邻语言的借词现象而变得不那么像树状结构。尽管这个模型不太容易应用，但当它被用于印欧语系的一个分支的演化研究时，语言年代学对分离时间的估计得到了显著改善（恩布尔顿，1986）。然而，最近一项运用词汇统计学方法对整个印欧语系进行大规模的研究发现，树状结构其他部分的有效性在整体上是有所降低的。例如，虽然该研究承认了罗曼语族、日耳曼语族和波罗的海-斯拉夫语族（作者称之为“中欧语系（Mesoeuropean）”）等分支之间存在有限的相似性，但它无法识别印度语支和伊朗语支之间的联系（这种联系通常被比较语言学家所承认），也无法识别凯尔特语和意大利语支之间的联系（迪恩（Dyen）等，1992）。

当把从遗传学领域引入的“距离隔离”模型（莱特（Wright），1941；马尔科特（Malecot）1951；基穆拉（Kimura）和韦斯（Weiss），1976）应用于语言数据时，可以间接检测到“波浪”效应，即同时多个词进行全局性的检测。显然，词语向邻近地区的扩散必然会导致邻近区域之间的整体相似性增加。根据距离隔离模型，随着地理距离的增加，相似性会呈指数下降，这与语言年代学模型中相似性随分离时间增加而呈指数下降的方式几乎相同。在语言年代学模型中（以及生物学中相对应的分子钟模型），失去一个共同词汇的概率在时间上是恒定的，而在距离隔离模型中，这种概率在空间上也是恒定的。理论研究表明，空间和时间常数共享一个表达式，这个表达式是“突变（mutation）”率和“迁移（migration）”率的函数。空间和时间上的相似性下降都受到同一个复杂因素的影响：即不同词语的变化率大不相同，这使得整体指数的下降失效。但这种下降对单个词语仍然有效，因此我们可以计算每个词的变化率。事实上，

我们已经发现了词汇在空间和时间上的变化率之间存在相关性（卡瓦利-斯福扎和王士元，1986）。而导致不同词语不同变化率的原因似乎是一个值得研究的有趣现象。

二、词汇扩散

词汇扩散理论（王士元 1969；陈源泉 1972）被认为是语言变化研究中最重要创新（拉波夫（Labov）1981）。二维扩散的矩阵可以很好地定义这个概念：其中一个维度是词汇，另一个维度是不同的语言使用者个体，如下图所示：

词	1	2	3	4	5	
个人			1	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
2	.	.	.	.	.	.
3	.	.	.	.	.	.
4	.	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.	.
7	.	.	.	.	.	.
8	.	ai	ai	.	.	.

该矩阵中的每个点代表传统发音，比如 weight（第 1 个词）、mate（第 2 个词）、fate（第 3 个词）、rate（第 4 个词）、Kate（第 5 个词）中的双元音 ei 的传统发音。我们假定所有 1-7 号个体都有相同的发音，那么矩阵中的所有点也都可以用 ei 替代。而此时可能会出现一个新来的人，这个人很可能是一个澳大利亚人，此人可能会以不同的方式来对某些或所有这些词汇进行发音，例如将它们发音为 ai。为了简单起见，我们假设这个新来的人是 8 号，他把 mate 和 fate 发音成了 mait 和 fait，但把 weight、rate 和 Kate 发音成了 weit、reit 和 keit。那么在第 8 行中，我们将第 2 和第 3 个词写成 ai，而矩阵中的其他所有内容仍然保持为 ei。

因此，当个体倾向于将其语言行为与词汇的相似部分进行同质化处理的时候，我们称这种现象为“词汇扩散”。也因此，在这个过程结束的时候，这位澳大利亚人可能会把所有单词都发音为 ai，或者可能已经学会了所有单词的传统发音 ei。又或者他可能保持着所有词汇各自原有的 ai 和 ei 发音不变，又或者会产生一些其他的双元音模式。

