

國立臺灣師範大學特殊教育學系
特殊教育研究學刊，民 93，27 期，93-111 頁

聲場調頻系統與國內教室聽環境的改善

江源泉

新竹師範學院特殊教育系

楊淑惠

臺中縣龍泉國民小學

姚甸京

桃園縣新興國民小學

本研究旨在了解國內一般教室聽環境的品質，並評估北美地區廣用的聲場調頻系統在開放式教室空間內發揮之功效。以國小中年級學生為受試者，分別在無放大音響、單一喇叭聲音擴音器（即小蜜蜂）、聲場調頻放大系統的三種情境之中，比較語詞指認（word identification）的正確性。測驗材料為國語單音節語詞，並採團體筆測方式進行。結果顯示，在無放大音響情境中，學生指認出約七成左右的語詞。若加入聲音放大系統則可將學生的表現提升至九成，但價高的聲場系統效果卻未必優於價廉的擴音器。將各情境的得分與音響測量結果比對後發現，開放式教室的外來噪音讓聲場系統無法全面發揮效能，僅在教室後半段座位區顯現超越擴音器的改善效果，而測試時教室內的平均信噪比，才是學生語詞指認得分高低的主要依據。基於經濟考量以及國內教室建築的限制，若仍堅持以聲場調頻系統取代擴音器，未必是現階段全面提升教室聽環境的最合理做法。

關鍵詞：教室音響，開放式教室、聲場調頻系統，信噪比、單音節語詞、語詞指認測驗

背景

教室的主要功能在於提供經驗分享、想法交換及知識傳播的場所，而其功能的達成有賴學生有效的接收老師所傳遞的訊息。在學生接收訊息的過程中，良好的教室音響是其中重要的因素之一。兒童每日在學校的學習活動，「聽」的比例佔 45%（Berg, 1987, p.3），超過視覺活動，換言之，聲音的接收是學校中學習

的主要管道。而「聽」的問題又常衍生出許多與學習相關的其他問題，例如上課時不專心、或語文及閱讀能力不佳（Flexer, 1995）。

一般而言，「聽」的問題僅讓人聯想到對聽障生學習的影響。國內邢敏華與黃士賓（88 年）研究啓聰班教室音響狀況，並提出改善啓聰教育教室音響環境之建議，以增進學習效果。近年來隨融合教育發展，多數聽障生已被安置在普通班就讀。在教育當局尚未能提供每

本研究由國科會專題計劃 NSC 89-2213-E-134-001 補助。感謝許瑛珍、方文熙兩位教授在統計分析上的協助，以及兩位匿名評審對本文原稿的意見。

位聽障生一套個人調頻系統的現況下，不良的教室音響已直接影響他們對課程的理解及教學活動的參與。另外，亦有眾多普通班內的學障、情障及智障生正任由噪音干擾他們原已缺損的專注力。故當今改善教室音響已成爲特殊教育的議題，而執行的範圍亦應走出啓聰班或特教班，延伸至所有教室。

一、教室音響

一般情況下教室音響受下列四項因素影響：教師的音量、教師與學生之距離、教室內外的噪音 (ambient noise level) 及教室的餘響 (reverberation)。其中教師的音量代表信號 (signal) 之來源，可以經由放大系統放大，其餘三項則常是造成教室音響不佳的因素。首先，學生離教師的距離越遠，所接收到的信號的強度就越弱，而衰減的原則是距離每增加大一倍，音壓 (sound pressure level) 就下降 6dB，造成座位越後的學童所聽到的老師聲音越小。此外，教室音響也受噪音影響。一般說來，基本噪音量由教室面積及人數決定，小型特殊班約 45dBA，傳統的普通班和融合班是 60dBA，空間開敞的教室則常在 70dBA 以上 (Berg, 1987, p.107)。根據美國聽語學會的建議 (American Speech-Language-Hearing association [ASHA], 1995)，對感覺神經 (sensorineural) 性聽障學生而言，一般空教室的噪音量不應超過 30-35dBA，然而凡街道旁的教室，來往的車流即可讓噪音達 44dBA；若再讓加上 25 位學生與一位老師，噪音量已可達 55-65dBA (Sanders, 1965)。前述邢敏華等 (民 88 年) 的調查發現，國內手語爲主、人數 5~8 人的啓聰班教室噪音值已非常接近 60dBA。若以一般約 40 人的普通教室而言，噪音量應遠超過 60dBA；再加上多數教室採開放式設計，門窗直接向外開敞，故噪音量應接近 70dBA。

最後一項影響教室音響的因素是餘響 (reverberation)，即聲波在室內遇到堅硬的表面，產生一連串折返使聲音持續迴盪的效果

(Lochner & Burger, 1964)。餘響之所以不容忽視除因其本身影響語音接收外，更因與噪音並存時會產生加乘效應。例如，當噪音與餘響分別會減低 5% 語音接收時，若將兩情境合併，則可以降低語音接收 20~30% (Nabelek & Pickett, 1974a,b; Crandell, Smaldino, & Flexer, 1995 等)。

一般描述室內餘響狀況都以餘響時間 RT (Reverberation Time) 的長短來界定，即在門窗關閉且無人狀況下，測量信號 (impulse) 播放後自結束到強度比原來降低 60dB 所需的時間。RT 隨空間的體積增大成線性增長，亦隨室內物體及表面的吸音量增多而減短。國內教室上課時門窗開敞，使信號反射面積減少，會使 RT 縮短；而學生的進入，因增加額外的吸音物 (如衣物、毛髮)，也會改變實際的 RT。

目前美國聽語學會所建議的 RT 標準是不超過 0.4 秒，以免影響語音的接收。根據國外研究顯示，約有 75% 的教室 RT 都在 0.4 秒以上，甚至有的高達 1.2 秒者 (Crandell & Smaldino, 1995)。國內邢敏華等 (民 88 年) 的調查也發現 RT 平均值高達 0.9 秒。以其所測之最小規格教室 (地坪面積 24m²、體積 84m³)，所測得之空教室各頻率餘響時間範圍在 0.8~1.2 秒，而最大教室 (地坪面積 40m²、體積 127m³)，所測得之餘響時間範圍高達 1.3~1.6 秒。既然國內一般校舍的興建從未考量建材與結構的隔音效能，可以預見的情況是：教室空間增大，RT 亦必增長。然因上課時教室門窗大開，明顯的減少了聲音自兩側反射或折射的機會，因此 RT 的測量數據，未必能用以正確描述學童上課時所經驗的實際反響狀況或用以評估其與語音接收的關聯。

二、理想的信噪比

信噪比 (Signal-to-Noise Ratio) 是指環境中信號與噪音的比值，代表信號超出噪音的量，以 dB 爲單位。因 dB 爲一對數值，故可將

兩音量相減以求出比值。例如，信號為 70dB、噪音為 50dB 的環境，其信噪比是 (70-50) 20dB。雖然美國聽語學會只為感覺神經性聽障學生定下了 15dB 以上的信噪比標準，但教育聽力學界仍建議提將此標準沿用於一般生，並建議透過個人或聲場調頻系統 (Sound-Field FM System) 的使用來達成此一標準，以提供學生優良的聽覺接收環境。此建議是根據研究發現，兒童、尤其是感覺神經性聽障者的語音辨識表現，要在信噪比達 15dB 以上才趨穩定，而若要達此標準，空教室的噪音量就不得超過上述 30-35dBA 範圍 (Crandell & Smaldino, 1995, p.36)。這項條件的必要性，將於後文討論。

