

研究論文

河婆客家話元音的聲學特性*

鍾榮富**

南台科技大學應用英語系

河婆客家話與苗栗、海陸、東勢的客家話一樣，有六個元音，分別為[i, e, a, o, u, i]。本文主要是從聲學的角度來分析這六個元音的分布。

本研究的發現有：(1) 河婆客家話的元音呈現不太平衡的分布，前元音[i, e]都比後元音[u, o]還要高。(2) 河婆客家話的低元音之比台灣國語的低元音還要低。

(3) 河婆客家話的舌尖元音與國語的舌尖元音很類似，比美濃的舌尖元音還要前面。(4) 河婆客家話的空間面積遠比國語的空間面積還要寬大，卻與美濃客家話的空間面積很近似。此外，透過標準化的比對，發現河婆客家話之元音分布在各種量表之中，都很相同，波動不大。

關鍵字：聲學、元音特性、河婆家話、Praat

* 本文為 2011 行政院客家委員會補助之研究專案「台灣河婆客家話的調查、比較與分析之研究」與國科會專案(NSC101-2410-H-218-015)之部分成果，感謝各地發音人的協助，更感謝兩位匿名審查給予的許多建議，同時感謝協助製作元音分佈圖的南台科大應用英語所的伙伴。

** 南台科技大學應用英語系講座教授，通訊地址：台南市南台街1號，連絡電話：06-2533131 轉 8146，電子信箱：rfchung@mail.stust.edu.tw。

Research Article

An Acoustic Study of Hepo Hakka Vowels*

Raung-fu Chung**

Department of English, Southern Taiwan University of Science and Technology

The goal of this article is to explore and analyze the vowel properties reflected in acoustics. In the literature, there have been few studies on this issue. By way of Praat and its extended script program (Huang 2013), we find that (a) the six vowels of Hepo Hakka are plotted quasi-symmetrically in that the back vowels [u, o] are lower than the front vowels [i, e], (b) the low vowel, to compare with that of Mandarin Chinese, is rather low in nature, (c) the apical vowel [i] is, strangely enough, is almost identical with the Mandarin [i], and (d) the vowel space of Hakka is wider than that of Mandarin Chinese. All the findings are novel in the field of Hakka studies, which sheds some light on the acoustic studies of vowels in general.

Keywords: acoustic phonetics, vowel properties, Hepo Hakka, Praat

* This article basically results from the project *A study on Hepo Hakka* granted by Hakka Affairs, 2011. Portion of the research was carried out under the support of NSC101-2410-H-218-015. In addition, I have to thank those informants and my assistants. In particular I am obliged to anonymous reviewers for their insightful comments, most of which have been incorporated into the present version.

** Chair Professor, Department of Applied English, Southern Taiwan University of Science and Technology. Address: No.1 Nantai Street, Yungkang Area, Tainan, Taiwan. Tel: (06) 06-2533131 ext 8146, E-mail: rfchung@mail.stust.edu.tw.

一、前言

河婆客家話指祖先徙自廣東之揭西與揭陽一帶的客家人所講的客家話。河婆客家人在台灣主要以屏東市大同路林仔內一帶為主，原有百戶人口，目前經過外移或他居之後，還有將近 50 戶講河婆客家話的居民。少部分河婆客家人居於台東的鹿野村，約有 40 幾戶。其他河婆客家人散見於客家人聚集的苗栗、新竹、花蓮與台北市，與饒平客家話一樣，成為家庭語言甚至於是個人語言。根據楊國鑫（1992），台灣最早的三山國王廟建於 1586 年（明神宗萬曆 14 年），位於目前彰化縣溪湖鎮的「霖肇宮」（舊稱「荷婆崙霖肇宮沿革志」），可見當時來台的河婆客家人為數不少，但是目前都已經閩南化了。¹因為河婆客家話介於海陸、大埔（特別是與豐順接鄰的桃源口音）、豐順與閩西客家話之間，口音獨特，腔調別樹一幟，很容易與周圍之語言做區隔。同時，河婆客家人凝聚力很強，內部很團結，無論在海內外均能刻苦自立，默默地傳承客家文化，維持隱性埋名，與世無爭的傳統。²目前台灣的河婆客家人聚居之處，雖然年輕人多已經外流，但是河婆客家話迄今還是中老年人的主要語言，特別是騎樓旁或綠樹下三三兩兩老年人，話從前談客家之時，還是以客家話為主流。

台灣河婆客家人最引人注目或重視的是每年元宵期間的竹竿炮活動，活動主要是表示對於三山國王的崇敬。元宵老爺（「三山國王」河婆人稱為「老爺」）出巡繞境前，民眾先把鞭炮綁上竹竿稱為「竹竿炮」，等繞境之神轎臨門之時，群眾紛紛以「竹竿炮」轟炸出巡的

¹ 客家人福佬化或閩南化的過程及歷史，目前還無法還原或評述，但目前的居民語言分佈與歷史對比，可以發現許多「福佬客」，詳細請參見邱彥貴與吳中杰（2001）。

² 海外河婆客家人，以星馬地區較為聚居，如馬來西亞的古萊仍然有具體而微的「河婆村」。新加坡地區的河婆客家人多聚在巴沙班楊（Basa Banyan），兩地區的河婆客家人時常往來，講相同的客家口音，吃擂茶，肉丸子，算盤子。我在新加坡居住期間，曾去做了兩次田野調查。

王爺，砲聲隆隆，火光熠熠，信徒把神明轎直衝入火中間，燃起信徒的炙烈信心。此外，河婆客家人由於人口不多，又沒有政治資源，在台灣客家研究之中並沒有特別受到重視。然而，在整個客家文化歷史中，河婆客家人卻扮演了很重要的角色。如今風行客家地區的「三山國王」與「擂茶」均源自於揭陽或揭西的河婆地區，客家名菜中的「肉丸子」也是河婆名菜。客家話研究中幾乎必備的「客英大辭典」(A Chinese-English Dictionary—Hakka Dialect as Spoken in Kwang-Tung Province Prepared by D. Maciver 1926 [1982])，根據彭清欽(2005)的分析，應該就是以揭陽的河婆客家話為基礎所編撰，因此河婆客家人在客家信仰、生活文化、與語言研究中，無不引領風騷，深具影響。

河婆客家話與苗栗、海陸、東勢客家話的一樣，有六個元音，分別為 [i, e, a, o, u, i]。³ 本文主要是從聲學的角度來分析這六個元音的分布，依次討論：元音之發音部位與聲學特性、河婆客家話的元音：發音部位、元音研究的意義、台灣河婆客家話的聲學特性，最後是結論。

二、元音：發音部位與聲學特性

「元音」(vowels) 與「輔音」(consonants) 之別在於發音部位與氣流在口腔之共鳴。發音部位指舌頭在口腔內之前後高低。「氣流在口腔之共鳴」指元音的聲學特性，如聲波與共振峰。以發音部位言，元音與輔音最大的區別在於舌頭與上顎之間的距離。發元音時，舌頭與上顎之間的距離比較大，大到不會有任何音阻產生；發輔音時，舌

³ 目前有關河婆客家話之研究還不多，僅有吳中杰(2007)，李瑞光(2011)，李慶華(2012)三種。其中，吳中杰泛論台灣河婆客家話的分布與語音特性，李瑞光則主要為以屏東竹仔林地區的方音為調查對象，其發音人也是本研究的發音人之一。李慶華則記載了揭西縣灰寨的河婆客家話。本研究希望在語料或聲學方面，補足這方面的缺憾。

頭與上顎之間的距離比較小，至少要小到有音阻。⁴由於個別口腔之大小寬窄不一，故只能用「比較大」或「比較小」衡量。根據 Jones (1948:29) 的看法，元音發音時舌頭有其最高界線，他以(圖 1-1)為例，說明元音的上限。須知此線與地平線同樣只存於假想之中，並無固定的尺寸，因為每個人的舌頭大小不一，口腔大小有別，發音習慣不同，語言更有區別，無法訂出共通或普世的上限標準。Catford (1988:127) 認為 Jones 的上限，只是個描述元音發音的參考點 (reference-point)，並以他個人發音之 X-光拍攝圖為基準，把元音界線的參考點往前後延伸如圖 1-2。⁵

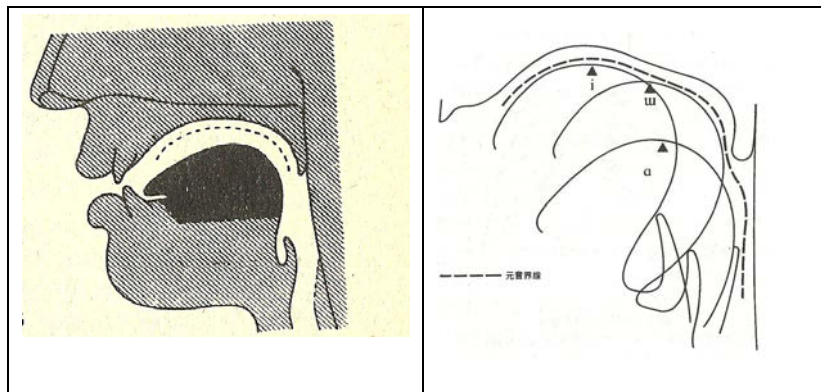


圖 1-1、 Jones 的元音界線圖 圖 1-2、 Catford 的延伸界線

⁴ 「音阻」為英語 *constriction* 的翻譯，與 *obstruction* 相同，表示口腔內因有較為狹小的通道而形成的音阻現象。本文原用「摩擦」，評審認為並非所有的輔音都有摩擦，那是把「摩擦」當作專有名詞的指涉，本文並無此意故改為「音阻」。其實，輔音與元音之別在於「摩擦」(*friction*) 是傳統既有的看法，例如 Bloomfield (1933) [1984:102] 就說「元音並沒有摩擦」，後來 Pike (1971) 費了八頁篇幅 (P.66-74) 來解說元音與輔音以摩擦 (*friction*, P.70) 為區分標準的原因與可能的問題。相同的討論，也可參見 Abercrombie (1967:42-25)，只是 Abercrombie 用 *stricture* 來表示摩擦。其他較近的文獻，請參見 Catford 2001:119; Ladefoged & Maddieson 2004:282; Pickett 1999:35。

