

國立臺灣師範大學特殊教育學系

特殊教育研究學刊，民93，26期，221-245頁

聽障學生國語語詞聲調人耳評分 與電腦分析之初探

張小芬 古鴻炎 吳俊欣

國立臺灣海洋大學 國立臺灣科技大學

本研究主要目的在探討聽障學生之國語語詞聲調問題、聽障學生與耳聰學生語詞聲調聲學特徵之差異情形、聲調在電腦分析與人耳評分的相關程度。研究樣本為十四名就讀一般學校之聽障學生與來自相同年級、性別、學校之十六名耳聰學生。

研究主要工具包括自編的國語語詞聲調評量表、自行研發之聲調語音訊號分析方法與軟體。主要的研究結果發現：

1. 聽障學生之四聲調得分會因聲調不同而有差異，第二聲和第三聲錯誤率最高。
2. 聽障學生之第二聲聲調在前時比在後時困難，第三聲語詞聲調，第三聲在後時比在前時困難。
3. 聽障學生之聲調得分，當目標聲調固定在前或後的位置，先行或後隨之語詞聲調不同時，目標聲調的得分並無差異存在。
4. 在聲學特徵方面，聽障學生與耳聰學生之第一聲與第四聲聲調軌跡大致相似；第二聲與第三聲，在聲調軌跡走勢則有顯著不同。第二聲不論是在二字詞的前面或後面，均缺乏上揚的趨勢，第三聲降的趨勢很緩慢，與耳聰學生差異特別大的是二聲在前與三聲在後的聲調軌跡圖。
5. 人耳聲調評分與電腦分析結果相當一致，人耳評量與電腦分析都發現第二聲與第三聲錯誤率最高。

關鍵詞：人耳聲調評分、國語語詞聲調、電腦聲調軌跡分析、聽覺障礙學生

本研究承行政院國科會補助，專案研究NSC91-2520-S-019-002之部分結果，研究助理涂朝淵、吳孟樺、彭翊瑋、鄭信鴻、李翠雲等協助錄音、語音切割、語音人耳評分等資料的整理，以及安樂國小、安樂國中受試與教師的熱心支援完成，謹以申謝。

結論

一、研究動機與目的

聽覺障礙者普遍有聲調錯誤的問題，因為聲調是看不見的，聽障者無法以讀唇的方式來學習，有關聽覺障礙者聲調的研究，認為聽障缺乏正確掌握四聲調的下降、上揚變化，無法將四個聲調說得清楚（林珮瑜，民 85；張蓓莉，民 76；張淑品，民 88；鍾玉梅，民 83）。傳統之聲調評量均使用人耳評分的方式，但實際上，對於聽障語音的人耳評分是很困難的，因為聽障者說話行為的變異性很大，在評量的過程中，實際上可能無法敏覺到聽障者的特性（Osberger & McGarr, 1982）。另外，評量也牽涉到評量者與語料的問題，評量者對於聲調下降、上揚的變化，需考慮到評鑑的項目多寡與評分標準，評量過程是否可以客觀、明確的區辨聲調之間的差異，這些因素均會影響到評量的準確性；而語料是否可以反應出真實的聲調能力也是重點，過去聲調的研究大都以字調研究為主，用語詞為語料的較為少見，且未有研究從聲調在語詞之前後位置來做探討，因此，對於聽障學生聲調的認識有進一步研究的必要。

電腦語音分析除了客觀、簡便、易於實施外，也能使用聲調軌跡圖教導聲調。電腦語音分析的方法有：一、採用參照發音的比對模式，也就是將正確的說話樣本輸入，再將學生的語音資料與其做比對，觀察兩者的差異以獲得所需的資料。二、電腦所分析得到的數據是否可靠，需要和專家所評的分數有好的相關，如此才能相信機器可以預測專家所評的等級（Neumeyer, Franco, Digalakis, & Weintraub, 2000）。

近年來，由於聲音辨識、語音辨識、語音合成技術的進步，可以使用語音輸入、語音輸出，甚至具有評量語音，學習語音的功能。目

前不乏語音分析軟體，但針對聽覺障礙者可以使用之電腦語音評量與教學軟體都仍在研發階段，未有產品可以使用。有關聽覺障礙語音方面的研究，最常被使用的是由美國 Tiger 公司所研發的聲學分析軟體 Dr. Speech，張蓓莉（引自張淑品，民 88）、張淑品（民 88）、李芃娟（民 87，90）對於聽覺障礙語音的研究都使用過此套軟體，但此語音分析軟體的缺點是，無法將求出的聲調軌跡數據做進一步的處理，如音高正規化、音長正規化等功能，以便作跨越多人的聲調軌跡（音高隨時間之變化趨勢）之歸納分析，以處理不同性別及年齡的音高正規化。

綜言之，聽覺障礙普遍存在聲調的問題，過去對聽覺障礙者聲調的研究很少使用語詞做語料的研究，所以有進一步瞭解的必要，另外，聲調評量的電腦化也是研究的重點工作。因此，引發筆者想探討聽障學生的聲調問題，並使用語詞聲調為語料，用以探討不同聲調在前、在後之語詞聲調組合的差異情形，另外，擬自行開發一套語音分析軟體，可以對聲調軌跡數據做進一步的處理，用以分析聽障學生與耳聰學生聲調聲學特徵之差異情形，並和人耳評分結果進行比較，探討電腦分析與人耳評分間的相關程度。

根據上述研究目的，待答問題如下：

1. 聽障學生之四個語詞聲調之差異情形？
2. 聽障學生之語詞聲調因聲調在前與在後之得分差異情形？
3. 聽障學生之聲調得分，當目標聲調固定在前或後的位置，先行或後隨之語詞聲調不同時，目標聲調的得分差異情形？
4. 聽障學生與耳聰學生語詞聲調聲學特徵之差異情形？
5. 語詞聲調之電腦分析與人耳評分之相關情形？

二、名詞詮釋

(一)聽障學生：指九十一學年度就讀基隆市國小、國中之聽障學生，（基隆地區聽障學生集中安置於安樂國小與安樂國中），且領有殘障手冊之聽障學生，但不包括伴隨其它障礙又無法使用口語溝通者。

(二)耳聰學生：指安樂國小、安樂國中學生，受試學生係由導師或國文教師推薦，符合說話清晰，國語發音標準者，且願意接受評量的學生，其年級、性別與人數同聽障學生樣本。

(三)聲調：聲調是指聲音的高低升降的調子，國語聲調也就是「字調」，一個音的本來聲調，也叫「本調」，聲調分為「陰平」、「陽平」、「上聲」、「去聲」，簡稱「陰、陽、上、去」，一般稱為「第一聲」、「第二聲」、「第三聲」、「第四聲」，至於輕聲及變調都是詞調，所以不列入字調的四聲。

(四)語詞聲調：國語的字有字調、詞有詞調、句有句調，本研究所指語詞聲調係指由二個國字所組成的詞，兩字的組合依據「第一聲」、「第二聲」、「第三聲」、「第四聲」的所有組合，但不含「第三聲」和「第三聲」的組合（因為[3、3]語詞需變調為[2、3]），所以共有十五種語詞聲調類型。語詞聲調依聲調在前在後的位置組合如下：

第一聲在前的組合有：[1,1] [1,2] [1,3] [1,4]；一聲在後的組合有：[1,1] [2,1] [3,1] [4,1]。

第二聲在前的組合有：[2,1] [2,2] [2,3] [2,4]；二聲在後的組合有：[1,2] [2,2] [3,2] [4,2]。

第三聲在前的組合有：[3,1] [3,2] [3,4]；三聲在後的組合有：[1,3] [2,3] [4,3]。

第四聲在前的組合有：[4,1] [4,2] [4,3] [4,4]；四聲在後的組合有：[1,4] [2,4] [3,4] [4,4]。

(五)調值：調值是聲調在實際語音上的高低、升降、曲直、長短的形式，聲調時常會因發音人的特性、音段、語料、念讀方式不同而有差異，也就是聲調的音高、音長是一個相對的關係而非絕對的數值。本研究調值是以自行開發具音高正規化、音長正規化等功能之聲調分析軟體進行調值的量測，所得資料可以顯示調形與音高、音長等參數資料。

(六)人耳評分：本研究所謂人耳評分係由海洋大學三位教育學程之研究生，根據自編的國語語詞聲調評分表，按照所定的評鑑項目與給分標準，對聽障學生之語詞聲調進行評分，評分包括二類，一是以語詞之兩個字分開評分，二是以語詞之兩個字做整體評分，二種評分均以聲調為評分標準，聲母、韻母的發音問題不列入評分（見研究工具一）。從人耳評分所得分數以統計方法進行語詞聲調得分差異比較，用以探討聽障學生在語詞聲調的錯誤的情形。

(七)電腦分析：本研究所謂電腦分析係指將聽障學生與耳聰學生之語音錄音資料經過語音切割，依個別語詞分別存檔後，以自行研發之聲調分析軟體（見研究工具三）算出四個聲調之音高、音長參數值，再經過音高、音長正規化處理，取出基頻繪製成趨勢圖，分析兩組學生之聲調聲學特徵差異情形，以耳聰學生之語詞聲調軌跡圖作為參照樣本，對照樣本為聽障學生之聲調樣本，兩者相比較用以分析聽障學生之語詞聲調得分差異情形。

文獻探討

一、國語語音聲調的特性

分析漢語的語音結構，一般是將每個語音單位分成「聲母」、「韻母」、「聲調」三部分來研究，聲調和聲母、韻母一樣，都有辨義的作用（國音教材編輯委員會，民 90），如果一個音沒有主要元音和聲調，這個音節就不能

成立，國語四聲調形的升降型態各具特性，不易混淆（鄭傑麟，民 84），根據聲調的高低、升降，可以構成聲調的調值。趙元任先生的「五度制調值標記法」將漢語聲調類型，以五點標示，每個聲調可以用開始和結束的音調加以標示，第一聲（high-level）55，第二聲（high-rising）35，第三聲（low-dipping）214，第四聲（high-falling）51，已經成為國際語音學界正式採用。