一般而言，國內教室聽的環境品質遠落在先進國家標準之下，而改善途徑不外就上述影響聲響因素著手。但是當師生間距離被座位限定、餘響情況取決於建築設計、噪音毫無阻攔進入教室的條件下，信噪比的控制便成為改善教室聲響的唯一途徑。目前國內各級學校老師上課時，常以單一喇叭擴音器 (俗稱小蜜蜂) 放大音量，其價格每套約在五千元內，但到底造就了什麼樣的聽環境，仍值得探討。美加地區學校的做法則是使用聲場調頻系統，每套約需 4~6 萬元臺幣。擴音器與聲場調頻系統最明顯的功能差異在於前者的信號從一個可隨身攜帶的喇叭播放，提供單一方向的放大；而後者的信號則是從多個環繞教室四周或置於天花板中央的喇叭播放，提供前後多方位的放大。

三、聲場調頻系統

一般調頻系統是由麥克風、發射器和接收器三部份所組成，主要是供個人使用。在啓聰班的用法是：教師胸前佩掛麥克風，連接到繫於腰際的發射器，學生佩戴接收器。教師的信號經由特定無線電波頻道發射，再靠接收器將信號放大並連接至學生的耳機或助聽器。由於無線電波有將遠端信號帶至近處的效果，因此無論座位遠近，學生所接收到的信號強度都一

樣。如此，不但克服了因距離引起的教室後方信號衰減的問題，更彌補了助聽器同時放大信號與噪音的缺點，有效提高信噪比。

聲場系統的使用原理與個人系統相同，但以放大器 (固定於教室前方牆上) 及以有線方式連接的數個喇叭 (固定於室內四周或天花板中央) 整合為接收器。實際操作及音量設定方式如下：(1) 使用者首先以音量計 (sound level meter) 在教室座位區中心點測得噪音量，(2) 以此量加上 15dB 算出適當的信號音量，(3) 將聲場調頻系統打開，讓信號從四周的喇叭播出，(4) 再持音量計回到原中心點測量，並在舒適且無音響回授 (acoustic feedback) 的前提下，將音量計所顯示的接收器放大音量數值調整到等於步驟(2)所算出的音量，即完成音量設定。由於信號量是根據噪音量加上 15dB，所以如果教室各處噪音量與中央處近似，則經過上述(1)到(4)步驟，就已將教室改造成一個信噪比在 15dB 的均勻理想聲場。

有關聲場調頻系統對改善學習的實際成效，文獻已廣為記載。研究內容包括學習速度、口語行為反應、注意力及在距離變換情況下，單字及語句的識別、拼字及聽寫能力。其中口語識別的研究報告結論顯示，聲場系統可以同時幫助一般學生與特殊學生在教室中的學習。Zabel & Tabor (1993) 的研究比較 145 位三、四、五年級的一般學生在無放大 (信噪比=0) 與聲場放大系統下 (信噪比=12) 的聽寫拼字能力。結果發現在聲場系統下，所有學生的拼字成績都顯著的增加。Blair, Myrup, & Viehweg (1989) 的研究則以中重度的聽障學生為對象。結果發現，若在個人助聽器外加上兩個喇叭式的聲場系統，可使他們的語詞聽識得分增加 12%。Jones, Berg, & Viehweg (1989) 的研究則以聽力正常幼童與輕度聽障的幼童為受試，所得結果是，在幼稚園教室裡使用 (天花板懸吊式) 聲場調頻系統所得到的口語接收效果，等同於將師生距離縮短至四英

尺（約 1.2 公尺）。這項結果證實了此系統確能解決信號因距離而減弱的問題。此外，Flexer, Millin, & Brown (1990) 對聽力障礙兼具發展遲緩的學童的研究也發現，這些學童在聲場系統下所犯的語詞指認錯誤比在一般聲場下減少了三分之二。

以上這些研究雖然提供聲場調頻系統在改善教室聽的品質上有利的支持，但類似的結果能否在國內的教室中重現，則需要實驗證實。如此質疑主要是考量到調頻系統功能的發揮全賴均勻聲場的建立，即聲場內每一處的信噪比都固定維持在最佳語音接收的預設值（15dB 左右）；但國內校舍的開放空間設計，預計將無法滿足此一條件，自然也不易達成最佳功能。由前述此系統的音量設定步驟可知，全聲場信噪比的設定是以教室座位區中心點的噪音量為依據。因此，若要此中心點的理想信噪比可以推廣到聲場內的每一處，必要條件是聲場內每一處的噪音量是一致的。美加地區教室可以達到此標準，主要是因為位處寒帶，教室多封閉於在建築物內，噪音量鮮受戶外活動影響，上課時教室內各處的噪音量差異不大。反觀國內教室，由於位處高溫高濕地帶，設計上須以空氣流通為主要考量，所以多採長廊式排列，兩側並以敞開的大型門窗取代全面的圍牆，經常造成外在環境活動控制教室內聲響的情況，而教室前、後、左、右各處亦隨與室外噪音來源的距離差距，呈現不同於中央處的噪音量變化。因此在開放式的教室設計之下，即使使用聲場調頻系統，估計也難建立起均勻的聲場。

開放式空間設計可能造成的另一操作困擾在於高噪音時擴音系統音量的設定。一般聲場系統操作時，為維持固定的信噪比，噪音增大時，信號亦須隨之加大。若以 15dB 信噪比為例，當噪音量超過 70dBA 時，信號勢必得提高至 85dBA 以上。但此音量相當於近距離鋼琴演奏的音量，遠超過一般人聽覺舒適的音量程度

（約 60dBA），再加上有 70dBA 背景噪音的干擾，自然談不上還保有任何聽的品質了。因此，鑑於國內與美加地區迥異的校舍建築，即使面對眾多聲場調頻系統有利的研究報導，我們仍覺得有必要檢驗其適用性，以確定是否真如廠商所宣稱：該系統的使用「不受制於基本教室音響狀況」。

關於國內教室音響品質不佳的報導，常見於媒體。雖有抽樣測量研究証實現況與理想標準差距甚遠，但這些測量數據究竟意味著何種聽的品質、何種收聽效果，甚至該如改進，至今尚無具體描述與做法。綜觀國外過去聽力學與聲響心理學近四十年的研究資料，得知學界對於噪音、反響、信噪比及聽力輔具對個人（包括聽力正常與各類聽障）言語聽知覺（speech perception）的影響已累計眾多知識（請參閱 Helfer & Wilber (1990) 之文獻回顧）；然而根據這些結果所推衍出來的改進方式，是否確定有效及合宜性，則常須實地研究證實。本研究實地就此對國內教室聽力接收現況進行了解，並就現有的教室音響產品評估其改善功能及經濟效益。研究方式是以自然音響狀態下的單音節語詞指認測驗（monosyllabic word identification）得分，做為評量一般教室音響品質的依據。另外，再在聲場調頻系統的使用下，進行相同測驗，以決定此種受美加地區學校歡迎的設備，是否適用於國內一般基本教室聲響狀況，提供有效改進。其結果將與目前國內多所學校採用的聲音擴音器（俗稱小蜜蜂）所提供的效果進行比較，以評量兩者的經濟效益。綜合上述，本實驗的具體目標包括：

- (1) 提供具體數據，以了解國內市區教室在自然聲響狀態下所能提供的語音接收實際狀況，
- (2) 決定聲場調頻系統的裝置是否有助於國內教室內語音之接收，
- (3) 決定聲場調頻系統所提供語音接收效果是否優於屬低價位的聲音擴音器，及是否符合經濟效益。

實驗方法及步驟

一、受試對象

本研究以新竹市區兩所公立國民小學共三個班級做為受試班級，但不同年級，以便發覺實驗結果是否亦可能受年齡及語文學習年限等非本實驗所控制的因​​素影響。由於考量到實驗評量方式牽涉注音及識字力（見 2.2.2 節），對低年級生而言，此兩項多屬初學階段，而高年級班的上課時間，可能受畢業活動影響，不利實驗進行（下學期），因此以中年級為實驗年級。至於班級的挑選，乃依委請兩校校長協商有意願參加的班級導師而定，以便配合實驗設備安裝及在上課時段進行音響及聽力測試。受試班級的數量則受制於實驗的設備經費。

