

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

☐國中組 ☒普高組 ☐技高組 成果報告格式

題目名稱：看得見的聲音-自製頻譜分析網頁，探索聲音的頻率組成

一、摘要

為解決聲音「音色」難以量化描述的問題，本實驗利用傅立葉分析概念，藉助 AI 工具開發出一款網頁版頻譜分析工具。此工具能接收聲音訊號，執行快速傅立葉轉換 (FFT)，並將聲音分解為基頻與各諧波成分，以視覺化的頻譜圖清晰展示其頻率組成與相對強度，實現「看得見的聲音」。

透過分析不同人及同一人發出的聲音，實驗證實：不同個體的聲音頻譜具有獨特的音色，主要差異在於諧波的結構與強度分佈；而同一人發不同音時，基頻相對穩定，但諧波能量的變化模式成為區分字音的關鍵。本研究不僅驗證了音色的物理基礎在於基頻與諧波的特定組合，也為聲音的量化分析與個體辨識提供了直觀有效的方法。

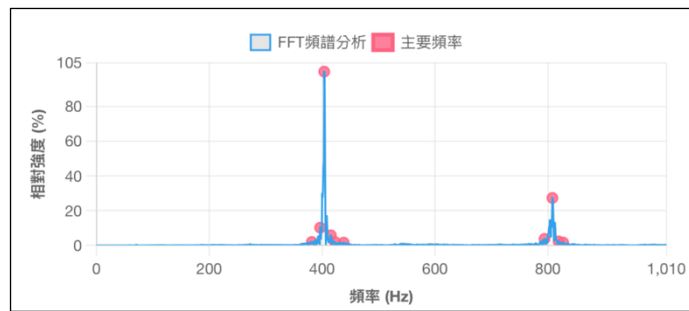
二、探究題目與動機

在學習聲音的物理性質時，我們知道聲音有三大要素：響度 (Loudness)、音調 (Pitch) 和 音色 (Timbre)。其中，響度主要對應聲音的振幅，音調則對應聲音的頻率，這兩者都有明確的物理量和單位 (如分貝 dB、赫茲 Hz) 可以進行量化測量與比較。然而，談到「音色」時，通常的解釋是「不同的聲音來源會產生獨特的波形」，因此即使響度和音調相同，聽起來的感受也不同。但這種描述雖然指出了現象，卻比較難提供一個清晰、可量化的標準來說明音色如何不同，以及造成差異的具體因素在哪裡。

正好我們從老師別的實驗認識到傅立葉分析的概念，知道它可以用來將聲音的波形「拆解」成一系列不同頻率的簡單正弦波及其相對強度的組合，讓我們能夠「看見」聲音的頻率組成結構。雖然物理原理不同，但有點像是高一學到的光譜一樣，可以分析得知一束光線是由哪些特定頻率、相對強度的光組合而成的。

但我們就發現，市面上似乎缺少一個能讓我們簡單、直觀地看到傅立葉分析結果的免費工具。因此，我們利用 ChatGPT 協助，開發撰寫了一個簡單、快速的網頁工具。這個工具能夠讀取聲音或振動訊號，呈現其波形，並可執行快速傅立葉轉換 (FFT)，將分析後的頻譜結果 (即頻率組成與相對強度) 清晰地視覺化顯示出來。

我們將這個自製網頁工具來分析人說話的聲音，結果驚喜地發現，即使只是簡單的語音，也能得到清晰的頻譜圖 (Spectrum)，如圖一。



圖一、人聲經過傅立葉轉換後的頻譜圖

更有趣的是，當我們讓幾位同學試著說出相同的字時，雖然聽起來音高可能相似，但產生的頻譜圖卻明顯各不相同！這讓我們立刻意識到：這不正是我們之前在思考的，可以將「音色」進行量化分析的方法嗎？因此，我們決定利用這個自製的頻譜分析網頁，進一步深入探討各式聲音的現象。

三、探究目的與假設

1、探究目的:

- (1)開發聲音訊號的 FFT 頻譜分析與視覺化網頁工具。
- (2)分析不同人（相同字詞）聲音頻譜的個體差異特徵。
- (3)檢視同一人（不同元音）聲音頻譜中共振峰的變化規律。

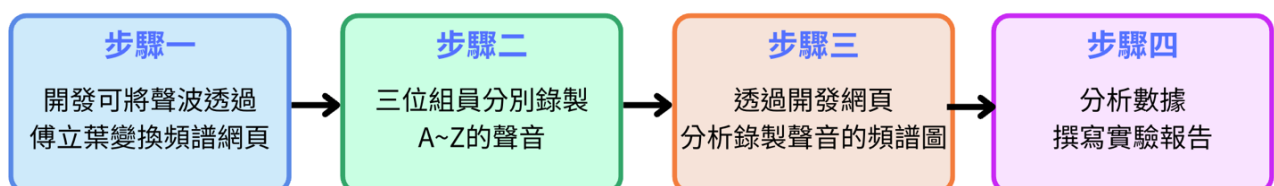
2、假設:

