

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

佳作

030311

說什麼鳥話?!—八哥學習人聲之歷程

學校名稱：基隆市立中山高級中學(附設國中)

作者：  國二 廖昌皓  國二 李馥聿  國二 潘叡双	指導老師：  蔡屏玉  林金山
---	-----------------------------

關鍵詞：八哥、聲音、語言學習

# 作品名稱：說什麼鳥話？！（八哥鳥學習人聲之歷程）

## 摘要

八哥的學語黃金時期短，相對學習的詞彙也會較少，這和八哥腦內語言學習區和其發聲構造有關。八哥鳥的學習初期和人類的學習初期順序有些相似，只是學語的時間較人類短，需要在學語的黃金期不斷的練習，才会有極佳的學習成果。八哥某些音可模仿到非常相似，因為八哥鳥在黃金學語時期，會將之前學到的語調在腦中不斷地修正、調整。聲音在八哥鳥接收後，需要經過反覆聆聽及調整頻率並持續一段時間後，會在腦內形成基模。過了黃金時期才會形成晶體智力，且維持詞彙的記憶，再由發聲構造發出聲音。據觀察，這些模仿的叫聲，都是在無意識的情況下叫出來的，可能是為了想要吸引異性的注意，也就是牠並不了解語詞其中的意義，只是隨機發聲。

### 壹、研究動機

很多人都養過八哥鳥，因為很聰明，會模仿很多句子；但成年的八哥鳥買來，主人努力教牠講話卻沒有成效，究竟是為什麼呢？這引發了我們想研究的動機。八哥鳥為什麼會模仿人話？多大年紀的八哥鳥最適合教牠講話？八哥鳥的發音和人類有何不同？八哥鳥在模仿人類的聲音時，了解其中含意嗎？

於是我們想訓練 6 隻八哥鳥學習人語。先觀察八哥原始的叫聲及學習人聲的改變歷程，最後比較學習人語後的差異性後，更進一步討論八哥說人語真的是無意識的模仿，還是能訓練到可以和人類溝通、對話，了解八哥鳥可模仿人聲之奧秘。

### 貳、研究目的

八哥學名：*Acridotheres cristatellus* (Linnaeus) 是一種聲音極富有變化的鳥類，會有各種不同的叫聲，甚至模仿人類說話。我們想知道八哥從小到大叫聲的變化；不同八哥鳥間是否有叫聲上的差異；以及鳥類在學習語言的歷程中語音及聲調的變化，最後推論八哥說話到底只是模仿還是能夠了解話語中的意義。希望藉由這次的科學研究中，更進一步的了解鳥類的語言模式，進而更珍惜大自然中與各種生命相交的契機。

#### 一、八哥學語時期

八哥每年約於春天繁殖兩次，每次可產 4~6 顆卵，所以在訓練八哥說話時，須在 4~9 月間尋找剛出生的雛鳥，在飼養約九個月蛻變為成鳥後，才是訓練說話的好時機。九個月大的成鳥開始喜歡模仿聲響，此時開始訓練方能有說話的能力。雌雄天份差不多，學得快的重點在於從小常常跟牠們說話。八哥 叫聲頻率的範圍很廣，頻率在 172~4000Hz 之間，模仿生活中聲響及人類說話的能力相當高，是非常有語言天份的小型鳥禽。

#### 二、聲音的基本原則

耳朵可以聽到的頻率稱為聲音，人聲頻率的高低決定於聲帶的厚度、張力及肺氣壓。聲帶的震動可發出人類基本頻率（簡稱基頻），當發聲體由於震動而發出聲音時，聲音一般可分解成許多單純的正弦波，其中頻率最低的正弦波即為基音，而其他頻率較高的正弦波則為泛音。在歌唱中，基音區別音高決定旋律；泛音則決定音色。

當肺氣壓上升，衝擊聲帶，成為「素音」(phoneme)，而素音經過了共鳴腔體，才能發出響亮及有持續振動力的聲音。共鳴是物理學上的名詞，當空氣受到物體振動時，就

會產生振動次數疏密不同的音波，當音波遇到一個適合牠振動的空間時，就會產生共振作用。當共振後發出比原音波更宏亮的聲音，稱之為「共鳴」。語言發音的共鳴腔主要包括竇、鼻、咽、口、喉等腔體，共鳴之後的聲音再經由舌頭位置與形狀、上下顎的空間大小、喉頭的升降、兩唇的形狀和長短，來選取適當的共鳴頻率，產成了不同的共振峰，有助聲音變得明亮且豐富多樣。

共振峰(formant)是用來描述聲學共鳴腔內共振現象的一種概念。在語音學中，描述的是人類聲道中的共振情形，常用的量測方法是由頻譜分析尋找峰值。在聲學上，頻率最低的共振峰頻率稱為 f1；第二低的是 f2；而第三低的是 f3。原則上，若想分辨幾個不同的母音用前兩個共振峰，f1 和 f2 就足以劃分、一般來說，母音幾乎都有四個以上的共振峰，有時還會超過六個，而子音的共振峰不明顯。但主要分析鳥類的音學程式 Raven，則傾向分析 Q1、Center Frequency 及 Q3。Q1、Center Frequency、Q3 在我們選擇的頻譜範圍中分別積分出能量總和的第 25%、50%、75% 所對應的頻率代表。

$$F_{\text{formant}} = \sum_{f=0}^{f_{\text{max}}} \sum_{t=0}^{t_{\text{max}}} \sum_{i=0}^{i_{\text{max}}} \sum_{j=0}^{j_{\text{max}}} X_{i,j,t}$$

### 三、八哥學習時的詞語選擇

我們教了八哥鳥一些詞句，如「你好」、「寶貝喔」、「好餓」等詞，注音分別為 ㄅㄨㄟ ㄩㄞ ㄅㄨㄟ、ㄅㄨㄟ ㄩㄞ ㄅㄨㄟ、ㄅㄨㄟ ㄩㄞ ㄅㄨㄟ、ㄅㄨㄟ ㄩㄞ ㄅㄨㄟ。注音符號裡的母音共振峰一定是能量集中，分為：單音韻母（ㄩ、ㄅ、ㄅ、ㄅ、ㄅ、ㄅ、ㄅ），雙音韻母（ㄅ、ㄅ、ㄅ、ㄅ），收鼻音韻母（ㄅ、ㄅ、ㄅ、ㄅ）、捲舌韻母（ㄅ）。在實驗中，二詞「你好」、「寶貝喔」因為變音的關係，「寶」會唸成 ㄅㄨㄟ，用到的母音有單音韻母中ㄅ、ㄅ，雙音韻母ㄅ是 ㄩ/a/和 ㄅ/put/連成的音。

子音在聲譜圖上有能量但共振峰不明顯，子音分雙唇音（ㄅ、ㄅ、ㄅ）、唇齒音（ㄅ）、舌尖音（ㄅ、ㄅ、ㄅ、ㄅ）、舌根音（ㄅ、ㄅ、ㄅ）、舌面平音（ㄅ、ㄅ、ㄅ）、捲舌音（ㄅ、ㄅ、ㄅ、ㄅ）、舌尖前音（ㄅ、ㄅ、ㄅ）。「你好」中，子音為舌尖音「ㄅ」，發ㄅ時，聲音要從鼻子裡出來，相當英語裡「n」及舌根音ㄅ，都是發音時由氣流受舌頭阻礙而發的音。「寶貝喔」中，子音為雙唇音ㄅ，發音時氣流受上下唇阻礙而發的音。中國語音的高低起落叫做「聲調」，國話的聲調分四種：即第一聲（陰平）二聲（陽平）三聲（上聲）四聲（去聲），在 Praat 語音分析軟體，可計算出音調的變化（由藍線可知）。

### 四、鳥類的發聲構造

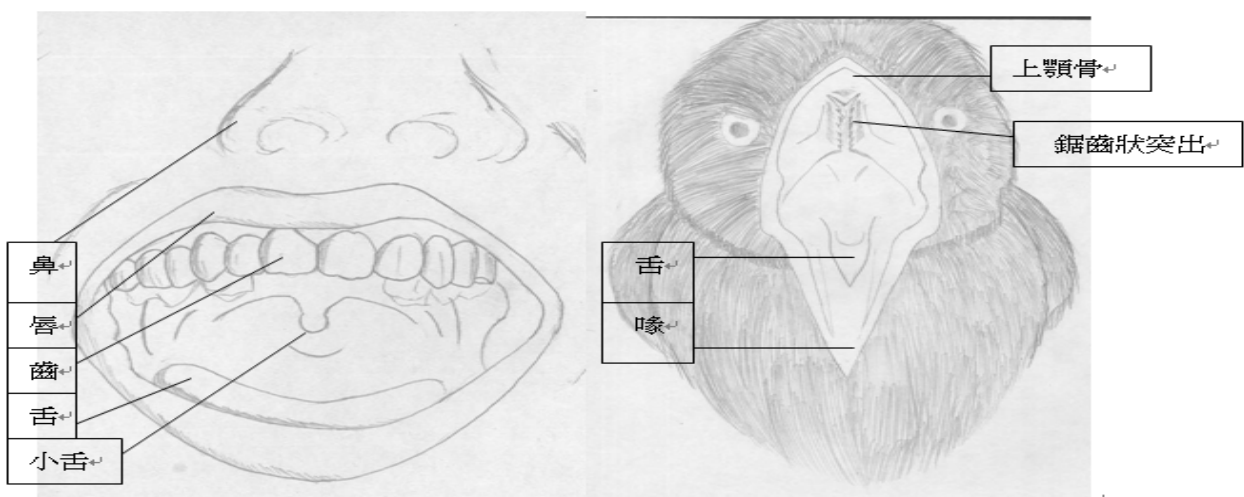
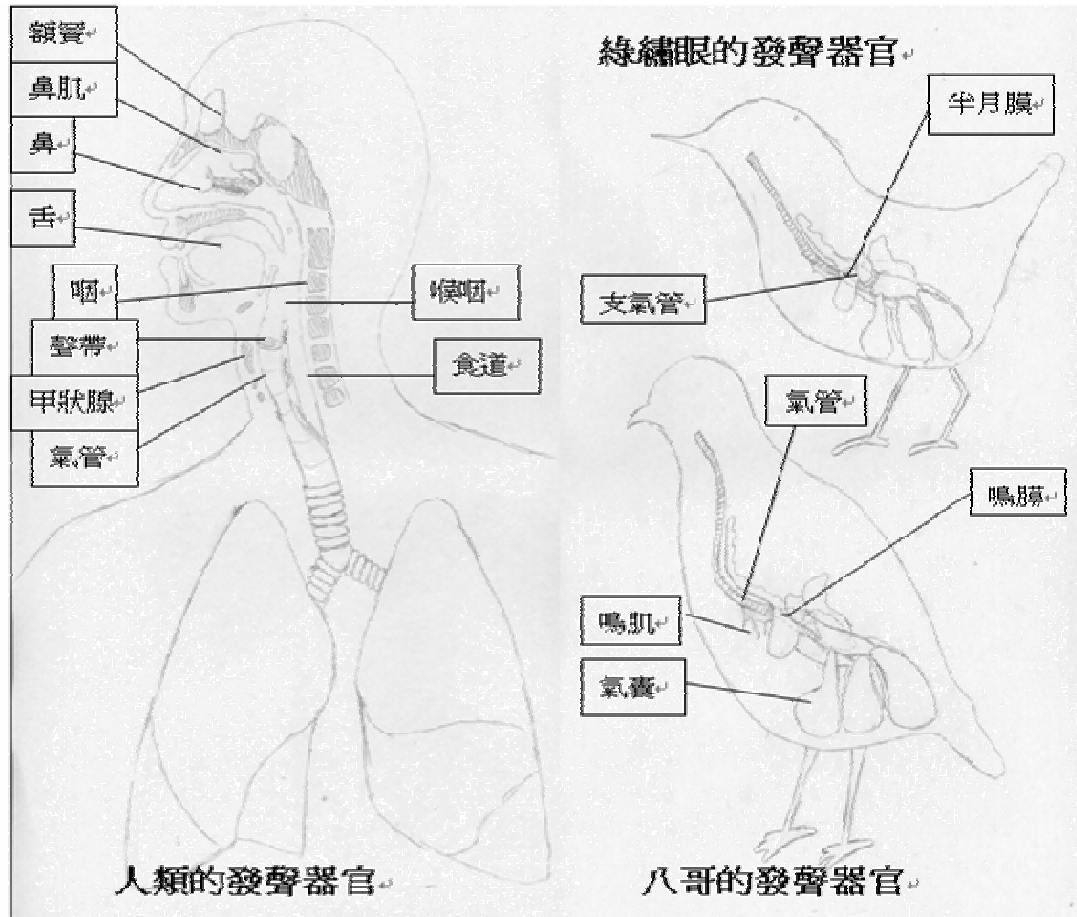
八哥為什麼會說話？其實秘密就在於牠特殊的生理構造—鳴膜和舌頭。八哥雖然會說話，但發聲器與人類的聲帶有所不同，鳥的發聲器叫鳴管—盒狀發聲器官，在體內比人類喉頭深很多的地方，位於氣管與支氣管的交界處，並在此岔處分為兩條，由最下部的 3—6 個氣管膨大變形後與其左右相鄰的三對變形支氣管共同構成，各自通往兩邊的肺部，鳴管外側有鳴肌，內側有成對的肉直唇瓣狀的鳴膜，一般的鳥兒能夠發出不同頻率、高低的聲音，那是因為鳥嘴收縮肺部噴出氣流經過鳴膜，進入鳴管後接著振顫鳴管壁發出不同的聲音，氣管的兩側可分別獨立控制，所以有多種鳥類可以產生兩個連續的音符。但會說話的鳥類發聲器官除了具備最基本的鳥類特徵之外，其構造比一般的鳥兒更加完善，如鸚鵡的鳴管中有四、五對調節鳴管管徑、聲率、張力的鳴肌，在神經系統的控制下，鳴肌收縮或鬆弛，發出鳴叫聲。

在整個鳴管的構造上，鳴膜也與人的聲帶構造很相近，只不過人的聲帶從喉嚨到舌端有 20 釐米，呈直角，而鸚鵡及八哥的鳴管到舌段 15 釐米，也和人類一樣呈近似直角狀，其他的鳥（如綠繡眼）因體態的關係則不然。而這個角度就是決定發音的音節和腔

調的關鍵，越接近直角，發聲的音節感和腔調感越強；再說舌頭，鸚鵡的舌頭圓滑而肥厚柔軟，形狀也與人的舌頭非常相似；但八哥的舌頭就比較細瘦，但卻震動很快，正是因為具發聲條件不同，八哥只能學習到與人類相似的音。

(上述文章之發聲構造請參考下圖)

此圖為同學的手稿：



#### 參、研究設備及器材

八哥鳥 6 隻、錄音機 (ZoomH4n) 2 台、籠子 4 個、筆記型電腦 1 台、鳥飼料、水、記錄本 1 本

## 肆、研究過程及方法

### 一、八哥從雛鳥到成鳥叫聲的變化

### 二、八哥在攝食前中後叫聲的變化

1.停止餵食八哥幼鳥 4 小時

2.取一隻八哥幼鳥其餘隔離

3.錄音機置於籠外 10 公分處

4.將餵食前、中、後之幼鳥的叫聲進行紀錄

7.兩星期紀錄一次（8 月 9 日~12 月 16 日）

8.將紀錄之資料用 Raven 軟體分析並比較成鳥與幼鳥叫聲、波形、波長、聲調之變化

### 三、八哥在學習語言的歷程中語音及聲調的變化

#### （一）你好

#### （二）寶貝喔

1.先餵食八哥鳥

2.聽目標音「你好」、「寶貝喔」持續 15 分鐘

3.持續 4 天（1 月 4 日~1 月 13 日）記錄其叫聲

4.將紀錄資料用 Raven 軟體分析並比較八哥鳥叫聲、波形、波長、聲調之變化

#### （三）好餓

1.方法同上

2.持續 4 天（1 月 11 日~1 月 30 日）記錄其叫聲

### 四、不同頻率對八哥的影響

分析上述實驗八哥叫聲和目標音的比較

### 五、八哥野生成鳥學語實驗

#### （一）八哥野生成鳥原始溝通模式實驗

#### （二）八哥野生成鳥原始叫聲分析

1.先準備麥克風放鳥籠旁

2.取兩隻八哥分裝成兩籠，相距 3 公尺，中間用阻擋物擋住 2 隻鳥的視線

3.錄音機置於籠外 10 公分處

4.錄製 20 分鐘且人員都離開

5.錄製完畢、存檔且用電腦分析轉換成波形、頻率、振幅

#### （三）八哥野生成鳥學習人語歷程

1.先餵食八哥鳥

2.聽目標音「你好」持續 15 分鐘

3.持續 4 天，記錄其叫聲

4.將紀錄資料用 Raven 軟體分析並比較八哥鳥叫聲、波形、波長、聲調之變化

### 六、八哥的特殊叫聲

1.使用九個月大的成鳥，餵食後放入安靜的房間，用錄音機錄音 3 小時

2.將紀錄資料用 Raven 軟體擷取並分析八哥鳥叫聲

## 伍、研究結果

### 一、八哥從雛鳥到成鳥叫聲的變化

#### （一）不同鳥原始聲比較

同種生物不只在長相上有些微的不同，聲音也會有所差異，這和其共鳴腔有關，且顏面骨、聲帶的形狀…等也因人而異，所以此實驗分 ABC 三鳥，叫聲也不同。分析如下：

A 鳥（喬巴）在幼鳥時期，音似「啾」，頻譜圖看起來混濁、轉音多。

B 鳥（花花）在幼鳥時期，「啾」叫聲頻率非常混濁。

C 鳥（柯南）在幼鳥時期，「啾」聲音混濁但尾音比較清楚。（附錄一、二）

九月時（附錄三）A 鳥 B 鳥開始叫「啾」，C 鳥學習能力偏慢，尚未出現「啾」以外的叫聲。【由於 C 鳥在九月底死亡，所以從十月開始只有做 A、B 兩鳥的實驗】。