受試班級中一班為三年級，兩班為四年級（以下稱「三年級班」、「四甲」、「四乙」），人數分別為 32、37、36，皆為普通生，無領有殘障手冊者。扣除因缺席造成的樣本流失，實際統計的樣本數，三年級班為 31 人（前座 17，後座 14）；四甲為 35 人（前座 17，後座 18）；四乙為 35 人（前座 23，後座 12）。基於本研究著重於了解一般現行教室硬體所允許的整體收聽狀況，而非探討個人的聲響心理，因此實驗時皆以各班當日所有出席學童的聽力現狀進行測試。

二、測驗及試題紙本編製

一般語音聽力測驗可採用的內容有三：單音節語詞、多音節語詞或短句，但就聽力識別難易而言，三種內容的程度並不相同。早期研究指出，在其他試題條件相同的情況下，詞句愈長，愈容易被聽懂（Miller, Heise, and Lichten, 1951），原因在於前後文脈提供了非聽覺的語言線索，幫助化解語意。本研究亦據此在導航測驗階段，設計了此三種測驗。除單音節語詞（對應於試題紙本上的單字詞）的試題外，亦根據只變換聲母的原則，設計了雙音節語詞（試題紙本上的雙字詞）指認選題（如 1.排

練 2.白麵 3.臺電 4.來電），而短句則為長度為 10 個音節的無意義短句（如「詳細的妹妹在果凍裡飛」），目的在以近似的語音及不合聽者心理期待的語詞組合來減少語詞之間互相提供的語意線索。導航測試結果顯示，在三種實驗音響情境下，各班雙音節詞的指認正確率都在九成左右，顯示語意線索足以抗拒聽覺線索之不足，故試題已缺乏效度。而無意義短句的聽寫部分，得分又偏低，平均皆落在 50~80%之間。根據測試現場學童反應得知，答題時，除聽覺感知因素外，學生對無意義句的聽覺記憶、聽寫能力以及對題目內容的新奇感，都影響作答的表現。因此為求測驗效度，決定以單音節語詞做為正式測驗的唯一題型。

測驗為含五十個國語單音節語詞的聽覺識別測驗。詞的選擇是以語音聽力測驗製作方式為原則，將所有可能出現在國語音節首的 21 個聲母搭配四個主要的單韻母（/Y、一、ㄨ、ㄩ/）形成可能音節組合，再配上不同的聲調。由於受國語音韻限制，每個聲母只能與上述四韻母中一到三個韻母結合，例如聲母「ㄉ」不能與「ㄩ」結合，故只有「ㄉ一、ㄉㄨ、ㄉY」被列為試題；而聲母「ㄟ」只可能有「ㄟY、ㄟㄨ」兩種組合，因此每個聲母或韻母在測驗中的出現頻率並不完全相同。

(一) 試題錄音

試題分 (1) 題號及 (2) 題目內容（即單音節語詞）兩部分分開錄製，由一成年男性擔任 (1)，女性擔任 (2) 部分的誦讀，以便於聽覺上對內容的區分。至於選擇女性誦讀題目內容，乃依據目前小學教師多數為女性的考量。題號及內容以數位錄音方式分開存檔，再配合試卷版本，變更內容檔案順序，製成 A、B、C 三個版本，分存於不同光碟，並隨班級及實驗情境，變換版本。每題題號（如「第一題」）錄音所佔時間約為二秒鐘，內容（如「讀」）長度約 1 秒，題號與內容間距為 5 秒，並預留 5 秒供學生作答。實驗時，不同情境下的信號的

音量校準 (calibration) 皆以女性發聲的題目內容部分為依據，並根據實驗情境所需之信噪比設定不同音量 (步驟見 2.5.1)。錄音場所之噪音量控制在 50dBA 以內。

(二) 試題紙本編製

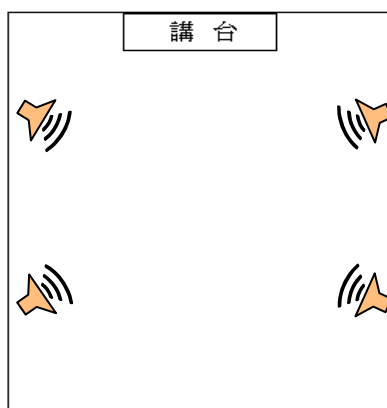
測驗以團體筆試方式在各班所屬教室進行：受試學生靜坐在原座位上，聆聽所播放的光碟試題內容，同時在印製好的試題紙本上，依題號順序，在每題的四個選項中，選出對應的中文字。為控制紙筆測驗中識字能力的個別差異，所採取措施包括：所有選項之文字皆取材自國小一至五冊坊間各國語課本版本，並經各班國語任課老師確定試題用字皆為該班學童所熟悉；另外，每中文字選項都以旁加注音符號方式呈現。四個選項中，除其一是與光碟播出的音節對應的中文字 (即標準答案) 外，另外三個設為誘項，其讀音皆與標的音節類似，有相同的韻母和聲調，但聲母不同。例如標的音「讀」(ㄉㄨˇ) 的三個誘項為「圖」(ㄊㄨˊ)、「福」(ㄈㄨˇ)、「湖」(ㄏㄨˊ)。又由於此聽力測驗在不同音響情境下測試三次，為避免結果受受試者答題的記憶影響，題本亦配合錄製好的試題光碟編印成 A、B、C 三版本，其差異為題序與各題內的選項次序不同。如試卷 A (見附錄) 的第 15 題：「(1) 組 (2) 苦 (3) 谷 (4) 府」，在試卷 B 是第 24

題：「(1) 苦 (2) 組 (3) 府 (4) 谷」，在試卷 C 則是第 46 題：「(1) 谷 (2) 府 (3) 組 (4) 苦」。在使用 A 卷的實驗情境，光碟 A 會在進行至第 15 題時播放「ㄉㄨˇ」；學生則應在瀏覽「(1) 組 (2) 苦 (3) 谷 (4) 府」四選項後，在題號前的括弧內寫下「4」。在使用 B 或 C 卷的情境下，正確作答方式亦據此類推。

三、聲場系統之安裝

三受試班級的格局大致相同，約為 9m (寬) × 6m (長) × 3m (高)。教室皆位於二樓，其中三年級班兩側皆有走廊，其餘兩班只在入口 (左) 側有走廊。四甲班教室後方緊鄰樓梯間，並與左方的校舍在該處呈直角相交。各班上課時固定的噪音的來源包括走廊外水泥空地上體育課的學生、前後班級老師使用的擴音機、窗外小朋友的活動聲以及教室旁樹上陣陣的蟬鳴。

本實驗採用之聲場調頻系統為 Phonic Ear Easy Listener，含麥克風、發射器 (300T) 及接收放大器 (300R) 連接四個喇叭。信號自麥克風輸入後經發射器無線傳送至牆上的接收器，經放大後由四個喇叭放送至教室內。喇叭的安裝乃依照製造商建議，固定在教室兩側牆上，左右各二，分置前後，前者緊鄰第一排課桌椅外側，後者緊鄰末排外側。喇叭的裝置皆採俯角，並面向教室中央。



圖一 聲場調頻系統接收器 (喇叭) 位置圖

四、實驗設計

實驗為三因子混合設計，其中音響情境是一受試者內因子，班級及座位區則為二受試者間因子。音響情境共有三種：(1)「無放大音響」（以下稱「自然」）：聽力測驗試題以一般教師上課音量（60dBA）播放，不提供任何額外音響放大，(2)「聲場調頻放大系統」（簡稱「調頻」）：經由事先裝置在教室內的聲場調頻系統，以實驗所需信噪比提供定量放大。(3)「聲音擴音器」（簡稱「擴音器」）：以俗稱「小蜜蜂」的擴音器，以相同於調頻情境的信噪比提供定量放大。受試的三班級，都依原校原班方式編排。座位區分「前」、「後」兩區，以距離講臺前緣兩公尺為分割線，對應結果是前三排為前區，四排起為後區。