但，聲調時常會因發音人的特性、音段、語料、念讀方式不同而有差異，也就是聲調的音高、音長是一個相對的關係而非絕對的數值。例如馮怡蓁（民 85）所做的臺灣地區國語四聲調研究，求的調值與趙氏就不相同，分別為 44、323、312、42，相較於趙氏，臺灣地區國語四聲的音高較低、音域也較窄；以臺灣地區的三聲發聲習慣而言，除非第三聲在句末，否則第三聲常常被發成只有前半上 [21] 調而已（蕭寶琴，民 87），在連續語句中時，字的聲調當然也會受到鄰近聲調的影響而不同於本調（歐菁妮，民 91）。另外，從 Yun 和 Connine（1999）國語聲調的研究結果也發現聲調會因語料的不同而有很大的差別，因為字有字調、詞有詞調、句有句調，四聲調值會因為所用語料的不同而有所差異。

Tseng（1990）認為，在過去的聲調研究多半為單獨字音的研究，但語言的研究應該是要與說話的真實情況相符合，而非只把研究放在單字的研究，所以在 Tseng 的國語聲調研究，語料是以字彙念讀以及說話的方式進行，聲調以單韻母與捲舌韻母為例，包括一、ㄨ、ㄌ、ㄛ、ㄩ、ㄥ 六個母音，如衣、移、椅、意每念一個音就暫停再唸下一個音，結果發現所有母音四聲調變化，以聲調所在位置最後者所做的分析，結果都是以第三聲音長最長，第四聲最短，但第二聲、第三聲則會因前後位置不同，所得音長並不一致；如果將上述停頓念讀方

式，與四個音連發不停頓之自然發音的結果相比較，發現以四個音連發的結果，雖然第三聲之音長仍是最長，但第二聲音長卻是最短，可見字調單獨發最短的聲調，在自然說話情形下並不會是最短的聲調，且研究使用的是單一語者所發的音，若為不同語者可能所得結果差異就更大。

實際上，說話者在一般真實的說話情境下，不會一個一個字為單位分開說，說話是以流暢的方式進行，其發出的字之聲調音長，和在一個一個字念讀情況下是必然不同的。雖然，以國語母音聲調所做的時長研究，所得音長結果大致相同，但若為自發性言語之情況下結果則會有不同，所以 Tseng 進一步認為時長並非國語聲調之主要語音參數，但基頻卻扮演者非常重要的特徵參數，不論在聲調的產生與知覺均是如此。

Howie（1976）以單字音所做的聲調研究，包含九類語料，類型 1：單母音、類型 2：非鼻音結合韻、類型 3：鼻音結合韻、類型 4：擦音加母音、類型 5：鼻音的子音加母音、類型 6：送氣的塞音加母音、類型 7：不送氣的塞音加母音、類型 8：送氣的塞擦音加母音、類型 9：不送氣的塞擦音加母音，研究將以上九種語料分別以四個聲調進行比較，結果發現九種類形的趨勢圖，在不同聲調之音高、音長調值均有所差異，例如：第三聲在類型一下降的趨勢不像類型 6 與 7 下降的低，在類型 2 與類型 3、5 曲線的距離差異較大；第二聲在類型九下降的趨勢最大，第一聲、第四聲各種類型組合下差異則不大。因此可以說聲調會因子音或母音的不同在趨勢圖上音高、音長的分佈情形有些差異，所以國語聲調之音高、音長會因為各種語境（context）而有差異。

Yun & Connine（1999）認為聲調的重要特徵有三：(1) 聲調具有辨義作用 (2) 聲調可以使聽者產生音調物理上的知覺，用以分類語意的

不同(3)聲調是相對音位高低的觀念，用以區辨字義，而非絕對音高概念；在其研究中也就聲調訊息在國語語音處理過程中，所扮演的角色做探討，結果發現聲調的知覺會因為所用的語料層次不同而有差異，就單字音的刺激而言，對於聲調的知覺時間遠大於母音訊息，亦即單字的刺激字，母音的知覺速度比聲調快，但若以諺語（四個字為單位）為內容做實驗，結果發現聲調在此種字彙的處理上比母音速度快，所以聲調的知覺在說話的處理過程，是一個分開的階層，對於字彙的辨別，聲調回饋比音素有更大的影響。聽障學生由於聽知覺的限制，所以對於聲調知覺的學習會更加困難，對其語音發展顯然有非常不利的影響，下節就聽障者之聲調特性做詳細的說明。

二、聽障者之聲調特性

國語聲調從音位而言是很寬的，只要不混就具有辨義的功能，因此以漢語為母語者，極少數會有聲調的困難，但對於聽障者而言，聲調的錯誤卻是普遍存在的問題，因為語音的聲調是無法用看的，不論是單獨的字彙或對話中的語句，聲調是無法由讀唇進行（Ching, 1990）。一般助聽器在說話頻率加以放大，但若頻率超過 1000 以上，辨識度便相對減低，加上環境噪音也會影響到聽的品質，所以所收到的語音訊號往往是被扭曲而失真的，因此對於語音的辨識仍有很大限制。

說話聽覺參照了說話語音中的頻率、強度、與時間的特質，因此在聲調的知覺上也會因聲調不同而有差異，從一些以耳聰學生為樣本所做的研究，均發現學童聲調的正確率以第一聲和第四聲較高，第二聲和第三聲最低（梅永人，民 89；黃重光，民 90）。國語語音知覺與產生語音是同時發展的，聽障者由於對語音聲調的知覺性不足，所以在聲調方面的障礙程度也較為明顯。張淑品（民 88）曾以聽障學生為樣本，做國語單字音聲調的研究，結果指出

聽障學生除對去聲的掌握度較佳外，其它各聲調的型態並未因四聲調不同而有明確的差異。一般兒童聲調學習最晚習得的是第三聲，對聽障兒童更顯得困難（鍾玉梅，民 83；林珮瑜，民 85）。

從聽障兒童在超音段的問題，包括節律和聲音的問題，節律方面指說話速度太慢、不適當的停頓、構音的轉換速度太慢、語法斷句不佳、出現不當的重音；聲音方面則是基本頻率太高或太低、音調的變化過度或不足、音量的變化過度或不足、鼻腔共鳴過度或不足、音質嘶啞或氣息聲重（潘奕陵，民 87；鍾玉梅，民 83）。

另外，聽障兒童失聰年齡若在學習語言前，是無法自然學會說話，從張蓓莉（民 89）的研究發現聽障學生四個聲調中第一聲、第四聲正確率稍高，第二、三聲最差，聲調的錯誤包括取代與歪曲的類型，可能的錯誤包括：第一聲發成第四聲，第二聲發成第一聲、第三聲發成第二聲、第四聲發成第一聲等，從相關分析結果也發現聲調的清晰度可以解釋短句清晰度的 74% 的變異量，聲調與短句的相關最高，可以說聲調對於清晰度有相當的重要性。所以聽障兒童除了第二、第三聲容易混淆不清外，說一連串語句時，往往分不清陰陽上去的特質，加上節律及聲音方面的種種問題，更難抓住正確的調值，而無法將四聲調說得清楚（鍾玉梅，民 83）。

三、聲調評量

過去聲調的評量一直都是以人耳評分方式為主，近來才有研究以電腦來評量國語聲調的研究，研究語料均為單字音的聲調，例如：梅永人（民 89）曾以小學四年級學童為樣本，結果發現電腦評量對第一、二和第四聲而言，有 90% 以上的正確率，第三聲則不到 80%；黃重光（民 90）研究對象為小學三年級兒童，進行四聲調的人耳評分與電腦分析的研究，使用國

語單字音聲調進行研究，每個聲調以六個字做測試音，發現第三聲合格率最低，其次是第二聲，可見第二聲、第三聲是較第一聲、第四聲困難，電腦分析與人耳評分一致性之比較，發現第一聲和第四聲可達 90% 以上，第二聲約 86%，第三聲約為 82%，兩者研究均可支持電腦分析模式的可靠性。

聲調評量需根據評量目的，選用合適的語料，語料可以分為五個層次，分別是：音素 (phoneme)、音節 (syllable)、語詞 (word)、句子及連續口語 (continuous speech)，以音素層次作為說話樣本，不符合日常的說話情境，音節層次比較適合用於漢語，因為在漢語單字中，每一個字即是一個音節，語詞層次是目前最長被使用的方法，因為內容較接近說話，句子較符合生態及其它超音段音素 (潘奕陵，民 87)。

少數極重度聽覺障礙者完全無法使用聽力，除了很好的訓練，聽障並無法因成熟而獲利，可能需有替代的方式教導語音，主要方式包括依賴視覺、觸覺和動覺的線索，提供聽障兒童在音韻系統更多的圖像。

四、語音分析軟體

在過去探討國語聲調電腦分析的文獻裡，大多使用現成的語音分析軟體，即使自行發展聲調分析軟體的，也沒有作音高正規化的處理。相關的研究如：梅永人 (民 89)、黃重光 (民 90)、游山銳 (民 89) 均做過聲調量測的研究，但研究中未提到所使用的語音分析軟體或開發工具，只提及計算基週的演算法與擷取聲調的方法，亦未提到音高正規化的處理。目前較廣為人知的語音分析軟體或開發工具軟體有 Cool Edit (新版名稱 Adobe Audition)、WaveSurfer (免費的)、Dr. Speech 及 Matlab 等等，其中 Cool Edit、WaveSurfer 兩者都可以作音波編輯、取樣頻率轉換、短時傅立葉轉換及計算聲紋圖等處理，Dr. Speech 可以作短時傅立葉轉換、計算 LPC 頻譜、求取基週軌跡及

聲紋圖等處理；不同的地方如 CoolEdit 可作取樣頻率轉換，而 WaveSurfer 可作基週軌跡計算。Matlab 為開發工具軟體，具有許多信號處理的函數可作為開發用，如濾波器分析及設計、頻普分析、線性預測係數、聲紋圖等函數庫。

