

耳和心(听觉心理学入门)

1999年6月

中岛祥好

1 听觉的作用

我们的祖先，在充满变化的环境中成功地生存下来并繁衍了子孙，并且创造出听觉，视觉，嗅觉，触觉等感觉。听觉作为独立的感觉，在进化的历史中是相当新的感觉。听觉对于精确地，高效地获取，为了顺利地适应环境的情报，起了很大的作用。

听觉器官被断定是从鱼类的平衡器官进化而来的。虽然对于鱼类来说，平衡器官，震动器官和听觉不一定分得很清楚，但是，在鱼类向两栖类进化的时候，从水中到空气中时，环境发生了很大变化，而且可以认为直接与人的听觉建立关联的感觉也独立起来了。首先，为了捕捉气压的时间变化，诞生了鼓膜和中耳这样的新器官。在中耳里，有把鼓膜的震动传到内耳的小的骨头。在两栖类，爬行类的阶段还只是一个骨头，但是，在哺乳类里，却是由叫做耳小骨的三块骨头构成。这样的骨头，在鱼类的时代，从下颚的某个部位的骨头转用过来的。与下颚的运动相关联的骨头，如果残留下来的话，应该对于高效地获取和咀嚼食物很有效用，绝对不是不要品的再利用。可以这样认为，捕捉传播空气的疏密波的声音的功能，并使之充实的事情，对于陆地上的脊椎动物是急需的。

两栖类，进一步，获得了为了发出声音的声带。而且，从人类的声带和鸟类的鸣管里发出的声音逐渐应用于丰富多彩的听觉交流中。为了加强雄性和雌性或者父母与孩子的关系，为了确保自己的领地的目的，鸟类使用鸣声交流。对于人类的听觉交流，本质上与鸟类有相似的一面。决定很多人的协作顺序，相互传达经验，表示相互之间没有敌意的事情，追加了各种各样的目的，变得与非常复杂的内容相联系。作为人类的特征，口语是决定性重要的，当然也不能忽视音乐。

在两栖类出现以来的进化历史里，听觉取得飞跃发展的时期有两个。第一个时期是，大约 2 亿年前哺乳类出现以后的时期。那时候的哺乳类，被认为是个头很小，而且不强壮，只有在大型爬行类不活动的夜晚，才出来获取植物和昆虫等食物的夜间性动物。初期的哺乳类，是迫于需要，才获得了敏锐的嗅觉和听觉的吧。可以推测听觉的重要作用，不只限于黑暗当中，察知危险和变化，而且在哺乳类里，这个功能得到了飞跃的发展。由于视觉和触觉，从环境中获得情报的范围和方向，不再受到限制。所以，可以说，听觉和嗅觉在大致上把握周边环境的样子和现场气氛上，是不可缺少的感觉。

对于今天的人类，在把握四周样子的这一点上，通常视觉比听觉显得重要一些。但是，关于察知危险和变化，即使光线明亮，眼睛能看见的范围也是有限的，这时听觉的重要性就显现出来了。产生大的声音时，人们一起转向声音发出的方向，或者虽然没有看见从暗处开出来的汽车，但是行人们都停止脚步的事情，都是很好理解的例子。在眼睛能看见的范围里，对于变化产生的场合，引起敏捷或者确实的应对措施的方面，听觉信号比视觉信号有效的场合多。无论如何，通过耳朵知道发生了什么事情，再用眼睛确认是做什么事情的做法，是我们行动的基本原则。在空气中如果有什么飘动的东西，大多数都要发出声音，对于改变的运动，容易产生变化的声音。要是能够有效地捕捉变化的话，在各种不同的状态下，采取适当的行动是可以办得到的。

听觉取得飞跃发展的第二个时期，是人类获得语言的时期。这个过程可能在数百年前人类刚出现的阶段就已经开始了，但是确切的事情不能判断。如果从人类的大脑来看的话，与语言活动有密切关联的大脑皮质的领域，在大脑的左半球至少存在 3 个地方。它们其中的一个被推定为与理解语言相关的这样的领域，和控制听觉的领域相邻近。因此，可以推测，我们感知复杂声音刺激的能力，不正是和运用语言的能力共同进化的吗？

