

國立臺灣大學音樂學研究所

碩士論文

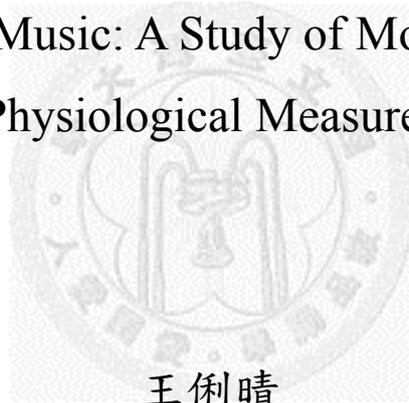
Graduate Institute of Musicology

National Taiwan University

Master Thesis

身體隨著音樂而律動：動作型態與生理訊號測量研究

Rocking to the Music: A Study of Motor Patterns and  
Physiological Measures



王俐晴

Wang, Li-Ching

指導教授：蔡振家

Advisor: Tsai, Chen-Gia, Ph.D.

中華民國 99 年 7 月

July, 2010

國立臺灣大學碩學位論文  
口試委員會審定書

身體隨著音樂而律動：  
動作型態與生理訊號測量研究

Rocking to the Music:  
A Study of Motor Patterns and Physiological Measures

本論文係 王俐晴君 (學號 R96144005) 在國立臺灣大學音樂學研究所所完成之碩士學位論文，於民國 99 年 7 月 1 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

蔡振家

(簽名)

王淑嘉 (指導教授) 陳一平

所長：

王櫻芬

(簽名)

## 誌謝

這本論文的完成，也為碩士生活畫下句點。在著手進行研究的過程中，才發現人生每個階段對我來說的重要事，居然都有了交集。好幾次與「過去的自己」巧遇，感謝從小到大許多機緣成就這段豐美的旅程。

在研究所有幸受教於多位老師。首先，感謝蔡振家老師，無論在課堂的教學或論文的討論，都讓我獲益良多，在學術及生活上，也都給我指導和鼓勵，老師對研究的專業與熱誠更是我一直欽佩的。若沒有蔡老師，就不會有這本論文的誕生。感謝交大應用藝術所陳一平老師給予論文寶貴的建議，讓研究更豐富。感謝物理治療所王淑芬老師，在論文的幫助外，也分享臨床經驗，讓我有更深的思考。感謝政大心理所楊建銘老師在我初次接觸腦電波研究時給予的幫助，感謝語言所馮怡蓁老師在統計學的指導，感謝應用力學所邵耀華老師給予實驗儀器的協助。感謝音樂所的老師：尤其陳峙維老師在各方面的鼓勵、沈冬老師的教導和關心、王心心老師拓展我視野的南管課，以及所有指導過我的老師。

感謝音樂所的朋友：總是義氣相挺的湘郁、在無數 pilot study 時熱情贊助的韋伶、佩玲、瑪丹、禕繁，同甘苦共患難的開心果婉婷、韶珊、宇涵、彥婷，無話不聊的同門師姊妹為茜、均佩、蓉姍，總是有問必答並給我鼓勵的學姐：珮如、巧瑩、昀修、詩昀等等，為所上增添歡樂氣氛的眾學長姐學弟妹們，還有萬能助教品芳、艷汝與娃娃，以及太多族繁不及備載的朋友，謝謝你們。

感謝所有的受測者，尤其臺大原聲帶社及台北藝術大學謝琮崎老師。感謝身邊的朋友：尤其是我的爵士鋼琴老師烏野薰、老師樂團的樂手及酷派音樂的愛樂人。感謝上山下海陪我做田野的思穎、我的田野對向、日龍儀器朱石修先生以及母系的朋友：丸子學姐和常被我叨擾的骨科物理治療組同學。感謝本研究幕後的工程師兼資源回收桶楊豐溥先生給予的協助和打氣。

最後，感謝我親愛的父母與弟妹，一路走來有你們的支持和鼓勵，就是我最大的幸福！

## 摘要

音樂與身體律動有著密切的關係，即使是沒有受過音樂訓練的人，也常不由自主地隨著音樂踩腳或點頭。是什麼樣的因素與機制，使演奏者或聆聽者跟著音樂律動？不同的律動型態，又如何影響對音樂的認知？本研究結合田野調查與生理訊號測量來探討上述議題。筆者先觀察各種音樂場域中，樂手與聽眾的身體律動模式，分析他們的動作和音樂拍節的關係。為了更進一步探討動作與音樂節拍的相位關係，筆者再進行兩項實驗：第一，研究不同樂種中利用手部動作來數拍的傳統，測量北管、南管與西洋古典音樂中的指揮，在跟著該樂種的音樂數拍時的手部加速度訊號，分析這些動作與音樂拍節的關係；第二，當聽者在隨著節奏鮮明的電子音樂律動身體（頭、食指與大腳趾）時，測量頭頂中央的腦電波（EEG, electroencephalography）、律動部位的加速度訊號，與手指的膚電訊號。實驗結果顯示，一般人習慣在正拍上用頭部跟著律動，而對樂手來說，身體律動造成的觸覺及本體覺刺激，都能幫助對拍節結構的接收，其中以觸覺最為重要，其次是順著地心引力的動作所引發的本體覺。頭部的律動能改變大腦額葉中央的腦波，且引發顯著的膚電反應，這或許也意味著聽眾最融入於音樂之中。

關鍵字：節奏、拍節結構、動作形態、腦電波、前庭刺激

## Abstract

There is a close relationship between music and body movements. Even those who are musically untrained tap their feet or nod their heads with music automatically. What are the reasons and the mechanisms that make music players and listeners move with music? How do different motor patterns affect music perception? This study combines fieldwork and physiological signal measurements to investigate these issues. Observations of the motor patterns in different music fields were followed by two experimental studies that examined the phase relationships between music beats and body movements. The first experiment analyzed music traditions of beat-counting. The acceleration of the hand movements of nanguan musicians, beiguan musicians and conductors in western classic music were measured, and the relationships between the motor patterns and the metrical structures were analyzed. In the second experiment, the EEG (electroencephalography) signals, body acceleration and skin conductance of listeners were recorded when they were moving with music. It was found that most people are used to nodding their heads on downbeat. For musicians, both tactile and proprioceptive feedbacks facilitate the perception for metrical structure. The tactile feedback is the most important one followed by the proprioceptive feedback induced by the movement which is in the same direction as gravity. Head movements influenced the brain wave recorded above the mid-frontal cortex and evoke significant increases in skin conductance, which may indicate listeners' deep involvement in music.

Keywords: rhythm; metrical structure; motor pattern; EEG; vestibular stimuli

# 目 錄

口試委員審定書.....	i
誌謝.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
目錄.....	v
圖目錄.....	xiii
表目錄.....	x
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	5
第三節 研究方法.....	7
一、田野觀察.....	8
二、動作分析與加速度測量.....	8
三、生理訊號測量.....	8
第二章 理論架構與文獻探討.....	11
第一節 動作協調.....	14
第二節 節奏認知.....	16
第三節 前庭感覺與聽覺的整合.....	21
第四節 節奏與身體律動的神經造影研究.....	23
第五節 小結.....	26
第三章 聽眾的身體律動：田野觀察.....	29
第一節 田野觀察紀錄.....	29
一、大型流行歌演唱會.....	30
二、大型露天開放式空間的演出.....	35

三、爵士音樂.....	39
四、其他各式民族音樂.....	43
第二節 音樂類型與律動形式.....	46
一、音樂演出的環境.....	47
二、音樂的速度.....	49
三、聆聽者的類型.....	51
第三節 小結.....	54
一、音樂特性造成動作相位（發生在正拍或反拍）的不同	55
二、音樂速度使產生動作的平面不同.....	55
三、演出者與聽眾的動作具有功能性.....	56
第四章 以身體律動來鞏固節拍：動作分析.....	57
第一節 實驗目的.....	57
第二節 實驗方法.....	57
一、實驗對象.....	57
二、刺激材料.....	57
三、實驗儀器.....	58
四、實驗步驟.....	58
五、數據處理.....	60
第三節 實驗結果.....	60
第四節 實驗討論.....	63
一、各樂種的傳統中，動作與拍子的關聯.....	63
二、比較同樂種中不同樂手的差異.....	64
三、比較不同樂種中數拍傳統的意義.....	65
第五節 小結.....	71
一、數拍動作反應拍子階層性.....	71
二、臺灣傳統音樂與西洋古典音樂不同的數拍意義.....	72
三、數拍傳統動作與田野觀察結果討論.....	72

第五章 聽眾的身體律動：生理訊號測量 .....	75
第一節 實驗目的 .....	75
第二節 研究方法 .....	76
一、受測者 .....	76
二、音樂刺激材料 .....	76
三、器材使用 .....	78
四、實驗步驟 .....	79
五、數據處理 .....	81
第三節 實驗結果 .....	84
一、受測者尚未主動律動身體時的生理訊號 .....	84
二、受測者跟著音樂律動時的生理訊號分析 .....	85
第四節 討論與小結 .....	97
一、腦電波與加速規訊號分析 .....	97
二、膚電訊號的分析 .....	100
三、研究限制 .....	101
第六章 結論 .....	103
參考文獻 .....	107

## 圖目錄

圖 一-1：節奏樹所顯示的拍子階層關係，以及所對應的加權值。	3
圖 一-2：Cz 與 Fz 在頭皮上的位置。	9
圖 二-1：崑曲工尺譜的板眼記號，與其相對應於「二進位之尺」的階層關係。	12
圖 二-2：人在處理節奏時採取的策略。此圖參考 Sakai 等人在 2004 年發表的論文 (Sakai, Hikosaka and Nakamura, 2004) 的圖 3-(c)繪製。	13
圖 三-1：團康舞結束後，在廣場上歌唱的長老。	37
圖 三-2：阮丹青與 Sunshine 樂團的演出。	44
圖 三-3：跟著客家音樂搖擺的聽眾。	45
圖 三-4：聆聽佛朗明哥音樂時聽眾拍手的樣子。	46
圖 四-1：南管樂手拍板的手勢。	59
圖 四-2：北管樂手板撩的手勢。	59
圖 四-3：西洋古典音樂指揮的手勢。	59
圖 四-4：指揮手勢分解圖。	60
圖 四-5：兩位南管樂手算拍手勢的加速度訊號圖。	61
圖 四-6：兩位北管樂手算拍手勢的加速度訊號圖。	62
圖 四-7：兩位指揮的指揮動作加速度訊號圖。	63
圖 四-8：卑南族南王部落樂舞的動作示意圖。	68
圖 四-9：阿美族南竹湖部落的舞蹈分解動作。	69
圖 五-1：三段實驗音樂的採譜。	77
圖 五-2：音樂刺激的頻譜圖。	82
圖 五-3：延遲時間／週期示意圖。	83
圖 五-4：被推動時的 FPz 與 Cz 腦波訊號，以及頭部加速度的訊號時域圖。	85

圖 五-5：受測者聽音樂時在正拍上踩腳 (a) 與右手拍桌 (b) 的 delta/theta 腦電波 (Cz 位置) 與腳部、手部動作的加速度 訊號。.....	86
圖 五-6：跟著音樂點頭、動大腳趾以及動食指的動作加速度訊號。 .....	87
圖 五-7：跟著音樂點頭的加速度訊號圖。.....	88
圖 五-8：跟著音樂點頭時的腦波與加速規訊號圖。.....	92
圖 五-9：在正反拍上律動身體三部位，所得律動前後膚電比值比較。 .....	96
圖 五-10：某位受試者在六種任務狀況下測得的膚電曲線。....	97



## 表目錄

表 五-1：跟著音樂一點頭時，加速度訊號與相對應的正反拍正弦波 交叉關係係數與遲時間／週期表。 .....	89
表 五-2：跟著音樂二點頭時，加速度訊號與相對應的正反拍正弦波 交叉關係係數與遲時間／週期表。 .....	90
表 五-3：跟著音樂三點頭時，加速度訊號與相對應的正反拍正弦波 交叉關係係數與遲時間／週期表。 .....	91
表 五-4：跟著音樂一點頭時，Cz 腦波訊號與加速度訊號的交叉關係 係數與遲時間／週期表。 .....	93
表 五-5：跟著音樂二點頭時，Cz 腦波訊號與加速度訊號的交叉關係 係數與遲時間／週期表。 .....	94
表 五-6：跟著音樂三點頭時，Cz 腦波訊號與加速度訊號的交叉關係 係數與遲時間／週期表。 .....	95

# 第一章 緒論

## 第一節 研究背景與動機

當我們在欣賞音樂演奏時，常常可以觀察到表演者一邊演奏或演唱音樂，一邊不由自主地搖擺身體，或是用腳輕踩地板。在較為激烈的音樂演奏中，甚至有樂手因為過度激烈的身體動作導致受傷<sup>1</sup>。此外，在氣氛輕鬆的音樂場域之中可以發現，許多聽者會不由自主地隨著音樂擺動身體，而反觀自己，不知何時也跟著音樂開始律動。

隨音樂而擺動身體是人之常情，《毛詩序》云：「言之不足，則歌之詠之，歌詠之不足，則舞之蹈之」，由此可見音樂與身體律動的緊密關連。音樂是引起節奏性動作的有效催化劑，這種現象常發生在隨音樂節奏踩腳和點頭時。不管是聽到熟悉或陌生的音樂，即使是沒受過音樂訓練的人，其身體也常會不由自主地搖擺。更特別的是，隨拍點運動身體的現象只出現在「聽覺—動作」的互動上，視覺信號（cue）並不能這麼有效地引起精確的身體律動（Chen, Virginia, Penhune, and Zatorre, 2008）。聽覺系統對拍子的感知以及動作同步化的能力，是它具有代表性的功能，相反的，將有節奏的訊號以視覺的效果呈現，就不能像聽覺訊號一樣讓人感受到拍子，或將動作同步化（Patel, Iverson, Chen and Repp, 2005）。

隨音樂律動，是在各種文化下都能看到的現象（Brown, 2003），生物音樂學家 Cross 曾經指出，「廣泛的音樂定義，包括音樂在聲音及動作的兩個根源。」（Generalizable definition of music would refer to music's two roots in sound and movement.）（Cross, 2003, p. 46）隨音樂律動的現象雖然常見，但為何「音樂」這種乍看之下以聽覺為主的活動，會牽涉到身體的律動呢？甚至，有些人在演奏

---

<sup>1</sup> Patton 與 McIntosh (2008) 以重金屬音樂樂手為研究對象，發現一分鐘搖頭 145 次以上及頭部動作的角度超過 75 度時，頭頸部受傷的機率會驟增。

樂器或歌唱時，一定要有這些身體的動作，否則便有可能無法順利地完成演奏或演唱，由此看來，身體律動足以影響樂手的演出（Turner and Kenny, 2009）。筆者在 2009 年至比利時根特參加系統音樂學研討會時，遇到澳洲雪梨大學音樂學院的博士生，同時也是當地資深的職業歌手 Gemma Turner，他常找身為歌手的同事分享經驗也參與實驗，他提到了他的實驗插曲：為了比較在有無身體律動下的演出表現，他請他的歌手朋友們在唱歌的時候完全不動，結果被他的朋友們罵，因為「不動，要怎麼唱歌？」甚至，有的歌手無法在身體不動的情況下完成實驗。

由於音樂節奏與肢體動作之間有著密切的關係，演奏者在演奏不同的樂種時，也會有不同的身體動作模式。筆者在學習古典與爵士鋼琴的過程中發現，鋼琴家在演奏不同的音樂時會伴隨不同的身體律動，著名的爵士鋼琴家 Keith Jarrett 在演奏爵士樂時，會誇張地搖擺頭部和軀幹，甚至半蹲或站立、雙腳原地踏步，其身體律動的模式以 swing 節奏呈現<sup>2</sup>，然而，當他在演奏古典樂曲（如：莫札特的鋼琴協奏曲<sup>3</sup>）時，卻沒有如此的肢體語言。由此可知，不同樂種與不同的身體運動型態之間似乎有種微妙的關聯，這也引發了筆者探討其認知機制的動機。

爵士音樂以它複雜的切分節奏（syncopation）稱著，所謂的切分節奏，係指藉由將重拍的位置改變，打破規律節奏的方式，例如在弱拍上加重音而非在強拍上加重音、在強拍上使用休止符、使用長音延伸到重拍，或採取突然的時間改變<sup>4</sup>。節奏的複雜度可以量化為「切分音值」，此值越高則代表節奏越複雜。圖二為 Longuet-Higgins and Lee（1984）提出的節奏樹量化方法，可依照音符與休止符對應的量值，將節奏之切分程度予以量化。每一個音或休止符依照它們在拍子上的階層，都有它的加權值（weight），加權值最大的是第一拍，為 0，第二大的是

---

<sup>2</sup> 可參考演出影片：<http://www.youtube.com/watch?v=L9CjfpWq3M8>，瀏覽日期 2010 年 6 月 30 日。

<sup>3</sup> 可參考演出影片：<http://www.youtube.com/watch?v=g88GTgQQhow>，瀏覽日期 2010 年 6 月 30 日。

<sup>4</sup> Oxford Dictionary of Music 的 syncopation 條目(p.866)云：“Device used by composers in order to vary position of the stress on notes so as to avoid regular rhythm. Syncopation is achieved by accenting a weak instead of a strong beat, by putting rests on strong beats, by holding on over strong beats, and by introducing a sudden change of time.”

第三拍，為-1，而二、四拍都是-2，八分音符的後半拍都是-3，以此類推十六分音符為-4。當一個休止符的前面，碰到一個數值比它大的音符，就產生了切分音。而該切分音的值，就是音符的量值減去休止符的量值，在圖一-1 所列音符的切分音值計算方式如下：共有三個休止符碰到量值比它低的音符，將三組數值相加，得 $[0 - (-3)] + [-2 - (-3)] + [-2 - (-3)] = 5$ 。切分音值越高，表示節奏越複雜 (Fitch and Rosenfeld, 2007)。

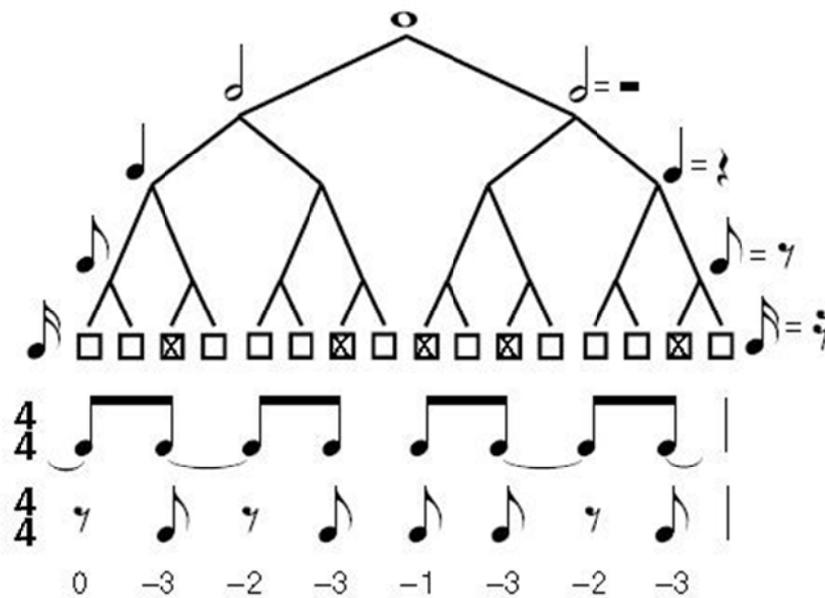


圖 一-1：節奏樹所顯示的拍子階層關係，以及所對應的加權值。

音樂的初學者，在剛開始學習演奏樂器或歌唱時，常不自覺用點頭或踩腳來幫助數拍子以及穩定節奏，小學音樂課（學習合唱或合奏）中，這種現象屢見不鮮，而初學爵士音樂的學生，在還未熟悉強調切分音與後半拍的節奏前，也常需要佐以身體的律動，來感受拍節結構，這些動作都發生在正拍或重拍上。甚至樂手在開始演奏或演唱前，為了穩定速度，也會先以身體的律動來數拍，確認演奏的速度再開始，以免在直接開始後，卻發現速度和心中所預期的有落差，或是在合奏時和樂團的速度錯開。筆者在酷派音樂教室的「烏野薰概念五重奏 open jam」進行田野調查時，鼓手老師藤井俊充曾經指導鼓手學生，在開始演奏前先用腳趾

算拍，估計樂曲該有的速度，待找到合適的速度後，先穩定拍子，再開始演奏。同樣的情形也可以在樂團的指揮身上觀察到，這些動作除了發生在腳趾，也可能藉由身體其它部位的律動或呼吸來完成。

如果樂手是由中途加入演奏，則在演奏前，也會先跟著樂團或伴奏數拍，以免在加入時速度無法一致。在捷運忠孝復興與忠孝敦化站間的東區地下街，常有一位盲眼街頭藝人，配合音響播放的伴唱帶演奏二胡。他在演奏曲子前會先播放伴唱音樂，等到需要二胡加入的段落才開始演奏。能夠準確地在二胡該開始時準確跟著音響播放的伴唱帶演奏非常重要，因此他會跟著伴奏音樂先用腳打拍子，每一個正拍都用腳板輕踩一下，幫助自己抓住音樂的速度與節拍，待該進入的片段再演奏。

每位樂手用來穩定速度和節拍的做法不盡相同，也有樂手是在心裡默念節拍，而沒有多餘的動作，這和大家從小學習音樂的訓練和習慣有關<sup>5</sup>，個人經驗的累積也會對此有所影響，不過就小時候學習音樂的經驗看來，「藉助身體律動來幫助穩定拍節結構」似乎是自然而然發生的現象，也是一種本能。自發性規律的律動，似乎是一種內生性的數拍機制，由如將自己的身體當成穩定拍節結構的節拍器。而且這種「內生性節拍器」的功效可能比外在的節拍器來得更大。筆者在練習古典鋼琴的樂曲時，並不常用腳幫忙數拍子，但是在做一些節奏較為複雜的爵士鋼琴練習時，有時會不自覺用左腳開始踩拍，曾經嘗試使用節拍器，但發現，即使使用了節拍器，還是習慣用腳跟著打拍子。

根據觀察，一般人聽音樂時，以在正拍或重拍上運動身體的情況較為常見。但有些樂種的樂手，可能會在非正拍或非重拍上律動，較常觀察到的是：爵士樂手在切分音值偏高的音樂進行中，有時候會在反拍上運動，推測這樣的運動模式，將使他所感受到的整體節奏切分音值更為提高，其導致的音樂認知型態之改變，

---

<sup>5</sup> 有些音樂老師會禁止學生用腳打拍子，因為在舞臺上演奏時有礙觀瞻，而且有時會發出聲音影響表演，這些學生可能改用腳趾來數拍，但用腳趾數拍的情形對觀察者而言比較不容易察覺。也有些管樂手頭部動作太大會影響演奏，因而被禁止。

是個值得研究的議題。除了上述節奏較為複雜的爵士音樂，在不同樂種中，不同的節奏型態與音樂特徵，以及樂手與聆聽者不同的音樂文化與訓練，甚至音樂場域的氣氛等等，都可能造成不同的身體律動模式，身體在拍節結構的不同時間點律動，和不同的律動型態，是否也造成對音樂認知的不同，都是有待探討的議題。

## 第二節 研究目的

人為何要跟著音樂動？這個亙古謎團所涉及的現象相當廣泛，本研究無法提供完整的解答。雖然如此，此一龐大的議題仍然可以拆解為幾個具體而微的問題，在本研究中能夠以理論模型、田野觀察、生理訊號測量等方式來探討。

關於音樂節奏的理論模型，本研究強調兩個認知心理學的觀念：階層性（*hierarchy*）、區塊化（*chunking*）。當我們感知「有節奏的聲響序列」之際，依據所察覺到的規律出現的重音，會將該序列分割成等長的片段（小節），而每一個片段中通常包括數個等長的時間單位（拍子）。在特定的拍節模式底下，拍子能夠有階層性地排列分級（*Povel, 1981*）。

本研究的目的是可以歸納為兩大系列問題：

（一）當身體隨著音樂而律動時，發生於各個拍點上的感覺回饋是否有所不同？它們是否體現了拍節結構中的拍子階層性？

除了聽覺回饋，演奏者在演奏音樂時也會接受到其他感覺，如：觸覺、本體感覺、前庭感覺等等，這些感覺在演出時皆佔有或輕或重的地位（*Aschersleben, 2002*）。演奏者的手指等部位觸碰造成的觸覺回饋，能使他對拍子的掌握更精準（*Goebl and Palmer, 2008*），而身體和樂器間，或身體不同部位間的相對位置改變，造成的本體感覺回饋（*Balasubramaniam, 2006*），或是頭部運動造成的前庭感覺回饋，都能使演奏者更抓得住節奏（*Phillips-Silver and Trainor, 2005; 2007*）。

聆聽音樂的人在隨著音樂運動身體時，也能藉由這些不同的感覺刺激來鞏固心中的拍節，以增益節奏的感知，而身體運動的型態，可能反應出各個拍點上的不同感覺回饋，並體現出它們的階層性。

在臺灣的音樂文化中，不管是南管、北管、不同的原住民樂舞，演奏（唱）者皆有以身體律動來鞏固拍節的傳統，其律動方式有的是站起來踏步，有的是空手屈伸手指與拍打，有的是手拿拍板推移與拍打，這些數拍傳統和西洋古典音樂中的「指揮」具有不同的意義。同樣都牽涉到動作，指揮負責以肢體律動來帶動樂團的演奏，因此他的動作主要是「幫助別人數拍」，但在臺灣的音樂文化中，這些數拍的傳統，並非數給外人看，而是樂手用這些動作來為自己數拍、鞏固拍節的。經由初步的田野觀察，筆者認為，當聆聽者隨音樂律動時，會造成一些引起觸覺刺激的動作：例如腳踩到地面、手互相拍擊等等，較常發生於重要的拍點上，而在不重要的拍點上通常僅有本體感覺會發生。觀察傳統樂人的數拍動作，也有這種現象。在拍節階層中位階較高的拍點上，代表性的動作會造成觸覺。至於隨著音樂擺頭所導致的前庭感覺，可能比觸覺、本體感覺都更重要。