因此目前語音分析軟體中，可求取基週軌跡的軟體至少有 WaveSurfer、Dr. Speech，但都無法對求出的聲調軌跡數據作進一步的處理，如前述的音長正規化、音高正規化等功能，以便作跨越多人的聲調軌跡之歸納分析，及比較不同人之間聲調軌跡的變化，例如：不同受試者的說話頻率高低 (音高) 會因不同性別、年齡的等差異，如男生的音高通常低於女生的音高，兒童在小學升國中時期的變音階段，同儕之間的音高準位變異比成年人之間更不穩定，導致收集多人的音高做比較時，面臨音高差異大，難以比較的問題，因此需要一套可以處理不同性別及年齡的音高正規化軟體。若要分析聲調音高的趨勢，則仍需考慮每次發音的時間長度不一致的問題，即要作音長的正規化處理。所以本研究自行研發一套有音長正規化及音高正規化等功能的軟體，所用的程式開發環境是 Borland C++ Builder，研究過程詳細說明見研究程序 (二) 之電腦聲調分軟體。

綜言之，聽覺障礙者在國語聲調知覺與學習的議題，的確需要聽障教育工作者更深入的研與探討，聲調教學前首先要先瞭解學生在聲調方面的主要問題，因此有好的聲調分析工具與科學的資料分析方式，將是教學最大的助力。語音評量，傳統上均使用人耳評分，但評量者的專業性，與實施耗費人力、時間而言，均是一大瓶頸，加上所做的結果也無法直接用於教學，甚為可惜。因此，本研究嘗試以人耳評分與電腦分析探討聽障的聲調問題，並進一步分析兩者所得結果的一致性，以瞭解電腦分析的可靠性與可行性。

研究方法

本研究為探討聽障學生之國語語詞聲調發音之錯誤情形，也就語詞聲調的聲學特徵進行聽障學生與一般學生之比較，研究有關的變項：自變項包括聽障學生、耳聰學生、年級、語詞聲調、聲調組合；依變項為國語語詞聲調得分、聲調組合得分、語詞聲調軌跡、音高、音長。本節共分三部分說明，內容包括：研究對象、研究工具、研究程序。

一、研究樣本

本研究樣本包含聽障學生與耳聰學生，資料說明如下：

(一)聽障學生

聽障學生樣本共有十六名，分別為就讀基隆市立安樂國小啟聰班十名與安樂國中啟聰資源班六名聽障學生，所有聽障樣本均為語言學習前失聰，包括中度二名、重度八名、極重度六名，且都有接受聽障班或聽障資源班之聽覺口語訓練，並剔除多障及無法使用口語溝通者。但進行聲調統計時，編號 2 與 15 兩名重度聽力障礙學生之聲調分數均為 60 分（滿分），表示其聲調與耳聰學生之標準聲調樣本是相同的，所以聽障學生聲調統計需要剔除此二個樣本，因此人耳評分與電腦分析的樣本均為十四名，含中度聽力損失學生二名、重度六名、極重度六名，聽障學生之年級、性別、聽力損失與四個聲調得分資料見表一：

表一 聽障學生基本資料一覽表

| 編號 | 年級 | 性別 | 聽力損失 dB (優耳) | 四個聲調得分 |
|----|----|----|--------------|--------|
| 1 | 3 | 女 | 重度 | 50 |
| 2 | 3 | 女 | 重度 | 60 |
| 3 | 4 | 男 | 極重度 | 38 |
| 4 | 4 | 男 | 極重度 | 48 |
| 5 | 5 | 女 | 重度 | 30 |
| 6 | 5 | 女 | 極重度 | 28 |
| 7 | 5 | 男 | 重度 | 25 |
| 8 | 6 | 男 | 中度 | 38 |
| 9 | 6 | 男 | 重度 | 39 |
| 10 | 6 | 男 | 極重度 | 16 |
| 11 | 7 | 男 | 極重度 | 30 |
| 12 | 7 | 男 | 重度 | 37 |
| 13 | 8 | 男 | 極重度 | 29 |
| 14 | 8 | 男 | 重度 | 25 |
| 15 | 8 | 女 | 重度 | 60 |
| 16 | 8 | 女 | 中度 | 51 |

註：聽力損失程度輕度（25~39 分貝）中度（40~59 分貝）重度（60~89 分貝）極重度（90 分貝以上）

(二)耳聰學生

耳聰學生之就讀學校、年級、性別均與本研究之聽障學生樣本一致，且所取樣本均係導師或國文教師推薦，符合說話清晰，國語發音標準者，且願意接受錄音的學生共計十六名。

二、研究工具

(一)國語語詞聲調評量表（自編）：依照二個字詞的十五種語詞聲調組合設計，編製的原則包括：

1. 語詞選取原則必須符合簡單、具體常用之語詞，因此編製時特別挑選簡易的名詞做為語詞樣本。

2. 為考慮電腦語詞切音的問題，設計時特別將第二個語詞以子音做為開始，但刪除具有半母音或鼻音的子音。

3. 語詞之聲調組合共有十六種，唯國語 [33] 語詞需變調為 [23]，因此實際上有十五種組合的語詞聲調類型： [1、1] [1、2] [1、3] [1、4] [2、1] [3、1] [4、1] [2、2] [2、3] [2、4] [3、2]

[4、2] [3、4] [4、3] [4、4]，施測語詞之聲調組合順序為隨機方式，施測題目依序為：冰棒、熨斗、帆船、肥皂、小熊、草地、崖谷、愛心、卡車、燈塔、西瓜、圍巾、照片、拼圖、氣球。

4. 施測結果分兩部分評分

語詞聲調之評分共分為二種，一是以語詞之兩個字分開評分，二是以語詞之兩個字做整體評分。二種評分均以聲調為評分標準，聲母、韻母的發音問題不列入評分；聲調之評分標準，參照文獻探討的相關內容（黃重光，民 90；梅永人，民 89），並針對聽覺障礙的聲調特性加以擬定，見表 2、表 3。二種評量方式說明如下：

甲、語詞之兩個字分開評分

語詞聲調的組合共有 15 種，每個語詞均為二字詞，一個字的聲調得分最高為 2 分，最低為 0 分，因此最高得分為 60 分（ $2 \times 15 \times 2$ ），最低 0 分。評分標準如下表二：

表二 語詞以單字切割之聲調評分標準

| 聲調 | 評鑑項目 | 分數 | | |
|-----|--------------------------|----------------|---------------|------|
| | | 0 | 1 | 2 |
| 第一聲 | 音高 (和其他三個聲調的音高要有所區別) | 完全無法和其它三個聲調有區別 | 稍微近似一聲 | 完全正確 |
| 第二聲 | 上揚程度 (不可以是平緩的調子) | 完全是平緩或下降的聲調 | 稍微近似但上揚不足 | 完全正確 |
| 第三聲 | 抑揚情形 (不可只降不升或下降不足的情形) | 完全是平緩或下降的聲調 | 稍微近似但下降與上揚均不足 | 完全正確 |
| 第四聲 | 下降陡度 (要短促有力) | 完全是平緩或上升的聲調 | 稍微近似但下降不足 | 完全正確 |

乙、語詞之兩個字做整體評分
以語詞為單位進行十五個語詞之聲調評分，每個語詞最高得分 3 分，最低 0 分，因此

十五個語詞最高得分為 45 分，最低為 0 分，評分標準見表三。

表三 語詞之兩個字做整體評分標準

| 分數 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---------|------|-------|-----------|----------|
| 聲調 | | | | |
| 不同聲調之語詞 | 完全錯誤 | 對一個聲調 | 二個聲調皆近似正確 | 二個聲調完全正確 |

(二) 語音聲調分析軟體

語音聲調分析軟體為本研究自行研發，除了可以進行基週軌跡量測外，並具備音長正規化及音高正規化等功能的軟體，因而可以作跨越多人的聲調軌跡之歸納分析，及比較不同人之間，聲調軌跡的變化，程式語言是 Borland C++，軟體介紹與研究過程詳細說明見文獻探討(四)與研究程序(二)之電腦聲調分析軟體。

(三) 語音錄音、切割工具

錄音工具：本研究使用數位式錄音機 (TASCAM DA-P1)、SONY 數位式錄音帶與單一指向性動圈式麥克風 (SHURE SM58) (配有立架) 進行錄音。

切音工具：本研究使用 Cool Edit 2000 軟體、外接式聲霸卡 (CREATIVE LABS SB0130)、Pentium-4 桌上型電腦，進行語音的轉錄、切音，以及播放的工具。

三、研究程序

本研究的研究程序分兩部分說明，含人耳評分的研究程序與聲調分析軟體的開發：

(一) 人耳評分

人耳評分的研究程序分三階段

1. 預備階段

(1) 研究工具的預備：包括編製國語語詞聲調評量表、國語語詞聲調錄音題本、熟悉電腦語音分析軟體之使用、熟悉數位式錄音機之使用與語音試錄等工作。

(2) 錄音樣本的聯繫工作：聯繫基隆地區聽障學生就讀的學校，徵詢學校相關人員同意取樣與錄音後，再發函學校並親自拜訪說明錄音所需的協助，包括錄音地點、時間的考量，

實際瞭解施測的位置與錄音效果測試確認沒有問題後才正式安排學生錄音；本研究除取得所有聽障學生錄音外，也請國文教師或導師推薦國語語音發音清晰正確的學生為標準參照樣本。

2. 實際錄音與評分

(1) 到各校進行實際錄音工作：錄音工作由四名教育學程的學生擔任，錄音前已充分瞭解電腦題本播放與錄音的操作，並接受過施測注意事項講習，瞭解進行施測原則與熟悉錄音指導語等。

(2) 語音的轉錄與編輯：將語音的資料轉錄到電腦，再以 Cool Edit 2000 軟體做語音播放、選取、切割、存檔的工具，因各語詞均錄製三次，挑「最佳」的一次發音，「最佳」的判斷係以該語詞聽起來聲調最準確且聲波振幅較佳者（振幅不會過小也不會過大者為佳）為選取的依據，挑選後之各個語詞分別建檔儲存。

(3) 語音的人耳評分：語音評量由修習教育學程的三位研究生擔任，在評量前均接受過講習，講習重點除說明評量標準與計分方式，也實際就語音樣本進行演練，確認給分標準與評鑑項目之後才分開進行評分工作。每位受試之各個語詞聲調得分，給分標準必須符合三人中至少有兩人給分相同，若任何一項得分不一致時，需三人同時再聽一次，重新確定真正得分，並做評分者間的一致性考驗，確定評分的可靠性。

