

聲源音像輪廓定位與室內聲場中餘響時間之影響

Effects of reverberation time to auditory localization of sound image envelope in an indoor sound field

陳炯堯¹

摘 要

關鍵字：空間感, 自函數, 聲源寬廣度, 聲源定位

根據 Morimoto(1989)的報導, 有關餘響時間在聲場中對於聲源寬廣特性判斷影響之調查結果為, 餘響聲能(RT60 = 0.3、0.9 秒)可視同早期反射音聲(delay time = 80、160ms)能來探討。但就音樂樣本選擇上僅限於莫札特第 41 交響樂第 4 樂章作為實驗之對象。我們認為對於聲源寬廣特性判斷之敏銳決定於音樂本身之結構特性。因此, 本研究選擇以不同的音樂樣本進行實驗, 聲源樣本選擇以樣本 A(Royal Pavane by Gibbon, $\tau_e = 127$ ms), 樣本 B(Sinfonietta, Opus 48; movement; Allegro con brio by Arnold, $\tau_e = 35$ ms), 樣本 C(speech, female, $\tau_e = 23$ ms)三個樣本。根據 Y. Ando(1980)所敘述之聲場設計理論, 決定理想之餘響時間長短之主要因素在於樂曲本身自函數之有效遲延時間(effective delay of autocorrelation function, τ_e)。因此餘響時間設定上為短時間(0.3 秒)、中時間(0.9 秒)及長時間(2.0 秒)以隨機方式將聲源樣本與餘響時間進行配對。在判答上, 將實驗者回答之水平相鄰提示角度視為常態配分方式計分。結果顯示, 聲源樣本(Motif A)判斷準確度最高, 聲源樣本(speech)最低($p < 0.01$), 其主要原因由於聲源 e 的不同, 即樂曲構造之不同, 造成判斷上有顯著差異。因此, 證實了樂曲改變, 將影響人耳對聲源空間感之影響; 其次, 在餘響時間的影響方面顯示, 並未直接得到在空間感之差異性。

A b s t r a c t

Keywords : spaciousness, autocorrelation function, apparent source width, sound localization

According to the reports by Morimoto (1989) regarding the influences of the sound localization of spatial perception in a hall, the reverberation energy (RT60 = 0.3, 0.9 sec) may be treated as the first reflection energy (delay time = 80, 160ms). However, the selection of music is exclusively limited to using Wolfgang Amadeus Mozart's Symphony No. 41, Movement IV as a music source. We intended to prove that the sensitivities on spatial impression of sound localization will vary depending on the structural characteristics of music. Therefore, the other three sound sources: Motif A (Royal Pavane by Gibbon, $\tau_e = 127$ ms), Motif B (Sinfonietta, Opus 48; movement; Allegro con brio by Arnold, $\tau_e = 35$ ms) and Speech (female, $\tau_e = 23$ ms) were adopted. According to the sound field design theory

¹ 陳炯堯, 朝陽科技大學建築系副教授

described by Ando (1985), the determining factor of an ideal reverberation time length lies in the effective delay of autocorrelation function (τ_e) of sound sources. The reverberation time of our experiments was set at: short (0.3 sec.), medium (0.9 sec.) and long (2.0 sec.) respectively. The judgments of the apparent sound localization were responded from 12 participants by way of scaling using a normal distribution between two horizontal stimuli angles. The result shows that Motif A obtained the highest accuracy level while speech hit the lowest ($p < 0.01$). The primary cause was the different τ_e proposed by Ando (1983); namely, the significant difference sensation of reverberate image between motifs will have an influence on human's auditory spatial perception of sound source. Furthermore, with respect to the reverberation time, no difference in spatial perception influence was obtained here.