听觉，因为依靠以语言为中心的信息为基础，来传达意思和信号，在这一点上，它是最重要的感觉，所以在支持人的理性和社会性方面与其他感觉相比较的话，就显得格外重要。听觉，因为是人和人的心灵交流的基础，所以也被认为与情感有很大的关系。我们经常可以体验到，音乐和噪音对人的心情有很大的影响。

如上所述，听觉的主要作用是：察知危险和变化，提供交流的手段等。并且，听觉对于把握环境的气氛也是很重要的。

2 耳朵的机能

我们要是打击大鼓的话，可以看到鼓的鼓皮在震动。要是用指尖轻轻碰触正在响的音箱的喇叭的话，可以感觉到音箱的面纸的震动。像这样的现象，在发声的音源处，一定有什么震动或者激烈的运动。这个震动或者运动传导给空气，成为纵波的东西就是声音。震动传给空气，形成声音的话，也就形成了气压高的地方和气压低的地方。某个地方的气压比周边的气压高的情况，在那个地方的粒子运动的方向上，产生上升的气压，气压高的地方就向下移动过去。一个一个的粒子并不产生大的移动，只是在很狭小的领域里震动，于是气压的变化不断地传向空气中。空气，因为像弹簧一样具有质量和弹性，所以也像弹簧的样子，把疏密的空气的变化以波的形式传播下去。声波传播的速度，在气温 15 摄氏度的时候大约是 340m/s，温度每上升一度，传播速度加快 0.6m/s。

声音到达耳朵，在耳边产生气压的时间变化，这个变化从耳廓开始一直传到外耳道为止。不过，在外耳道的终点-鼓膜的深处的中耳的空洞里，因为气压大体上保持一定，所以在鼓膜

的内外产生了气压差。鼓膜配合外耳道里的气压变化而运动。但是，这里所说的所谓的气压变化，最多从几万分之一帕斯卡到几帕斯卡这么微小的变化而已。鼓膜的震动，经过中耳里的称为耳小鼓的 3 个小的骨头，传到被埋入侧头骨里被称为内耳形状复杂的器官的一部分的蜗牛里。蜗牛正像它的名字那样，像蜗牛的壳一样是一个转了 2 圈半的管，粗细有小豆那么大。如果比作蜗牛的壳的话，在相当于入口的附近，与耳小鼓中的镫骨相联接。鼓膜的震动被传导给充满蜗牛内部的淋巴液。为了考虑有关蜗牛的作用，可以把弯曲的管看成是被拉伸直了的管子。这根管子长约 35mm, 切开纵向看的话，分为上中下三层。各层都被淋巴液充满，上层和下层之间在蜗牛的顶部有小孔相通，也就是用蜗牛孔连接。隔开中间层和最下层，相当于地板的部分被叫做基底膜。镫骨的震动传给最上层的淋巴液，以纵波的形式经过蜗牛孔传到最下层。由于传导产生的上下层的液压的差，使基底膜变形引起震动，基底膜上排列的顶端长毛的接收细胞也就是有毛细胞可以感知这些变形。有毛细胞使与其连接的蜗牛神经的一次听神经细胞产生兴奋。从神经生理学看的话，一次听神经细胞上产生的反应，就是听觉的开始。

基底膜的各自的地方，对于怎样的频率容易产生回应，是各不相同的，在镫骨的附近，对于数千赫兹或者一万赫兹以上的高频率成分回应，在相反一侧的蜗牛顶的附近，对于二，三百赫兹或者数十赫兹这样的低频率成分产生回应。基底膜的中央大约相当于 1500 到 2000 赫兹。在这里，频率成分是指记述气压的时间变化的声音时，为了分析的目的，互相重叠的正弦波的事情。只是由一个正弦波构成的声音叫纯音。蜗牛对于包括不同频率成分的信号，起着大体上把这个信号分开并感知每个频率的频率分析的作用。要是考虑一个一个的一次听神经细胞的话，因为它与基底膜上的某个特定位置的有毛细胞相联接，所以，对于特定的频率就变得特别容易感应，这个频率被叫做那个一次听神经细胞或者基底膜的那个位置的特征频率。