(二) 電腦聲調分析軟體

實作上，語音信號經錄音轉存成檔案後，即以讀檔案的方式，輸入語音信號做聲調軌跡分析，其流程如圖二所示。



圖二 音高趨勢分析主要處理流程

信號先輸入給“端點偵測”方塊去除無聲 (unvoiced) 信號的部分，再將有聲 (voiced) 信號的部分輸出給“基週偵測”方塊。“基週偵測”方塊計算出的音高及音長資訊，再輸出給“音長正規化”方塊。“音長正規化”方塊根據音長資訊計算出音長正規化時間點，將正規化後的时间點上所代表的音高輸出給“音高正規化”方塊。“音高正規化”方塊再將輸入的音高資料依據個人的平均音高進行作音高正規化處理，最後輸出的音高資訊即表示正規化的音長及音高資訊。

1. 端點偵測

語音信號取音框 (frame) 後，每個音框經過端點偵測，利用短時能量 (Short-time en-

自相關函數 $\phi(\tau)$:

$$\phi(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)x(n+\tau) \quad , \quad \tau = \tau_{\min}, \dots, \tau_{\max} \quad (1)$$

平均強度差距函數 $\psi(\tau)$:

$$\psi(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n) - x(n+\tau)| \quad , \quad \tau = \tau_{\min}, \dots, \tau_{\max} \quad (2)$$

其中 $x(n)$ 表示語音信號，N 表示每個音框的取樣點數， τ 表示落後的點，即可能的基週範圍，通常低於 600HZ，n 表示在音框中第

ergy) (Douglas, 2000) 的大小，分別判斷有聲的區段及無聲的區段，有聲的區段包含了有聲之子音 (如 /n, ㄓ, ㄒ, ㄑ/) 及母音，此區段的信號會再傳送給基週偵測模組。

2. 基週偵測

經過端點偵測後，輸入給基週偵測模組的信號是有聲的區段，因此在基週偵測的同時，亦須判斷信號是子音 (無週期性) 或是母音 (有週期性)，方法是計算自相關函數 (Autocorrelation function) 及平均振幅差距函數 (Average magnitude difference function) (Douglas, 2000; Shimamura & Kobayshi, 2001)，計算公式分別是：

n 點的取樣點， τ_{\min} 及 τ_{\max} 分別表示最低及最高的音高值，我們設定的最低及最高的音高值分別為 75HZ 及 600HZ。

觀察 (1) 及 (2) 式中，若落後點是零，即 $\tau=0$ 時， $\phi(0)$ 就是短時能量，是自相關函數中的最大值， $\psi(0)$ 為平均強度差距函數中的最小值，

$$\text{規則(1)} \max(\phi(\tau)) < \phi(0)$$

$$\text{規則(2)} \max(\psi(\tau)) / \min(\psi(\tau)) < k$$

其中 k 表示門檻值，本研究的結果， k 的範圍為 2.0~2.2 之間。若符合上述的兩個判斷規則，表示信號是非週期性信號的部分，否則

所以判斷非週期性及週期性信號的邊界處，可利用兩個判斷規則：(H. Y., Kim, Lee, Sung, K. H., Kim, & Park, 1998)

為週期性信號。

通過判斷規則後，即可計算基週值 (Shimamura & Kobayshi, 2001)，其計算方式如下：

$$\tau_{pitch} = \max(\phi(\tau) / (\psi(\tau) + 1)) / F_s \quad (3)$$

假設 τ_{pitch} 表示為真正的基週值，即滿足 $\tau_{min} < \tau_{pitch} < \tau_{max}$ ，則 τ_{pitch} 為所偵測到的音高值。

3. 音長正規化：

每個人講話的速度，或同一個人在不同時

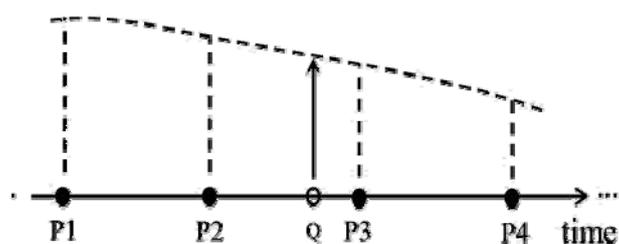
間所講話的速度皆不同，導致音的長度皆不同，音長正規化即在解決此問題。

本研究參考 Gu & Yang (2000) 的做法，要在不等音長的聲波中，固定的取出同點數之時間點上的音高，作法如下式：

$$Q(j) = \frac{M * N}{PP - 1} * j \quad j = 0, 1, \dots, PP - 1 \quad (4)$$

其中 PP 表示正規化的點數，我們是取 16 點。Q(0), Q(1), ..., Q(j), ..., Q(PP-1) 表示由內差

出的音高值， M 表示音框長度， N 表示總音框數。



圖三 音高內差示意圖

在圖三中， P_1 ， P_2 ， P_3 及 P_4 分別表示一段信號中四個音框的中心點所代表的時間點，最上方的曲線代表聲調軌跡線，在 P_1 ， P_2 ， P_3 及 P_4 上的虛線是已知的基週值，若欲求 Q 點時間的基週值可用已知的 P_1 ， P_2 ， P_3 及 P_4 四

個點，即 Q 點的前後相鄰的兩個音框中心點的時間位置，內差求出其對應的基週值。我們使用三階之 Lagrange Interpolating Polynomials (Stoer & Bulirsch, 1993)，如下式：

$$f_3(x) = \sum_{i=0}^3 L_i(x)f(x_i) , L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^3 \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \quad (5)$$

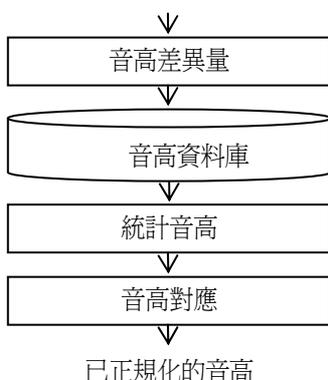
經過音長正規化後，所取出的 16 點時間上正規化的音高值，再取 \log_{10} 轉換至對數尺度，然後輸出給音長正規化模組。

4. 音高正規化：

不同人之間，各個人說話的平均音高是不

一致的，此外，同一個人在不同心情或情緒，及說不同話（不同前後文）時，會導致說話的音高不一致，因此需要作音高正規化的處理。音高正規化的流程如圖四所示，將已做音長正規化的音高資料輸入給“音高差異量”方塊，

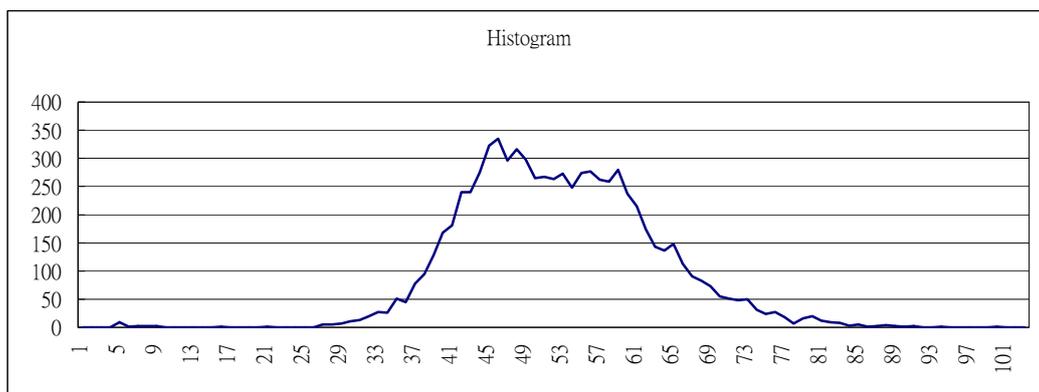
已做音長正規化的音高資料



圖四 音高正規化處理流程

計算音高平均值，在據以計算出差異量及標準差，將算出的值再存入音高資料庫。接著“統計音高”方塊取出音高資料庫裡的音高差異量資料，再依據個人的標準差值作除算（差異量

／標準差）之正規化處理，然後統計正規化後差異量的分佈圖，大於 5 倍的標準差及小於 -5 倍的標準差各算一個等分，其餘分成 100 個等分，如圖五所示為差異量的分佈圖。



圖五 跨人之正規化分佈

在圖四的“音高對應”方塊中，我們依據圖五的統計結果的結果，選取音高對應的範圍

$$f(x) = \begin{cases} -3, & x < -5 \\ x+3, & -5 \leq x \leq 5 \\ 9, & x > 5 \end{cases} \quad (6)$$

公式(6)式中輸入變數 x 為先前正規化後的音高， $f(x)$ 表示所逼近對應之趙氏（趙元任）音高（趙元任，民70）。

根據公式(6)的對應規則，計算每一個人的趙式音高數值，然後輸出。利用耳聰語者在圖C的“音高差異量”方塊中所計算出的標準差之平均值，視為聽障語者的標準差，然後帶入公式(6)計算對應的趙氏音高數值。

四、資料處理與分析

以社會科學統計套裝軟體視窗版（SPSS）進行各項資料統計處理，趨勢圖分析則以聲調分析軟體進行語音分析後繪出圖形。

統計分析

(一)以 Pearson 積差相關進行三位評分者間所評分數的相關程度考驗。

(二)以相依樣本單因子變異數分析，進行聽障學生之語詞四個聲調得分差異考驗，若 F 值達顯著性，再以多變項變異數分析（Multivariate ANOVA）進行重複量數之事後比較，以分析待答問題 1。

(三)以相依樣本二因子變異數分析，分別進行語詞四個聲調之聲調在前與在後得分差異考驗，以及先行或後隨語詞聲調不同時，目標聲調的得分差異考驗，以分析待答問題 2、3。

(四)以自行研發之聲調分析軟體計算出音長與音高的軌跡趨勢圖，分別分析聽障與耳聰學生之語詞四個聲調的調值與趨勢，以及四個聲調在前或在後之調值趨勢圖以分析待答問題 4、5。