十月時（附錄四）A 鳥 B 鳥的共振峰逐漸清晰，但有些還是有些混濁，且頻譜圖上看起來有許多曲折變化。十一、十二、一月時（附錄五、六、七）A 鳥 B 鳥的共振峰逐漸清晰，條條分明；頻譜圖上看起來相當平順，但聲音極富變化，二鳥皆不同。

## （二）幼鳥到成鳥的原始聲音變化

從八月到一月，我們每兩個星期就會做實驗、錄音兩分鐘。八月的雛鳥牠的叫聲主音混濁，尾音清晰（如附錄一）。九月八哥鳥，羽毛已經長齊，叫聲類型變化大，有時模糊，有時清楚。清楚時，共振峰呈現曲折狀，能量變化大，且 Q1~Q3 較明顯（如附錄二、三）。十月八哥鳥的叫聲模糊地帶減少，共振峰明顯，常出現轉兩次音或是兩聲叫聲非常接近，這可能是學會單詞的前兆（如附錄四）。

十一月的鳥（如附錄五）共振峰非常明顯，幾乎沒有轉音，牠的叫聲為「多多雅樂」、「啾啾啾啾啾」、「逼撥撥逼」，基頻清楚，叫聲清晰，前三個音節的 Q3 都相同，叫聲偏小，和雛鳥時的聲音比較像。

十二月的鳥（如附錄六）共振峰、頻率也非常的平，且也喜歡多聲連結在一起，叫聲為「威耶」「沒唷」「不咧」，整體叫聲清晰，共振峰清楚，第一個音節比第二個音節高，Q1 相差大，開始除了「啾」之外有多種聲音，此時可以開始訓練說話。

一月的鳥（如附錄七）叫聲為「逼耶」、「揪嘎揪」、「逼葛」，共振峰鮮明，母音重，第一個音節的音高較第二個音節高，叫聲時間非常快速，時間也較短，出現了三個音節，每一個音差異頗大，且在原始音中，會突然穿插類似目標音的單字出現。

## 二、八哥在攝食前中後叫聲的變化

一般來說餓時叫聲間隔較短、能量較大，在 8 月 9 日幼鳥時期餓的時候共振峰能量延續到頂端，但餵食時頂端的共振峰就模糊了（如附錄八）餓的時候共振峰非常模糊，餵食時共振峰較明顯且多有連音，像嬰兒快樂的在唱歌一樣（附錄九）。

在 8 月 30 日餓時共振峰呈二連音後有四連音，且尾音較模糊，叫聲淒厲的叫我們餵食；餵食時呈較短的三連音，好像在跟我們道謝（附錄十）。連音一開始的共振峰較模糊，到尾音時才變的清楚（附錄十一）。

9 月 9 日餓的時候是三連音飽的時候是二連音，飽時的連音較餓時短，且都沒到達頂端（附錄十二）。餵食中的第一型有兩個音，第一個音的共振峰較第二個音清楚，但第二個音的共振峰有延續到頂端，而第一個音卻沒有；第二型的共振峰模糊不清且沒到達頂端，已有了頻率的變化（附錄十三）。

9 月 23 日餓的時候二連音，餵食的時候三連音，跟 9 月 9 日相同。但 9 月 23 日的音更短，且不能清楚看到共振峰（附錄十四）。餵食中共振峰明顯許多，尾音顫抖，且發出三連音（附錄十五）。

十月份餓時跟餵食中差異不大（附錄十六、十八），共振峰不明顯（附錄十七、十九）此時的幼鳥已經會自行攝食，不需要人餵食。

### 三、八哥在學習語言的歷程中語音及聲調的變化

#### （一）你好

A 是我們錄了女同學用比較高的聲音說「你好」

「你」可分為子音ㄋ跟母音一：

「ㄋ」是舌尖音（發音時，氣流受舌尖和上齒齦阻礙而發的音。）加鼻音共振峰不明顯其 Q1：344.5Hz、Q3：516.8Hz、CenterFreq：516.8Hz，聲音時間較短：0.071s 到 0.082s。

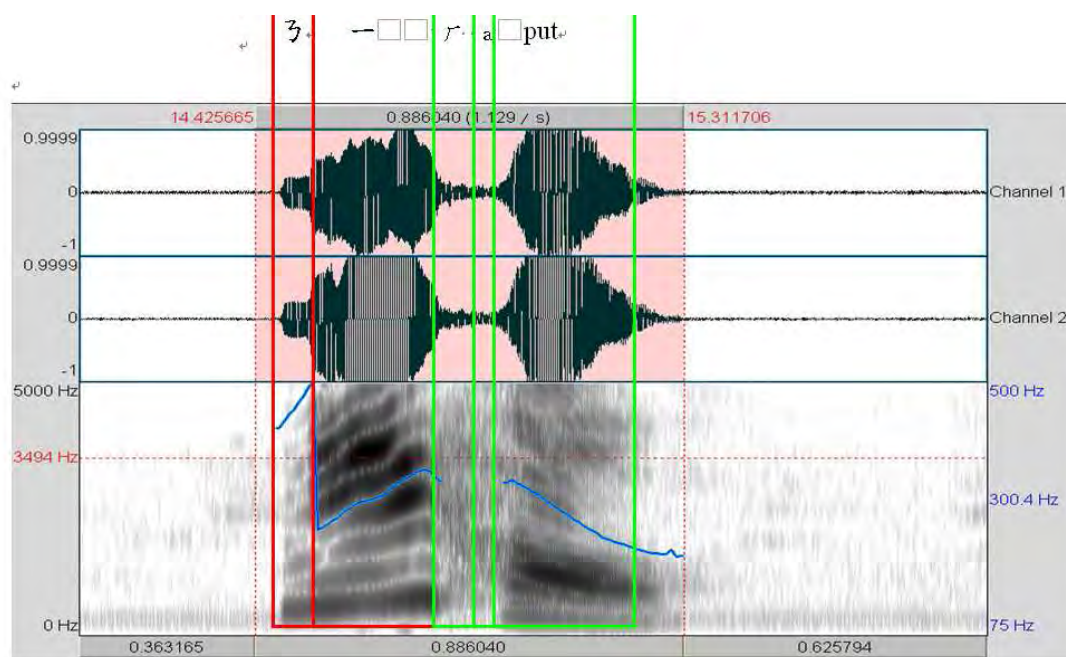
「一」是母音所以時間較長，大約是 0.266s 左右，且共振峰較明顯，但是共振峰都往右上偏，這是因為此音和平常說話不一樣，爲了要高音所以有掉嗓的感覺，所以聽起來「你」也不是三聲（∨）而是二聲（由藍線可知）。

「好」可爲子音ㄏ母音ㄠ：

「ㄏ」是舌根音（發音時，氣流受舌尖和上齒齦阻礙而發的音。）共振峰不明顯其 Q1：344.5Hz、Q3：1205.9Hz、Center Freq：1033.6 Hz，聲音較短：0.1s 左右。

「ㄠ」可分成/a/跟/put/，是雙母音，所以時間較長。

/a/的時間約 0.044s ~ 0.071s，其 Q1：1033.6 Hz、Q3：1205.9 Hz、Center Freq：1205.9 Hz。/put/的時間爲 0.089s ~ 0.191s，其 Q1：861.3 Hz、Q3：1033.6 Hz、Center Freq：1033.6 Hz，且共振峰較明顯。好的聲調原本是三聲（∨），但是由於唸時會變調的關係，所以共振峰都往下降，因此聽起來「好」的音調會比「你」的音調接近四聲、（由藍線可知）。



一開始我們錄了高音「你好」和低音「你好」，給鳥聽十天每天 15 分鐘

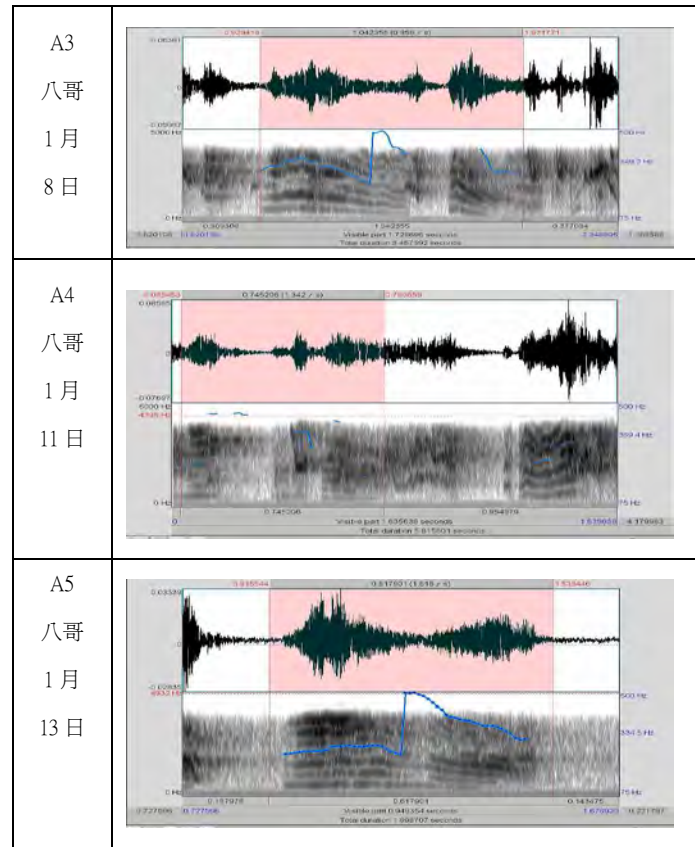
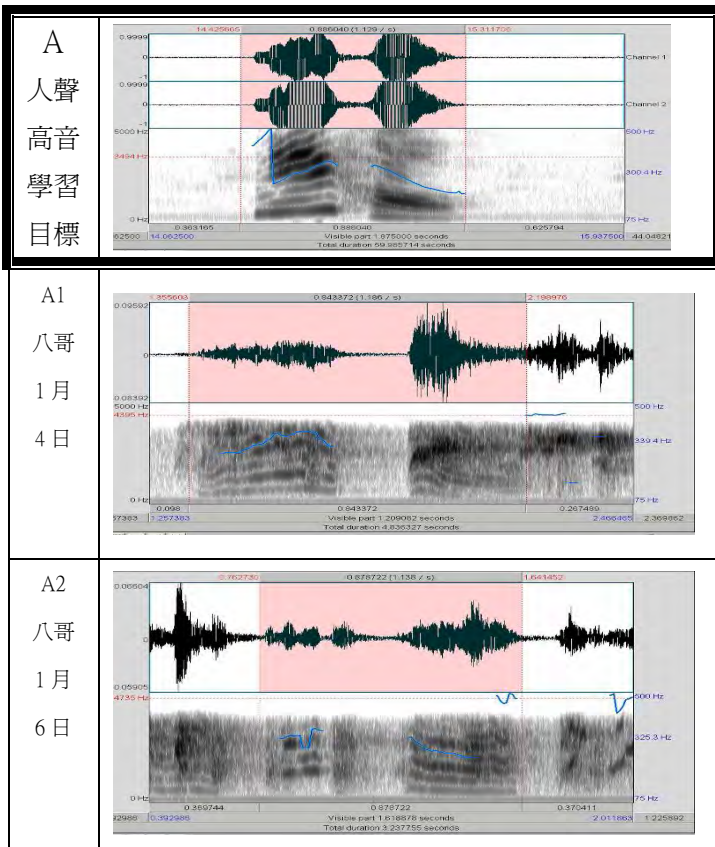
1 月 1 日時只有啾啾啾的聲音，到了 1 月 4 日鳥叫出了類似「你好」的聲音 (A1)，但是「你」跟「好」之間的時間有 0.193s 沒有聲音。之後我們的目標高音人聲當時是有 0.110s 的音，但是八哥鳥並未發出，牠發出的是有點「駕」的音所以其 Q1 為 2411.7Hz，比目標音的 Q1: 344.5Hz 高很多， $\epsilon$  也比人的目標音高，但都維持在 1205.9Hz，再開始時其實是說「駕好」。

1 月 6 日時鳥的聲音又產生了變化 (A2) 而牠的 Q1: 172.3Hz 比人聲 344.5Hz 偏低，但卻未發出「一」的音而是「ㄊ」的音，且有音調的變化。接著牠發出接近厂的舌根音，和目標音很接近，然後停了 0.155s 才發出  $\epsilon$  的音，音調和人聲很接近都是接近四聲，所以是「呢厂  $\epsilon$ 」

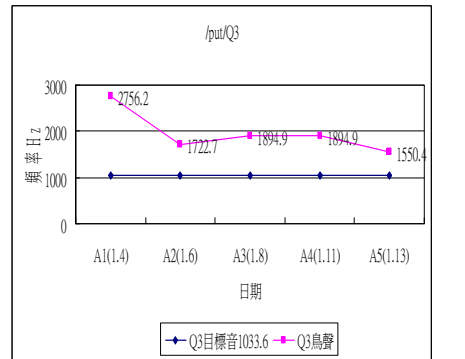
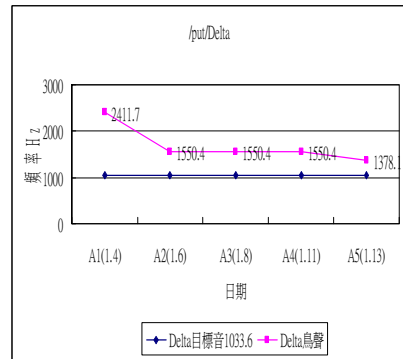
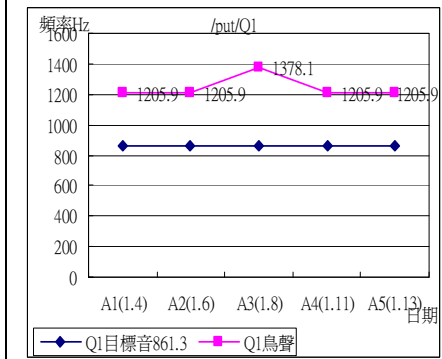
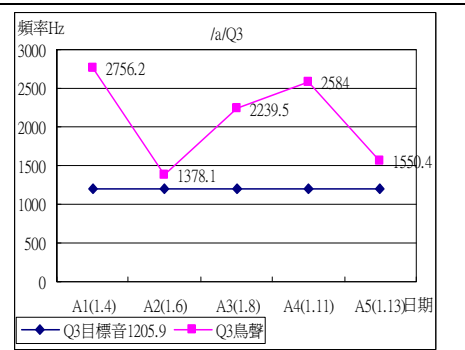
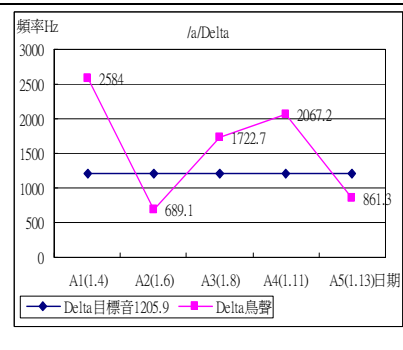
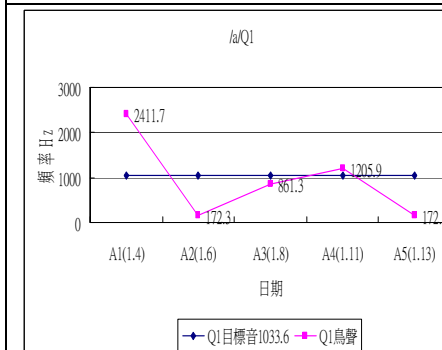
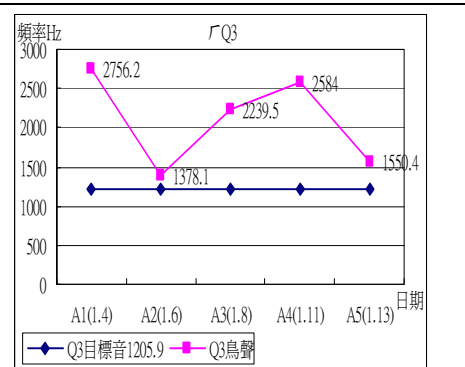
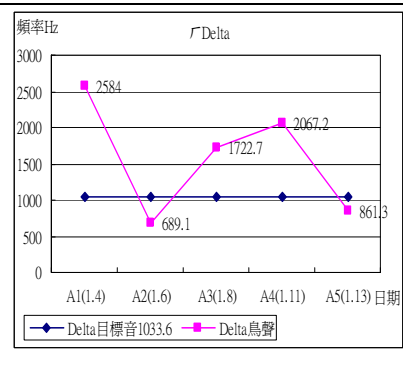
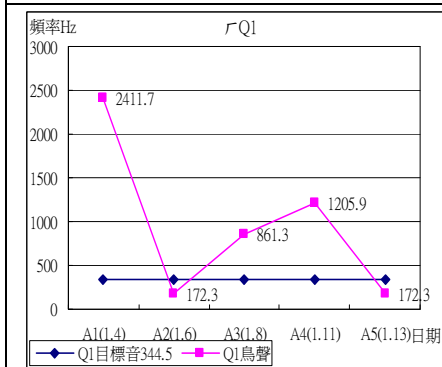
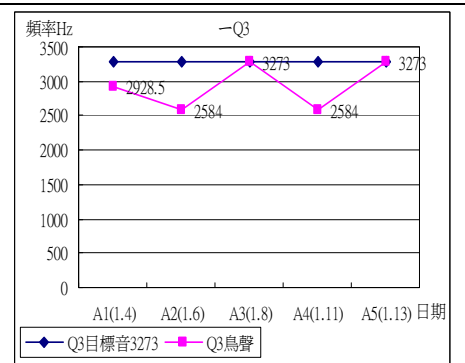
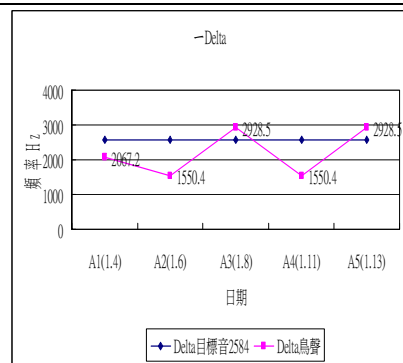
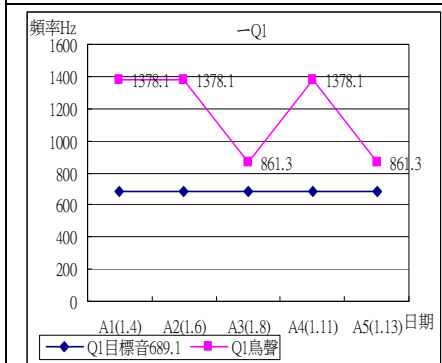
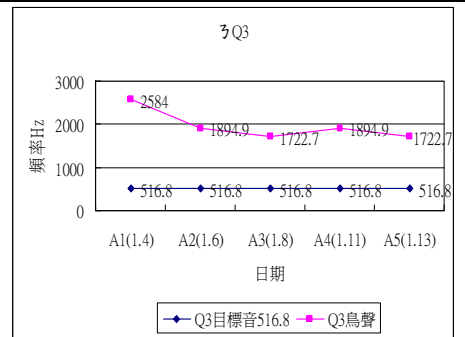
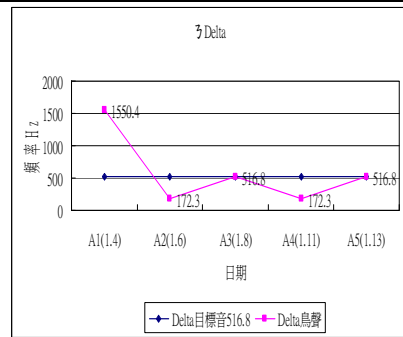
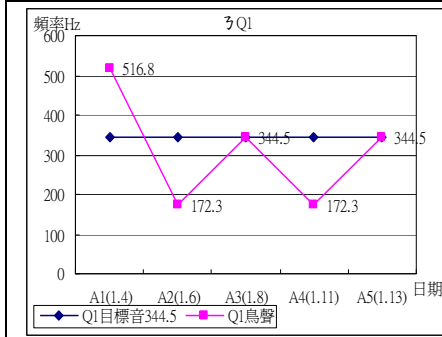
1 月 8 日時鳥聲紋圖的聲調竟然非常類似目標音了 (A3)，比較圖 A 跟圖 A3 的藍線的相似度明顯有進步。唸「一」時也和目標音一樣有變調，只是目前還在學習的過程中，所以牠變了兩次調 (A4 圖中第一段藍線) 但是「好」的音調已經學會往下降的四聲調，但頻率和目標音差異頗大。