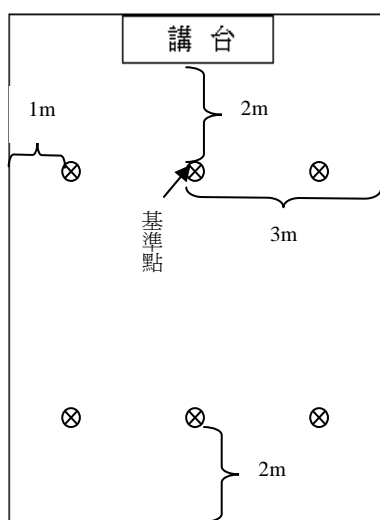
五、實驗步驟

本研究比較在教室內「自然」、「擴音器」、「調頻」三種音響情境下，學生指認單音節語詞的正確程度。施測次數共 9 次（3 班×3 音響情境）。測驗分多天、不同時段進行。由於教室外的活動可引起室內噪音量明顯的波動，而試題播放的音量卻須依據當時段的噪音量來計算，為確保教室內音響符合實驗所需的

信噪比，每次施測皆依據下列步驟進行：1.現場噪音測量，2.依現場噪音量及為該情境預設之信噪比，設定試題光碟（即信號）播放之音量，3.進行語音聽力測驗。無論情境差異，信號源（光碟機）皆固定在教室前方講臺的中央位置，但由於聲音的強度隨測量位置而不同，故信號強度的測量及信噪比之計算皆以教室中央距離講臺前緣兩公尺處（即中前參考點）所測得之音量為依據。測量時，音量計（Sound Level Meter）（Quest 1700）之麥克風高度皆固定於離地面一公尺（相當於學生採坐姿時耳朵的高度），方向皆對準講臺中央。

（一）噪音測量

本研究所採用的教室音響測量方式乃依據 Smaldino & Crandell（1995）所述。噪音測量是指學生靜坐在座位而老師不說話狀況下所測得之室內噪音量，並於下列六個測量點進行採樣：如圖三所示，(1)「左前」— 最左排第一張座椅外緣，(2)「左後」— 最左排最後一張座椅外緣，(3)「右前」— 最右排第一張座椅外緣，(4)「右後」— 最右排最後一張座椅外緣，(5)「中前」— 教室中央距離講臺前緣兩公尺處，(6)「中後」— 教室中央最後排。



圖二 教室內信號與噪音量的六個測量點

為求測驗外在情境盡量一致，所有的測驗皆在晴天進行，並對可控制的噪音加以管制，如關閉室內電扇，並派人守候在教室外走廊，提醒過往的學生放輕腳步，停止喧嘩。測量音量時也請學生靜坐，禁止走動。然而在測試情境中仍有許多不可控制的環境噪音來自隔壁班的教學活動、操場上的競賽、及此起彼落的蟬鳴等，造成不同施測時段室內噪音量的一些差異（55-73 dBA）。

(二)各情境之預設信噪比及信號（試題）播放音量之設定

根據情境特性，我們預先設定三種情境之信噪比，並用施測時測得的噪音量計算出信號（試題）在不同情境的播放音量。各情境之信噪比如下：

a. 「自然」情境：信噪比為 5-6dB，以模擬一般教室在無音響裝置時，教師與背景噪音的音量比。

b. 「調頻」情境：本欲根據美國聽語學會建議將信噪比訂於 15 dB，但在實際施測前的噪音測量中即發現，正如前述，空間開敞的教室噪音可達 70dBA 以上（Berg1987, p. 107）。而以此值推加出的理想信號量須高達 85 dBA，不但超出常人聽覺舒適範圍，且常產生刺耳的音響回授，因此只得將信噪比調降為聽力學操作上可接受的 10-14dB 範圍內。

c. 「擴音器」情境：為造就與「聲場調頻系統」可互相比較的擴音情境，本情境中的教師音量（信號強度）亦被設定在高於噪音 10-14dB。

實際音量設定步驟如下：

(1)取(一)所述（「中前」）基準點所測的噪音量（X）以及上述預設之各情境信噪比（Y），算出適當信號音量 $Z (=X+Y)$ 。

例如在自然情境，甲班在基準點（即「中前」）測得噪音量為 56dBA，為達到為 5-6dB 的信噪比，「中前」點信號量則定在 62 dBA（=56+6）；在調頻情境，測得噪音為 68dBA，而預設信噪比為 10-14 dB，根據「在舒適條件下擇其最高音量原則」選擇，故「中前」點信號量定為 80dBA（=68+12）；在擴音器情境，測量噪音量為 57dBA，為達到為 10-14dB 的信噪比，「中前」點信號量則定在 71 dBA（=57+14）。

由於無論噪音或光碟所播放的語音信號本身皆含少許的音量變化，因此實際設定信噪比時，所能控制的在於將此比值落於 10-14dB 的範圍。若噪音過大（超過 70dBA）時，信噪比只能設定在接近 10dB，而非 14dB，以免 80dBA 以上的信號造成不悅的聽覺效果。

(2)由實驗人員甲啟動位於教室前方講臺的中央位置信號源（Panasonic SL-CT800 光碟機），播放模擬試題。

(3)由實驗人員乙持噪音計至教室「中前」基準點對準光碟機方向測量，並指示實驗人員甲調整光碟機音量，直到噪音計顯示試題單音節部分音量達上述 Z 值為止，並以該音量設定播放適當版本試題，進行測驗，即為該情境的信號音量（見表一「中前」信號欄）。

(4)測驗進行中，實驗人員乙至「中前」以外的五個測量點，以噪音計對準光碟機方向，讀出並紀錄各點所測得的音量，為其各點在該情境的信號值（見表一「中前」以外之各信號欄）。

根據以上步驟所得的測驗時各採樣點之信號以及噪音測量（2.5.1）結果，皆紀錄於表一。

表一 各測量點施測時之信號及噪音音量 (dBA)

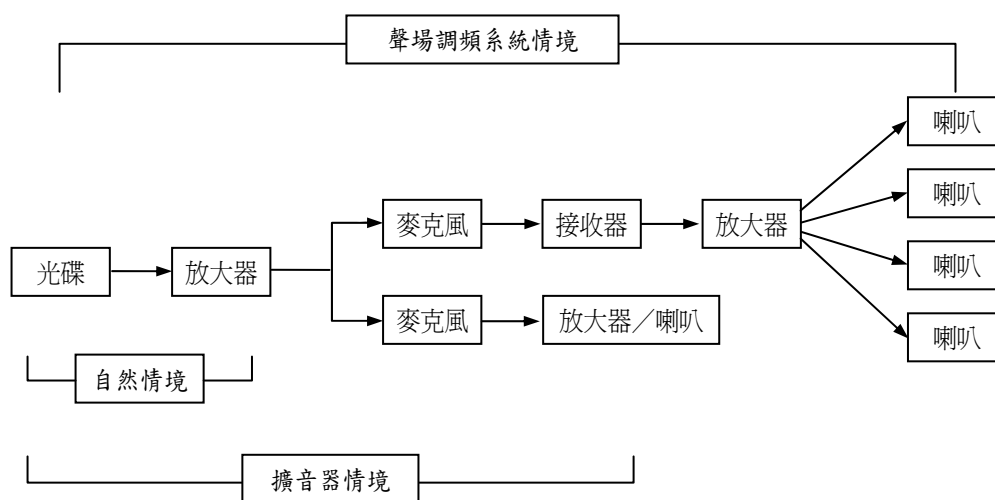
情境	測量點位置					
	中前*	左前	右前	左後	中後	右後
三年級						
自然						
信號	62	63	62	60	58	60
噪音	56	58	60	57	55	60
擴音器						
信號	71	70	71	65	66	66
噪音	57	57	55	58	56	56
調頻						
信號	80	80	80	80	80	80
噪音	68	70	68	68	68	69
四甲						
自然						
信號	74	75	74	69	69	70
噪音	69	70	71	71	69	72
擴音器						
信號	68	68	68	67	67	66
噪音	55	59	55	62	54	52
四乙						
自然						
信號	70	70	69	66	67	67
噪音	64	67	64	71	63	65
擴音器						
信號	83	82	82	78	80	80
噪音	72	73	72	73	72	70
調頻						
信號	73	72	73	72	73	72
噪音	61	65	62	67	61	62