⁵ 圖形掃描自 Jones (1948:29) 之 Fig.10 與 Catford (1994:127) 之 Fig.37。

以 Jones 與 Catford 之見，只要舌頭超越了「元音界線」，所產生之語音即不屬於元音，而為輔音了，因為腔道過於狹小，則會有摩擦現象。可見發音部位能明確區分輔音與元音之差異。

聲學上的音波亦為區分元音與輔音之別的重要指標：元音之音波非常有規律，而輔音之音波則相對的比較沒有規律。⁶且以河婆客家話的「守」[ʃiu]為例：

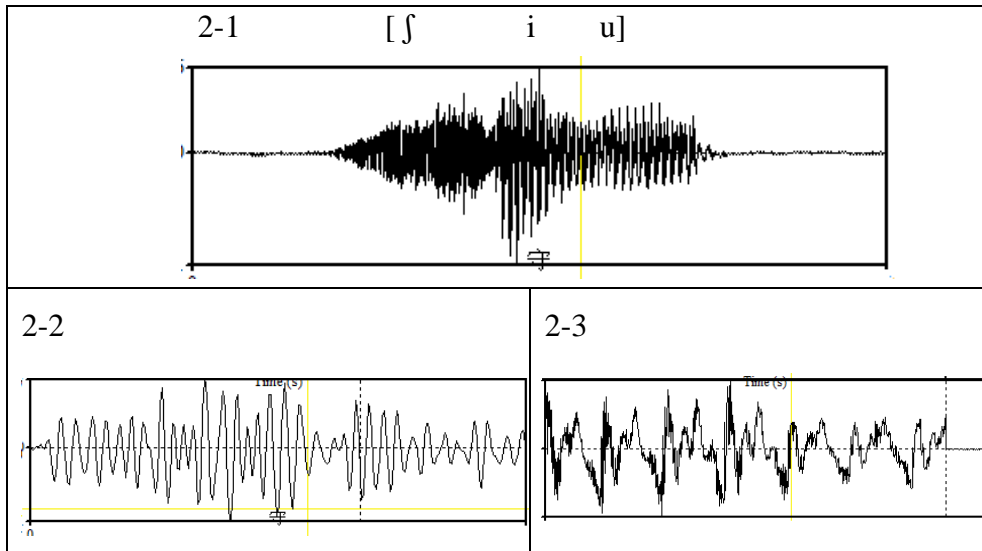


圖 2、河婆客家話「守」的輔音與元音聲波比較圖

圖 2-1 是「守」整個音節之聲波圖，能明顯地看出[ʃ]的部分非常濃黑而無規律，然而韻母[iu]部分之聲波相對地非常有規律。圖 2-2 則為[ʃ]部分的聲波放大圖示，其起伏之不規律至為明顯。圖 2-3 則為[i]的部分聲波，相當有規律。

此外，元音的發音源於聲帶之規律振動，聲譜上反映出來的為譜

⁶ 有些輔音也有規律的聲波，只是強度略低而不如元音明顯。這裡以聲波為參酌點來區分元音與輔音，延伸出來的問題也與是否有「摩擦」相同。可以參考 Pike (1971) 之討論。

波 (harmonics) 或直條紋，諧波代表聲帶振動的頻率 (圖 3-2)：⁷

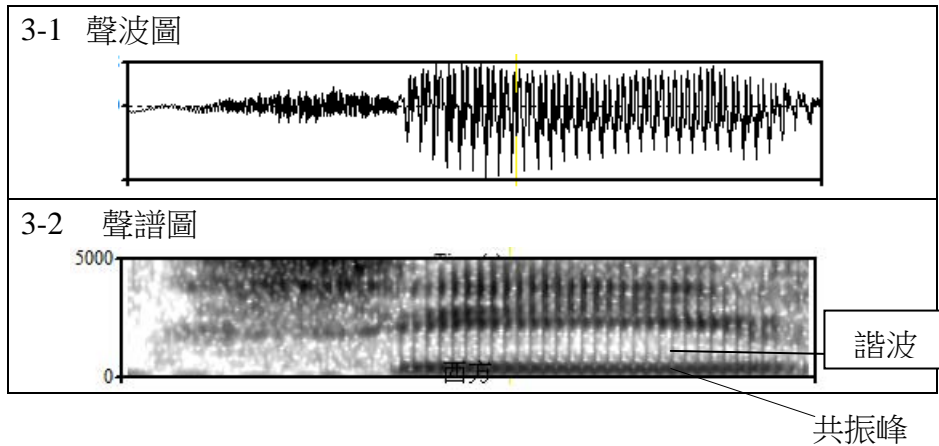


圖 3、河婆客家話的「守」[jiu]的聲波與聲譜圖

發元音時，聲帶的振動頻率在口腔內形成共振或共鳴，通常語音學家用基礎音頻的倍數來計算和語音辨認有關的頻率，這些規律波頻率在音譜圖上所呈現出來的是黑條形狀，稱為共振峰 (formants)，如圖 3-2。元音才有共振峰，而輔音一般則沒有明顯的共振峰。⁸

綜合前述之討論，輔音與元音之區別可以三個面向為基礎：(1) 發音過程：發元音時，開口度較大，氣流不會在口腔內帶來音阻；發輔音時，舌頭與上顎之間的距離較小，使氣流在口腔內或多或少地產生音阻。(2) 聲波：輔音之聲波無規律，而元音之聲波頗有規律。(3) 共振頻率：元音在語音聲譜圖上有共振峰，但輔音則不會有明顯的共

⁷ 聲波之規律與共振峰之有無為一個銅板的兩面，因此也必須註明「有些輔音（如鼻音，邊音，半元音等）也有共振峰，只是比元音較不明顯（事實上也不盡然如此，有些語言的[i]之共振峰並不如鼻音或邊音還清楚）。

⁸ 輔音之中，鼻音[m, n, ŋ]，邊音[l]，半元音[j, w]等也有共振峰，這些輔音稱為響音 (sonorants)，其中半元音，邊音，與英語[r]的共振峰比鼻音更為清楚，Pike (1971) 稱之為 vocoid，但是 Ladefoged (1964) 改稱之為臨界音 (approximants)，後來 Abercrombie (1967: 48-50) 對於這個名詞有更明確的界定，之後廣為應用，相關論述請參見 Laver (1994: 148)。

振峰。⁹

三、元音研究的意義：相關理論與研究

聲學儀器的日新月異，使我們更瞭解元音的聲學特性，也更容易取得良好的研究工具。從 Fant (1960) 以來，語音聲學上的第一共振峰 (Formant 1, F1) 被認為與舌位的高低呈現反比關係：F1 越低，表示舌位越高，以 Hillenbrand et. al (1995) 採用美國中西部 45 位男性發音人的共振峰平均值為例 (表 1)¹⁰，[i] 的 F1 為 384Hz，[ε] 的 F1 為 580Hz，表示：[ε] 在發音舌頭部位上比 [i] 還要低。¹¹ 低元音 [ɑ] 的 F1 到達 768Hz。至於第二共振峰 (Formant 2, F2) 則與舌頭位置的前後呈現正相關係：舌位越前面，F2 的頻率也越高。再以 Hillenbrand et. al (1995) 的美國男性英語為例，[i] 的 F2 很高，達 2322Hz，而 [u] 的 F2 為 997Hz，可見 [i] 為前元音而 [u] 為後元音。

表 1、美國英語五個元音的分布表

	i	I	ε	æ	ɑ	ɔ	ʊ	u	Λ	ə
F1	342	427	580	588	768	652	469	378	623	474
F2	2322	2034	1799	1952	1333	997	1122	997	1200	1379

由於聲學上元音的 F1 與 F2 通常被視為與舌頭位置之高低前後有關，因此 Fant (1960) 以降的語音學家咸認為元音的 F1 與 F2 足以區

⁹ 此外，音韻上還以音節之位置而區分元音與輔音：元音多出現在音節的核心 (nucleus position)，而輔音多出現在核心以外的位置，例如同為 /i/，在 [hi]「去」中為元音，而在 [kia]「他的」中卻為半元音或滑音 (glides)。

¹⁰ Hillenrand et. al (1995) 系針對 Peterson & Barney (1952) 的經典之作為藍本，蒐集了中西部 45 位男性，48 位女性，46 位兒童的元音為研究對象。為了比較之方便，本文只取用男性發音人的語料。