1 月 11 日時八哥鳥的聲音 (A4)，而且你跟好之間的時間縮短到了 0.077s 因為 3 的 Q1: 344.5Hz 已經跟目標音的你一樣了，而牠的 Center Freq: 516.8Hz 也跟小聲 3 的 Center Freq 一樣了，其餘也都很相似，並且牠會發出「一」的音雖然 Q1 偏高，但是牠的 Q3Freq 和目標音一樣都是 3273.0Hz；但「 $\epsilon$ 」和其他的數據不符的原因可能是有其他聲音干擾。

1 月 13 日鳥的音調已經變的完整而且非常像原本的音調了 (A5)，而牠「3」的 Q1: 344.5Hz 和 Q3: 1722.7Hz 還有 CenterFreq: 516.8Hz 都是最相近原本的數據了，而「一」的 Q3: 3273.0Hz 跟目標音一樣其餘都相似，和目標音相似度約有百分之八十。







(二)「寶貝喔」是我們錄了女同學用較高的聲音說「寶貝喔」

「寶」可分為子音ㄅ跟母音ㄛ，本來寶應該是「ㄅㄛˇ」但是因為同學的聲音太高，以致於「ㄛ」變音成「ㄛ」。

「ㄅ」是雙唇音（發音時，氣流受上下唇阻礙而發的音）的子音所以共振峰不明顯其 Q1：172.3Hz、Q3：344.5 Hz、CenterFreq：172.3Hz，因為是子音的關係時間較短 0.013s 到 0.082s。

「ㄛ」是母音所以共振峰較明顯，且時間較長 0.107s，能量較大，但在 0.44s 後能量漸小，為了接「貝」的音。

「寶」原本是三聲（ˇ），但在我們口語的習慣上接近發二聲（ˊ）（由藍線可知）。

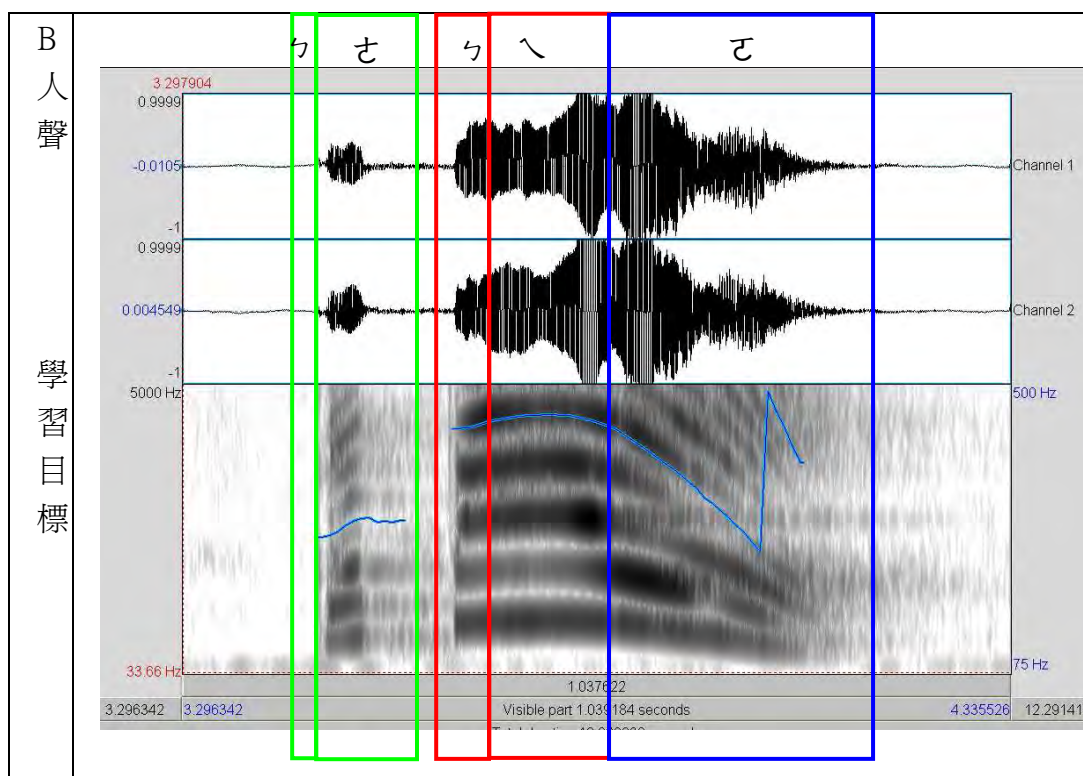
「貝」可為子音ㄅ跟母音ㄟ：

「ㄅ」比寶的「ㄅ」Q1 來的高，約 516.8 Hz，可能是因為「ㄟ」要成高音調嗓的緣故，使「ㄅ」的頻率也跟著提高，時間也變得較長 0.045s。

「ㄟ」原本是雙聲韻母尾音是「ㄟ」但是因為我們後面要接「ㄛ」的音，所以「ㄟ」沒有拉這麼長，時間為 0.081s，且 Q1 很高為 861.3 Hz。

「貝」原本是四聲（ˋ）但是我們爲了要提高音調的關係，所以「ㄟ」聽起來像是二聲（ˊ）（由藍線可知）。

「ㄛ」爲了要訓練八哥學習三個字，所以我們加了語助詞「ㄛ」，但是同學在唸「ㄛ」時在前 0.126s 能量比較大，但在尾音有聲調上揚的趨勢（由藍線可知）。



(圖來自 Praat)

一開始我們錄了高音和低音「寶貝喔」，讓鳥聽十天，每天 15 分鐘。

1 月 8 日時八哥鳥的聲音 (B1)，八哥鳥已經會叫出類似「寶貝喔」的音，但是在我們聲音分析後發現只有「貝喔」的音，但是貝的「ㄅ」跟目標音「寶貝喔」的「ㄅ」Q1 相同為 172.3Hz，沒有拉高聲調，所以「ㄆ」的音 Q1 也很低，但是紅色的框內發 /a/ 的音，後面的母音發 /put/ 的音，所以是「貝~ㄝ」，相似度不高。

1 月 11 日 (B2) 八哥發出「貝~ㄝ」的音，比之前進步的是有聲調的變化 (藍線部分) 但是是「ㄆ」上升「ㄝ」下降，和目標音「ㄆ」上升「ㄗ」下降不同，因為牠還在學習過程。

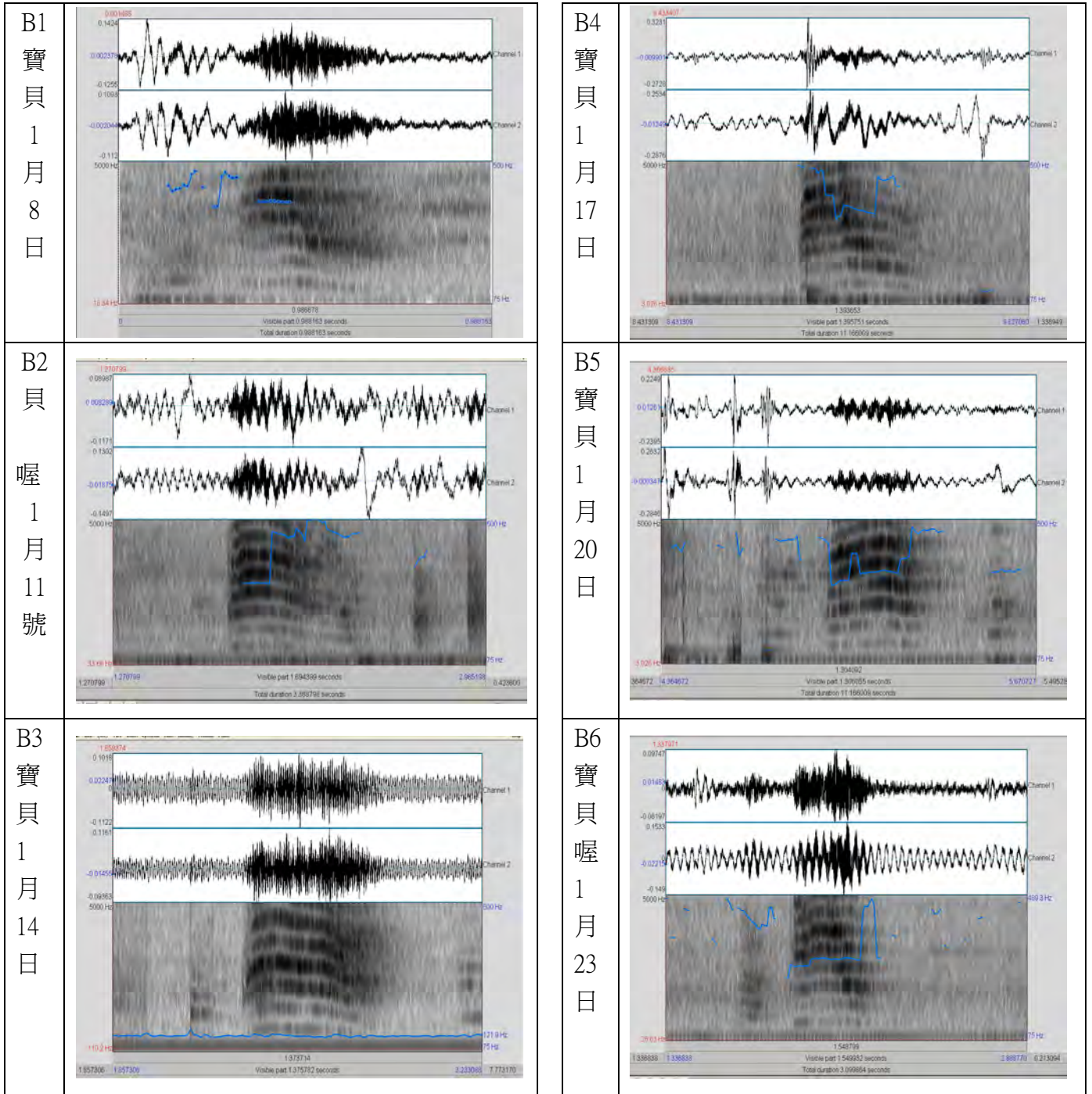
1 月 14 日 (B3) 我們明顯發現八哥開始有兩個音節，而且寶的「ㄅ」Q1 和目標音一樣為 172.3Hz，但是「ㄗ」的音八哥卻發出「ㄩ」，Q1 只有 172.3Hz，而且後來都相同，「貝」Q3 和目標音非常接近為 2928.5Hz。

1 月 17 日 (B4) 雖然 B4 是說「貝喔」，但是其音調和標準音非常接近，(參考藍色線)，在「貝」的時候是四聲聲調往下降，但「喔」的時候突然在尾音提高音調，在 B4 中也有類似的情形，聲調很相近。

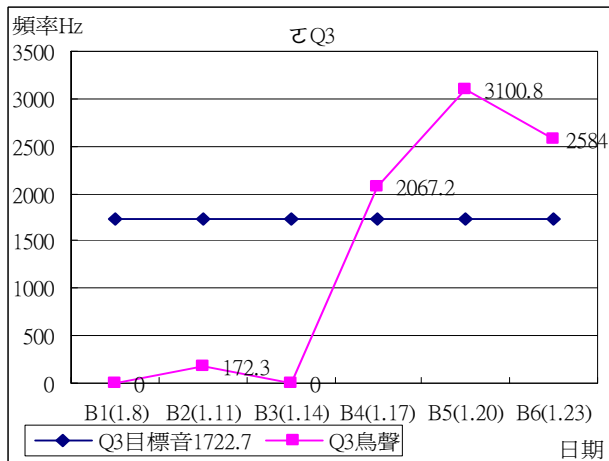
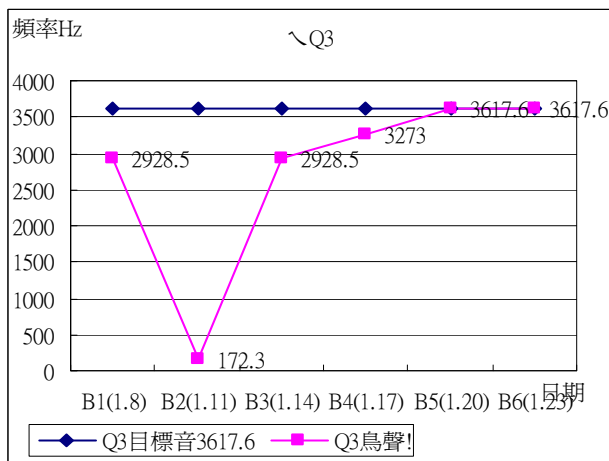
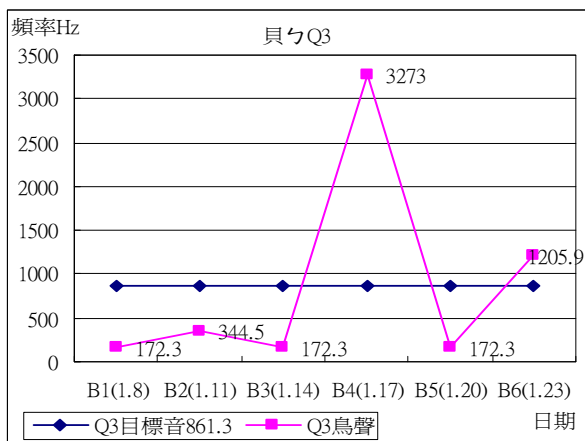
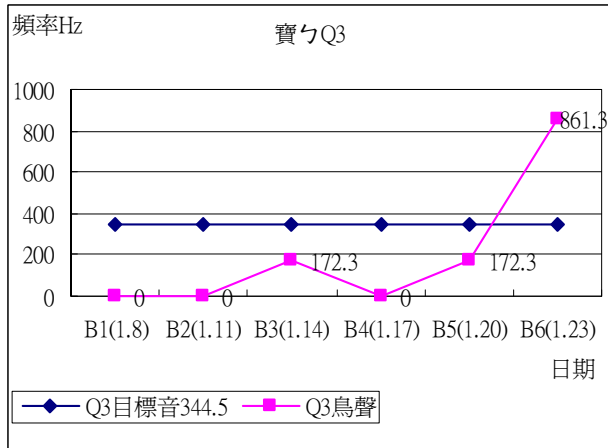
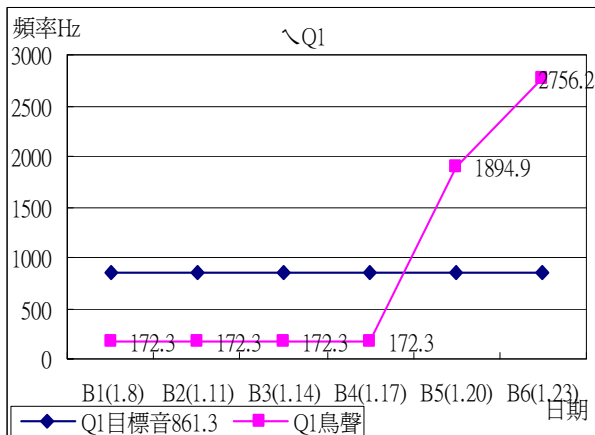
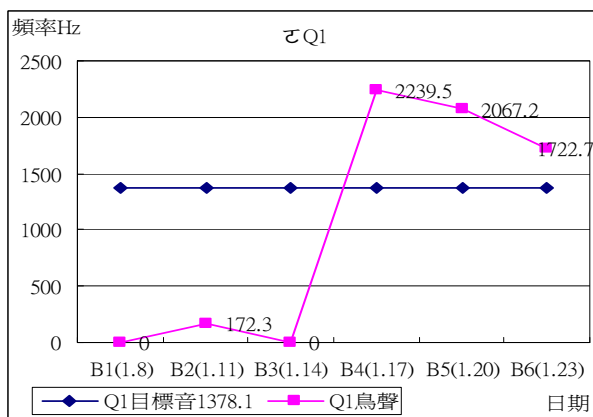
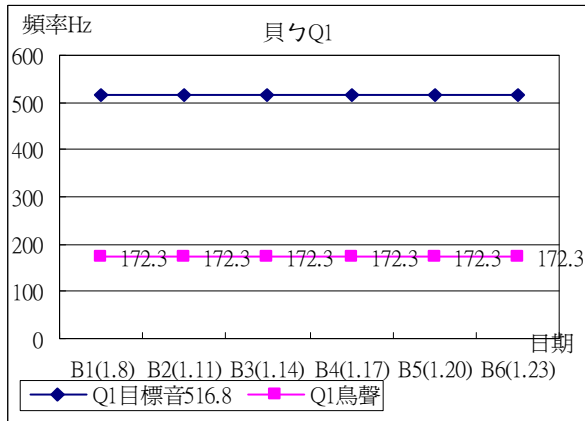
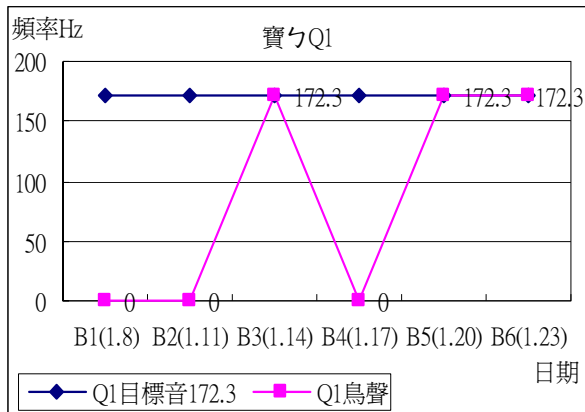
1 月 20 日 (B5) 此時八哥鳥終於發出「寶貝喔」三個音節，但是其實這聲比較接近「ㄅ貝喔」，尤其是ㄆ的音，和目標音非常接近，Q3 相同，是 3617.6Hz；但是ㄗ比目標音高一些，且聲調也很接近。