（二）身體隨著音樂律動之際，不同的運動型態與節奏複雜度是否導致動作準確性與平順度的差異？是否導致認知需求的程度差異？此一差異是否體現於生理指標上？

在大型演唱會中可以發現，歌手有時候會帶領臺下聽眾用手打拍子，至於打在正拍或反拍，則隨著樂曲與聽眾組成而定，即使是打在正拍，也可能是在正拍中的重拍（例如在一小節涵蓋四拍的拍節型式中，其中的一、三拍）或弱拍（一小節涵蓋四拍的拍節型式中，其二、四拍）。有爵士樂手在演奏時，習慣隨音樂在反拍踩腳或搖頭，常聽爵士的樂迷，也比一般聽眾容易在反拍打拍子<sup>6</sup>。有研

---

<sup>6</sup> 筆者在一次朱宗慶打擊樂團與美國爵士鼓大師 Steve Houghton 合作的音樂會上（2009年3月14日，高雄衛武營），發現當一首曲子剛開始演奏時，朱宗慶打擊樂團的團員和 Steve Houghton

究指出，若要求受測者跟著節拍器的聲響敲點手指，在拍點之間敲點( syncopation, anti-phase )，也就是打反拍時，動作表現比起在拍點上( synchronization, in-phase )的表現，較不精準，反應時間也較長( Kelso, DelColle and Schöner, 1990 )，並且需要較多的注意力才能做到( Carson, Chua, Byblow, Poon, and Smethurst, 1999 )。若節拍器的速度增加至 2 Hz 以上，受測者將難以維持在反拍敲點手指，而是自動將動作轉為和節拍器的拍點一致( Jantzen, Fuchs, Mayville, Deecke, and Kelso, 2001 )。

維持切分節奏是較困難的協調模式，需要較高的注意力來控制。在本研究中，受測者將被要求在音樂的正拍或反拍上律動不同的 effector：頭、食指、大腳趾，希望藉著生理訊號的測量，區別出在不同狀況下的腦波型態與交感神經系統活化程度。



### 第三節 研究方法

研究方法可分為三個部分：田野觀察、數拍傳統的分析、音樂聆聽者的生理訊號測量。在田野觀察中，筆者將分析演奏者與聆聽者隨著音樂所做出的動作型態，並探討動作和音樂配合的方式。由於田野觀察是在一般音樂活動中，以旁觀者姿態來觀察人的動作，無法準確辨識音樂與動作的相位關係，為此，筆者再請一些專業樂手至實驗室，以加速規測量他們在進行音樂活動時，以該樂種的數拍傳統來律動肢體時的手部動作，再進一步藉由分析數拍傳統，研究在不同音樂文化下為了鞏固拍節而發展出的數拍動作。最後，測量音樂聆聽者在邊欣賞音樂邊律動身體時的三種生理訊號：腦波、膚電反應、律動部位的加速度，探討肢體律動型態與腦波間的關聯，以及其情緒反應和融入程度。以下一一說明。

---

的身體律動，都動在反拍，但是當曲子越來越快，快到一定速度後，朱宗慶打擊樂團的團員，全部都變成動在正拍，只剩下 Steve Houghton 動在反拍。這個現象可能跟 Steve Houghton 的爵士訓練有關，而另一個可能性是：西方人較容易打反拍。

## 一、田野觀察

此方法藉由實際參與音樂活動，在現場觀察演出者及聽眾的身體運動型態，以了解身體律動與音樂的同步性。為了方便分析音樂活動參與者身體的律動與音樂的關係，筆者在一些允許錄影的場合也錄影紀錄音樂活動，事後再進行分析，此外，筆者也分析了一些 Youtube 上的類似影片。影片分析的重點為：演奏者與聽眾的肢體律動部位、律動型態、動作和音樂配合的方式。

由於本研究所涉及的音樂樂種十分多樣，音樂活動演出的場合不見得都適合做詳盡的觀察，所以在這部分的探討以所觀察到的現象為主，每種樂種、每位樂手或每個音樂場域中的演出，可能都還存在著個別差異。

## 二、動作分析與加速度測量

在田野觀察的基礎之上，為了作更精確的測量並集中焦點，筆者將以加速度規來紀錄音樂家的身體運動型態，以探討利用身體律動來鞏固拍節的各種音樂傳統。除了交響樂團的指揮之外，北管、南管、京劇、崑曲和臺灣原住民各族的音樂文化中，樂手們以手部律動來算拍子的方式都不一樣，本實驗的研究對象選定臺灣北管與南管的樂手，以及西洋古典音樂的指揮，而將加速度規貼於樂手的手部，測量其跟著該音樂傳統數拍的動作，以此分析動作與拍點之間的相位關係。

## 三、生理訊號測量

雖然先前的研究已經指出，身體的動作會影響對音樂節奏的感知，然而造成聆聽者或表演者隨音樂搖擺的原因和機制，至今仍然不太清楚，筆者猜測，身體律動能誘發音符的區塊化，而降低處理複雜節奏的認知需求，從而讓聆聽者與音

樂合為一體，引起愉悅感。有實驗指出，當受測者在聽和諧、不和諧、令人愉快、令人不愉快的音樂時，額葉中央的  $\theta$ <sup>7</sup> 波強度會出現變化，在 Fz 處最強，尤其在聽和諧與令人愉快的音樂時，變化較為顯著。雖然本實驗的腦電波測量只用兩個 channel，但其固定於頭上時，對於受測者的干擾較少，便於讓受測者融入音樂，在輕鬆的狀態下引發愉悅感（Sammler et al. 2007）。

本實驗使用 Biopac Student Lab Pro 儀器來接收三種生理訊號：腦電波訊號、加速規訊號與膚電訊號，取樣頻率皆為 200 Hz。在腦電波訊號的測量中，偵測腦波訊號之電極片貼在受測者 Fz 與 Cz 位置的頭皮，圖一-2 可見它們在頭皮上的位置，另外以雙耳之電極作為 ground 與 reference。加速規則用來監控受測者身體各部位，包括腳、手、頭的動作。膚電訊號用來偵測情緒反應。

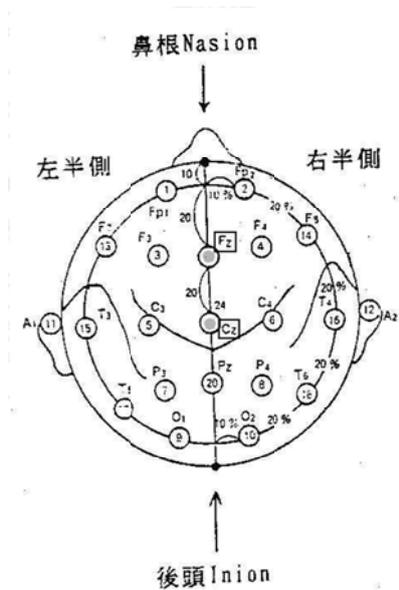


圖 一-2：Cz 與 Fz 在頭皮上的位置。

在刺激材料方面，選取三段速度相近但節奏難度不同的音樂，讓受測者用身體不同的部位，在不同的拍點上律動。實驗操弄兩個任務變項：身體隨音樂律動的部位（effector: 腳、手、頭）、身體隨音樂律動的方式（phase: 正拍、反拍），另外，「只聽音樂身體不動」作為控制狀況。

<sup>7</sup> 腦波各頻帶的頻率範圍如下：delta 波為 1-4 Hz 的波，theta 波為 4-8 Hz 的波，alpha 波為 8-13 Hz 的波，beta 波為 13-26 Hz 的波，gamma 波為 26-100 Hz 的波。

腦波研究的限制為：

1. 受測者平常在聽音樂時可能劇烈運動身體，也可能頭腳一起動，但本實驗中必須對於他們的動作稍做規範，如此一來，不免影響到受測者融入音樂的程度。
2. 腦波的測量只用兩個 **channel**，雖然減低了對於受測者的頭部束縛，有利於讓他們融入音樂，但腦電波所涵蓋的腦區較小。
3. 受測者對於音樂的喜好、節奏感、實驗當下的學習效應.....等，這些混淆變項無法完全控制。



## 第二章 理論架構與文獻探討

「身體隨著音樂而律動」所涉及的認知機制，主要是在動作科學（movement science）領域中被討論，本章中，筆者將分別就動作協調、節奏認知、前庭感覺與聽覺的整合、節奏與身體律動的神經造影研究等四個議題，探討近年的相關文獻。

在探討文獻之前，筆者擬先解釋音樂理論方面的相關名詞，特別是影響身體律動的三個音樂元素：拍子（beat）、拍節（meter）、節奏（rhythm），這三者雖然密切相關，但其實是不同的概念，釐清這些觀念，可望有助於音樂理論與動作科學的跨領域對話。

音樂家徐頌仁曾經指出，拍子、拍節只是對於時間的單純分割，而節奏則可以成為我們對於音樂的第一印象：

繪畫是以空間與色彩為其創作的材料，音樂則是以時間的進行中音高的變化做為基本因素。時間的進行本是連綿不斷的，但是我們為了利用這個材料之方便，把它分割成等長的時間單位，稱之為拍子。拍子的進行有不同的特性：有兩拍子為一組的，有三拍子為一組或四拍子為一組等等，這種拍子進行的特性稱之為拍節（Metrum），為了記譜上的方便歸納為一小節（Takt, Measure）。這些時間的分割單位純粹是材料性的，與音樂的實際進行沒有直接的關係，正如建築用的磚子與一座房子沒有直接的視覺關係一樣。一座建築物首先給我們的印象是它的形狀（輪廓）與色彩，一首音樂直接給予我們的是它的節奏與旋律（音程動機的進行），而不是拍子。但是，如果沒有平穩的拍子為基礎，音樂的進行就顯得模糊不清，前後無法連貫（徐頌仁，2001，頁 23）。

依循徐頌仁對於音樂與繪畫的類比，拍子、拍節猶如音樂得以開展的「畫布」，而在某些記譜法裡面，畫布上面甚至還有刻度。崑曲工尺譜的板眼記號區分了一小節內各拍子的階層關係，以一小節八拍的「贈板」而言，贈板、正板、頭眼、中眼、末眼的符號都不同，區分了各拍子的階層關係，猶如以「二進位之尺」來分割、管理時間（見圖二-1）。

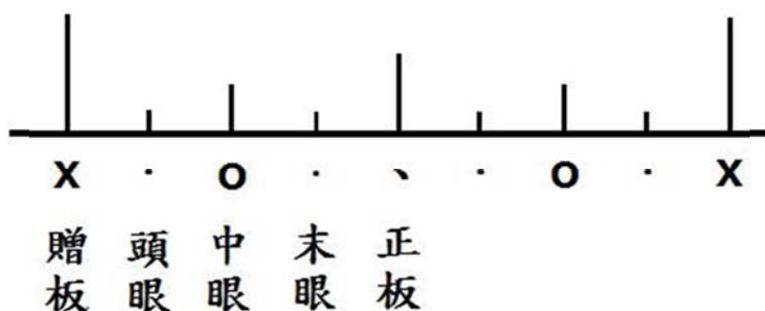


圖 二-1：崑曲工尺譜的板眼記號，與其相對應於「二進位之尺」的階層關係。

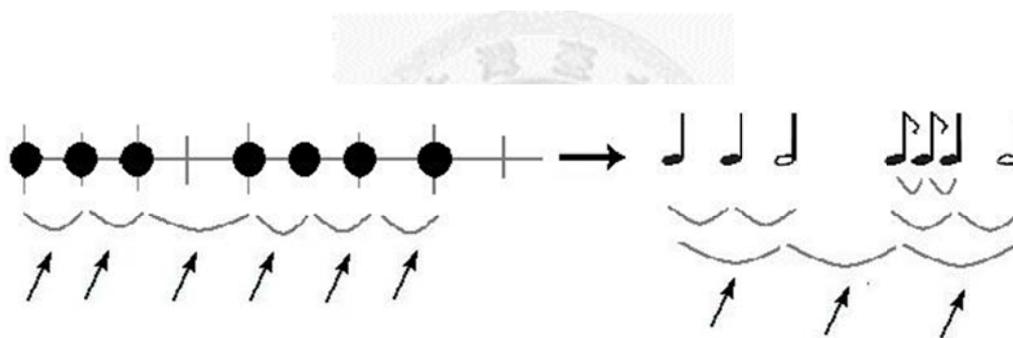
徐頌仁也指出，時間的進行雖然是連續不斷的，但自然界中的種種現象，例如心跳脈搏或日月星辰的運行，因為具有週期性重複的特色，容易給人「時間分段進行」的印象，這些週而復始的現象，也是音樂上拍數的自然根據，而「拍節」則是心理上引起的人為因素（徐頌仁，2001）：

譬如我們在聽雨聲時，會因心情、想法之變化，時而聽成兩拍為一組，有時又聽成三拍為一組，而且每一組的頭拍似乎有重音。這種現象同時出現在聽時鐘與節拍器的時候，可見拍節是聽者主觀的要求，而不是自然現象（徐頌仁，2001，頁 23-34）。

拍子是測量音樂時間的基本單位，而規律交替的重拍和輕拍可以分組，被以拍節形式接收，成為感知節奏的參考系（reference）。拍節雖然如此重要，但感知上最顯著的拍感層次：拍子，才是人們選擇去跟著打拍的時間單位，這在人們

隨著音樂踩腳或起舞時最為明顯 (Todd and Lee, 1994)。

將拍子細分階層，有助於聽者掌握節奏，而另一方面，將節奏序列中的聽覺事件區塊化，也有助於聽者掌握節奏 (Clarke, 1987; Schulze, 1989)。如圖二-2 所示人在處理節奏時的策略，(Sakai, Hikosaka and Nakamura, 2004)，在記憶一個尚未結構化的節奏時，人傾向於如左邊六個箭頭所示，將每個音符（聲音事件）分開來聽，而無法將各個音符對應到它們應該有的階層上（如灰線所示）。將節奏結構化，成為有階層的模式，也就是經過區塊化 (chunking) 後，就不需要一一去接收每個音符，而是如右邊三個箭頭所示，能夠一組一組地接收。值得注意的是，此例尚未包含切分節奏的情形，當切分節奏在重拍上缺乏聲音事件時，區塊化會有困難，因此認知負擔較大。



圖二-2: 人在處理節奏時採取的策略。此圖參考 Sakai 等人在 2004 年發表的論文 (Sakai, Hikosaka and Nakamura, 2004) 的圖 3-(c)繪製。

節奏的處理牽涉到區塊化的過程，其目的在於使學習更有效率，減少認知負擔，動作表現的節奏則反映了技巧的結構表現。本研究假設：切分節奏之容易引發動作感，是為了想要藉由主動運動來製造感覺回饋，以將聲音事件區塊化 (Sakai, Hikosaka and Nakamura, 2004)。而利用身體動作填上空拍，可能也是幫助聲音事件區塊化的一種方式。

循著以上的理論架構，接下來，讓我們對於目前動作科學中的相關研究進行回顧與探討，並與音樂學研究相互印證。

## 第一節 動作協調

音樂並非只是一些被動的聽覺刺激，而是一種牽涉到多重感覺的社會活動。傳統上，所有的聲音都是由人類的身體動作造成的（電子合成的聲音除外），另一方面，音樂又能引起身體的運動。聽覺刺激和動作在時間上的契合，屬於動作協調的一種。所謂的動作協調，係指個體為了解決自由度（degree of freedom）的問題所發展出來的能力，所謂「自由度的問題」，在這裡指的是「多塊肌肉如何組合、在不同平面的關節動作、多重感覺回饋資訊的整合、複雜環境與外力的協調等等問題」（胡名霞，2001，頁 65）。

在演奏樂器時，演奏者不但會接收聽覺上的訊號，也會接收觸覺及本體感覺，有研究顯示，在彈琴時的觸覺刺激以及手指的加速度，能藉由多重感覺回饋使演奏者更能控制速度，對節奏的感知也更為精準（Goebel and Palmer, 2008）。彈鋼琴的時候，觸鍵的強弱除了影響觸覺，也影響音色及音量，因此，改變觸鍵並非完全是為了觸覺上力度的回饋，但對管樂器的演奏者來講，按鍵的力道就和音色、音量無關，有研究顯示，即使是對管樂器而言，觸鍵所產生的觸覺回饋，一樣會影響對節奏的感知。連續的觸覺刺激，使訊息處理的速度加快，也使演奏者的節奏更為準確（Palmer, Koopmans, Loehr, and Carter, 2009）。同時發生的多種感覺信號，之所以能有助於音樂節奏的掌控，是因為這些訊號在短時間內同時發生、累積，能加速整合的過程，迅速幫助計畫及執行即將到來的音樂片段

（Aschersleben, 2002）。有關鋼琴及豎笛的觸鍵研究顯示，這些刺激並非只發生在特定的樂器演奏上，也不只是發生在手指的觸覺上。本體感覺對演奏者也很重要，演奏者和樂器間的相對位置改變會影響演奏表現，有研究顯示，本體感覺的回饋，即使是在缺乏觸覺回饋的情況下，也能幫助對時間感的整合，例如「在空氣中運動手指」的動作任務（Balasubramaniam, 2006）。

在拍點與拍點之間若加上聽覺訊號或是動作，會使演奏者更準確地算拍子，

因為利用聽覺與動作，將拍與拍間空白的部分填補，能為這些空白的間隔加入組織，而聽覺與動作的回饋同時發生，效果比兩者各自發生來的好（Wohlschläger and Koch, 2000）。音樂演奏時讓演奏者跟著拍子準確而穩定地表現，是由拍子間發生的感覺訊息所影響，另一方面，演奏者的動作軌跡只受到生物力學上的限制（Loehr and Palmer, 2009）。

人類能產生和外在刺激同樣節奏的動作，也就是達到節奏的一致性，特別是在有聽覺刺激的情況下，人類具有高度的能力產生同步動作（Repp, 2005）。動作上的「加速度」是能讓人達到節奏一致性的最主要訊息，例如指揮（Luck and Sloboda, 2008）。

對聆聽音樂演奏的觀眾來說，看著演奏者表演，表演的動作是一種視覺刺激，也會影響對音樂的接收，而對音樂演奏者來說，看見的演奏者與指揮的動作，這些視覺上的訊號，也會影響對音樂的接收，進而影響表現（Vines, Krumhansl, Wanderley, and Levitin, 2006）。當然，指揮的動作可以很直接地傳達意思，引導樂團的音樂演奏，在樂團中，指揮的角色就是為了整合樂團的演奏，因此這些動作是有目的性的，除了幫助樂手掌握拍子之外，也傳達了指揮想要達成的音樂表現，先前的研究認為，指揮的右手動作，有幫助穩定拍子的功用，而左手的動作，則代表了情感的表達（Holden, 2003; Rudolf, 1995），但對樂團的演奏者而言，坐在不同位置的不同樂器演奏者，對所看到的指揮動作，仍有不同的感受，所接收到的訊息卻是有差別的，而指揮的意圖和接收者得到的訊息，以及研究者所測量到的數據之間也存在著差異（Wollner and Auhagen, 2008）。

和指揮不同，演奏者的動作可以分成兩大類：第一種是為了演奏樂器而產生的動作（instrumental actions），第二種是情感性附屬動作（ancillary or expressive movements）（Cadoz & Wanderley, 2000; Wanderley, Vines, Middleton, McKay, & Hatch, 2005）。前者是為了產生聲音，而後者則和音樂有內在的連結，能串連音樂及樂手的情感表現（Davidson, 1993），而情感性附屬動作雖然不是演奏音樂

所必須，但在音樂演奏中卻相當常見，這些動作因人而異，也能在每位演奏者身上發現這具有個人特色的動作（Wanderley, 2002），這些動作不是隨機出現的，他們具有溝通音樂情感的作用（Wanderley and Vines, 2006）。演奏者的動作，包括大至四肢、頭部與軀幹的動作，小至臉部表情，例如皺眉的動作（Juslin, 2003）。除了在演奏樂器時，演奏者的肢體動作能傳遞喜怒哀樂的情感，甚至在非演奏者身上，一些簡單的動作，例如步態（Montepare, Goldstein, and Clausen, 1987）與敲門（Pollick, 2004），也能表達情感。由先前的研究可知，在音樂演出中，除了演奏者在演奏樂器所必需的肢體動作，非必需的動作——情感性附屬動作也在音樂的接收中扮演重要的角色，而這些動作，從較大的肢體動作到細微的表情，從複雜的動作到簡單的動作，都能影響對音樂的接收。將肢體動作——分開來看，例如：單看手部或頭部的動作，就能夠影響觀察者的感受，但若將所有的動作視為一體，由整體看來，全部的動作特徵更能有效地影響對音樂的接收（Nusseck and Wanderley, 2008）。

無論是指揮的動作之於合奏者的感知，或是樂手的動作之於聆聽者的感知，都屬於對外動作的接收，這些動作上的視覺訊息對聽覺上的感受是有影響的，但先前的研究比較偏情感層面，而少有研究聚焦於節奏的認知，這可能是因為外在的視覺刺激對接收者的影響，不如聽覺上的刺激強烈，所以無法有效影響對節奏的認知。外在的動作刺激，對於聆聽者而言，是比較屬於視覺的刺激，但當聆聽者或演奏者自己主動跟著音樂律動時，這些自發性的動作，就成了內在的刺激，包括動作引起的觸覺、前庭覺與本體覺等等，除了能影響情感表達，也能造成對節奏認知的差異。

## 第二節 節奏認知

根據研究，人類在嬰兒時期就能感受節奏，能跟著所接收的聽覺刺激節奏來

律動，成人若是以手搖晃嬰兒，也能影響他們對節奏的接收（Phillip-Silver and Trainor, 2005）。對成人來說，身體運動會影響對節奏的接收，研究顯示，若讓成年人彎屈膝蓋跟著踩拍子，不同的踩拍模式，就能造成對節奏的不同感知（Phillip-Silver and Trainor, 2007）。由此可知，動作與聲音的互動不但發展得早，對於音樂節奏的處理也很重要。

行為上的研究顯示，有些節奏特徵能幫助凸顯拍節和拍子。旋律的起伏雖然也能強調節奏上的重要事件，但並不如時間結構有效。時間上的構造，定義為每個音符（note）時間長度的模式，時間構造的重複模式有助於鞏固拍節的感知，也使聽者可以準確預測並隨節奏打拍子（Chen, Virginia, Penhune, and Zatorre, 2008）。這種對於時間結構的掌握，也能夠幫助動作的學習。

人除了會自動將聲音事件分組，使之成為有規律的拍節結構，神經科醫師薩克斯（Oliver Sacks）也分享過他自身以及臨床上的經驗，包括他爬山時腳受傷，由山上藉由手的輔助「划」回山下的路上，借助進行曲與划船歌產生內在的韻律與音樂才順利抵達，在腳背固定兩週後，行走起來很不自然，也是藉助音樂來重拾走路的韻律，他認為最重要的因素就在於節奏。除了骨折病人在拆石膏後行動受到影響，阿茲海默症、帕金森氏症及創傷症候群的病人也常藉由音樂來帶動日常生活的行為，因此

音樂除了有助於步行和舞蹈的反覆性動作，還可使人完成一連串複雜的程序，或記住大量的訊息，這就是音樂的敘述力量或記憶力量（Sacks, 2009，頁 257）。

一般人平常生活常做的動作就是有節奏性的，從粗大動作中的行走、游泳，到精細動作中的簽名，每個人都有慣用的節奏性。在學習序列性動作的過程中，會自然而然產生節奏。Sakai 等人（2004）在〈從動作學習中突現的節奏〉

(*emergence of rhythm during motor learning*) 中指出，學習序列性動作所造成的動作節奏性，是為了時間的階層式管理與區塊化。節奏反應了動作序列的區塊化，而節奏產生的精準度在於它的間隔比例 (*interval ratio*)，呈小整數比的間隔比例 (如 1:2, 1:3, 1:4) 是最常發生的，而非整數比或大整數比是比較少產生的。顯然，非整數比的節奏傾向於在學習的過程中被轉化成小整數比，像是 1:2.5:3.5 會自發性地被轉化成 1:2:4。小整數比的節奏可被視為有結構的形式，時間間隔被表現成單位時間的倍數，而整個間隔序列可化成階級性結構；相較之下，非整數節奏序列被當成各自獨立無關的連鎖，節奏仍是無組織的，因此需要較多的認知負載來維持它。將非整數節奏轉化成整數節奏的傾向，反應了「將節奏放到離它最近之階層形式」的自我組織過程，如此也能減少認知需求，這可以視為由「認知控制」到「自主動作」的轉移，經由學習，也可以使動作變得平順連續 (Sakai, Hikosaka and Nakamura, 2004)。

人類無論是在自己在做事時或接收來自外界的時間訊號時，都比較習慣將事件之間的時間長度以整數比來做分組，例如 2:1 或 3:1，而比較少以非整數比，如 2.7:1 來分組 (Martin, 1972; Handel and Lawson, 1983; Essens, 1986; Collier and Wright, 1995)，而這種將時間性訊息分組，使得時間訊號有階層性的方式，也出現音樂上 (Lerdahl and Jackendoff, 1983)，因為聽者使用音響上的訊號和先前的音樂知識來建立對音樂拍子與拍節的感覺，例如進行曲、華爾滋等等節奏類型 (Hannon and Trehub, 2005)。聽覺記憶 (Palmer and Krumhansl, 1990; Jones et al., 2002) 和動作的同步性 (Repp, 2007) 在正拍時會比在反拍時更容易被誘發，因此，人類在處理時間與感覺動作訊息的過程中，似乎有種內在的拍節再現，能處理這些訊息。