¹¹ Hz 為 Hertz 的縮寫，是個頻率單位，表示每秒內的振動週期 (circle per second)。用以紀念德國物理學家 H. R. Hertz (1857-1894)。

分元音的不同。¹²而且，元音在發音部位上的差異，也可以由 F1 與 F2 的函數關係圖來對應。例如掌握了美國元音的第一與第二共振峰之頻率值，可以 F1 為縱軸，以 F2 為橫軸，則可以繪成圖 4 的元音分布圖。

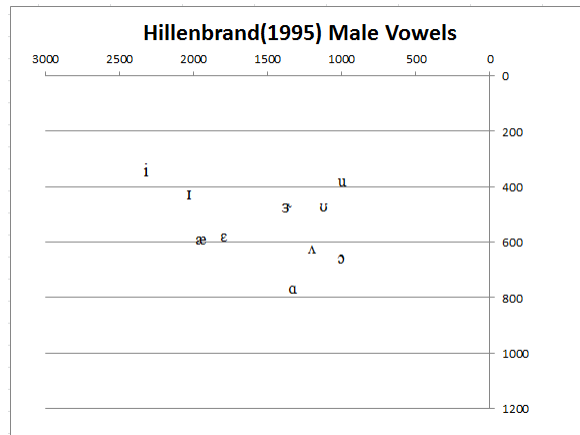


圖 4、美國英語五個元音的分布圖

圖 4 的元音分布圖是根據聲學方法中的元音共振頻率繪製而成的，每個元音的 F1 或 F2 的頻率數值均採用平均值。這是語音學研究迄今最常見於相關文獻的研究方法（Ladefoged 2001；Pickett 1998；Ladefoged & Madierson 2004；Hillenbrand et al. 1995；Chen 2008；Schringer et al. 2011）。石峰（1988）還以專書方式，把這種研究方法所得的元音分布圖稱為「元音格局」。本研究以過去之文獻成果為底，透過 13 位男性發音人的語料，企圖瞭解台灣河婆客家話的元音聲學特性。¹³

¹² 其實元音之辨識或區分，共振峰並非唯一的指標，後來有更多的研究從別的徵性如 F0 或頻譜等等，請參見 Hayward (2000) 之詳細討論。

¹³ 本文只是整個客家研究計畫的初步結果，還有許多語料尚未完全整理出來，例如河婆女性部分有 11 人，孩童 8 人尚未能處理，將來這些語料合併分析應會有更理想的結果。

四、研究方法

(一) 發音人與語料蒐集

本研究以屏東竹仔林 11 位與台東初鹿 2 位，共 13 位男性發音人之語料為主，發音人年齡介於 56-80 之間，平均為 62.8 歲，平日仍以河婆客家話為溝通語言。除了兩位無法閱讀必須仰賴旁人協助之外，其他均能直接閱讀字表。字表共有 120 組雙音節語詞，其中與本研究有關之字詞共有 53 組（12 個開音節，41 個閉音節），每組音節共唸兩次，因此，本研究共有樣本 1,378（53x13x2）個。

表 2、開音節（12）

元音	[i]	[e]	[a]	[o]	[u]	[ɿ]
字例	二，皮	契，細	牙，加	刀，火	豬，書	資，字

表 3、閉音節（41）（[et]只有一個音節可用）

音節	[im]	[em]	[am]	[ap]	[ip]	
字例	飲，心	蔘，喊	衫，暗	甲，盒	入，習	
音節	[in]	[en]	[an]	[on]	[un]	
字例	因，根	冰，生	翻，飯	碗，歡	孫，燉	
音節	[it]	[et]	[at]	[ot]	[ut]	
字例	一，七研究	色	辣，八	割，說	出，骨	
音節	[ang]	[ong]	[ung]	[ak]	[ok]	[uk]
字例	聲，釘	長，巷	公，紅	白，石	藥，落	目，穀

所有的錄音均在頗為寂靜的空間之中進行，並採用簡易的消音

工具，以四面海綿建構成一個簡單的工作坊，可以隨身攜帶，錄製的語音效果均非常良好。

所有音檔採用人工剪音，分別以 Excel 預置之編號命名於 window 系統內存檔，並集成成幾個微語料庫 (mini-corpus)，語料庫內可自動排列整理，可依需求條件搜尋及複製。¹⁴雖然是「人工剪音」，但是所有過程均訂有嚴格的作業標準程序，並經過研究人員之聽辨審核。

(二) 剪音

透過語音分析軟體 Praat，將字詞裁出所需要的單字，再選取出單字中的元音，以事先編排好的 Excel 資料表中的編排字例，模組程式自動複製命名後，直接存於資料夾內，一開始透過 Praat 分析聲音，並將字中的元音切出放大觀察，切出的元音音段可透過模組程式，自動再撥放一次，以聽覺及視覺確認是否有參雜其他聲音，再以程式輸出 formant listing 中 F0, F1, F2, F3, F4 的值，最後參酌元音特性中最為穩定的 F1, F2，根據其線條及搭配觀察黑條狀 (black band) 部分取為元音音段，此音段即為我們待會要分析的元音特質。¹⁵

(三) 字表編排與搜尋功能

切音工作開始之前，先編排字表中的字例及字例中所包含的元音，並作出 Excel 列表。Excel 列表中的編碼元素包含性別、年紀、

¹⁴ 本研究部分成果也經過 Huang (2013) 之元音自動攫取系統 (vowel automatic processing，見 Lai 2013 之詳細討論)，但是後來由於某些語音攫取上的差異應該再考慮，因此改用人工裁剪語音。Huang (2013) 是特別為本研究所改寫的 Praat 延伸系統 (Praat extended transcript)，早在他的碩士論文 (Huang 2004) 即已完成，後來並有許多本博碩士論文加以應用，例如 Liao (2006)，Wu (2008)，Lai (2008)，Yang (2010)，Liao (2010)，Chuang (2012) 等等均採此程式作為資料處理的基礎。

¹⁵ 「穩定」(static) 是元音或其他音段研究的理想與基礎，事實上每個語音或音段都不可能會有「穩定」的狀態，因為語音是持續的聲波，每個音段之間彼此交疊，很難一刀切斷 (更多的批評請參見 Tatham & Morton 2006)，可是目前為止還是假設有個相對「穩定」的狀態，作為分析或研究的標的。

對象（族群）及錄音的字表（句子、語詞、單字），以編碼方式做出區隔。在名冊中輸入發音人代碼後透過預設的程式，將 Excel 表中的代碼，透過模組自動複製的功能轉換成所需的編碼命名並存檔，所以每個字的後面會加上同樣編碼例如字例「正式 M1mb」，H 為此字為客語的代號，1mb 為發音人的編碼，字例「正式」即為編號 1mb 發音人所念的詞語，為了日後可以持續及擴大使用資料庫，每個發音人的編碼均會記錄在名冊裡供日後辨認。每裁一個音檔，可以透過模組程式，進行音檔編碼及儲存在特定資料夾內。儲存後的元音可以直接在 Praat 中列出元音的 F0, F1, F2, F3, F4 和元音發音時間列表。因每個元音持續時間秒數不同，經由觀察後發現固定第一百列，以 Excel 公式計算出發音時每個元音的長度。所有檔案會有 4 個檔案夾來分別存放不同性質的檔案以做區分，所存檔案包含所有裁切的元音、單字及字詞音檔，個人元音數據 excel 檔案資料庫。另一個 Excel 檔則是彙整本研究¹⁶全部每一個發音人的數據語音資料，可以快速執行資料相互搜尋及整理，其大表格 Excel 內容整理順序為元音、字例、語言代號、發音人代號（包含年齡、族群及地區及順序）。透過 Excel 功能，可以依所需要研究的目的需求排序、篩選及彙整，成可分析比對的模式，例如將為元音/a/欄位以 excel 排列功能排序，就可以比對各個族群的不同元音特質。

（四） 分析方式

為了能具體掌握元音的語音特色，分析的項目分為：(a) 開音節，即以元音結尾的音節，如[t^hu]（兔），[t^hi]（地），[t^ho]（套）等。(b) 閉音節，即以輔音韻尾結尾的音節，並進一部分為鼻音韻尾組，如：

¹⁶ 「本研究」是個較為巨大的計畫，整合歷年國科會專案計畫與客委會兩個計畫「2011 河婆客家話與 2013 六堆客家元音」，同時也把過去幾年國科會計畫結果之語料成果，彼此串連，使語料庫能更趨完整，並做為未來相關研究的基本語音資料庫。有位評審問說數字與資料是否經過人工檢驗，因為 Praat 的數字常有問題。答案是肯定的，所有從 Praat 直接取得的數據，都必須經由人工檢查核對，數據差距太大者，則剔除之。

[kin] (今), [kim] (金), 及入聲韻尾組, 如: [kit] (吉), [kip] (急)。如此對照, 是希望瞭解開音節之元音是否與閉音節之元音有區別, 是否會受元音後之韻尾的發音部位影響。至於入聲與非入聲音節, 旨在探討元音的長短 (音節的長短)。這些繁雜的工作, 透過 Excel 功能, 將元音前後不同接續之字群, 使用分列排序與篩選, 可以將共同類型的音檔數據整理整編在一起。元音發音時間長短及各共振峰數值的變化或特質, 均能很快地去得相關資料, 這是建立這個微型資料庫的初衷。