这个矩阵中包含 7 个相同的个体，而语言则是一种社会现象。毕竟，语言是用来交流的，这就要求个体之间必须有足够的标准化，才能

实现相互理解。因此，说话者之间存在着相当显著的相互影响也就不足为奇了。实际上两个说话者之间的关系常常是不对称的，这是由于年龄差异、社会支配地位或其他类型的社会关系差异所造成的，说话者中的一方通常是模仿者，而另一方是被模仿者。新生儿会向年纪比他们大的人学习；而来到某一个新地方的成年人可能会努力试图融入，并尽其所能去学习。在这两种情况下，结果在很大程度上都取决于哪个人恰好担任了传递者的角色。当有多个可能的传递者可以选择时，如果此时他们也表现出了不同的语言行为，人们就必须有意识或无意识地努力只选择并接受其中一位传递者，但这并不一定意味着人们要针对所有词语都选择同一个传递者。记得 55 年前我第一次去英国学习英语时，我意识到不同个体的发音存在着差异。我那时候感到相当困惑，而这种现象显然产生了选择不同发音的需求。

如果 8 号个体是一个成年人，那么他不太可能会发生改变。他可能会自己完成对五个词汇中两种发音其中之一的过渡。但也可能出于某种原因，是他影响到了其他人。无论是哪一种情况，很明显的一点是，发音的扩散确实是从某一个个体传播到其他的个体，尽管在成年人中这种情况更少见。这些扩散过程在形式上与传染病的流行性完全可比，标准的流行病模型会产生一个 S 形曲线（称之为逻辑（logistic）曲线^①），以此来描述特征频率的增加。然而，这里实际上存在一个数学上的复杂性：流行病可能有两种，或者更确切地说，流行病可以在两个维度上传播，一个维度由词汇表示，另一个维度由个体表示。这样的过程在数学上非常复杂，因此与其使用公式来预测结果，倒不如使用计算机进行模拟。在我们的例子中，并不清楚是 ei 形式还是 ai 形式的使用将会增加。在这两种情况下，扩散的方向都取决于统计和社会两种因素。在如今的澳大利亚，“ai”的发音占主导地位；这可能是因为该地区最初的定居者大多来自伦敦地区，而在伦敦地区，“ai”的发音直到现在都依旧很普遍。

从 ei 到 ai，或从 ai 到 ei 的变化（从历史上看，我们知道在英国是前者的变化；见小仓（Ogura）、王士元和卡瓦利-斯福扎，1992）可能首先发生在某一个个体的身上，但在之后

又为什么以及如何会使另一个个体被转变了呢？这很可能是因为该个体接触到了一个或几个词的新发音，逐渐掌握并接受了这些新的发音，然后由于在大脑的常规运行过程中，这些新的发音会在个体内部向其他词汇进行扩散。影响这种变化方向（ei → ai 或 ai → ei）的原因包括：某一方向上较高频率的突变（个体变化）的可能性、发音的容易程度、发音角度的审美考虑，或者仅仅是有意或无意地引入这一新发音的第一个人的社会威望。而转变概率的不对称性，将决定这两种方向中究竟哪一个趋势会流行开来，就像人们认为在英国的元音大推移中所发生的那样^②。为简单起见，我们假设转变只朝一个方向进行，那么这一过程的速率仍将取决于至少两个变量的相对比率：即词与词之间在个体内部的扩散概率；以及对于给定的词在不同个体之间的扩散概率。在矩阵中，我们可以看到两个同时发生的流行传播现象：一个发生在行内，一个发生在列内。第一种是词汇扩散，由某一种大脑机制引起，这种机制倾向于使不同词汇中语音相似部分的发音趋于一致。从某种意义上说，这是一种记忆过程的节约机制，可能有点类似有助于我们记住押韵并使押韵在诗歌和广告等领域流行开来的机制。第二种是图 1 所示矩阵列内的扩散，这其实是一种社会现象，因为它涉及个体之间的扩散，这种扩散发生在个体互相接触之后。而对于某个给定的词，这种扩散更可能会发生；当一个个体从另一个个体那里学习到一个词的新发音时，这种发音随后可以横向针对等效的词汇进行扩散。如果词汇扩散比社会扩散的速度更快，矩阵将会在行间显示出比列间更强的连贯性。

