

第五章 实验音系学

Experimental Phonology

张杰

Jie Zhang

美国堪萨斯大学
University of Kansas, USA

[内容提要]

语言学课本中的“音系”指的是可从语言中直接观察的语音的组织规律，但在生成语法中，“音系”特指为说话人对语音组织规律的潜在知识。这决定了以实验方法直接从说话人那里采集数据实际上是生成音系研究不可或缺的一部分。本章对实验音系学近年年的发展作一个简单的概述，着重讨论实验对音系结构的认识所起的作用及其对现有音系理论的挑战，也指出汉语研究与实验音系学之间相互促进、相辅相成的关系。

Abstract

The textbook definition of “phonology” refers to sound patterns directly observable from language. But in generative grammar, “phonology” refers to the speakers’ tacit knowledge of sound patterns. This determines that using experimental methods to collect data directly from the speakers is an indispensable part of research in generative phonology. This chapter summarizes the recent advances in experimental phonology, focusing on the roles that experiments play in our understanding of phonological patterns and the challenges experiments pose for current theories of phonology. It also discusses the roles of Chinese dialects in experimental phonology as well as the importance of experiments in Chinese phonological research.

[关键词]

生成音系学 (generative phonology), 实验音系学 (experimental phonology), 优选论 (Optimality Theory), 随机优选论 (stochastic Optimality Theory), 最大熵值语法 (Maximum Entropy Grammar)

引言

生成音系学 (generative phonology) 从上世纪五十年代末诞生到现在经历了多个发展阶段。从以推导规则为主的生成理论 (Halle 1959, Chomsky 和 Halle 1968)、自然音系学 (Natural Phonology, Stampe 1979) 和特征架构理论 (Feature Geometry, Clements 1985, Sagey 1990) 到以制约为主的优选论 (Optimality Theory, Prince 和 Smolensky 1993/2004)、谐和语法 (Harmonic Grammar, Smolensky 和 Legendre 2006) 及最大熵值语法 (Maximum Entropy Grammar, Goldwater 和 Johnson 2003, Jäger 2007), 不同理论模型中对音系的基本元素及计算方法的假定多有不同, 对音系现象的研究也各有侧重, 这造成了我们对音系学学习及研究的一些困难。但如果我们真正把音系学作为一个科学研究的领域, 那么不论理论如何变化, 研究音系学的科学方法, 正如研究物理学, 化学及生理学的科学方法一样, 应该是统一而明确的: 假设的提出, 数据的采集与分析, 假设的验证与修改, 立论, 理论对事实的预测, 再以预测为假设, 循环以上步骤, 以求对理论的进一步完善与发展。

这一标准的科学方法在传统音系学的研究中并没有得到充分的体现。例如, 音系理论中响度阶 (sonority scale) 的概念是建立在关于音节结构的类型学的基础上的, 但这一概念又常被用来解释音节结构的类型学。这一循环论证源于我们没有对响度阶作出音系之外独立的定义。这一观点在 Ohala 的多篇著作中都有精辟的论述 (Ohala 1986, 1987, 1990a, 1995 等)。

Ohala 从上世纪八十年代便提倡用实验方法来研究音系学。Ohala 和 Jaeger 于 1986 年编著的“实验音系学” (Experimental Phonology) 是第一本关于这一领域的研究方法及成果的专著。从八十年代末起, 两年一度的国际性学术会议“实验室音系学” (Laboratory phonology) 对这一领域的发展更是起了深远的影响。有异于传统音系学, 实验音系学特意模糊了语言“内部”与“外部”的语料的差异, 强调来自于语言游戏 (如反切语)、语误、借词及语音学与心理语言学实验的外部语料对音系结构的研究有着与内部语料 (如语言本身的语音分布及配列规则) 一样重要, 甚至更重要的作用, 用客观与科学的研究方法弥补了传统音系学在数据采集上的不足 (Kenstowicz 和 Kisseberth 1979, Ohala 1986)。其优点不仅在于它的科学性及可测试性, 更在于它能更直接地去探索说话人的潜在音系知识, 从而为生成音系理论提供更可靠的数据基础。本章对实验音系学近年的发展及其对音系理论的影响作一简单的概括和评述。

一、生成音系学的研究对象

语言学课本中的“音系”往往是指语言中语音的组织规律, 但在生成音系学中, “音系”特指为说话人对语音组织规律的潜在知识。这种音系知识体现在以下几个方面: 语音的对立及互补分布, 语音的配列规则 (phonotactics), 及语素的

变体 (alternation)。例如, 普通话中送气音 (p^h, t^h, k^h) 与非送气音 (p, t, k) 是对立的关系, 因为 pà “爸” 与 p^hà “怕” 是两个意义完全不同的词。但英语中送气音与非送气音是互补的同位音位, 因为他们的分布是互补的: 送气音只在重音音节开头 (p^hea**k**, ap^hart) 及词头 (p^hotato, t^homorrow) 出现, 非送气音则出现在其它场合。英语中音节的节首音在符合一定条件的情况下可以是两个辅音: st, pl, tr 等是合法的, zt, bn, lb 则不合法。但普通话中任何辅音串在音节开头都不合法。英语中一个语素在不同的语音条件下常有不同的语音体现: 比如, lock[s], bag[z], bus[əz]。普通话中也有这种情况: [p^hai] “牌” [p^ha]r “牌儿”。音系理论的任何派别都要对这些最基本的音系规律作出解释。生成音系学更是要把这些从语言中观察出的规律提高到说话人的知识本质上。

在传统音系学的研究中, 这些音系规律的发现主要依靠于音系学者对现成的词典、语法、文本及话语的标音记录进行归纳与总结。但我们如何才能确定这些音系规律的确是说话人的音系知识的体现呢? 换句话说, 我们如何确定学话的儿童能够象受过长期训练的语言学者一样对复杂的语言数据作出同样聪明而谨慎的分析, 从而发现语音的对立与互补分布及不同词汇间的构词关系呢? 没有对说话人本身的语言行为的具体分析, 我们实际上是无法回答这个问题的。从语言中观察出的音系规律只能是说话人的潜在音系知识的间接证据, 而不是直接的证据 (Kenstowicz 和 Kisseberth 1979)。

二、实验的目的

综上所述, 我们可以清楚地看到生成音系理论必须有外部数据的支持。这些外部数据可以来自于自然产生的语误、语言游戏规则、借词中的音变及一语和二语习得者所犯的 error, 也可以来自于人为的语音学、心理语言学、神经语言学及社会语言学实验。相对于自然产生的数据, 人为实验的优点有二: 第一, 数据采集可以不受客观条件的限制。我们不需要等待语误和借词的出现, 也不需要等待语言学习者去犯 error, 而是可以用实验方法更直接地去采集类似的相关数据, 从而大大提高数据采集的效率。第二, 自然数据往往会受很多我们无法控制的参数的影响, 这会造成我们无法对这些数据作出确切的解释。在人为的实验当中, 我们可以在实验设计时控制不相关的参数, 从而使其更可靠地提供我们所真正关心的数据 (Ohala 1995)。由此, 我们在本章中主要讨论人为设计的实验在音系学中的作用。

从建立、测试与完善音系理论的角度来说, 实验主要有以下几个目的。

第一, 进一步完善与细化作为音系理论基础的语音现象的描述。例如, 许多语言中都有的音节末尾浊音清化 (德语, 俄语, 土耳其语等) 是否造成语音上的完全中和? 普通话三声变调是否与第二声完全中和? 英语中是否真正有一个在长辅音串中删除舌尖塞音的音系规则, 如 perfec(t) memory? 荷兰语中是否真正有一个在 /lC/ 和 /rC/ (C ≠ 舌尖音) 中加插中性元音的音系规则? 阿拉伯语中颞辅音的语音体现具体是什么? 其又是怎样向周围的音素扩散的? 这些实证问题对音系理论的建构起着决定性的作用。