20 岁左右的听力健康者，能感知 20 到 20000 赫兹左右的频率成分。为了能听懂语言，大约 150 到 3500 赫兹的范围最重要。电话就是为了让这个范围的频率成分通过而设计的。由于年龄的增长和噪音的影响，听觉系统的神经末梢的性能也会下降。被噪音和大音响的音乐长时间侵扰的事情，可能产生不可治愈的听力困难。

在听觉心理学的世界里，基底膜被认为长度是 32mm, 被分成 1.3mm 左右的半独立的区间的，这样正如我们所知道的那样，能很好地解释各种现象。我们可以认定这些各自的区间，按照与特征频率的对应关系，变成表示特定的频率带域，对于左右各自的耳朵，二十几个的频率带域即不重叠，也没空隙地排列着。但是，作为带域的境界的频率并不是固定不变的。这样的听觉情报处理的单位的频率范围，被叫做临界带域。

这里被假想的频率带域可以认为是一种过滤器。因为现实的过滤器不可能没有空隙，也没有重叠地排列，所以根据听觉实验而决定过滤器的形状，有时候就可以适当地相互重叠地排列这些过滤器。像这样的过滤器，被叫做听觉过滤器。临界带域和听觉过滤器这两个概念，可以说是在近似地把复杂的对象分割捕捉的时候，因为采取了一点不同的考虑方法而产生的，

在大致的理论上，被视为同样的场合多一些。在这里，把临界带域的概念放在重点进行说明。

要是周期的震动传到基底膜的某一部分的话，与那个周期吻合的，从蜗牛传向大脑的蜗牛神经信号也就是生理刺激被发送出去。感觉神经在向中枢神经传达情报的基础上，与感觉器官相连的多少数量的神经单元，怎样的频度发出生理刺激信号，而且，刺激信号拥有怎样的时间模式等方面都是很重要的。纯音发出的震动到达蜗牛的话，因为在每个周期的某一点的附近生理刺激信号容易产生，所以到达鼓膜的声音拥有的周期性的情报就被传给大脑。可以认为像这样的时间信息，在听觉系统捕捉数千赫兹以下的频率的情报上，是很重要的。

我们，即使是同一个人发出的声音，基本频率高的声音感觉高，基本频率低的声音感觉低。像语音那样拥有时间周期性的声音，可以认为是拥有基本频率的整数倍的频率相互重叠而成的，基本频率的成分叫做基本音，拥有基本频率 2 倍以上的频率的成分叫做倍音。拥有这样倍音关系的声音的音高，根据基本频率大体上能决定下来，大概地说，也就是说与只有纯音的基本音被播放时，感觉的音高是一样的。更有意思的是，对于没有基本音，只有倍音的复合音，基本音不存在的情况，也大体上能感觉到相同的音高。例如，在通常的电话机的性能里，男性的声音的基本音几乎不被传送的情况比较多，即使那种场合，也能感觉到音高与不通过电话的原声没有什么大的变化。

有关声音的高度是怎样被感觉的学说，19 世纪中叶以来盛行着两个。根据声音成分的频率在基底膜上震动的场所的不同为线索的[场所学]和以振动的周期为线索的[时间说]，这两个学说互不相让的状况持续了将近一个世纪。现在，随着哪一个想法是必要的认识的确立，提出了接受两方面想法的模式。根据这种模式，在听觉的研究里，首先在充分理解神经末梢的作用之上，依次地加深对于高等系统的理解的事情是比较重要的想法比较有说服力。

一个应该关注的地方是，能检测出时间说阐述的周期的反复的机能，只有频率在 0.5~4000 赫兹左右的范围里才是有效的。在 20 赫兹以下的频率里，声音的高度几乎不能被感知，在感知包括音乐的旋律，声音刺激模式的时间构造上，这种功能能被应用上的学说。

3 听觉的原理

从蜗牛神经传入大脑的情报不能直接使用。如果不能把传入耳内的混合音区别开来听的话，我们就不能听清车站的广播内容，也不能从混杂的虫叫声中分辨出其中一匹的叫声。虽然我们有两个耳朵，但是从俩耳传开的声音往往在外声道混杂在一起。在这种前提下，我们的听觉系统就必须将声音一个一个分清。同时，在音乐和语言方面，还须把握其声源的时间构造。