一、序言與回顧

在觀賞歌劇或古典樂時的經驗中，我們常因為舞台過寬或短距離的緣故，讓我們對於舞台上對象聲源的位置感到模糊。然而，觀賞演劇時能即時反映演出聲音的方位，對於空間正確的聲源定位或空間音像的擴散控制，常常是影響一個演出的趣味極為重要的因素。在此，我們要以假設之初期反射音(約 80 毫秒前)水平到來方向($0 \sim -90^\circ$)來比較及探討，音像輪廓之變化與音樂的曲調特性和殘響時間之間的關係。Morimoto (1989)¹ 曾報導一般在室內形成聲場的輪廓包被時，須初期反射音與後續殘響能量達到主觀等量之平衡 (point of subjective equality, PSE) ，此時這個等量平衡通常比起初期反射音，其後續殘響具有稍大之能量。且這個相對差是固定對應的。這個能量差根據聲能比約等於 1.27 dBA。Barron and Marshall (1981)² 曾在兩個矩形空間中以多個反射音能量來構成空間側向能量反射，這些初期的能量約出現在直達聲到達後 80 至 100 毫秒前。Inoue et al. (1987)³ 報導過，加強聲場空間印象(spaciousness)並不一定能增加收聽者對聲場的喜愛；而增加聲場的空間印象通常須較大的後續殘響能量。即為，最佳的聲場空間印象強度通常有一個最大值存在，聽眾並不歡迎過多的空間印象。Hasegawa et al. (1997)⁴ 利用兩只喇叭在水平半圓周上相對移動來模擬聲源音像大小的變化；即聲源音像輪廓的收放變動，結果發現喇叭移動之實際輪廓位置比主觀聲源音像輪廓變化量來得小。Ando (1985)⁵ 的研究結果發現恰當之初期反射音遲延的長短與樂音特性有一定的關係。並且歸納出以樂曲之自函數的有效遲延時間 (τ_e) 可以反映適當之初期反射音遲延；例如音樂樣本 A (Motif A) 之最佳初期反射音遲延為 127 毫秒；而音樂樣本 B (Motif B) 為 35 毫秒。這剛好符合 Motif A 之 $(\tau_e)_{\min} = 127$ 毫秒；而音樂樣本 B 之 $(\tau_e)_{\min} = 35$ 毫秒。本研究為使各樂曲在同樣之喜好情境下探討，初期反射音與後續殘響音構成之音像輪廓辨識的難易度，將兩者的時間遲延依據 Ando (1985)⁵ 的研究結論安排其關係為：