節奏的感知中的一個基本機制，就是將聲音事件分組，使它們成為更高階層的型態，這種機制對於語言或音樂的感知都很重要。長久以來，這種「分組」被認為是受內在的感知原理所支配，近年來的研究發現，文化其實也在其間扮演重

要的角色。在 Iverson、Patel 及 Ohgushi 的研究中，以英文及日文為母語的人在聽到同樣的節奏時，會有不同的分組方式，這和語言是有關的，而母語能影響對聽覺事件最基本的感知方式 (Iverson, Patel and Ohgushi, 2008)。

處理所接收到的聲音，會反映在大腦許多區域的神經活動上，包括：主要及次級聽覺皮質區 (Godey et al., 2001)、額葉和頂葉 (Baudena et al., 1995; Halgren et al., 1995a)、基底核 (Bares and Rektor, 2001)、杏仁核、海馬迴及顳葉中央 (McCarthy et al., 1989; Halgren et al., 1995b)。腦磁波 (MEG, Magnetoencephalography) 的研究發現，在這些區域有散佈的網絡，影響了拍節結構的階層性處理 (Fujioka, T., Zeng, B. R., and Ross, Bernhard, 2010)。

先前曾有音樂理論家認為，要再現拍節結構，內在的時鐘 (internal clock) 或多重振盪的階層性 (multiple hierarchy) 是必須的 (Large and Kolen, 1994)，近年的神經科學研究顯示，相關的神經基礎可能是由視丘—皮質—紋體網絡 (thalamic-cortical-striatal)、海馬迴和小腦的神經電位振盪所聯合組成的 (Mauk and Buonomano, 2004; Buhusi and Meck, 2005; Dragoi and Buzaki, 2006)。藉由聽覺刺激來調節以上的迴路，似乎是一個能引導內在活動產生的可信機制 (Gardiner and Kitai, 1992)。聽覺、動作與邊緣系統的密切互動，支持了大腦活動中內在產生的拍節再現假說，可能也為我們人類特有的音樂能力提供了生物學上的基礎。

人類對不同拍節結構有不同的接收方式，拍節也是一種能分辨音樂文化風格與相關社交活動的重要元素 (Lomax, 1978)。一般人對兩拍子的拍節有較大的反應，可能是因為它與我們的運動習慣一樣具有對稱性的特質，或是因為我們習慣於西洋文化中的音樂經驗，而在這些音樂中，兩拍的拍節結構是較為常見的，現在一般人的音樂環境受西洋文化的影響甚深，對拍節的接收也能經由後天來影響 (Hannon and Trehub, 2005)。根據行為研究，無論有無經過音樂訓練的人，在演奏或產生兩拍拍節結構的節奏比三拍拍節結構的能力來的更好 (Drake, 1993)。

Wilson 在《演化的力量—達爾文理論綻放出心的光芒》一書中提到，在社會生理學中，舞蹈和音樂可能早已成為協調人類群體的要素，甚至比語言文字更有效率，書中也說明了舞蹈之於軍事與社交的重要性，而音樂則是進行這些活動的必要元素：

舞蹈的天生內涵，秘訣就在於讓軍隊有節奏的行進，這也是羅馬人的軍事步驟……我們都看過整晚跳舞的人，不過，若是要一個人在沒有任何音樂的情況下跳個十五分鐘，你看他受不受得了……動作之於音樂，是與生俱來的習慣，我注意到在擊鼓提升士氣時，士兵們不需要刻意留心，僅僅憑著配合音韻的天性，就能自然而然，以和諧的姿態進行（Wilson, 2008，頁 182）。

法國國王路易十四曾利用芭蕾舞作為族群團結的方式，Wilson 強調，路易十四自己本身也是極有天份的芭蕾舞者，他的步兵團督察馬丁勒（Jean Marinet）上校也用此訓練方式創造歐洲最強大的軍隊。在史瓦濟蘭，也有利用起舞高唱來提升士氣的儀式，因為在跳舞時，能使大家感覺是一體的。

在提到這些舞蹈的同時，也不能忽略其中的音樂，音樂常伴隨舞蹈出現，除了促進動作的同步發生，也是組成社會活動中的必要元素：

在情感和動機的層次上，音樂是種情緒促進器，且音樂在儀式中能以團體的型式被感受，這樣增強的方式，會促進團體情緒、動機和行為的一致性（Wilson, 2008，頁 184）。

舞蹈和拍節結構的關係，也許能由徐頌仁在《音樂演奏的實際探討》一書中所提到的「單純的拍節進行，只有在舞曲性格很明顯的曲子中聽得出來」作為註

解，而舞蹈的形式也能影響音樂拍節結構的發展：

巴洛克時代以舞蹈為本位的器樂崛起，拍節的固定化與拍子的二分化就越來越明顯。因為人的動作已二的組合為主（走路時要另墊一步才能成為三），四的組合成為更為穩定的進行。這些時間因素的定型化，在音樂上不能不說是一種損失，學習者必須在了解拍子的平均與時間的連續性之後，著重在節奏（加上高音之成為動機）特性的掌握語句法的表達與連接，才能把音樂適得好處地演奏出來（徐頌仁，2001，頁 25）。

由此可知，人類的動作，從簽名或做家事的動作，到行走、舞蹈等大動作，都和拍節結構與節奏有關，而這種周而復始的節奏韻律，也影響了動作的發展。

### 第三節 前庭感覺與聽覺的整合

身體律動在節奏認知上扮演重要的角色，有研究顯示，前庭系統在其中位居關鍵性的樞紐。感受節奏是一種互動的過程：聽到節奏，喚起身體動作，造成前庭刺激，而前庭刺激也影響聽覺上對節奏的詮釋（Phillips-Silver and Trainor, 2005; 2007）。前庭系統是非常原始（primitive）的系統，無論在種系發生史（phylogeny）或個體發生史（ontogeny）上都出現得早，如此也決定了其他感覺的組織和發展。在種系發生史上，前庭系統是演化上第一個發展的感覺系統，靈長類的前庭經驗甚至對於社交與感情的發展都很重要（Trainor, Gao, Lei, Lehtovaara and Harris, 2008）。在個體發生學上，前庭系統是在子宮內第一個發育的系統，這顯示了對地心引力的定位感覺，比視覺或聽覺來得更為基本。凡是曾經照料過嬰兒的人都知道，輕搖嬰兒是哄他安靜的有效方法，且嬰兒在聽到節奏性聲響或是心情愉快時也會搖擺身體。有學者認為，肢體動作影響音樂認知，其中以引起前庭刺激的

頭部動作最為重要 (Levitin and Tirovolas, 2009)。

實驗顯示，當人被要求分辨一組節拍時，如果同時用直流電直接刺激他的前庭系統，則不同的刺激模式會影響他數拍的模式，由此可以推測，「前庭—聽覺聚合區」很可能牽涉到節奏處理 (Trainor, Gao, Lei, Lehtovaara and Harris, 2008)。在前庭系統受到刺激時，例如用不同的角加速度旋轉，可以在頭頂的 Cz 處偵測到聽覺誘發電位的變化 (Wang, 2004)，因此，該處腦區可能整合前庭刺激與聽覺刺激。實驗顯示，於單側半規管施以刺激之後 6 ms，下列腦區會活化：(前)額葉、同側顳頂葉皮質、輔助運動區 (supplementary motor area) 的前區、對側頂葉皮質 (de Waele, Baudonnière, Lepecq, Tran Ba Huy and Vidal, 2001)，而 Cz 即位於輔助運動區的上方。

另一項實驗使用經由骨頭傳導的聲學刺激<sup>8</sup>，同時使用八個電極的腦電波記錄，分別貼在頭皮的 Fpz、F3、F4、F7、F8、Cz、T3 及 T4 部位，所偵測的結果，發現正電位的極大值發生在 Cz 處。前庭的聲學刺激感受度，其閾值是比較低的，很有可能也因此使前庭對於低頻聲音的偵測和反應有貢獻，該實驗也則提供了可能是偵測自前庭的聲學誘發電位，其潛在因素的證據。(Todd, Ronsengren, and Colebatch, 2003)。

Kahane 等人對癲癇病人使用電刺激來評估前庭刺激活化的腦區，在所刺激的 44 個解剖位置中，有 41 處位於大腦皮質，其中有 19 個位在顳葉、14 個在頂葉、5 個在額葉、2 個在枕葉、1 個在島葉。引發的症狀包括旋轉的感覺，或難以說明的身體動作感。有一個皮質側顳葉頂葉區 (lateral cortical temporoparietal area) 稱做 temporo-peri-Sylvian vestibular cortex (TPSVC)，是最容易引起前庭刺激及旋轉感的 (Kahane, Hoffmann, Minotti, Berthoz, 2003)。

整合前庭感覺與聽覺的主要腦區，可能包括了輔助運動區 (supplementary motor area)、前運動皮質 (premotor cortex)，以及聯合聽覺皮質 (association

---

<sup>8</sup> 經由骨頭所傳導的聲學刺激和前庭的聲學閾值大約相差 30 dB。

auditory cortex)。功能性核磁共振造影 (functional magnetic resonance imaging) 的研究顯示, 以 0.5-5 Hz 的交流電刺激前庭系統可以活化上述的前運動區與顛上回 (superior temporal gyrus), 活化程度在刺激頻率為 1-2 Hz 時最強 (Stephan et al., 2005), 其他被前庭刺激活化的區域還有: supramarginal gyrus, inferior frontal gyrus, insular gyri, putamen, pallidum, thalamus, cerebellum, middle cingular gyrus...等 (Lobel et al., 1998; Stephan et al., 2005)。腦電圖研究顯示, 前庭誘發電位 (vestibular evoked potential) 在輔助運動區上方的 Cz 處相當明顯, 此電位約發生於刺激後 10 ms (de Waele et al., 2001; Lin et al., 2009; Schneider et al., 2001)。

#### 第四節 節奏與身體律動的神經造影研究

近年來, 有不少研究以神經造影 (neuroimaging) 技術來探討聽覺節奏處理的神經基礎, 包括節奏感知、辨別及產生。若請受測者用手指敲出簡單節奏的拍子, 研究顯示主要感覺運動區 (primary sensorimotor area)、同側小腦 (ipsilateral cerebellum)、前運動皮質 (premotor cortex)、輔助運動區、顛上回 (superior temporal gyrus) 會活化。前運動皮質和輔助運動區牽涉到感覺和運動的整合, 其中前運動皮質牽涉到反應的選擇與產生, 而輔助運動區牽涉到組織相關的感覺資訊, 例如一個段落的開始, 或是動作的區塊化。此區域更有可能牽涉到執行動作時, 觸覺 (tactile) 和動覺 (kinaesthetic) 的回饋過程 (Chen, Zatorre, and Penhune, 2006)。即使受測者只有聽音樂或在心裡想著音樂, 沒有打拍子或做任何的動作, 運動皮質與皮質下運動系統也會活化, 不管做打拍子的動作或在心裡數拍子, 依賴的是聽覺皮質及被測前運動皮質的互動, 而且只有人類的大腦才看的到這兩者的連結和配合 (Chen, Zatorre, and Penhune, 2006)。

腦磁波的測量發現, 人類聽見有節奏的聲音, 主動將聲音分組成具有周期性規律的拍節結構, 並且加上重音時, 在 20-30 Hz 的 beta 頻帶會增強, 這個頻帶

代表的意義也包括動作訊息的處理以及大範圍的大腦皮質內的協調，也許，在沒有動作的情況下，動作系統（motor system）也會影響聲音拍節的詮釋（Iverson, Repp and Patel, 2009）。

「大腦—肌肉」（cerebromuscular）的連結發生在動作頻率（movement frequency）及其倍頻上面。較高倍頻的連結可能在動作不夠平順時發生，此假設可由肌電圖強度（EMG, electromyography）的頻率尖峰證實（Timmerman, 2003）。先前的腦電波研究也顯示了「大腦—大腦」在 8-12 Hz 的連結，它可能代表在自主動作時，動作系統和感覺動作結合（sensorimotor binding）的基本頻率。另有論文顯示，內在引導的手指動作，和外在引導的動作相較之下，和 beta 頻帶的一致性（coherence）增加有關，他們因此懷疑內在動作可能需要更高階的動作系統需求。因此，有學者認為高程度的動作系統需求可能表現在 beta 頻帶一致性的增強（Pollok, 2005）。

過去有許多研究指出，當人用手指跟著節拍器打拍子時，在 2 Hz 以下的速度能夠成功地完成在正拍及反拍的手指動作，但當速度超過 2 Hz 時，反拍的動作會變得跟節拍器一致，也就是變回正拍。使用腦磁波來觀察受測者在正拍及反拍上運動手指，可以發現，在打反拍時，beta 頻帶的腦波會降低，而 beta 頻帶的降低代表動作的困難度增加（Mayville, Fuchs, Ding, Cheyne, Deeke, and Kelso, 2001）。

在彈鋼琴或是手指在做類似運動時，在大腦額葉中線區域的 theta 頻帶腦波會增強（Katayamas, Hori, Inokuchi, Hirata, and Hayachi, 1992）。此外，規律踩腳也會造成額葉中線區域的腦波變化，在雙腳輪流原地踏步時，Cz 腦區接收到的腦電波和脛骨前肌（tibialis anterior）的肌電波在兩個低倍頻（harmonic）有很強的一致性，在 15-30 Hz 也有較高的一致性（Raethjen, Govindan, Binder, Zeuner, Deuschl, and Stolze, 2008）。

不同的腦波頻率，顯示了不同知覺、動作、認知狀態之間的一致性，而規律

的聲音刺激即可誘發腦波的一致性。在一項由音樂學者所作的腦電波實驗中，比較了聆聽週期性聽覺刺激（頻率 1-8 Hz 的鼓聲和 click）、無聲，及隨機噪音之際的腦波，指出在 Cz 可測得隨週期性聲響而增加的腦波一致性，並發現在 delta 頻帶有基頻（fundamental）一致性反應，於聲響刺激頻率為 2 Hz 時反應最大。Delta 頻帶中的一致性反應，可能形成部分「基本節奏感輸入與動作輸出間時間連結」的神經生理過程。此外，實驗中觀察到的 beta 和 gamma 頻帶的一致性，可能對「牽涉到學習與記憶認知功能的節奏誘導」有貢獻（Will and Berg, 2007）。

大腦影像的研究顯示，在進行有時間控制的感知或動作表現時（timing performance），腦中有一系列的構造會有系統地活化，包括紋狀體（striatum）、視丘、小腦及部分大腦的皮質區（Lewis and Miall, 2003, Mascar, 2002）。這些區域中，有些和專注力和工作記憶有關，例如：右頂葉（right parietal）、後側前額葉皮質（dorsolateral prefrontal cortex），及前扣帶迴（anterior cingulate cortex）。此外，輔助運動區（SMA, Supplementary motor area）在從事有時間控制的任務時，會持續地活化，他經由視丘接收基底核的重要訊息。輔助運動區除了在動作計畫上扮演重要的角色（Tanji, 1994），他也參與持續時間的編碼（duration encoding）（Mascar and Vidal, 2004）。此外，輔助運動區也會在音樂家在用腳踩和首不同的節奏時活化（Lang, 1990），輔助運動區受傷的病患，執行時間性任務是有困難的（Halsband, 1993）。

關於輔助運動區所扮演的角色，Lewis 和 Miall 主張，輔助運動區主要牽涉在自主性的、以秒為單位以下的短時間運動任務的執行，而「認知性控制」（cognitive controlled）的、大於秒以上的任務則由前額葉和頂葉控制（Lewis and Miall, 2003）。Mascar 等人則指出，即使當所從事的任務較為複雜，需要花費較多的專注力時，輔助運動區牽涉到的認知功能和運動功能一樣重要，因為它牽涉了任何有關時間性目標的解碼（Mascar, 2002）。

對不同長度的時間隔的解碼，牽涉到的神經機制也有所不同，在以秒或以分

為單位的時間間隔下，牽涉到皮質紋狀迴路（corticostriatal circuit），在此基底核偵測到神經震盪（neural oscillations），而在以毫秒為單位的時間間隔下，則可能依賴動作皮質區和小腦（Buhusi and Meck, 2005）。大腦造影技術也顯示了這些區域的參與，甚至在沒有執行動作時也會活化（Grahn and Berett, 2007; Chen et al., 2008）。

大腦皮質對手指動作的調節，可能涉及大腦中兩種維持時間運作的系統：一種是對 3 Hz 以下的頻率較為敏感的，另一種則對 3 Hz 以上的頻率較為敏感。讓不同的手指做不同節奏的動作（polyrhythmic），並不是與生俱來的能力，而是需要經由學習的。調節節奏性動作的定時（timer）功能，推測可能存在基底核或小腦。對動作來說，拍節和節奏的重要性比旋律來的高，很有可能節奏性動作也可以在缺乏感覺傳入及 central oscillator 的情況下，仍可以製造想像的動作型式（fictive motor pattern）（Szirmai, 2010）。

## 第五節 小結

由以上的文獻回顧可知，音樂的欣賞不僅涉及聽覺處理，還牽涉不同感官的整合。本論文的重心放在動作與音樂的關聯上，根據先前的研究，演奏者在演奏樂器時的動作以及聆聽者跟著音樂律動所造成的觸覺、本體覺與前庭覺等，都能影響對音樂拍節的接收。

組成音樂的元素中，以「節奏」最能引起人想跟著音樂律動的慾望。節奏是音樂的時間事件，能凸顯音樂的拍節結構和拍子，人能自動將規律發生的時間事件區塊化，將他們組織成小整數比的拍節結構，這種能力能使人更有效率地接收時間事件。除了將時間事件區塊化、將節奏以有規律的拍節結構型式接收，也可以發現人類的動作也是有節奏性的，而使用有節奏的音樂能使聆聽者的動作同步、和音樂一致、有效率的統一群體動作，這也是音樂對社交活動的貢獻，以及在演

化中扮演的角色之一。

除了音樂的節奏能帶動動作，使用身體的律動也能幫助穩定節拍，無論是拍手、踩腳或點頭，都能使演奏者或聆聽者更能感受拍節結構，而改變身體律動的速度或模式則會改變人對拍節結構的認知。有學者主張，經由頭部動作所誘發的前庭覺，比其他的感覺回饋更重要。

跟著音樂律動頭部或身體造成頭部的移動，都能造成前庭覺。前庭被刺激時，在頭皮的 Cz 部位可以偵測得到電位的改變，Cz 下方的輔助運動區可能是電位訊號的來源，此腦區和執行動作計劃與時間控制有關，也牽涉到整合動作與感覺訊息的功能。即使沒有動作，在有規律的聲音刺激下，Cz 區的一致性也會增加，可推測和「基本節奏感輸入與動作輸出間時間連結」也有關聯。

跟著音樂規律的動作能增加對音樂拍節結構的感知，而在音樂中若缺乏音符，形成空拍時，這些動作也能代替聲音事件，填補空拍，使人能較容易將有節奏聲音事件分組，成為有規律又固定拍子的拍節結構，這也許是跟著音樂律動的目的之一。這些律動除了能填補空拍，幫助將節奏分組，組織成好接收的拍節結構，還能藉由動作所刺激的觸覺、本體覺與前庭覺等多元感覺刺激，使人對音樂更有感受。



## 第三章 聽眾的身體律動：田野觀察

音樂與身體動作是息息相關的，無論是音樂演奏者或聆聽者，都常不由自主跟著音樂擺動身體。根據文獻回顧，肢體律動所產生的觸覺、本體感覺與前庭刺激等不同的回饋，能幫助演奏者與聽眾更掌握的住拍子與節奏。但是，在聽音樂的時候，人是怎麼跟著音樂動的？律動的部位和律動的方式，會不會隨著音樂速度或種類的不同而有所差異？

在本章中，筆者將進一步探討不同身體動作型態和不同音樂間的關聯，藉由實際走訪音樂演出空間，觀察人怎麼跟著音樂動，統計在不同情況下，常見的動作部位與運動方式，探討這些律動如何配合不同的音樂類型。

由於田野觀察所得到的資訊比較粗略，無法精準地測量身體律動與音樂節奏之間的相位關係，因此，在田野觀察之後，為了進一步研究這些身體動作，筆者在下一章將用加速度規測量樂手的算拍動作，探討利用身體動作來鞏固拍節感知的傳統。

### 第一節 田野觀察紀錄

藉由實際參與音樂活動，在不同的音樂環境下觀察不同樂種的演奏者與觀眾的身體律動，歸納出不同的身體律動形式所出現的頻繁度，進一步了解音樂與身體律動兩者間的關聯，這類研究散見於民族音樂學的一些文獻。葉奕希（2009）的碩士論文《音樂身體的空間結構及其地方感：以臺灣大學鹿鳴廣場中的音樂身體為例》，以田野觀察為基礎，探討環境空間與其中的聲音與人類身體的影響。在本章中，筆者也做類似的田野觀察與分析，但觀察的重點為音樂與身體律動的關連。田野觀察的對象涵蓋不同速度、節奏與曲風的現場演出音樂，演出的環境和觀眾型態也不同，以下分類敘述之。

## 一、大型流行歌演唱會

### (一)、龍騰體育館世運閉幕

首先要探討的是在世界運動會閉幕典禮中，歌手伍佰的演出（2009年7月27日，高雄龍騰體育館）。在奏出快歌〈你是我的花朵〉的音樂時，由現場觀眾拿的LED燈或螢光棒可以清楚看到上肢的動作，主要有三種：第一種是前後擺動，每一拍都會擺向前一次；第二種是左右擺動，有些人一拍往左、一拍往右，有些則是在向左揮之後停頓一拍再向右揮，則揮舞的速率比前者慢一倍，第三種是拍手，都在正拍拍點上，其中一位觀眾有被筆者錄到，他在一、二拍時身體也跟著往右搖，三、四拍往左搖，其中大部分的人屬於第一種擺動方式。由於這首歌在演出前，歌手伍佰有教大家副歌的動作，副歌時規範的動作都是在正拍上達到定點，不過既然是有規範的動作，這裡就不多加討論。無論是前後擺動或左右擺動，可以看到所有的人都動在正拍的拍點上。也可以發現，大多數的觀眾身體也跟著搖擺，有的點頭、有的動膝蓋，也有些甚至跳起來，這些動作也在正拍上。

世運閉幕的另一段影片，伍佰演出慢歌〈心愛的，再會啦〉，速度約為前一首快歌的一半。大部分的人是用手左右揮舞，以一拍向左、一拍向右的方式律動，身體則跟著手的揮舞左右自然擺動，坐在附近的人，揮舞的方向很一致，有些人的頭會跟著左右搖動，並在拍點上點一下。由於閉幕已接近尾聲，在演唱結束後的音樂尾奏，有人加快揮舞的動作，變成像揮手道別似的手勢，但仔細觀察會發現，手的動作還是跟著節奏的，一拍之內會有「揮左、揮右」的循環，則一邊在正拍另一邊在反拍。

### (二)、「這牆」(The Wall)的「Love Mañana 愛的大未來」演出

2009年2月25日，「Love Mañana 愛的大未來」樂團在「這牆」(The Wall)的演出。樂團團員包括主唱、鼓手、吉他手與貝斯手，而演出場地是一個位於地下室的密閉空間，沒有座位，觀眾都是用站的。演唱的音樂，曲風多偏向流行搖

滾，節奏感強烈，可以聽到伴奏的吉他和鼓聲不斷重複著「咚ㄅ咚ㄅ咚ㄅ咚ㄅ」的節奏，「咚」為踏鈸聲加上鼓聲及貝斯演奏在正拍的低頻聲音，而「ㄅ」是用踏鈸打出的後半拍。一開始的時候，有一區的觀眾手舉高在揮舞，有人是熱烈地在每個正拍上點頭、拍手，也有些觀眾站在旁邊跟著在正拍點頭、輕搖螢光棒，中間有兩排觀眾在跳躍，在每個正拍著地。曲子到了一個段落，主唱帶動大家跟著拍手，他自己在原地跳了起來，著地的瞬間落在每個正拍上，雙手則高舉空中，在每小節一、三拍手，現場觀眾也跟著拍，但在另一個角落，有些人是拍在二、四拍，觀眾幾乎都在點頭，也有一些左右搖擺的，每一拍都搖到左邊或右邊的定點。曲子進入尾聲，跳躍的人越來越多，也開始有人每一拍都在拍手，有些人邊跳邊高舉雙手跟著拍，但有趣的是，他們和主唱教的不一樣，主唱拍在第一、二拍他們拍在二、四拍。

### （三）、華山藝文特區的山地之夜

2009年7月4日，在華山創意園區中五館舉行的「山地之夜，投幣 LIVE」，是從晚上九點半開始，延續到半夜兩點左右的原住民派對。這個場地有別於一般音樂會或演唱會的環境，演出的舞臺位於室內，但觀眾的位置從事內的廣場延伸到室外的空地，沒有椅子，只有一片廣場，並且可以憑門票領取兩杯含酒精飲料。由原住民團體與歌手輪番上陣，臺上臺下互動頻繁，氣氛熱絡，由影片一可以看到，當臺上唱出帶著原住民須詞所編成的樂曲時，臺下有些原住民觀眾也圍了起來在跳原住民的舞步。

觀眾的肢體語言可能也和當時演唱的曲子以及歌手的個人魅力有關，在演唱節奏感強烈的曲子時，有許多人跟著音樂左右搖動，在每個小節的第二、四拍時搖到位移的最大值，也有人在第二、四拍拍手，在曲子中段之後氣氛更加熱絡，有越來越多人在每一拍都拍手、點頭，或是用膝蓋的動作讓身體上上下下，最常見就是在正拍的時候膝蓋微彎，有一對女生的動作還滿明顯的他們每一拍都會微微蹲膝蓋，身體則是「一、二拍搖向一邊，三、四拍搖向另一邊」。