第二，为生成音系理论归于说话人的潜在音系知识及普遍语法（Universal Grammar, Chomsky 1986）提供事实依据。例如，音系学中音位（phoneme）、特征（feature）及音节结构等最基本的表征在语言游戏、语误及其它实验方法中是否有所体现？能否用门栅测试范式（gating paradigm）来确定可从环境中预测的语音特征是否真的不在这一语素的底层表达（underlying representation）中？阿拉伯语中的强制非恒值原则（Obligatory Contour Principle）是否能在其词汇库及心理语言测试中体现出来？如上文所提到的，这些实验会对音系理论的不同层面提供外部的支持。更值得一提的是，实验特别可以用于挖掘语言内部数据无法体现的说话人的潜在音系知识。例如，优选论中一语学习者的初始制约排列（initial ranking, Smolensky 1996）或某一语言的音系规则中未有体现的隐藏制约排列（hidden ranking, Davidson 等 2004）能否在实验中找到证据？语言中晦暗的音位及语素变体规则（opacity, Kiparsky 1973）是否在假词中具有与透明的规则一样的衍生性（productivity）？这类研究因其对说话人的潜在音系知识的直接探索而为生成音系理论提供了更可靠的数据基础。

第三，实验方法可以用来研究类型学上常见的音系规则是否与语音学上的发音及感知原理及心理语言学上的加工原理有关。例如，语言中辅音的发音部位与清浊的同化规则是否与不同辅音在不同位置上的感知特征相关？在表层不允许辅音串的语言中，元音插入位置的不同是否由插入元音对辅音串的感知影响决定？语言中常见的词头在音位对立上的特权与词头在听觉词汇识别及加工的重要性是否相关？由于传统音系学把语音学与心理语言加工排斥在外，这些重要的关联也因此被有意无意地忽视了。语音学与心理语言学的实验使我们对这些音系规则的本质有了更深刻的认识。

在以下的两节中，我们就实验音系学对音系理论的贡献作更进一步的评述。

三、实验音系学成果概述

在本章节中，我们着重就以上提到的几个方面对近些年来实验音系学的成果作一简单的概述。由于篇幅所限，我们的讨论不以大而全为目的，而是希望通过对一些代表著作的介绍，加强读者对这一研究的方法与目的的理解与体会。有兴趣的读者可以通过这些著作中所引用的参考文献更进一步地去学习实验音系学。

（一）完善与细化音系现象的描述

传统的生成音系学常常假定音系规律是范畴性的（categorical）。但随着语言数据采集和处理的方式方法的发展，越来越多的研究表明许多我们所认为是范畴性的音系规律实际上是阶层性的（gradient）。举例来说，许多语言中都有的音节末尾浊阻音清化（德语，俄语，土耳其语等）在用推导规则的音系理论中是用类似

于(1)的规则来解释的。也就是说,非响音在音节末尾变清声。在优选论中,这一现象则可以用(2)中的制约排列来解释。也就是说,不允许浊阻音在音节末尾出现的标志性制约比保护清浊的忠实性制约排列更高,从而造成了音节末尾的浊阻音清化;但这一忠实性制约比更广泛的不允许浊阻音出现的标志性制约排列更高,从而保护了阻音在其它位置上的清浊对立。但大量关于德语(Charles-Luce 1985, Port 和 Crawford 1989)、波兰语(Slowiaczek 和 Dinnsen 1984)及荷兰语(Warner 等 2004)等语言的实验研究表明这些清化的浊音实际上仍保留了一些浊音的语音特征。这说明这些语言中的这一音系规则实际上并没有造成语音上的完全中和,因此(1)和(2)中的范畴性解释实际上是不确切的。

1. [-sonorant] → [-voice] / __]。
2. *[-sonorant, +voice]]_σ » IDENT(voice) » *[-sonorant, +voice]

不完全中和不仅体现在浊音清化上,还在英语的拍音(flapping, Dinnsen 1984, Patterson 和 Connine 2001, Herd et al. 2010)、普通话的三声变调(Peng 2000, Myers 和 Tsay 2003)等多种规则中都有体现。因此,作为一个具有普遍性的问题,它对传统音系学中范畴性的底层与表层结构及音系与语音实施的独立二分性提出了新的挑战。

一个词或语素的语音表现的变异性(variation)是实验音系学近年所关注的另一个问题。这一问题在社会语言学中早就有了很重要的位置(如 Labov 1972, 1994),但其在音系理论上的重要性直到最近才受到重视。Goldsmith 于 1995 年编著的初版“音系理论指南”(Handbook of Phonological Theory)并没有关于变异的章节,但即将出版的第二版“指南”则包括了 Coetzee 和 Pater 执笔的“变异在音系理论中的地位”(The place of variation in phonological theory)。变异是指一个词或语素能在相同的环境下有不同的语音表现的情况(Coetzee 和 Pater, 待刊)。Coetzee 和 Pater 指出变异不仅发生在词汇音系学(Lexical Phonology, Kiparsky 1982)意义上的“后期音系”(late phonology)中,如英语中 gree[n] box 与 gree[m] box 的变异,也会发生在“前期音系”(early phonology)中。例如,芬兰语的所有格复数有两种变异形式: /-iden/和/-jen/。当词干的末音节为轻音节时,这两种变异形式都可能出现,而每种变异的出现频率与词干本身的音系特征,如重音的位置、词尾的元音等密切相关(Antilla 1997)。又如,匈牙利语后缀中的元音多会依据词干的元音进行[±back]的元音和谐,但元音和谐在词干中离词缀最近的元音为中性时会有变异,而每种变异的出现频率与词干的音节数量、词干首音节元音的前后特征及词干末音节中性元音的高低特征有关(Hayes 和 Londe 2006)。再如,英语中词末的/t/和/d/有时会被删除,而删除的频率也与/t/和/d/的音系环境,如其所在音节的重音、下一个音素的响度及上一个音素与/t/和/d/的相似程度有关(Labov 1989)。更重要的是,实验表明说话人对变异的频率及影响变异频率的音系条件有着潜在的知识。Hayes 和 Londe (2006)便通过一个假词实验(“wug” test, Berko 1958)证实了以匈牙利语为母语的说话人能够敏感地用词干的相关音系

条件来计算词缀的元音和谐的行为。这些例证表明我们必须对变异有一个音系学上的解释，而不是把它简单地归结到语音实施或社会语言学的范畴当中。

（二）为说话人潜在的音系知识提供事实依据

生成音系学认为说话人的音系语法是由普遍语法及后天学习的语法两部分构成的。什么样的音系表征及计算方法属于普遍语法的范畴内是音系学界很有争议的问题。与句中普遍语法的论证方法（Chomsky 1975 等）类似，音系学中对普遍语法的论证也往往是通过“刺激贫乏论”（the poverty of the stimulus）来进行的。但相比于句法的无限性及循环性，音系研究的对象往往是有限的词汇，这造成了寻找刺激贫乏的依据的困难。因此，这类证据往往需要精心设计的实验来搜集。例如，优选论主张标志性制约 » 忠实性制约（MARKEDNESS » FAITHFULNESS）是普遍语法设置的初始制约排列（Smolensky 1996）。为验证这一初始制约排列，Jusczyk 等（2002）用转头范式（head-turn paradigm）对四个半月的婴儿进行了测试，发现他们对发音部位进行了同化的刺激（an, bi, ambi）比对忠实体现发音部位的刺激（an, bi, ambi）注意的时间更长。又如，不同版本的标志理论（markedness theory）皆主张音节首的辅音串会受到不同等级的标志性制约的约束，如 *lb » *bd » *bn。这些等级可能是由普遍语法决定的，也可能是由感知及其它原因决定的，我们姑且不去争论。但一个重要的问题是，如果一个语言中的词汇对这些等级的等级无所体现，那么这个语言的说话人有没有对这些等级的潜在知识呢？换句话说，我们如何能确定音系语法中是否有隐藏的制约排列呢？Berent 等（2007）通过音节数量、语音串的同源性等一系列测试表明尽管英语中不存在以 lb、bd 或 bn 为音节首的词汇，英语的说话人仍对 *lb、*bd 和 *bn 之间的排列有潜在的知识。如果不用实验方法，我们是无法验证这类隐藏的制约排列是属于说话人的音系知识的。

