

第一章

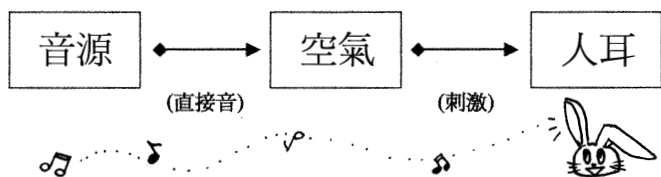
聲學





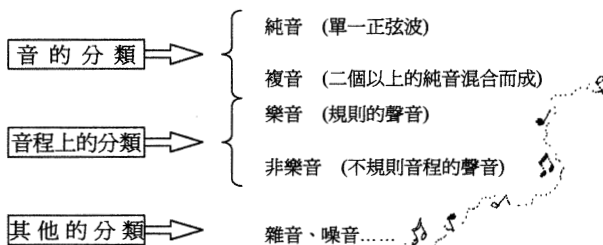
## 1-1 聲音的分類

聲音是指人類耳朵接收外在音波後對腦部的刺激所產生的反應。簡單的來說，如圖一，是由發音源經過空間刺激人耳的過程。而聲音的分類，在基本的聲



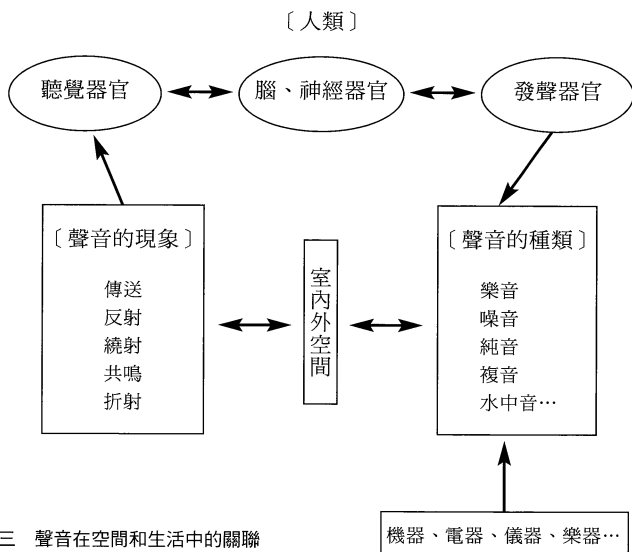
■ 圖一 聲音傳達人耳的過程

音上，可分為純音和複音；在對音程的有無可分為樂音(即有規則的聲音音高)和非樂音。除此之外無特定音高，只有音量大小的聲音，即為噪音。如圖二。(音量



■ 圖二 聲音的分類

與音高參閱下節)而聲音在人類生活和外在空間中的關聯性，我們來參閱圖三來瞭解一下。



■ 圖三 聲音在空間和生活中的關聯

## 1-2 聲音構成要素

聲音構成的主要基本要素有三，分別為音量、音高與音色，其內容分述如下圖四與圖五：

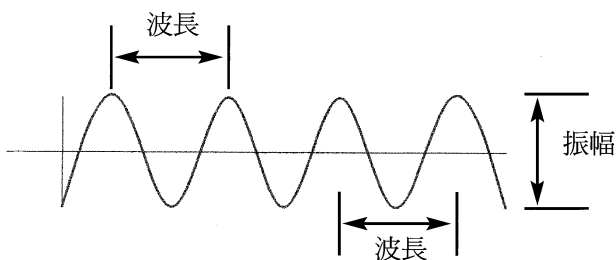
倘若單從樂器上來討論的話，當鋼琴琴鍵的觸擊

力道有強弱差異時，主要的不同就是來自音量大小的變化；而當以相同力道觸擊任意兩鍵時，其聽覺上主要差異就來自音高的不同；然而拿任意兩種樂器，彈奏出相同音高且音量相當時，在聽覺上所能分辨的差異，即為音色的差異。

	內 容	單 位
音量	即為聲音的大小	為 <b>dB</b> 中文稱為分貝
音高	即為聲音產生的頻率高低	為 <b>Hz</b> 中文稱為赫茲
音色	即音量與音高混合後產生泛音的不同所形成的聲音特質	