在针对以上所述的听觉体制化考虑的时候，由特定的对象产生，比如，一段层次清晰的谈话、旋律、一连串的脚步声，即声音在时间轴上连接形成的音脉[auditory organization]。

与之对应，旋律中的音符、一连串脚步声中的一步的声音、钟表的报时声、猫的一次的叫声，这些可以用一次、两次来数的声音，即所谓的音事像[auditory event]。这两种知觉上的单位较为广知。其概念的定义法和视觉现象中的“图案和背景”很接近。音事像通过知觉在时间轴上的连接形成音脉。

以电气音响学的思维方法为基础，依靠精神物理学的测定所奠定的古典式听觉心理学在1930年达到顶峰，也是现今听觉研究的基础。由于听觉心理学是从以视觉为中心的直觉心理学主流中分离而发展，从而使之和 Gestalt 心理学未发生任何接触而成为一个独立完整的体系。此问题在1979年代受到指责。此后，对于为了理解视觉现象而提出的 Gestalt 心理学是否也适用于听觉研究的问题进行了考察。与之 Gestalt 心理学时代形成的研究理念相比，在听觉领域形成于20世纪末。因为有这样的背景前提，现阶段还无法对“音脉”“音事像”作出标准的解释。

多数研究者都认为，Gestalt 心理学中的近接原理、类同原理之类，作为听觉的合并原理也很有效。特别是其共通命运原理在某些场合比视觉更为重要。

在视觉中，空间成为其体制化骨架的场合较多，时间为其次。而在听觉领域，时间是体制化的中心。对于频率，反映人主观认知的音高也很重要。在西洋音乐的乐谱中，在水平方向表示时间，在垂直方向表示音高，将其作为听觉体制化理念的重要的一面来考虑也可。在音声研究领域，常使用水平轴为时间，垂直轴为频率，以颜色的浓淡来表示音能量的 Spectrogram 图表。时间的次元是我们串接人生经验的重要媒介，而能将时间的经过，时间的变化最准确捕捉到的正是我们的听觉。

频率为物理单位，虽不能直接和直觉经验挂钩，但我们可以从频率轴上的音能量的累积、音能量的分散来感觉到音高。或者，当音能量在调波复合音的几个频率附近集中的时候，可以听到“母音”。比如，在250Hz和2500Hz的音能量集中区，适当条件下可以听到母音的“i”。

对于听觉来说，上下左右前后的空间分布极其重要。在危险和变化的感知上，如果不能立即判断出声音的传播方向的话，有可能会产生生命危险，因此不能忽视音的空间分布。要想把握整体环境，须确定声音可传达的场所。在分析声音的传入方向时，依靠传入两耳时的强度差以及时间差来判断，对于从其他方向传来的声音，依靠声音经过头表面，穿过形状复杂的耳介，到达耳膜的过程中所发生的变化来判断。另外，在感知距离、空间传播的方面，可由声音整体的强度、频率分布、所剩残响的状况来判断。

在讨论听觉中的 Gestalt 原理时，有必要进行概念上的整理。举例来说，几个频率成分通过知觉系统进行合并后，就很难听出混合音中的成分，这是由于频率成分的群化而产生的。但是，对于这样不能保存单个成分的知觉内容的知觉上的合并，应称其为融合，不能称其为群化。由此可见，此类用语的定义还处于混乱状态。

可以说对于听觉进行特征描述的 Gestalt 原理确实存在。其一被称为调波（其频率为基本频率的整数倍）性原理。按照倍音关系排在一起的频率成分合并为一个音，或者通过强烈的群化而成为一体，从而容易听知的道理。我们不能将声音、乐器音依照频率成分变化而分辨出来听，只能作为一个声音来听也是这个原理。所以即使身处声音混杂的环境，我们的听觉系统也可以将每个人的声音进行整理分辨。依调波排列起来的纯音如果同时响起，通常知觉系统会将其认知为一个合并音。而当其中一个纯音的频率不同与调波性时，其对象的纯音就会被认知为别的音（图 3）。在西洋音乐史中占有特殊地位的长 3 和音 major triad（哆咪嗦关系）作为一个合音来听时其协调性极好。这是由于 3 个音的基本频率的比率大致为 4:5:6，这和和音整体的调波性有关联。在此，听觉系统将和音整体的相应基本频率的音高进行特定，其中被称为“哆”的音作为音乐中的基本音，起着极大作用。以此为前提，拥有同样音名的声音，即所谓的八度的整数倍（基本频率的比率：1:2；1:4；1:8）的音，其在知觉上的性质很接近，作为“八度等价性”被广泛认识。