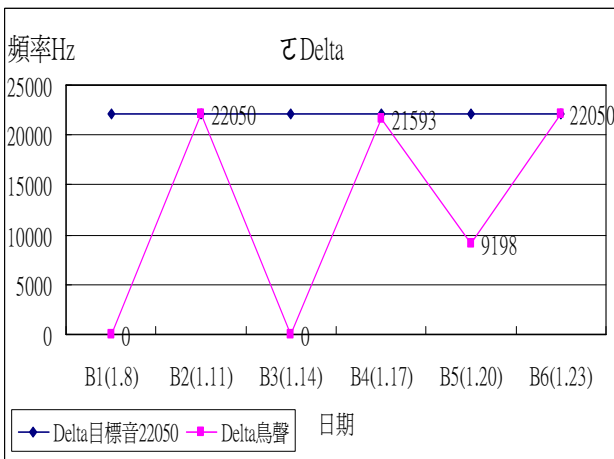
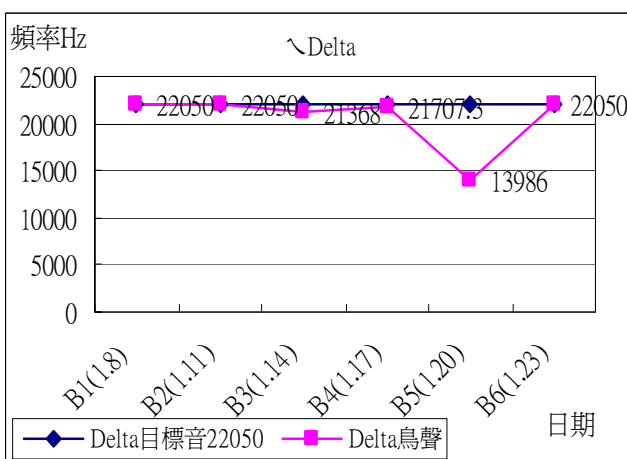
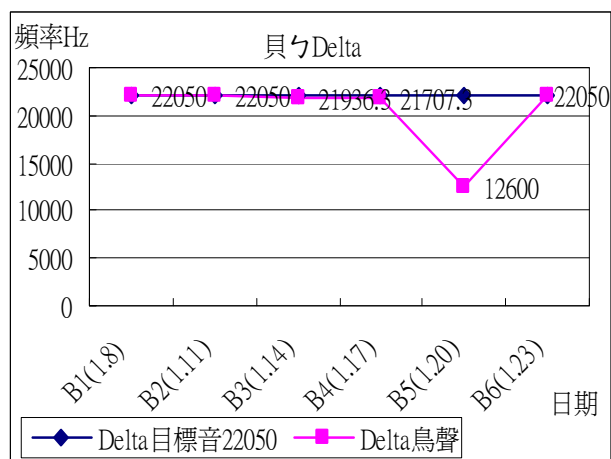
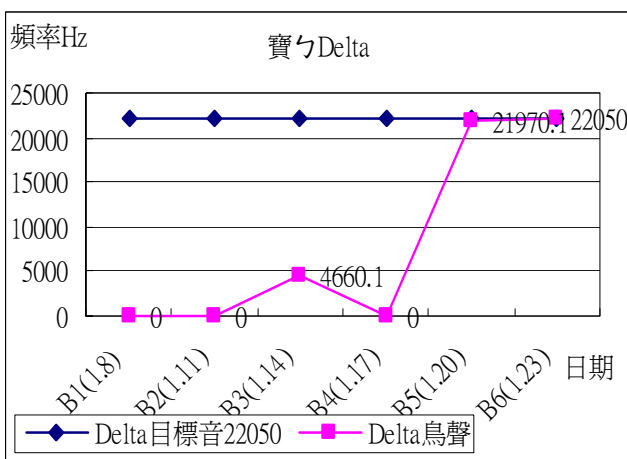
1 月 23 日 (B6) 在八哥學習了十五天之後，已經可以很清楚的發出「寶貝喔」三個音數字很相近，且聲調也很相近，在「喔」的時候往上升高；且ㄗ的 Q3 很接近目標音，為 1550.4Hz，在ㄆ的 Q3 和目標音相同，為 3617.6Hz；ㄗ的 Q1 和 Q3 也和目標音相近，顯示其母音學得比子音更為相似。

## 寶貝喔的學習歷程



(圖來自 Praat)





### (三) 好餓

C 是我們錄了女同學用比較高的聲音說「好餓」

「好」可為子音ㄏ母音ㄞ：

「ㄏ」是舌根音（發音時，氣流受舌尖和上齒齦阻礙而發的音。）共振峰不明顯其 Q1：1205.9Hz、Q3：1722.7Hz、CenterFreq：1550.4 Hz 聲音較短為 0.074s 左右。

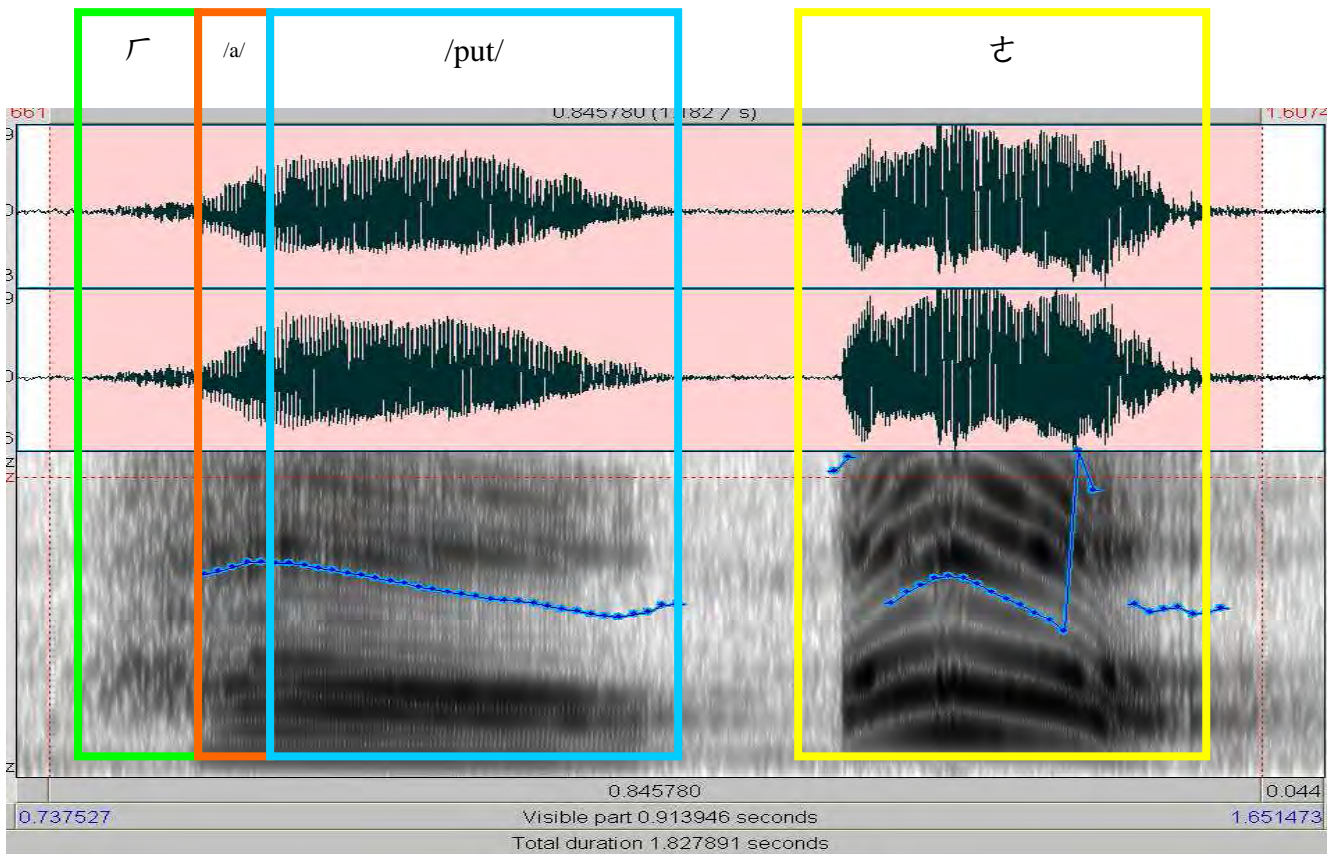
「ㄞ」可分成/a/跟/put/是雙母音所以時間較長

/a/的時間 0.034s 其 Q1：344.5 Hz、Q3：344.5 Hz、CenterFreq：344.5 Hz。

/put/的時間為 0.266s 其 Q1：689.1 Hz、Q3：1205.9 Hz、CenterFreq：1033.6 Hz，且共振峰較明顯，但是好的聲調原本是三聲（√）但是由於唸時會變調的關係，所以共振峰變為平的。

「餓」可分為母音ㄛ：

「ㄛ」是單母音且共振峰明顯其 Q1：689.1Hz、Q3：1378.1Hz、CenterFreq：1033.6Hz 聲音較長 0.285s，可以和ㄨㄛ√貝喔的ㄛ比較。



(圖來自 Praat)

一開始我們錄了高音「好餓」，給鳥聽十天每天 15 分鐘

1 月 15 日 (C1) 八哥鳥已經會叫出 Y / Y v 的音，但是在我們聲音分析後發現跟目標音發音相差甚遠，但是聲調跟目標音略有雷同。

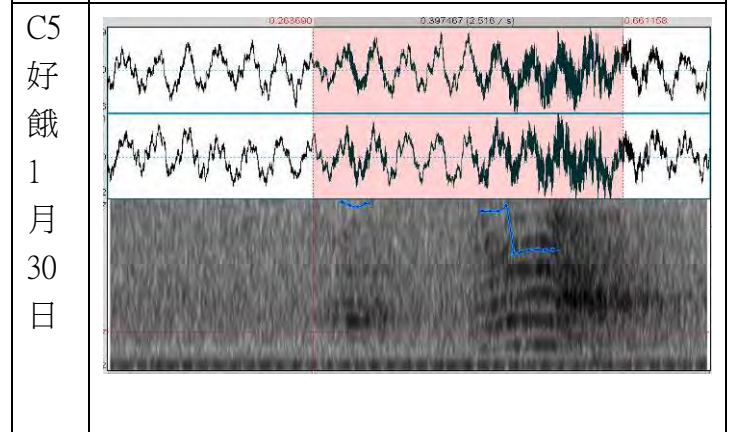
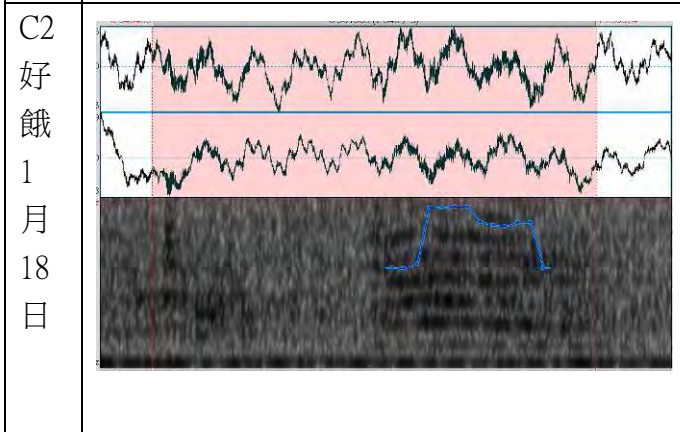
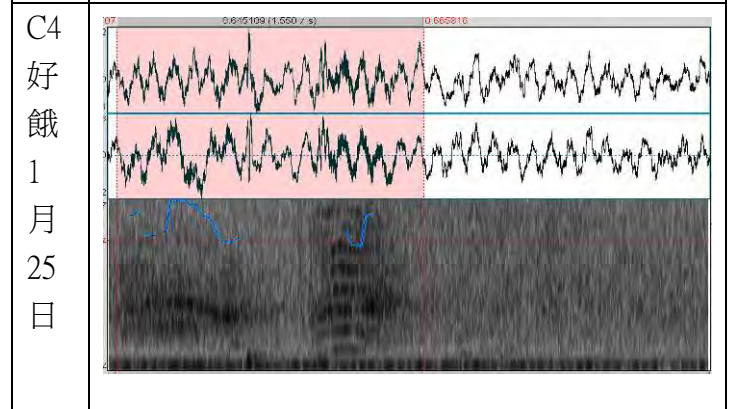
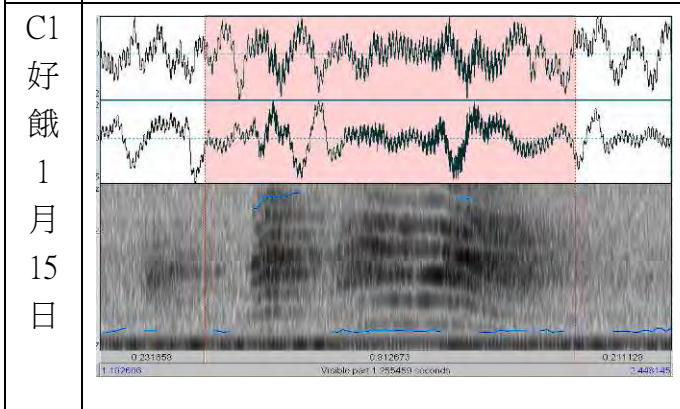
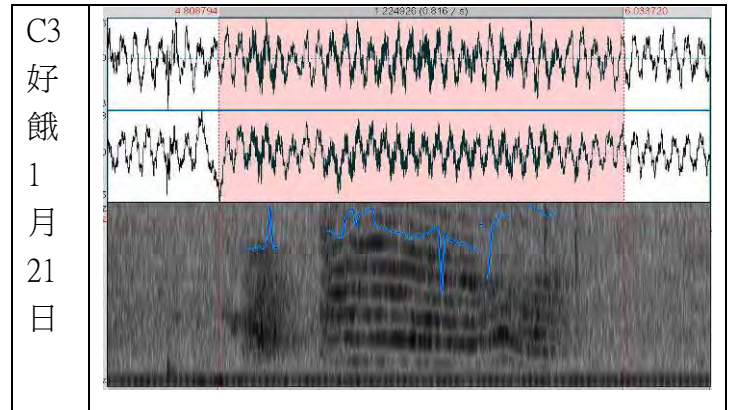
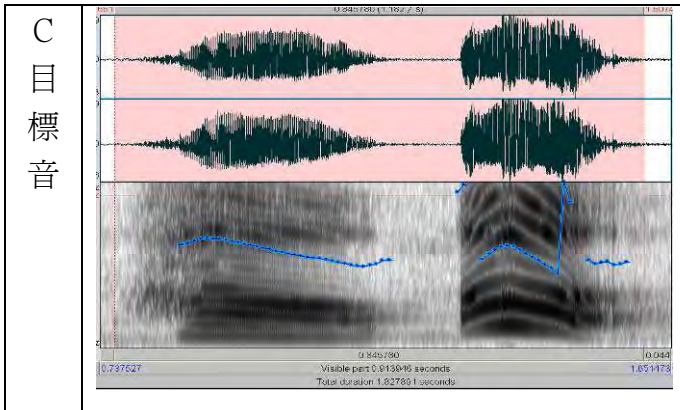
1 月 18 日 (C2) 八哥發出「ㄉ Y ㄛ、」的音，比之前進步的，ㄉ Y 跟ㄛ、中間停頓了 0.09s，和目標音好和餓中停頓 0.14s 相似。