为了更完整地描述这一现象，我们还需要考虑两个额外的维度：即时间和空间。在同一群体的个体中，针对不同时期的观察会发现，随着时间的推移，发生变化的词语比例和发生变化的个体比例都会增加。沈钟伟（1990）在对一个词汇扩散例子的分析中，把上海一个社区中不同年龄的人群作为时间的估算依据。所有的变化过程都呈现出了典型的逻辑曲线特征，这既符合一般的理论预期，也符合一些特定的、尚未发表的模拟结果。文献中也有许多其他使用历史数据来分析这一时间过程的例子（王士元，1977），并且总是可以观察到某种逻辑曲线。

^①“逻辑曲线”指的是一种 S 形增长曲线，描述事物在增长过程中先缓慢、后快速、最终趋于平稳的变化规律，常用于研究人口增长、疾病传播或技术普及等有限增长现象。

^②英国的“元音大推移”指的是在 15 世纪到 18 世纪期间发生在英语中的一系列显著的元音发音变化。这一现象极大地改变了中世纪英语（Middle English）向现代英语（Modern English）转变过程中长元音的发音模式，是英语语言历史中最重要的音变事件之一。

我们似乎可以推测这样一种结果，即词与词之间的扩散（在个体内部）比个体之间的扩散更快。如果事实并非如此，我们就很难注意到词汇扩散的过程，因为其本质上是相同变化在不同语言部分之间的扩散。

我并不确定是否已经有一份对所有已研究的词汇扩散案例的汇总，但我认为提供这样一份汇总，并在已知的情况下计算扩散速率是非常重要的。对词与词之间，以及个体与个体之间的扩散速率进行系统分析，不仅要考虑时间维度，还要考虑空间维度上的分析，这可能会非常具有实用价值。我不清楚是否有关于空间扩散的真实数据的案例。最初由费希尔（R. A. Fisher）提出的一个数学模型，即“有利突变推进波（the wave of advance of advantageous mutations）”^{①②}，可以很方便地应用在这种情况下；这个模型已被用于其他研究空间-时间扩散的例子，比如早期农业的扩散（阿默曼（Ammermann）和卡瓦利-斯福扎，1984）。我想大胆猜测的是，词汇扩散可能会成为语言演化进程中速度最快的过程之一，无论是在空间上还是时间上。这也将证实拉波夫在语言演化过程中赋予词汇扩散理论以卓越的地位是十分正确的。

我们究竟应该如何定义词汇扩散？拉波夫曾经讨论过是否应该将元音大推移视为词汇扩散的一个例子。根据上述定义，这个案例理应包括在内。元音大推移通常被认为是难以解释的，推动该事件的力量可能是我们前面讨论 *ei* —— *ai* 转变时提到的一个或多个因素。在这些因素（或其他可能的因素）之间做出选择当然并不容易，而且可能涉及不止一种因素。有趣的是，萨丕尔（Sapir）（1921）将元音大推移称为“漂变（drift）”的一个例子，用这个词来定义一种不太规律但在某种程度上仍可预测的趋势是再合适不过了。奇怪的是，“漂变”这个词在生物演化的研究领域有着完全不同的含义，在该领域中这个词定义了一种完全由概率定律支配的不确定性变化（详见后文）。生物学上的用法似乎不如语言学上的用法那么准确，但在当下如果要改变这个词语也是非常困难的。

三、生物学考虑

个体之间存在扩散并不令人惊讶；这是文

化演化的典型特征，而语言是一种核心的文化现象。人们可能会惊奇地发现，相关词语之间也存在扩散现象。为什么会出现这种情况？最简单的解释是大脑在创造语言时会尽可能多地使用规则，从而引入了相当程度的标准化。这样做的主要好处肯定是省力，但由于我们目前对大脑功能的认识有限，因此很难再做出更多的解释。