此外, 經由 Praat 將元音 formant listing 輸出元音數據於 Excel 中之後, 其中之各個共振峰數值均能隨著研究需要而以函數指定去得比較數值, 例如想要以 F1 與 (F2-F1) 的數值 (參酌 Ladefoged (1982) 提出的另一種元音分布), 整個工作時間不需要很多, 即可完成。至於要以聽力的方式, 取得各共振峰之間的差距, 如 F1-F0, F2-F1, F3-F2, F4-F3 等等數據, 都只需要一個函數直接執行, 方便又快速。

五、結果與討論

(一) 開音節之元音分布

一如四、(一) 章節內容所述, 本研究之開音節共取用 12 個音節, 每個元音取兩個音節。元音的取樣都以第一個諧波 (harmonic waves) 為起點, 以最後一個諧波為終點, 每個元音均經過視覺 (諧波, 共振峰) 之觀察與聽覺 (一再播音重聽) 之檢定而後裁剪。每個元音均以 Praat 內建之共振峰序列 (formant listing) 內的點而以 Excel 自動算出平均值。經過分析, 13 位發音人之河婆客家話開音節的六個元音的 F1 與 F2 之頻率平均值為:

表 4、河婆男性發音人的元音共振峰值

	[i]	[e]	[a]	[o]	[u]	[ɨ]
F1	309	489	855	579	398	324
F2	2287	2062	1374	944	930	1583
SD	F1:33	F1:34	F1:66	F1:47	F1:59	F1:53
	F2:132	F2:110	F2:126	F2:148	F2:327	F2:180
F2-F1	1978	1581	519	368	532	1259

我們將透過比較的方式，來解讀表 4 的意義。¹⁷比較的對象為南四縣美濃客家話的元音（Liang 2005）、台灣華語的元音（鄭靜宜 2004）¹⁸、台灣閩南語（謝味珍 2007）：

表 5、南四縣（美濃）

	[i]	[e]	[a]	[o]	[u]	[ɨ]
F1	276	464	830	561	376	362
F2	2236	2062	1282	853	720	1430

¹⁷ 有位評審認為：跨語言的比較，必需要透過標準化方能比較，其實不然，因為一般所謂的共振峰頻率值（Hz），本身也是一種標準化的過程（請參閱 Adank 2003 詳細之討論）。有許多論文發現，經過某些標準化後之比較，並不一定能有更好的結果（進一步之語料與論證，請參閱 Most et al. 2000）。另外，在 Ladefoged & Maddieson（1996）中，多數的篇幅在討論與分析各種不同語言之母音差別，所根據的全是未經標準化程序的頻率值，因此，本文認為：基礎的共振峰頻率之比較應該先有紮實的研究工作，才能作進一步之標準化後續比較。

¹⁸ 語料見於鄭靜宜（2011：118）。鄭靜宜的國語元音研究有兩個版本，分別為 Jeng（2000）與鄭靜宜（2004），本文以後者為本。

表 6、台灣國語

	[i]	[e]	[a]	[o]	[u]	[ɨ]
F1	298	520	515	445	326	365
F2	2243	1923	1319	814	718	1582

表 7、台灣閩南語

	[i]	[e]	[a]	[o]	[u]	[ɨ]
F1	276	464	760	535	352	476
F2	2261	2000	1295	877	796	1249

以[i]而言，河婆的 F1 最高（河婆=309，美濃=276，台國=298，台語=276）表示發音時舌位較低，與南四縣或國語的[i]稍有區別。比較之下，台灣國語的[i]比較高比較後面，而美濃介於河婆與台灣閩南語之間。舌位的高低之外，比較[i]的 F2，河婆的 F2 值最大（河婆=2287，美濃=2236，台國=2243，台語=2261），表示河婆之[i]發音舌位非常前面。

其次，我們檢視低元音[a]的音質。從舌位的高低先比較[a]的 F1，發現河婆[a]F1 頻率偏高，除了台灣閩南語之外，河婆[a]的 F1 還是最高的（河婆=855，美濃=830，台國=515，台語=760），表示舌位偏低。至於國語的[a]發音時之舌位應該是最高的，因為 F1 只有 515Hz，相差很大。

接者，我們討論[u]。河婆[u]元音的 F1 是台灣境內各漢語方言中最高的（河婆=398，美濃=376，台國=326，台語=352）。換言之，河婆客家人發[u]時，舌位較低，一如他們念[i]時一樣，有把舌位放低的

趨勢。只是發音上，[u]還是比[i]較低。至於[u]的 F2，其河婆的[u]共振峰頻率也是最高的（河婆=930，美濃=720，台國=718，台語=796），表示舌位相對地前面。簡言之，河婆的高元音[i]與[u]都偏前。

此外，中元音[e]與[o]之中，[e]的 F1（河婆=489，美濃=464，台國=520，台語=464）顯示：河婆的[e]與美濃及閩南語相差甚微，不過卻遠比國語還高些。而以舌位之前後論，河婆[e]的 F2（河婆=2062，美濃=2062，台國=1923，台語=2000）指出河婆的[e]遠比國語的[e]還要前面。關於[o]，由 F1 的頻率值（河婆=579，美濃=561，台國=445，台語=535）可看出河婆的[o]為中間略為偏低，但 F2（河婆=814，美濃=853，台國=814，台語=877）卻表示河婆的[o]較為前面。

客家話中比較特殊的舌尖元音[i]，為前高元音，因此 F1（河婆=324，美濃=362，台國=365）的共振頻率較低，正好表示舌位比較高。另外，從舌尖元音的 F2（河婆=1583，美濃=1430，台國=1582）可看出河婆與國語的舌尖元音較為偏前，而美濃的舌尖元音比較後面。

文獻上，以 F1 為縱軸，F2（或 F2-F1）為橫軸，我們可以得到圖 5 的河婆元音分布圖。

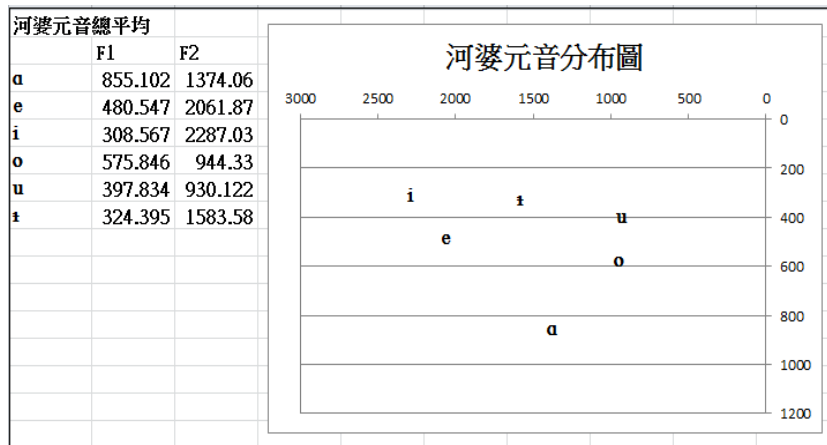


圖 5、河婆客家的元音分布圖

由圖 5 可以看出客家話的後元音相對地舌位稍低，故[u]比[i]低，[o]比[e]低，與傳統描述客家話的發音，如[e]是標準元音，而[o]略低（楊實逢 1957：4-5）接近。[a]則位於中央偏後，標為[a]比較合理。

如果取南四縣，國語與河婆的元音分布圖作為比較圖 6，我們發現河婆與南四縣的元音在前後口腔的空間上，較為接近，除了舌尖元音以外，河婆與南四縣的其他元音都有重疊或接近之處，唯有後高元音[u]在河婆比較前面，南四縣比較後面。¹⁹換言之，南四縣的[u]反而比較近於台灣國語的[u]。河婆與台灣國語的元音分布則頗有差異，特別是在低元音[a]與後高元音[u]上，台灣國語的[a]比較高，而河婆的[u]比較前面。

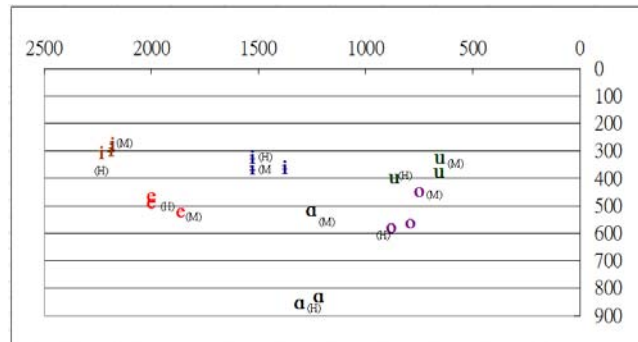


圖 6、南四縣，國語與河婆之元音分布比較圖

自從 Fant (1970) 出版以來，語音聲學研究者一直想從現有的或剛蒐集的聲學語料去推測發音者的口腔面積或大小，藉以驗證語音與聲學工程之間的一對一關係，可惜迄今的文獻研究還是無法在這方面提供完全有效的證據。然而元音空間 (vowel space) 與元音數目的多寡或者元音之間的距離分布是否有直接相關，卻是另一個值得再研究的議題。鄭靜宜 (2011：125) 扼要地提出/i, u, a/等三個最邊界的元