- (1)不同的人發出聲音的音色會不同，是因為每個人的聲音是都是透過自己一系列的特定頻率組成我們聽到的聲音。
- (2)同一個人說不同的字，音色是相同的，所以應該都是相同一組特定頻率，但聽到的音不同是因為這些頻率以不同相對強度的輸出。

四、探究方法與驗證步驟

1、探究方法

為了將音色能量化出來，我們要先有一個能將聲音的波形作傅立葉轉換的工具，在沒有找到適當工具時，我們決定透過 ChatGPT 的協助自製分析網頁，再透過此網頁讓我們三位組員錄製 A~Z 的聲音進行分析，以了解不同人說相同的字和同一個人說不同的字其聲音頻率組成的差別，探究流程如圖二所示。



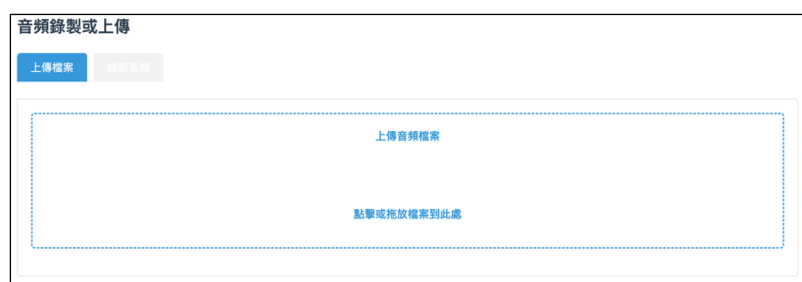
圖二、探究方法流程圖

2、頻率分析網頁開發

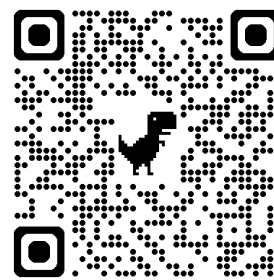
開發一個網頁工具，讓使用者可以分析聲音檔案的「自然頻率」。此工具只要讓使用者錄製或上傳聲音檔案，此平台便能分析出聲音中主要的頻率成分。

(1)使用 HTML+CSS 建立基礎介面：

使用 HTML 建立網頁結構，並引入 CSS 樣式表美化網頁外觀，設定排版、顏色、字體等視覺元素，使其更清晰易讀，使其具有音訊上傳、錄製、波形預覽、分析結果...等功能，如圖三所示，完成的頻率分析網頁可透過圖四 QR code 連結。



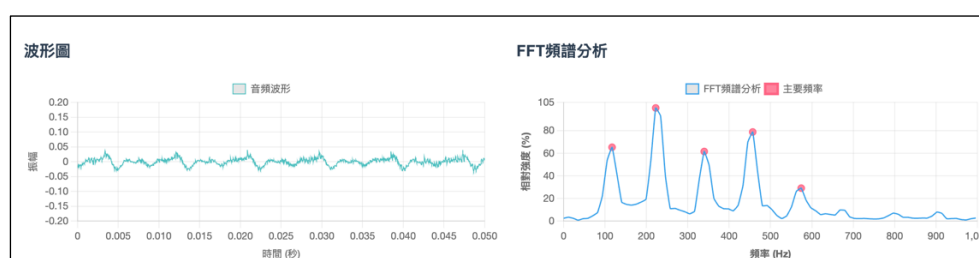
圖三 頻率分析網頁操作介面-音頻錄製或上傳



圖四 頻率分析網頁連結

(2)透過 JavaScript 實現音訊的傅立葉轉處理與視覺化

以 JavaScript 在這個網頁中負責處理聲音、分析頻率、和呈現結果。網頁能接收使用者輸入的音訊 (上傳或錄音)，然後繪製波形圖讓使用者看到聲音。核心功能是執行頻率分析 (FFT)，並將結果視覺化為頻譜圖，如圖五所示。JavaScript 還會找出主要頻率峰值，並顯示成數據表格，如圖六。最後，它也提供數據導出功能，讓使用者儲存分析結果。



圖五 聲音波形圖和 FFT 後頻譜圖

頻率峰值分析結果			
在頻率範圍 0-1000Hz 內找到以下主要頻率峰值 (依頻率從小到大排序)：			
頻率 (Hz)	相對強度	信噪比	峰值品質
117.19	65.3%	7.87	0.001
222.66	100.0%	12.06	0.001
339.84	61.5%	7.42	0.001
457.03	78.8%	9.50	0.001
574.22	29.2%	3.52	0.000