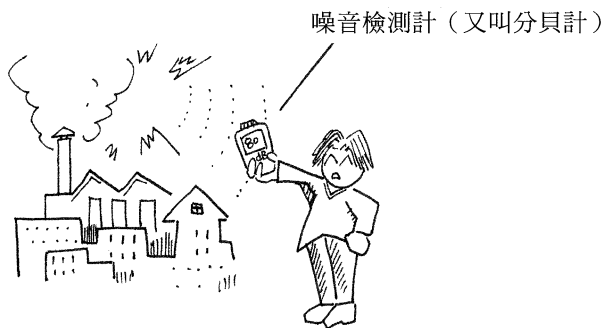
■ 圖四 聲音構成基本要素



振幅決定音量；波長決定音高

■ 圖五 聲音在空間和生活中的關聯

在日常生活中，我們用來檢測噪音值的單位就是dB分貝，見圖六，一般而言，我們所聽到的聲音音量大小的值，大約如圖七所示。



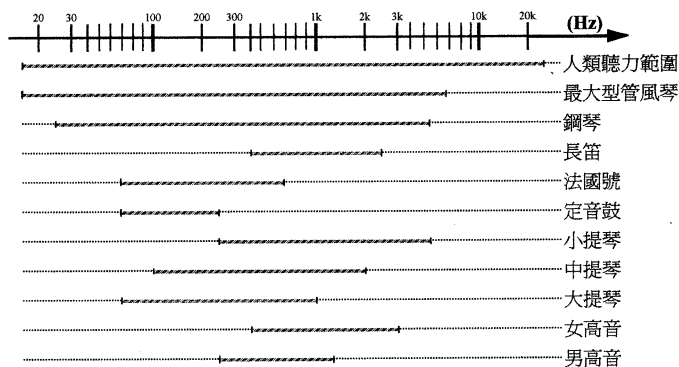
■ 圖六 噪音檢測



■ 圖七 環境音量大小值參考

在音高上，主要是由於頻率的不同而產生不同音高，聲波振動的頻率越密集，聲音就越高，反之頻率越疏緩，聲音越低。一般而言以88鍵的鋼琴來說，琴鍵中央的 $D_0$ 其音高為512Hz，再往上八度的 $D_0$ 為1024Hz，而往下八度的 $D_0$ 為256Hz，其他的樂器也有屬於自己的音域範圍，請參考下圖八。

因此生活之中，我們所聽到的聲音就是由音量、音高和音色這三種要素所共同建構出來的。

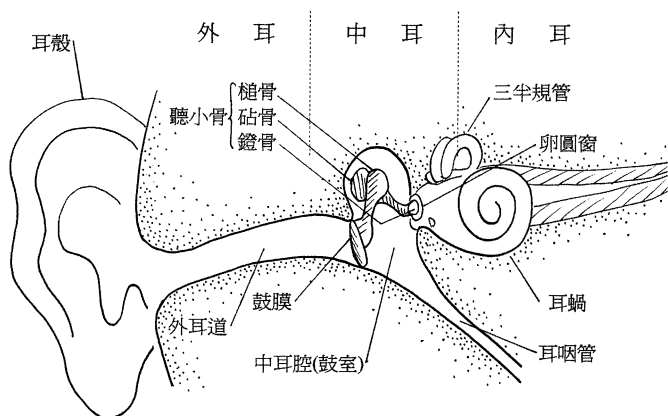


■ 圖八 各種樂器音高頻率範圍

## 1-3 聽覺基本性質

### 1-3.1 人類聽覺器官

人類聽覺器官分為內耳、中耳與外耳三個部分，其詳細構造請參閱下圖九：



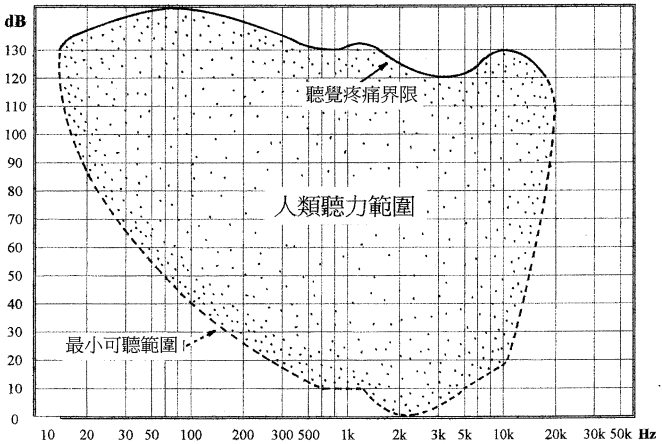
■ 圖九 人類聽覺器官構造

外耳為收集聲音並傳導聲音的部分，外耳和中耳之間以鼓膜為界，鼓膜的大小約為 $55\text{mm}^2$ 的橢圓形，而厚度約為 $0.1\text{mm}$ 。



### 1-3.2 人耳聽覺範圍

在動物的世界中，每種動物都能聽見屬於自己聽覺範圍的聲音，也就因為如此，人類也有其特定的聽覺範圍，對於大部分的正常人而言，在音量上為20dB~130dB，而在音高上為16Hz~24000Hz，但是隨著年齡增長與健康狀況，其聽力也會明顯的下降。大約五十歲以後，人類就會漸漸降低聽力範圍，最明顯的就是聽不見10000Hz以上的部份，圖十。