$$\Delta t_2 = 1.8\Delta t_1 \quad (1)$$

其中 Δt_1 ：初期反射音遲延時間， Δt_2 ：後續殘響遲延時間

因此，本研究是依據 Hasegawa et al. (1997)⁴ 的研究方法利用喇叭來探討非移動聲場音像輪廓之邊境位置的主觀聲音定位與辨識難易特性。

二、研究方法

本研究以每 3° 一顆之 LED 發光二極體配置成半圓周作為實驗時受測者回答其主觀

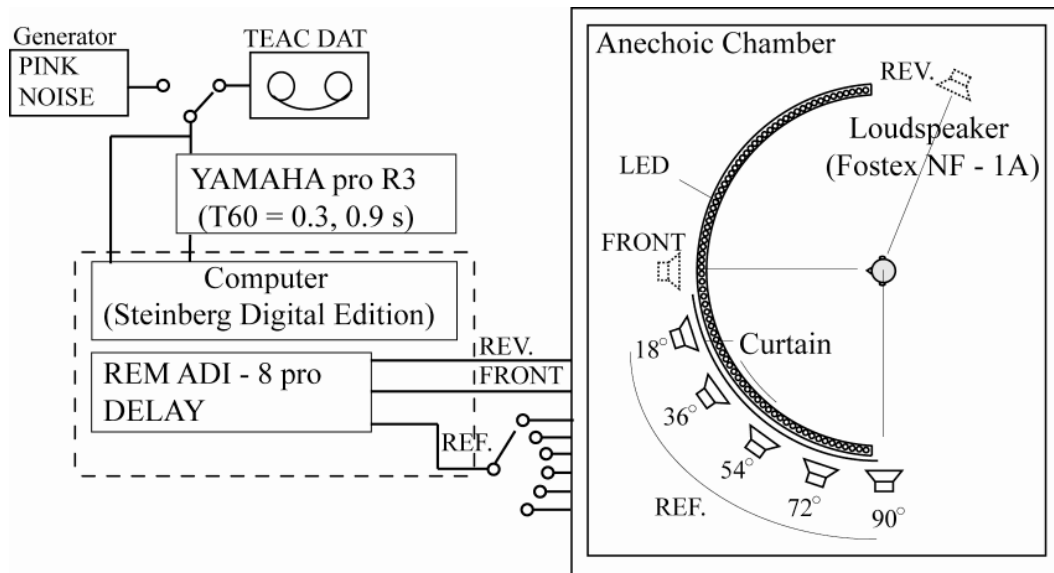


圖 1 實驗配置

音像輪廓之邊境位置的工具(配置安排如圖 1)。

2.1 實驗內容

如圖 1 之實驗配置所示，於朝陽科技大學半無響室中，由 6 顆喇叭置於受測者左前 1/4 圓周內(0 ~ -90 °)來代表正面直達音與 5 個不同的初期反射音到來方向去改變主觀音像輪廓之邊境位置。另外，還有一顆喇叭置放於+108 °位置來模擬後續殘響音。此 7 顆喇叭均置於半徑為 1.5 公尺的圓周上面向圓心，喇叭面與圓周面切齊。

直達聲為利用數位錄音帶(DAT, TEAC R-9)由正面的單顆喇叭來直接播出；單一初期反射音與後續殘響音則均透過殘響效果器(YAMAHA Pro R3)來分別給予對應的時間遲延與後續殘響時間(如表 1 所示)，但整個系統均以直達音之發音開始時間為依據。後續殘響時間由殘響效果器分別製造 0.3, 0.9 及 2.0 秒之空間效果。單一初期反射音藉由 5 顆不同角度(-18 °, -36 °, -54 °, -72 °, -90 °)的喇叭播出；後續殘響音則由置放於+108 °位置的喇叭來播出。因此在相同聲音樣本下可模擬 5 種不同的正面主觀音像輪廓。在各別的播出能量方面，如圖 2 所示，固定各喇叭之播出聲壓級，初期反射音與後續殘響音之聲壓差固定於 1.27 dBA。個別的播出聲壓級於實驗前均在受測者頭頂位置以噪音計(ONO SOKKEI LA-5110)分別量測校正。

實驗時要求受測者回答該次提示後感覺到之主觀聲場音像輪廓之左側邊境位置，並依據式(2)求取與模擬單一初期反射音之喇叭位置相對應程度；即以確率密度分布函數來正規化該次回答的角度，由相臨角度為 0 至完全相符角度為 100 之回答確率。

表 1 三種提示之聲音樣本的遲延時間設定

Motif	Δt_1	Δt_2	τ_e	tempo
A	127 ms	229 ms	127 ms	slowly
B	35 ms	63 ms	335 ms	quickly
S	23 ms	41 ms	227 ms	quickly

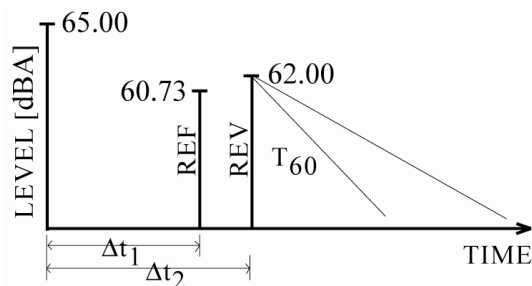


圖 2 實驗時之提示聲信號之時間與聲能量構造 (echo pattern)

$$SCORE = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(angle)^2}{2}} \quad (2)$$