（Mapping range），根據我們的觀察，決定對應的方式如下式：

研究結果與討論

一、聽障學生語詞聲調之四個聲調差異情形

(一) 評分者間一致性考驗

本研究對於聽障學生在語詞兩個字整體評分的部分，進行評分者間一致性考驗，用以分析待答問題 1-1。每位受試之各個語詞聲調得分，給分標準必須符合三人中至少有兩人給分相同，若任何一項得分不一致時，需三人同時再聽一次，重新確定真正得分。一致性考驗採 Pearson 積差相關的統計方法，探討三個評分者間所評分數的相關程度，如果相關均很高表示三人的評分很一致，也就是評分結果可靠性較高。評分者在評分前均接受過評分標準的講習，語詞聲調評量只評量聲調，若聲母、韻母的錯誤並不影響得分，對於聲調評分的標準有清楚的界定，評鑑項目含音高、上揚程度、抑揚情形、下降陡度，在演練過程中三位評分者均有相當一致性的表現，從總分評量結果，也顯示三位評分者間的相關係數還算理想，結果見表五。

從表五之相關係數介於 .75~.82 之間，均達 .01 的顯著水準而言，反應出三位評分者對於國語語詞以二個字做整體聲調評分結果具有高度相關。但在行為科學統計，一般認為評量者間一致性理想上應在 .80 以上，本研究所做之人耳聲調評分結果並未完全達到此標準，推斷原因可能有：

1. 評量語詞過多：所要評的語詞聲調包括語詞之個別單字分開評量以及整體評量，次數合計有 720 次之多（16 人×30+16 人×15）。

2. 評量時間過長：評分者必須在同一時間內完成評分工作，因為評量語詞過多平均約需十個小時以上才能完成，因此可能產生疲勞現

象所致。

3. 過程無法監控：評分者均個別進行評分工作，在評分過程方面並無法監控評分者當時的情形以及聽取語音的環境與進行方式，所以三位評分者評分結果無法完全一致，可能因為評量過程無法被監控所產生的誤差。

表五 評分者間的相關、平均數及標準差

| | 評分者 A | 評分者 B | 評分者 C |
|-------|--------|--------|-------|
| 評分者 A | 1 | | |
| 評分者 B | .817** | 1 | |
| 評分者 C | .803** | .750** | 1 |
| 平均數 | 1.49 | 1.71 | 1.36 |
| 標準差 | 1.17 | 1.09 | .99 |

N=240 (16 人*15 語詞) ; **p<.01

(二)聽障學生之四個語詞聲調得分差異分析

本節探討聽障學生在語詞聲調的得分是否會因聲調不同而有差異，就相依樣本單因子變異數分析，以分析待答問題 1。因 F 值達顯著性，

再以多變項變異數分析 (Multivariate ANOVA) 進行重複量數之事後比較，四聲調之平均數與標準差見表六，單因子變異數分析結果見表七，事後比較見表八。

表六 四聲調之平均數與標準差

| | 平均數 | 標準差 |
|-----|------|-----|
| 第一聲 | 1.35 | .45 |
| 第二聲 | .88 | .49 |
| 第三聲 | .90 | .52 |
| 第四聲 | 1.43 | .45 |

N=14 人

表七 四聲調變異數摘要表

| 變異來源 | 離均差平方和 | 自由度 | 均方 | F |
|------|--------|-----|----|--------|
| 受試者間 | 6.17 | 13 | | 8.05** |
| 受試者內 | 9.41 | 42 | | |
| 全體 | 15.58 | 55 | | |

N=14 人 ; **p<.01

表八 四聲調之事後比較

| 聲調 | 標準誤 | | | | t-Value | | | |
|----|-----|-----|-----|---|---------|--------|--------|---|
| | 一 | 二 | 三 | 四 | 一 | 二 | 三 | 四 |
| 一 | | | | | | | | |
| 二 | .16 | | | | 3.02** | | | |
| 三 | .13 | .16 | | | -3.48** | .11 | | |
| 四 | .15 | .10 | .16 | | .53 | 5.38** | 3.36** | |

N=14 人；**p<.01

以相依樣本變異數分析探討聽障學生在語詞聲調的得分差異，結果可從表七得知，F 值為 8.05 ($p<.01$)，達顯著水準，顯示聽障學生四聲調得分會因聲調不同而有差異。進一步分析四聲調的差異情形，從事後比較（表八）可以看出四聲調得分，兩兩比較的結果有顯著差異，表示兩個聲調的發音有差異存在，結果發現第二聲和第三聲無差異，第一聲和第四聲無差異；但第一聲和第二聲、第三聲，第四聲和第二聲、第三聲分別都有分數上的差異存在，且都達顯著差異 ($p<.01$)；再就平均數而言，第二聲和第三聲之平均分數為 .89（完全正確是 2 分），表示第二聲、第三聲之正確率約為 45%，就評分標準而言，表示其第二聲只有稍微上揚，第三聲也是稍微下降，欠缺抑揚的趨勢；而第一聲和第四聲平均分數約為 1.39，均高於 1 分，也就是正確率接近 70% 左右，依據評分標準而言表示其第一聲、第四聲聲調較為清楚，正確率較高。

綜言之，聽障學生在語詞聲調的表現，以第一聲和第四聲表現較佳，而在第二聲和第三聲的發聲最為困難，亦即第一聲和第四聲均較第二聲、第三聲發音正確性高，此與過去有關聽障學生之聲調研究結果是一致的（林珮瑜，民 85；張蓓莉，民 76,89；張淑品，民 88；鍾玉梅，民 83）。

二、聽障學生之語詞聲調因聲調在前在後之得分差異情形

聽障學生之語詞聲調得分，是否會因語詞聲調在前在後位置不同而有差異存在（待答問題 2）。從表九發現二聲在前與三聲在後的語詞聲調平均數最低，再從表 10~13 二因子變異數分析，結果發現第一聲在前或在後，得分差異比較之 F 值為 3.86 ($p>.05$)，第四聲 F 值為 .04 ($p>.05$)，顯示語詞聲調第一聲與第四聲不論是在語詞前或後，聲調得分差異均未達顯著水準。但第二聲在前或在後，得分差異比較之 F 值為 13.51 ($p<.01$)，第三聲 F 值為 4.71 ($p<.01$)，顯示語詞聲調第二聲與第三聲不論是在語詞前或後，聲調得分差異均達顯著水準。此研究結果顯示聽障學生之第一聲與第四聲，並不會因為第一聲、第四聲前後位置的組合不同而有得分上的差異情形；但在第二聲、第三聲卻顯示聽障學生會因為第二聲、第三聲前後位置的組合不同而有得分上的差異情形。

從表九平均數來分析，第二聲在後的平均數（1.18）高於第二聲在前的平均數（.57），可見在第二聲的語詞聲調組合中，對聽障學生而言第二聲置於前的語詞聲調較置於後的為困難，例如：圍巾 [2,1] 比拼圖 [1,2] 難，肥皂 [2,4] 會比氣球 [4,2] 聲調難。第三聲在前的平均數（1.12）高於第三聲在後的平均數（.67），可見在三聲的語詞聲調組合中，對聽障學生而言第三聲置於後的語詞聲調較置於前的為困難，

例如：燈塔 [1,3] 會比卡車 [3,1] 聲調難，崖谷 [2,3] 比小熊 [3,2] 難，熨斗 [4,3] 比草地 [3,4] 難。

綜合上述可做如下的結論：第一聲與第四聲之語詞聲調，不論其第一聲、第四聲在前或在後，且不論其先行或後隨之語詞聲調不同，其聲調得分並無差異存在；第二聲與第三聲之語詞聲調，會因聲調在前或在後，得分有顯著差異存在，且第二聲在前比在後難，第三聲在後比在前難。

三、聽障學生之語詞聲調，當目標聲調固定在前或後的位置，先行或後隨之語詞聲調不同時，目標聲調的得分差異情形

從上述得知第一聲、第四聲不會因為聲調在前或在後位置不同，而有得分方面的差異，但第二聲與第三聲則會因為聲調在前或在後，而有得分的顯著差異。此外，研究也想探討聽障學生之語詞聲調是否會因先行或後隨之語詞聲調不同，而有得分的差異情形（待答問題 3），表十二因子變異數分析，結果發現 F 值為 2.04 ($p > .05$)，顯示第一聲並不會因先行或後隨語詞聲調不同，且聲調在前在後與各種聲調不同組合之交互作用的 F 值為 1.47 ($p > .05$)，

表示無交互作用存在。從表十一~十三之第二聲、第三聲、第四聲變異數分析結果，也發現 F 值均未達顯著水準，顯示不論任何一種聲調在前或在後，其目標詞並不會因先行或後隨語詞聲調不同，而有得分的差異存在，且聲調在前在後與各種聲調不同組合也無交互作用存在。

亦即當目標聲調固定在前或在後的位置，目標聲調不會因先行或後隨語詞聲調不同，而有得分上的差異存在，且「聲調在前在後」與「先行後隨語詞聲調不同」兩個因素，也無交互作用存在。

表九 不同聲調在前在後之聲調組合得分之平均數、標準差

| 變數 | 平均數 | 標準差 |
|------|------|-----|
| 一聲在前 | 1.55 | .61 |
| 一聲在後 | 1.14 | .59 |
| 二聲在前 | .57 | .54 |
| 二聲在後 | 1.18 | .62 |
| 三聲在前 | 1.12 | .59 |
| 三聲在後 | .67 | .70 |
| 四聲在前 | 1.41 | .53 |
| 四聲在後 | 1.45 | .58 |

N=14 人

表十 第一聲在前在後之聲調組合與不同聲調組合得分之變異數分析摘要表

| 變異來源 | 離均差平方和 | 自由度 | 均方 | F |
|--------------|--------|-----|------|------|
| 在前在後之聲調組合(A) | 4.72 | 1 | 4.72 | 3.86 |
| 不同聲調組合(B) | 3.17 | 3 | 1.06 | 2.04 |
| A×B | 3.03 | 3 | 1.01 | 1.47 |

N=14 人

表十一 第二聲在前在後之聲調組合與不同聲調組合得分之變異數分析摘要表

| 變異來源 | 離均差平方和 | 自由度 | 均方 | F |
|--------------|--------|-----|-------|---------|
| 在前在後之聲調組合(A) | 10.32 | 1 | 10.32 | 13.51** |
| 不同聲調組合(B) | 2.32 | 3 | .77 | 1.26 |
| A×B | 1.89 | 3 | .63 | 1.30 |