病理学家注意到，某些病变可能会破坏大脑的某些集中区域，从而导致高度特异性的障碍。两例经过深入研究的获得性书写障碍案例尤为有趣（R. Cubelli, 1991《获得性书写障碍中选择性元音书写缺陷》，自然（Nature）：353:258-260）。其中一位患者在书写时会省略元音。另一位患者则出现其他错误，主要是替换（substitutions）错误：（409个错误中有340个，占83%），而在这340个替换错误中，336个（99%）是元音替换元音或辅音替换辅音，其中元音替换更为常见。这位患者在409个错误中还有一些较少见的错误，包括转置（transpositions）（30个，例如将 *plagio* 写成 *pliago*）、删除（deletions）（26个）或插入（insertions）（13个）。文献中已经有过类似的案例报道。

遗传学家非常感兴趣的是，在某些家族中，特别是在麦吉尔大学的语言学家戈普尼克（M. Gopnik）所研究的一个家族中，观察到了个体之间的差异，这是由于遗传基因导致的缺乏应用某些规则的能力，例如，将不熟悉的名词组成复数，或者将动词变化规则应用于不熟悉的动词。这个家族中有一位智力正常且数学和计算机技能出色的成员，在使用“ed”后缀构成不常见动词的过去式时态时遇到了困难，但他可以轻松地变化不规则动词，即生成常见动词的过去式形式，如“came”、“was”等，这些结果可能是他独立学习掌握的。有趣的是，英语动词过去时的“ed”后缀就是词汇扩散的一个例子。在上述家系中个体之间差异的遗传方式表明，这种现象很可能是由某个基因控制的。因此，病理学和遗传学都表明，语言规则在大脑中会受到特定控制，可能是由一些小型中枢或核团（神经细胞群）进行控制，而这些中枢的遗传或外伤性破坏可能会引起某些特定功能的缺陷，这些都加深了我们对于大脑组织的认识。显然，规则可以加快和简化语言。也

^① 此数学模型的意义在于描述有利突变（advantageous mutations）如何在一个种群中通过繁殖和扩散逐渐传播的过程。这是一种空间-时间扩散模型，用来解释遗传特性或基因的传播模式。

许大脑在某种程度上像“并行”计算机^①一样工作，众所周知这比标准计算机要快得多。

有趣的是，在生物演化中我们也观察到了一个与词汇扩散有某些相似之处的过程：此概念被称为“协同演化（concerted evolution）”。染色体（chromosome）的某些部分是由重复片段组成的，就像下面这个简化的例子，其中一组五个核苷酸（nucleotide）（构成DNA的化合物，有四种类型，标记为A、T、C、G）多次重复：

...ACGGTACGGTACGGTACGGTACGGT
ACGGT...

高度重复片段的典型例子是被称为着丝粒（centromere）的DNA区域，这是染色体上与控制细胞分裂的“纺锤体”纤维相连的部分。在细胞分裂时，每条染色体分裂成两条细丝，它们最初基于其长度相互连接，但最终被分离，并通过纺锤体纤维被带到每次细胞分裂产生的两个子细胞中（重复的成分要比上面示例的五个核苷酸组要复杂得多）。串联重复DNA的另一个例子是r-DNA，它负责制造核糖体（ribosome），核糖体是一种细胞器，在每个细胞中都有多个相同的复制体。

在这样一段DNA序列中可能会发生突变，例如在第二个片段的第三个核苷酸中，中间的核苷酸G被A（下划线标出）替代：

...ACGGTACAGTACGGTACGGTACGGT
ACGGT...

在随后的演化过程中，这种改变可能会因为突变回原状或其他原因而消失。但它也可能扩散到附近的核苷酸中，并最终扩散到整个链条上，这时的链条就会呈现出如下形态：

...ACAGTACAGTACAGTACAGTACAGT
ACAGT...