1 月 21 日 (C3) 發出「ㄉ Y v 餓ㄛ」的音，餓的發音已經慢慢在進步，而且頻率接近，此時我們明顯發現八哥開始有三個音節，可能因為八哥正在學「寶貝喔」，所以腦部混搖才會發出ㄛ的音。

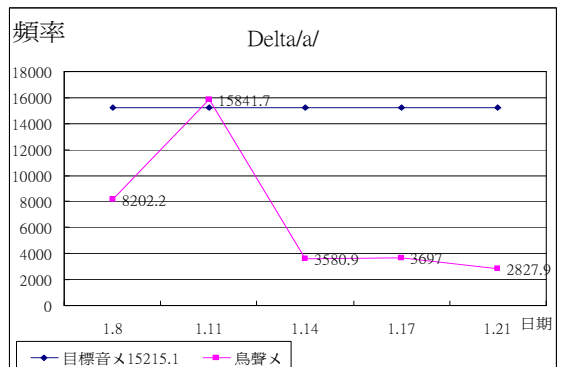
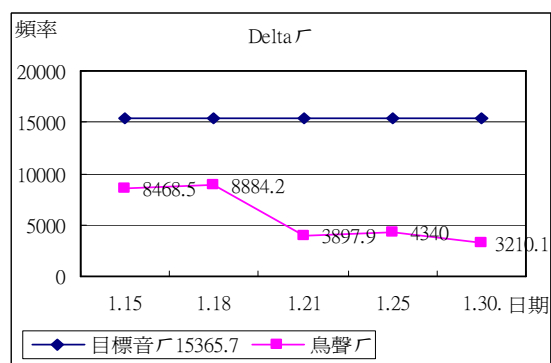
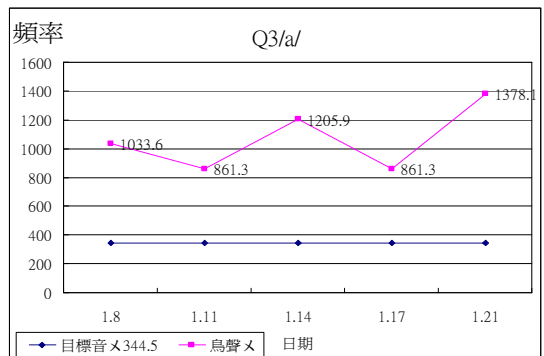
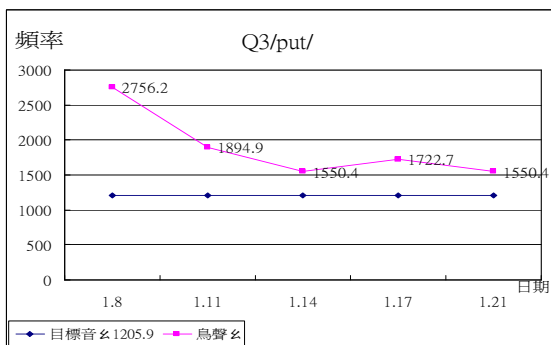
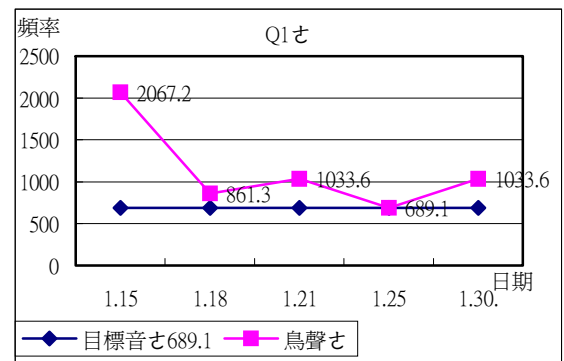
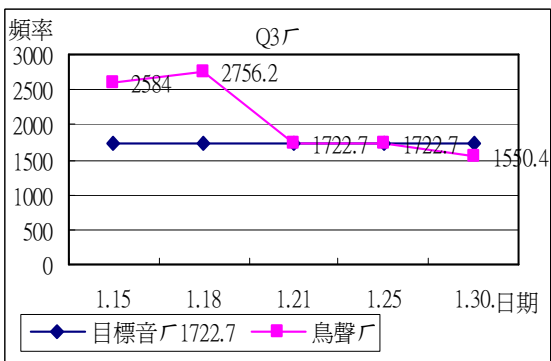
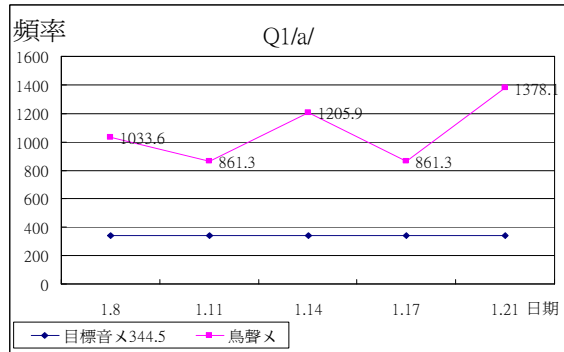
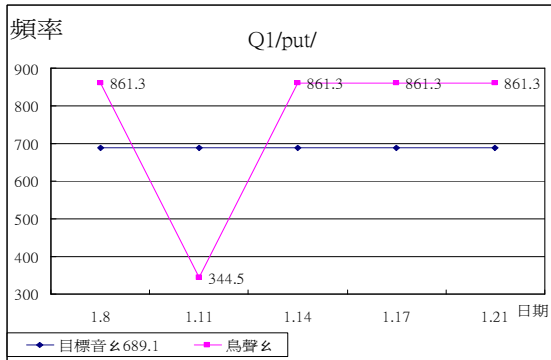
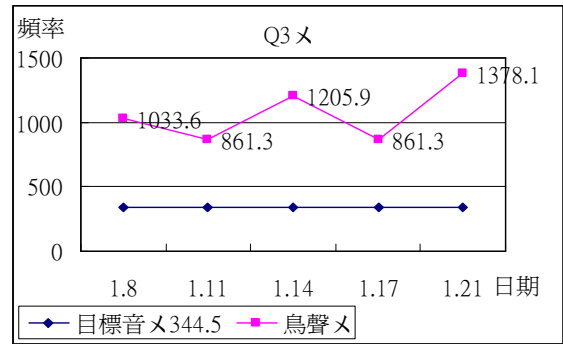
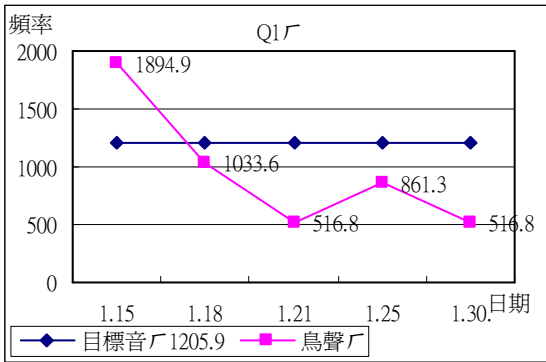
1 月 25 日 (C4) 發出「寶餓」的音，可能是牠在學寶貝喔，所以他把「好」用「寶」替代，但母音仍為ㄛ，且ㄛ中/put/的音和目標音相近。

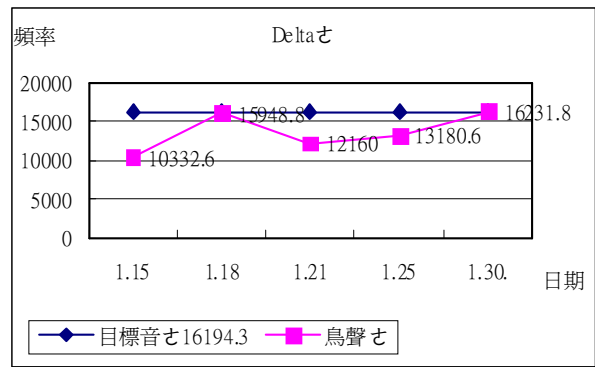
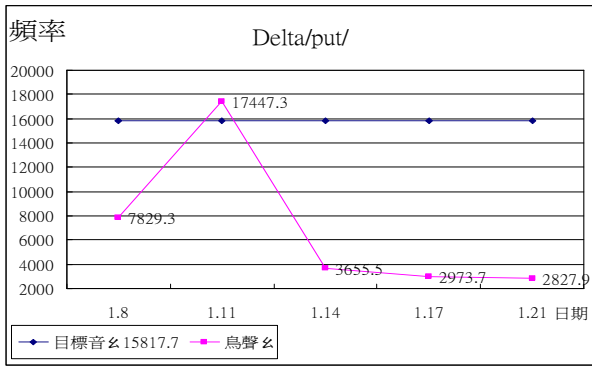
1 月 30 日 (C5) 已經可以發出「好餓」的音，然後「好」的音調和目標音接近，但是ㄉ是舌根音和之前的實驗一樣發的並不好，所以頻率數據上仍有差異，餓的音調和 Delta Frequency 相似 16231.8Hz。

好餓的學習歷程 (圖來自 Praat)







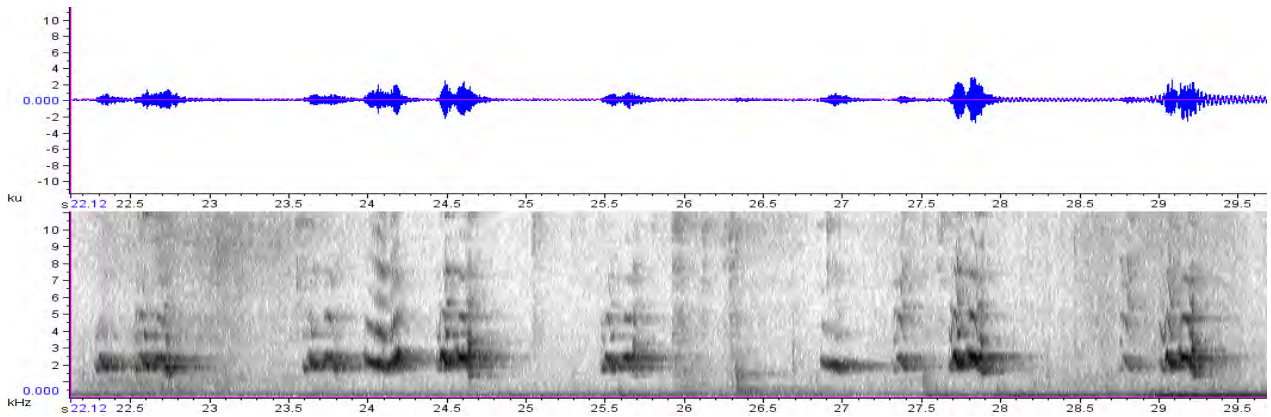


#### 四、不同高低音對八哥的影響

用不同的頻率教八哥鳥，其學語的頻率接近高音。

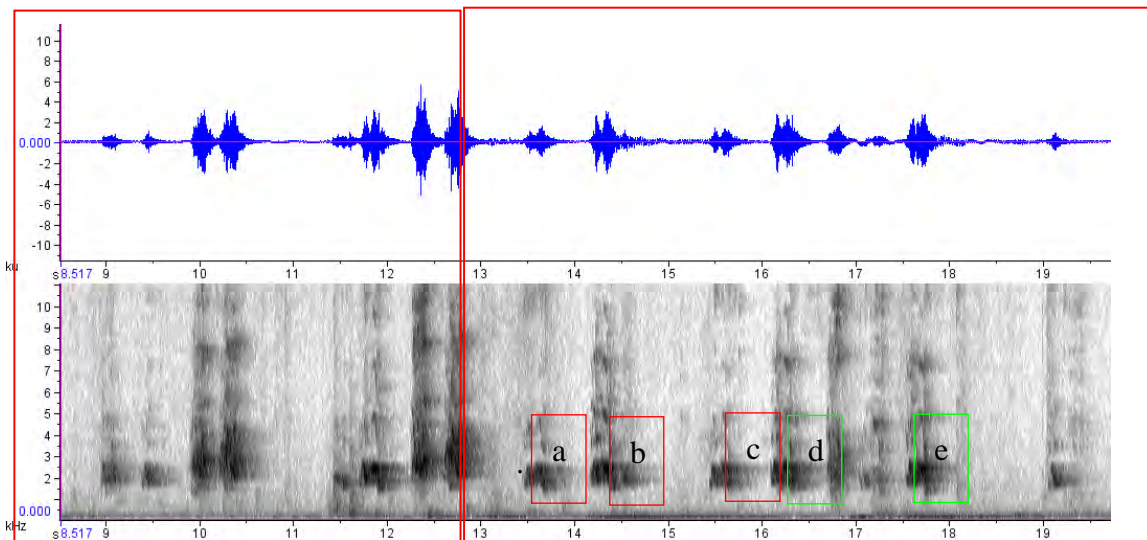
#### 五、八哥野生成鳥學語實驗

##### (一) 八哥野生成鳥原始溝通模式實驗



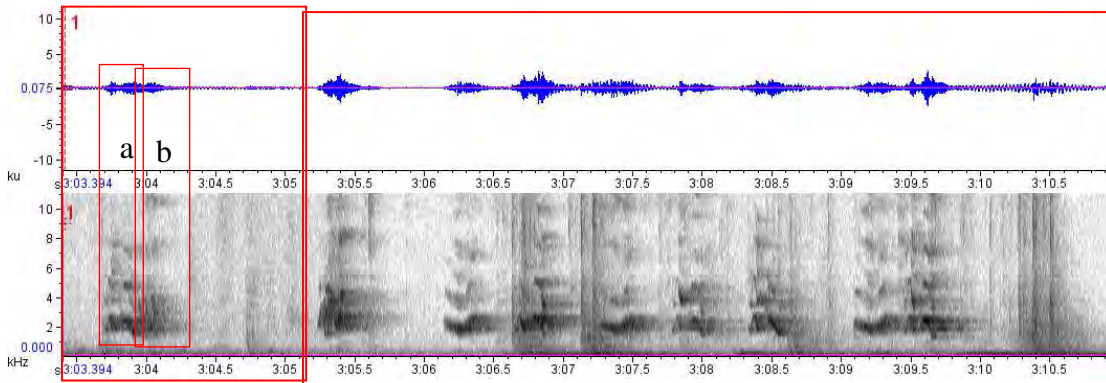
(圖來自 Raven)

定義：遠處的是 B 鳥，近處的是 A 鳥，彼此之間會有互叫的行為，在第一部份，可聽見 B 鳥叫一聲，A 鳥會叫兩聲，在第二部分 A 鳥叫一聲 B 鳥也叫一聲。其在第一部分 AB 鳥的叫聲頻率一開始是 1178.8Hz，再來 B 鳥是 1317.5Hz 但 A 鳥是 1525.5Hz，最後 AB 鳥皆維持頻率 1525.5Hz；在第二部分其頻率皆維持在 1386.2Hz。所以我們發現八哥鳥在對叫的同時也會相互調頻。



(圖來自 Raven)

定義：遠處的是 B 鳥，近處的是 A 鳥，第一部份第一次 A 鳥叫聲的頻率是 1481.1Hz，B 鳥叫聲的頻率也是 1481.1Hz，但是 B 鳥的叫聲較長，第二次 A 鳥的叫聲頻率為 1625.5Hz，B 鳥叫聲分兩次，第一次的頻率為 1342.8Hz，第二次的頻率為 1696.2Hz，且第二次叫聲比第一次叫聲長。第二部份紅框的(a.b.c.)部分為 A 鳥的叫聲，a.部分的頻率為 1342.8Hz，b.部分聲音頻率為 1484.1Hz，c.部分的頻率為 1625.5Hz，綠框的(d.e.)部分為 B 鳥的叫聲，d 部分的叫聲頻率為 1696.2Hz，e 部分的聲音頻率基頻是 1413.5Hz。所以可以發現八哥鳥就算有段



(圖來自 Raven)