N=14 人；** $p < .01$

表十二 第三聲在前在後之聲調組合與不同聲調組合得分之變異數分析摘要表

| 變異來源 | 離均差平方和 | 自由度 | 均方 | F |
|--------------|--------|-----|------|-------|
| 在前在後之聲調組合(A) | 4.30 | 1 | 4.30 | 4.71* |
| 不同聲調組合(B) | .93 | 2 | .46 | 1.16 |
| A×B | 2.88 | 2 | 1.44 | 2.28 |

N=14 人；*p<.05

表十三 第四聲在前在後之聲調組合與不同聲調組合得分之變異數分析摘要表

| 變異來源 | 離均差平方和 | 自由度 | 均方 | F |
|--------------|--------|-----|------|------|
| 在前在後之聲調組合(A) | .04 | 1 | .04 | .04 |
| 不同聲調組合(B) | .36 | 3 | .12 | .17 |
| A×B | 4.18 | 3 | 1.39 | 2.85 |

N=14 人

四、聽障學生與耳聰學生語詞聲調聲學特徵之差異分析

電腦分析係以自行開發之語音訊號聲調分析軟體進行，用以分析聽障學生與耳聰學生在語詞之四個聲調調值，使用聲調軌跡圖分析其差異情形（待答問題 4）。分析用的樣本為 16 位耳聰及 14 位聽障學生的語音資料，共唸 15 個二字詞，錄得的語音信號輸入給聲調軌跡分析軟體作處理，分析出的趙氏音高數值分為兩類來比較，第一類的做法是聲調在二字詞中不分前後次序，將耳聰學生及聽障學生所發的四個聲調的趙氏音高數值分別取平均，第二類的做法是聲調在二字詞中的前後位置不同作區分，將耳聰學生及聽障學生所發的四個聲調及此聲調在二字詞中的前後位置的趙氏音高數值分別取平均。

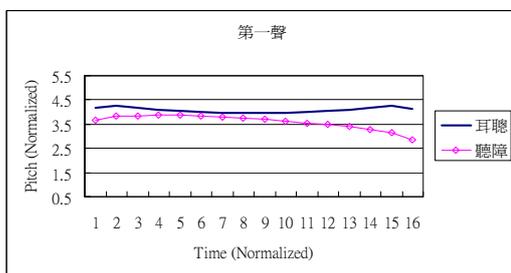
1. 不分前後次序之分析

聲調軌跡曲線如圖六～圖九所示。圖六、圖七、圖八及圖九分別代表耳聰者及聽障者的第一聲、第二聲、第三聲及第四聲的聲調軌跡

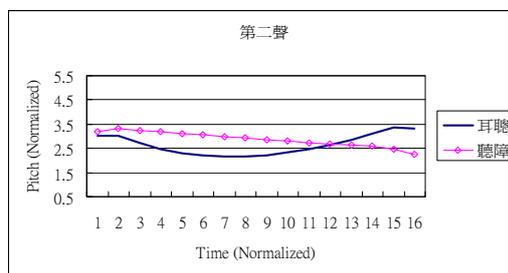
圖。圖六～圖九中較粗的實線表示耳聰者的聲調軌跡曲線，另外一條較細且有菱形標記的實線表示聽障者的聲調軌跡曲線。

從圖六及圖九中可看出聽障者與耳聰者的第一聲及第四聲聲調之趨勢大致相同，但在第一聲聲調軌跡的後端及第四聲聲調軌跡的前端，聽障者的音高比耳聰者的音高較為低。從圖八中觀察，耳聰者發第三聲時，聲調軌跡下降的速度較快，而聽障者發第三聲時，聲調軌跡下降的速度比耳聰者所發的下降速度較為緩慢。從圖七中觀察，聽障者與耳聰者的第二聲聲調之趨勢卻截然不同，耳聰者發第二聲的聲調軌跡會往上揚，但聽障者發第二聲的聲調軌跡卻緩慢下降，所以教導聽障學生時可以多教導聲調往上揚的語詞。

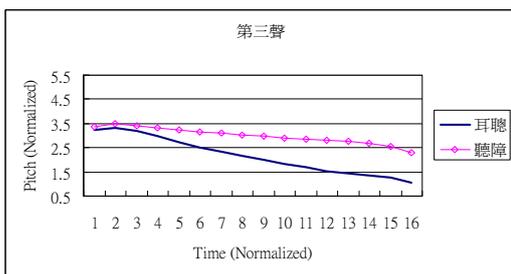
圖六至圖九耳聰生聲調軌跡對應之「帶狀圖」如圖十至圖十三所示。



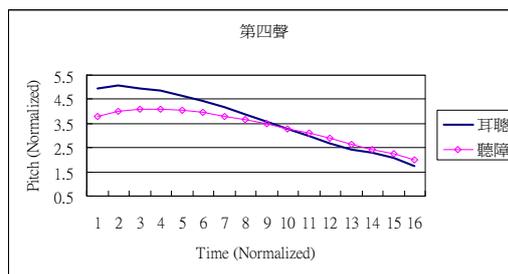
圖六 第一聲的聲調軌跡圖



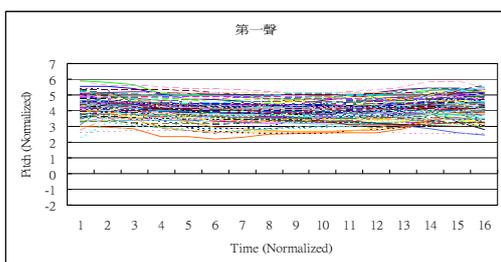
圖七 第二聲的聲調軌跡圖



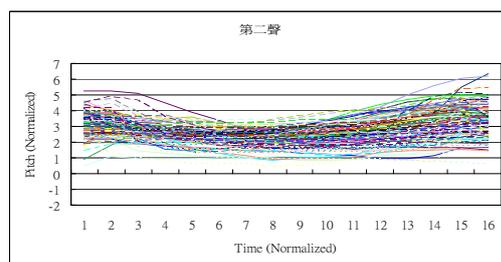
圖八 第三聲的聲調軌跡圖



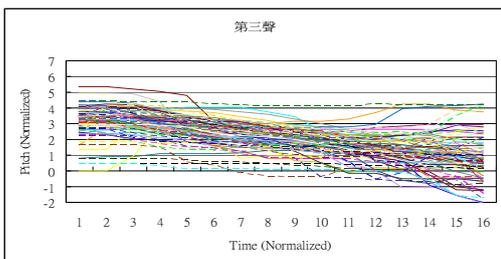
圖九 第四聲的聲調軌跡圖



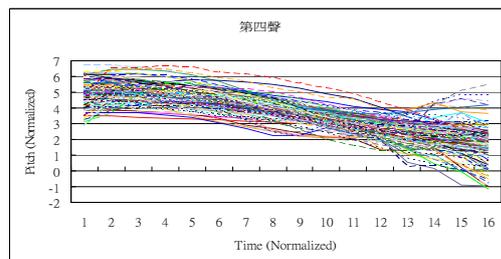
圖十 第一聲的聲調軌跡帶狀圖



圖十一 第二聲的聲調軌跡帶狀圖



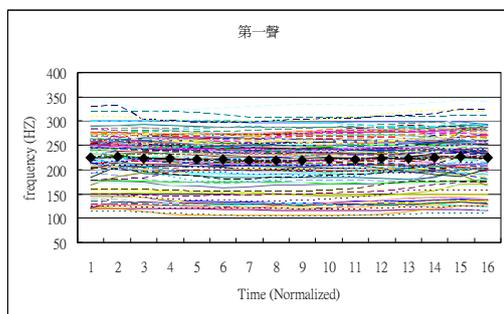
圖十二 第三聲的聲調軌跡帶狀圖



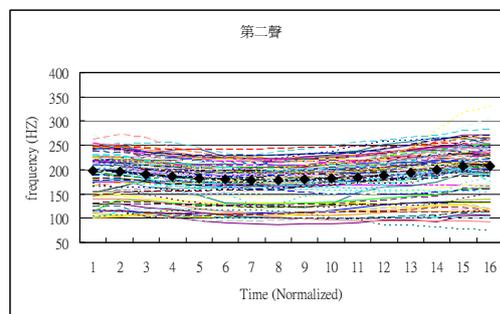
圖十三 第四聲的聲調軌跡帶狀圖

耳聰生音高數值未做正規化處理時的聲調軌跡帶狀圖，如圖十四～圖十七所示，其中較粗且有菱形標記的實線為平均的聲調軌跡曲線。比較圖十至圖十三、和圖十四～圖十七這兩組帶狀圖，整體而言音高正規化的處理，會讓線條由鬆散變得集中；再者可發現聲調一、

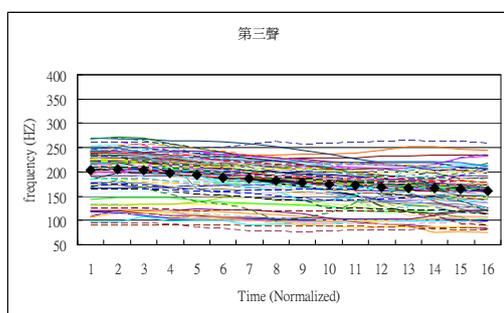
二的軌跡，在作過音高正規化的圖十、圖十一之間，有較明顯的高度與彎曲度的差異，而在圖十四、圖十五之間，高度與彎曲度的差異則較不明顯；此外，對於聲調三、四的軌跡，在作過音高正規化的圖十二、圖十三之間，有較明顯的斜率差異，而在圖十六、圖十七之間，