當晚的高潮在接近半夜兩點時，歌手張惠妹的現身。張惠妹的演唱會無論在哪裡舉辦，都能讓所有的觀眾情緒高亢，即使是在小巨蛋，也能讓觀眾「high」到全體起立跟著跳（為了安全起見，小巨蛋規定三樓座位的觀眾不能站立看演唱會），在小巨蛋內畢竟有硬體設備的限制，大部分的觀眾只能在原地跳，即使在搖滾區也有秩序管制。華山創意園區的場地則完全不同，由於場地的開放性，所以觀眾的肢體語言可以盡量誇張，甚至奔跑跳舞都行。即使當張惠妹在唱速度並不快，也不是特別 High 的歌時，現場觀眾的拍手聲，跳躍、點頭與揮手的動作卻不間斷。主要的律動方式，包括用手比「搖滾」的手勢（手握拳，只伸出食指和無名指，也有人會加上大拇指，但正確的搖滾手勢是前者）、用雙手拍手、點頭、在原地上上下下跳躍、身體上下擺動，這些動作都在每一個正拍上。當晚的音樂曲風略帶有搖滾，觀眾身體動作產生的時間點都在正拍上，在氣氛尚未達到高潮時，可能是在第二、四拍上做動作，待曲子尾聲或節目尾聲，就幾乎大家都在每個拍點上搖動。

#### （四）、臺北小巨蛋舉行的大型演唱會

臺北小巨蛋是一座大型的室內演出場地，舉辦演唱會時，從一樓的平地到由二、三樓延伸到蛋頂的觀眾席都是有座位的，售票時，一樓前方屬於搖滾區，雖然也有劃位，但臺灣聽眾聽演唱會的習慣比較隨性，常會起立跟著搖擺拍手甚至走動，而一樓後半的位置會稍微架高，聽眾也偶有站立走動的情形，甚至有時也會站到低處跟著跳舞<sup>9</sup>，二樓以上的坐位空間較小，地勢也較斜，觀眾進出困難，除非是靠走道的位置，否則較無離開坐位的情形，小巨蛋也規定三樓以上的觀眾不許在演唱會中站立。因此在小巨蛋的演唱會，比較受坐位的限制，但聽眾在情緒激昂的時候，仍然會不顧座位的限制和規定跟著搖擺。

---

<sup>9</sup> 筆者在 2010 年 3 月 20 日坐在二樓處觀賞張惠妹的阿密特世界巡迴演唱會，當天有多位藝人也前來觀賞，演唱會中場，張惠妹介紹一些與會的藝人，攝影機也現場拍攝這些藝人並同步於大螢幕播出，可以看到原先坐在一樓後方架高區的藝人，有些已經跑到附近的平地隨音樂起舞，例如 S.H.E。

2009年5月15日，我在小巨蛋三樓觀賞孫燕姿的「The Answer is.....」演唱會，曲目以抒情流行為主，也穿插幾首快歌，舞臺和服裝設計都走豪華路線，也有龐大的舞群一起演出，現場的觀眾幾乎是孫燕姿的死忠歌迷，不過在一樓搖滾區有一部份的歌迷是為了演唱會嘉賓楊宗緯來的，和其他演唱會相較，歌迷雖然全場跟著搖擺，但站起來的人較少，尤其楊宗緯的歌迷，在孫燕姿演唱時表現得較為平靜，二、三樓的歌迷幾乎全都坐著，但可以看見大家手上拿著螢光棒，跟著音樂的拍點左右搖擺，頭部和手部一起搖向左、右，這似乎也是在聆聽抒情歌曲最常出現的身體律動方式。

2009年6月21日，日本流行天后安室奈美惠在小巨蛋開的演唱會「Best Fiction」，請歌迷不要攜帶螢光棒入場，因為演出的設計包含燈光的效果，螢光棒會妨礙視覺觀賞，但仍有少數歌迷攜帶螢光棒入場。演唱會開場前，就利用燈光來營造效果，歌迷也跟著尖叫和拍手，但動作和叫聲都沒有同步，當燈光有規律地閃爍時，有些人會跟著燈光用踩地板或用手跟著頭部前後擺動，看來，閃爍的燈光也能讓歌迷產生同步的動作，但當音樂聲開始，觀眾的同步性就更高，當天的演唱曲目以舞曲為主，穿插幾首抒情歌，一樓的觀眾幾乎都站起來搖擺，但三樓的觀眾幾乎都坐著，在拍子上跟著點頭，大家搖擺的方式和節奏大致看來一致很高，幾乎都是用身體前後搖擺和點頭，手裡有東西的觀眾也會跟著用手前後揮舞，舞曲重節奏，加上音響效果加強了低頻，在坐在觀眾席的人也能夠感受到「震動」。值得注意的是，大聲的低頻音樂也可能直接刺激前庭系統。

2010年3月20日的「阿密特首次世界巡迴演唱會」，是歌手張惠妹主打「搖滾精神」<sup>10</sup>的演出，大型演唱會其實和視覺效果也幾乎脫離不了關係，許多演唱會都有戲劇的成分，但這場演唱會，主辦單位將重心放在音樂上，因此在服裝造型上沒有太大著墨，也沒有舞群來幫忙：

---

<sup>10</sup> 有些人懷疑所謂的「阿密特搖滾演唱會」不是真正的搖滾演唱會，但據張惠妹的理念，「阿密特」是一種態度：自然、親切、真實，而他所謂的阿密特式搖滾，也是他表現自我的方式，是一種精神。由音樂上聽來，編曲上節奏感較強烈，有重低音和較渾厚的和聲，即使演唱會中演唱張惠妹在舊專輯裡的曲目，也全部加以改編，以較搖滾的感覺來呈現，所以在此還是將該演唱會歸類在流行搖滾。

今晚，請你拋開過去對演唱會的傳統期待，起你把對張惠妹的印象暫時收進記憶的盒子：他不會頻頻換裝、不會有性感的舞者幫襯，不會有眼花撩亂的舞臺機關、爆破的煙火；「音樂」才是這一頁的精神王道，全場超過 30 首以上的歌曲重寫重編，用不同的態度詮釋，當熟悉的歌詞、旋律竄進你的耳朵，你將感受有種似曾相似，好像聽過這首歌，但又和以往不一樣（摘自演唱會文宣 Amit Post）。

即使沒有太多餘的視覺效果，卻讓全場觀眾跟著音樂或揮手、或搖擺，從一樓到蛋頂的人幾乎全場都站著，彷彿一場大型舞廳，而當時進場後每個人能拿到的文宣也這麼寫著：

……儘管他只有一個人，但他甩頭、他很酷，他告訴你，這是個搖滾的場子，不是讓你來跳迪斯可的，你會看到他不斷以肢體、歌聲和尖銳的電吉他挑釁；臺下的你，如果想要，可以站起來跟他一起翺張。

雖然這場演出有別於制式演出的繁文縟節，但它並不是一場阿密特的個人秀，因為臺上的每一個人，樂手、合音都是獨立且不容忽略的狠角色……。

既然如此，身為觀眾的你我，更是讓今晚的巨蛋 High 到破表的主力演員。你要做的是，準備好你的搖滾手勢，用力地吶喊、盡情地解放、瘋狂地嘶吼，旁若無人地跟著阿密特一起進入她的搖滾殿堂，不用再亦其他觀眾的眼光，只要擔心明早睡醒，頸子是否依然安好？（摘自演唱會文宣 Amit Post）

現場的演出就如文宣所描述，張惠妹在演唱時，也不時以甩頭的動作帶動高

潮，是接連不斷地三百六十度大旋轉，有些合音和樂手也做了甩頭的動作，但幅度比較小，現場聽眾受限於空間，甩頭的角度大概介於搖頭和旋轉之間，但最常見的動作還是點頭、擺動身體，加上膝蓋上上下下的蹲站以及手舉高用力前後揮舞螢光棒，氣氛熱烈的時候，也有上下跳躍的。由於演唱會曲風大多是速度較快又重節奏的搖滾流行，可以觀察到觀眾大部分的動作都在拍點上，每拍都有動作，不過仍然可以發現許多聽眾可以在快歌進行時，在後半拍揮手或點頭，並且維持大約一首曲子的長度，這種現象在其他的大型流行音樂演唱會中也可以發現，有時這種在後半拍律動的模式會逐漸與音樂拍子同步化，但有時也能維持整首曲子，先前文獻回顧所說的「2 Hz 以上速度的音樂較難打反拍」，在此似乎可以觀察到例外，不過，這也許也和聆聽這種音樂會的聽眾背景有關，習慣聽流行音樂或常參加這種演唱會的聽眾，也可以視為「受過流行音樂專業訓練」的人，在反拍跟著律動的能力或許也較好。

## 二、大型露天開放式空間的演出

### (一)、兩廳院廣場的原住民音樂

2010年2月28日，兩廳院廣場舉辦的「很久沒有敬我了你」原住民音樂劇，在國家音樂廳演出結束後，於傍晚在兩廳院廣場舉行開放民眾參加的狂歡舞活動。現場的觀眾和部落來的原住民陸續加入舞蹈的行列，在跳舞的圈子外，有一名還未加入舞群的卑南族長老。雖然沒有加入舞群，他在聽現場的吟唱時，也一面在原地跟著音樂踩腳步。他踩步的動作，和跳舞舞群的腳步不太一樣，正在舞蹈的音樂一小節包含四拍，舞群的動作可以參考圖三-1，圖中可見一群身穿不同族群傳統服飾的原住民手牽手踩著同樣的步伐，四個連環動作圖由左上、右上、左下、右下依序是第一到第四拍，拍點上的動作。可以看見第一拍時，右腳向前踩而左腳向後彎起，而第二拍左腳順勢向後踩，第三拍右腳在向後踏一步，第四拍左腳向前踩，隊伍也一邊向右移動。

長老原地踏步的動作可由圖三-2 中長老和建築物的相關位置看出：在四拍的拍點上分別時：「左腳外踩、右腳向內併攏、右腳外踩、左腳併攏回原地」，同時身體隨著腳步與重心的轉移自然擺動，沒有刻意的頭部與手部動作。

由狂歡舞的舞群腳步和音樂特色分析，可將此音樂視為一小節四拍的形式，而長老原地踏步的方式，剛好也是四個動作，每個動作皆位在正拍上，有些時候拍子不是對的很精準，但看得出來他是踏在正拍，而不是反拍。



圖 三-1：兩廳院廣場上的原住民團康舞。

在廣場上的人群，一一加入跳狂歡舞的行列，可以看到大家跟音樂移動腳部，並且試著跟上前面舞者的步伐，步伐和音樂自然是同步的，而這種同步也使得每個人能跟著群體能夠一起向前走，不會脫隊。廣場的觀眾結束舞蹈後，來自部落的長老們在一旁意猶未盡的繼續歌唱，邊歌身體也邊跟著擺動，一開始是坐著，

用手腳與頭部來跟著拍子律動，接著有越來越多人起身跳起舞來，能夠發現他們的動作都是跟著每小節的正拍進行，在重拍的時候，手和身體一起往下用力揮，反拍的時候身體和手一起往上回到原處。圖三-3 可以看見其中一位長老的動作，由至右分別是第一拍到第四拍拍點上的動作。第一拍時右腳向外踏出而手向前抬起，第二拍時手甩到身後而左腳向內併攏，第三拍時左腳向外踏，手再次向前抬起，第四拍時手向後擺動右腳向內併攏。

經由這些觀察，發現似乎原住民聽到音樂時，跟著一起律動是很自然的事情，音樂與舞蹈的結合有如與生俱來一般。



圖 三-2：舞群外跟著音樂聲踏步的卑南南王部落長老。



圖 三-1：團康舞結束後，在廣場上歌唱的長老。

## (二)、醉月湖畔的搖滾音樂祭

2009年5月31日下午在臺大醉月湖畔舉行的臺大搖滾音樂祭，這個場地是一大塊露天草皮，觀眾可以隨意進出走動，活動空間很大，空氣也較室內的場地來的通風。

拷秋勤樂團的演出在下午，這個樂團的風格融合許多特色，包括饒舌、搖滾與臺灣傳統音樂如唸歌、戲曲等等的應用，在加上音效方面的特殊處理，製造出煥然一新的感覺。在他們演唱他們改編「交工樂隊」的〈菊花夜行軍〉時，可以看到不需要唱主旋律的臺語主唱，在休息與喊「一、二、三、四、一、二、三、四」時，會在第一、三拍上點頭與彎曲膝蓋，有時還加上手勢，敲小鑼的樂手也會在第一、三拍微微點頭，偶爾移動一下腳步。現場站立的觀眾，有些人也跟著在第一、三拍點頭或彎曲膝蓋，甚至用手拍大腿，或是用腳板或腳跟踩著地板，有些人也會左右搖擺。在草皮中央坐了不少觀眾，即使坐著，也可以看見他們用腳板輕踏地面，身體跟著前後搖動。

拷秋勤影片二唱的歌是 rap 的風格（拷秋勤團員可能會稱這是「唸歌」）配上節奏感強烈的伴奏和一些特殊音效。一開始出來的音樂，只有節奏不明顯的傳統樂劇演奏的樂句時，團員在臺上自由移動與搖擺身體，也沒有節奏可言，每個人都用自己的方式來律動。但鼓聲一加入，節奏變的強烈，可以看見團員在臺上開始向有如跳街舞般的律動，同時在第三拍拍手，樂手越跳動作越一致，在快進入歌唱部分時，統一在第一、三拍點頭，同時第一拍時腳也用力踏步，第三拍時的拍手照舊。在唱 rap 時，兩位主唱有很豐富的手勢。可以看見站在舞臺前面的女生，拿著主辦單物發的扇子，一開始跟著在第三拍的時候搵，到後來變成在第一、三搵。還有人拿扇子在第一拍拍手，也有人在第一、三拍點頭、用腳跟踏地，加上點頭的動作，身體也隨著律動，有些坐著的觀眾，腳跟靠在地上，腳板跟著拍點搖擺，或是兩個腳板互拍。可以看見噴吶手在還未演奏時，也跟著主唱點頭與踩腳步，但輪到他演奏時，身體的動作變得很少，幅度也非常小，可能跟演奏需要有關。

另一個受歡迎的樂團是「黑手那卡西」，他們的音樂混音比拷秋勤來的少，音樂節奏感強烈，但旋律性也高，有時來一段像是唸歌的音樂，有時會有樂器的獨奏。團員因為身上幾乎都背有樂器，身體的動作和律動的幅度比較小，頂多是在用膝蓋輕輕彎曲，但看見現場有些觀眾一樣在第一、三拍跟著打拍子，無論是點頭，或是用腳踩地板。在唱比較抒情的曲子時，沒有鼓聲，只有人聲和旋律樂器小聲地伴奏，觀眾的律動幅度也就變小了，有時些人從每小節搖第一、三拍變成只搖第一拍。

晚上濁水溪公社的演出，演唱了他們有名的〈農村出事情〉，節奏強烈、音量大、速度偏快，現場的歌迷比白天多，有些應該是專程來看濁水溪公社的。可以看見幾乎所有的觀眾都在跟著動，大多數的人是點頭與左右搖擺身體，同時用膝蓋來幫助身體上上下下，也有人索性跳了起來，不是單純的垂直上下跳，而是有點類似街舞的動作。主唱聲音一提高，現場也會有觀眾在主唱一喊完的下一個正拍馬上舉起手來應和。在比較空的地方會有動作比較大的觀眾，其中有一位身穿白衣服的男生，一邊在每一拍左右甩頭，一面身體大幅度地左右搖擺：「花四拍時間從左擺到右，再花四拍時間由又回到左」，還伴隨軀幹扭轉的動作。另一位穿黑衣服跳起舞來的觀眾，頭大幅度地左右搖與前點，腳步的運動情形是在拍點上「右腳外開、左腳併起、左腳外開、右腳併起」，同時身體跟著搖動。還有幾位站在一起女生，雖然沒有跳起來，動作也很明顯，其中一位穿黑色背心的女生，在每個正拍上點頭，伴隨一點軀幹與臀部的前後律動，他隔壁的白衣女生則是有軀幹與肩膀小幅度旋轉的動作，在每個正拍輪流轉向右後與左後側。可以發現觀眾的律動型態雖然都在正拍上，但方式則相當多元。

### 三、爵士音樂

爵士樂手的身體律動型式，可能也如他們音樂的風格一樣，比較隨興自由，有些樂手可以同時自然地律動身體不同部位，律動的拍點也未必是重拍或重拍。

在反拍上的律動比其他樂種常見，尤其在爵士樂曲中，有許多 swing 風格的曲子，讓演奏者或聆聽者在跟著律動時，身體有猶如在 swing 一般，動作不會精準地對到拍點，但可以觀察到有週期性的律動。

### (一)、「酷派音樂」的烏野薰概念五重奏

在「酷派音樂」音樂教室，每雙週會舉辦一次「烏野薰概念音樂會爵士五重奏」，可以觀察到資深而專業的五位爵士團員：鋼琴手烏野薰、貝斯手劉昱志、鼓手藤井俊充、手風琴手張翰中、鐵琴手孫綾的演出，每場音樂會也會開放參與音樂會的聽眾跟樂手一起玩音樂 (jam)，因此也可以觀察到初學者，或是業餘的演奏者，在演奏爵士樂時的肢體表現。

職業的爵士樂手在演出時，肢體的律動和其他樂種的樂手比起來，落在後半拍或弱拍的動作是比較多的，動作看起來很平滑自然，除了有時候碰到重音時，身體動作會和音樂上的重音同時發生，其他時候比較少看到突然的停頓。他們的肢體動作和音樂給人的感覺很相似，彷彿單用眼睛看也可以感受到 swing 的特色。初學者的肢體動作比較僵硬，通常會落在正拍或強拍，比較不平滑，比較常有停頓，在強拍上也常有較大的動作，但經過長時間的學習與練習，動作會趨於自然。

但是爵士音樂其實也有很多種類型，除了最為人熟悉的 swing，也有拍子較為平均，但也強調後半拍的咆哮爵士 (Bebop)，或是三拍子有如圓舞曲的形式，要嚴格區分的話，不能將所有的爵士樂曲歸為同一類。在此的分析以 swing 風格的樂曲為主，提到不同風格的類型會加以註明曲風。

烏野薰爵士五重奏的鼓手藤井俊充老師的肢體動作極為豐富，可以觀察到他在演奏樂器時用到的手部及腳步動作都非常俐落且力道控制很精準，由於打鼓時會用整隻腳由大腿抬起踩下，因此雙腳的動作也會影響到軀幹的律動，身為觀察者最容易看到的是頭部及肩膀的動作，可以發現他的頭部律動幅度很大，有許多旋轉的動作，在比較慢的曲子，轉動的軌跡會比較迂迴自由，而在較快速或拍子較平均的曲子，頭部移動的軌跡會比較短，以左右搖擺或前後點頭的動作比較多，

尤其速度越快，前後的動作就越明顯。

貝斯手使用的樂器是傳統的倍低音大提琴，需要站立演奏，他比較沒有明顯的肢體動作，幅度也比較小，可能是受限於樂器的關係，不過筆者觀察過另一個爵士樂團「彭郁雯爵士三重奏」的貝斯手程杰，他是練重金屬音樂出身的，在演奏時肢體動作極為誇張，甚至會跳起來，臉上更是帶有誇張的表情，但是律動的軌及比較像是直線形的，和在酷派音樂所觀察到的爵士樂手常呈現的曲線 swing 感覺不同。

鋼琴手烏野薰老師的律動以軀幹和頭部為主，幾乎不會用踩腳來數拍子（在我的觀察中從沒有觀察到），頭部律動的幅度不像鼓手老師這麼大，但可以看見律動的軌跡是非常圓滑的，有時候會優雅地仰頭，小幅度地用頭 swing，有時會低著頭搖，低頭的時候幅度比較大，光看頭部的動作比較難抓拍子，因為有時是在後半拍搖，有時則和他演奏的旋律有關，可能在一小節四拍的情形搖三下，在音樂有節奏變化的時候，頭部律動的節奏也變的較為複雜，有時也會跟著手的動作一起點，光看頭部的律動，彷彿就聽得見他的音樂。

這個團的鐵琴手和手風琴手，音樂背景都比較特別，鐵琴手孫綾老師也是臺北市立交響樂團的團員，而手風琴手張瀚中是前面提到過的拷秋勤樂團的團員，也涉足許多不同類型的音樂演出，由於鐵琴的演奏需要較大的肢體動作和力道，自然以會影響肢體動作，整體看來，鐵琴手的肢體動作和古典音樂的樂手比較像，不過在輕快的樂曲會跟著拍點點頭，而手風琴手的肢體動作很自由，常會在拍點踩腳或踮腳用腳跟踏地，在拍點點頭的動作也很明顯，由於演奏所坐的椅子是可以轉動的，他也會邊演奏邊搖動身體讓自己向左向右微微轉動，手風琴手的肢體動作很豐富，跟他在搖滾音樂會的演出比起來，雖然在拍點上也看的出來會比較有力道，但動作軌跡看來比較平順。

來參與的學生學習的時間長短不同，比較有經驗的學生，律動的軌跡看起來會比較平滑，偶爾能看見有學生會用腳板踩地板來幫助數拍，或是用頭左右搖擺

或點頭，動作比較僵硬，而且每個點都會對在拍點上，這和有經驗的職業樂手是較為不同的。

### (二)、Blue Note 藍調酒吧的演出

爵士鋼琴手烏野薰老師，在每週六於 Blue Note 藍調酒吧和鼓手 Brandy 老師、貝斯手 Michelle 老師組成爵士三重奏演出，而烏野薰老師的學生，也會定期在 Blue Note 舉行發表會，由鼓手和貝斯手兩位老師和學生一同演出。

這兩位樂手的肢體動作很有特色，Brandy 老師打鼓時，肢體動作不像前述的藤井俊充老師那樣誇張，但會很融入音樂，跟著搖擺頭部和肩膀，幅度不特別大，但有一種 swing 的感覺，表情看來也很陶醉，有時會在後半拍聳肩或點頭。Michelle 老師使用的樂器是電貝斯，在彈奏時右腳的動作也很有特色，會在後半拍時，輪流用腳前掌和腳後跟稍微抬起再貼回地面。有時候也伴隨輕微的肩膀動作。

參與演出的學生，由初學者到學習幾年，甚至自己組了團的學生都有。初學者常用左腳在正拍踩拍，有時也會再重拍點頭，較有經驗，比較抓得住爵士感覺的學生，肢體律動的型態會較為平順。但每位學生的音樂背景是有差異的，有些學生自小學習古典音樂，也有學習流行音樂或搖滾的，當然也有一開始就學習爵士樂的，表現出來的肢體律動和音樂性也有差別，而爵士音樂包含不同的曲風，也會影響律動。

### (三)、臺北爵士大樂隊

臺北爵士大樂隊由有經驗的爵士樂手們組成，包括鋼琴、鼓、貝斯、吉他，以及薩克斯風與銅管樂器如：小號、長號等樂器。是一個大編制的爵士大樂隊。大樂團所演出的曲目大多是較為活潑奔放，速度較快的，可以觀察到樂手的動作也更靈活，由其是管樂手，有更多聳肩或扭動肩膀、搖頭的動作，在吹奏樂器時，也有大幅度的上半身律動，有些律動和所演奏的旋律片段似乎也有關連，例如在

演奏向上的音型時，會將樂器往上舉，而演奏到向下的音型時，會往下彎。許多動作也可以看見強調後半拍的現象，例如在後半拍突然身體往後倒或往前彎，或肩膀和頭部有力道較大的動作。坐在一起的樂手，動作的方向和方式會比較像，但大樂隊人數眾多，一起在臺上演出時，每個人能律動的空間較小。

## 四、其他各式民族音樂

### (一)、臺大文學院演講廳的阮丹青與 Sunshine 樂團演出

2009年3月27日文學院午間音樂會，阮丹青與 Sunshine 樂團在文學院演講廳的演出。這個樂團有三個成員：鋼琴手兼歌手阮丹青、倍低音大提琴手，以及大提琴手，圖三-4 可以觀察到，當時所演奏的是探戈風格的音樂，鋼琴手演奏的旋律節奏明顯且富含切分音，左圖與右圖比較，可以看見鋼琴手動作的範圍很大，身體會在前傾與向後仰之間擺盪，有時候是兩拍為一個週期在每小節的第一、三拍擺到振幅最大值，有時候是一個小節（四拍）或更長的時間。在向前傾的時候左腳也向後伸（右腳在採鋼琴的踏板），向後仰時，左腳則向前伸，可能是為了維持平衡。腳底板也有動作，先是在每小節的第二、四拍踩下，之後又踩在每一拍的後半拍。倍低音大提琴手肢體動作沒有這麼大，但仍可以看到他在演奏時，會有些微膝蓋屈曲、軀幹向前彎或後仰、聳肩與頭部的動作，動作幅度不大，但還算明顯，有時候膝蓋會一拍就彎一次，頭部也配合點頭，也可以發現大部分時候，在每小節第一拍的動作幅度會比較大，但他的動作是非常順暢有韻律的，由軀幹帶動頭部的動作，甚至有時肩膀是在反拍時聳起，也帶動頭部在反拍時後仰。大提琴手的動作比較少，主要是頭部會跟著向前或左右搖，都在正拍的時候到位，且大多是每小節的第一拍，若是那一拍演奏的音是後半拍，頭部動或看起來會更加明顯，似乎力道更強。