¹⁹ 不取苗栗四縣，主要是 Cheng (2013) 之語料沒有各元音的平均值，而 Lai (2013) 資料尚未完全整理好，個人手頭上的語料雖有二十位男女，但還止於初步整理之階段。

音之共振峰可以推算該元音之分布的口腔面積。根據此公式，我們發現南四縣的元音空間面積最大，其次為河婆，台灣國語的元音空間面積還不到河婆元音空間面積的一半。由於國語的元音，除了參與比較的六個元音之外，還有[ɤ]與[ü]，雖然[ɤ]在音韻上變化多端，但是[ɤ]與[ü]在國語中卻是如假包換的音位性音段，可見元音的空間面積與能容納多少元音並沒有直接的關係。²⁰後面圖 7 即為河婆、國語（Jeng 2000）、客家語（Liang 2005）所呈現的舌位面積：

河婆	F1	F2		計算結果		計算結果		計算結果	
a	855.102	1374.06		a-i	1064.051	S(周長)	1530.605	三角形面積	330049.8
i	308.567	2287.03		a-u	637.3213				
u	397.834	930.122		u-i	1359.838				
a	830	1282	Liang	a-i	1103.192	S(周長)	1672.477	三角形面積	372232
i	276	2236		a-u	722.468				
u	376	720		u-i	1519.295				
a	515	1319	Jeng	a-i	949.1391	S(周長)	1552.207	三角形面積	152526.5
i	298	2243		a-u	630.0175				
u	326	718		u-i	1525.257				

圖 7、河婆、國語、客家語所呈現的舌位面積

以上是有關河婆客家話之開音節的元音所呈現的聲學現象。簡而言之，河婆客家話的高元音[i]與[u]都比南四縣或國語的高元音還要前面，低元音較為偏低（比國語要低很多），河婆與國語的舌尖元音比南四縣還要前面，中元音則南四縣與河婆很接近，但與國語有明顯的差距，這是預料之中的，因為國語的[e]與[o]是無法單獨成音節的元音²¹，語音或音韻上[e]必須與[i]構成[ei]（背）或[ie]（業），而[o]必須與[u]構成[ou]（歐）或[uo]（窩），這應該是聲學上國語與河婆客家話之中元音差一之緣故。

²⁰ 根據相同的推算方式，Hillenbrand et. al (1995) 所反應的美國英語的元音空間面積為 192,798，與國語的空間面積相差不大。面積單位=Hz²。

²¹ 教育部重編國語辭典現有「喔」(o)等字音，語音研究上國語的[o]源自於[ɤ]，請參見董同龢（1965），Cheng（1973），Duanmu（2004），鍾榮富（2012）。

(二) 閉音節之元音分布

元音還可能會受的韻尾發音部位的影響，因此除了開音節之外，我們還分析了各個元音在閉音節中的共振峰頻率值：

表 8、河婆閉音節中的元音共振峰值

	in/t	im/p	un/t	ung/k	an/t	ang/k	am/p
F1	359 /350	343 /372	449 /460	482 /477	789 /776	809 /792	791 /787
F2	2219 /2162	2110 /2211	1068 /1420	1026 /1106	1359 /1375	1480 /1401	1349 /1468

為了節省篇幅，且根據表八的數值繪出元音的分布圖(參見圖 8、圖 9)，以便能視覺中的得到前後位置的比較，又為了檢視塞音與鼻音的影響差異，故把陽聲韻(鼻音韻尾)與入聲韻分開比較：

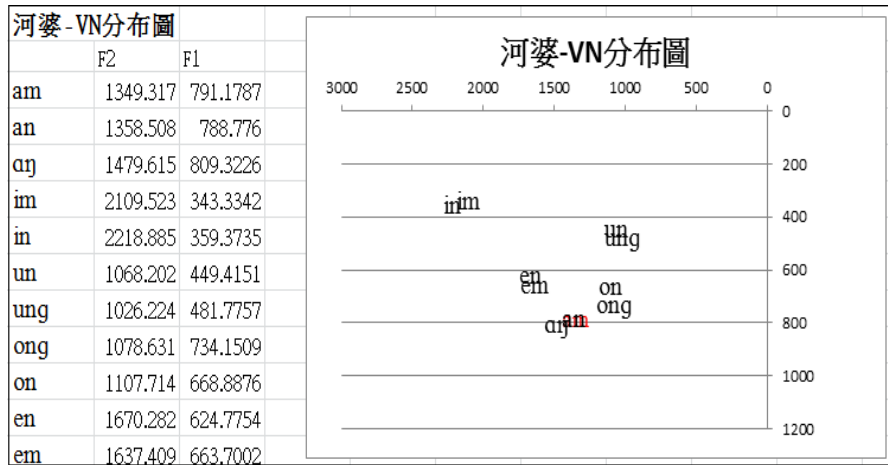


圖 8、河婆客家陽聲韻尾與元音分布圖

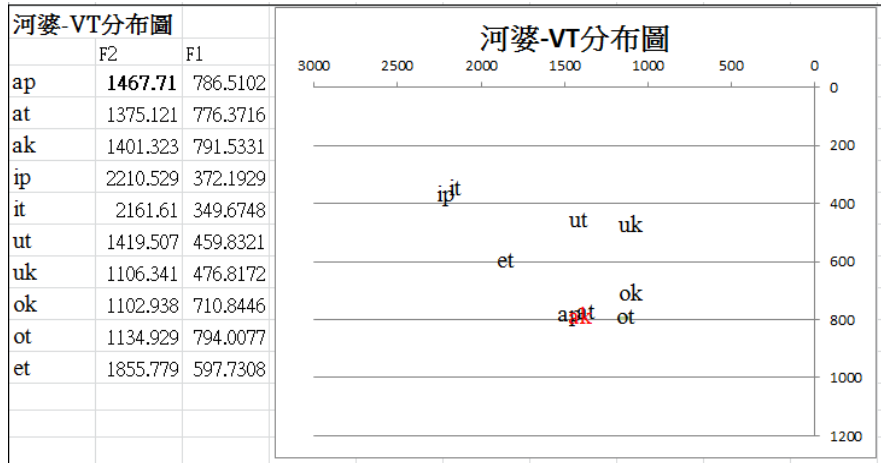


圖 9、河婆客家入聲韻尾與元音分布圖

由於客家音韻的限制，前元音[i, e]不接舌根韻尾[-ŋ/k]而後元音[u, o]不接唇音[m/p]（詳細討論請參見鍾榮富 1990），因此非所有元音都有相同的韻尾可做分布上的比較。不過，從圖 8 與圖 9 可以看出-n 或-m 對於前元音[i]的影響不大，而-n 與-ŋ對於後元音的影響也不特別大，因此閉音節的低元音在分布上顯得密切交集在一塊（圖 10）。為了更進明確地理解，我們且以後面任何韻尾都可以接的低元音/a/為例：

表 9、低元音各音節的共振峰

a	開音節-a	am/p	an/at	ang/ak
F1	855	789	783	800
F2	1374	1409	1367	1440

根據表 9，我們可以把相關分布圖呈現為：

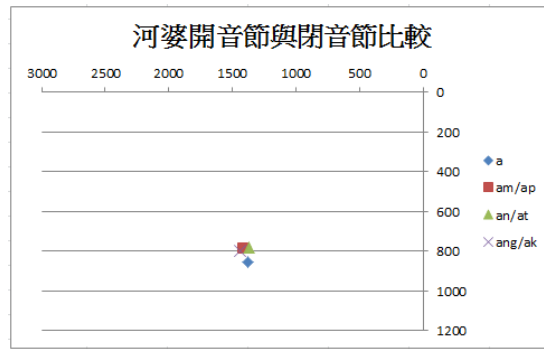


圖 10、低元音在舌根與齒槽音之前的比較

從表 9 與圖 10 的比較之中，很清楚地發現：低元音/a/不論是在開音節，或後接唇音或齒齶音，差別都不大。影響最大的是舌根音，其 F1 降到了 800Hz，表示：舌位稍微升高。根據語音方面的瞭解，舌根音會使元音向後（Cheng 1973；鍾榮富 1990，2004），因此合理的推測是舌根音之前的/a/，其 F2 會比較大，方足以顯示/a/變成[a]的現象。由表 9 顯示，[aŋ]韻母中的元音[a]，其 F2 為 1440Hz，而開音節的[a]之 F2 為 1374Hz，差別只有 76Hz，不算特別大。這從元音分布圖 10 中，很難有[a]與[a]之間的明顯區別。

從圖 10 的語音結果顯示：語音與音韻之間還是存有不可蠱測的差距，雖然聽覺上大家都接受[aŋ]中的元音比[an]中的元音還要偏後，但是從聲學上的共振峰比較之中，卻只能說開音節的[a]比較前面，而閉音節中的低元音沒有辦法明證[aŋ]的元音比較後面。語音與音韻之間的差距，在文獻上並不鮮見，例如英語的 *aisle* 與 *isle* 同唸為 [ail]，但是語音聽覺上 *aisle* 是兩個音節，但是 *isle* 卻只有一個音節，然而這應該是音韻的分析，而迴非語音能提證明者（Silverman 2006）。關於圖 10 也可能是取樣不足的緣故，未來希望有更多發音人的平均值，以作為此一議題的討論基礎。