註：*為測量基準點

(三)各情境信號傳送途徑及音量控制方式

各情境的信號傳送途徑如圖三：自然情境的信號源自光碟機，以其外接的放大器（置於講臺中央）為終端輸出；播放時，光碟機的音量調至最大，再由外接放大器補足該情境所需音量。調頻情境的途徑是光碟機經外接放大器，再經調頻系統的麥克風（置於講臺中央的光碟機外接喇叭前方）、發射器，經放大後，以教室四周的喇叭為終端輸出。至於擴音器情

境的途徑，除終端輸出改為擴音器的麥克風接單一喇叭（置於講臺中央的光碟機外接喇叭的前方）外，其餘與調頻情境相同。為減少傳送階段中各音響系統因本身音量改變所可能引起的音效差異，在實驗時，無論情境差異，光碟機與其外接放大器的音量設定都維持在自然情境的設定，不足部分再靠最後輸出系統（即聲場調頻系統或擴音器）內建的放大功能提供。



圖三 各情境信號傳送途徑

(四) 語音聽力測驗及試題版本施測次序

三個班級學生在原屬教室接受團體單音節語詞識別測驗。每班都接受三種情境施測，但受測情境順序不同。為避免學生對試題記憶，

因此變換情境時亦變換書面試題版本。情境呈現與試題版本的使用經交互平衡後均等（見表二）。同一班級的兩次施測，至少間隔三天。

表二 各班級在各情境所使用之試題版本

班級	情境		
	自然	擴音器	調頻
三年級	C	B	A
四甲	A	C	B
四乙	B	A	C

每次施測歷時 40 分鐘。先由施測人員說明作答方式以及指導語。施測人員指示受試學生注意聽試題題號（第 X 題）及隨後出現的單音節語詞，再從試卷上題號相同的四個選項中，選出與所聽音節最符合的一個中文字，並將代號填入題號前的括弧。接著帶領全班以貼於黑板上的大字報進行練習，以確定全班均熟習作答方式。一切就緒後，發下題本，請學生填上座位編號，並由光碟機播放試題，施測完畢立刻回收試卷。施測結束後，受試學生皆獲贈飲料或糖果一份。

結果

表三所列的是各班在各情境下，前、後區的平均得分及標準差。三因子（3 班級×2 座位區×3 音響情境）變異數分析（ANOVA）結果顯示，音響情境的主要效果達顯著差異， $F(2, 190)=262.513, p<.001$ ；單純主要效果檢驗顯示，「擴音器」和「調頻」兩種放大音響情境下的表現優於「自然」情境，但兩放大情境之間並無顯著差異。班級的主要效果達顯著差異， $F(2, 95)=8.616, p<.001$ ，經 Scheffé 對比

比較檢驗，三年級優於四乙，但三年級、四甲之間以及四甲、四乙兩班間並無顯著差異。座位區的主要效果亦達顯著差異， $F(1, 95) = 20.111, p < .001$ ，顯示前區優於後區。班級和音響情境間的二因子交互作用顯著， $F(4, 190) = 12.333, p < .001$ 。另就各班級進行各音響情境間的配對比較 (pairwise comparisons)。三班當中，只有四甲的三種音響情境間的表現皆達顯著差異 (調頻 > 擴音器 > 自然)，其餘兩班兩種放大音響情境的表現亦優於「自然」情

境，但兩放大情境之間並無顯著差異 ($\alpha = .05$)。座位區和音響情境間的二因子交互作用亦顯著， $F(2, 190) = 6.940, p < .001$ ，分別就前、後區進行各音響情境間的配對比較。兩座位區中，只在後區三種音響情境間的表現達顯著差異 (調頻 > 擴音器 > 自然)，而前區是兩種放大音響情境的表現優於「自然」情境，但兩放大情境之間並無顯著差異 ($\alpha = .05$)。班級與座位區的二因子交互作用和實驗的三因子間交互作用皆未達顯著效果， $F_s < 1$ 。

表三 各班在不同音響情境下單字詞指認的得分平均數及標準差 (%)

座位區	n	自然		擴音器		調頻	
		平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
三年級							
前	17	71.76	9.22	94.00	2.55	91.41	3.66
後	14	63.29	15.32	92.85	5.30	92.29	4.29
全體	31	67.93	12.86	93.48	3.99	91.81	3.91
四甲							
前	17	75.88	9.84	86.47	7.86	94.47	2.70
後	18	66.00	6.79	75.22	7.13	92.22	3.06
全體	35	70.80	9.68	80.69	9.33	93.31	3.07
四乙							
前	23	66.35	12.91	88.43	6.58	87.04	14.24
後	12	59.00	4.63	83.83	4.30	87.17	4.22
全體	35	63.83	11.29	86.86	6.23	87.09	11.71

討論

在對研究結果進行討論前，我們須先了解這些結果所來自的實驗環境，尤其是兩種放大系統將開放式的教室營造成怎樣的聲場。以下從教室內測得的信號量、噪音量、及信噪比三方面來評量。根據表一所列的信號 (試題) 音量測量結果，可以看出，無論班級差異，調頻情境下各測量點所得音量幾近一致，但在擴音器情境下後方測量點的音量都一律比前方減少約 6dB。回顧兩系統的主要音響差異：聲場調頻系統的信號由固定在教室四個角落附近的

四個喇叭同時播放，所以前、後區的音量相同，而擴音器系統只含一個手提式喇叭，置於前方講桌中央。根據距離加大一倍，音壓則下降 6dB 的原則，在中前點設定好的音量隨空氣傳到教室後區尾端座位 (如左後、中後、右後) 時，音量必定下降。因此這樣的數據完全符合我們對兩類放大系統差異的期待。又根據噪音資料得知，三班級在實驗時所經歷的噪音範圍在 55-72 dBA。雖然噪音量的變化絕大部分來教室外的活動，與放大系統的使用無關，但其變化卻決定了信號藉放大系統傳送音量。例如，噪音量偏高 (達 70 dBA) 的測驗情

境包括四甲的自然情境及四乙的擴音器情境；前者對信號音量設定未造成影響（所需信噪比為 5-6dB），但後者卻受前述提及的音量舒適度限制，使信號放大量受到壓抑，以致音量在前中基準點即無法超越 83 dBA，其餘各點所得的信號量皆更低。換言之，噪音的明顯變化造成信號在不同情境中，曾以 58-83 dBA 的音量播送，而這樣大的音量差異完全是依據各情境所需之信噪比要求。