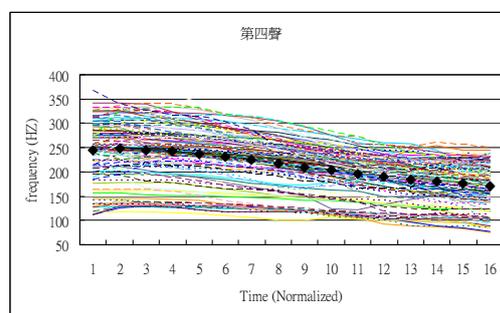
圖十四 第一聲未正規化的聲調軌跡帶狀圖



圖十五 第二聲未正規化的聲調軌跡帶狀圖



圖十六 第三聲未正規化的聲調軌跡帶狀圖



圖十七 第四聲未正規化的聲調軌跡帶狀圖

斜率的差異較不明顯，所以音高正規化之處理，的確可用以排除個人音高、音域等因素所造成的影響。

2. 區分前後次序分析

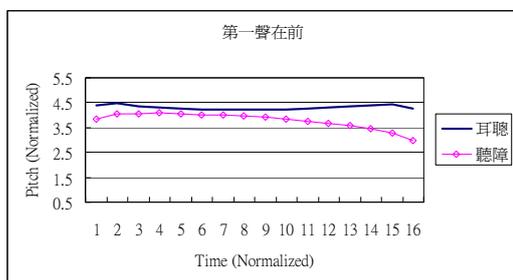
圖十八、圖二十、圖二十二及圖二十四分別代表耳聰者及聽障者的第一、二、三及四聲在二字詞之前的聲調軌跡圖，圖十九、圖二十一、圖二十三及圖二十五分別代表耳聰者及聽障者的第一、二、三及四聲在二字詞之後面的聲調軌跡圖。圖十八～圖二十五中較粗的實線表示耳聰語者的聲調軌跡曲線，另外一條較細且有菱形標記的實線表示聽障語者的聲調軌跡曲線。

聽障者與耳聰者的聲調軌跡，觀察圖二十與二十一可發現，主要差異在於耳聰者發第二聲時，若第二聲在二字詞之前面時，聲調軌跡會直接往上揚，耳聰學生的聲調軌跡會有比較大幅度的上揚，若在二字詞之後面時，聲調軌

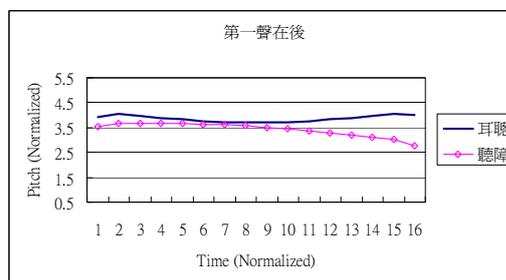
跡會先下降再往上揚，然而，聽障者發第二聲時仍是沒有上揚的現象，不管是在二字詞的前面或後面的聲調軌跡卻反而下降，這種發音上聲調上揚的技巧對聽障學生而言是極為困難的；此外，觀察圖二十二與二十三可發現，耳聰學生第三聲在後的語詞聲調，會比三聲在前有較大幅度的斜率趨勢，聽障學生則明顯欠缺此一斜率趨勢，且其下降的速度也過於緩慢，在斜率方面和耳聰學生相較有很大差異。

五、語詞聲調之電腦分析與人耳評分之相關情形

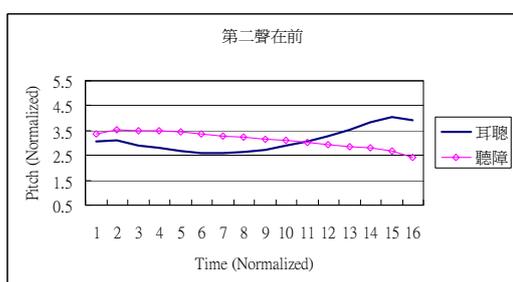
聽障學生之語詞聲調人耳評分與電腦分析，兩者分析均以下述兩類方式進行，第一類的做法是聲調在二字詞中不分前後次序，第二類的做法是聲調在二字詞中的前後位置不同作區分，探討聽障學生語詞聲調錯誤的情形，從人耳評分或電腦分析的結果有如下之發現（待答問題 5）：



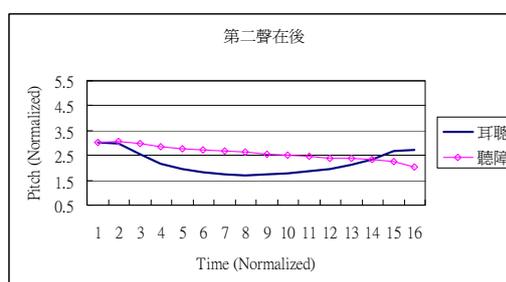
圖十八 第一聲在前的聲調軌跡圖



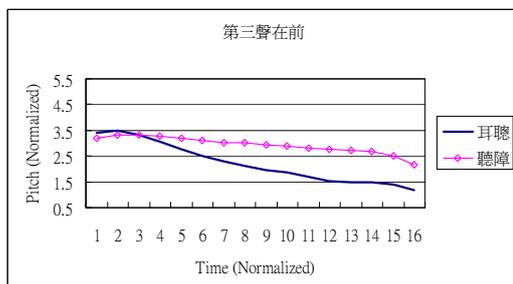
圖十九 第一聲在後的聲調軌跡圖



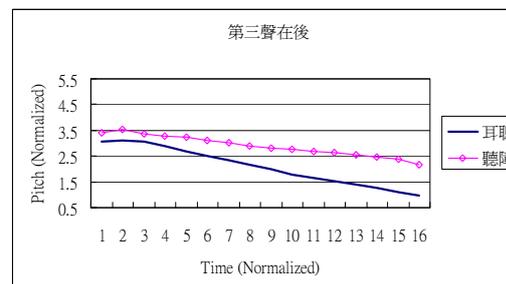
圖二十 第二聲在前的聲調軌跡圖



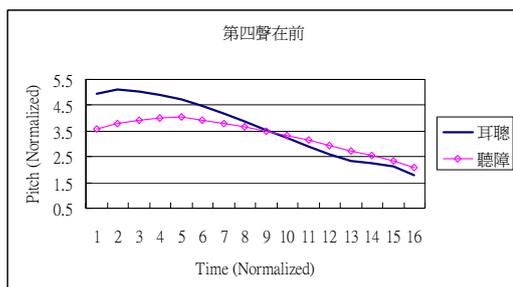
圖二十一 第二聲在後的聲調軌跡圖



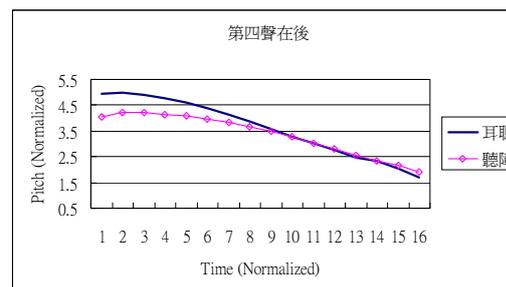
圖二十二 第三聲在前的聲調軌跡圖



圖二十三 第三聲在後的聲調軌跡圖



圖二十四 第四聲在前的聲調軌跡圖



圖二十五 第四聲在後的聲調軌跡圖

(一) 語詞聲調不分前後次序所做的分析

從人耳評分發現聽障學生四個聲調得分會因聲調不同而有差異存在，也就是聽障學生之四個聲調的發音有差異，從平均數可以發現第

二聲和第三聲的分數最低，而第一聲和第四聲得分較高，經事後比較結果又發現第二聲和第三聲無差異存在，而第一聲和第四聲無差異存在，綜合上述可以推論聽障學生在第一聲和第四

聲發音較為正確，第二聲和第三聲錯誤率最高。

電腦分析之軌跡圖以聽障樣本和耳聰樣本做比較，可以反應出聽障學生發音的正確程度，從軌跡圖發現四個聲調中，第一聲和第四聲聽障學生與耳聰學生之聲調軌跡趨勢圖比較（見圖六、圖九），結果發現耳聰學生之第一聲的趨勢，就起始音高與結束音高而言是極為一致的，整個線段較趨於直而平緩，但聽障學生的第一聲，就起始音高與結束音高則有較多的差異，尾端有緩慢下降的現象；第四聲的趨勢，耳聰學生之聲調軌跡圖，就起始音高與結束音高而言是相差極大的，整個線段是急遽陡降的趨勢，但在聽障學生方面，整個線段雖也呈現下降的趨勢，但起始音高與結束音高相差不若耳聰學生大，也就是下降幅度仍然不足。此與人耳評量的結果是一致的，人耳評量第一聲平均分數為 1.35，高於 1 分，也就是正確率接近 68%左右，依據評分標準而言表示所發的聲調接近第一聲但不夠平緩；第四聲人耳評量得分 1.43，正確率約 71%而言，也反應出聽障學生之第四聲正確率較高，但聲音下降的程度不足與耳聰學生仍有差別。

聽障學生和耳聰參照樣本在第二聲和第三聲（見圖七、圖八）差異最大，從聲調軌跡圖顯示第二聲並非直接上揚，而是先下降後上揚的趨勢，此與過去的研究指出第二聲是抑揚調，調值為 [323] 的結果是一致的，反觀聽障學生的第二聲卻是平緩且有下降趨勢；第三聲一般幾乎都是前半上（梅永人，民 89；黃重光，民 90），也就是只降不升，除非特別強調在字調的本調，語詞聲調在聲學分析所得的結果並不同於趙元任的第三聲調值 [214] 的表現，也就是從聲學分析上看不到上揚的部分，因此第三聲的研究除了音高、音長外，也將斜率列入（黃重光，民 90），從圖八的斜率趨勢而言，聽障學生和耳聰學生有明顯的差異，聽障學生的聲調軌跡是較為平緩，下降速度也明顯的比耳聰學生要緩慢，這與潘奕陵（民 89）與鍾玉

梅（民 83）之研究認為聽障兒童聲音方面構音的轉換速度太慢有一致的發現。由此可見，聽障學生在第二聲和第三聲的發音最無法區辨，也就是第二聲、第三聲的發音最為困難。

從上述語詞聲調不分前後次序，所做的人耳評分與電腦分析均有一致的發現，也就是聽障學生在第二聲和第三聲的語詞聲調錯誤率最高，第一聲和第四聲雖然較第二聲和第三聲發音正確，但與耳聰學生相較仍有差異存在。