为了更直观地说明这一点，让我们用1代替ACGGT，用0代替ACAGT。片段0和片段1并不相同，它们的区别在于五个核苷酸中的其中一个。原始DNA是：

111111

在第一次突变后变成：

101111

在演化过程结束时变成：

000000

这就是从1到0的“协同”演化。这类例子常见于两个经过相当长时间演化分离的物种

的对比中，例如人类和大鼠这样的哺乳动物。有时，我们还会发现中间产物，如：

100011

这种情况是如何发生且为什么会发生呢？

其实有多种机制都可以产生这种现象。我们知道每个个体都有两份染色体的复制体，一份来自父亲，另一份来自母亲。在产生配子（gamete）（精子或卵细胞）的某个阶段，这两份染色体中只有一份会进入配子。在此之前，有一个阶段中两条染色体会按照长度配对，并可能通过如交叉互换（crossing-over）和基因转换（gene conversion）等过程交换片段。配对是特定的，即只有在相当长度内几乎完全相同的染色体片段才能配对。在串联重复区域，配对可能不够准确。因此，两个染色体片段如果是1101111，其配对应该如下所示：

1101111

1101111

但也有可能存在不平等配对的情况，例如：

1101111

1101111

0号染色体片段和1号染色体片段虽然有所不同，但仅在五个核苷酸中的一个位置上不同，因此仍然可以配对，尽管配对并不完美。这一过程可能导致不对等交换；例如，如果在标记为x的位置发生交叉互换，形成的两条染色体将是：

11001111

和

111111

由此产生的两条染色体的长度也不相等，但我们最感兴趣的是上面那条染色体中现在包含两个突变的重复序列。这个过程会继续下去，最终使所有片段都转变为0型，从而产生一条新的染色体000000，其中所有重复序列都是新型的ACAGT。该过程会导致最终片段与原始片段的长度不同，事实上长度上的差异在最终形态前就已经可以观察到了。这个过程必然需要很长时间，但观察协同演化通常涉及不同的物种，它们之间通常相隔了数百万年。

协同演化也可以通过所谓的基因转换的过程来实验，在这个过程中，进入配子的染色体可能从另一条染色体（来自于另一个亲本）的另一个片段复制了一个重复序列。如果在上面显示的染色体中，被复制的片段是0型而不是

^①“并行计算机”指的是一种能够同时执行多个计算任务的计算机系统，如现代超级计算机和图形处理器（GPU）。它通过多个处理器或计算核心协同工作，以提高计算速度和效率。与传统的串行计算机（按顺序逐步完成任务）不同，并行计算机能将一个复杂的任务分解成多个部分，并同时处理这些部分，从而大幅减少计算时间。

1型, 我们就会得到相同的结果, 即0型片段数量的增加。与交叉互换不同, 基因转换不会改变重复序列内重复体的数量。

协同演化和词汇扩散不太可能有共同的生物机制, 所以这个生物学的例子可能对理解类似的语言现象的成因并无帮助。我在此提及它仅仅是出于好奇。但在树状模型、波浪理论及其生物学类比物(即距离隔离模型)的例子中, 生物学和语言学的情况之间确实存在更多共同点。在这两种情况下, 演化的四个经典因素都必须发挥作用。这些因素在生物学中有着充分的认识和研究, 但在语言学研究还远远不够。在生物学中, 它们被称为突变(mutation)、选择(selection)、迁移(migration)和漂变(drift)(指遗传特征频率在代与代之间的随机变异)。语言演化中也有类似的因素, 只是名称不同而已。在语言学中应用距离隔离的数学理论, 并确定与生物学因素相当的因素, 已经被卡瓦利-斯福扎和王士元(1986)讨论过。卡瓦利-斯福扎和费尔德曼(1981年)系统地研究了这些概念在文化演化研究中的普遍作用。语言演化是文化演化的一个经典例子。当然, 演化的物质基础在两种情况下是完全不同的: 生物学中是DNA或基因, 语言学中是词汇、语音和语法。如果过分推广这种类比显然是不恰当的, 但是, 有一些抽象的规则确实可以从一个领域被带入到另一个领域, 并有助于加深我们的认识。