2.2 樂曲樣本與受測者

本實驗所使用之音樂樣本乃根據 Ando (1985) 的實驗中典型之古典樂代表樣本。這些樣本是取以下各樂曲開始時 5 秒，它們包括：(A). Royal Pavane, 作曲者 Orlando Gibbons, (B). Sinfonitetta, Opus 48, IV movement, 作曲者 Malcolm Arnold, 與 (S). 詩歌朗誦 “In language infuse the T many words become read the small set later.” 詩歌由一女性讀誦，以上均由 Burd (1969) 錄製於英國 BBC 電台之無響室。受測者為年齡 25 ±2 歲之男學生 12 名擔任。

2.3 實驗步驟

由 5 種單一初期反射音之聲音到來方向(-18°, -36°, -54°, -72°, -90°)與 3 個不同的聲源樣本(Motif A, Motif B 與 speech)，再與 3 種不同殘響時間設定(0.3, 0.9 及 2.0 秒)。以隨機方式構成 45 種聲場後，對於 12 位受測者每位均對每種聲場隨機進行 3 次試驗。因此總共可以得到 1620 個答分。

三、實驗結果與討論

(一) 聲音樣本與殘響時間

實驗結果如圖 3 所示，12 位受測者對於不同聲音樣本的聲場音像輪廓之邊境位置的主觀聲音定位辨識能力具有明顯的影響(two-way ANOVA, $p < 0.05$)。此外，由於 12 位受測者對於 -90° 之辨識能力不一致，若將 -90° 之結果移除則對於不同聲音樣本的差異程度會更明顯 ($p < 0.01$)。但是，對於不同之殘響時間的差異並不存在有明顯差異。

此外，由於上述的分析結果顯示殘響時間與聲音樣本間不存在有相互的交叉關係(interference)；因此，將相同之殘響時間的平均值再一次進行分析，其聲音樣本間的差異更形突顯($p < 0.001$ ，參照圖 4)。

(二) 聲場的雙耳互函數與音像輪廓之邊境位置辨識

在此我們為進一步探討人耳對於水平各方位上之聽感與雙耳互函數(inter-aural correlation function)間的關係，將本研究中-18°至-90°間根據原聲音樣本的互函數