圖 三-2：阮丹青與 Sunshine 樂團的演出。

## (二)、臺大文學院大廳的客家音樂演出

2010 年 4 月 2 日文學院午間音樂會，客家音樂的演唱，在臺大文學院大堂的演出。這首速度較慢的抒情歌〈油桐花〉，是由伴唱帶伴奏，一位女歌手來演唱，一開始的伴唱音樂只有弦樂，沒有節奏樂器，只有副歌在每小節的第二拍加上小鼓的聲音。主要的觀察對象，一開始時只偶爾有用身體小幅度輕輕跟著搖，到了第二次的副歌，頭部的動作變得明顯，會點在正拍上隨意向左右或前方點，身體擺幅也加大，可以看見一開始會在第一、三拍時身體百向左或右邊的定點。第三次副歌時，動作更大，在每小節第一拍同時彎曲其中一邊的膝蓋，身體向同側倒，同時提起另一隻腳的腳板，第二拍時將腳板踏回原地，原先彎曲的膝蓋伸直，第三、四拍時將第一、二拍動作重複，但換成另一個方向，有時候會加上頭向前點，有時點在第一、三拍上，有時則每拍都點。但他並沒有從頭連續律動到結束，偶爾會停下來，有時拍子也不是抓得很準，但可以看得出來頭部和下肢的動作大約都在正拍。圖三-5 為主要觀察對象的動作分解圖，這時演唱的音樂為一小節有四拍的形式。由左到右圖分別是第一拍到第四拍拍點上的動作：一開始他雙腳差不多與肩同寬地站立，在第一拍的時候身體重心往左邊移，第二拍的時候身體略為向左邊扭轉，右腳順勢踮起，第三拍時重心向右邊移，第四拍時身體稍微轉向右邊，左腳順勢微微踮起。

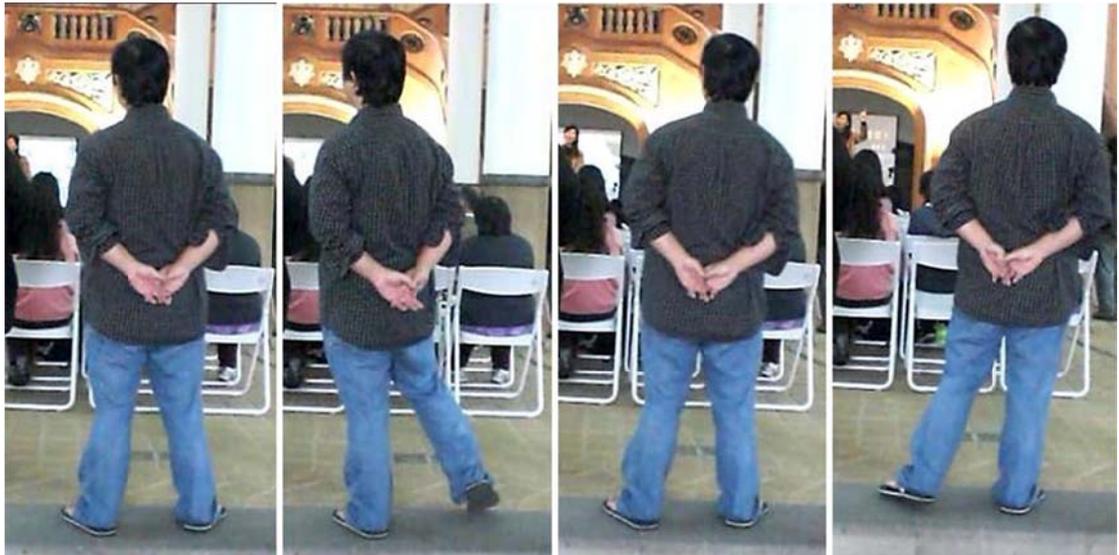


圖 三-3：跟著客家音樂搖擺的聽眾。

### (三)、臺大文學院大廳迷火佛朗明哥舞團的演出

2009 年 5 月 22 日，文學院午間音樂會，迷火佛朗明哥舞團在文學院大堂的演出。由西班牙吉他和響板演奏的音樂速度偏快、節奏明顯。主要觀察者有兩位，其中一位坐著，另一位站著，這位本身也有學習佛朗明哥舞。站著的這位右手掌貼在左胸前，跟著音樂在每一拍的正拍點上輕拍左胸，同時，頭也跟著一起點，頭與手的動作一致，下半身則沒發現明顯的動作。坐著的觀察者，先用放在腿上的右手掌跟著音樂正拍輕輕拍打，再來用雙手來拍手，同時腳板也跟著打拍子，他的左腳著地，用腳板拍地板，右腳跨在左腳上，也跟著做腳板上下踩的動作，之後，用手托著下巴，頭部跟著音樂動。圖三-6 可以觀察到他們的律動情形，左圖是正拍拍點，右圖是反拍的情形，可見站立的聽眾將右手放在左胸前打拍子，而另一位坐著的聽眾則是用拍手的方式，在拍點上拍手。

演唱到另一首快歌之前，舞者有請大家跟著一起拍手，並教導基本的節奏，因此現場跟著拍手的觀眾變多，氣氛也更熱絡。這首曲子可以視為一小節有十二拍，其中第一、四、七、九、十一拍為重拍，也可以把拍子架構寫成：123123121212，有畫線的是重音，都落在 1 下面，或是把十二拍視為四個大拍，每大拍又分成三連音，則可以寫成 123123123123。站著的被觀察者，一開始時每一小拍都拍手，

有時會在重音拍微微點頭，曲子進行中有長是更換其他的數拍方法，像是在十二拍中的奇數拍拍手，之後就停下來觀察表演者，他後面有另一位站著的觀眾也加入拍手的行列，拍在每一個正拍拍點上。坐著的被觀察者則是一開始就在舞者教導的重音上拍手，頭也跟著點頭的時間幾乎和拍手一樣，懸空翹著的右腳也跟著踩，第一段歌唱的部分結束後，樂器在演奏時，頭和手停止動作，換踩在地上的左腳跟著踩拍，每一拍都踩。接著右腳放到地上跟著音樂的踩，腳跟整個離地大力踩在每個重音上之後又用頭和手一起拍重音。有許多觀眾在此時也跟著拍手，有些是每一拍都拍，也有人想抓舞者教的重音，卻抓不到，所以拍在前三個重音上，第四、五的重音就拍不到而停下來了，如果把一小節十二拍改分成我們平時最熟悉的一小時四拍的節奏，則前三個重音剛好會是四拍中的第一、二、三拍，剩下兩個重音變成難以掌握的兩拍三連音形式，因此不難解釋觀眾不好抓最後兩個重音。



圖 三-4：聆聽佛朗明哥音樂時聽眾拍手的樣子。

## 第二節 音樂類型與律動形式

由上述田野觀察的經驗可以看到，在不同音樂活動中，無論是聽者還是演奏者，都常隨音樂而律動，但身體律動的部位及形態卻不盡相同。首先，演奏者的律動方式會受限於所演奏的樂器，聽者沒有樂器演奏的問題，卻也有可能受限於

聆聽的環境，例如座位的規劃，或密閉的空間，因此環境也會影響身體的律動。音樂本身，無論是速度、節奏、配器或不同的樂種，也會影響聽者的肢體動作，另一方面，聽者本身對音樂的感受，自然也會造成不同的律動感。

人們習慣隨音樂律動的方式，最常見的是點頭、踩腳與揮手。不過，這些動作常會伴隨鄰近關節的律動，例如：踩腳除了腳尖與踝關節的動作，還常伴隨膝蓋的律動，而手部的動作，可以小至簡單的拍手，到大幅度地揮舞整個手背。聽音樂時，軀幹跟著搖擺也是常見的事情。

以下整理田野觀察所見，不同情況下的身體律動型態。

## 一、音樂演出的環境

### (一)、空間上的限制

聆聽音樂的場地，會直接影響到聽者肢體動作的施展，例如，在有固定座位且不易隨意走動或更換位子的環境下，聆聽者就比較不容易有大的動作，這時，會出現的動作型態常會是小幅度地頭部與四肢的動作，軀幹則較為靜止。

最常見的頭部動作是點頭，也有些人會有搖頭、左右搖擺或旋轉的動作，在某些音樂類型，例如爵士或節奏明顯拍速適中的樂曲中，也看得見「脖子前伸、收回」的動作。小幅度的軀幹動作可能伴隨頭部的律動，輕輕地隨拍子搖擺。

在聽者空間受限的音樂會上，手部的動作主要局限在手掌、手指輕拍大腿的動作，由於也不能發出聲音來，因此拍手的動作在此時也很少見。腳步的動作也較為輕巧，在需要安靜的情況下，以腳跟固定、腳掌輕踩地面的動作較多，或是翹著腳，腳板懸空打拍子。

在演出場域較熱鬧、能接受較大音量的情況下，聽者也能有更大的動作幅度，例如，用手拍大腿或身體其他部位時，能稍微大力，不用擔心會發出聲音，而在踩腳時也是同樣的道理，甚至能用腳跟踩地板。

露天的演出場地，尤其是沒有座位上的限制時，就能允許更大幅度的肢體動

作與這些動作所發出的聲音。相較於必須坐者欣賞的音樂會，聽者在沒有座位限制時，不但能做點頭等頭部動作，還能用整個身體帶動頭部的動作，例如上半身的前傾與扭轉，以及下半身的跳躍，使得頭部的動作更大，甚至也能夠大幅度地甩頭。手部的動作自然也更能夠施展開來，除了手臂與前臂的擺動，上肢都能夠舉起來揮舞，當然，在演唱會時，雖然有固定的座位，但即使是坐著，聽眾也能一起舉起上臂隨拍子揮舞或拍手，而沒有座位的場地，這些動作自然就更常見了。在能夠隨意走動的場地，常能看見聽者有如跳舞般的下肢動作，有時是在原地舞步似地踩著腳，也有時會跳躍，或是如原住民跳舞般，幾個人手牽手開始隨音樂移動。

## （二）、演出的氣氛

在有些音樂環境，例如在音樂廳舉行的優雅古典音樂演出，聽眾的動作幅度也較小，不同的人即使坐在附近，彼此的身體律動，也不易影響到其他人。然而，在較為熱鬧或開放的演出場地時，聽眾的肢體動作是會互相感染的，跟著大家一起動，有時候則是因為氣氛，有時則是有實質效益，例如：動作一致視野才不會被擋到。

在大型演唱會時，人手一支螢光棒是常見的事，常有歌手會說：「這是我與你們一起的演唱會，你們都是最棒的表演者！」，表演者與觀眾的互動頻繁由此可見。2009 年高雄世界運動會閉幕時，每位觀眾一進場就能領到一個飛信半導體贊助的 LED 燈，主辦單位也宣稱閉幕式是屬於全場觀眾一起參與的演出，由此可見，音樂活動中的觀眾有多大的重要性，這不只在於觀眾所發出的鼓掌與尖叫聲，更在於群體的肢體動作上。

跟著音樂律動，是再自然不過的了，從個人層面來看，肢體動作能讓聽眾能更融入節奏、感受音樂，從群體層面來看，這些動作也讓每一位聽眾更融入群體。演唱會時的螢光棒，能讓每個人的手部動作在黑暗中非常容易辨識，常能看見坐在鄰近座位的聽眾，揮舞螢光棒的方向是一致的，即使一開始也許比較紛亂，也

會慢慢趨近於同向，甚至有人中間錯開，也會慢慢自行回復到統一，如此才能夠避開彼此干擾的窘境，在演唱會搖滾區的觀眾，常會站著看完演唱會，興致一來還能跟著拍子上下跳躍，此時，聽眾同時進行很多動作，讓身體處在一個延伸的狀態，向上拉長，例如：墊腳或往上跳、雙手高舉往前甩或是在空中拍手，頭則伸直，好讓自己感覺更接近舞臺，另一方面，上肢集中在身體的中線活動，也能避免重心不穩而跌倒，所以大型演唱會時，幾乎滿場都是這種上上下下的動作。

大型演唱會時，眾多觀眾的動作，甚至是較為統一的，除了動作的型態之外，動作產生的拍點也是。這種情況有點類似舞廳的情形，但畢竟演唱會的主要目的是為了聽音樂和接近樂手，聽眾不會花太多精神在舞蹈動作上，一切從簡，以方便融入為目的。有教舞多年經驗的舞蹈老師指出：「有些拍感較差的學生，在習舞時會有抓不到拍點的困擾，但他們進入舞廳跳舞時，都能準確地跳在拍點上。」

<sup>11</sup>這也許是因為舞廳中所放的音樂，常伴隨規律的重低音，這些低頻的聲音，能透過地板或空氣，使聽者感受到震動，也就容易抓得住拍點，而演唱會的情形與此有異曲同工之妙，樂手演奏的重低音，加上眾多歌迷用力地跳躍與拍手，形成規律的節奏，都能影響在場聽眾的感受，進而帶動肢體動作的一致。

## 二、音樂的速度

在大部分情況下，當音樂趨於緩慢時，聽者比較能用大動作跟著音樂搖擺，最常見的動作就是揮手。若無空間上的限制，聽者常舉起一支或兩支手，在空中向左右揮舞，而且會在正拍揮舞到其中一方，再停留一拍，然後才揮舞到對側，身體和頭部會跟著上臂的動作左右緩慢地搖擺，當音樂速度變快時，這種左右搖擺的動作，會被前後方向的動作所取代，此時舉著手的觀眾會在每個重拍或拍點上，將手臂往前伸，配合手腕關節的動作，將手掌推到前方，頭部也跟著向前點，

---

<sup>11</sup> 根據筆者的學妹謝均佩（也是職業的舞者和舞蹈老師）的觀察。

同時，軀幹的動作會減少，整體而言，身體的律動趨向於「乾淨俐落」。這些動作上的改變，和人體構造有關，要使上肢和頭部前後律動，比起左右律動來的容易，在肌肉控制上，前後動作的負擔是比較小的，用來平衡身體的需求也比較少，而簡單的動作，能在較短的時間內完成，因此在音樂漸快時，肢體律動會簡單化。當音樂繼續漸快，有些人的動作幅度會縮小，以便於縮短擺動的週期。

進一步觀察頭部的動作，若沒有手部的動作，在速度較慢的音樂演奏時，除了前後或左右的律動，還能伴隨一點轉動，或是頸椎向前推、向後縮的動作，但在速度加快時，轉動的幅度就減少，最後往往只剩下前後的動作，這也是受限於頸部附近的肌肉運動。

下肢的動作也有「由繁入簡」的傾向。音樂速度較慢時，能看見聽者固定腳跟於地，用腳掌踩地的動作，或是固定腳前掌，用腳跟來踏地，膝蓋也自然地跟著一起律動，當速度漸快，踩地的幅度會縮小，最後甚至腳板的動作都消失，只剩下腳趾頭跟著動，或是動作的頻率減少。

無論是身體哪個部位的律動，在音樂速度加快時，幅度都會變得比較小，動作變得更簡單，而軀幹的動作甚至會消失，剩下頭部與四肢的動作，其中又以較靈活的小肌肉最能承受快速的運動，例如手腕、手指與腳趾。

律動的方式，則是因人而異，和所聽的音樂種類與聽眾背景有關，但大致說來，在慢速的音樂之下，聽者的動作趨向於跟著正拍走，原因可能是因為速度慢的音樂，較不容易抓到反拍，因此跟著正拍律動較為容易。當音樂速度加快，拍子的頻率介於 1 至 2 Hz 時，聽眾比較抓得住反拍，有些情況下，就會有跟著反拍的動作。速度繼續漸快，聽眾的律動會趨向於在拍點上，根據文獻回顧，音樂節拍的頻率大於 2 Hz，人就很難跟著他同步律動。本研究的田野觀察結果，在大部分的情況下也和文獻回顧有相同的結論。

### 三、聆聽者的類型

#### (一)、演奏者與聽眾

演奏者在演出時，身體的動作自然會受到樂器演奏的局限，大部分的動作是為了演奏樂器需而產生。但除此之外，還是能觀察到其他的肢體動作，例如，頭部與軀幹的律動，以及下肢的動作。有很多時候，演奏者會利用肢體動作來幫助算拍子，最常做的就是用踩腳來穩定節奏，因為腳步的動作比較不會影響演奏或演唱，也有些演奏者會用腳趾來輔助算拍，如此就不會被觀眾察覺數拍的小動作。

很多人從小參加合唱團或樂團時，都會很自然地用腳掌輕拍地來打拍，有些音樂老師會要求學生，演出時不要做這麼大的動作，最多只能偷偷用腳趾頭來幫忙數拍子，但可以從學生的反應中看出，這個動作的確能幫忙他們抓得住拍子。在學習古典音樂時，有些老師不允許學生用明顯的肢體動作來打拍子，但在其他的音樂上，例如爵士樂或流行音樂的練習與演出時，樂手會用明顯的點頭或拍手來告知團員音樂的速度，老師也會傳授學生，在起拍前，先利用腳來打拍子，讓自己抓穩速度，再開始演奏，如此能幫助控制音樂的速度。

由以上可知，利用身體來輔助算拍，是樂手演奏時常見又有效的方法。在演奏時，跟著音樂律動的形態，則是因人而異，頭部和軀幹的動作以不影響演奏為原則，例如鼓手，就能夠有較多的肢體動作，一方面是演奏需要手腳並用，身體帶動肢體的動作比較強，另一方面也是鼓手須要掌控樂團的速度，可能身體對音樂的節奏更有感覺。

樂手若在演奏時跟著音樂一起動，通常都是動在拍點上，這樣也許更能幫助他們抓到速度和節拍，在有些重音落在後半拍或是有切分音的曲子，他們的動作大部分發生在正拍，但也有可能發生在反拍，發生在正拍，就是讓動作來填補空拍，和文獻回顧得到的結論是一致的，若是發生在反拍，則有可能是強調的作用。根據觀察，爵士樂手的動作比較常發生在反拍，可能是音樂爵士樂種注重反拍的

重音，以及他們有別於古典音樂的訓練有關。

聽眾的肢體律動，就不受限於樂器演奏，但也有可能受限於聆聽的座位與環境，雖然在不同場合觀察到的動作型態可能南轅北轍，但所運動的部位都可以涵蓋全身，只是幅度的不同。頭部與四肢是最容易觀察到動作的部位，幾乎在任何樂種的表演場合上，都可以觀察到觀眾跟著微微點頭、輕踩腳、輕動手或手指，大部分的動作都是跟著重拍或正拍來動，有時候也會由樂手來帶動，若樂手在反拍帶著拍手，聽眾就會跟著抓反拍，但也極有可能會自動恢復到正拍。有時候動作也會和音樂的節奏有關，例如在弱拍加重音，或是有許多切分音的時候，聽眾可能跟著重音動，但也有可能維持原先在重拍上的律動。當然，也和聽眾不同的喜好與音樂背景有關。

聽者的身體律動是比演奏者更自由的，可以用身體不同部位來律動，並且隨時能選擇在不同的時間點動，律動的點也不一定很準確，因為聽眾沒有演奏的需要，不用強制自己必須精準地算拍，反映在動作型態上，就顯得比較隨性。

### (一)、不同背景的聆聽者

除了音樂環境會影響聽眾的肢體律動，聆聽者本身的音樂訓練和喜好也都會造成他們不同的律動方式。演奏者在某些程度上也能算是聆聽者，除了在演奏樂器時，演奏者也會聽到所演出的音樂，也有許多時候是他們在臺上休息的時間，能聽到其他樂手的演奏。

有些演奏者接受過不同類型的音樂訓練，最常見的例子是許多西洋非古典音樂的樂手，都曾接受過西洋古典音樂的訓練，而有些演奏爵士樂、搖滾樂、流行樂的樂手，可能也都參加過這些不同類型的樂團，現在越來越多的「跨界」團體，讓不同背景出身的樂手齊聚一堂，彼此有交流的機會，也為了認音樂有更好融合的，他們須要再去學不同的音樂文化。當然也有很多情形是：樂手會和不同的團體合作，而每一團的風格都不一樣。由此可知，樂手的音樂背景是很複雜的（尤其是非西洋古典音樂的樂手），而且是可以不斷累積的。

樂手的肢體律動，有時候會透露出他們受過甚麼樣的音樂訓練，例如，學西洋古典音樂出身的人，身體跟著音樂律動時，主要是軀幹和頭部的動作，也許是因為許多這類音樂的老師都禁止學生用腳數拍子，而他們的動作看起來比較圓滑，在拍點時，通常沒有明顯的停頓，雖然可以看出是跟著正拍在動，但不會給人「用身體算拍子」的感覺，但有時候會在重音時有比較有力度的動作，也許能幫助演奏力道的施展，動作的幅度可大可小，差異性很高。爵士樂的樂手，動作看起來很自然順暢，在演奏 swing 類型的曲子時，也可以感受到身體動作的 swing，由於爵士樂很強調後半拍，他們的動作比較常觀察到跟著反拍動的情形，但因為動作很順暢，很少看出在動作上特別施加力度的情形，不過，爵士樂手在互相對話的時候，會利用動作來讓別的樂手知道「我演奏完了，換人」，或是「下一個換我」，這時候的動作，無論是點頭或是用手比，都會很明顯動在正拍上，而且可以清楚地看出動作的力度。搖滾樂手或流行樂手的律動，比較可以清楚地看到他們在拍點上的停頓，而且除了頭部和軀幹的動作，也可以看到很多明顯的下肢動作，例如足踝關節、膝蓋或腕關節的動作，甚至是誇張的跳躍。假如觀察音樂演出的影片，將音樂去掉，只看動作，就可以抓到音樂的拍點，但要光憑動作來抓古典音樂或爵士樂的拍點，可能較為困難。每一種音樂的樂手，都有可能出現非常誇張的動作，動作的幅度是因人而異的。

從搖滾轉爵士的樂手，肢體動作的「拍點」可能比只演奏爵士樂的樂手來的明顯，動作軌跡比較不平順，停頓點多，相較於爵士樂樂手的隨性，他們的動作看起來比較規律。初學的人，甚至有可能因為動作上的差異，影響到音樂上的感覺。有一位和我跟同一位老師學習爵士鋼琴的樂手，本身是流行鋼琴的老師，在開始學爵士鋼琴時，習慣「節奏清楚地」左右搖擺，這個動作妨礙到他演奏爵士時的音樂感，因此老師建議他把這個動作改掉，「先練習不要動，如果做不到，我寧願你向前點頭，也不要左右搖擺。」的確，也有很多初學者是不動的，尤其初學即興的時候，要思考演奏的內容就已經很忙碌了，其實沒有多餘的心力顧到

肢體動作，以至於身體通常會比較僵硬，即使有動作，也是拍點明顯，有用來幫助數拍子的功用，但學習一陣子後，也能跟著音樂自然擺動，就像是融入了音樂一般。

筆者在學習古典鋼琴的時候，幾乎不需要用腳或頭的動作來幫忙數拍子，因為古典鋼琴的重音幾乎都落在重拍，或是在拍點上，即使是切分音或後半拍，也是落在「拍子上二分之一」的位置，雖然也常有複雜的節奏，但因為從小訓練，幾乎不需要身體輔助就能抓到拍子。我在學習爵士鋼琴的時候，為了增加即興演奏的素材，老師會把一些精采即興片段的譜採給我，讓我照著譜來練習，這些譜往往節奏相當複雜，還要顧慮到爵士樂 swing 的感覺（一般譜上所記的「兩個四分音符」在古典鋼琴中彈出來的長度是一樣長的，但在爵士鋼琴中，兩個音的長度要彈成介於「1:1」到「2:1」的長度。），同時要在後半拍加上重音，除了旋律強調後半拍，左手的伴奏也是，在節奏變化如此複雜，重音又常不在重拍的情況下，我發現自己會不知不覺開始用腳在正拍上打拍子，好讓自己找到每個音該出現的位置，我也曾嘗試用節拍器來算拍，但發現它的幫助沒有自己用身體來算好，往往還是得靠頭或腳來算拍，其中腳因為動的速度比較快，又不妨礙看譜，因此動得比頭來的多。在教導小朋友彈鋼琴時，也會發現他們會情不自禁用點頭來算拍子。這些有算拍需要的動作，都會發生在正拍或重拍上。

在參與音樂活動時，比較難知道聽眾的音樂背景，但能觀察已經知認識的朋友在聽音樂時的反應。有受過爵士樂訓練的人，可能會跟著反拍來律動，但主要還是受所欣賞的音樂類型與演出的氣氛所影響。

### 第三節 小結

由田野觀察分析演奏者和聽者在音樂活動中如何跟著音樂律動身體，發現音樂演出的場域氣氛、演出的音樂種類、演出者與聆聽者的喜好與音樂背景等等，

都會影響身體律動的型態，茲整理主要發現如下：

## 一、音樂特性造成動作相位（發生在正拍或反拍）的不同

在大多數的演出場合下，大部分的人都習慣跟著重拍或正拍的拍點上來律動，這似乎是一種本能，有些樂種，例如搖滾樂，由於不同樂器的音色或音量，像是在音樂中的弱拍有鼓點造成的較輕脆的聲響，也容易使聽眾在弱拍拍點上搖動。不過，在反拍上律動的情形就比較少，較為常見是發生在爵士樂手身上，但也是較資深的樂手才習慣在反拍律動，初學者的律動還是發生在正拍上<sup>12</sup>。

## 二、音樂速度使產生動作的平面不同

音樂的速度也會造成不同的律動方式，在較為緩慢或抒情的樂曲中，演奏者或聽眾搖擺的幅度比較大，也較常出現左右搖擺的情況，無論是手部或頭頸、軀幹，都能一起跟著左右搖擺，但在速度較快的樂曲演奏時，左右搖擺的動作反由前後擺動來取代，除了手部高舉，跟著點頭的方向一起前後搖，也會有膝蓋上上下下蹲站的動作，甚至上下跳躍。這種頭部的動作都會誘發前庭刺激。而不同速度下的律動型態可能也和肌肉骨骼的限制有關，例如：要使頸部或軀幹左右曲屈或扭轉，需要較多的肌肉合作來完成動作，因此速度加快，就不容易完成，而頭部做向前點的動作時，是頸部關節較為容易完成的，因為關節結構在前點的動作平面上，動作角度較大，而牽涉到的肌肉也較左右搖擺時來的單純。手部的肌肉較為靈巧，因此能做的動作也較多，除了用手臂揮舞，手掌和手指也能一起律動，而手指能做的動作更精細，甚至能跟著每個音來動。