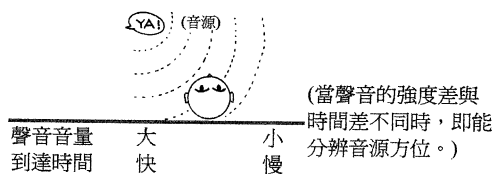
■ 圖十 人類聽力範圍

### 1-3.3 人類雙耳效果

各位讀者你知道人類耳朵為什麼不是一個而是一對，其實答案很簡單，它的原理和眼睛有異曲同工之妙。

雙眼的效果，主要是能分辨2D平面與3D立體的差別，進而能分辨出距離和物體的大小的關係，其主要目的為的是能判斷物體在空間中的位置；而雙耳的效果也是如此，當單耳所能收到的資訊只有聲音構成的三要素時，如同單眼一樣只能判讀物體的表面資訊，無法進一步獲得空間上的資訊一樣。雙耳的效果就在於判斷聲音的方向定位，噪音與信號的分離。

當單耳的功能如同單聲道(mono)一般，而雙耳就似立體聲(stereo)的效果一樣，這是藉由聲音資訊的強度及時間差的不同，來判斷出空間定位的人類本能如圖十一。

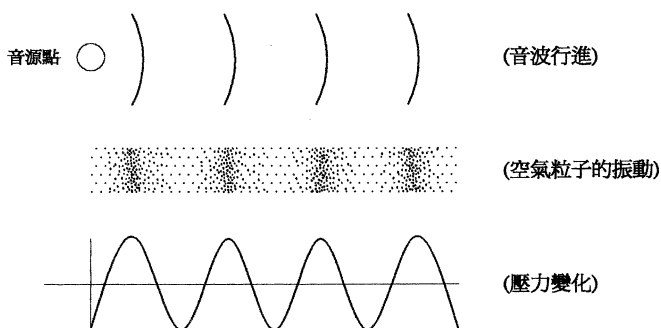


■ 圖十一 雙耳判位效果

## 1-4 音波基本性質

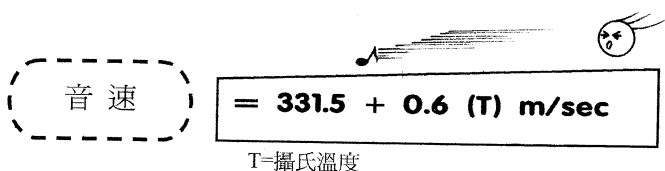
### 1-4.1 音波的型式

音波是依附在介質上傳播的形式，當處於沒有介質的狀態下，音波沒有任何憑藉物可供傳遞，因此將不會有任何聲音的發生。一般在空氣中，藉由空氣粒子的傳播，經過空氣的擠壓形成疏密，而產生壓力變化如圖十二。一般音波的傳動速度即為音速，在於不同介質和溫度濕度狀態下，是有不同的速率，正如溫



■ 圖十二 音波現象與型式

度濕度越高，其聲音傳送速度也越快，其音速公式如下圖十三。例如在24°C的氣溫下，聲音在空氣中傳遞



音速

$$= 331.5 + 0.6 (T) \text{ m/sec}$$

T=攝氏溫度

■ 圖十三 音波速度公式

的速度有多快呢？計算方式就為， $331.5 + 0.6 (24) = 345.9 \text{ m/sec}$ 。也就是說當氣溫24°C時，聲音在空氣中以每秒345.9的速度在行進。見圖十四。

鐵	5900 m/sec
杉木	4000~5000 m/sec
混凝土牆	3200 m/sec
水	1500 m/sec
20°C的空氣	343.5 m/sec

其實……空氣的速度……很慢吧……

■ 圖十四 音波在各種物質中傳達的速度

波長為音高的相關性質，係指音波一個周期的距離，其一波長的時間與波長的計算公式如圖十五。例

一 波長的時間 = 1 (秒) / 頻率 (Hz)  
即為周期

波 長 = 音速 × 周期

■ 圖十五 周期與波長公式

如100Hz一波長的時間為1/100秒，而在音速340m/sec時100Hz的波長為 $340 \times 1/100 = 3.4\text{m}$ 。所以波長越長其音高越低，波長越短音高越高，圖十六為空氣中音波的頻率與波長的關係。