(三) 開音節與閉音節之元音時長比較

另一個與元音特性有關的是時長 (duration)。時長也是不容易一句話搞定的議題，與聲調，前後輔音的種類，講話或念詞的速度，甚或與男女之性別或場合有關。國語的音節時長相關的研究已然不少 (請參閱鄭靜宜 2011 的簡略回顧)，在此本研究僅以元音為單位，以一般講話的速度為基礎，量得河婆各元音的時長為：

表 10、河婆之元音時長之比較 (單位：毫秒)

	[i]	[e]	[a]	[o]	[u]	[ɨ]
開音節	95	72	89	85	84	86
舒聲音節	92	100	85	89	93	
入聲音節	46	37	54	65	56	

一如所料，入聲音節的元音都比較短，而開音節與鼻音韻尾中的元音時長比較接近。河婆客家話的舌尖元音之後，有些人可以接 -m/p，如「深」[ts^him]或「濕」[sip]，但並非所有的人都如此，13 位發音人中有七位沒有 [im/ip] 兩韻，而且有四位發音人的 [im/ip] 與 [im/ip] 混用，因此表 10 中沒有列入舌尖元音後接韻尾的標的。

(四) 元音的聲學特性：初始語料與標準化

元音的聲學研究，有個非常令人感到興趣的主題：每個人的發音部位基本上並不相同，加上性別之異，社會教育背景之別，使得每個人的元音分布存在著很大的差異。過去的研究，如 Peterson 與 Barney (1952) 以小孩 (15 位)、男性 (33 位)、女性發音人 (28 位) 的元音取樣畫出每個人的元音分布圖，發現：個別差異很大。

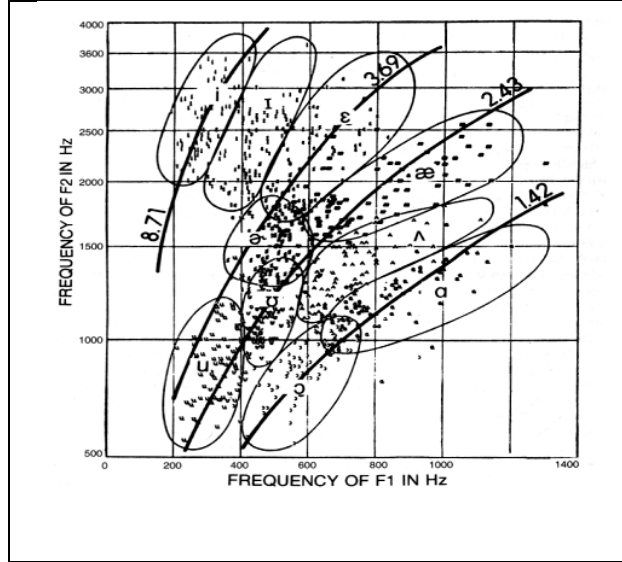


圖 11、Peterson 與 Barney 經典之作的元音分布圖²²

若加以仔細分析圖 11 中 76 位發音人的元音分布，會發現：同一個元音，F1 與 F2 的函數軸點頗為分散，顯示不同發音人的同一個元音差距不小。另外，不同元音的函數軸點也彼此交錯，顯示不同發音人的不同元音反而比較接近，例如有人的 /i/ 在 /e/ 的範圍內，/a/ 與 /ɔ/ 也會因為發音人不同而呈現重疊之現象。

又如河婆 13 位發音人的元音，個別而言也是彼此差距不小（圖 12），特別是在高元音上三者各有交疊現象，顯然舌尖元音的前後分

²² 本圖取自 Pickett (1998: 156)，該書則以 Miller (1989) 為本，是經過曲線強化過的圖形。原圖並沒有曲線，可以參見 Lehiste (1967: 125)。Miller 主要探討元音「標準化」(vowel normalization) 的理論，由於 Lehiste 書上的圖不很清楚，因此採用 Pickett 書的樣本。

布差距比較大。其他的元音同時呈現明顯的個別差異，這和 Peterson 與 Barney 的發現吻合。

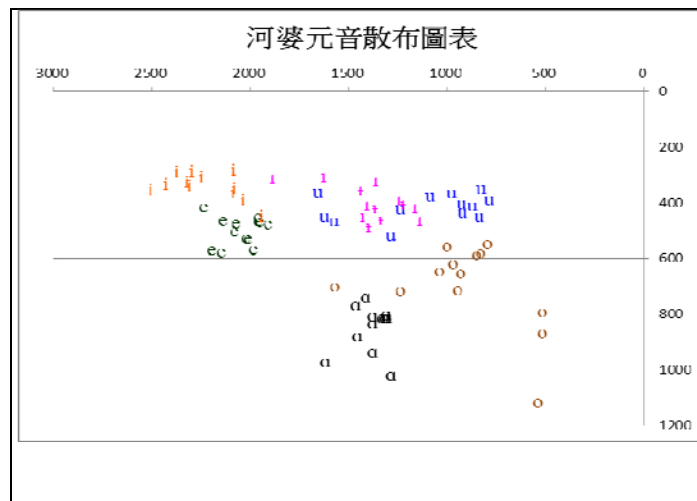


圖 12、河婆十三位發音人的元音散布圖

然而，儘管元音的個別差異很大，在日常對話之中，卻鮮有人在語句或元音辨識上遇到溝通上的困難，到底人們是如何辨識元音或如何把元音做歸類的呢？這是有趣的議題。有人認為，每個人心中均存有「標準化」(normalization)的一套機制，此機制使我們能從心理存取各種不同的元音樣本。接著大家有興趣的是：「標準化」如何進行？我們是否能尋找出一套元音標準化的公式，解決這個發音與聽音之間的難題？經過許多研究之後，「標準化」的公式日漸繁複，然而還是距離原先的理想很遠。

如今元音聲學的研究，分為初始語料 (raw data) 與標準化語料 (normalized data) 兩種參酌點。²³ 初始語料以赫茲 (Hertz) 的頻率值為基礎，標準化則端視各種不同之需求而訂定。經由 Adank (2003) 之整理，標準化的標的可再細分為兩類：元音內在與共振峰內在之標

²³ 相關討論，請參見 Most et. al (2000) 之討論，本文之 raw (初始) 與 normalized (標準化) 即譯借自此文。

準化公式與元音外在共振峰內在公式，如 Gerstman (1968) 提出的間距標準化 (range normalization)，Lobanov (1971) 提出的 z-分數轉換公式 (z-score transformation)，與 Nearey (1978) 提出的個別對數平均值均 (individual log-mean model) 等等各種不同的標準模式。為了集中焦點，我們只想要討論元音與共振峰內在的四種標準化模式之間的比較：赫茲，巴氏量尺 (bark scale)，梅爾量尺 (Mel scale)，對數量尺 (logarithmic scale)。

1、Mel

梅爾量尺 (Mel scale) 最早用於聽辨音高 (pitch) 或聲調高低之間的差異，源於 Stevens & Volkman (1940) 之實驗，後來 Trvunmüller (1990) 以公式一把元音的共振峰頻率值換算成這個量表：

$$\text{公式一、} D_i^M = 2595 \times \ln(1 + F_i/700)$$

其中 D_i 表轉換之後的共振峰標示，例如 D_1 為轉換後之 F_1 ， D_2 指轉換後之 F_2 等等。 D^M 表 Mel 的共振峰。 F_i 中的 i 為變數，泛指第一，第二共振峰等。Mel 本來是用於瞭解聽者對於聲調之間的等距辨識判斷，結果發現：500Hz 之上的音高越來越大的間距被認為是「等距」。目前，Mel 量表主要用於聲調的量測，功能上成為一種聲調的計算方式。Mel 與 Hz 既然同屬於聲調的量表以圖 11 為基礎，河婆客家話的元音換算成 Mel Scale 之後，得到圖 13 的結果：