表四所列的是根據表一計算出的各班在各情境下各測量點的信噪比。檢視結果發現，每次施測時，各點之間的信噪比出現 0-9dB 的差距（9dB 出現在三年級的擴音器情境和四甲的調頻及擴音器情境），甚至超越所有自然情境下的點間差距（最多是四甲的 7dB）。在自然情境下，各測量點的信噪比都被控制在 6dB 以下，以模擬真實無放大的情況；而使用擴音器後，教室前區的信噪比都接近理想標準，但因距離的影響，後區卻無任何測量點的信噪比能超越 10dB，甚至在外界噪音大時，有低至 4dB 者（四甲右後）。而調頻情境下，雖有喇叭從兩側牆的前、後方播送放大的信號，但值得注意的是，前後皆有低信噪比出現。尤其是，該情境下三班 18 點中最低（ $\leq 10\text{dB}$ ）的六點中有五點是出現在三班左側的前後點。與實際環境對照發現，該側全為開敞的門與窗，而且緊鄰走廊。由此可見，調頻系統兼顧前後的放大設計，仍抵過外界自由入侵的噪音。而廠商所宣稱：該系統的使用「不受制於基本教室音響狀況」的說法，顯然不適用於開放式的教室。

顯然，若就提升音響均勻度而言，無論擴音器或聲場調頻系統，都未能達到標準境界。然而，同樣的缺失卻有不同的緣由。擴音器情境以其單一喇叭提供單點放大，所以無法克服信號傳到後方因距離而衰減的物理障礙，但噪音卻因來自各方，沒有因距離而衰減的問題，兩者交會結果在後方造成信噪比下降。而調頻

情境以分散的喇叭雖提供了多方向等量的放大音源，但因開放式教室內四周噪音量成動態變化且往往不一致，造成音量設定上的困難，所以仍然無法發揮其一統室內信噪比的功能，留下與擴音器一樣欠完美的效果。

然而根據表一記錄可發現，聲場調頻系統仍然有擴音器無法取代的優勢。擴音器因受限於信號輸出端數量及地點，使得教室後方比在調頻情境下更難維持良好的信噪比。如前所述，無論噪音量多寡，在擴音器情境下，縱然教室前方多有理想的信噪比出現（9 點中有 7 在 11-16dB 間），在後方卻無一點高過 10dB。反觀在調頻情境，前、後方則無如此明顯的差異（後方 9 點中仍有 6 點在 11-14dB 間）。因此，經由上述的比較可以看出，調頻系統的特殊功能是顯現在教室的後方，而且關鍵點似乎是在能將信噪比維持在 10dB 之上。

以上的音效分析的目的是探究其與學童聽力接收的關係。根據實驗結果所顯示三班開放式教室在無放大音響狀況下的語詞指認的結果是：整體的單音節語詞指認正確率都在六至七成（三年級班平均是 67.93%，四甲 70.80%，四乙 63.83%）。若以語音分辨（speech discrimination）測驗標準衡量，此結果相當於臨床上中度語音辨識困難患者的表現（Goetzinger, 1978）。但由於本實驗所用的語詞指認測驗，為四選一的封閉式測驗，猜對機率為 .25，一般被視為較簡易的語音接收任務，若採開放式作答，困難度應高於本實驗所得數據。雖然，這項結果因受試者資格及測驗工具的語言差異，無法與國外相關的研究結果比較，但一致發現，調頻系統的使用可顯著的改善此狀況（三年級班增加 23.88%，四甲增加 22.51%，四乙增加 23.26%），並且將三班受試者的接收狀況提昇到九成以上，達到上述臨床表現的正常水準，顯示聲場調頻系統的裝置的確有助於市區內教室內語音之接收。同時三班皆有近九成的正確得分也間接反映，班級年齡差異非構成影響結

果的因素，且試題紙本中所選用的中文字，確為三班學童所熟悉，因而在自然情境下略低的語詞指認平均得分，所反映的應屬聽覺因素。

值得注意的是：上述聲場調頻系統的音響優勢並未明確的反映在受試者整體的語詞指認測驗結果上。經由與擴音器的效果比較發現，雖然調頻情境下的受試平均得分略高於價格僅及其十分之一的擴音器（90.69%比 86.75%），但差異並不顯著。為便利解讀這項意外的結果，另將各班各情境下的平均信噪比和測驗平均得分列入表四。根據平均得分的資料分析顯示，班級間的表現存有顯著差異，而且各班在三種音響情境下的表現並不一致。其中三年級班和四乙在兩放大情境下的表現一致，得分相似（分別是 93%、91%及 86%、87%），但是四甲卻出現顯著差異（80%、93%）。這些結果似乎都可從相對應的教室內的信噪比差異得到合

理的解釋。以這些數字對照各情境的得分即可看出，所有 90 分以上的平均得分都出現在平均信噪比達 10dB 以上的情境。三年級班在兩放大情境的平均信噪比皆接近在 11.5dB，接近理想，得分均接近 92%；四乙班的平均信噪比則皆在未達合格或可接受的 10-14dB 範圍，得分皆落於 90% 以下；而只有四甲的情況是不一致的：其中調頻情境的平均信噪比合格（11.16dB），但擴音器情境則不合格（9.5 dB），平均得分則分別是 93%和 80%，達顯著差異。值得注意的是：這些數據證明真正影響得分的不是情境，而是信噪比，而且關鍵值在 10dB 之上。這樣的結果若與上述提及的調頻系統優勢（即能將後方信噪比維持在 10dB 之上的）齊觀，更有助於我們看清：真正有助於教室音響狀況提昇的因素不在於放大系統的選擇，而是信噪比的改善。

表四 根據表一所計算的各班在各情境下各測量點的信噪比（dB）、平均信噪比（dB）、及語詞指認得分平均數（%）

情境	測量點信噪比						信噪比平均數	語詞指認得分平均數
	前			後				
	中	左	右	左	中	右		
三年級								
自然	6	5	2	3	3	0	3.17	67.93
擴音器	14	13	16	7	10	10	11.67	93.48
調頻	12	10	12	12	12	11	11.50	91.81
四甲								
自然	5	5	3	2	0	-2	2.17	70.80
擴音器	13	13	11	6	10	4	9.50	80.69
調頻	13	9	13	5	13	14	11.17	93.31
四乙								
自然	6	3	5	5	4	2	4.17	63.83
擴音器	11	9	10	5	8	10	8.83	86.86
調頻	12	7	11	5	12	10	9.50	87.09

由於前面討論發現，兩種放大系統在音響功能上的主要差異在於，面對開放的空間，調頻系統仍較能維持教室前後區一致的信噪比，但效果卻未明顯反映在整體測驗得分。因此將得分又根據受試者座位，分前後區統計，以檢驗是否此差異可反映在區域得分上。結果發現，前座位區的表現優於後區，而且兩區在三種音響情境下的表現也不一致。前區的表現是調頻與擴音器兩種情境表現皆優於自然情境，但兩放大情境之間並無顯著差異，但後區的表現是調頻的效果優於擴音器。這項結果再度證明信噪比、而非放大系統的選擇，才是影響語音接收的主因。

以上結果分析充分顯現了信噪比與語音接收的密切關係，並不斷印證在班級前後區間的得分差異、以及兩者與音響情境的交互作用上。有關信噪比與語音接收的密切關係早經相關文獻報導（Bench & Bamford, 1979; Plomp & Mimpen, 1979; Nilsson, Soli & Sullivan, 1994），例如，當信噪比設定在剛好讓聽者可以答對 50% 語音測驗試題時，每增加 1 dB 信噪比可將測驗得分提高 7~19%，且最少在 10 dB 以上得分才漸趨穩定，（Moore, 1998, p. 197）。這些結果提醒我們，改善教室音響的做法，不僅在於挑選適當的信號放大系統，更重要的是進行教室噪音的控制，有效創造並維持理想的信噪比。雖然大多數的研究結果都肯定聲場調頻系統在創造均勻的聲場上的功效，可讓每位學生脫離座位的限制，在理想的信噪比下聽課，但本研究結果證實，這樣的功能，只有在教室內各處的噪音量均衡的情況才能發揮。若教室是開放的空間設計，讓外界的噪音自由湧入，即使以理想信噪比啟動了聲場調頻系統，前後左右中各處所測的信噪比，仍可能有 6 dB 以上的差距（見表四）。如此一來，不但學生未享受到均勻的聲場，而室內的平均信噪比仍落於理想值以下，折損了該系統設計上的美意（如四乙班在聲場系統下得分仍未達 90%）。資料更