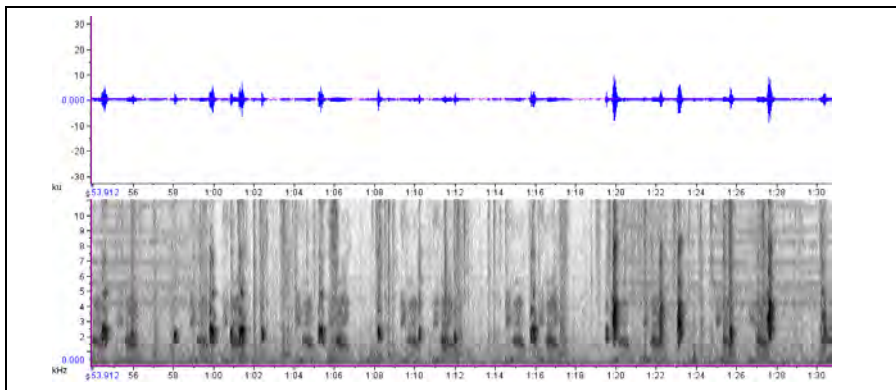
定義：遠處的是 B 鳥，近處的是 A 鳥，第一部分的 a 部分是 B 鳥的叫聲，b 部分則是 A 鳥的叫聲，a 部分的頻率為 1484.1Hz，b 部分的聲音頻率為 1342.8Hz，在此圖 A 鳥、B 鳥對叫是很明顯的。

## (二) 八哥野生成鳥原始叫聲分析

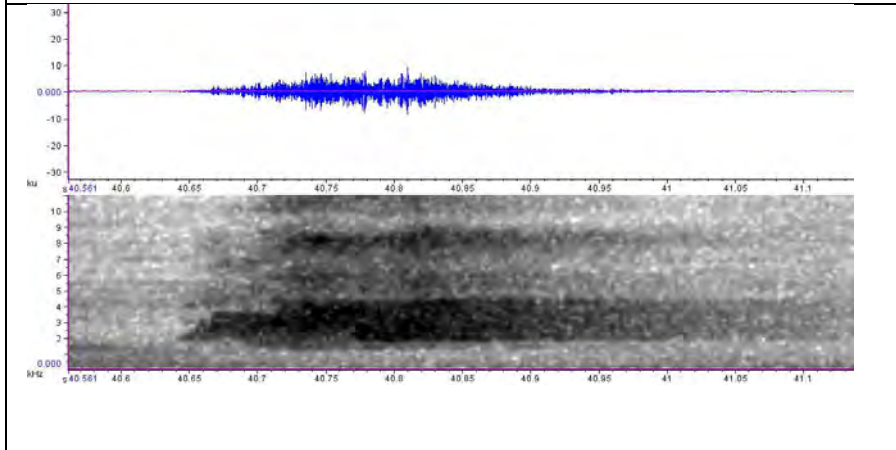
用錄音機錄音 3 小時，將紀錄資料用 Raven 軟體分析八哥鳥叫聲

如附錄二十，共有十七種型式，再把十七種型式代號分 A、B、C、D、E 五種。在 A(A1~A6)的部分的聲音頻率變化比較小，主要是有兩次的能量的變化；在 B(B1~B3)部分主要是基頻中有一個起伏，且能量部分有三次變化；在 C(C1~C3)部分主要是在一聲內，頻率上有許多波浪的起伏及不同的能量變化；在 D(D1~D3)中在基頻上有些起伏且中間泛音有消失的現象，在能量上除 D1 圖上有四個部分外，其他兩圖則有 a、b、c、d、e 五部分的大變化。最後是 E1 及 E2 的特殊叫聲，E1 是在頻率及能量上有五部分不同的變化，則 E2 是有十聲叫聲，每聲間有不同的間隔，所組成的特殊叫法，先”咕咕”兩聲(a)，再吸氣 0.4 秒後，再用不同的頻率”咕咕”(b)兩聲，停 0.2 秒再”咕咕咕咕”(c)。

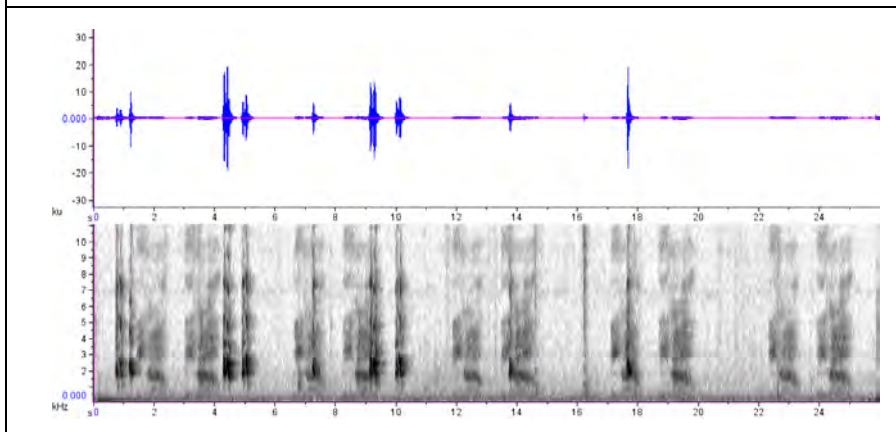
## (三) 八哥野生成鳥學習人語歷程



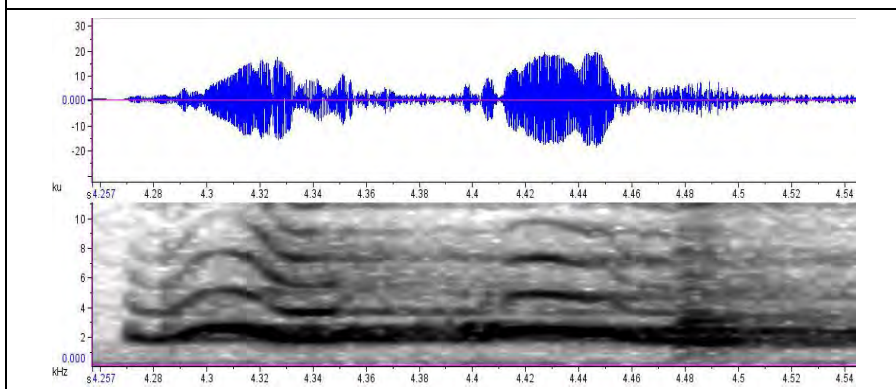
剛開始八哥聽到「你好」時，和平常一樣是叫一聲。



此音節為鳥聲，頻率為 1486.5Hz，能量為 82.6dB，時間為 40.967s，而從此音節可發現，當八哥鳥聽到「你好」後，叫聲便為一



聽十五分鐘的「你好」，連續四天，大部分叫聲便從一聲增為兩聲，頻率也有變化，但和人聲的表現也不同。



聽十五分鐘的『你好』，連續四天，第一部分頻率為 1265.2Hz，能量為 92.7dB，時間為 4.521s；而第二部分頻率為

(圖來自 Raven)

## 六、八哥的特殊叫聲

### 附錄二十一

#### 陸、討論

##### 一、八哥從雛鳥到成鳥叫聲的變化

(一) 爲什麼每年 1 月到 2 月是八哥鳥學習說話最好的季節？因爲八哥的繁殖季節是在 4 月到 7 月，生下來之後需要有一定的時間成長以及收集語料（約九個月），所以到了 1、2 月八哥鳥剛好長大成鳥，語料也蒐集的差不多了，自然而然也就會說話了。其實八哥鳥學習語言跟人類很像，因爲人在生出來之後，聽父母親的聲音這就是搜集語料的時候，到了大一點就會講出不清楚的音了，再過一些日子音就會講的很清楚了。八哥鳥也一樣，在我們的實驗中我們從小給牠們聽人類的聲音，讓牠們在成長的過程中搜集語料，所以到了每年 1、2 月牠們發聲系統成熟後學習語言就比較快了。

在不同物種語言的學習過程中所需要的條件有：

1. 大腦語言區的構造
2. 聽覺功能
3. 不同物種的智力與認知發展
4. 刺激與教育

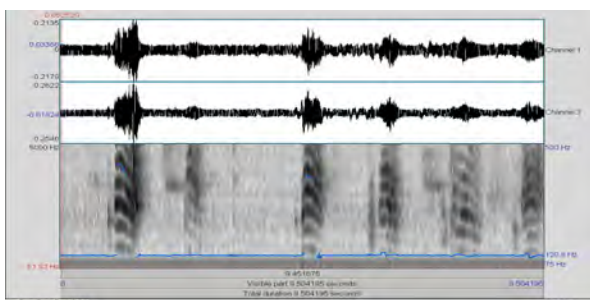
(二) 比較八哥和一個小嬰兒至長大成熟的語言學習過程之間的差異

下表爲人類與八哥鳥的語言學習期比較：

	年齡	人類	年齡	八哥鳥
第一階段 口語前期	0~3 月	指孩子尚未開始有意義的語彙之前的時期。以哭聲表示需求。	0~3 月	八哥的幼鳥，有類似人類嬰兒啾啾大哭的叫聲，能量大，頻率混濁。
	3~6 月	可以發出哭聲以外的簡單聲音，但意義不明確。	3~5 月	發出哭聲以外的奇怪叫聲，且頻率變化大。
	6~9 月	類似牙牙學語，使用一些聲音吸引大人注意，對周圍的聲音有明顯反應。	5~8 月	類似牙牙學語，會發出嘎嘎、呱呱、嘰嘰，會對周圍聲音有反應。在籠內跳躍。
	9~18 月	雖然還不能說出具體的語詞，但嘗試著用擬聲辭來代替。	8~9 月	雖然還不能模仿出目標的詞彙，但嘗試著用類似的聲音來代替。
第二階段 口語期	1~2 歲	出現第一個字彙。藉由模仿不斷學習日常見語彙，有時出現鸚鵡式回答。	9~10 月	藉由不斷的隨機練習會越來越接近目標音的聲調及頻率。
	2~3 歲	約達 50 個語彙，練習用字詞「接龍」成爲表達的語句（彷彿電報句），已經會用名詞及動詞。	10~11 月	學習約 5、6 個詞彙也會用接龍的方式串連語句。
第三階段	3~4 歲	開始使用關聯詞，將不同意思的句子結合，喜歡發問，更喜歡表達。	--	無
	4 歲以後的孩子	語言精熟期。在語言學習上，必須對說話的清晰度及流利度、內容的完整性、以及語言的複雜度領域。	--	無

根據上表可得知八哥鳥的學習過程和人類學習語言的過程相似，就像人類語言學習前期相似，只是人類學習時間較長，學到的字彙較多；八哥鳥學習的黃金期較短，所以學會的字彙較少，且兩者在語言學習的前期都會有一些結構上的異常。如：省略型八哥會省略母音，如「ㄅ貝」；歪曲型：語音接近正確的發音，但聽起來不完全正確。如：「貝喔」變成「貝ㄝ」；聲調錯誤型：注音的四聲使用錯

誤。八哥在 10~11 個月時學習約 5、6 個詞彙，叫聲可能有遞歸結構(不斷重複簡單的語句)，和嬰兒一樣用接龍的方式串連語句。



(如圖是連續寶貝 Praat)

## 二、八哥在攝食前中後叫聲的變化

嬰兒一樣用哭聲吸引母鳥餵食，八哥幼鳥時期不會自行吃飯，需要由人來餵食，幼鳥時叫聲能量大、時間長，聽起來淒厲；可能是幼鳥想要吸引母鳥注意。餵食時叫聲能量變小，每聲的時間也短，好像很開心的樣子。到了成鳥時，我們發現八哥叫的次數就隨機出現了，可能因為牠們已經可自行攝食，已經不需要引人注意了。

## 三、八哥在學習語言的歷程中語音及聲調的變化

### (一)「你好」

鳥學習的語言先後次序：在「你好」當中的「你」，「ㄟ」是舌尖音，而八哥鳥的舌頭靈活，舌尖和上顎比較容易碰到，所以「ㄟ」的聲音和我們的目標音比較相似；「一」則是前母音，由舌頭前端控制力道，八哥鳥學的不錯只是聲音拉長些，母音是每個動物與生俱來的，只是每個物種間各有差異。「好」當中的「ㄉ」是舌根音，八哥鳥可能舌根和小舌不靈活所以不容易發出這種氣音，所以到 1 月 6 日才發出類似的音。而ㄛ的音「a」跟「put」發音時嘴型是圓的，而八哥鳥的嘴是尖的要發出圓嘴的音有一定的困難度，所以「好」學的比較慢。

### (二)「寶貝喔」

在學習「寶貝喔」的時候，我們發現八哥會先發出相似的音，之後再調整聲調，最後調整頻率接近目標音。「寶」的ㄅ是雙唇音，八哥鳥的喙和人類的唇，在組織上是明顯的不同，所以學的比較慢。且牠的 Q1 只能發出 172.3Hz，所以當目標音爲了飆高音「貝」的ㄅ Q1 爲 516.8Hz，八哥鳥的 Q1 只能發出 172.3Hz。「貝」的ㄆ其實是雙母音，分爲ㄝ跟一，但是因爲連音的關係，所以目標音只有發出短音的ㄝ，八哥在學習時，Q3 比較接近目標音。

### (三)「好餓」

因爲「寶貝喔」和「好餓」是同時學習，所以八哥會有混淆的現象，在學習過程中「寶餓」或「好餓ㄊ」等詞。

## 四、不同的高低音學了什麼

但假如說話者，用比較高的基頻發出母音，例如小孩或女性的聲音，則頻譜上看起來比較像是寬帶狀，比較無法看出明顯的峰值。女同學寶中的ㄊ Q1、Q3 相同，爲 14642.6 Hz。放不同高低音的目標音，八哥鳥再次說「寶貝喔」的頻率就會和高音相似，但和低音相差甚遠，可能是因爲八哥鳥原本的音就比較高，所以八哥鳥在學習「寶貝喔」時，對高音會有比較高的學習力。而八哥鳥因爲天生聲音較高，所以會比較注意比較高的聲音，或八哥鳥的大腦中對於判別高音比較好，所以八哥鳥學高音的效果會比學低音來的

更佳。

## 五、八哥聲音的特性

### (一) 母音

母音是聲音之母，所有的物種都可以學聲調、學母音。像狗「汪汪」聲，裡面一定有母音及聲調。像平常八哥鳥「啾」的叫聲，只要我們耳朵聽到聲音，就知道內含有母音的存在。



我們想要判斷「啾」是不是跟我們人類的音一樣，但鳥聲的「啾」起碼有三個母音（參考附錄一~四），我們無法憑耳朵聽出來，當八哥成熟後才會轉變成爲一個乾淨的母音，頻譜才會趨向平的（參考附錄五~七），。

因爲鳥的聲音跟人類的頻譜範圍一定跟人類不一樣，人的大腦會自動歸類腦中有的聲音。八哥一個母音

內有三個音節，聲音很高 Q3 爲 172~6718Hz，而人類 Q3 最多也只有 3500Hz 而已。

比較母音，母音分爲前母音與後母音，例如前母音發音時施力點是前面(一ㄨㄩ)，若是後母音發音的點是在舌根，所以「ㄩ」是屬於後母音的發音，「一」則爲前母音。這即是簡單的分辨方法，人類的前母音 f2 和 f3 較靠近，後母音 f1、f2 會相近，八哥鳥在幼鳥時期的 Q1、Q2 這兩條較靠近，幾乎是連在一起的。前母音有分舌位的高低及嘴唇的開合，當 Q1、Q2 這兩條越靠近，表示是高母音，八哥鳥的叫聲比較偏向這種類型。

### (二) 子音

對八哥而言，最大的挑戰是學習人類的子音，因爲人類是所有物種中子音系統最複雜的。其實每個動物都有子音，只有子音數量多寡的差異，人類因爲子音數量多，所以發展出很多不同的音。

由實驗結果發現，八哥的舌尖音學得比舌根音(ㄐ)及唇音(ㄅ)好，齒音未研究。

子音系統的發音部位有唇、舌、齒、齦、顎、小舌、會厭、喉等...