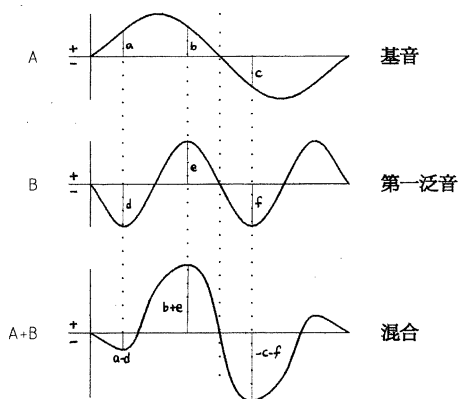
頻 率 Hz	波 長 cm
20k	1.7
10k	3.4
5k	6.8
2k	17
1k	34
500	68
200	170
100	340
50	680
20	1700

常溫中音速為 340 m/sec

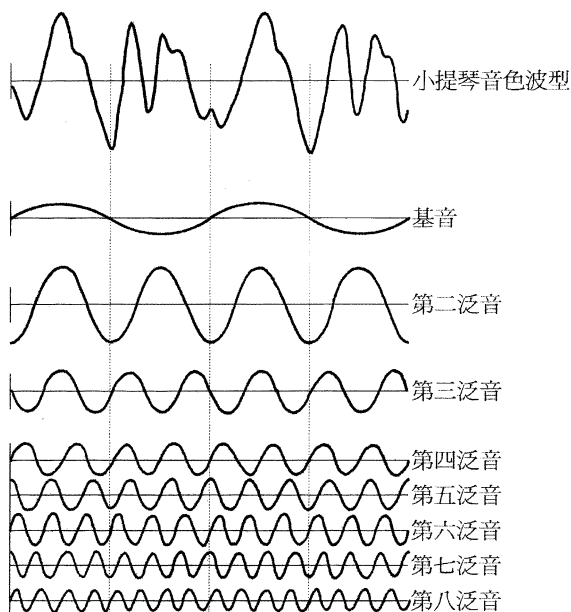
■ 圖十六 常溫中音波頻率與波長的關係

頻率，為音高的基本要素，也就是指音波每一秒振動的次數，其單位為Hz赫茲。牽扯到聲音的高低和音波長短，當頻率越高時音波長度越短，其聲音也越高，反之亦然。振幅是聲音音量的要素，振幅越大音量越大，反之亦然。

在日常生活中所聽到的聲音，都不是個單純的波形(正弦波)，但在其複雜的波形中找出其正弦波的基音後，其正弦波的頻率之間形成1：2：3...的整數比，此一頻率相互成整數比的關係，則稱為泛音或倍音，最低的泛音稱為基音，其他依次稱為第二泛音(倍音)，第三泛音...這就稱為泛音結構如圖十七，十八。



■ 圖十七 基音與泛音（倍音）的混合

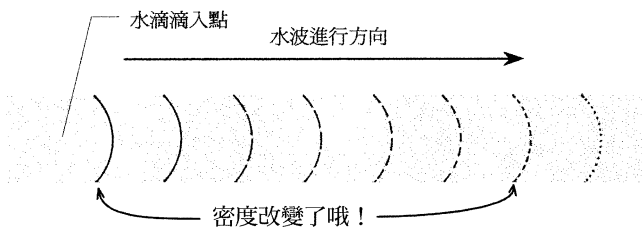


■ 圖十八 小提琴音色與泛音結構

## 1—4.2 距離衰減現象

所謂的距離衰減，則是由於能量的耗損而產生音波散失在空氣中的現象，簡單來說，當一個無限大的水面，滴入一滴水時，水面上所產生的水波以同心圓的形式向外擴張，而水滴下的能量也會隨著距離的因