从音系表征（phonological representation）的角度来讲，多项实验表明生成音系学关于音位、特征及音节结构的理论是有心理及感知基础的。关于音位的心理基础在 Ohala 及 Jaeger 的早期著作中便有论及（如 Jaeger 1980, Ohala 1986）。他们用语音分组等研究方法表明了英语受试人大多会将同音位的不同语音，如 [k^h] 和 [k]，归为一组，尽管英语中 [k] 和 [g] 从纯语音的角度上说更为相近。近年兴起的神经语言学对音位问题的研究也起了重要的作用。例如，Kazanina 等（2006）用脑磁图仪（MEG）的方法比较了朝鲜语和俄语的说话人对阻音清浊的神经加工。他们发现在新异刺激范式（oddball paradigm）下，俄语说话人的脑磁图中会有失匹配负波（mismatch negativity）产生，而朝鲜语说话人则没有。这与阻音清浊在俄语中的对立及朝鲜语中的互补是相对应的。音系特征的重要性在语误的研究中常有体现。例如，Fromkin（1971）的经典著作中便指出 clear blue sky → glear plue sky, pedestrian → tebestrian 等语误是 [voice] 和 [coronal] 等特征的心理体现。近年来，语误研究对长久以来一直有争议的音调的特征标设也起了积极的作用。比如，Wan 和 Jaeger（1998）通过台湾普通话中与音调有关的语误论证了普通话中的曲折调应作为一个音系单位来处理，而不是两个平调的并列。对音系理论至关重要的音节结

构也在多项实验研究中找到了依据。例如, Treiman (1983) 通过一系列移动和处置音节成分的语言游戏为音节首 (onset) 及韵脚 (rime) 等音节单位提供了证据。

有关配列规则的音系知识在上文已略有提到: 说话人这方面的音系知识可能是隐藏于其语言内部的音系规则之后的。但更多的情况下, 实验表明说话人对其语言内部的音系规则是有非常具体的潜在认识的。以阿拉伯语为例, 发音部位相同的辅音在同一个词根中往往不能同时出现; 比如, /ssm/ 不是一个合法的词根。在音系理论中, 这一现象可以用强制非恒值原则来解释。Frisch (2000) 和 Frisch 等 (2004) 发现在阿拉伯语的词汇中, 这一强制非恒值原则的体现实际上是阶层性的: 两个辅音感知上越相近, 它们能在一个词根中同时出现的概率就越低; 而且这一概率也与两个辅音之间的距离有关, 也就是说, 相邻的辅音比不相邻的辅音对感知距离的要求更高。更重要的是, Frisch 和 Zawaydeh (2001) 发现阿拉伯语的说话人对这一阶层性的配列规则有着具体而充分的知识。他们请阿拉伯语的说话人对他们设计的一些假词的似词性 (wordlikeness) 进行评估, 结果发现受试者的回答与词根辅音的相似度线性相关。这类实验不仅表明我们从语言中总结出来的配列规则是有心理基础的, 而且显示了说话人能用词频等信息从阶层性语料中归纳出阶层性的音系知识来。这一观点在 Bailey 和 Hahn (2001)、Hayes 和 Wilson (2008)、Coetzee 和 Pater (2008) 及其它诸多著作中都有论述。

语素变体的研究在音系学中起着重要的作用。生成音系学假设不同的语素变体都有一个相同的底层结构; 这一底层结构通过不同音系规则的影响转换成不同的表层结构。这一假设在 Berko (1958) 的经典研究中就有过验证: 英语说话人能够毫不费力地为假词的单数形式提供适当的复数后缀的变体, 如 wug~wug[z], rick~rick[s], gutch~gutch[əz]。Pierrehumbert (2006) 对英语的拉丁源词汇中常见的 [k]~[s] 变体, 如 electri[k]~electri[s]ity 进行了衍生性的研究。结果表明尽管这一变体在英语中有很多例外, 如 anar[k]y~anar[k]ism, 但它在一些特定的假词中的衍生性仍然很高, 如 interponi[k]~interponi[s]ity。这说明英语说话人对这一规则在具体环境中的体现有着具体的知识。这类研究不仅支持了语素变体这一理论概念, 更对说话人对语素变体的知识的具体性与阶层性提出了新的疑问与挑战。

正如说话人有可能有其语言中未有体现的隐藏音系知识, 说话人的音系知识也有可能少于其语言本身体现的音系规律。这一点在关于语素变体的衍生性方面的研究也有体现。例如, Hsieh (1970, 1975, 1976) 及王旭 (1993) 关于台湾闽南语变调圈 (tone circle) 的经典研究表明尽管这些变调规则在闽南语本身的词汇中几无例外, 但其发音人对变调的内在规律并无系统的了解。Zhang 和 Lai (2008) 及 Zhang 等 (2009, 2011) 用更多的词汇与受试人复制了这一结果, 并指出这一非衍生性是由这些变调规则的晦暗性造成的。

综上所述, 实验研究对探索说话人的潜在音系知识是不可或缺的。这是因为说话人的音系知识往往不等同于语言本身所体现的音系规律: 他们既有从其语言中归纳的具体的、阶层性的知识, 又有普遍语法、感知及心理语言加工所提供的知识; 而且, 根据音系规律的特性, 说话人有时又会对其在语言中的体现浑然不知。如果生成音系学研究的对象真正是说话人的知识, 而不仅是语言本身的规律, 那么用实验去更直接地去探索这一知识的必要性便显而易见了。

（三）将音系学与语音学及心理语言学联系起来

音系类型学与语音学及心理语言学的关联从音系学的初始便被学者注意到了。这一关联在优选论的发展下更是得到了重视。这是由于优选论把表层结构的标志性（markedness）问题作为其理论的中心议题之一，从而提高了关于标志性的类型学及其产生原因的研究的地位。我们在这里举几个例子。

从类型学的角度上来讲，语言中相邻辅音的发音部位与清浊的同化规则有许多不对称性：如这些同化往往是逆向（regressive）的，舌尖音比舌根音更容易产生同化，但舌根音比舌尖音更容易触发同化，等等。Jun（1995）、Steriade（1999, 2001, 2008）等指出这些不对称性是与不同辅音在不同位置上的感知特征密切相关的。逆向同化是由于第二个辅音受益于后面的元音而具有比第一个辅音更强的感知特征；相比于舌根音，舌尖音的发音部位移动快，造成其对周围语音的协同发音的影响力不强，因此其感知的影响力也较小，所以它不太容易触发同化，也反而更容易被相邻语音同化。这一论点在 Fujimura 等（1978）及 Ohala（1990b）等感知实验研究中得到了支持。

许多语言在表层不允许辅音串的出现。如果在底层结构的语素组合或外来语词汇中有辅音串，这些语言往往会用元音插入的形式来避免表层的辅音串。但元音插入的位置经常是由辅音串的结构决定的：擦音—塞音的辅音串（如 st）常把插入元音放在前边，但塞音—流音的辅音串（如 tr）则常把插入元音放在两个辅音中间。Fleishhacker（2001）通过一系列评估两个语音串的感知距离的实验对这一现象作出了如下的解释：这两种插入规则使插入元音所造成的表层与底层的感知区别为最小。这一解释与优选论的本质相吻合：输出项是在不违反高排列的标志性的条件下尽可能满足忠实性制约的候选项。只不过忠实性制约的排列在这里是由感知特性决定的。

词头在音位对立上的特权在许多语言中都有体现。例如，普通话中音节首有大量的辅音对立，音节末则只能有 n、ŋ 和 r；在班图语族的绍纳语中，词首的音节里中元音是与高、低元音对立的，但在非词首的音节里，中元音只能在与首音节发生元音和谐时才能出现。Beckman（1998）认为这与词头在听觉词汇识别及加工的重要性密切相关。比如，Horowitz 等在 1968 年便指出词首的部分对词汇的识别与检索起着比词中及词尾更重要的作用。Marslen-Wilson 及合作者（如 Marslen-Wilson 和 Tyler 1980 等）关于听觉词汇识别的“交股模型”（cohort model）更是给词首赋予了特别重要的心理特性。