---

<sup>12</sup> 在本文中提到的「弱拍」與「反拍」是不同的意思。弱拍指的是拍節中位階較低的拍子，例如：以四拍為一小節的拍節中，第二、四拍是弱拍。弱拍，是發生在拍點上的，而反拍則否，一般情況下，拍子的後半拍，或是爵士拍子的後三分之一拍可以視為反拍。

### 三、演出者與聽眾的動作具有功能性

演奏者受限於樂器或歌唱的限制，所以聽眾的肢體律動比演奏者更為豐富，不過常可以發現演奏者在演出時，肢體動作、樂器和音樂彷彿融為一體，樂手在演出前彼此溝通速度時，也會以規律的點頭動作或拍手動作告之速度，負責開速度的樂手在告知其他樂手速度前，也會用點頭或踩腳來為自己穩定速度。初學者的動作尤其明顯，在抓不到節拍時，用腳踩拍的力道更大，有時整隻腳舉起來踩，甚至會發出聲音。這些演奏時或演奏前為了幫助穩定演奏的音樂所產生的動作，幾乎都發生在拍點上，似乎可以輔助說明本研究先前的假設，即利用身體動作來幫助音樂的區塊化，若是在音樂的正拍上遇到休止符，利用這些動作來填補，就更能幫助樂手抓到節拍。

聽眾不需要演奏音樂，因此可以自由地搖擺，有些大型場合中，聽眾的動作會和附近的聽眾同步化，因此也常可以見到有人改變律動的方式。觀察音樂活動中，聽眾群體的律動方式，能見到動做同步性的情形：聽眾跟著音樂的拍點律動，而坐在一起的聽眾律動的方式和方向也會屈於一致，演唱會時，觀察這些聽眾的同步性，似乎能驗證所謂「音樂促進社交能力」的說法（Wilson, 2008）。聽覺上，除了演奏者的音樂與觀眾規律的剝腳或拍手聲，演唱會時的音響效果，也能加重低音的感受，另外，場內的人甚至能感覺到地面與空氣規律地振動，因此連身體也能感受到節奏，重低音的低頻也可能刺激前庭覺（Todd, Rosengren, and Colebatch, 2003），視覺上，燈光的閃爍，演出者肢體的帶動與聽者揮舞的螢光棒，都能讓人更能抓得住節奏跟著律動，而這些律動又會引發前庭覺、觸覺與本體覺的刺激，形成正向回饋，讓人更融入音樂，也更有感覺。

## 第四章 以身體律動來鞏固節拍：動作分析

經由田野觀察，能發現許多人在聆聽音樂時，常伴隨不同的身體律動型態，而音樂與動作的聯結，除了發生在這些因投入而產生的不自主的律動外，在許多樂種中都有「以身體律動來鞏固拍節」的傳統，例如：西洋音樂中的指揮、臺灣傳統音樂中的南管、北管等等，以及原住民的舞步。在每小節的動作循環中，拍子的階層性可能會反映在這些動作的型態上，此為本章所要探討的主題。

### 第一節 實驗目的

在有了田野觀察的基礎之後，為了作更精確的測量並集中焦點，使用加速度規來紀錄音樂家的身體運動型態，以探討利用身體律動來鞏固拍節的各種音樂傳統。在不同的音樂文化裡面，樂手們以手部律動來算拍子的方式都不一樣，本實驗所施行的對象，是臺灣的傳統音樂南管、北管，以及西洋音樂中的指揮。藉由加速度，進一步分析這些音樂傳統在算拍時，手部的動作與拍點之間的相位關係。

### 第二節 實驗方法

#### 一、實驗對象

學習北管、南管與西樂指揮的專業樂人各兩位。

#### 二、刺激材料

選取四種不同樂種的音樂各一段，且四段音樂皆為一小節四拍的形式：北管曲為〈牧羊〉、南管曲為〈獨坐敬亭山〉，指揮用的西洋音樂為〈中國民國國歌〉。

選用的北管、原住民與西洋音樂速度皆接近 b.p.m. (beats per minute, 每分鐘的拍數) = 66, 但由於南管音樂中, 一小節含四拍的曲子速度仍然較慢, 因此南管音樂約為 b.p.m. = 34。每段音樂約為兩分鐘。

為了讓訊號的紀錄與音樂的播放達到同步化, 在音樂檔的開頭, 利用 Cool edit 軟體, 輸入五個等時距的拍點作為提示, 在第五個拍點時開始記錄加速度訊號, 這五個拍點同時也可做為給受測者預備的提示。

### 三、實驗儀器

使用電腦與音響播放音樂。加速度的測量使用一維的加速度規, 將訊號傳至 BiopacPRO 生理訊號接收儀器, 再連接電腦接收數位化的數據。

### 四、實驗步驟

請三種樂種的專業樂人聆聽音樂, 並跟著音樂算拍, 同時用加速規測量動作的加速度訊號: 北管樂人在聽北管音樂時, 將加速規貼在右手中指第二指節背上, 跟著音樂用做打拍子的動作; 南管樂人聆聽南管音樂時, 加速規貼在右手大拇指掌骨背上, 跟著音樂作打拍板的動作; 指揮在聆聽西樂時, 手持貼了加速規的原子筆 (代替指揮棒), 跟著西樂作指揮的動作。

每位樂人在跟著音樂算拍一次之後, 再跟著同樣的音樂用手指在電腦上點出拍點, 以記錄音樂中每一拍的位置。每個人總共要聽五次音樂, 重複做算拍、點拍點的任務, 順序如下: 「算拍、點拍點、算拍、點拍點、算拍」, 因此共有三個算拍時加速規紀錄的數據與兩個點拍點的數據。

三種樂種的數拍分解動作如下圖, 在圖四-1 左到右的動作分解圖分別是受測的南管樂手, 在四個拍點上的動作, 也可以看見加速規貼的位置。圖四-2、四-3

分別為北管樂手以及西洋古典音樂中的指揮動作分解圖。圖四-4 為更清楚的指揮動作分解圖，圖上標示的數字分別是由指揮者的眼睛看去，每小節四拍的手部動作軌跡：第一拍向下指、第二拍向左、第三拍向右、第四拍向上回到原處。圖上標示的數字為在拍點上指揮手的位置，也就是說，箭頭的尖端為拍子的開始。



圖 四-1：南管樂手拍板的手勢。

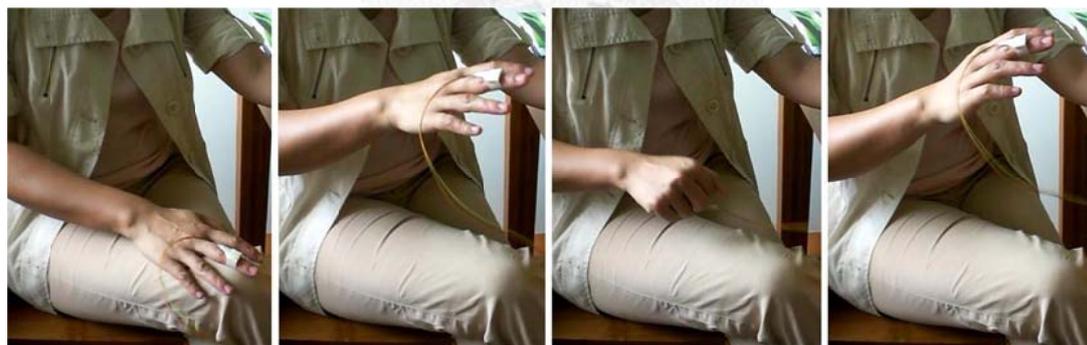


圖 四-2：北管樂手板撩的手勢。



圖 四-3：西洋古典音樂指揮的手勢。

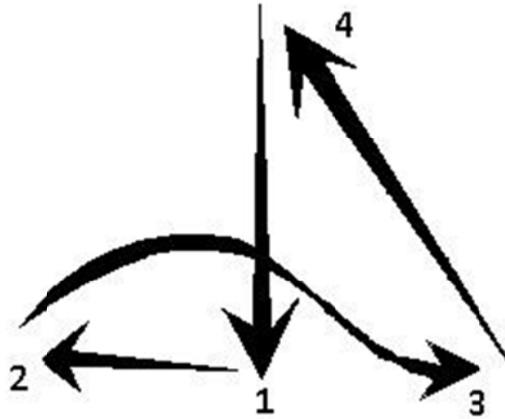


圖 四-4：指揮手勢分解圖。

## 五、數據處理

將加速規擷取的訊號與點拍點所顯示的每小節四拍記號並置，可觀察加速規訊號與拍點的相位差。

每一段音樂所記錄到的加速規訊號，選取十二個小節的長度，將選取的訊號濾掉 0.1 Hz 以下與 10 Hz 以上頻率的波。由於音樂在這十二小節中接近等速，因此直接將每一段加速規訊號等分成十二小段，也就是讓每一小段涵蓋一個小節的訊號。每位受測者利用同樣樂曲總共用手勢數拍三次，因此會有三十六小節的訊號，將這三十六小節的訊號相加再平均，即可做出代表每位樂手的平均加速度訊號。這種作法和計算，目的是為了將實驗中的雜訊與以抵消。

### 第三節 實驗結果

圖四-5 可見兩位南管受測者的數拍時記錄的加速度訊號，濾掉 1 Hz 以下與 10 Hz 以上，再分別平均做出平均的一小節加速度訊號圖。黑色的點為拍點，位在縱軸上的是第一拍，往右分別是第二、第三、第四及下個小節的第一拍，兩條線分別為兩位受測者跟著南管音樂算拍時，手部動作的加速度紀錄，經過濾波與平均後的訊號，相當於一個小節的長度，因此可見包含了四拍。兩人在第二、三

拍時都通過加速度零的點，雖然加速度軌跡的幅度不同，但形狀類似。動作上看來，在第一拍的時候都是擊掌。

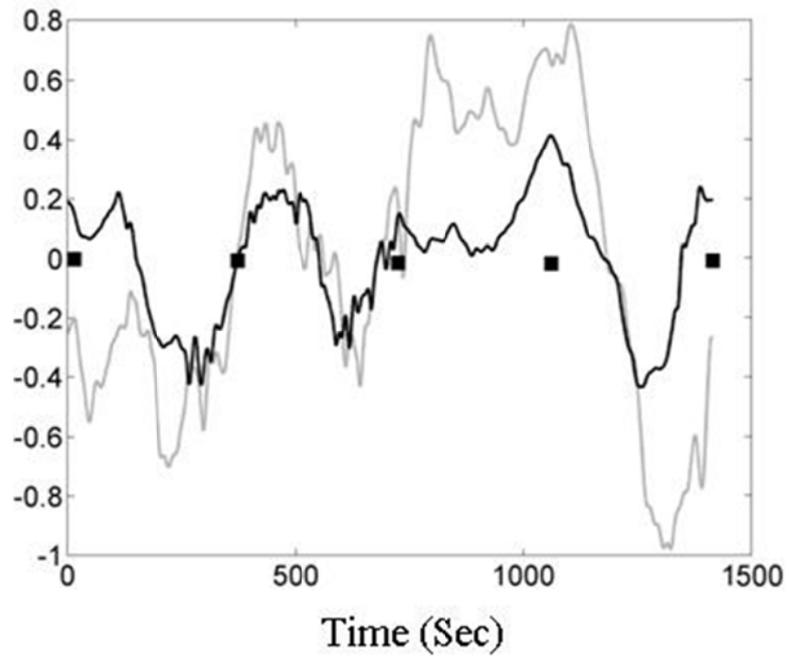


圖 四-5：兩位南管樂手算拍手勢的加速度訊號圖。



將兩位北管樂手的加速度訊號，其中兩個小節的原始訊號，如圖四-6 所示，圖下方的數字代表拍點。可以發現兩者在前兩拍的軌跡差異較大，後兩拍形狀則較為相似，在拍點上兩個人的手部加速度都有通過零的傾向，但是兩個人通過零的方式不太一樣。另外，在第一拍的時候做的動作都是拍擊桌面或身體。



圖 四-6：兩位北管樂手算拍手勢的加速度訊號圖。

圖四-7 是指揮的加速度訊號示意圖。西洋古典音樂中的指揮，在做指揮的動作時，手部加速度的軌跡看起來在四個拍點上的訊號很接近，在每一的拍點上都有一個尖峰，拍點對應到的加速度軌跡不是通過零的點，而是訊號的最大值與重力加速度的方向相反。加速度訊號中，第一拍的尖峰是最高的。

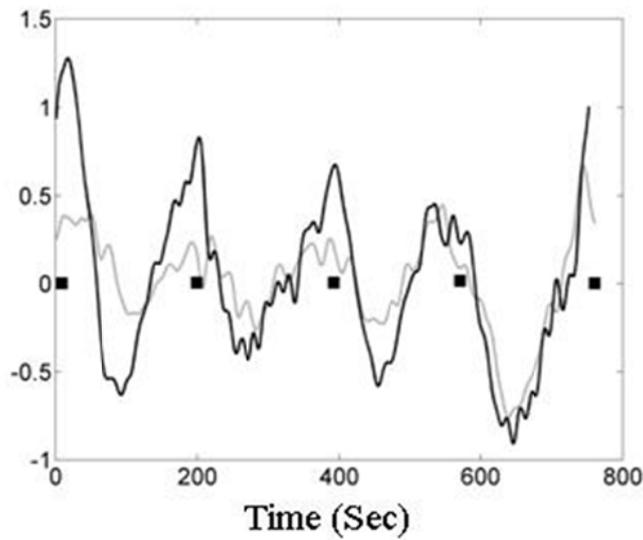


圖 四-7：兩位指揮的指揮動作加速度訊號圖。

## 第四節 實驗討論

### 一、各樂種的傳統中，動作與拍子的關聯

北管樂手在每小節第一拍的動作，是用手輕拍桌面，因此在這一拍的動作不但是順地心引力的，同時還有觸覺的刺激，加速規顯示強烈振盪，也是由手部和桌面的碰觸所造成。而在第三拍時，手輕輕收起，沒有碰觸桌面，但也是一個順著地心引力的動作。第二、四拍的動作很像，只是方向不同，速度都與地心引力反向，第四拍帶有一些手指展開的動作。

南管樂手的數拍方式，是在每小節第一拍，兩個手掌在身體正前方互拍，動作方向和地心引力的方向是垂直的，但會在拍點上發生觸覺的刺激。第二拍時，兩手一起向身體方向移動，第三拍時一起向身體前方推出去，第四拍時再往身體方向收回，動作幾乎都和地心引力的方向垂直，但可以發現，在地二、四拍時，動作的方向是一樣的，都是往身體收，因此活動的空間會受限於手到身體的距離，其中第四拍能移動的空間比較大，因為在第三拍的時候手已經推出去，挪出下一

拍可以使用的空間了。而第三拍是往身體前方推出，手的移動較無空間上的限制。從加速規所記錄的訊號，可以發現第四拍的幅度較大，一方面是因為活動空間上的限制，另一方面，也可能是因為南管音樂的速度較慢，要抓住每小節第一拍會比較困難，需要在前一拍，也就是前一個小結的第四拍，更費心去感受拍子，因此動作會比較明顯。

在指揮的加速規紀錄中，即使每一拍手的運動方向不同，每一拍的軌跡看起來是相似的。

## 二、比較同樂種中不同樂手的差異

在相同的樂種中，不同的樂手，即使以同樣算拍傳統中的肢體動作來跟著音樂數拍，甚至師承同樣的樂師，動作上還是有一些差別。

參與實驗的兩位南管樂手，在自行用電腦標拍點時，對於拍節時間的認知略有不同，其中一位樂手的拍點都比另一位晚，也許是因為南管音樂節奏較為緩慢，較難抓住拍點。在處理他們的加速度訊號時，所切的點是依照他們各自標示的時間點，因此兩者切的時間略有不同。但由於這首南管速度較為緩慢，每拍の間距較大，音樂的速度也不是完全地等速，有時候會有很細微的漸快與漸慢，所以到底甚麼時候才是真正的「第一拍」，光從錄音聽起來，是很難斷定的。南管樂手在演奏南管時，需要和其他樂手合作，因此看得到其他樂手的動作，甚至聽得見他們細微的呼吸聲，能夠更清楚地抓住拍子。

兩位北管樂手在拍點上的加速度曲線都通過零，但兩人通過零的方式不同。在標示拍點時，兩人所標的時間點幾乎一致，相似度較南管樂手來的高，可能也和北管樂曲的速度較快有關。

兩位指揮的算拍動作和加速規紀錄看起來比較一致，加速度大約在拍點上達到極值。可能是因為「指揮」在樂團中就扮演著須要用手勢領導樂手演奏的角色，

而指揮的動作，既然是要讓樂手能清楚分辨拍點，因此也是比較嚴格規範的，學習過指揮法又有帶團經驗的指揮，即使每個人還是會有個人的特色，但仍可以完成實驗要求，給予明確的拍點。

### 三、比較不同樂種中數拍傳統的意義

由加速規的紀錄以及動作分析的結果來看，在臺灣的傳統音樂：北管與南管中，拍節位階最高的第一拍，都有觸覺刺激的發生，而同樣位於最低位階的第二、四拍，動作的方向是一致的，也和加速規訊號顯示的結果一致。雖然第三拍有不同的表現，但在北管中，可以看見他和第一拍一樣，運動方向都是順地心引力的，只是第三拍比第一拍少了觸覺的刺激。在南管中，雖然動作垂直地心引力的方向，但第三拍時手能移動的範圍比較大，而在拍點上的加速度紀錄都在零附近。加速規的記錄，在碰到「拍手」或「手觸碰桌面」這種有觸覺刺激發生的時候，比較難找到通過零的點，因為觸碰東西造成加速度迅速地擺盪，所呈現出來的記錄也比較雜亂，但是經由動作分析，可以知道，南管與北管在重要的拍子上，樂手的數拍動作有觸覺的產生，這時候觸覺所造成的刺激比本體覺的刺激來的重要，代表的意義比加速度的意義來的高。

指揮動作中，加速規紀錄的訊號每一拍看起來差不多，而且在拍點上達到極值，和其他三種臺灣傳統音樂的情況不一樣。

由以上的研究可以發現，在音樂拍節中，拍子的階層性也反映在數拍子的動作上。音樂上，每小節涵蓋四拍的拍節結構中，位階最高的拍子是每小節的第一拍，第三拍次之，而第二、四拍並列階層最低的位置。動作上，雖然不同的傳統有不同的數拍動作，但由本實驗所探討的三個樂種中可以看見，數拍子時，觸覺刺激反映位階最高的拍點，其次是順著地心引力方向的本體感覺，若是在該數拍傳統中，沒有觸覺刺激的發生，而順地心引力則反映位階最高的拍點。

本實驗使用的三個樂種，其中有兩個是屬於臺灣的傳統音樂，在這兩種音樂中，動作的型態和加速度的紀錄能清楚反映拍點在拍節中的階層，尤其是南管與北管，而且在重要的拍點上，加速度紀錄是通過零的。相較之下，西洋古典音樂中的指揮，其動作與加速度的情形是不一樣的，在指揮的動作中，比較看不出拍子的階層性，在拍點上，加速度紀錄達到極值，而不是通過零。比較記譜法，也有類似的情況，在西洋古典音樂的記譜法中，很難看出拍子的階層性，但在不同臺灣傳統音樂的記譜法中，是可以看見這種階層性的。

這個差別可能來自於臺灣傳統音樂和西洋古典音樂中，數拍傳統代表的不同意義。在西洋古典音樂中，指揮的作用是讓不同的演奏者能夠一起演出，也就是達到音樂的一致性，「指揮」是指給樂手看的，所以動作要清楚，但指揮本身並不演奏，也就是說，他所做的動作，是為了別人而做，並非為了自己來數拍。而在臺灣的傳統樂種中，數拍並非要讓其他人看，以達到大家整齊畫一演出的目的，而是讓數拍的樂手自己去感受音樂，而那個樂手也一面吟唱或舞蹈，因此，這種數拍，是為了自己而數，以幫助感受音樂的節奏。也因此，西洋古典音樂的指揮，需要的是把動作比清楚，好統一樂團的演出，但臺灣傳統音樂的數拍方式，則是幫助樂手自己去體會拍子。因此，對西洋古典音樂的指揮來說，指揮動作是「數給別人看」的，傳遞的視覺訊息最為重要，觸覺或本體覺的回饋不見得有特殊意義，但對南管及北管的樂手來說，數拍動作是「數給自己感受」，因此觸覺或本體覺的回饋才是重要的訊息。

另外，對南管與北管的樂手來說，在拍點上的動作加速度會通過零，這個「加速度通過零」是發生在一瞬間的重要訊息，「加速度達到極值」的時間點來的更短暫也更精確。拍點上「加速度達到極值」的指揮動作，可能是為了讓樂手看到「速度通過零」，以視覺訊息來使樂手同步演奏。

在臺灣的傳統樂種中，利用手部動作來數拍的傳統，有如「內在的節拍器」，能幫助樂手穩定速度、鞏固拍節結構，實際在合作時，各樂手間沒有像西洋古典

音樂一般所謂的「指揮」，單純用肢體動作來引導大家合奏。北管與南管的樂手之間有默契，利用其他的肢體動作，例如：管樂器如南管的洞簫樂手吸氣的動作，或南管負責歌唱兼拍板的樂手將手抬起與吸氣的動作等等，讓其他樂手知道樂句的起始。

在本研究中發現，臺灣傳統音樂中的南管與北管，數拍動作較西洋古典音樂指揮更能反映拍節的階層性，其原因可能出在前者是「數給自己感受」，後者是「數給別人看」。在「數給自己感受」的部分，經由受測者跟者在電腦上跟著音樂標示出拍眼，可以探討他們所認知的拍點和所做的動作其間關聯性，但在「數給別人看」的部分，卻無法得知真正演出時，樂手接收指揮動作這個視覺訊號的認知，在「指揮感受的拍點」和「接收視覺訊號者感受的拍點」之間可能存在著差異，有待未來進一步研究。西洋古典音樂的指揮，也有不同流派，其所主張的指揮方式略有不同，也有待進一步探討。

在臺灣原住民的樂舞中，肢體的動作也許也能反映拍節結構的階層性，由原住民樂舞的腳步分析，能夠看出在跳的那首音樂的拍子，手部的動作也許也能反映輕重拍，但受限於本實驗的儀器，沒有做這方面的實驗，只能單由動作分析來討論，

由影片上所擷取的連續動作圖（圖四-8）觀察，此影片是在 2010 年月日下午於兩廳院廣場演出的卑南族樂舞，由來自臺東卑南族南王部落的長老們領唱，群舞結束後，這些長老還留在原地繼續歌唱，唱著唱著就開始有人跳起了舞來，影片中觀察到的原住民樂手在跟著音樂舞蹈時，上肢會有向後、向前擺動的動作。第一拍和第三拍是重拍，樂手會將手臂由上往下向身體後方擺動，而第二、四拍時又由下往上將手臂擺回到身體前方，也就是手臂往後擺的動作，這個動作同時也在地心引力的作用方向同向，而在第二、四拍的動作則是抗地心引力的。



圖 四-8：卑南族南王部落樂舞的動作示意圖。

原住民樂手的手部動作，雖然是以兩拍為一個循環，但仍能看到，在拍節中位階較高的奇數拍，動作速度是順地心引力的，位階較低的偶數拍則是抗地心引力的動作，其中，奇數拍的加速度紀錄約為零值。除了手部動作，腳步的動作也可以反應拍節結構，首先是膝蓋的屈曲與伸直的動作，在第一、三拍時會屈曲，同時身體跟著往前往下彎，而二、四拍時則伸直膝蓋，讓身體向上回到原處，這個律動的方向，也和手部動作一樣，在重拍時順地心引力而在反拍時抗地心引力。

腳部方面的動作較為複雜，是對稱性的動作。有時候在第一拍或第三拍時會有跳躍的動作，若沒有跳躍的動作則會踩腳步，在第一拍時右腳在原地或向外踏一步，第二拍時左腳輕輕向右腳的位置併攏踏一步，第三拍時左腳向外踏一步，也就是回到原先的位置，第四拍時右腳再輕輕向左腳的位置併攏踏一步。四種不同的動作重複循環，由這四個動作也可以推論這首歌是屬於一小節有四拍的結構，而在第一、三拍的動作幅度較大，力道也較大，腳踏地的動作較垂直，而且也有身體重心轉移的情形發生，似乎能反映這兩拍在拍節結構上是在比較重要的位階上，而第二、四拍的動作幅度較小，且腳並攏的施力角度不垂直地面，似乎也反映了這兩拍的位階比較低。

臺灣的原住民中，阿美族的樂舞也非常有代表性，在另一位來自阿美族南竹

湖部落原住民同學的舞蹈動作上，可以發現其肢體動作也能反映拍子的階層性，圖四-9 為一個小節四拍中的動作分解圖。在這段樂舞中，手部的動作較為單純，是每一拍都向下揮，動作速度是順地心引力的，在反拍的時候手才反向向上揮回到原處。腳步的動作較為複雜，以四拍為一個循環，在拍點上分別是：左腳向前踏一步、右腳大腿向上抬，同時左腳順勢稍微踮起、右腳向後退一步、左腳向後退一步，回到和右腳旁邊。

在第一和第三拍的時候，都有身體重心轉移的情形發生，分別是向前與向後。這種身體重心轉移的現象，在前述的卑南族樂舞上也能觀察到，只是兩種樂舞的動作和轉移的方向不同，在阿美族這段樂舞中，位階最高的第一拍，身體重心轉向前方，而位階次高的第三拍則是向後，在二、四拍的動作則沒有重心轉移。



圖 四-9：阿美族南竹湖部落的舞蹈分解動作。

由實驗中討論的南管、北管與原住民樂舞的動作來分析，可以發現在重要的拍子上，手部的動作速度是順地心引力的，順地心引力的動作通常比較容易完成，穩定性也較大。在古典芭蕾舞中也有類似的現象，在重要的拍點或正拍上，通常呈現的是較為容易的站姿，而在反拍上常是較費力的蹲姿。西洋古典音樂的指揮，