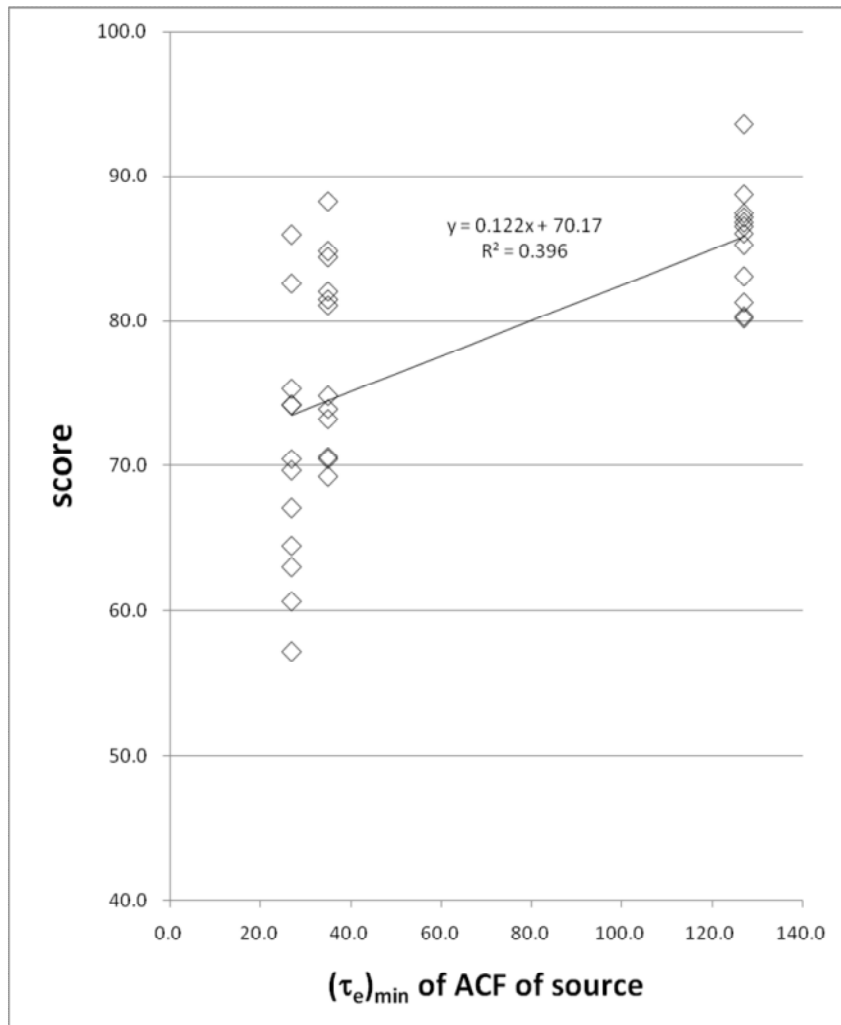


圖 3 受測者對於不同聲音樣本的聲場音像輪廓之邊境位置的主觀聲音定位辨識能力具有明顯的關連性

圖來進行比對。雖然兩者間缺乏有力之說服證據(參照圖 5)，但從兩者間之共同趨勢可以瞭解彼此有特殊的關連性存在，值得於下一階段繼續探討。

四、結論

本研究有幾 3 個明顯的結論如下：

1. 殘響時間與單一初期反射音能量若保持一定之比例時，對於聲場音像輪廓之邊境位置的主觀聲音定位辨識能力不因殘響時間改變而有影響。
2. 由聲源之自函數有效遲延時間(τ_e)可以有效規劃出聲場音像輪廓之邊境位置的定位能力，而且與 Ando (1985)5 的優質聲場設計概念不謀而合。
3. 聲場音像輪廓之邊境位置的主觀聲音定位辨識能力與雙耳互函數之量測結果兩者間，於單一反射音到來方位角 36° 至 54° 間同樣有明顯衰弱情形，表示聲場音像輪廓之邊境位置的心理認知也和雙耳互函數有關。