对于听觉进行特征描述的另一个原理，被称为时间规则性原理 the principle of temporal regularity，是知觉系统使用正确规则反复的去把握时间构造的原理。对于听取日本语音声的时候，被成为 mora（拍）的时间单位作为基准的情况我们非常了解，同时在听音乐的时候以拍，小结等时间单位作为基准。关于音声，音乐的任何一个，不使用象这样的时间单位的话，是很难解的事情。时间规则性原理在听觉以外的感觉里出现的可能性是非常高的，尤其在关于听觉方面的交流方面显得更加重要。时间的规则性原理，能够和各种各样很有意思的知觉现象有关联。物理上相同的 click 音（象按击鼠标的短的声音）在 0.15-1.5 秒之间连续等间隔出现的时候，能够稳定的被知觉到由 2, 3, 4, 6, 8 个声音组成的群体。另外，将放送的声音的间距变大的话，能够被稳定的知觉到的声音的数量会减少。click 音在 2 拍，3 拍等情况下，同在物理上等间隔放送的情况一样会被很鲜明的知觉到。对于知觉系统很鲜明的表明作出的不对应物理线索的时间构造的情况，被作出的时间构造又跟从时间规则性的原理，这种被称为[主观节奏化 subjective]的现象作为例子来讲颇有意思。关于 Gestalt 原理进行阐述的时候，具有[什么样的条件被填充的时候产生体制化]的意味的原理和具有[填充什么样的条件会产生体制化]的意味的原理，不会被区分的情况是很多见的，但是，考虑到主观节奏的时候，很有必要把后者当做重点。也发现了被认为出现时间规则性原理的错觉现象。举一个典型的例子，当 3 个 click 音之间的时间间隔分别为 0.06 秒和 0.12 秒的时候，第二个时间间隔会觉得变少 0.03-0.05 秒左右的程度。这种被称为[时间缩小错觉 time shrinking]现象里的相邻的时间间隔被知觉成接近等间隔的情况是遵从时间规则性原理的结果。

近接原理虽然不是听觉所特有的原理，但是在听觉的频率次元和时间次元上很明显的会出现。频率次元有象这样的例子，当雨蛙和牛蛙一起鸣叫的时候，因为在高波段（比如 3000 赫兹左右）和低波段（比如 200 赫兹左右）的各种波段里有可以集合叫声的能量的部分，所以可以很容易的分清两种蛙的叫声。时间次元有下面的例子，象相对长时间间隔的情况下读完电话号码的数字列的时候，会分成两段来听。共通命运的原理也很重要。很多声音的频率成分一起开始鸣叫的话，会被知觉成一个事象。比如，若干乐器一齐用同样的节奏来演奏的时候，若时间恰好合上的话，听起来简直就象是一个乐器里出来的声音。另外，合唱，合奏等 2

个以上的声部（合唱里的低音部，高音部等）不是具有同样的音高，而是同时在同样的方向上下变化音高的时候，这些声部会被感觉成一个统一体，音色也变得丰富多彩，这也是表示共通命运的例子。

听觉系统的能量能够最大程度的被发挥出来的是在会话的情况下。因为作为语言发出来的音声，必须听成语言，所以在声音的时间性连接下，音色，音高怎么进行变化，都需要不能延迟的连续去把握。为了研究象这样的事情，在由时间轴和频率轴组成的平面里用记录图来表示声音，看惯记录图的人就连说话的内容也可以读懂。若音声被其他的声音掩盖的话，从记录图来读懂原来的话语是很难的，但是人的听觉系统，即使相当程度下被杂音所掩盖，短时间内也可以将这样的工作完成，在嘈杂的地下铁里，混乱的市场里，也可以进行会话。因为声音的信号能够将复杂的内容快速的从四面八方传过来，所以听觉系统承担着很沉重的负担，是我们在进行语言，音乐的方面交流的重要的方法手段。