音系结构与语音学，特别是感知的关联不仅体现在后者对前者的影响上，也体现在前者对后者的影响上。Massaro 和 Cohen（1983）、Pitt（1998）、Hallé 等（1998）等通过大量实验表明说话人对在其语言中非法的辅音串的感知是受到其语言的配列规则的影响的。例如，dl 和 tl 在法语中不是合法的音节首辅音串，法语说话人在对 dl 和 tl 作听辨时便常会把它们听成合法的 gl 和 kl（Hallé 等 1998）。Moreton（2002）则在此基础上更进一步地表明了影响感知的音系知识是结构性的，而不是单元性的。他测试了英语受试人对 bw 和 dl 的感知，结果发现尽管这两

个辅音串在英语词首都都不合法，但受试人对 dl 有着比 bw 更强的排斥。他把这归结于这两个辅音串在响度阶上的结构差别。

四、实验对生成音系学理论的挑战

从上一节我们可以看到，实验音系学的研究为许多传统的音系表征与结构提供了事实依据。但它的研究成果也对生成音系学理论提出了一系列挑战。我们在这一节中对这些挑战作一简单的概括。

（一）语音及功能在共时音系的地位

多项实验结果所体现的音系结构与感知及心理语言加工的双向关系对传统的“音系—语音”二分论（Chomsky 和 Halle 1968）提出了疑问。如果音系完全是一个形式化（formal）的模块，而语音则是音系的物理及生理体现，那么我们如何解释语音对音系结构及规则的影响呢？

关于这个问题学者们大致持两种截然不同的态度。一类学者认为共时音系（synchronic phonology）中应有语音的地位。Boersma（1998）、Steriade（1999，2001，2008）、Flemming（2001）、Zhang（2002）等提出语音的作用应在优选论的制约及制约的固有排列中直接体现出来。这有可能是普遍语法的作用，也有可能是语法外部的语音知识对音系语法的习得起了“分析偏向”（analytical bias Wilson 2006）的作用。但这些学者都认为音系结构与感知及心理语言加工的关系是应该由共时音系来预测的。另一类学者则认为我们所观察到的音系类型学与语音及功能的关系是由历史音变造成的。由于历史音变常常是由听辨错误（misperception）造成的，这使共时音系往往具有语音上的自然性（phonetic naturalness）。但从共时的角度来说，说话人对其音系系统的语音自然性并无认识，因此语音在共时音系中的作用也就无从谈起了（如 Anderson 1981，Ohala 1981，Hale 和 Reiss 2000，Blevins 2004，李兵 2008）。正如第一类学者，这些学者对普遍语法在音系中的作用也各有不同的意见：有的全盘否定（如 Ohala），有的有条件地接受（如 Blevins），也有的则认为其至关重要（如 Hale 和 Reiss）。但他们都强调音系类型学并不是共时音系系统必须预测的。关于这一共时—历时的争论在 Hansson（2008）中有一个全面的概括。

很多学者已经意识到这个实验所提出的问题也必须用实验来解决。这已成为音系学发展的最新课题之一。从目前的研究成果来看，学者们对这一问题的分歧仍然很大。Seidl 和 Buckley（2005）对九个月的婴儿进行了测试，比较他们对人工语言（artificial language）中两种不同的音系规则的习得有何不同。这两种规则中，一种在语音上是自然的，另一种在语音上是不自然的。他们的结果表明婴儿对这两种规则的习得是没有差异的。这似乎表明语音的自然性对共时音系是没有影响的，

从而支持了历时派的观点。但 Thatte (2007) 指出 Seidl 和 Buckley 的实验结果受到了他们的语料中其它音系规则的影响，因而是值得商榷的。此外，Thatte (2007) 还通过对四个半月的婴儿的转头范式测试表明他们对元音间清音浊化的刺激 (pa, fi, pavi) 比对元音间浊音清化的刺激 (pa, vi, pafi) 注意的时间更长，从而支持了共时派的观点。人工语言的范式也可应用于成年人的语言习得中。如 Wilson (2006) 使用其来测试受试人是否能将一个音系规则延伸到训练数据中未曾体现的语音环境中，如中元音前的舌根音腭化是否能被延伸到高元音前，并由环境延伸的不对称性（中元音可延伸到高元音，但高元音不可延伸到中元音）为语音在共时音系中的重要性提供证据。Zhang 和 Lai (2010) 则通过对普通话三声及半三声变调在假词中的衍生性的比较从自然语言的角度来研究语音在共时音系中的作用。他们的结果表明有更直接的语音基础的半三声变调在假词中的衍生性更强。如果说话人的共时音系与语音完全无关，这一结果便无法解释。总而言之，目前的实验音系学正用不同的方法为这一共时—历时的争论提供更多的数据基础。Zhang 和 Lai (2010) 对这一点有更详尽的论述。

（二）范畴性与阶层性的问题

我们在上文中已经提到大量实验结果表明说话人的音系知识是具有许多阶层性的特征的。这对传统的范畴性的推导规则与制约提出了很大的挑战。我们如何能从形式上表现有规则的变异及非完全中和等阶层性的实验结果呢？

从优选论的角度来看，诸多新的理论都为处理阶层性的音系知识提供了可能性。Boersma 和 Hayes (2001) 的随机优选论 (stochastic OT) 及其附带的渐进习得算法 (Gradual Learning Algorithm) 为变异的产生提供一种可行的理论基础。在这一理论下，制约在一线性轴上排列，而每一制约的排列值则分布在一正态分布上；在任一时刻，每一制约的排列值由其正态分布随机决定，而每一候选项的输出频率则与产生它的排列的概率成正比。它与经典优选论的区别在于它不假定制约间的层级排列必须是确定的，而是允许制约间的层级排列有一个概率分布，从而使一个底层结构能够通过不同时刻不同的层级排列映射到多个不同的表层结构。渐进习得算法则能够通过通过对输入数据的概率的模拟逐渐地调整语法中制约的排列。当有足够的训练数据时，这一算法在绝大多数情况下都能习得一个能够非常接近地预测数据中变异概率的语法。Boersma 和 Hayes (2001) 便证实了上文所提到的芬兰语的所有格复数的变异形式、伊洛卡诺语中重音节重叠式的变异及英语中阶层性的/l/的软腭化都是可以用这一算法来习得的。相比于经典优选论的制约降级算法 (Constraint Demotion Algorithm, Tesar 和 Smolensky 1998) 对于变异的无能为力，随机优选论及渐进习得算法为优选论对实验数据的解释提供了一个重要的理论基础。

另一种能够有效地处理变异的优选论理论是谐和语法 (Smolensky 和 Legendre 2006)。在这一理论中，每个制约条件都有一个权重 (weight)，而任一候选项都有一个由其违反的制约条件的权重及违反次数所决定的谐和参数

(Harmony value)。谐和参数最高的候选项便是输出项。类似于随机优选论，我们可以假设任一制约的权重也是分布在一个区间的，从而可以由此预测变异。Pater (2008) 指出谐和语法的习得算法比随机优选论的渐进习得算法更具收敛性，从而在数学角度上更严格。最大熵值语法 (Maximum Entropy Grammar, Goldwater 和 Johnson 2003, Jäger 2007, Wilson 2006, Hayes 和 Wilson 2008) 是谐和语法的变体之一。如果我们假定任一制约 C_i 的权重为 w_i ，并且对于任一输入项 x 的候选项 y ， $C_i(y|x)$ 代表 y 违反制约 C_i 的次数，那么候选项 y 的谐和参数则定义如下：

$$3. \quad h(y|x) = \exp\left(-\sum_i w_i C_i(y|x)\right)$$

这一候选项作为 x 的输出项的概率则为其谐和参数与 x 的所有的候选项的谐和参数之和的比，如公式 4 所示：

$$4. \quad p(y|x) = \frac{h(y|x)}{\sum_{y \in \Omega} h(y|x)}, \quad \Omega \text{ 为 } x \text{ 的所有候选项的集合}$$