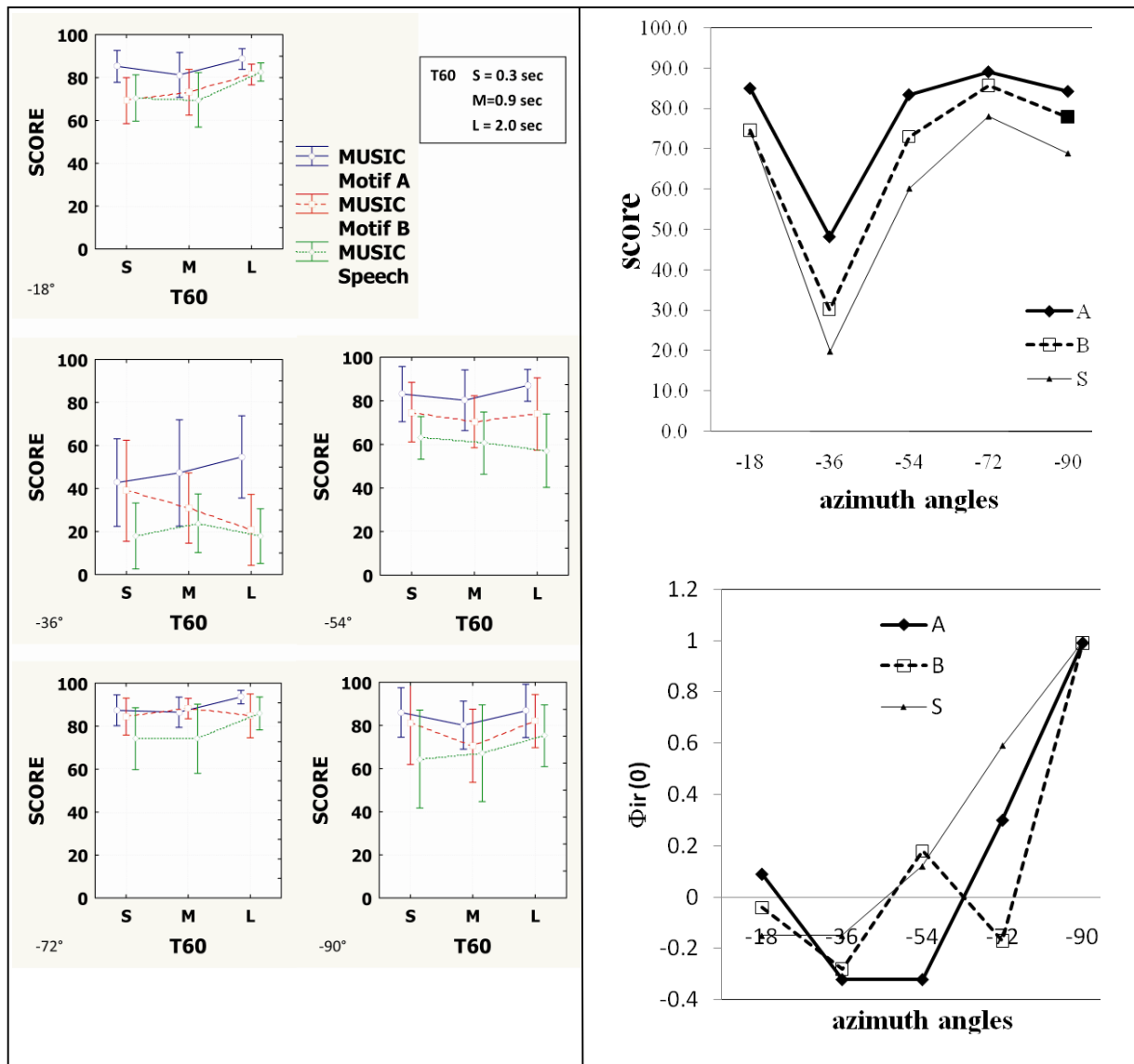


圖 4 殘響時間之平均值結果

圖 5 實驗平均值與雙耳互函數之比較

五、參考文獻

- Morimoto M, Posselt C. Contribution of reverberation to auditory spaciousness in concert halls [J]. J Acoust Soc Jpn, 1989, (E)10, 2: 87-92.
- Barron M, Marshall A H. Spatial impression due to early lateral resection in concert hall: the deviation of a physical measure [J]. J Sound and Vibration, 1981,77 (2): 211- 232.
- Inoue T, Nishi T, Wakuri T, Shimizu Y, Kawakami F. Relation between the lateral component of early reflections sound energy and the spatial impression. Proc Spring Meet Acoust Soc Jpn, 1987: 557-558 (in Japanese).
- Hasegawa H, Takehashi K, Ayama M, Kasuga M. Effects of visual information on sound image localization [J]. J. Image info and Tele Eng, 2001, 55, 3: 455-462 (in Japanese).
- Ando Y, Calculation of subjective preference at each seat in a concert hall [J]. J Acoust Soc Am, 1983, 74: 873-887.
- Bilsen F, Brinkman F, On the perception of spaciousness with artificial head. 11th Int. Congr. Acoust., 1983: 135-138 (Paris).
- Blauert J, Lindemann W, Auditory spaciousness: Some further psychoacoustic analysis[J]. J Acoust Soc Am, 1986, 80: 533-542.
- Morimoto M, Iida K, Relation between auditory source width and the law of the first wave front [J]. J Acoust Soc Jpn, 1993, 49, 2: 43-55 (in Japanese).
- Morimoto M, Yairi M, Iida K, Itoh M, The role of low frequency components in median plane localization [J]. J Acoust Sci & Tech. 2003, 24, 2: 76-82.
- Zurek P M, Freyman R L, Balakrishnan U, Auditory target detection in reverberation [J]. J Acoust Soc Am. 2004, 115(4): 1609-1620.