进入我们的知觉系统的情报，即有未经整理的，又有不完全的，知觉系统给予它们某些秩序，不足的部分将它补完。在听觉里，对于作为对象的刺激，象很快就会消失的声音，传达语言的时候等等，这些重要的情报因为突发的杂音而错过的情况很多，所以补充情报的系统非常的发达。比如，日语的音声录音之后，将含有声音能量区间的 0.1 秒左右去处掉的话，会听成是断开的音声，但是在变成空白的时间间隔里加入很强的宽波段杂音（包含经过宽频率范围成分的杂音）的话，听成连续的情况是比较多的。这样的现象，不只是在音声里，即使是对于纯音这样的单纯的刺激也会产生，被称为[补完现象 restoration]，[听觉诱导 auditory induction]等（Warren, 1998; Bregman, 1990）。

4 物理量和主观量

听觉系统并不是通过时间很仔细严密的来分析声音，而是在各种制约条件当中迅速抽出声音里所含有的为了适应环境的必要情报，不会象测定声音的物理特性一样通过时间被捕抓到。为了详细调查附近的事情，声音的物理性质和对应的主观性质之间建立定量的关系是不可欠缺的。

听觉研究里系统的使用了根据 S.S. Stevens 建立的直接测定主观量彼此之间的比率的方法。并且策划了各种精神物理学的测定的标准化等，进行着。巩固研究的基础的定量化。（Stevens & Davis, 1938; Stevens, 1957; Zwicker & Fastl, 1999; Moore, 2003）作为典型的例子，象[声音的强度 Sound intensity]的物理量和[声音的大小 loudness]的主观量的对应关系，声音的强度是每个单位时间的能量作为比例的物理量。但是声音的强度变大 10 倍的话，主观量的声音的大小不会随之变大 10 倍。无音室（残响减小到最低程度的实验室里）判断从正面方向足够远的音响开始传到两耳里的 1000 赫兹的纯音的声音的大小的时候，能够明白声音的强度非常小的情况除外，即使物理量的声音的强度变大 10 倍，主观量的声音的大小，只能变大 2 倍的程度。将很多人的测定结果平均的话，这种情况下，主观量是物理量的 0.3 次幂

的比例,象这样物理量和主观量的一致,在声音的高度和时间的长短等等别的次元也可以看到。

纯音在 300-4000 赫兹左右的情况下,听觉系统的感度是最高。也就是说,纯音的刺激阈在这左右最低,具有同样强度的纯音,在这左右的频率的时候,声音的大小会变的最大。拥有涉及宽频率范围的成分的音的大小被知觉的时候,之前讲到的临界波段起着重要的作用。相当于基底膜上的 1.3mm 左右的单位的一个又一个临界波段拥有各自的频率范围。跨过复数的临界波段的声音,用频率范围计算声音大小的结果,和把所有关于临界波段的范围合起来计算,作为总体的声音的大小的结果会接近相似。但是,靠近临界波段的频率成分的掩盖 masking 在实际上是存在的,声音的大小的感觉减弱的情况是很多的。

这里所讲的掩盖是有一种频率成分,因为同时存在的与这个频率接近的别的成分的影响,声音的大小减弱,或者是变的听不到的现象。随着频率的接近程度,还有强度的变大程度,会很明显的产生这种现象。受掩盖的声音和引起掩盖的声音同时产生的情况下,把这种现象叫做[同时掩盖]。在施工现场等地方,噪音的环境里听不到说话声,或者是只能听到部分说话声,这就是同时掩盖的例子。典型的的同时掩盖是受掩盖和引起掩盖的声音在同样的临界波段里的情况下。但是,即使用临界波段来计算声音的大小的场合下,在临界波段上的声音的打下受到附近的临界波段的同时掩盖而减弱的情况有必要去考虑。特别不能忽视在受到接近低频率的临界波段的同时掩盖。