顯示，雖然在聲場調頻系統在改善教室後方的信噪比上有其獨尊的地位，但以三班級左側前後測得的信噪比可見，如此優良的設計仍有不敵外界噪音的情況。而根據「兩放大情境之間並無顯著差異」的統計分析結果以及「空間內影響語音接收的主因是信噪比，而非所選用的音響放大系統」的討論結果，我們可以審慎的說：在開放的空間裡，由於室內噪音量完全失控，將使聲場調頻系統無法將室內經營成均勻的聲場，也未必比用擴音器更能全面提昇教室的整體音響狀況（三班中有兩班，各自在擴音器與調頻情境的平均信噪比為都極為相似），僅能在教室後方，提供優於擴音器的音效改善。

本研究所得聲場系統效果不如一般預期的另一重要因素是：教室內基本噪音量過高。前文提及，美國聽語學會所建議的理想信噪比是 15 dB，但在本實驗中，因教室的噪音量過高（有達 73 dBA 者），若堅持理想信噪比，勢必將信號提昇到難以忍受的音量。權衡之下，只得將信噪比提昇至可接受的 10-14 dB。對照上述語音得分隨信噪比快速變化的關係看來，這樣的修改信噪比必然又牽制了聲場系統功能的發揮。這項研究過程另外印證了學者所強調的，為達 15 dB 以上的信噪比標準，空教室的噪音量就不得超過 30-35 dBA 範圍（Crandell & Smaldino, 1995, p.36），理由是如果超過此範圍，即使有效放大音量，也勢必須將信號提昇到難以忍受的程度。

根據上述的討論，我們可以就本研究所要探討的議題，提出下列的結論：國內教室音響不佳，其嚴重程度是：在無視覺、無語言脈絡線索的提示下，學生對於老師說的語詞，最少有近三成內容聽不清楚。雖然聽力學文獻常見以聲場調頻系統，製造均勻的聲場及利於語音接收的信噪比提高學習效果，但是國內教室如果維持開放式的空間設計，必將限制聲場調頻系統完全功能的發揮。而目前各級學校普遍使

用的單一喇叭擴音器（俗稱小蜜蜂），雖然對教室後座區提供的放大效果不如前座區，但也能將語音接收力平均有效的提升一至二成，足以媲美在門窗大開的情況下所使用的聲場調頻系統。若考量此兩種系統售價上的差異，擴音器實屬物超所值的選擇，但特教學生則必須安置在座位前區。而在經濟情況許可下，為公平顧及每位學生的學習利益，聲場調頻系統仍是最佳的選擇。

本研究結果為國內未來改善教室音響以利學習的研究，提供一起始點。未來研究可著重於在不同音響狀況下不同學習材料的學習效果，以做為其他領域教學的參考。本研究根據一般聽力測驗，以單音節語詞為測驗題材，雖能有效的描述教室音響對信號接收的影響，但卻未觸及較符合真實現象的語句接收情況。要了解後者以及其他學習過程受噪音影響的情形，測驗題材可以加入其他類型的語音測驗、聽覺理解測驗、聽寫測驗等。

除題型限制結論的推衍外，試題語詞的選擇也限制了對結果進行更細節的分析。例如，為反映實際的語音使用情形，題目內容包含了所有國語可能出現的主要音節組合，但因每個聲母無法搭配所有四個主要的單韻母組成合於音韻的音節，使得試題中每個聲母的接收情形無法在相同的語音環境（phonetic environment）下被檢視；又為了顧及便利評分，將題目數量訂為五十，非實驗所用聲母或韻母的整數倍，造成單音在出現頻率上的不均。如此，若僅紀錄最常錯誤的題目，卻無法就構音位置、方式、或韻母對聲母的影響進行錯答分析，其結論未必公允。未來研究可另選音節組合，以探究個別語音接收與音響關係。

本研究因著重兩種放大音響設備的基本音效差異（即後方的音效），故將測驗得分依前後區比較。更精細的分析是依六測量點將學生得分，分成六座位區分開計算，再與對應的信噪比進行分析。但所面臨的問題是：無法確定

前中與後中兩點可以合理的對應到那些座位。尤其是當緊鄰的兩點，如右後與中後點信噪比差距甚大（分別是 10 與 4dB）的情況下，考量到音量變化在空間上的漸進性，座位居中的三排學生所收聽的信噪比應非 10 或 4dB，而是 8-5dB。針對此問題，未來解決之道仍應回歸多數聽力學研究所採用的耳機實驗（earphone study），將測驗題材在不同音響狀況下先行錄製，再於隔音室內以耳機測試。如此研究者才能對受試者接受測驗時的信噪比有絕對的掌控，並進行有效分析。

另外可加強研究的重點是擴音器的使用方式。雖然本研究的實驗方式是依據一般使用法，將其唯一的喇叭置於講臺，也就是一般老師講課的位置，但這種把音源和放大的輸出處擺在一起的做法，難免對前排的學生提供過度放大的音效，不但徒增聽覺負擔，在效果上也造成浪費。因此，若將喇叭移至教室後方，應是較合理的應用方式，但實際造成的音響效益仍有待進一步的研究探討。有鑑於擴音器在本研究結果中所顯現的功能及高於聲場調頻系統的經濟效益，此方面的努力應極具實用價值。

參考書目

一、中文部分

邢敏華、黃士賓（民 88）：聽覺障礙學生教室音響環境之調查研究。國立彰化師範大學特殊教育學報，13，221- 238。

二、英文部分

American Speech-Language-Hearing Association. (1995). Guidelines for acoustics in educational environments. *Asha*, 37 (Suppl. 14), 15-19.

Bench, J. & Bamford, J. (1979). *Speech-Hearing Tests and the Spoken Language of Hearing-Impaired Children*. London: Academic Press.

- Berg, F. (1987). *Facilitating Classroom Listening: A Handbook for Teachers of Normal & Hard of Hearing Students*. Boston, MA: College-Hill Press.
- Blair, J., Myrup, C. & Viehweg, S. (1989). Comparison of the effectiveness of hard-of-hearing children using three types of amplification. *Educational Audiology Monograph, 1*, 48-55.
- Crandell, C., Smaldino, J., & Flexer, C. (1995). *Sound-Field FM Amplification: Theory and Practical Applications*. San Diego: Singular Publishing Group.
- Crandell, C. & Bess, F. (1986). Speech recognition of children in a "typical" classroom setting. *ASHA, 29*, 87.
- Crandell, C. & Smaldino, J. (1995). Acoustical modifications in classrooms. In C. Crandell, J. Smaldino, & C. Flexer (Eds.), *Sound-Field FM Amplification: Theory and Practical Applications* (pp. 83-92), San Diego, CA: Singular.
- Flexer, C. (1995). Rationale for the use of sound-field FM amplifications in classrooms. In C. Crandell, J. Smaldino, & C. Flexer (Eds.), *Sound-Field FM Amplification: Theory and Practical Applications* (pp. 3-16), San Diego, CA: Singular.
- Flexer, C., Millin, J., & Brown, L. (1990). Children with developmental disabilities: The effect of sound field amplification on word identification. *Language, Speech and Hearing Services in Schools, 21*, 177-182.
- Goetzinger, C. (1978). Word Discrimination Testing. In J. Katz (Ed.), *Handbook of Clinical Audiology* (2nd ed., pp. 149-158). Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
- Helfer, K. S. & Wilber, L. A. (1990). Hearing loss, aging, and speech perception in reverberation and noise. *Journal of Speech and Hearing Research, 33*, 149-155.
- Jones, J., Berg, F., & Viehweg, S. (1989). Listening of kindergarten students under close, distant, and sound field FM amplification conditions. *Educational Audiology Monograph, 1*, 56-65.
- Lochner, J. P. A., & Burger, J. F. (1964). The influence of reflections on auditorium acoustics. *Journal of Sound and Vibration, 1*, 426-454.
- Miller, G. A., Heise, G. A., & Lichten, W. (1951). The intelligibility of speech as a function of the context of the test materials. *Journal of Experimental Psychology, 41*, 329-335.
- Moore, B. C. J. (1998). *Cochlear Hearing Loss*. London: Whurr Publishers Ltd.
- Nabelek, A., & Nabelek, I. (1985). Room acoustics and speech recognition. In J. Katz (Ed.), *Handbook of Clinical Audiology* (3rd ed., pp. 834-846). Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
- Nabelek, A., & Pickett, J. (1974a). Monaural and binaural speech perception through hearing aids under noise and reverberation with normal and hearing-impaired listeners. *Journal of Speech and Hearing Research, 17*, 724-739.
- Nabelek, A., & Pickett, J. (1974b). Reception of consonants in a classroom as affected by monaural and binaural listening, noise, reverberation, and hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America, 56*, 628-639.