参考文献

- Ammerman, A. and Cavalli-Sforza, L. (阿默曼, A. 和卡瓦利-斯福扎, L.) . 1984. 欧洲新石器时代的过渡与人类群体遗传学 [Neolithic transition and the genetics of populations in Europe]. 普林斯顿: 普林斯顿大学出版社 [Princeton University Press].
- Bowcock, A., et al. (鲍科克, A., 等) . 1981. Drift, admixture, and selection in human evolution. 人类演化中的漂泊、混合和选择 美国国家科学院院刊 [Proc. Natl. Acad. Sci. USA], vol. 88, pp. 839-843.
- Cavalli-Sforza, L. (卡瓦利-斯福扎, L.) . 1992. Mathematics in research and teaching: mathematical models in biology. 生物学研究与教学中的数学: 生物学中的数学模型 意大利数学学报 [Bollettino Un. Mathem. Ital.], (7) 6-A, pp. 313-331.
- Cavalli-Sforza, L. and Piazza, A. (卡瓦利-斯福扎, L. 和皮亚扎, A.) . 1975. Analysis of evolution: evolutionary rates, independence and treeness. 演化分析: 演化速率、独立性和树性 理论种群生物学 [Theor. Popul. Biol.], vol. 8, pp. 127-165.
- Cavalli-Sforza, L. and Feldman, M. (卡瓦利-斯福扎, L. 和费尔德曼, M.) . 1981. 文化传递与演化 [Cultural transmission and evolution]. 普林斯顿: 普林斯顿大学出版社 [Princeton University Press].
- Cavalli-Sforza, L. and William S-Y. Wang. (卡瓦利-斯福扎, L. 和王士元) . 1986. Spatial distance and lexical replacement. 空间距离与词汇替换 语言学 [Language], vol. 62, pp. 38-55.
- Cavalli-Sforza, L., Menozzi, P. and Piazza, A. (卡瓦利-斯福扎, L., 梅诺齐, P. 和皮亚扎, A.) . 1993. Demic expansions and human evolution. 人类进化中的人口扩展 科学 [Science], vol. 259, pp. 639-646.
- Chen, Matthew. (陈源泉) . 1972. The time dimension: contribution toward a theory of sound change. 时间维度: 对音变理论的贡献 语言基础 [Foundations of Language], vol. 8, pp. 457-498.
- Cavalli-Sforza, L. and William S-Y. Wang. (卡瓦利-斯福扎, L. 和王士元) . 1975. Sound change: actuation and implementation. 音变: 触发与实施 语言学 [Language], vol. 51, pp. 255-281.
- Cubelli, R. (库贝利, R.) . A selective deficit for writing vowels in acquired dysgraphia. 获得性书写障碍中选择性元音书写缺陷 自然 [Nature], vol. 353, pp. 258-260.
- Dyen, I., Kruskal, J.B., Black, P. (戴恩, I., 克鲁斯克尔, J.B., 布莱克, P.) . 1992. An Indo-European classification: a lexicostatistical experiment. 印欧语系的分类: 一项词汇统计实验 美国哲学学会会刊 [Trans. Am. Phil. Soc.], vol. 82, pp. 1-132.
- Embleton, Sheila M. (恩布尔顿, S.M.) . 1986. Statistics in historical linguistics. 历史语言学中的统计学 波鸿: 量化语言学第30卷 [Bochum: Quantitative Linguistics, Vol. 30].
- Gopnik, Myrna. (戈普尼克, M.) . 1990. Feature blind grammar and dysphasia. 特征盲语法与语言发育障碍 自然 [Nature], vol. 344, p. 715.
- Hoenigswald, Henry and Wiener, L. (霍尼格斯瓦尔德, H. 和维纳, L.) . (编辑). 1987. Biological metaphor and cladistic classification. 支系分类中的生物学隐喻 宾夕法尼亚大学出版社 [University of Pennsylvania Press].
- Kimura, M. and Weiss, G.H. (基穆拉和韦斯, G.H.) . 1964. The stepping stone model of population structure and the decrease of genetic correlation with distance. 种群结构的垫脚石模型及遗传相关性随距离的减弱 遗传学 [Genetics], vol. 49, pp. 561-576.
- Labov, William. (拉波夫, W.) . 1981. Resolving the Neogrammarian controversy. 解决新语法学派的争议 语言学 [Language], vol. 57, pp. 267-308.
- Lien, Chinfu. (连金发) . 1994. Lexical diffusion. 词汇扩散 语言与语言学百科全书 [The Encyclopedia of Language and Linguistics], vol. 4, pp. 2141-2144. 牛津: 佩加蒙出版社 [Oxford: Pergamon Press].
- Malecot, G. (马尔科特, G.) . 1950. Some probabilistic schemes of variability in natural populations. 自然种群变异的概率模型 里昂大学科学年鉴 [Ann. Uni. de Lyon Sci.], A 13, pp. 37-60.
- Ogura, Mieko, William S-Y. Wang, and Cavalli-Sforza, L. (小仓美惠子, 王士元 和 卡瓦利-斯福扎, L.) . 1992. The development of ME i in English: a study in dynamic dialectology. 英语中 ME i 的演化: 一项动态方言学研究 收录于: Eckert, P. (编辑), 音变分析