这一关于候选项的输出概率分布的定义能够使分布的熵值 (公式 5) 最大化。这一概念在信息理论 (information theory) 中有着重要的作用 (见 Shannon 1948)。

$$5. \quad H(p(y|x)) = \sum_{y \in \Omega} p(y|x) \log \frac{1}{p(y|x)}, \quad \Omega \text{ 为 } x \text{ 的所有候选项的集合}$$

在制约条件已知的情况下，最大熵值语法的习得便是通过由输入—输出对应项组成的训练数据 D 来确定使 D 的对数概率 (公式 6) 为最大的制约条件的权重。

$$6. \quad \log(p(D)) = \log\left(\prod_{y|x \in D} p(y|x)\right)$$

最大熵值语法的优点不仅在于它能够成功地处理变异，并有一个具有收敛性的习得方法，还在于我们能够用一个高斯条件来对习得过程中权重的调整作出限制，从而可以由此来体现语法学习中的“分析偏向”。这一高斯条件将 μ_i 设为制约条件 C_i 的权重的预置值， σ_i^2 设为偏离这一预置值的惩罚值，那么习得的目的则由公式 6 的最大化改为公式 7 的最大化。 σ_i^2 的值越低， C_i 的权重偏离其预置值的可能性便越小。

$$7. \quad \log\left(\prod_{y|x \in D} p(y|x)\right) - \sum_i \frac{(w_i - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}$$

Wilson (2006) 便以这一高斯条件来作为语音对语法结构习得的分析偏向的体现。他将 *ki 的 σ_i^2 值设为高于 *ke 的 σ_i^2 值, 从而使 *ki 这一制约在习得过程中更容易获得较高的权重。这一方法成功地预测了在刺激贫乏的情况下, 中元音前的舌根音腭化能被延伸到高元音前, 但反之则不然。

关于概率性的优选论在杨军 (2007) 中已有较为详细的译介。

如果我们承认语音在共时音系结构中的确有直接的作用, 那么我们则必须面对另一个范畴性与阶层性的矛盾, 那就是音系中音位对立的范畴性与语音现象的阶层性的矛盾。我们如何才能保证从连续的、阶层性的语音现象中只产生出有限的、范畴性的音位对立呢? 关于这个问题不同学者的看法也不尽相同。Flemming (2001) 主张用 MINDIST 这样的非传统优选论制约来要求对立的音位必须达到一定程度的感知差异, 这便能保证只有细小差别的语音即使能在音系系统中存在, 也不会成为对立的音位, 从而使阶层性的语音现象能与范畴性的音位对立在同一系统中共存。但这一制约不属于经典优选论中标志性制约和忠实性制约的范围内, 其评价需要比较两个不同音位的表层结构。这从结构上复杂化了优选论理论, 其后果需要我们更进一步地去研究。Pierrehumbert 等学者则主张用样本理论 (exemplar theory) 为基础来表征每个词所特有的语音特性及不同层级的音系单位的关联 (如 Pierrehumbert 2001, 2002)。音系单位可以被看作是连续的语音空间中的标签, 而这些标签的分布是根据发音及感知经验不断更新的。这些音系单位的范畴性是由感知-发音这一循环圈 (perception-production loop) 的稳定性与收敛性决定的, 而这一循环圈则是在人与人的语言交际中形成的。关于范畴性与阶层性的矛盾的解决方法的争论将在很长的一段时间中继续进行下去。

(三) 关于例外的处理

我们在上文讨论说话人对配列规则及语素变体规则的潜在知识时提到, 即使在一个语言的词汇本身中有这些规则的例外, 说话人对这些规则在词汇中的运用频度及其在具体环境中的具体体现往往有阶层性的认识。这说明我们不能只把这些例外简单地列举在音系语法中。但我们又如何从理论角度来反映说话人对有例外的规则及有规则的例外的知识呢?

Zuraw (2000) 记录了一个反映这一情况的例子。塔加路语中有一个鼻音替换的规则 (nasal substitution)。根据这一规则, 一个鼻音会与其后相邻的塞音合并为一个鼻音, 并拷贝塞音的发音部位。如 $\eta+p \rightarrow m$ 。但这一规则在塔加路语中有许多例外。如 **poʔók** ‘地区’, **pam-poʔók** ‘本地的’。然而这些例外又是有一定规律的: 鼻音替换在发音部位越靠前的塞音上越可能发生 (唇音 > 舌尖音 > 舌根音); 鼻音替换在清塞音上比浊塞音上更可能发生。Zuraw 用实验表明在假词中, 鼻音替换规则的衍生性是与塔加路语本身的词汇中鼻音替换在不同音系环境下的频度密切相关的。

为了解决塔加路语中每一个现有的词对鼻音替换规则的统一性与假词对这一规则的变异性, Zuraw (2000) 以随机优选论为基础, 提出了一个列举与生成相结合的理论。在这一理论中, 语言中固有的词汇在词库中被列举, 其发音被高排列的忠实性制约及 USELISTED 制约所保护。但词库中的音系统计规律则由低排列的随机制约体现。例如, **pampoʔók** 在词库中有一个列举项。USELISTED 要求其表层结构利用这一列举项, 而高排列的忠实性制约则保证其发音为忠实的[**pampoʔók**]。一个假词在加前缀的情况下没有列举项, 因此它的发音由低排列的随机制约来决定, 如 *NC (清音不允许在鼻音后出现), NASUB (语素末尾的鼻音不允许出现在阻音前), *[ŋ], *[n], *[m] (鼻音不允许出现在词根首) 等。如果 *NC 的排列值较高, 那么清塞音便更容易触发鼻音替换; 如果 *ŋ、*n 和 *m 的排列值依次降低, 那么塞音的发音部位越靠前, 鼻音替换便越可能发生。更重要的是, Zuraw (2000) 指出随机优选论的渐进习得算法能够在以塔加路语的语料作为输入时正确地习得这些制约的排列值, 并以实际数据模拟了这一习得过程。我个人认为 Zuraw 的列举—生成理论是对例外的处理最具创造性, 也最成功的一个理论。Hayes 和 Londe (2006)、Zhang 和 Lai (2008) 及 Zhang 等 (2009, 2011) 曾将这一理论运用于匈牙利语中元音和谐的变异与例外及台湾闽南语变调圈的衍生性的解释中。

样本理论为例外的处理提供了另一个可能性。Pierrehumbert (2006) 便用这一理论为蓝本对英语中有诸多例外的[k]~[s]变体的衍生性作出了解释。她认为说话人对有统计规律的语素变体的知识是建立在他们对词与词样本间的统计推理基础上的。这种统计推理可以在不同层次的抽象实体上进行, 而其可靠性则由样本空间的大小及统计规律在样本本身的有效性决定。她就此提出了以下三个假设。第一, 认知系统对确定性越高的统计规律信任度越高。例如, 英语词汇中, 以-ic 结尾的多音节词在加-ity 后缀时百分之百会产生舌根音软化 (k → s), 那么说话人对此规律也会有很深的认识。第二, 统计规律的样本空间越大, 认知系统对其的信任度也越高。例如, 英语中以/k/结尾的多音节词在加-ity 后缀时百分之百会产生舌根音软化。这一规律比前面提到的规律在不牺牲确定性的情况下涵盖了更多的词汇, 因此它在说话人的音系知识中可能占据了更重要的地位。第三, 统计规律所需要的音系描述符越长, 认知系统对其的信任度也越高。例如, 尽管英语中所有以/k/结尾的词在加-ity 后缀时都会百分之百产生舌根音软化 (单音节词从不带-ity 后缀), 但是说话人更可能把“多音节”这个条件留在对这个统计规律的描述中。否则我们无法解释为什么单音节的假词在加-ity 后缀时往往不造成舌根音软化, 如 **ble[k]~ble[k]ity**。这些假设在 Pierrehumbert (2006) 的实验中都得到了不同程度的证实。

关于有例外的规则及有规则的例外是否应由语法机制来解释, 而如果其回答是肯定的, 这一知识是基于优选论、样本理论还是其他理论是近年来实验音系学的热点课题之一。我们希望更多的理论与实验研究对这一重要的问题的答案提供进一步的线索。