（二）聲調在二字詞中的前後位置不同所做的分析

從人耳評分發現第一聲和第四聲，聲調不論在前或在後都無差異性，但在第二聲和第三聲則會因聲調在前或在後而有差異性，且第二聲在前比在後難，第三聲在後比在前難。從電腦分析而言，不論聲調前後位置，聽障學生在第二聲仍然是未有上揚的特徵，而第三聲下降也仍然過於緩慢。從第二聲在前與在後的比較（圖二十和圖二十一），可以發現第二聲在後時，起始音高和結束點與耳聰者較為接近，第二聲在前時，趨勢圖後端除了未有上揚外，且兩者之趨勢線顯現反向（上揚與下降）交叉的現象；耳聰學生的第二聲，聲調軌跡會有比較大幅度的上揚，而聽障學生的聲調軌跡卻反而下降，這種發音上聲調上揚的技巧對聽障學生而言是極為困難的。另外，從下降斜率而言，耳聰學生第三聲在後的語詞聲調，會比三聲在前有較大幅度的斜率趨勢（圖二十二和圖二十三），聽障學生則明顯欠缺此一斜率趨勢。因此可以推斷聽障學生對於第二聲在前時的發音比在後時困難，第三聲在後比在前困難，此與人耳評分結果是一致的。

結論與建議

聽障學生在四聲調的人耳評分結果就平均數而言，第一聲（1.35）和第四聲（1.43）較

高，而第二聲（.88）和第三聲（.90）得分較低，亦即第一聲和第四聲均較第二聲、第三聲發音正確性高。另外，聲調在語詞前後位置的不同對得分差異的影響，在變異數分析的結果顯示，聽障學生之第一聲與第四聲並不會因為第一聲、第四聲前後位置的組合不同而有得分上的差異情形；但在第二聲、第三聲卻顯示聽障學生會因為第二聲、第三聲前後位置的組合不同而有得分上的差異情形。就平均數來分析，第二聲在後的平均數（1.18）高於第二聲在前的平均數（.57），可見在第二聲的語詞聲調組合中，對聽障學生而言第二聲置於前的語詞聲調較置於後的為困難。第三聲在前的平均數（1.12）高於第三聲在後的平均數（.67），可見在三聲的語詞聲調組合中，對聽障學生而言第三聲置於後的語詞聲調較置於前的為困難。除此之外，四個聲調不論是在語詞前或在後的情況下，結果都顯現先行或後隨之語詞聲調不同，其聲調得分並無差異存在。

在電腦聲調軌跡分析方面，第一聲與第四聲的聲調軌跡趨勢，聽障者與耳聰者的差異不大，但在第二聲與第三聲的聲調軌跡圖卻有明顯之差異，第二聲沒有上揚反而有下降的現象；第三聲方面，耳聰與聽障學生的聲調軌跡均有下降的趨勢，但聽障學生的聲調軌跡下降較為緩慢。

另外就聲調在前或在後位置不同，人耳評分與電腦分析也有一致的結果，從人耳評分之結果發現第二聲在前比在後低，這也可從電腦聲調軌跡圖反應出來，語詞聲調第二聲在前時，耳聰學生的聲調軌跡會有比較大幅度的上揚，而聽障學生的聲調軌跡卻反而下降，這種發音上聲調上揚的技巧對聽障學生而言是極為困難的，另外，從下降斜率而言，耳聰學生第三聲在後的語詞聲調，會比三聲在前有較大幅度的斜率趨勢，聽障學生則明顯欠缺此一斜率趨勢。因此可以推斷聽障學生對於第二聲在前時的發音比在後時困難，第三聲在後比在前因

難，此與人耳評分結果是一致的。由此可知，本研究發展出的一套聲調軌跡分析方法與軟體，作跨人的聲調軌跡分析，及轉換成趙氏音高，其功用已經獲得驗證。

未來的研究，可以再就聲調電腦自動評分之議題，做進一步的研究，並且在電腦上呈現立即回饋的說明，指出聲調的問題與應改進的部分給使用者。如此，便可用於聲調的評分與教學，有效的解決教師或語言治療師工作的負荷，對學生而言，也可提升聲調學習的效果，所以特教教師與電腦科技專業人員的合作是成功的要件，期待未來在聽障語音研究方面有更多跨科際的整合成果。

參考文獻

一、中文部分

- 李芃娟（民 87）：**聽障學童國語塞擦音清晰度研究**。國立彰化師範大學特殊教育系博士論文。（未出版）
- 李芃娟（民 90）：**聽障學童送氣與不送氣語詞清晰度研究**。**特殊教育與復健學報**，9，133-158 頁。
- 林珮瑜（民 85）：**聽障兒童教學電腦輔助系統-語音處理子系統**。國立臺灣大學電機工程學研究所碩士論文。（未出版）
- 國音教材編輯委員會（民 91）：**國音學**。臺北：正中書局。
- 梅永人（民 89）：**國語聲調電腦分析模式之研究**。國立臺中師範學院教育測驗統計研究所碩士論文。（未出版）
- 黃重光（民 90）：**以自組織特徵映射建立國語聲調電腦分析模式之研究**。國立臺中師範學院教育測驗統計研究所碩士論文。（未出版）
- 張蓓莉（民 76）：**回歸主流聽覺障礙學生語言能力之研究**。**特殊教育研究學刊**，3，119-134。

- 張蓓莉 (民 89) : 聽覺障礙學生說話清晰度知覺分析研究。《特殊教育研究學刊》, 18, 53-78。
- 張淑品 (民 88) : 國中重度聽障學生與耳聰學生國語單元音與聲調的聲學比較分析。國立臺灣師範大學特殊教育學系碩士論文。(未出版)
- 游山銳 (民 89) : 使用遞迴式類神經網路之語音辨認前處理。國立交通大學電信工程研究所碩士論文。(未出版)
- 馮怡蓁 (民 86) : 臺灣地區國語四聲的聲學特質。國立臺灣大學語言學研究所碩士論文。(未出版)
- 趙元任 (民 70) : 中國話的文法。臺北: 敦煌書局。
- 潘奕陵 (民 87) : 聽覺障礙者語詞及句子層次的說話清晰度之知覺分析。國立臺灣高雄師範大學特殊教育研究所碩士論文。(未出版)
- 鄭傑麟 (民 84) : 國語聲調音位的探究。《屏東師院學報》, 8, 257-276。
- 鍾玉梅 (民 83) : 聽障兒童的說話問題。《聽語會刊》, 10, 72-79。
- 二、英文部分
- Ching, T. (1990). **Tones for profoundly deaf tone-language speakers.** Conference papers. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 335 901)
- Douglas, O. (2000). **Speech Communication: human and machine**(2nd ed.). New York: IEEE press.
- Gu, H. Y., & Yang, C. C. (2000). **A Sentence-Pitch-Contour Generation Method Using VQ/HMM for Mandarin Text-to-speech,** 2000 International Symposium on Chinese Spoken Language Processing, Beijing, pp. 125-128, (86.106).
- Howie, J. M. (1976). **Acoustical studies of Mandarin Vowel and Tones.** New York: Cambridge University Press.
- Kim, H. Y., Lee, J. S., Sung, M. W., Kim, K. H., & Park, K. S. (1998, 29 Oct - 1 Nov). Pitch detection with average magnitude difference function using adaptive threshold algorithm for estimating shimmer and jitter, **Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE**, 6, 29, 3162 -3164.
- Neumeyer, L., Franco, H., Digalakis, V., & Weintraub, M. (2000). Automatic scoring of pronunciation quality. **Speech communication**, 30, 83-93.
- Osberger M. J., & McGarr, N. (1982). Speech production characteristics of the gearing impaired. In N. Lass (Ed.), **Speech and language: advances in basic research and practice**(Vol.8). New York: Academic Press.
- Shimamura, T., & Kobayashi, H. (2001). Weighted autocorrelation for pitch extraction of noisy speech, **IEEE Transactions on Speech and Audio Processing**, 9, 7, 727 -730.
- Stoer, J. & Bulirsch, R. (1993). **Introduction to numerical analysis** (2nd ed.). New York: Springer-Verlag.
- Tseng, C. Y. (1990). An acoustic phonetic study on tones in Mandarin Chinese. **Institute of History & Philology Academia Sinica, Special Publications No.94.**
- Yun, Y., & Connine, C. M. (1999). Processing spoken Chinese: The role of tone information. **Language and cognitive processes**, 14, 609-603.

Bulletin of Special Education 2004, 26, 221—245

National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

A PILOT STUDY ON HUMAN LISTENER EVALUATION AND COMPUTERIZED TONE-CONTOUR ANALYSIS OF MANDARIN DISYLLABLE UTTERANCES BY HEARING-IMPAIRED STUDENTS

Hsiao-Fen Chang

Hung-Yan Gu

Jiun Hsin Wu

National Taiwan Ocean University

National Taiwan University of Science and Technology

ABSTRACT

In this pilot study, Mandarin disyllable words' tone pronunciation of hearing impaired students is investigated. Human listeners' evaluation and computerized tone-contour analysis are compared to find their correlation. The speech samples uttered by 14 mainstreamed hearing impairment students were compared to those of 14 students, with normal hearing, of the same grade, gender and schools. We developed the following tools for this study: 1) A Mandarin disyllable words' tone-shape evaluation scale, 2) Speech-signal tone analysis method and software. The main results of this study are as follows:

1. The scores of four Mandarin tones are significantly different.
2. For the second and third tones of hearing-impaired students, the positions within a disyllable word result in scores of significant difference.
3. When a target tone's position is fixed within disyllabic words of different tone combinations, this target tone's listener evaluation scores do not have significant difference for hearing-impaired students.
4. From acoustic analysis, tone-contours of the first and fourth tones for both hearing-impaired and normal students are same in transitions trend, but for the second and third tones, tone-contours have different trends. The contour of the second tone is slowly falling instead of normally rising contour in both front and back positions. Also, the contour of third tone is more slowly falling than normal falling contour independent of its position.

5. The results of both human listener evaluation and computerized analyzing of tone-contour are very consistent. Both human listeners' evaluations and computerized analyzing of tone-contours show that the second and third tones are the most difficult for hearing-impaired students.

Key word: human listeners tone evaluation, Mandarin word's tone contour, computerized tone contour analyzing, hearing impaired student