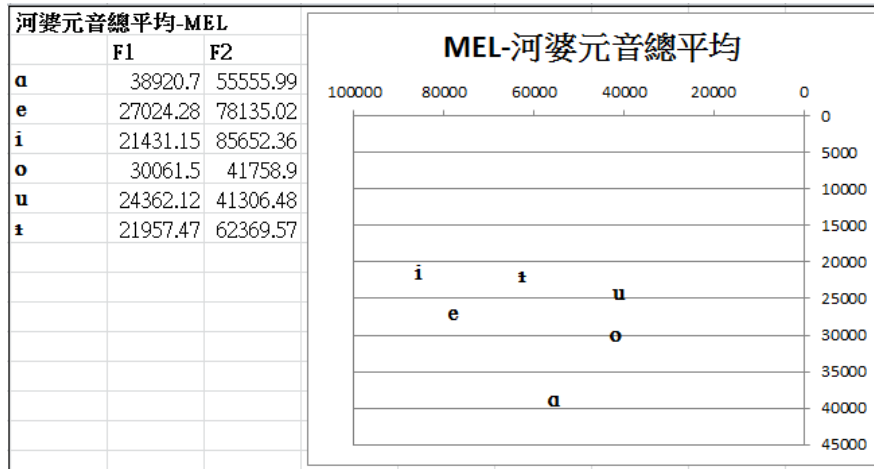


圖 13、MEL-河婆元音總平均

2、Bark

Bark scale 在台灣稱為「巴氏量表」，用於測量聽力，把聽力分為 1 到 24 個等級。最初源於 Flecher (1940) 之 critical band (關鍵頻寬) 觀念，認為我們的聽覺系統由多個互有重疊的頻寬組成的濾波器，每個濾波器頻寬即稱為關鍵頻寬。後來 Zwicker (1961) 把赫茲頻率與巴氏量表列表比對，如今巴氏量表與赫茲的對換公式有兩個比較引起學界的注意。其中，根據 Zwicker & Terhardt (1980) 之公式(公式二)而取的巴氏量表稱巴氏量表 1，而根據 Trau Müller (1990) 之公式(公式三)為換算者稱為巴氏量表 2。

$$\text{公式二、} D_i^B = 13 \arctan x (0.00076F_i) + 3.5 \arctan x (F_i/7500)^2$$

$$\text{公式三、} D_i^B = 26.81 \times (F_i / (1960 + F_i)) - 0.53$$

根據這兩個量表公式之轉換公式，我們得到圖 14 與圖 15 的元音分布圖示：



圖 14、BARK1-河婆元音總平均

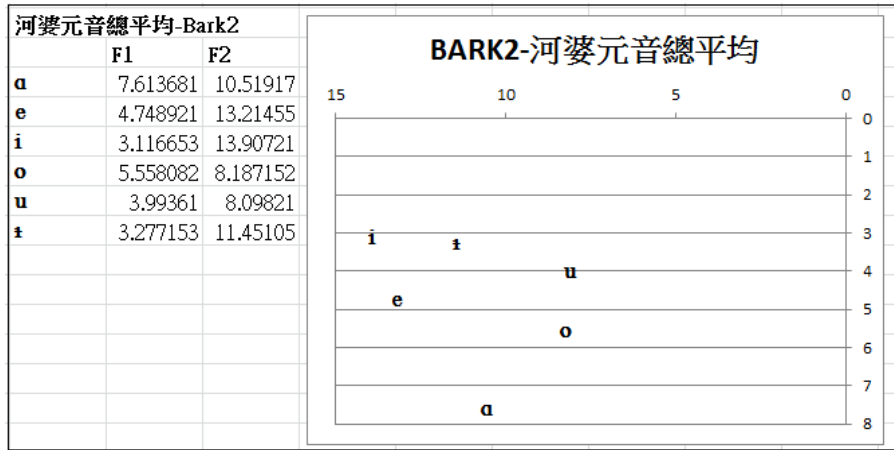


圖 15、BARK2-河婆元音總平均

從前面兩個元音分布圖之比較，可以看出兩這在於舌位前後或高低均有所不同，但是整個元音的分布比例卻頗為相似。

3、Log（對數量表）

Joos（1948）提出以對數的方式來從事聽覺研究，在聽覺研究文獻上很引起討論與注意的兩篇重要論文 Nearey(1978)及 Miller(1989)均以對數量表為基礎。對數量表最早被應用於音樂曲律之音高，如八度音或五度音。Miller（1989）認為對數量表足以反映我們對於頻率的心理認知。本文依循 Adank（2003：17）的對數公式：

$$\text{公式四、 } D_i^L = \ln(F_i)$$

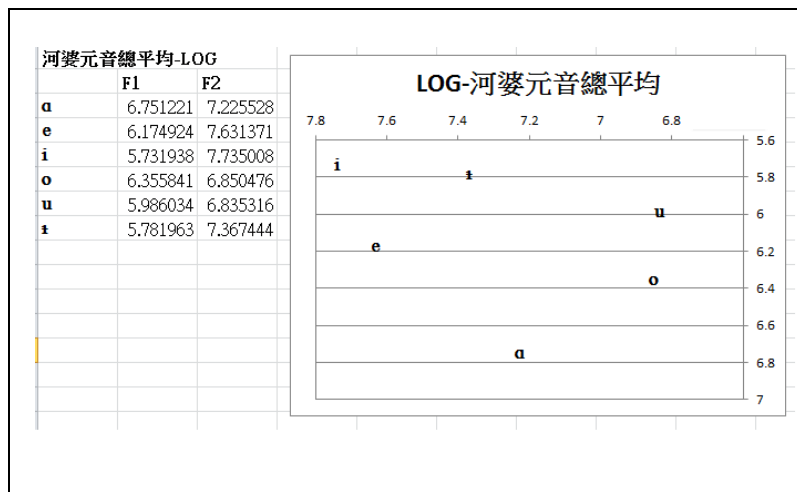


圖 16、河婆的對數元音分布圖

經過對數量表之比例，仍然可以看出河婆在元音分布上的一致性，只是以對數量表為底，高元音的前後成了比較大的間距，使後元音與前元音之間的差距變得比較大。

（五） 幾種標準化分布與初始元音分布圖之比較

前面四種標準化（Mel, Bark1, Bark 2, Log）共同之處均以聽力為

著眼，試圖把發音或構音（articulating）轉化為聽覺（perceiving）角度來量測語音現象，只是彼此所採用的單位與換算公式有別，正因為彼此之計算單位有別，很難從單一角度批評另一看法的是非。至於河婆客家話的元音在各種標準化的量表之下的元音分布，與初始語料的元音分布在圖表顯示上，並沒有明顯的區別，只是彼此的量法與單位不同，而各有特色，例如經過巴氏量表的元音分布，低音特別的低，拉大了與中元音的距離，這樣的結果與 Most et al (2000) 之採用初始與標準化語料來檢視希伯萊語（Hebrew）元音之分布相同，也與文獻上相關的研究如 Kent 與 Forner (1980) 沒有明顯的差異。可見在聽力上，大部分人還是以語音產生的機制作為參酌點。

關於標準化程序的評論與討論，目前還是以公式換算方式為主要的歧異點，各種語料的分析均以驗證或反駁某種標準化公式為基礎，篇幅限制本文無法就這方面的爭論進一步討論。²⁴但是，標準化公式應該比較具體呈現語料之間差別的是跨語言，例如各漢語方言或各客語方言之間的口音區別（Lai 2013），或者是用於探索元音的外在因素，諸如性別，年齡，社區通用語言或教育程度等等，這些都留待未來更進一步之語料分析之後方能顯現標準化。本文目前的語料與目標均限於對男性發音人的元音分布之分析。²⁵

六、結論

本文主要的研究標的為台灣河婆客家話的元音聲學現象。然而，從更為宏觀的角度而言，客家話之元音的分布圖應該要做各種客家話

²⁴ 詳細請參閱 Adank (2003) 之討論。

²⁵ 比較值得注意的是 Peter Ladefoged 所做的所有的元音研究，均以赫茲（Hz）為單位，從他對於元音研究的經典（1967）或廣為引用的 Ladefoged & Maddieson (1996)，始終如一，絕少採用標準化的任何公式，可見元音聲學的研究並不一定要參考標準化的各種公式。

之比較，才更能彰顯客家話語音的特性。因此，本文探討了三個相關主題：元音在發音部位與聲學特性，先從發音部位與元音的產生為背景，次及河婆客家話的六個元音之發音部位。接著，討論了元音研究的意義，從過去有關元音研究之文獻開始評述，同時提出本研究所使用的方法。最後，分別從開音節，閉音節中分析河婆客家話的元音特性，為了更能明確理解元音之前後高低，特別取用了南四縣河婆客家的元音作為比較討論的基礎。結果發現：(1) 整體而言與南四縣的元音分布較為接近，唯有[u]的聲學顯示南四縣與國語較類似（南四縣之 $F_2=720$ ，國語之 $F_2=718$ ），因為河婆的[u]相對地前面（ $F_2=930$ ）。(2) 河婆的低元音與南四縣相近而與國語的低元音之高低頗有差距（ F_1 ，國語=515，南四縣=830，河婆=855）。(3) 河婆的舌尖元音與國語接近，但是南四縣美濃的舌尖元音偏後（ F_2 ，河婆=1583，南四縣=1430，國語=1582）。(4) 至於利用三個邊界元音[i, u, a]推算出來的口腔元音分布空間，則客家話（不論是美濃還是河婆）都比較大，而國語的元音面積相對地狹小。(5) 客家話低元音後接舌根韻尾之時，並沒有明顯地後化，而與其他的韻尾如-n/t, -m/p 相類似，反而開元音的低元音相對地穩定，均居於中央偏後。

本文之研究在經驗實務上的啟示：客家話雖有各種腔調，但是元音結構卻相對穩定。或許經過未來更多客家方音之研究之後，會發現各客家口音彼此之區別並不如想像的大，整個客家還是有相對穩定的音質。

理論上，則顯示：元音的研究，還是必須兼具內在與外在的因素，特別是區域或口音之別，年齡與性別等社會因素應該納入考慮，方能透過標準化程序獲得比較具體的結果。至於元音之進一步的理論驗證，尤其是 Stevens 與 House（1961）提出來的 Quantal Theory，是否能在漢語方言中，獲得某種程度的支持，則是未來應該再繼續關注的目標。