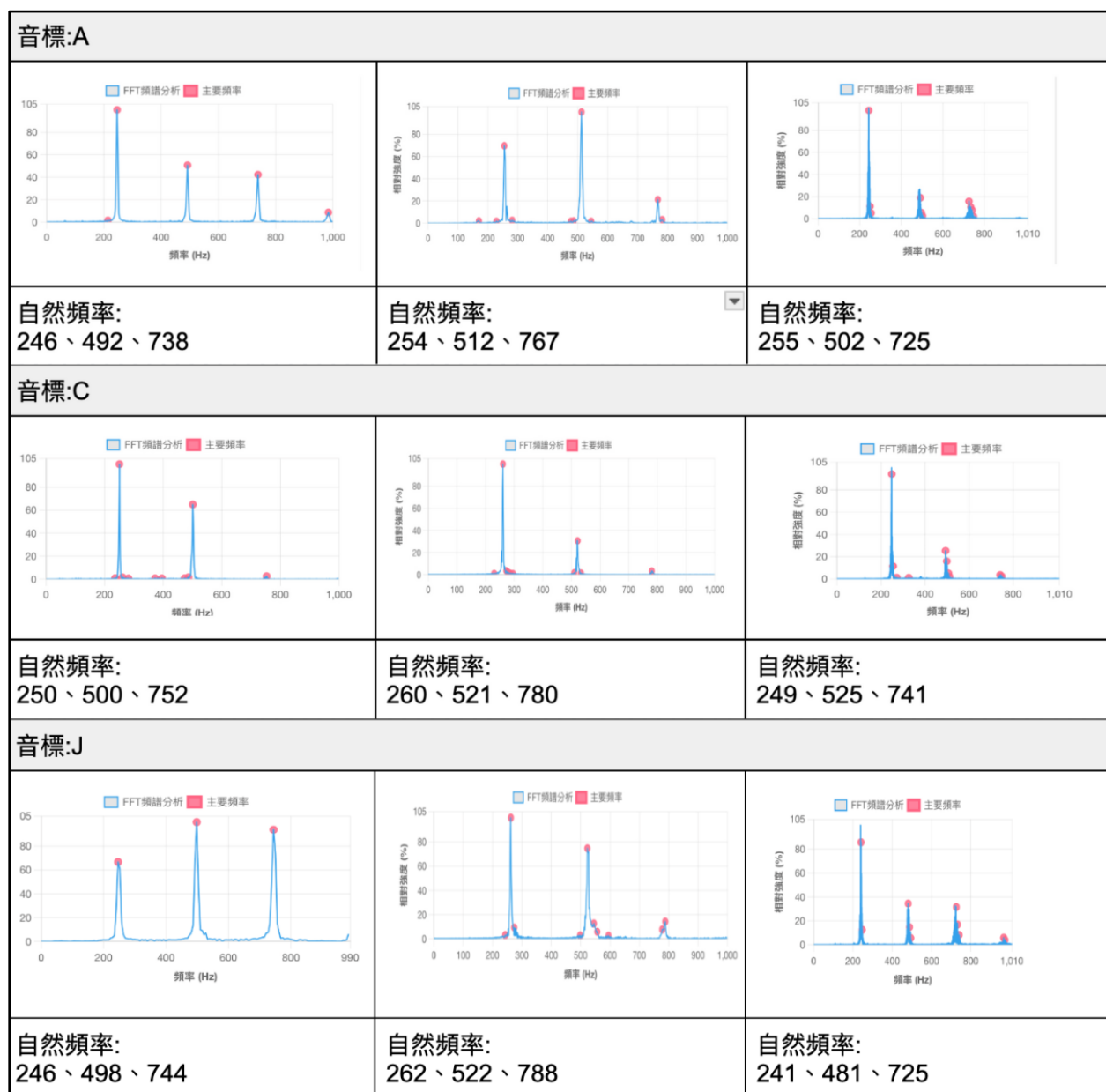
圖六 FFT 分析後主要頻率峰值的數據表

3、實驗數據

我們的實驗想探討不同人的音色和同一人講不同字的聲音的頻率組成有何差別，以下是兩個實驗的實驗數據。

(1) 不同人講同一個字

此部分的實驗，我們三位組員分別唸英文字母，再透過我們的網頁作傅立葉轉換分析頻率的組成，結果如圖七所示(完整實驗數據於參考資料 4)。



圖七 個人語音實驗的頻譜圖

從實驗結果能看到三個不同人發出相同音標時的頻率分析結果，這就像是聲音的「指紋」一樣，展示了每個人獨一無二的音色特徵。

在分析實驗數據時，我們仔細觀察了頻譜圖上標示出的主要頻率（也就是「自然頻率」列表中的數值）。很快地，我們注意到一個非常規律的現象：對於每一個聲音樣本，列表中第一個、也是最低的那個頻率值，似乎是個「基準」；而後面出現的其他較高頻率，都非常接近這個最低頻率的整數倍。例如，在第一個音標 A 的樣本中，最低頻率是 246 Hz，接著是 492 Hz（正好是 246 Hz 的 2 倍）和 738 Hz（正好是 246 Hz 的 3 倍）。這個模式在不同的聲音樣本中都一致地出現。