在拍點上的加速度與重力加速度的方向相反，這可能是為了讓視覺效果較為明顯（在拍點上的加速度若與重力加速度的方向一致，則與自由落體太過類似）。

西洋古典音樂的指揮，利用肢體動作幫助其他樂手穩定速度，有如「外在的節拍器」，而臺灣的傳統音樂如北管、南管和不同的原住民樂舞則是樂手用肢體律動讓自己感受到不同拍節結構上不同的感覺，包括觸覺與不同方向的本體感覺等等，比較像「內在的節拍器」，這兩種不同的概念，可能也反映在不同的數拍動作上，由動作分析與加速度的紀錄看來，臺灣傳統音樂的數拍動作可能更能反映拍節結構中，每個拍點的階層性。

在臺灣的音樂種類不計其數，本研究自然無法涵蓋所有的樂種，再加上學習傳統音樂的人越來越少，尋找專業的傳統樂手有執行上的困難，因此筆者只能就研究能力所及，找北管、南管兩種專業的樂手來做實驗，做為臺灣傳統音樂的代表。在音樂選擇方面，由於三種音樂的風格大相逕庭，同樣是「一小節包含四拍」的拍節型式，對每一個樂種來說，適用的音樂在速度上不一定相同。例如，在北管音樂中，「一小節包含四拍」的音樂，速度是比較快的，在西洋古典音樂中可以找到速度相近的樂曲，然而，在南管音樂中，「一小節包含四拍」的音樂速度是比較慢的，若是速度和其他樂種相近的樂曲，通常屬於「一小節包含兩拍」的型式。為了遷就實驗設定的標準：「一小節必須包含四拍」，則在速度上必須有取捨，因此，選用的南管音樂速度和其他的音樂比起來，是比較慢的。

另外，所使用的儀器也有其限制，由於加速規只偵測一度空間，所以針對每個樂種不同的算拍方式，將加速規以不同角度貼在手的不同部位。由於本實驗的重點放在動作與音樂拍點的相位關係，所以不需要精密測量動作的加速度，藉由一極的加速度規，就能達到研究目的。雖然針對每一個樂種，加速度規會有不同的貼法，但同一樂種的不同樂手，是以相同方式來貼加速度規的，以便於比較，因此若有受測者在數拍時，手所放的角度和另一位受測者不同時，記錄下的數據就會不同。在本實驗中，北管樂手就有此情形。

另外，本實驗使用音樂錄音代替現場演奏，受測者在進行實驗時，和他們在真正的音樂場域中演奏音樂相比，對音樂的感受是不同的，真正在演奏這些音樂時，還有一些和其他樂手的互動，都能影響對拍節的感知。但實驗為了控制變因，要使每位受測者聆聽相同的音樂，就無法顧及這一點。

原住民的樂舞動作也是很值得討論的，但臺灣現今有十四族高山族，每一族都有不同特色的音樂與舞蹈，即使在同一族內也有來自不同部落的差別，因此難以一一分析，另一方面，也受限於所用的儀器無法同時偵測四肢的動作，因此在本研究沒有測量原住民跟著音樂舞蹈的加速度訊號，僅由動作分析來探討，作為輔助本章節理論建構之用。

## 第五節 小結

由加速度的紀錄以及影片可以看出，兩種臺灣的傳統音樂與西洋古典音樂中用來數拍的手部動作，可以反映出拍子在拍節結構中的階層性。

### 一、數拍動作反應拍子階層性

臺灣的傳統樂種南管與北管，在數拍子時，手部會受到觸覺與本體感覺的刺激，其中，觸覺刺激能反映拍節結構中位階最高的拍點，其次是速度與地心引力同向的動作所造成的本體覺刺激。由原住民樂舞的錄影帶中也可見，若是該數拍傳統中，沒有觸覺的刺激，則順地心引力的動作速度所造成的本體覺刺激可以反映位階較高的拍點。

## 二、臺灣傳統音樂與西洋古典音樂不同的數拍意義

在臺灣的傳統音樂北管與南管中，算拍的傳統似乎比西洋古典音樂的指揮更能反映拍子的階層性，這個特性也反映在記譜法上面。此外，臺灣的傳統音樂之算拍動作在拍點上的加速度通過零，和西洋古典音樂指揮時，每個拍點的加速度都達到極大值不同。這種不同可能和數拍傳統在不同樂種所扮演的角色差異有關。在西洋古典音樂中，指揮需要用手勢和表情等肢體動作引導演奏者，使他們在音樂的演奏上達到同步，也有幫其他演奏者算拍的作用，有如樂團演奏者「外在的節拍器」。在臺灣的傳統音樂中，樂手利用肢體動作來算拍的目的是數給自己聽，雖然同樣也能幫助演奏者穩定節奏，但比較像樂手「內在的節拍器」，樂手可以經由觸覺與不同的本體感覺得到回饋，加強對拍節結構與樂曲速度的體會。

## 三、數拍傳統動作與田野觀察結果討論

聆聽音樂時，樂手和聽眾不由自主地跟著音樂動，有助於節拍的接收，這些律動是不需要教導的，人人都可以以自己的方式來律動。另一方面也可以發現，在許多樂種中，早已存在利用身體動作來幫助算拍的傳統，例如西洋古典音樂中的指揮，臺灣傳統音樂中的南管、北管用手部動作來算拍與不同的原住民樂舞。雖然在每一種樂種中，會利用不同的身體動作來數拍，但經由動作分析與加速規紀錄的結果，可以觀察到，這些動作也能反映每個拍子在拍節結構中階層。

由田野觀察可以發現，在跟著音樂律動時，四肢和軀幹都能自然地跟著音樂律動，頭部和腳部的動作是十分常見的，許多人都有隨音樂點頭或踩腳的經驗，不過在我們進行實驗的三種樂種中，數拍的動作都以手部為主，大概是因為對西洋音樂的指揮來說，手部動作是最容易被其他樂手注意的，同時手部動作也較為靈活，要傳達各式訊息應該也是最清楚容易的部位，而對北管與南管的樂手來說，手部動作也較為靈敏，此算拍動作常用在歌唱時也較不妨礙演唱。

數拍動作能使數拍的人產生如觸覺與本體感覺等不同的回饋，這些不同的回饋可以反映出拍子不同的階級。根據實驗中選用的四種音樂，各種刺激回饋的階級是：觸覺刺激大於順地心引力之速度的本體覺刺激，又大於抗地心引力之速度的本體覺刺激。





## 第五章 聽眾的身體律動：生理訊號測量

在上一章的實驗中，受測對象是來自不同樂種的專業樂人，他們數拍的方式是源自該樂種的音樂傳統，這些傳統能幫助他們在演奏音樂時，更能感受到音樂的拍節結構。但是，一般的聽眾不一定都有受過音樂訓練，卻也仍能跟著音樂律動，由田野觀察可以發現，常見的動作像是點頭、拍手或踩腳，都是很基本的動作型式，和專業樂手的算拍傳統相比，這些聽眾的動作單純許多。另一方面，聽眾在聆聽音樂時，不像演奏者有「必須在拍子上演奏音樂」的限制，他們可以更自由地享受音樂，那麼，聽者「跟著音樂動」的行為，在感受音樂上扮演著甚麼角色？在聽音樂時，不同的律動型態是否造成不同的生理訊號？這些生理訊號是否反映不同的拍節認知？此為本章所要探討的主題。

### 第一節 實驗目的

關於節奏認知的研究，過去心理學中以行為研究為主，生理訊號方面的研究較少，因此對於大腦感知的層面仍然不清楚。若使用功能性核磁共振造影 (fMRI) 或正子斷層掃描 (PET)，受測者僅能以手指敲打節奏 (Richards, Berninger, Stock, Altermeier, Trivedi, and Maravilla, 2009) 或以腳踩舞步 (Brown, Martinez and Parsons, 2006)，頭部完全不能有動作，故無法探討在有頭部律動的情形下，大腦對音樂的感知。因此，本實驗使用腦電波研究大腦對於音樂節奏的感知，然而腦電波仍有其研究限制，當頸部肌肉收縮時，腦電波可能會收到肌電波的訊號(發生在 beta/gamma 頻帶)，因此在實驗進行時，為了避免收到肌電波的訊號，要盡量減少受測者的動作。

在本實驗中，筆者請受測者聆聽音樂，並且融入這些音樂，依照指示跟著音樂以不同方式律動身體不同部位，同時測量他們的腦波、膚電反應、身體律動部

位的加速度訊號。

## 第二節 研究方法

### 一、受測者

十六位國立臺灣大學的學生，四位為男性，十二位為女性，年齡在 19 至 27 歲之間。所有的受測者都不是音樂科系的學生，但都有聽音樂的習慣。

### 二、音樂刺激材料

使用三段難易度不等的電音音樂 (techno music)。每段音樂由固定的一種節奏，每八拍為一循環不斷重複。音樂的剪接與速度的調整，使用 Cool Edit 軟體來完成。為了使音樂和生理訊號的紀錄同步化，使用 Cool Edit 軟體在每段音樂前面加上五個拍點，同時也作為給受測者的預備拍。以下介紹音樂刺激材料的特性。

#### (一)、音樂節奏

本實驗的第一段音樂為單純的鼓點，另外兩段音樂則包含難度不同的節奏。節奏的難易度以切分音值來決定，而切分音值根據 Longuet-Higgins and Lee 1984 年提出的方法計算。在 Longuet-Higgins and Lee 提出的節奏數量化方法中，每一個音或休止符依照它們在拍子上的階層，都有它的加權值 (weight)，加權值最大的是第一拍，為 0，第二大的是第三拍，為-1，而二、四拍都是-2，八分音符的後半拍都是-3，以此類推十六分音符為-4。當一個休止符的前面，碰到一個數值比它大的音符，就產生了切分音。而該切分音的值，就是音符的量值減去休止符的量值，因此節奏樹顯示了拍子的階層關係，以及所對應的加權值，依照音符

與休止符對應的量值，就能將節奏之切分程度予以量化。切分音值的算法在第一章已有說明，參見圖一-1。

本實驗使用了三段不同切分音值的音樂來造成不同的困難度，音樂的節奏採譜見圖五-1。音樂一為在正拍上「一拍一下」的單純鼓點，沒有切分音，切分音值為零，是最簡單的節奏形式。音樂二、三每個聲部有不同的切分音值。其中，音樂二為三種打擊樂器的音色所組成，節奏較音樂一複雜，而音樂三為四種打擊樂器音樂所組成，節奏複雜度更高。

The image displays three musical scores, each in 4/4 time and marked with a tempo of 130. Music 1 consists of a single staff with a simple pattern of quarter notes on the downbeat. Music 2 is a three-staff piece where each staff has a different rhythmic pattern, including eighth and sixteenth notes. Music 3 is a four-staff piece with complex patterns, including some notes marked with 'x' and a highlighted section in the bottom staff.

圖 五-1：三段實驗音樂的採譜。

## (二)、音樂速度

根據研究，音樂速度若大於 2 Hz (b.m.p = 120)，人類就比較難維持在後半拍跟著動，本實驗要區分人類在聽音樂時，在正拍以及反拍上隨音樂律動的難度，因此將音樂的速度調到略大於 2 Hz，以區辨兩者的困難度。三段音樂中，節奏

最單純的音樂一，和節奏稍為複雜的音樂二都接近 2.2 Hz (b.m.p = 130)，而節奏最複雜的音樂三，速度接近 2.3 Hz (b.m.p = 138)，也因此節奏本身和速度都比較困難。

### (三)、音樂旋律與音色

音樂的選擇皆採用旋律性較不明顯，而著重節奏元素的電子合成音樂，各段音樂中出現的音色都接近打擊樂器如大鼓、小鼓、鈸等等。

## 三、器材使用

### (一)、音樂播放

為了使聽者更融入音樂，避免其他聲音干擾受測者，也為了防止音響的重低音造成腦電波測量的雜訊，使用耳機連接電腦，播放音樂刺激。

### (二)、訊號測量

本研究接收腦電波、加速度、膚電反應三種訊號。腦電波的測量使用兩個電極，由先前的文獻支持，在 Cz 位置所測得的腦電波結果是最顯著的，因此偵測腦波訊號之電極片貼在受測者 Cz 位置的頭皮，以雙耳之電極作為 ground 與 reference。另一個電極貼在 Fz 的位置。

加速度訊號使用一個一維的加速規，依次監控受測者身體三個部位(頭、手、腳)的動作：在偵測頭部動作時，加速規固定在受測者的下巴，偵測手部動作時，固定在慣用手食指的中間指骨背，而測試腳步動作時，固定在慣用腳的大腳趾趾背。

膚電反應測量儀器固定在另一隻手的食指與中指近端手指關節，指掌面的部分。以上三種儀器的訊號都傳送至 Biopac Student Lab Pro 生理訊號接收儀器，取樣頻率皆為 200 Hz。

#### 四、實驗步驟

本實驗操弄兩個任務變項：身體隨音樂律動的部位（effector）：腳、手、頭三處，以及身體隨音樂律動的方式（phase）：在正拍或反拍上動，兩種方法。

受測者在受測過程中必須閉眼，並以放鬆的姿勢坐在受測的椅子上：雙腳著地、雙手平放在椅子的扶手，同時臀部、背部、頸部及頭部都靠在椅背上。在實驗過程中，只能做被要求的動作，例如：用頭部、手部或腳跟著音樂打拍子，不能有其他多餘的動作，同時，一次只能依照指示來動身體的其中一個部位，由於劇烈運動身體會導致腦電波訊號中 beta/gamma 頻帶的倍頻尖峰，它們可能來自於頸部肌肉週期性收縮所導致的肌電變化，也可能反映出運動皮質對於頸部肌肉所下的指令。由於劇烈運動身體可能會造成這些不良的腦電波訊號，本實驗中將要求受測者在聆聽音樂時不要太用力運動身體，動作限制在很小的範圍。

另外，為避免音樂之低頻聲波造成腦電波訊號線的振動，影響訊號品質，音樂皆以耳機傳送至受測者耳中。受測者聆聽音樂時皆被要求閉上眼睛，同時，在每次實驗前要求受測者必須融入音樂。在實驗過程中，每個任務結束後受測者會被詢問舒適程度與興奮程度。

實驗分為兩個階段，在第一個階段中又包括三個部分：一、在沒有音樂的情況下靜坐 45 秒，二、被規律的搖動 15 秒，而搖動頻率為 2.2 Hz，三、聆聽三段不同的音樂各 25 秒。其中，須要讓受測者被搖動是為了誘發前庭刺激。在第一階段，受測者沒有任何自主性的動作。

在第二個階段，隨機選取三段音樂給受測者聆聽，同時要求受者在聽音樂時跟著音樂在正拍或反拍上用點頭，或用慣用手的食指、大腳趾打拍子。

舉例而言，某位受測者的實驗步驟為：

階段一：靜坐休息 45 秒鐘

被規律搖晃 15 秒鐘

(休息)

聆聽音樂一 25 秒鐘

聆聽音樂二 25 秒鐘

聆聽音樂三 25 秒鐘

(休息)

階段二：跟著音樂一在正拍上點頭 30 秒鐘

跟著音樂一在反拍上點頭 30 秒鐘

跟著音樂二在正拍上點頭 30 秒鐘

跟著音樂二在反拍上點頭 30 秒鐘

跟著音樂三在正拍上點頭 30 秒鐘

跟著音樂三在反拍上點頭 30 秒鐘

(休息)

跟著音樂一在正拍上用慣用手食指打拍子 30 秒鐘

跟著音樂一在反拍上用慣用手食指打拍子 30 秒鐘

跟著音樂二在正拍上用慣用手食指打拍子 30 秒鐘

跟著音樂二在反拍上用慣用手食指打拍子 30 秒鐘

跟著音樂三在正拍上用慣用手食指打拍子 30 秒鐘

跟著音樂三在反拍上用慣用手食指打拍子 30 秒鐘

(休息)

跟著音樂一在正拍上用慣用腳大拇趾打拍子 30 秒鐘

跟著音樂一在反拍上用慣用腳大拇趾打拍子 30 秒鐘

跟著音樂二在正拍上用慣用腳大拇趾打拍子 30 秒鐘

跟著音樂二在反拍上用慣用腳大拇趾打拍子 30 秒鐘

跟著音樂三在正拍上用慣用腳大拇趾打拍子 30 秒鐘

跟著音樂三在反拍上用慣用腳大拇趾打拍子 30 秒鐘

(休息)

## 五、數據處理

使用 Matlab 軟體處理腦電波、加速規、膚電反應的訊號。

### (一)、腦電波與加速規的時域 (time domain) 分析

為了比較身體律動、腦波、音樂拍點三者之間的相位關係，將腦波與加速度濾掉 10 Hz 以上的訊號並排，標出音樂拍點，如此即可大致顯示其相位關係。

受測者所聽的音樂，一個小節的長度作為一個週期，將每位受測者每一個任務下所測得的腦波與加速度訊號，以一個週期切成一小段，同樣任務的腦波訊號每段相加之後平均，加速度訊號也是同樣的處理方式，以讓一些雜訊可以相互抵消。如此可以得到每位受測者在不同的任務下，腦波和加速度訊號的平均。

此外，將針對前兩者之訊號作交叉相關係數 (cross-correlation coefficient)，並計算其相位差。分別將腦電波訊號與加速規訊號濾掉 10 Hz 以上的高頻與 1 Hz 以下的低頻，濾波後的訊號分別做以下的比較：

1. 針對加速規訊號與正弦波，計算交叉相關係數與相位差。
2. 針對腦電波與加速規訊號，計算交叉相關係數與相位差。

確認和腦電波與加速規訊號做交叉相關係數的正弦波公式，先計算三段實驗所使用的音樂刺激中，每個拍點的週期。使用 Cool Edit 聲音處理軟體找出音樂

刺激中第一拍與最後一拍的時間，再除以拍點，圖五-2 為在 Cool Edit 軟體中開啟音樂檔所看見的頻譜圖，選取聲音範圍可以放大便於點選時間點，而軟體會自動顯示時間，此圖顯示的是音樂一。頻譜上可以看見較亮的粉紅色線條就是有鼓點出現的地方。每段音樂的起始，各挑一個明顯的拍點，選取之後可以放大看清楚時間，也就是圖上用黃色框線標示的地方。

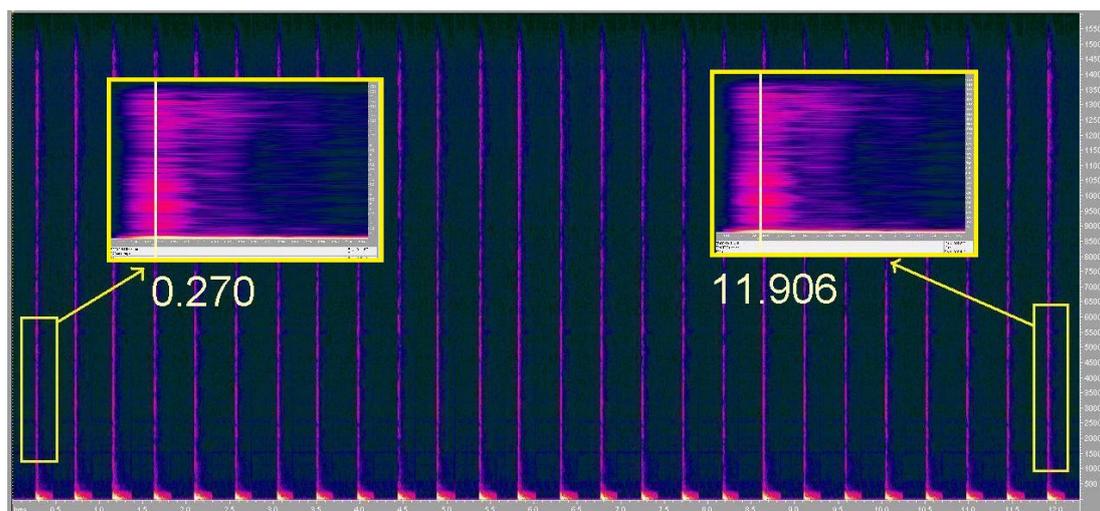


圖 五-2：音樂刺激的頻譜圖。

音樂一的 25 個拍點起始時間分別是 0.270 秒、11.906 秒，故週期為 0.46544 秒。音樂二的 24 個拍點起始時間分別是 0.654 秒、11.715 秒，故週期為 0.460875 秒。音樂三的 35 個拍點起始時間是 0.327 秒、15.320 秒，故週期為 0.4283714 秒。

正弦波的公式為： $y = \sin 2\pi ft$ 。在計算身體在正拍時律動的加速度訊號、腦波訊號與正弦波交叉關係係數時，使用的對應公式即  $y = \sin 2\pi ft$ ，將三段音樂不同的頻率值分別帶入此正弦公式即可。而在反拍律動時的對應正弦波公式為： $y = \sin 2\pi (t/T + 1/2)$ ，將三段音樂的週期帶入 T 即可。

交叉相關函數（cross correlation function）的公式為：

$$(f * g)(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\tau) g(t + \tau) d\tau,$$

其中  $f$ 、 $g$  為兩個要計算的函數，而  $f^*$  為兩函數的共軛複數。由交叉相關函數的極值可以得到交叉相關係數（必須經過 normalization），極值發生的時間，即為延遲時間（lag）。在使用 Matlab 時，是以離散公式計算。

求出交叉相關係數及延遲時間，再將延遲時間分別除以三種音樂的週期，以便做比較。圖五-3 為交叉相關係數與延遲時間／週期示意圖。圖上的可見兩正弦波函數  $f(t)$ 、 $g(t)$ ，在  $f(t)$  上標示出的兩個圓點間隔剛好是  $f(t)$  的週期，而  $f(t)$ 、 $g(t)$  兩函數間有一段延遲時間，如圖上用灰線段標示出的時間差，將這個時間差除以  $f(t)$  的週期就是延遲時間/週期，圖示的兩函數，延遲週期剛好是 0.25。

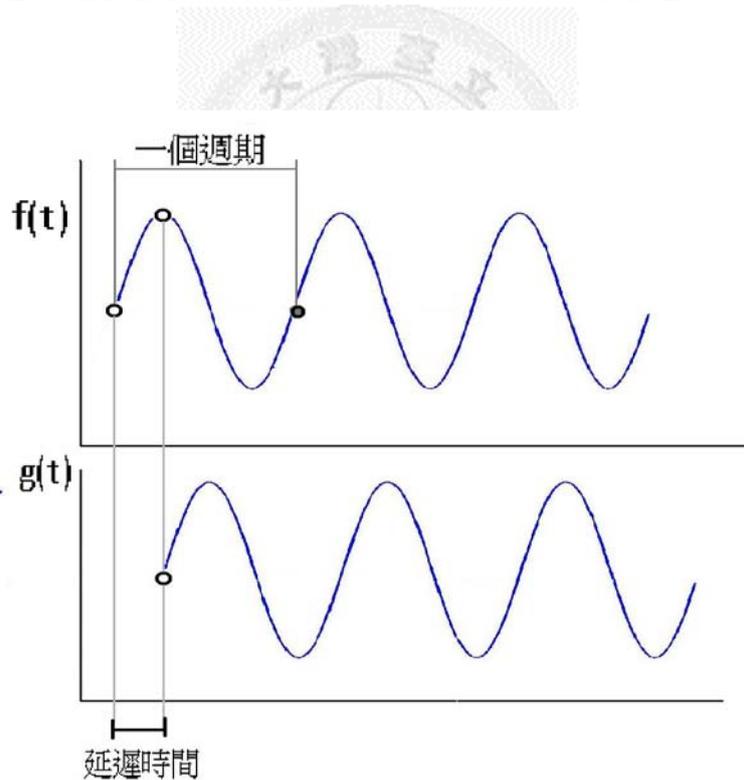


圖 五-3：延遲時間／週期示意圖。

## (二)、膚電反應分析

將每一次任務中膚電感應器接收的訊號進行積分，再除以任務進行的時間，

計算每次任務的平均膚導電值。在每個任務的前五秒，受測者是閉眼睛預備的，還未開始聽音樂及跟著音樂律動，在第五秒才開始有音樂，一直到第三十秒。要比較律動前與律動後的膚導電值，將跟著音樂律動的後二十五秒積分再平均，除以前五秒的積分平均，就可得到律動前後的膚電比值，其公式如下：

$$\frac{\frac{1}{25} \int_5^{30} f(t) dt}{\frac{1}{5} \int_1^5 f(t) dt}$$

每位受測者的每個任務都會有一個膚電比值，將數據收集後，再用 SPSS 統計軟體進行 three-way ANOVA 的統計處理。

### 第三節 實驗結果

#### 一、受測者尚未主動律動身體時的生理訊號

##### (一)、聽音樂身體不動時

在本實驗中，當受測者在沒有任何主動或被動的身體律動情況下聆聽音樂時，腦電波沒有特殊而顯著的訊號。在先前 Mayhew 的研究中，受測者在聆聽有週期性固定節奏的聲音時，腦波中就有週期性的訊號，在本實驗中沒有看到。

##### (二)、被規律搖動身體時

在腦波研究的時域分析方面，為了檢驗規律動頭的前庭刺激是否可導致 delta/theta 頻帶的腦波，我們先做了一個測試：讓受測者放鬆坐在椅子上，由實驗者規律地搖動他所坐的椅子。當椅子一開始搖動，Cz 處的 delta/theta 頻帶的腦波即呈現出規律波動，其頻率與椅子搖動頻率一致。

當受測者被規律的搖動時，他們是完全沒有主動動作的，也就是身上的肌肉

沒有在收縮。即使如此，腦電波訊號還是出現了類似正弦波的波形，而這種波形也出現在受測者在聆聽音樂時跟著拍子點頭時的腦電波。

圖五-4 顯示一位受測者被規律搖動時的腦波和加速度時域圖，第一排訊號為 FPz 處測得的腦波，第二排是 Cz 處測得的，而第三排則是加速規紀錄的頭部加速度訊號，這些訊號都經過濾波，濾掉 5 Hz 以上的頻率。可以看見，Cz 處的腦波和加速度訊號都呈現規律週期性的變化，但 FPz 處的腦波卻沒有這種現象。