我们知道强的声音会使其时间上前后的声音听不见,或者是声音的大小减弱,这种情况被成为[继时掩盖]现象。强的声音对在其后有 0.1 秒左右时间间隔的声音产生掩盖。

属于主观量的[声音的大小]和属于物理量的[声音的强度]有很强的联系。其他的属于主观量的[声音的高度]和属于物理量的[频率]又有着很强的联系。也就是说,在限制条件的情况下,明白了[声音强度]的情况下,能够在一定程度下推测声音的大小。另外,明白了拥有时间周期的声音的[基本频率]的话,就能够比较精确的推定[声音的高度]。但是,还有一种很重要的具有主观量性质的[音色 timbre]是由什么样的物理量来支配还不是很清楚。声音的 spectre (把复杂的事项分解成单纯的成分)作为全体的形状,或者是时间上的强弱变化的情况,都会对音色产生很大的影响。

原来音色就不能说是 1 次元的主观量,在日本用 3 次元左右的空间来表示音色的情况是很多的。通过被实验的对象对各种各样的声音的音色使用形容语对的尺度来评定的话,在日本明白了使用[美的因子][迫力因子][金属因子]这 3 种因子来体现音色的 3 个次元。但是,各种次元对应什么样的物理量还不是很明了。在国际上,虽然音色也被考虑是多次元,但是设想什么样的次元还没有达成协议。分布在高频一侧的声音能源增加的时候所表示的[声音的尖锐度]和在临界波段内有数十赫兹程度的振幅变调(声音的强度的时间变化)时产生的[粗糙感]等等,作为主观量的次元用在知觉实验里确实被承认。在论述乐器的音色的时候,有必要考虑乐器上特有的情况。关于电脑音乐,电子乐器等,发现了各种各样的制作音色的方法,

最近由于电子声音在日常生活中的各种各样的场合下被利用，音色的研究正在飞快大进行着。

5 展望未来

听觉的研究，最终还是进行脑研究的一个部分而已。但是因为脑实在是太复杂，即使只捕捉脑机理的大概而使心理学的手法的重要性变弱，在今后也是不太可能的。但是认识这一点之上，调查脑的机理还是非常有用的，这会勾起我们对科学的好奇心。

从耳里面的蜗牛开始，经过蜗牛神经，将关于声音的情报传到大脑，这段神经路线非常的复杂。从蜗牛到大脑皮层的听觉领域之间，有非常多的中继点，好象是在那里加工情报。特别是，根据从大脑来的反馈，进行情报的取舍选择的点被注目。从大脑到末梢的蜗牛产生反馈的可能性很高，但是具体的结构没有被充分的解释清楚。到现在为止说明的临界波段等被理解成将末梢的工作图式化的东西的情况比较多，但是研究一直进行的话，也有大脑的工作给予很大的干预的可能性。

在大脑的听觉领域的若干部分，神经原将容易应答的频率依此排列。在蜗牛里进行频率分析的事情已经叙述过，从末梢的水准来看也好，大脑的水准来看也好，频率都是重要的次元。

从蜗牛到大脑的神经原里，调查对于声音的应答的话，有对从声音的开始到结束为止的所有的部分的连续应答的神经原，另一方面也有只是对声音的开始应答的神经原。大脑的水准里，只是对声音的开始和声音的结束进行应答，不对声音放送的中途的部分进行应答的神经原。象这样神经的机理在全体上互相有什么样的关联，并不是很明了。对声音的开始应答的神经原，确实与之前所讲述的音事象和音脉的知觉有关系。

结果通过在实验心理学的结构里建立起的实验手法，能够明白应该注视在脑机理的哪里情况。试着去考虑的话，会明白实验心理学个脑科学最终是同一个领域是理所当然的事情。到现在为止，要明白各自积蓄的知识是以什么样的形式进行体系化的话，首先，在知觉心理学的全体里确定听觉心理学的位置，广泛理解体制化的原理，精神物理学的法则是很重要的。那时，各种感觉是为了什么而存在的，通过理解生物进化的观点是不可缺少的作业。

在知觉心理学的领域里，视觉的重要性被强调的很多，听觉在其之后也同样很被强调。但是，为什么在现时中听觉和视觉同样重要的事情不明白，为什么认识到听觉的重要性这么难。声音一出来就会消失，即使是特别的声音出来也需要有大规模的工具，这也许是主要的原因。能够看着声音进行合成分析是听觉研究的第一步，最近整理成这样的环境已经变的很容易。