五、实验音系学面临的问题

对实验音系学持怀疑态度的学者的主要论点之一是它模糊了语言能力（competence）和语言行为（performance）的界限，从而使音系知识不再属于语法的形式范畴，而是属于行为范畴。但正如 Ohala 的多篇著作所指出，任何语言数据，无论是用耳听手记还是实验方法采集来的，实际上都是源于语言行为的；而且大量研究表明我们传统上归于语言行为的因素，如发音机制、感知、词频统计等，与纯形式的音系表征互相影响，对说话人的音系知识起着直接的作用。这些说明我们不可能为语言能力与语言行为划出清楚的界限。这一点在 Pierrehumbert 等（2000）、Bybee（2001）等诸多著作中都有论述。

但在实验音系研究中，我们也必须注意尽量降低实验环境的不自然性，从而把与音系知识无关的行为的影响减到最小。例如，在录音中用负载句为受试人提供真实的语境，将录音话筒隐藏起来，从而使受试人更自然地参加测试，尽可能地在田野中而不是实验室中进行调查，等等（Ohala 1990a）。近年兴起的神经语言学技术，如事件相关脑电位（ERP）、功能性磁共振成像（fMRI）及脑磁图仪（MEG）等更是由于其所测量的是大脑皮质下的电子或磁反应而减少了受试人所能控制的主观因素对实验结果的影响。

最后，为了作一个对音系理论真正有用的实验，我们必须要对音系理论有一个全面而系统的理解。这一理解不仅包括理论的来龙去脉，更包括它的具体计算方法及它是如何对语言规律作出预测的。任何一个实验都是为预测服务的，而预测的产生来源于理论的基础。否则，再小心的实验，再漂亮的数据我们对认知系统的探索都没有意义。

六、汉语与实验音系学

汉语在实验音系学的研究中起了重要的作用。这源于汉语本身所特有的语言特征，也源于汉语语音及音系学者近年的不断努力。汉语的以下三个特点造成了变异及例外在其中的普遍性。第一，汉语拥有众多语音差异较大的方言，而随着经济、信息及交通的飞速发展，这些方言之间的接触也越来越频繁。这造成了各方言间语音方面的相互影响，从而造成了音系上的变异及不稳定性。第二，普通话在全国各地的推广使其对各地的方言，特别是北方方言，产生了深远的影响。一些与普通话较为相似的方言，如天津话，更有向普通话语音靠拢的趋势。第三，汉语中书面语与口头语的区别有着绵长的历史渊源，多种方言也因此产生了文白异读的现象。由于这些原因，汉语为音系的变异及例外的研究提供了广阔的天地。汉语方言学家对文白异读这一变异现象及方言本身的语音变化早有关注。如上海话从老派到新派的历时演变在沈同及许宝华、汤珍珠等的经典著作（沈同 1981, 1982, 许宝华等 1981, 1982, 1983, 1988）中便早有论及，在游汝杰（2006a, b）中则有更进一步的论述。近年来，关于这些演变的具体声学描述也逐渐增多。例如，石锋及合作者的一系列著作（如石锋和王萍 2004）便对天津话音调方面的变化作出了详

实的描述及分析。我们应该看到这些研究不仅对汉语方言的语音及其社会语言发展的描述起了重要的作用，而且对音系理论的发展与完善提供了难得的数据基础。

作为一个声调语言，汉语方言中复杂多样的变调情况也为实验音系学的研究提供了养料。例如，一个方言中往往会有在语音的自然性上完全不同的变调。这为研究语音在共时音系中的作用提供了一个可能的平台。Zhang 和 Lai (2008, 2010) 及 Zhang 等 (2009, 2011) 便通过对普通话及台湾闽南话中变调规律的衍生性的比较为语音在共时音系中的作用提供了论据。

从另一个角度来讲，我们在研究汉语语音及音系时应该重视实验音系学的应用。传统的汉语方言研究多以耳听手记为主。这有方便、便宜、高效等优点，但也存在主观性强、精确度低、易受历史及权威影响等缺点。例如，在对变调的记录上，学者们有时存在变调是一个调类到另一个调类的变化的偏见。但声学研究表明变调行为往往是非完全中和的。如 Peng (2000)、Myers 和 Tsay (2003) 等研究便表明普通话的三声变调并不与第二声完全中和。又如，Zhang 和 Liu (2011) 通过声学分析表明天津话的几种变调情况也非完全中和。没有具体的实验研究，这些对理论可能起重要作用的事实便被忽略了。另一方面，汉语的变调系统中存在着许多生成音系理论无法解决的问题。如 Chen (2004) 便指出长汀客家话的变调用任何一种现有的音系理论都无法解释。这与变调在语音和语用角度的任意性及其在音系系统上的晦暗性有关。但 Zhang 等关于变调的衍生性的研究表明说话人关于变调的潜在音系知识与方言中直接体现的变调规律不尽相同。这说明我们也许应该暂缓对变调系统的生成分析，而是重新回到数据的角度上，用实验方法踏踏实实地对变调系统的数据本质作一个重新的认识，从而能够更直接、客观地去探索说话人的音系知识。这一点与本章第三节中所提到的实验音系学在音系理论中的作用是不谋而合的。

结语

实验音系学在其短短几十年的历史中为音系理论的发展作出了突出的贡献。本章对实验音系学作了一个简单的概述，着重讨论了实验对音系结构的认识所起的作用及其对现有音系理论的挑战，也指出汉语研究与实验音系学之间相互促进、相辅相成的关系。由于生成音系学的研究是以探索说话人的潜在音系知识为目的的，因此以实验方法直接从说话人那里采集数据实际上是这一研究不可或缺的一部分。通过这一章的介绍，我们一方面希望能够激发读者对研究音系结构的实验方法的兴趣，另一方面更希望使读者了解生成音系学的理论基础以及用实验来研究这一理论的必要性。

[参考文献]

- 游汝杰 (2006a)。上海话在吴语分区上的地位—兼论上海话的混合方言性质。《方言》2006.1: 72-78。
- 游汝杰 (2006b)。方言和普通话的社会功能与和谐发展。《修辞学习》2006.6: 1-8。
- 沈同 (1981)。老派上海方言的连读变调。《方言》1981.2: 131-144。
- 沈同 (1982)。老派上海方言的连读变调 (二)。《方言》1982.2: 100-114。
- 许宝华、汤珍珠和钱乃荣 (1981)。新派上海方言的连读变调。《方言》1981.2: 145-155。
- 许宝华、汤珍珠和钱乃荣 (1982)。新派上海方言的连读变调 (二)。《方言》1982.2: 115-128。
- 许宝华、汤珍珠和钱乃荣 (1983)。新派上海方言的连读变调 (三)。《方言》1983.3: 197-201。
- 许宝华和汤珍珠 (1988)。《上海市区方言志》。上海: 上海教育出版社。
- 王旭 (1993)。台语变调的心理特性。《清华学报》23: 175-192。
- 杨军 (2007)。概率性优选论。《当代语言学》9.2: 117-127。
- 李兵 (2008)。论优选论的功能主义倾向。《当代语言学》10.1: 1-19。
- 石锋和王萍 (2004)。天津话声调的新变化。发表于石锋和沈钟伟编,《乐在其中—王士元先生 70 华诞庆祝文集》。天津: 南开大学出版社。176-188。
- Anderson, Stephen (1981). Why phonology isn't "natural." *Linguistic Inquiry* 12: 493-539.
- Antilla, Arto (1997). Deriving variation from grammar. In Frans Hinskens, Roeland van Hout, and Leo Wetzels (eds.), *Variation, change, and phonological theory*. Amsterdam: John Benjamins. 35-68.
- Bailey, Todd and Ulrike Hahn (2001). Determinants of wordlikeness: phonotactics or lexical neighborhoods? *Journal of Memory and Language* 4: 568-591.
- Beckman, Jill N. (1998). *Positional faithfulness*. Ph.D. dissertation, University of Massachusetts, Amherst.