雙唇音：發音時，氣流受上下唇阻礙而發的音。ㄅ、ㄆ、ㄇ。

唇齒音：發音時，氣流受上齒和下唇阻礙而發的音。ㄆ。

舌尖音：發音時，氣流受舌尖和上齒齦阻礙而發的音。ㄉ、ㄊ、ㄌ、ㄎ。其中發ㄌ時，聲音要從鼻子裡出來，相當英語裡「n」的發音。

舌根音：發音時，氣流受舌根和小舌阻礙而發的音。ㄍ、ㄎ、ㄑ。

舌面平音：發音時，氣流受舌面和上下齒阻礙而發的音。ㄑ、ㄒ、ㄔ。

捲舌音：發音時，氣流受捲起的舌尖和上顎阻礙而發的音。ㄓ、ㄔ、ㄕ、ㄖ。

舌尖前音：發音時，氣流受舌尖和下齒背面阻礙而發的音。ㄗ、ㄘ、ㄙ。

## 六、八哥鳥學語和神經系統

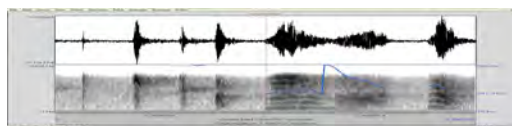
### (一) 模仿和刺激-反射

當我們在訓練一隻鸚鵡時，把敲門與“請進來”二者的聲音聯繫在一起**刺激**鸚鵡，鸚鵡便把這些信號儲存起來，經過反覆刺激，就會形成**條件反射**。

因爲人類的講話是從後天中學得，鳥類會學人說話，只有在飼養的情況下，經人教和訓練才能學會，而且還是無意識的。八哥在語言的學習上比鸚鵡更沒天份，只有在幼鳥期時想進食時會大聲鳴叫哭鬧，之後只在早晨、天冷時不定時發出鳴叫，不容易用實驗的刺激-反應控制，且我們教的語詞在八哥的原始音中隨機出現，更證明八哥是無意識的隨口發出之前學習的語料。(如下圖爲無意識的連音：啾啾啾啾你好餓)

(圖來自 Raven)

## (二) 鳥類學語和記憶



雖然八哥是無意識的發出之前學習的語料，但由實驗的結果可知其學習過程中是有記憶及修正的，但為什麼在學語的黃金期後學習的能力就退化了呢？而之前學的詞彙還可維持多久，沒有消失？

有學者研究鳥類在學會幼鳥期學的語詞是收集語料後，在腦中不斷的修正、調整，過了黃金期後成了結晶（就是不變）性單詞，被成鳥記憶。

除了八哥鳥外，其他的鳥類也有屬於自己的語言溝通模式(如之前的綠繡眼)，在 Brainard, MS and Doupe, AJ (2002)的研究中說明鳥類的收集語料是一種動態學習，涉及腦內的基底神經節。有些品種學習歌曲只限於第一年，牠們的學習方式被稱為年齡限制或閉端學習，八哥鳥有這種傾向。過黃金時期後學語能力變差，可能是大腦的特定部分專門從事這項語言類型的學習。在之前的實驗中，我們用的是已經過了黃金期的八哥成鳥，就算重複聽了多次「你好」，八哥鳥可能只由之前只叫一聲原始音，改變成「啾啾」兩聲就認為已經學會了。且八哥發聲的種類很多，從上次實驗的兩隻成鳥中我們一共發現了十七種的發聲模式，本次實驗我們希望藉由八哥由幼鳥期開始飼養及觀察，發現八哥學習的前兆及當時聲音的改變，並在八哥的學語黃金時期開始訓練，紀錄其語言模仿的過程。

### 七、八哥學語的動機

在我們的實驗中發現：如果將兩隻野生的八哥成鳥其中一隻隱藏起來，牠們會在對叫中調整聲音高低的頻率，牠們用原始叫聲保持彼此間的聯繫，但並非模仿的聲音。模仿的聲音可能是爲了要吸引餵食者或異性的注意。

### 八、鳥類的方言

因爲生物的語言是後天學習的，爲的是彼此間的交流及溝通。就像人類在學語的過程可能會同時學習中文或英文…等語言，而不是用嬰兒的哭聲來溝通。爲什麼鳥會有方言呢？是因爲鳥以方言溝通，可增加「生殖成功率」；方言的不同，也造成了生殖隔離，有助於演化。

在我們的實驗中，將八哥鳥的叫聲（2433Hz）重複播放，八哥鳥也會跟著電腦播出的聲音對叫，且最後會調成相近的頻率，表示在（2433Hz）頻率下可能是八哥鳥溝通的頻率，因爲我們也重複的播放八哥鳥模仿的叫聲，八哥鳥對此沒有反應，所以此語可能是後天習得，並非天生所有。推得八哥鳥在野生的狀態下會彼此溝通，如果我們把訓練的鳥放到野外，可能會無法與野生鳥溝通，因爲牠們沒有學習八哥野生的語言，所以我們不應該隨意放生鳥類。

## 柒、結論

本次的科展我們從八哥雛鳥開始養至成鳥，在八哥學語的黃金時期，開始訓練其模仿人聲。本次實驗的結果，八哥已會說了「你好」、「寶貝喔」、「吃飯」…等詞彙，並紀錄八哥學習的聲音變化過程，以及八哥幼鳥至成鳥原始音變化，找出學習的前兆。

三隻八哥雛鳥（A、B、C）聲音有個體差異且共振峰模糊，但因年齡的增長使共振峰趨近平緩，聲音卻是變化萬千。在飼養的過程中，發現雛鳥在饑餓狀態下，會和嬰兒一樣用哭聲般的叫聲吸引母鳥餵食，但成鳥後叫聲呈現隨機狀，尤其是在天冷時特別明顯。

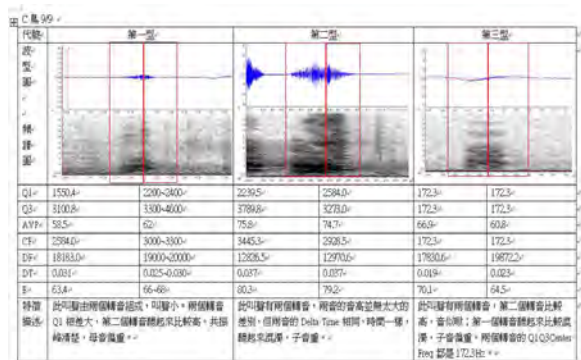
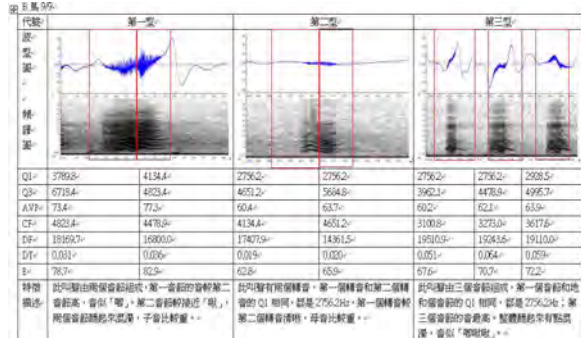
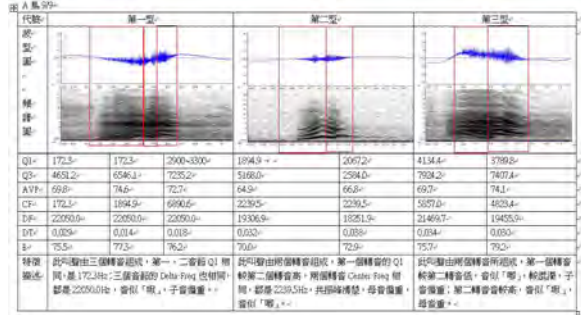
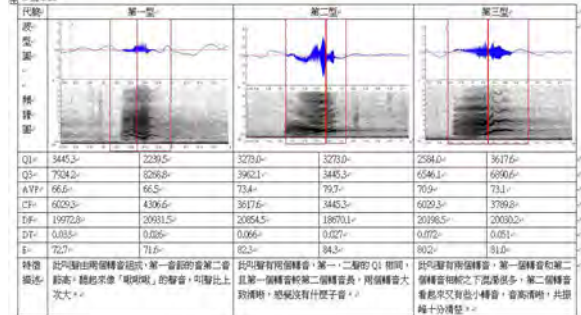
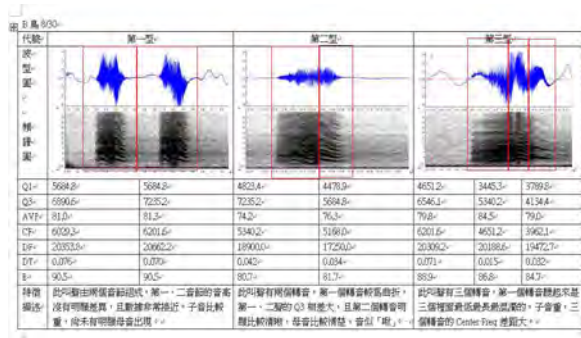
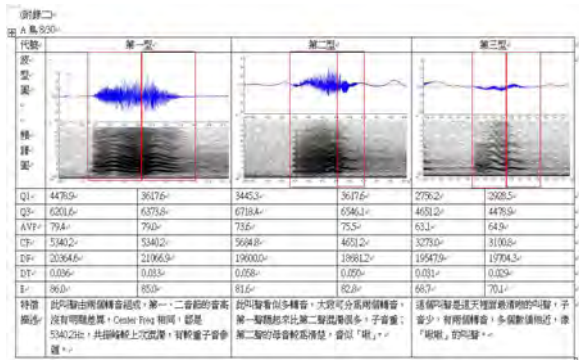
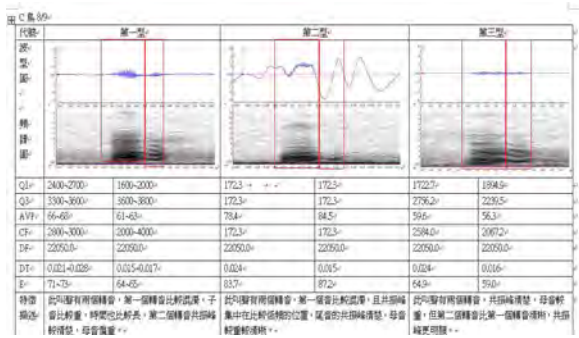
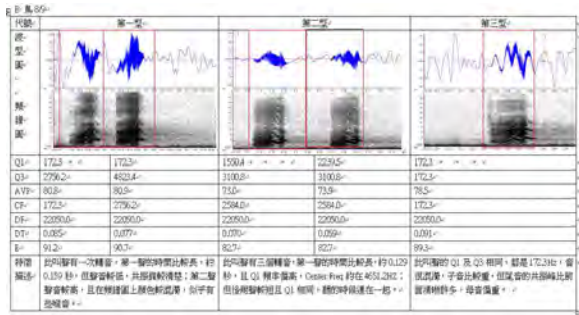
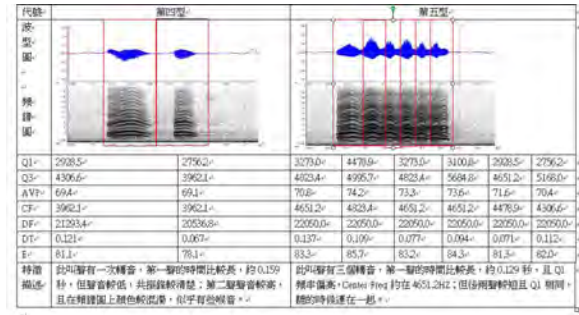
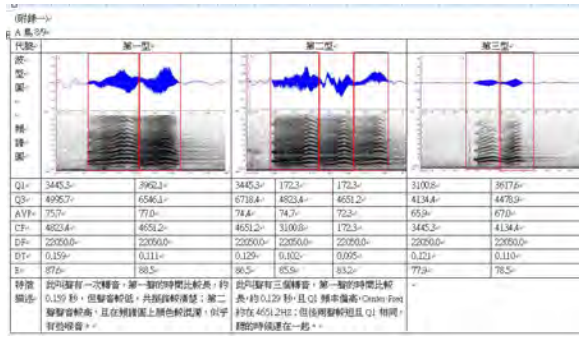


在八哥學語的實驗結果發現，八哥會先發出**相似的音**，之後再**調整聲調**，最後**調整頻率**接近目標音，但會有發音上的限制。八哥鳥子音中雙唇音(ㄅ)發音的差異性較大，可能是嘴唇和鳥喙構造上的不同。「好」當中的「ㄏ」是舌根音，八哥鳥可能因為舌根和小舌不靈活，比較不容易發出這種氣音，所以學習較慢。但是共振峰強烈的母音，八哥學習的相似度很高，但是後面學習的語句會和之前有搞混的情況，如把「好餓」說成「寶餓」。

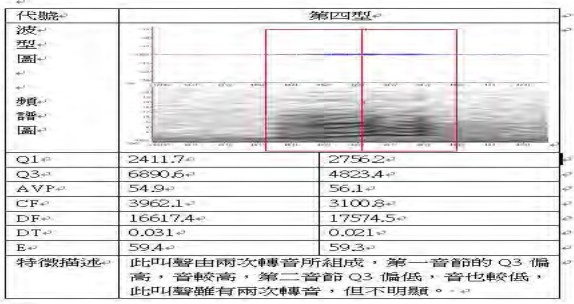
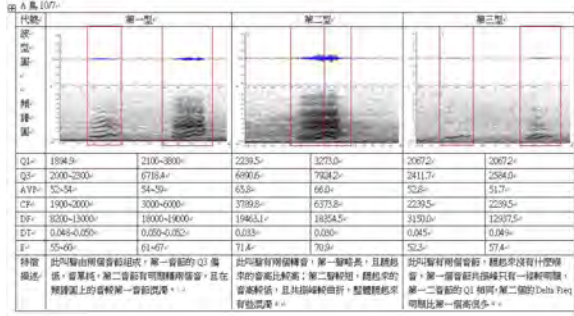
爲了證明八哥鳥只在黃金時期學語，我們取野生成熟的八哥鳥教「你好」。但八哥鳥並無法發出類似的音，只能由「啾」變成「啾啾」兩聲後就不再改變。但如果八哥鳥從雛鳥開始養起，九個月後，主人利用此時反覆教導，八哥鳥就會模仿人說話。推論出如果太早教導八哥鳥，可能會因為鳥的智力發展或發聲構造不成熟，成效不彰；太晚教，八哥鳥已經失去了想模仿人話的能力。說明了八哥鳥爲「閉端式學習」的鳥類，只要過了學語的黃金時期後，便不再具有模仿語言的能力。

## 捌、參考資料及其他

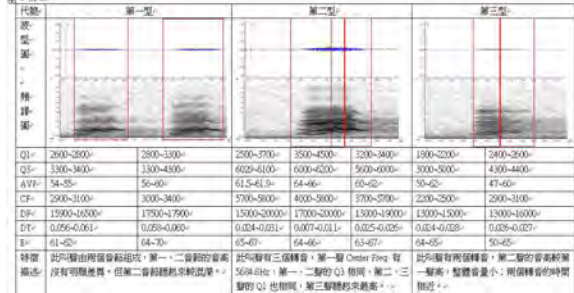
- Brainard, MS and Doupe, AJ (2002). "What songbirds teach us about learning". *Nature* 417 (6886): 351 – 358. doi : 10.1038/417351a . PMID 12015616 .
- Harma A. Classification of the harmonic structure bird vocalization. *Proceeding of IEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 5, pp.701-704,2004*
- Harris, Tony; Franklin, Kim (2000). *Shrikes and Bush-Shrikes* . Princeton University Press. pp. 257 – 260. ISBN 0-691-07036-9 .
- Kelley, LA, RL Coe, JR Madden & SD Healy (2008). "Vocal mimicry in songbirds.". *Animal Behaviour* 76 : 521 – 528. doi : 10.1016/j.anbehav.2008.04.012 .
- Nottebohm, F. (2004). "The road we travelled: discovery, choreography, and significance of brain replaceable neurons". *Ann. NY Acad. Sci.* 1016 : 628 – 658. doi : 10.1196/annals.1298.027 . PMID 15313798 .
- Nottebohm, F. (2005). "The Neural Basis of Birdsong" . *PLoS Biol* 3 (5): 163. doi : 10.1371/journal.pbio.0030164 . PMID 15884976 .
- Osmaston, BB (1941). ""Duetting" in birds". *Ibis* 5 : 310 – 311. doi : 10.1111/j.1474-919X.1941.tb00620.x .
- Pepperberg, IM (2000). *The Alex Studies: Cognitive and Communicative Abilities of Grey Parrots* . Harvard University Press.
- Read, AW and DM Weary (1990). "Sexual selection and the evolution of bird song: A test of the Hamilton-Zuk hypothesis" . *Behavioral Ecology and Sociobiology* 26 (1): 47 – 56. doi : 10.1007/BF00174024 . <http://www.springerlink.com/content/ynl74mul1p71v16t/> .
- Reid, JM, Peter Arcese, Alice LEV Cassidy, Sara M. Hiebert, James NM Smith, Philip K. Stoddard, Amy B. Marr, and Lukas F. Keller (2005). "Fitness Correlates of Song Repertoire Size in Free-Living Song Sparrows (*Melospiza melodia*)". *The American Naturalist* 165 (3): 299 – 310. doi : 10.1086/428299 . PMID 15729661 .
- Scharff C, Haesler S (2005). "An evolutionary perspective on FoxP2: strictly for the birds?". *Curr. Opin. Neurobiol.* 15 (6): 694 – 703. doi : 10.1016/j.conb.2005.10.004 . PMID 16266802 .