- 的新方法 [New ways of analyzing sound change]. 学术出版社 [Academic Press].
- Sapir, Edward. (萨丕尔, 爱德华). 1921. 语言学 [Language]. 纽约 [New York].
- Shen, Zhongwei. (沈钟伟). 1990. Lexical diffusion: a populational perspective and a numerical model. 词汇扩散: 人口视角与数值模型 中国语言学报 [Journal of Chinese Linguistics], vol. 18, pp. 159-200.
- Wang, William S-Y. (王士元). 1969. Competing changes as a cause of residue. 竞争性变化导致的残留现象 语言 [Language], vol. 45, pp. 9-25. 重印于 [Reprinted in]: 历史音韵学阅读内容: 音变理论中的章节 [Reading in Historical Phonology: Chapters in the Theory of Sound Change]. 宾夕法尼亚州立大学出版社 [Penn. State University Press].
- Wang, William S-Y. (王士元). 1991. 语言探索 [Explorations in Language]. 台北 [Taipei]: 金字塔出版社 [Pyramid Press].
- Wang, William S-Y. (王士元). 1982. Variation and Selection in Language Change. 语言变化中的变异与选择历史与语言学研究所公告 [Bulletin of the Institute of History and Philology], vol. 53, pp. 495-519.
- Wang, William S-Y. (王士元). 1977. 音韵变化中的词汇 [The Lexicon in Phonological Change]. 海牙 [The Hague]: 莫顿出版社 [Mouton].
- Wang, William S-Y. and Lien, Chinfa. (王士元和连金发). 1993. Bidirectional Diffusion in Sound Change. 音变中的双向扩散 历史语言学: 问题与视角 [Historical Linguistics: Problems and Perspectives], pp. 345-400. 收录于 [In]: 琼斯, C. (编辑) [C. Jones, (ed.)], 埃塞克斯 [Essex]: 朗文出版社 [Longman].
- Wright, S. (赖特, S.). 1943. Isolation by Distance. 距离隔离遗传学 [Genetics], vol. 28, pp. 114-138.

(上接第 48 页)

- Lu, Bingfu(陆丙甫) & Lixin, Jin(金立鑫). 2015. *Yuyan Leixingxue Jiaocheng* 语言类型学教程 [An Introduction to Linguistic Typology]. Beijing: Beijing Daxue Chubanshe 北京: 北京大学出版社 [Beijing: Peking University Press].
- Lu, Bingfu(陆丙甫) & Zhiji, Lu(陆致极). 1984. *Mouxie Zhuyao gen Yuxu Youguan de Yufa Pubian* Xianxiang 某些主要跟语序有关的语法普遍现象 [Some Universals of Grammar with Particular Reference to the Order of Meaningful Elements]. *Guowai Yuyanxue* 国外语言学 [Contemporary Linguistics] 1984.2: 45-60.
- Shopen, Timothy(eds.) 2007. *Language Typology and a Syntactic Description (I II III)*. Cambridge: Cambridge University.