- Berent, Iris, Donca Steriade, Tracy Lennertz, and Vered Vaknin (2007). What we know about what we have never heard: Evidence from perceptual illusions. *Cognition* 104: 591-630.
- Berko, Jean (1958). The child's learning of English morphology. *Word* 14: 150-177.
- Blevins, Juliette (2004). *Evolutionary phonology: The emergence of sound patterns*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Boersma, Paul (1998). *Functional phonology: Formalizing the interaction between articulatory and perceptual drives*. The Hague: Holland Academic Graphics.
- Boersma, Paul and Bruce Hayes (2001). Empirical tests of the Gradual Learning Algorithm. *Linguistic Inquiry* 32.1: 45-86.
- Bybee, Joan L. (2001). *Phonology and language use*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Charles-Luce, Jan (1985). Word-final devoicing in German: effects of phonetic and sentential contexts. *Journal of Phonetics* 13: 309-324.
- Chen, Matthew Y. (2004). Changting Hakka tone sandhi: analytical challenges. *Language and Linguistics* 5: 799-820.
- Chomsky, Noam (1975). *Reflections on Language*. New York: Pantheon.
- Chomsky, Noam (1986). *Knowledge of language: its nature, origin, and use*. New York: Praeger.
- Chomsky, Noam and Morris Halle (1968). *The sound pattern of English*. New York: Harper and Row.
- Clements, G. N. (1985). The geometry of phonological features. *Phonology Yearbook* 2: 225-252.
- Coetzee, Andries and Joe Pater (2008). Weighted constraints and gradient restrictions on place co-occurrence in Muna and Arabic. *Natural Language and Linguistic Theory* 26: 289-337.
- Coetzee, Andries and Joe Pater (to appear). The place of variation in phonological theory. To appear in John A. Goldsmith, Jason Riggle and Alan C. L. Yu (eds.), *The handbook of phonological theory*, 2nd edition. Cambridge, USA and Oxford, UK: Blackwell.
- Davidson, Lisa, Paul Smolensky, and Peter Jusczyk (2004). The initial and final states: theoretical implications and experimental explorations of Richness of the Base.

- In René Kager, Joe Pater, and Wim Zonneveld (eds.), *Constraints in phonological acquisition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 321-368.
- Dinnsen, Daniel A. (1984). A re-examination of phonological neutralization. *Journal of Linguistics* 21: 265-279.
- Fleischhacker, Heidi (2001). Cluster-dependent epenthesis asymmetries. In Adam Albright and Taehong Cho (eds.), *UCLA Working Papers in Linguistics 7, Papers in Phonology* 5: 71-116.
- Flemming, Edward (2001). Scalar and categorical phenomena in a unified model of phonetics and phonology. *Phonology* 18.1: 7-44.
- Frisch, Stefan A. (2000). Temporally organized lexical representations as phonological units. In Michael B. Broe and Janet B. Pierrehumbert (eds.), *Papers in Laboratory Phonology V: Language acquisition and the lexicon*, 283-298. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Frisch, Stefan A., Janet B. Pierrehumbert, and Michael B. Broe (2004). Similarity avoidance and the OCP. To appear in *Natural Language and Linguistic Theory* 22: 179-228.
- Frisch, Stefan A. and Bushra Zawaydeh (2001). The psychological reality of OCP-place in Arabic. *Language* 77.1: 91-106.
- Fromkin, Victoria A. (1971). The non-anomalous nature of anomalous utterances. *Language* 47.1: 27-52.
- Fujimura, O., M. J. Macchi, and L. A. Streeter (1978). Perception of Stop Consonants with Conflicting Transitional Cues: A Cross-Linguistic Study. *Language and Speech* 21.4: 337-346.
- Goldsmith, John A. (ed.) (1995). *The handbook of phonological theory*. Cambridge, USA and Oxford, UK: Blackwell.
- Goldwater, Sharon and Mark Johnson (2003). Learning OT constraint ranking using a maximum entropy model. In Jennifer Spender, Anders Eriksson, and Osten Dahl (eds.), *Proceedings of the Stockholm Workshop on Variation within Optimality Theory*. 111-120.
- Hale, Mark and Charles Reiss (2000). Substance abuse and dysfunctionality: current trends in phonology. *Linguistic Inquiry* 31: 157-169.
- Halle, Morris (1959). *The sound pattern of Russian*. The Hague: Mouton.

- Hallé, Pierre A., Juan Segui, Uli Fraunfelder, and Christine Meunier (1998). Processing of illegal consonant clusters: A case of perceptual assimilation? *Journal of Experimental Psychology* 24: 592-608.
- Hansson, Gunnar Ólafur (2008). Diachronic explanations of sound patterns. *Language and Linguistics Compass* 2.5: 859-893.
- Hayes, Bruce and Zsuzsa Cziráky Londe (2006). Stochastic phonological knowledge: the case of Hungarian vowel harmony. *Phonology* 23: 59-104.
- Hayes, Bruce and Colin Wilson (2008). A maximum entropy model of phonotactics and phonotactic learning. *Linguistic Inquiry* 39: 379-440.
- Herd, Wendy, Allard Jongman, and Joan Sereno (2010). An acoustic and perceptual analysis of /t/ and /d/ flaps in American English. *Journal of Phonetics* 38: 504-516.
- Horowitz, L. M., M. A. White, and D. W. Atwood (1968). Word fragments as aids to recall: the organization of a word. *Journal of Experimental Psychology* 76: 219-226.
- Hsieh, Hsin-I (1970). The psychological reality of tone sandhi rules in Taiwanese. *Papers from the 6th Meeting of the Chicago Linguistic Society*, 489-503.
- Hsieh, Hsin-I (1975). How generative is phonology. In E. F. Koerner (ed.), *The transformational-generative paradigm and modern linguistic theory*. Amsterdam: John Benjamins. 109-144.
- Hsieh, Hsin-I (1976). On the unreality of some phonological rules. *Lingua* 38: 1-19.
- Jaeger, Jeri J. (1980). Testing the psychological reality of phonemes. *Language and Speech* 23: 233-253.
- Jäger, Gerhard (2007). Maximum Entropy Models and Stochastic Optimality Theory. In Annie Zaenen, Jane Simpson, Tracy Holloway King, Jane Grimshaw, Joan Maling, and Chris Manning (eds.), *Architectures, rules, and preferences — variations on themes by Joan W. Bresnan*. CSLI Publications, Stanford, CA. 467-479.
- Jun, Jongho (1995). *Perceptual and articulatory factors in place assimilation: An Optimality-Theoretic approach*. Ph.D. dissertation, UCLA.
- Jusczyk, Peter W., Paul Smolensky, and Theresa Allocco (2002). How English learning infants respond to markedness and faithfulness constraints. *Language Acquisition* 10.1: 31-73.

- Kazanina, Nina, Colin Phillips, and William Idsardi (2006). The influence of meaning on the perception of speech sounds. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103/30: 11381-11386.
- Kenstowicz, Michael and Charles Kisseberth (1979). *Generative phonology*. San Diego: Academic Press.
- Kiparsky, Paul (1982). Lexical phonology and morphology. In In-Seok Yang (eds.), *Linguistics in the Morning Calm*. Seoul: Hanshin Publishing Co. 1-91.
- Labov, William (1972). *Sociolinguistic patterns*. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press.
- Labov, William (1989). The child as linguistic historian. *Language Variation and Change* 1: 85-97.
- Labov, William (1994). *Principles of linguistic change: internal factors*. Oxford, UK and Cambridge, USA: Blackwell.
- Marslen-Wilson, William D. and Lorraine K. Tyler (1980). The temporal structure of spoken language understanding. *Cognition*: 1-71.
- Massaro, D. W. and M. Cohen (1983). Phonological context in speech perception. *Perception and Psychophysics* 34: 339-348.
- Moreton, Elliott (2002). Structural constraints in the perception of English stop-sonorant clusters. *Cognition* 84.1: 55-71.
- Myers, James, and Jane Tsay (2003). Investigating the phonetics of Mandarin tone sandhi. *Taiwan Journal of Linguistics* 1.1: 29-68.
- Ohala, John J. (1981). The listener as a source of sound change. *Papers from the Parasession on Language and Behavior, Chicago Linguistic Society* 18: 178-203.
- Ohala, John J. (1986). Consumer's guide to evidence in phonology. *Phonology Yearbook* 3: 3-26.
- Ohala, John J. (1987). Explanation in phonology: opinions and examples. In W. U. Dressler, H. C. Luschützky, O. E. Pfeiffer, and J. R. Rennison (eds.), *Phonological 1984*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 215-225.
- Ohala, John J. (1990a). There is no interface between phonetics and phonology: a personal view. *Journal of Phonetics* 18: 153-171.
- Ohala, John J. (1990b). The phonetics and phonology of aspects of assimilation. In John Kingston and Mary Beckman (eds.), *Papers in Laboratory Phonology I: between*