透過文獻參考，我們了解到這正是聲音的基本結構：最低的那個頻率稱為基頻 (Fundamental Frequency)，它決定了我們感受到的主要音高；而那些頻率是基頻整數倍的聲音成分，則稱為諧音 (Harmonics)，它們的組合與相對強度，形成每個聲音獨特的音色。

當我們說話時，聲帶的振動產生了基本頻率（FFT 後的第一個數值，大約在 240-260 赫茲），這決定了聲音的高低。但有趣的是，我們辨別不同人聲音的關鍵不在於這個基本頻率，而是後面產生的諧波及其強度。從圖中可以清楚地看到，雖然三個人發出同一個音，但他們的頻譜圖形狀明顯不同，有的人某些頻率特別突出，有的人則較為平均。

這些可以測量的數據幫助我們把「音色」這個原本模糊的感覺變成了具體的數字。比如，我們可以計算出每個諧波的強度比例、頻率位置，甚至頻譜的整體形狀。這就解釋了為什麼我們能夠憑聲音辨認出朋友、家人或名人，即使他們只說了一個簡單的字。聲音的獨特性不在於基本頻率，而在於諧波結構和能量分布的獨特模式。

(2)同一個人講不同的聲音

從圖七中，我們可以清楚地看到同一個人發出不同音標時的聲學特徵。以第一位同學的聲音為例，當一個人分別發出音標 A、C 和 J 時，我們能觀察到一個的現象：基頻幾乎保持不變（A：246Hz、C：250Hz、J：246Hz），誤差僅在 4Hz 以內。這種基頻的穩定性是識別說話者身份的關鍵因素，表明這些聲音來自同一個人。

同時，這些不同音標之間的諧波結構也遵循一定的數學關係。音標 A 的諧波為 492Hz 和 738Hz，音標 C 的諧波為 500Hz 和 752Hz，音標 J 的諧波為 498Hz 和 744Hz。這些數值分別約為基頻的 2 倍和 3 倍，反映了人聲的自然諧波產生規律。

然而，決定我們能夠辨別不同音標的關鍵在於諧波的相對強度分布。從圖中可以看到，音標 A 的第一諧波（約 492Hz）強度特別突出；音標 C 的基頻（約 250Hz）能量占主導地位；而音標 J 則表現出三個頻率成分強度較為平衡的特點。這個「能量集中點」的大幅度跳動，就是我們能分辨不同字音的關鍵。

五、結論與生活應用

1、結論

(1) 透過我們開發的頻率分析網頁，能夠利用傅立葉轉換將聲音信號轉換為頻譜圖，將音色量化成特定頻率和其相對強度的組成。

(2) 每個人的音色差異源於其基頻及各諧波的位置、強度比例的不同。這些特徵使得我們能夠區分不同人的聲音。

(3) 即使同一個人發音不同的字詞，我們仍能辨識其聲音，因為基頻保持不變，而諧波的相對強度和頻譜形狀會隨著發音變化而顯著改變，這正是不同發音之間的區別。

2、生活應用

(1)個人聲音識別與安全驗證：每個人的聲音都有獨特的基頻和諧波組合，這些特徵可用於開發個人聲音識別系統。例如可以利用聲音辨識技術進行用戶身份驗證，提升安全性。

(2)語音品質改善與通訊優化：在通訊領域，分析語音信號的頻譜特性有助於識別並減少噪聲干擾，從而提高通話質量。

(3)音樂與聲音處理：在音樂製作和聲音設計中，理解聲音的頻率組成有助於創建豐富的音效。例如，樂器的音色差異正是由基頻及其諧波的強度和結構所決定。

(4)醫學診斷與治療：醫學領域中，超聲波技術利用高頻聲波進行影像掃描和治療。對這些聲波的頻率分析有助於提高診斷精度和治療效果。

參考資料

1、Paul G. Hewitt(2018)。觀念物理 4：聲學·光學。天下文化。

2、許暢丰、袁紹華、張簡嘉品、呂安(2020)。觀其「舞」·知其「聲」。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會。

3、張怡立(2019)。看見聲音-聲音對皂膜影響之探討。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。

4、本實驗完整實驗數據: <https://reurl.cc/OYVa4R>