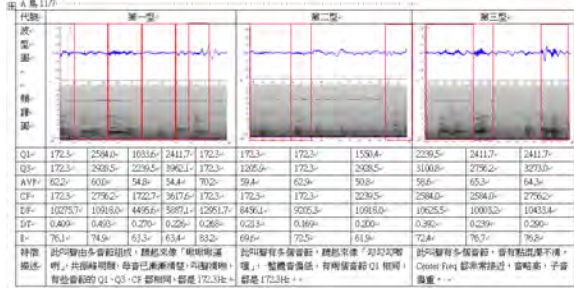
(附錄四)



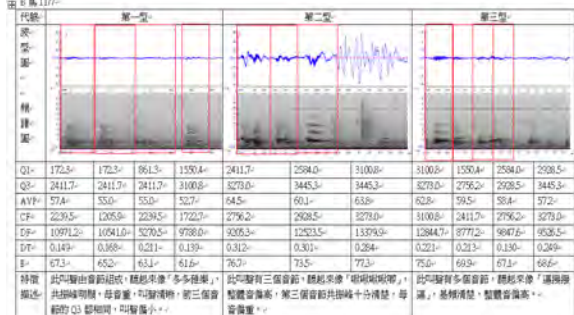
(附錄五)



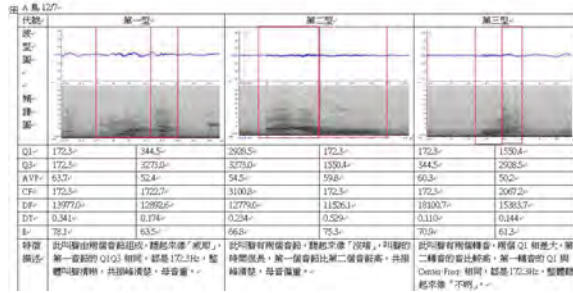
(附錄六)



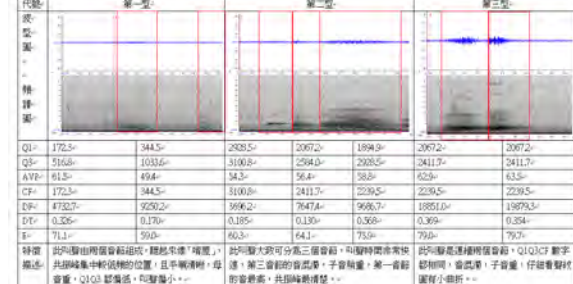
(附錄七)



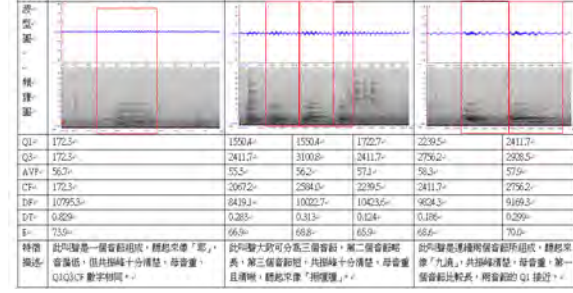
(附錄八)



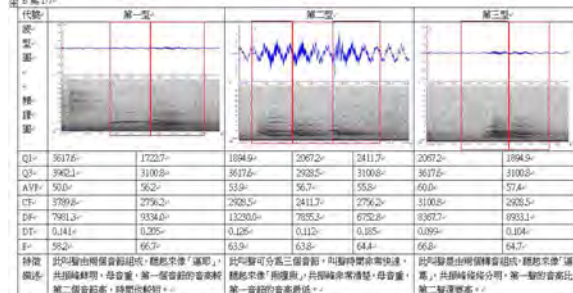
(附錄九)



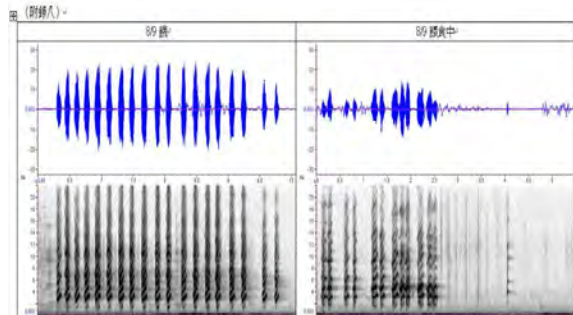
(附錄十)



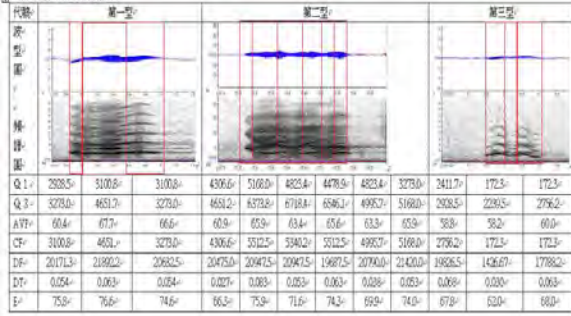
(附錄十一)



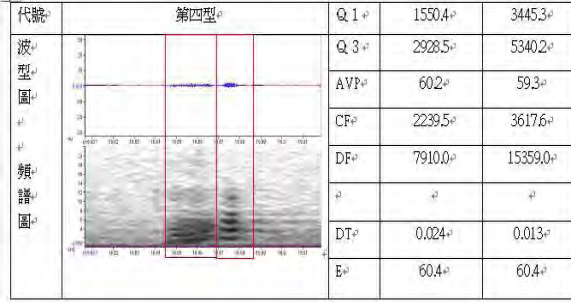
(附錄十二)



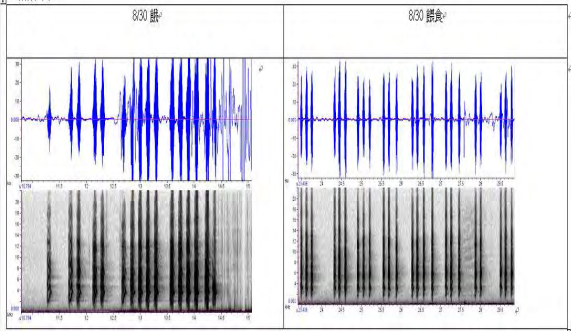
甲 (附錄九) 89 餵食中放大圖



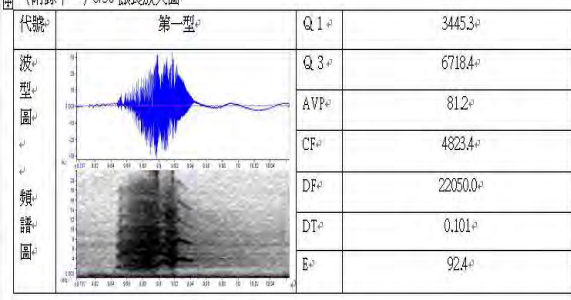
乙



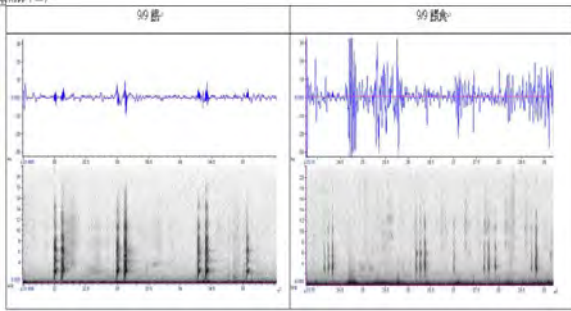
丙 (附錄十)



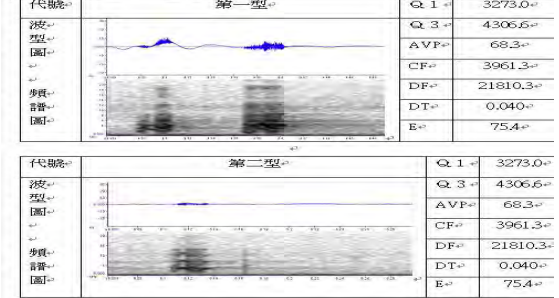
丁 (附錄十一) 8/30 餵食放大圖



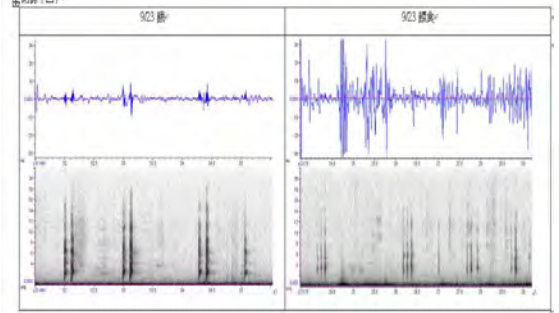
戊 (附錄十二)



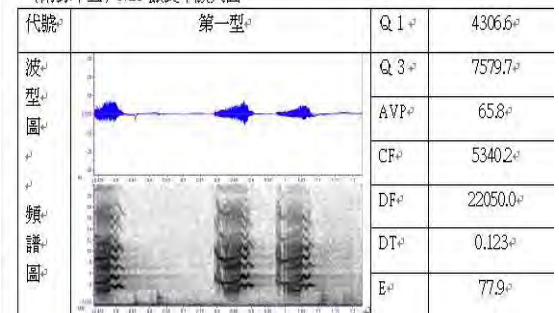
己 (附錄十三) 9/9 餵食中放大圖



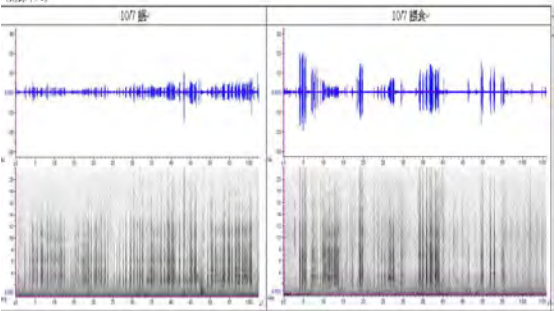
庚 (附錄十四)



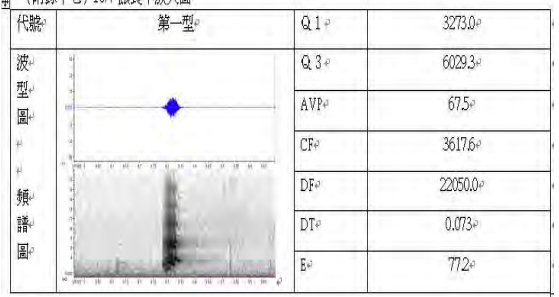
辛 (附錄十五) 9/23 餵食中放大圖



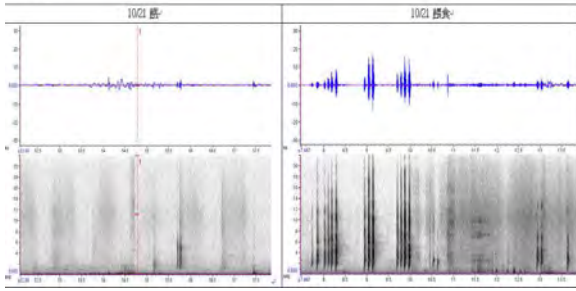
壬 (附錄十六)



癸 (附錄十七) 10/7 餵食中放大圖



(附錄十八)



(附錄十九) 10Z1 饒食中放大圖

代號	第一型	Q1	3962.0
波型圖		Q3	6201.6
		AVP	53.6
		CF	4651.2
		DF	22050.0
		DT	0.061
		E	62.6
		頻譜圖	

(附錄二十) 八哥野生成鳥原聲分析

代號	A1	A2	A3
波型圖			
頻譜圖			
時間	0.184	0.313	0.102
長度	14.174	12.149	11.082
頻率	754	83.3	792
能量	81.1	87.7	92.7
特徵	頻率無變化，維持在 14174Hz；能量變化不大，且有分頻音節。	頻率無變化，維持在 12149Hz；能量變化兩次，分頻音節。	頻率變化不大，維持在 10382Hz；能量變化四次，分頻音節，此音較響。

代號	A4	A5	A6
波型圖			
頻譜圖			
時間	0.154	0.161	0.267
長度	12.010	17.079	19.969
頻率	800	84.5	87.8
能量	91.3	96.9	96.7
特徵	頻率無變化，維持在 12014Hz；能量變化兩次，分頻音節。	頻率無變化，維持在 17247Hz；能量變化三次，分三音節。	頻率變化不大，維持在 19693Hz；能量變化兩次，分頻音節。

代號	B1	B2	B3
波型圖			
頻譜圖			
時間	0.120	0.122	0.197
長度	15.901	15.911	9.690
頻率	86.1	94.4	84.3
能量	100.6	98.1	97.5
特徵	頻率起伏較大，維持在 15961Hz 之間；能量變化三次，分三音節。	頻率起伏較大，維持在 15911Hz；能量變化三次，分三音節。	頻率起伏大，維持在 3698Hz；能量變化多次，分三音節。

代號	C1	C2	C3
波型圖			
頻譜圖			
時間	0.225	0.181	0.184
長度	2341.1	1214.9	3298.2
頻率	80.0	84.7	89.5
能量	88.3	85.8	101.1
特徵	此音的基頻呈規律變化，其頻率約 2429Hz 及 9112Hz 之間，其能量基由小到大，平均在 7394Hz 之間，此音不平均音節。	基頻變化不大，頻率為 12149Hz，還會平均音節，但呈規律狀，且 Q1 明顯，聲音有些混濁。	能量變化大，基頻和 Q1 混合在一起。

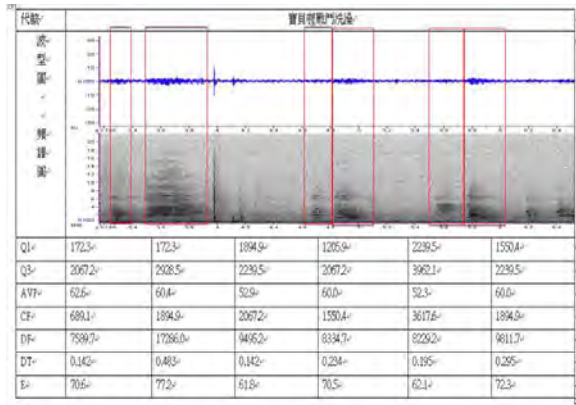
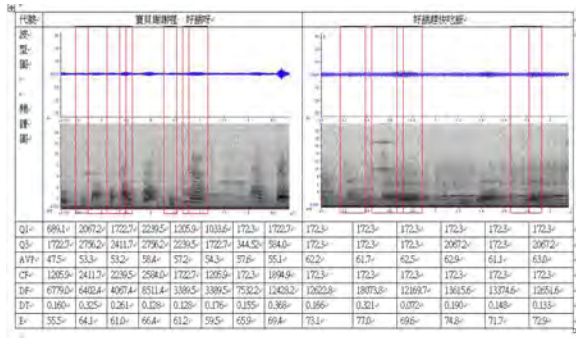
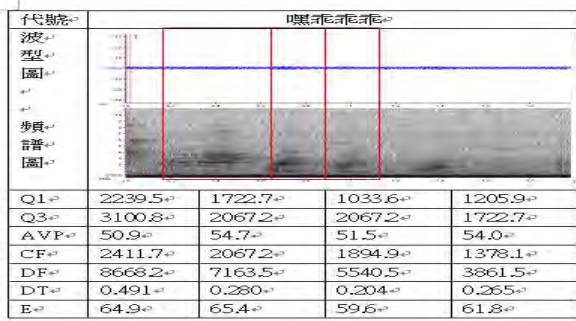
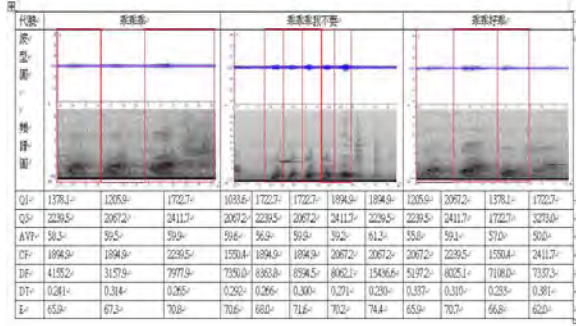
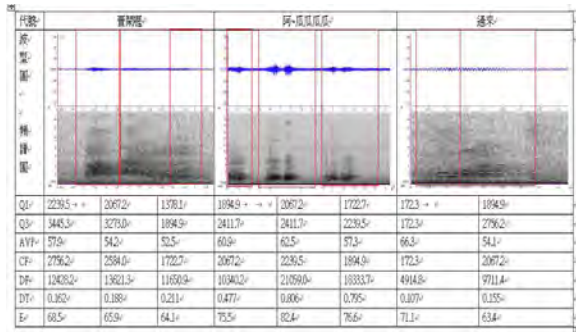
代號	D1	D2	D3
波型圖			
頻譜圖			
時間	0.218	0.280	0.225
長度	3518.5	2198.8	2261.5
頻率	83.9	93.7	95.4
能量	90.3	104.4	98.1
特徵	此音以頻率分三個部分(a,b,c,d)，a 部分基頻有規律變化，其頻率約 1962Hz 及 3072Hz；b 部分除了基頻外有多個音節；c 部分有明顯的基頻 3426Hz；d 部分音節約 12149Hz，此音有多種頻率及能量變化，混濁音節。	此音由基頻音節(a,b,c,d,e)全部基頻變化不大，維持在 21988Hz；a、b 部分 Q1 有小部分的起伏變化；但到了 c 部分時，Q1 就不明顯；d 部分時 Q1 起伏不大；e 部分時 Q1 有下降的趨勢。	此音由基頻音節(a,b,c,d,e)部分的基頻有起伏，分四段，分別是 1962Hz 和 2383.4Hz；b 部分開始基頻維持不變，到了 Q1；a、b 部分都有起伏；但到了 c 部分時，Q1 消失了；到了 d 部分時的五分之一時，Q1 又出現，並維持到 e 部分，且有下降的趨勢。

代號	E1	E2
波型圖		
頻譜圖		
時間	0.436	3.355
長度	3498.1	999.5
頻率	92.7	83.3
能量	104.1	91.2
特徵	此音以頻率分三個部分(a,b,c,d)，a 部分的基頻起伏大，分三段，分別是 2979.3Hz、3475.9Hz、3078.8Hz，且 Q1 前兩音節，不明顯；b 部分基頻則 Q1 會消失；c 部分基頻略起伏，Q1 則比基頻起伏較大；d 部分基頻平穩，但 Q1 消失；d 部分基頻也時隱時現，Q1 再度出現，且後半音節時。	此音以頻率分三個部分(a,b,c)，a 部分的基頻與 Q1 會不明顯，且前半音節的出現；b 部分的基頻與 Q1 更不明顯，由於基頻與 Q1 混合，使 Q1 消失；c 部分的基頻與 Q1 比 a、b 部分更加明顯，而能量也比較大了。

(附錄二十一) 特殊叫聲分析

代號	不要再叫啦	鼻聲	別跟你說話
波型圖			
頻譜圖			
Q1	172.3	172.3	1205.9
Q3	1894.9	1033.6	2972.0
AVP	63.2	63.9	64.0
CF	172.3	172.3	1894.9
DF	10652.0	8538.8	8928.8
DT	0.313	0.193	0.194
E	76.2	73.8	73.8

代號	晚安囉	歐耶東玩
波型圖		
頻譜圖		
Q1	172.3	172.3
Q3	2067.2	2067.2
AVP	65.9	66.3
CF	344.5	1550.4
DF	7832.3	7568.8
DT	0.095	0.200
E	72.3	75.7



## 【評語】 030311

研究主題有趣，研究方法若更能明確，則所得之數據能支持其結論。