- the grammar and the physics of speech*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 258–275.
- Ohala, John J. (1995). Experimental phonology. In John A. Goldsmith (ed.), *A handbook of phonological theory*. Oxford: Blackwell. 713-722.
- Ohala, John J. and Jaeger, Jeri J. (eds.) (1986). *Experimental phonology*. Orlando, FL: Academic Press.
- Pater, Joe (2008). Gradual learning and convergence. *Linguistic Inquiry* 39.2: 334-345.
- Patterson, David and Cynthia M. Connine (2001). Variant frequency in flap production: a corpus analysis of variant frequency in American English flap production. *Phonetica* 58: 254-275.
- Peng, Shu-Hui (2000). Lexical versus ‘phonological’ representations of Mandarin sandhi tones. In Michael B. Broe and Janet B. Pierrehumbert (eds.), *Language acquisition and the lexicon: papers in laboratory phonology V*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 152-167.
- Pierrehumbert, Janet B. (2001). Exemplar dynamics: word frequency, lenition, and contrast. In Joan Bybee and Paul Hopper (eds.), *Frequency effects and the emergence of lexical structure*. Amsterdam: John Benjamins. 137-157.
- Pierrehumbert, Janet B. (2002). Word-specific phonetics. *Laboratory Phonology VII*, Berlin: Mouton de Gruyter. 101-139.
- Pierrehumbert, Janet B. (2006). The statistical basis of an unnatural alternation. In Louis Goldstein, Douglas H. Whalen, and Catherine Best (eds.), *Laboratory Phonology 8: Varieties of phonological competence*. Berlin: Mouton de Gruyter. 81-107.
- Pierrehumbert, Janet B., Mary E. Beckman, and D. R. Ladd (2000). Conceptual foundations of phonology as a laboratory science. In Noel Burton-Roberts, Philip Carr, and Gerard Docherty (eds.), *Phonological knowledge: conceptual and empirical issues*. Oxford University Press, Oxford, UK. 273-304.
- Pitt, Mark A. (1998). Phonological processes and the perception of phonotactically illegal consonant clusters. *Perception & Psychophysics* 60: 941-951.
- Port, Robert F. and Penny Crawford (1989). Incomplete neutralization and pragmatics in German. *Journal of Phonetics* 17.4: 257-282.
- Prince, Alan and Paul Smolensky (1993/2004). *Optimality Theory: constraint interactions in generative grammar*. Ms., Rutgers University and University of Colorado, Boulder. Published in 2004 by Cambridge, MA: MIT Press.

- Sagey, Elizabeth (1990). *The representation of features and relations in nonlinear phonology*. New York: Garland Publishing.
- Seidl, Amanda and Eugene Buckley (2005). On the learning of arbitrary phonological rules. *Language Learning and Development* 1: 289-316.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27: 379-423, 623-656.
- Slowiaczek, Louisa M. and Daniel A. Dinnsen (1985). On the neutralization status of Polish word-final devoicing. *Journal of Phonetics* 13: 325-341.
- Smolensky, Paul (1996). The initial state and “richness of the base” in Optimality Theory. *Technical report JHU-CogSci-96-4*, Department of Cognitive Science, The Johns Hopkins University, Baltimore, MD.
- Smolensky, Paul, and Géraldine Legendre (2006). *The harmonic mind: from neural computation to Optimality-Theoretic grammar*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Stampe, David (1979). *A dissertation on Natural Phonology*. New York: Garland Publishing.
- Steriade, Donca (1999). Phonetics in phonology: The case of laryngeal neutralization. In Matthew K. Gordon (ed.), *UCLA Working Papers in Linguistics 2, Papers in Phonology* 3: 25-146.
- Steriade, Donca (2001). Directional asymmetries in place assimilation: A perceptual account. In Elizabeth Hume and Keith Johnson (eds.), *The Role of Speech Perception in Phonology*. New York: Academic Press. 219-250.
- Steriade, Donca (2008). The phonology of perceptibility effects: the P-map and its consequences for constraint organization. In Kristin Hanson and Sharon Inkelas (eds.), *The nature of the word: essays in honor of Paul Kiparsky*. Cambridge, MA: MIT Press. 151-180.
- Tesar, Bruce and Paul Smolensky (1998). Learnability in Optimality Theory. *Linguistic Inquiry* 29: 229-268.
- Thatte, Victoria Anne (2007). *Phonetic motivation as a learning bias in phonological acquisition: an experimental study*. MA thesis, UCLA.
- Treiman, Rebecca (1983). The structure of spoken syllables: evidence from novel word games. *Cognition* 15: 49-74.
- Wan, I-Ping and Jeri Jaeger (1998). Speech errors and the representation of tone in Mandarin Chinese. *Phonology* 15: 417-461.

- Warner, Natasha, Allard Jongman, Joan Sereno, and Rachel Kemps (2004). Incomplete neutralization and other sub-phonemic durational differences in production and perception: evidence from Dutch. *Journal of Phonetics* 32.2: 251-276.
- Wilson, Colin (2006). Learning phonology with substantive bias: An experimental and computational study of velar palatalization. *Cognitive Science* 30: 945-982.
- Zhang, Jie (2002). *The effects of duration and sonority on contour tone distribution*. New York: Routledge.
- Zhang, Jie and Yuwen Lai (2008). Phonological knowledge beyond the lexicon in Taiwanese double reduplication. In Yuchau E. Hsiao, Hui-Chuan Hsu, Lian-Hee Wee, and Dah-An Ho (eds.), *Interfaces in Chinese Phonology: Festschrift in Honor of Matthew Y. Chen on His 70th Birthday*. Academia Sinica, Taiwan. 183-222.
- Zhang, Jie and Yuwen Lai (2010). Testing the role of phonetic naturalness in Mandarin tone sandhi. *Phonology* 27.1: 153-201.
- Zhang, Jie, Yuwen Lai, and Craig Sailor (2009). Opacity, phonetics, and frequency in Taiwanese tone sandhi. In *Current issues in unity and diversity of languages: Collection of papers selected from the 18th International Congress of Linguists*. Linguistic Society of Korea. 3019-3038.
- Zhang, Jie, Yuwen Lai, and Craig Sailor (2011). Modeling Taiwanese speakers' knowledge of tone sandhi in reduplication. *Lingua* 121.2: 181-206.
- Zhang, Jie and Jiang Liu (2011). *Tone sandhi and tonal coarticulation in Tianjin Chinese*. *Phonetica* 68: 161-191.
- Zuraw, Kie (2000). *Patterned exceptions in phonology*. Ph.D. dissertation, UCLA.

作者简介

张杰于一九九四年毕业于清华大学电子工程系，后赴美国加州大学洛杉矶分校（UCLA）攻读语言学专业，师从Donca Steriade教授学习音系理论、语音学及实验音系学，于二零零一年取得博士学位。后在哈佛大学语言学系任讲师两年，现任美国堪萨斯大学（University of Kansas）语言学系副教授及研究生部主任。其主要学术方向为音调语言的实验音系研究及结构模型。其研究曾在多部国际期刊及丛书中发表，并曾得到美国国家科学基金会及蒋经国国际学术交流基金会的资助。