參考書目

- 包懷翹，1989，〈元音〉。頁 73-111，收錄於吳宗濟與林茂燦主編，《實驗語音學概要》。北京：高等教育出版社。
- 石峰，2008，《語音格局》。北京：商務印書館。
- 吳中杰，2007，〈屏東市林字內的揭陽河婆客家語：兼論海陸客語聲調類型的起源〉。收錄於《客家社會與文化學術研討會論文集》。台灣：文津出版社。
- 李如龍、張雙慶，1988，《客贛方言調查報告》。廈門：廈門大學出版社。
- 李瑞光，2011，《屏東市林仔內河婆話之音韻研究》。高雄師範大學客家文化研究所碩士論文。
- 邱彥貴、吳中杰，2001，《台灣客家地圖》。台北：貓頭鷹出版社。
- 時秀娟，2010，《漢語方言的元音格局》。北京：中國社會科學出版社。
- 彭欽清，2005，〈客英大辭典海陸成分初探〉。《新竹教育大學台灣語言與語文教育》6：1-14。
- 楊國鑫，1992，《台灣客家》。唐山出版社。
- 楊實逢，1957，《台灣桃園客家方言》。台北：中央研究院歷史語言研究所單刊甲種 22。
- 廖烈震，2002，《雲林崙背地區詔安客家話音韻研究》。台北市立師範學院應用語言學研究所碩士論文。
- 鄭靜宜，2011，《語音聲學》。台北：心理出版社。
- 鍾榮富，1990，〈論客家話的韻母結構〉。《漢學研究》8(2)：57-78。
- _____，1991，〈客家話的[V]聲〉。《聲韻學論叢》第三輯：435-455。中華民國聲韻學會與輔仁大學中文學系合編。台北：學生書局。
- _____，1997，〈美濃客家語言〉。頁 293-444，收錄於《高雄縣客家社會與文化》。高雄縣政府。

- _____ , 2004 , 《台灣客家話語音島論》。台北：五南書局。
- _____ , 2006 , 《當代語言學概論》。台北：五南書局。
- _____ , 2010 , 〈東勢客家話的捲舌擦音〉。《語言暨語言學》11 (2) : 219-248 。
- Adank, Patricia Martine, 2003, *Vowel Normalization: a Perceptual-acoustic Study of Dutch Vowels*. Ponsen & Looijen bv, Wageningen.
- Ambercrombie, David, 1967, *Elements of General Phonetics*. Chicago: Aldine Publishing Company.
- Bloomfield, L., 1933 [1984], *Language*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Catford, John, 2001, *A Practical Introduction to Phonetics*. (2nd edition) Oxford: Oxford University Press.
- Chen, Yiya, 2008, "The Acoustic Realization of Vowels of Shanghai Chinese." *Journal of Phonetics*, 36:629-648.
- Cheng, Ming-chung, 2013, "An Acoustic Analysis of the Vowel Pattern in Taiwan Sixian Hakka." *Journal of Hakka Studies*, 5:2.
- Chuang, Shu-ping, 2013, *On the Acquisition of English Intonation*. MA Thesis, Southern Taiwan University of Science and Technology.
- Fant, Gunnar, 1960, *Acoustic Theory of Speech Production*. The Hague: Mouton & Co.
- Flecher, H., 1940, "Auditory Patterns." *Review of Modern Physics*, 12:47-65.
- Flemming, Edward, 2002, *Auditory Representations in Phonology*. New York: Routledge.

- _____, 2005, *Speech Perception and Phonological Contrast*. In D. Pisoni and R. Remez (eds.) *The Handbook of Speech Perception*. Blackwell.
- Gerstman, I., 1968, Classification of Self-Normalized Vowels. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustic*. Au-16, 78-80.
- Hayword, Katrina, 2000, *Experimental Phonetics*. New York: Longman.
- Hillenbrand, J., L. A. Getty, M. J. Clark and K. Wheeler, 1995, Acoustic Characteristics of American English Vowels. *The Journal of the Acoustical Society of American*, 97:3099-3111.
- Huang, Yao-huang, 2003, *An acoustic study of the Hakka tones*. MA Thesis, National Kaohsiung Normal University.
- Jeng, Jing-Yi, 2000, *The Intelligibility and Acoustic-Characteristics of Mandarin Speakers with Cerebral Palsy*. Unpublished Ph.D. dissertation, University of Wisconsin-Madison.
- Jones, Daniel, 1948, *An Outline of English Phonetics* (the 6th edition). New York: E. P. Dutton & Co., INC.
- Joos, M, 1948, *Acoustic phonetics*. Language Monograph No. 23.
- Kent, R. D. and C. Read, 1992, *The Acoustic Analysis of Speech*. CA: Singular, San-Diego.
- Ladefoged, Peter & Ian Maddieson, 1996, *The Sounds of the World's Languages*. Blackwell.
- Ladefoged, Peter, 1964, *A Phonetic Study of Western African Languages*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____, 1967, "Three Areas of Experimental Phonetics." Pp.50-142 in *The Nature of Vowel Quality*, edited by Peter

- Ladefoged*(1967). Oxford: Oxford University Press.
- _____, 2001, *Vowels and Consonants*. Malden: Blackwell.
- _____, [1975] 2001, *A Course in Phonetics*. 4th edition. New York: Harcourt College Publishers.
- _____, 2001, *Vowels and Consonants: An Introduction to the Sounds of Languages*. Oxford: Blackwell.
- _____, 2003, *Phonetic Data Analysis: An Introduction to Fieldwork and Instrumental Techniques*. Kindle Store.
- Lai, Yi-hsiu, 2006, *A Phonetic and Phonological Study on English Vowel Acquisition for Taiwanese EFL Learners*. Ph.D. dissertation, National Kaohsiung Normal University.
- _____, 2013, *Automatic Processing and Hakka Vowels*. Ms. National Kaohsiung University.
- Laver, John, 1994., *Principles of Phonetics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lehiste , I., 1967, *Readings in Acoustic Phonetics*. Cambridge: The MIT Press.
- Liang, Chiu-wen, 2005, *An Acoustic Study on Hakka*. MA Thesis at National Kaohsiung Normal University.
- Liao, Shu-jong, 2005, *Interlanguage Production of English Stop Consonants: A VOT Analysis*. MA thesis, National Kaohsiung Normal University.
- _____, 2011, *A Study on Taiwanese English Teacher's Prosody*. Ph. D. dissertation, National Kaohsiung Normal University.
- Lobanov, E. M., 1971, "Classification of Russian vowels spoken by

- different speakers.” *Journal of the Acoustical Society of America*, 49:606-608.
- Miller, J. D., 1989, “Auditory-Perceptual Interpretation of the Vowel.” *Journal of the Acoustical Society of America*, 85: 2114-2134.
- Most, T. Amir and Yishai Tobin, 2000, “The Hebrew Vowel System: Raw and Normalized Acoustic Data.” *Language and Speech*, 43:295-308.
- Nearey, T. M., 1978, *Phonetic feature Systems for Vowels*. Indiana University Linguistics Club.
- Peterson, G. & H. Barney, 1961, “Parameters of Vowel Quality.” *Journal of Speech and Hearing Research*, 4:10-29.
- Pickett, J. M., 2001, *The Acoustics of Speech Communication*. Boston :Allyn and Bacon.
- Pike, Kenneth, 1943 [1971], *Phonetics*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Schringer, M., P. M. Monaban, and W. J. Idsradi, 2011, “Asymmetries in the Processing of Vowel Height.” *Journal of Speech and Hearing Research*, 55: 903-918.
- Silverman, Daniel, 2006, *A Critical Introduction to Phonology*. New York: Continuum.
- Stevens, K and A. S. House, 1961, “An Acoustical Theory of Vowel Production and Some of its Implications.” *Journal of Speech and Hearing Research*, 4(4):75-91.
- Stevens, S. S. and J. Volkman, 1940, “The Relation of Pitch to Frequency: An revised scale.” *American Journal of Psychology*, 53:329-353.
- Tatham, Mark and Katherine Morton, 2006, *Speech Production and*

- Perception. New York: Palgrave Macmillian.
- Trautmüller, H., 1990, "Analytic Expressions for the Tonotopic Frequency Scale." *Journal of the Acoustical Society of America*, 88:97-100.
- Tseng, wan-chun, 2010, *A Study of Taiwanese High School Students' Production and Perception Performance in English Non-High Front Vowels*. MA Thesis. Southern Taiwan University.
- Wang, Guowu, Lu Xugang, Dang Jianwu, Bao Huaiqiao, and dKing Jiangping, 2009, "A Study of Mandarin Chinese using X-ray and MRI." *Chinese Journal of phonetics*. Pp.51-58.
- Wu, Hsiao-ling, 2008, *Stops and Affricates in Mandarin Chinese and Hakka: A VOT analysis*. MA. Thesis. National Kaohsiung Normal University.
- Zheng, Ting, 2009, "On the Articulatory and Acoustic Characteristics of Syllable-Initial Sibilants in Xiangxiang Chinese." *Chinese Journal of Phonetics*, Pp.74-81.
- Zwicker, E., 1961, "Subdivision of the Audible Frequency Range into Critical Bands as a Function of Frequency." *Journal of the Acoustical Society of America*, 33:248.
- Zwicker, E. and E. Terhardt, 1980, "Analytical Expressions for Critical-Band Rate and Critical Bandwidth as a Function of Frequency." *Journal of the Acoustical Society of America*, 68:1623-1625.