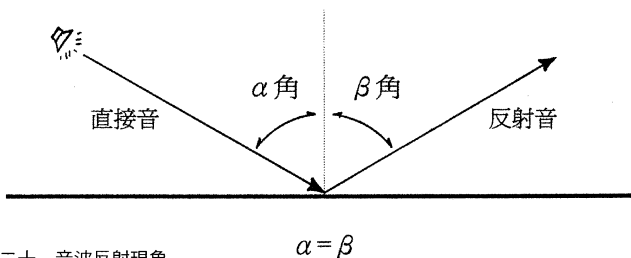
素逐漸散失至無。這個現象亦會發生在音波的狀況之下，如圖十九。



■ 圖十九 水波距離衰減示意圖

### 1—4.3 反射、折射、繞射與殘響現象

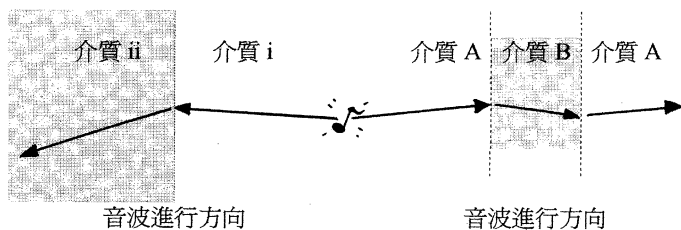
當音波在空氣中傳送時，和環境空間的材質接觸後，會產生反射、折射和繞射的現象。當反射的產生如圖二十，是為入射角等於反射角的原理，造成音波



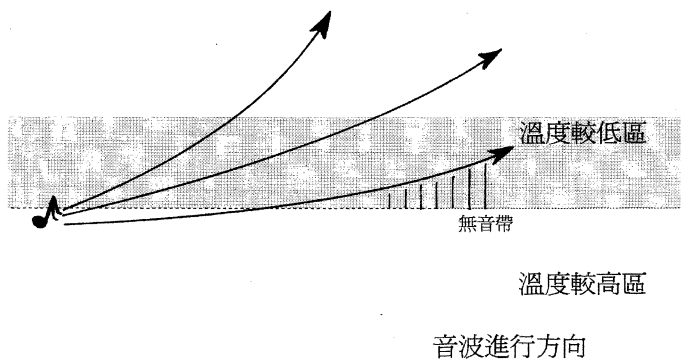
■ 圖二十 音波反射現象



在空氣中行進方向的改變。而溫度或介質的不同，會造成音波折射的現象產生，如圖二一～二二，音波會由溫度高而往溫度低的區域折射。介質的不同就例如音波由空氣傳到水中，也會產生折射現象。繞射是因

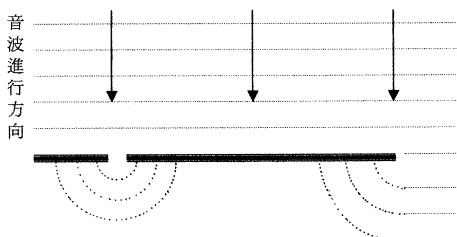


■ 圖二一 音波對介質的折射現象



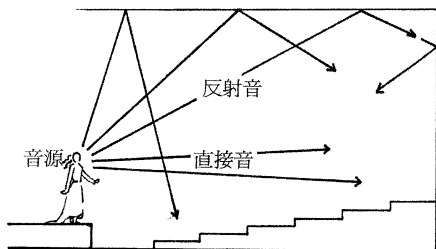
■ 圖二二 音波對溫度的折射現象

為音波進行時，受音面的阻礙不同，而產生的現象，如圖二三。



■ 圖二三 音波繞射現象

當以上的現象，產生在一個空間中，如劇場或音樂廳，這時就會有許多反射，而方向不一的聲音產生，因此反射後的音波行進時間和方向的改變，加上距離衰減現象，在空氣中造成一種特別的聲音反覆或互相抵消的現象，我們稱它為殘響現象。這種現象倘若受到適當的控制，反而會加強聆聽環境的音響效果如圖二四。

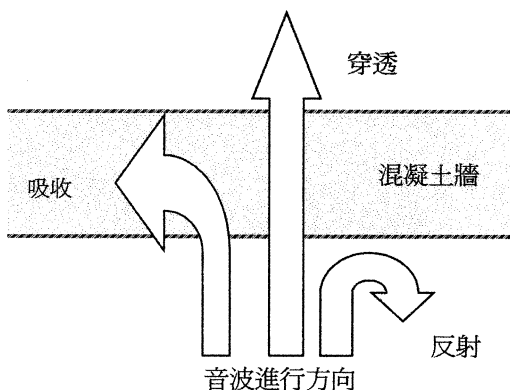


直接音與反射音的時間差造成時在劇場中的殘響現象

■ 圖二四 殘響現象示意圖

## 1—4.4 吸音與穿透

當音波接觸到環境空間的材質後，會有一部分的音波反射，而一部分的音波被吸收和穿透材質，如圖二五，這種現象，考驗材質的吸音能力或隔音能力，這對空間的聆聽環有著很大的影響。



■ 圖二五 音波的吸收與透射