- Nilsson, M., Soli, S. D. & Sullivan, J. A. (1994). Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, *95*, 1085-99.
- Plomp, R. & Mimpen, A. M. (1979). Improving the reliability of testing the speech reception threshold for sentences. *Audiology*, *18*, 43-53.
- Rosenberg, G. & Blake-Rahter (1995). Sound-field amplification: A review of the literature. In C. Crandell, J. Smaldino, & C. Flexer (Eds.), *Sound-Field FM Amplification* (pp. 107-123), San Diego, CA: Singular.
- Sanders, D. (1965). Noise conditions in normal school classrooms. *Exceptional Children*, *31*, 34-353.
- Smaldino, J. & Crandell, C. (1995). Acoustic measurements in classroom. In C. Crandell, J. Smaldino, & C. Flexer (Eds.), *Sound-Field FM Amplification* (pp. 69-81), San Diego, CA: Singular.
- Zabel, H. & Tabor, M. (1993). Effects of classroom amplification on spelling performance of elementary school children. *Educational Audiology Monograph*, *3*, 5-9.

附錄 本研究所使用的單音節語詞指認測驗試題

1.	()	(1)	搭	(2)	拉	(3)	沙	(4)	巴
2.	()	(1)	福	(2)	讀	(3)	湖	(4)	足
3.	()	(1)	塔	(2)	把	(3)	法	(4)	哪
4.	()	(1)	拔	(2)	達	(3)	爬	(4)	查
5.	()	(1)	夫	(2)	姑	(3)	出	(4)	書
6.	()	(1)	息	(2)	皮	(3)	迷	(4)	提
7.	()	(1)	低	(2)	梯	(3)	吸	(4)	七
8.	()	(1)	他	(2)	媽	(3)	哈	(4)	發
9.	()	(1)	母	(2)	虎	(3)	努	(4)	土
10.	()	(1)	插	(2)	殺	(3)	媽	(4)	八
11.	()	(1)	府	(2)	捕	(3)	苦	(4)	母
12.	()	(1)	法	(2)	打	(3)	塔	(4)	馬
13.	()	(1)	器	(2)	記	(3)	力	(4)	替
14.	()	(1)	爬	(2)	茶	(3)	麻	(4)	拿
15.	()	(1)	組	(2)	苦	(3)	谷	(4)	府
16.	()	(1)	祝	(2)	速	(3)	富	(4)	庫
17.	()	(1)	西	(2)	梯	(3)	雞	(4)	匹
18.	()	(1)	踏	(2)	辣	(3)	怕	(4)	那
19.	()	(1)	機	(2)	梯	(3)	希	(4)	咪
20.	()	(1)	度	(2)	住	(3)	入	(4)	護
21.	()	(1)	哈	(2)	他	(3)	差	(4)	發
22.	()	(1)	路	(2)	兔	(3)	處	(4)	故
23.	()	(1)	住	(2)	布	(3)	戶	(4)	褲
24.	()	(1)	鼠	(2)	捕	(3)	主	(4)	府
25.	()	(1)	樹	(2)	故	(3)	住	(4)	鹿
26.	()	(1)	泥	(2)	奇	(3)	笛	(4)	皮
27.	()	(1)	服	(2)	胡	(3)	毒	(4)	族
28.	()	(1)	七	(2)	低	(3)	基	(4)	梯
29.	()	(1)	俗	(2)	獨	(3)	除	(4)	如
30.	()	(1)	母	(2)	土	(3)	乳	(4)	虎
31.	()	(1)	替	(2)	蜜	(3)	細	(4)	氣
32.	()	(1)	書	(2)	初	(3)	珠	(4)	夫
33.	()	(1)	古	(2)	捕	(3)	府	(4)	主
34.	()	(1)	木	(2)	戶	(3)	促	(4)	部
35.	()	(1)	除	(2)	胡	(3)	竹	(4)	圖
36.	()	(1)	粗	(2)	書	(3)	夫	(4)	哭
37.	()	(1)	度	(2)	兔	(3)	戶	(4)	肚
38.	()	(1)	米	(2)	洗	(3)	己	(4)	起
39.	()	(1)	洗	(2)	筆	(3)	你	(4)	幾
40.	()	(1)	記	(2)	閉	(3)	氣	(4)	細
41.	()	(1)	大	(2)	怕	(3)	那	(4)	踏
42.	()	(1)	序	(2)	句	(3)	去	(4)	線
43.	()	(1)	服	(2)	僕	(3)	讀	(4)	族
44.	()	(1)	粗	(2)	姑	(3)	夫	(4)	朱
45.	()	(1)	住	(2)	步	(3)	怒	(4)	付
46.	()	(1)	服	(2)	毒	(3)	除	(4)	竹
47.	()	(1)	父	(2)	木	(3)	度	(4)	庫
48.	()	(1)	裡	(2)	體	(3)	你	(4)	底
49.	()	(1)	叔	(2)	除	(3)	獨	(4)	如
50.	()	(1)	力	(2)	地	(3)	密	(4)	氣

註：本表內粗體為指認材料，題序與各題內的選項次序隨版本變化

Bulletin of Special Education 2004, 27, 93–111
National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

THE USE OF SOUND-FIELD FM SYSTEM IN CLASSROOMS: A TAIWANESE EXPERIENCE

Yuan-Chuan Chiang

Department of Special Education, National Hsinchu Teachers College

Shu-Hwei Yang

Tien-Jing Yao

Lung- chuan Elementary School

Hsin-hsing Elementary School

ABSTRACT

This study examined current listening conditions typically found in urban classrooms in Taiwan and evaluated possible effects of the sound-field FM system on improving the situation. FM systems were installed in 3 classrooms from two elementary schools. The effect of amplification was assessed by taking measures of word identification. The test materials were monosyllabic syllables presented under three acoustic conditions: (1) unamplified, (2) amplified with the FM system, and (3) amplified with a portable single microphone-amplifier (SMA) set. The results yielded 70% accuracy when amplification was not used. The scores obtained under the two amplified conditions (near or above 90%) were always higher than those from the unamplified condition. The FM system failed to render higher average scores than the low-priced SMA but did outperform the latter in maintaining better S/N and thus allowing better scores in the back half of the seating area. Further analyses revealed that better identification scores were associated more with the S/N than the amplifier used at the time of testing. The lack of unequivocal advantage of the FM system over the SMA was attributed to the open-space architectural design in the classrooms. In view of current economic and architectural conditions in local governments, any proposal of replacing the current widely-used SMA with the FM system needs to be further substantiated.

Key words: room acoustics, S/N, sound-field FM amplification system, word identification, classroom architecture