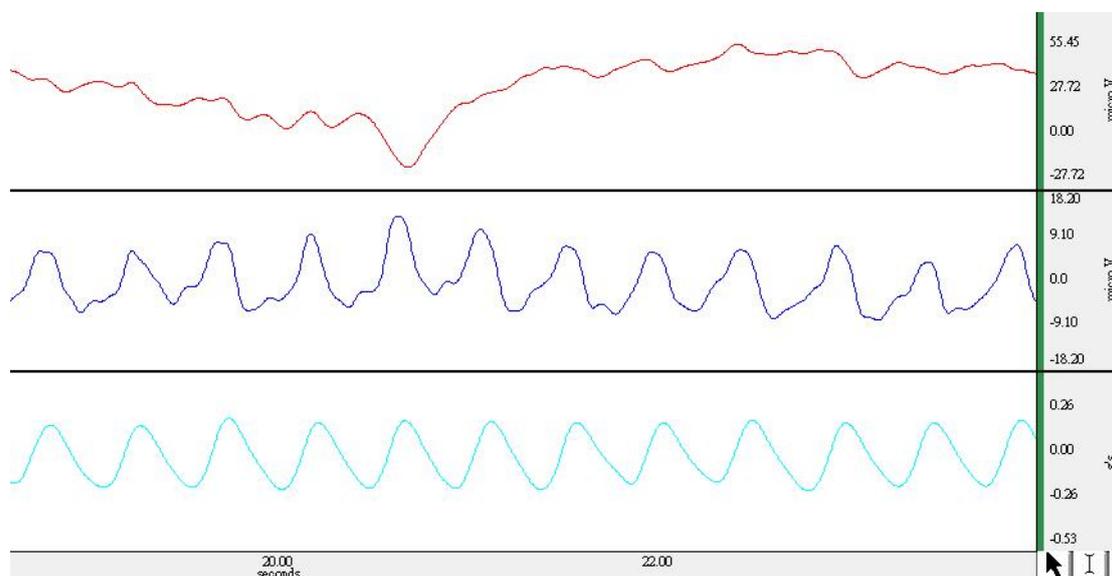


圖 五-4：被推動時的 FPz 與 Cz 腦波訊號，以及頭部加速度的訊號時域圖。

## 二、受測者跟著音樂律動時的生理訊號分析

### (一)、腦電波訊號的時域分析

在腦電波的時域分析中，當受測者跟著音樂點頭、用手指以及腳拇趾打拍子時，各有不同型態的腦電波表現，其中，點頭時的腦電波週期性尤其明顯。

圖五-5 為受測者聽音樂在正拍上踩腳 (a) 與右手拍桌 (b) 的 delta/theta 腦電波與運動部位的加速度訊號，圖中第一行為 Cz 處記錄到的腦波訊號，而第二行為律動部位的加速度訊號，都以濾掉 5 Hz 以上的高頻。不管是腳踩地板與手拍桌子所造成的觸覺回饋，還是頭部搖動所造成的前庭刺激 (圖五-5)，都能造

成 Cz 處的 delta/theta 腦波，且觸覺發生的瞬間與頭部加速度通過零的瞬間，皆造成 Cz 處之正電位尖峰（但手拍桌子時較不明顯）。不過，這樣的現象並非發生在每一位受測者上，只有少數受測者在規律動腳趾與手指時有出現這樣的腦波訊號。

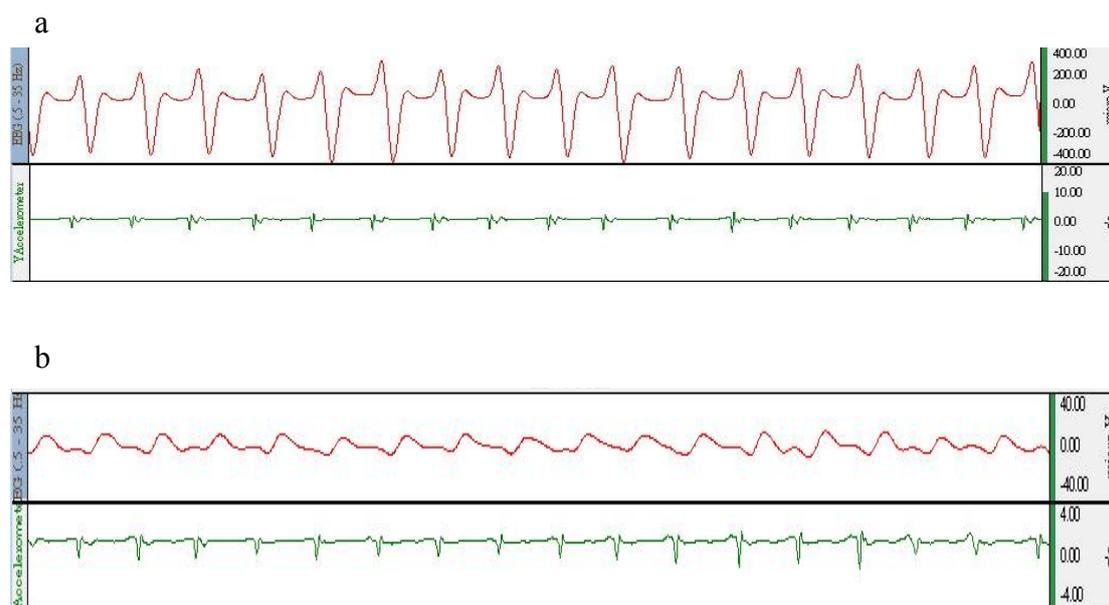


圖 五-5：受測者聽音樂時在正拍上踩腳（a）與右手拍桌（b）的 delta/theta 腦電波（Cz 位置）與腳部、手部動作的加速度訊號。

大多數的受測者在跟著音樂點頭時，所記錄下的腦波訊號呈現週期性的波形，而在踩腳時比較少有這個現象，動手時更不明顯。將每位受測者在不同任務下的腦波等分成每週期一段，再相加平均得到的訊號，能更清楚地觀察到周期性的腦波變化。原始的腦波濾掉 1 Hz 以下以及 10 Hz 以上的訊號，再做切段、加總、平均。在跟著音樂點頭的時候，無論在正反拍，腦波都出現週期性規濾的類正弦波訊號，但在踩腳或動手時，訊號看起來卻是不規律的，也看不出週期性，較為雜亂。

## （二）、加速規訊號的時域分析

加速規的時域分析，也顯示了不同部位的動作有不同的形態。圖五-6 顯示三

條線由上而下是同一位受測者在聽音樂時，用點頭、踩腳及動手指三種方式跟著正拍動時，所記錄的加速規訊號，三條訊息紀錄已濾掉 4 Hz 以上的頻率，由上而下分別是：跟著音樂點頭、動大腳趾以及動食指的動作加速度訊號。

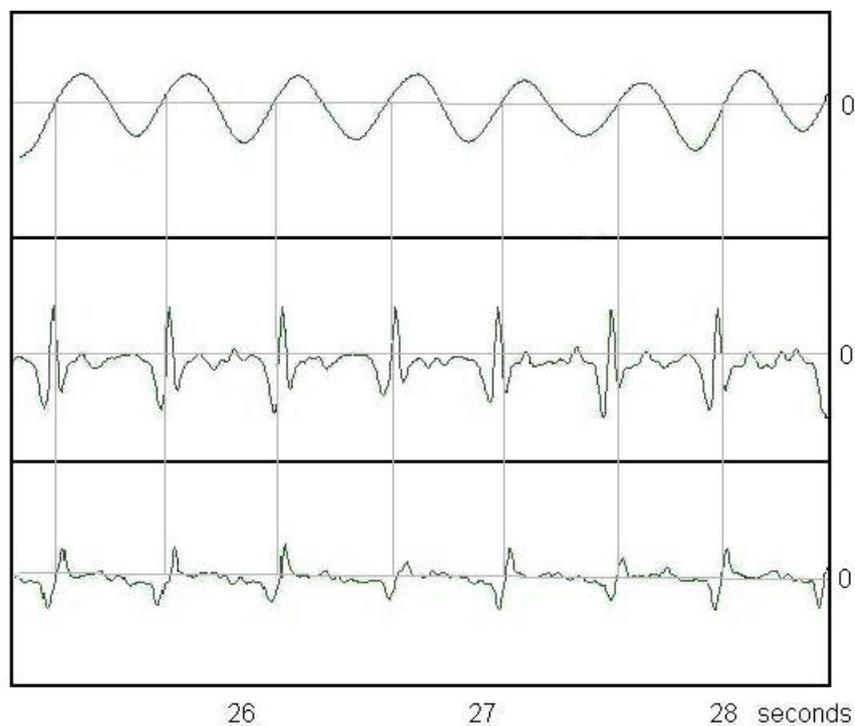


圖 五-6：跟著音樂點頭、動大腳趾以及動食指的動作加速度訊號。

將每位受測者在每個任務時所記錄的身體動作加速度訊號，濾掉 1 Hz 以下和 10 Hz 以上的訊號，以一個週期為單位切成小段，再相加之後平均，處理方式和先前腦波的處理方式是一樣的，如此削減了訊號中的雜訊，能更清楚地看到動作加速度的週期性現象，圖五-7 是其中一位受測者的加速規訊號平均記錄，黑線為用前述方式處理過的加速度訊號，灰線為做為對照比較的對應正弦波，其公式和之前對應腦波的相同，正弦波參數為  $y = \sin(2\pi ft)$ ，反拍對應的正弦波參數為  $y = \sin 2\pi(t/T + 1/2)$ ，左側的圖為在正拍上律動的情形，右圖則為反拍：

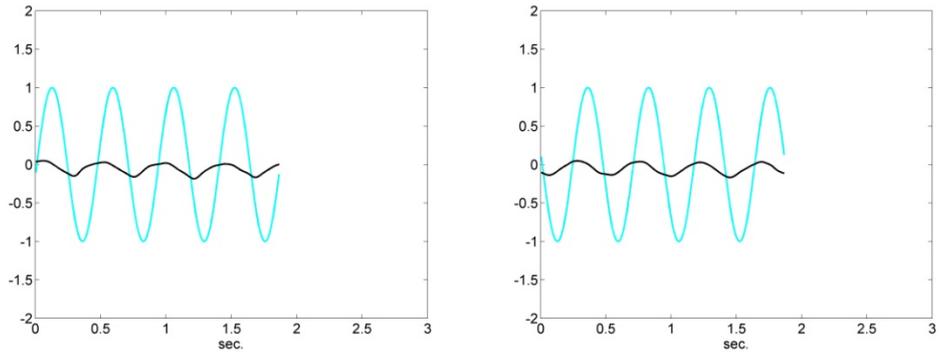


圖 五-7：跟著音樂點頭的加速度訊號圖。



表 五-1：跟著音樂一點頭時，加速度訊號與相對應的正反拍正弦波交叉關係係數與延遲時間／週期表。

音樂一	正拍		反拍	
	受測者	交叉關係係數	受測者	交叉關係係數
1	0.729	-0.268	0.916	0.085
2	0.204	-0.096	0.287	-0.429
3	0.585	-0.118	0.677	-0.193
4	0.811	-0.279	0.919	-0.096
5	0.598	-0.419	0.728	0.171
6	0.493	-0.225	0.575	-0.171
7	0.834	-0.171	0.888	-0.053
8	0.543	-0.171	0.397	0.107
9	0.509	0.064	0.848	0.107
10	0.078	0.429	0.261	0.204
11	0.930	0.064	0.680	-0.419
12	0.774	-0.085	0.797	0.021
13	0.778	0.043	0.318	0.053
14	0.319	0.429	0.813	-0.204
15	0.552	-0.279	0.565	-0.279
16	0.733	-0.171	0.738	-0.150

表 五-2：跟著音樂二點頭時，加速度訊號與相對應的正反拍正弦波交叉關係係數與遲時間／週期表。

音樂二	正拍	反拍	音樂二	正拍
受測者	交叉關係係數	延遲時間／週期	受測者	交叉關係係數
1	0.893	0.206	0.957	-0.075
2	0.563	-0.434	0.170	0.434
3	0.687	-0.075	0.852	-0.130
4	0.943	0.032	0.941	0.021
5	0.803	0.075	0.711	0.021
6	0.453	-0.434	0.626	-0.097
7	0.578	-0.054	0.901	0.173
8	0.667	-0.151	0.485	-0.238
9	0.805	-0.184	0.748	0
10	0.103	0.434	0.100	0.434
11	0.913	0.173	0.868	-0.032
12	0.897	-0.021	0.699	-0.162
13	0.767	0.119	0.324	0.282
14	0.919	0.054	0.849	-0.162
15	0.865	-0.108	0.731	-0.119
16	0.549	-0.162	0.686	0.206

表 五-3：跟著音樂三點頭時，加速度訊號與相對應的正反拍正弦波交叉關係係數與遲時間／週期表。

音樂三 受測者	正拍		反拍	
	交叉關係係數	延遲時間／週期	交叉關係係數	延遲時間／週期
1	0.882	-0.233	0.978	0.023
2	0.422	-0.035	0.226	0.443
3	0.732	-0.151	0.639	0.128
4	0.954	0.011	0.884	-0.245
5	0.859	-0.186	0.112	0.466
6	0.465	-0.431	0.892	-0.046
7	0.800	0.163	0.849	-0.058
8	0.607	-0.163	0.481	0.175
9	0.753	0.023	0.908	-0.07
10	0.099	0.466	0.089	0.466
11	0.920	0.093	0.685	-0.011
12	0.919	-0.035	0.852	-0.093
13	0.834	0.116	0.355	0.268
14	0.887	0.07	0.826	-0.198
15	0.735	0.046	0.729	-0.175
16	0.699	0.245	0.743	-0.256

由表五-1 到五-3 可以看見每一位受測者在跟著音樂點頭時，頭部加速度訊號和所對應的正弦波間的交叉關係係數以及延遲時間／週期。在跟著比較簡單的音樂一點頭時，同一位受測者在正反拍的表现差別並不是很大，正拍也不見得比反拍來的好。在此定交叉關係係數小於 0.4 為表現不佳，其中，第 10 號的受測者測試後所收的加速度訊號雜訊過多，應是線路問題引起的，因此他的數據予以捨棄。第 2 號受測者在正反拍的表现都不佳，加速度的圖形看來是運動軌跡不平滑所致，音樂一因為太單純，拍點間隔大，因此受測者可能覺得空拍太長，跟著音樂律動的動作不順暢。第 8 和第 13 號受測者的反拍表现不佳，是因為反拍較難抓，因為抓不準導致律動不自然。第 14 號受測者在反拍的表现反而比正拍來的好，由圖形看來，是在正拍時動作太小，而反拍時動作較大導致的，他的正拍加

速度訊號振幅不超過 0.2。在節奏較複雜的音樂二中，跟著正拍律動的動作加速度訊號交叉關係係數超過 0.4 的人數比反拍多，除了第 10 號受測者因為訊號及線路問題予以捨棄，其他受測在正拍表現都達到標準，而第 2 和第 13 號受測者的反拍表現不佳，是因為反拍任務困難，他們難以抓到拍點。在節奏較複雜，速度也稍快的音樂三中也有同樣的情形，都是因為這兩位受測者無法抓住拍點。

同一位受測者不見得在挑戰度較高的音樂二、音樂三中比簡單的音樂一表現變差，反而可以看見有些受測者在後兩首音樂的表現是較好的。

### (三)、腦波與加速度訊號的分析

圖五-8 顯示一位受測者在跟著音樂點頭時的腦波與加速規訊號圖，黑線為腦波的紀錄，灰線為加速規訊號，左圖在正拍上點頭而右圖在反拍。可以看見，跟著音樂律動時，無論在正拍或反拍上點頭，當身體動作的加速度通過零時，腦電波的強度達到極值，而通過這個零值的時間相當短暫，腦部必須要在相當短的時間中精準地接收這個訊息。由此可知，「頭部動作的加速度通過零」的訊息，對腦部來說，是相當重要的。

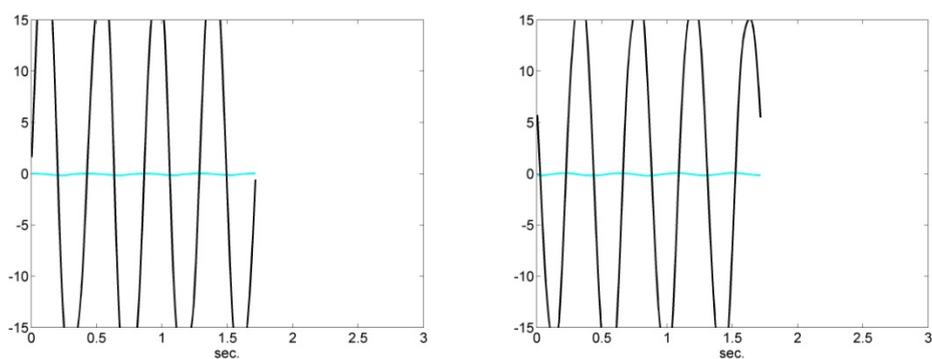


圖 五-8：跟著音樂點頭時的腦波與加速規訊號圖。

表 五-4：跟著音樂一點頭時，Cz 腦波訊號與加速度訊號的交叉關係係數與遲時間／週期表。

音樂一 受測者	正拍		反拍	
	交叉關係係數	延遲時間／週期	交叉關係係數	延遲時間／週期
1	0.725	0.214	0.896	-0.257
2	0.236	0.128	0.172	0.128
3	0.471	-0.29	0.580	0
4	0.820	0.021	0.826	0.032
5	0.703	-0.429	0.122	-0.333
6	0.473	0.171	0.569	0.193
7	0.507	0.075	0.585	0.139
8	0.544	0.064	0.433	0.032
9	0.419	0.161	0.810	0.257
10	0.090	0.354	0.468	-0.386
11	0.452	-0.311	0.209	-0.343
12	0.813	0	0.807	-0.032
13	0.324	-0.429	0.898	0
14	0.252	-0.064	0.790	0.204
15	0.244	0.29	0.635	-0.429
16	0.635	-0.204	0.565	0.365

表 五-5：跟著音樂二點頭時，Cz 腦波訊號與加速度訊號的交叉關係係數與遲時間／週期表。

音樂二 受測者	正拍		反拍	
	交叉關係係數	延遲時間／週期	交叉關係係數	延遲時間／週期
1	0.894	-0.282	0.921	0.249
2	0.534	0.151	0.200	-0.206
3	0.53	0.054	0.839	0.065
4	0.890	0.032	0.955	0.043
5	0.335	-0.282	0.133	0.271
6	0.248	-0.336	0.598	0.249
7	0.425	0.130	0.326	0.108
8	0.724	0	0.610	0.010
9	0.782	0.238	0.591	0.271
10	0.117	-0.434	0.095	-0.434
11	0.897	-0.032	0.381	0.141
12	0.919	-0.021	0.644	0.434
13	0.163	0.434	0.061	0.314
14	0.793	0.227	0.760	0.206
15	0.347	0.434	0.577	0
16	0.482	0.379	0.576	-0.434

表五-6：跟著音樂三點頭時，Cz 腦波訊號與加速度訊號的交叉關係係數與遲時間／週期表。

音樂三 受測者	正拍		反拍	
	交叉關係係數	延遲時間／週期	交叉關係係數	延遲時間／週期
1	0.871	-0.023	0.855	-0.210
2	0.403	0.128	0.220	-0.408
3	0.181	-0.455	0.558	-0.116
4	0.339	-0.256	0.769	0.326
5	0.466	-0.233	0.566	0.315
6	0.289	-0.221	0.321	-0.291
7	0.158	-0.315	0.202	0.233
8	0.165	0.466	0.245	0.350
9	0.380	-0.315	0.281	0.023
10	0.117	-0.385	0.250	0.035
11	0.225	-0.431	0.264	-0.443
12	0.099	-0.186	0.338	0.210
13	0.212	0.396	0.060	0.443
14	0.242	-0.466	0.411	-0.408
15	0.174	0.326	0.278	-0.268
16	0.703	0.221	0.768	0.280

由表五-4 到五-6 的 Cz 腦波和加速度訊號交叉關係係數看來，腦波和加速度的相位差有兩個最大的可能，0 或者 0.25 個週期（交叉相關係數 > 0.7）。

#### （四）、膚電訊號的分析

膚電反應的紀錄分析顯示，大部分的受測者，在開始打拍子時，皮膚的膚導電度會突然上升，無論是在正拍、反拍，或用身體的哪個部位來打拍子，three-way ANOVA 顯示了，用身體不同部位來打拍子，膚電反應的紀錄是有顯著差異的，尤其以頭和大腳趾的差異最大，不同的音樂之間，以及正反拍的比較，統計結果都沒有顯著差異。圖五-9 顯示在正反拍上律動身體三個部位，其所得律動後與律動前的膚電比值比較。其中，three-way ANOVA 顯示身體律動部位的不同會造成膚電比值間有顯著的差異 (sig. = 0.003 < 0.05)，而 *post hoc* Tukey HSD test 則顯示：這個差異在頭部與手部間是最顯著的 (sig = 0.002 < 0.05)。

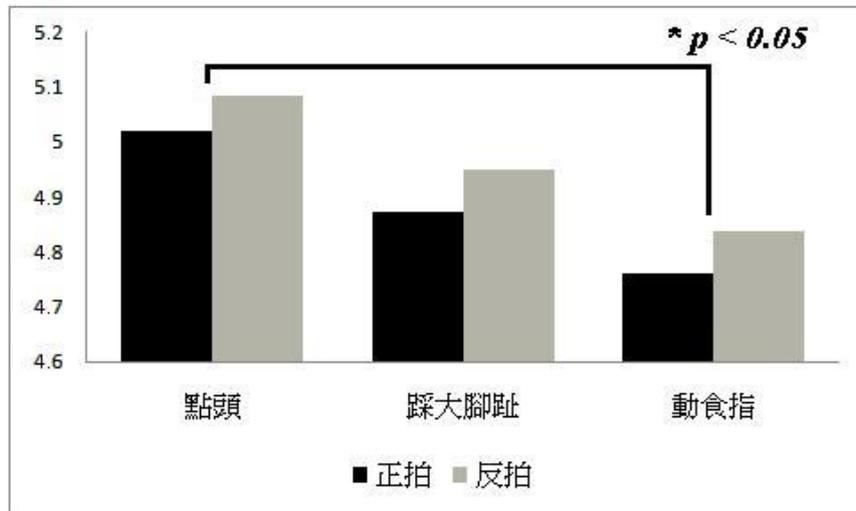


圖 五-9：在正反拍上律動身體三部位，所得律動前後膚電比值比較。

圖五-10 顯示其中一位受測者在進行六種任務時所記錄的膚導電值。前五秒是預備，沒有音樂，第五秒音樂開始，受測者也開始跟著音樂律動，一直到第三十秒時才結束。黑線為在正拍上律動的膚導電值，灰線代表在反拍，實線為點頭的動作，長虛線為踩右腳大腳趾，短虛線為用右手食指，圖上有標示。可以由圖上看見當地五秒開始聽音樂律動時，膚導電值急速上升，但在每一種任務狀況下，上升的幅度以及在第五秒之後下降的程度都不同。

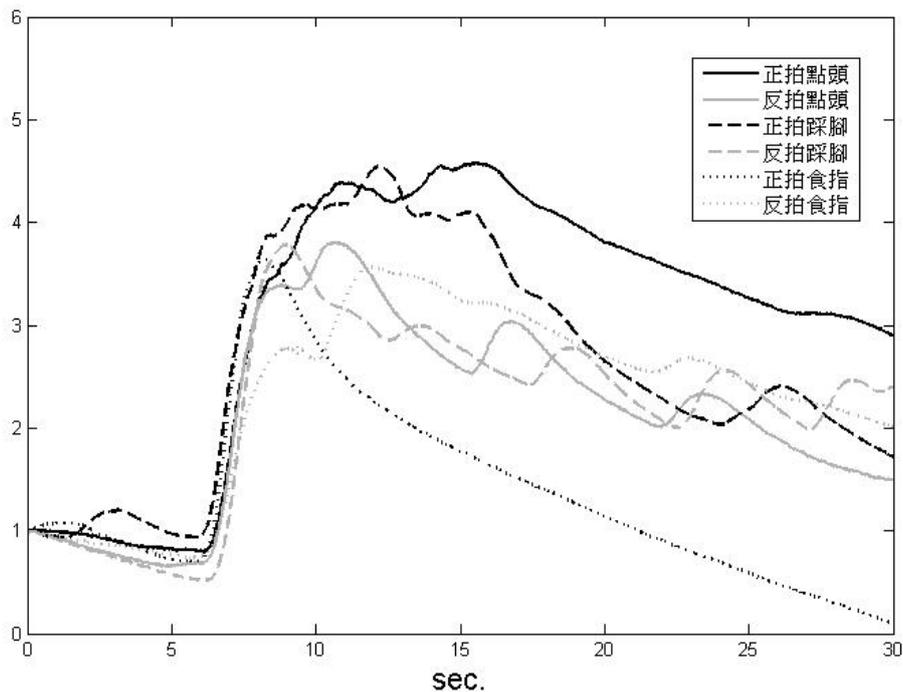


圖 五-10：某位受試者在六種任務狀況下測得的膚電曲線。

## 第四節 討論與小結

### 一、腦電波與加速規訊號分析

本研究在探究身體律動的方式以及生理訊號之間的關係。腦電波以及膚電訊號可能反映了身體在面對不同任務時，所採取的不同協調方式，以因應不同的認知需求。

#### (一)、Cz 處測得的腦波訊號意義

跟著音樂點頭時，無論是在正拍或反拍，在 Cz 能測得最清楚的反應，事實上，與 Cz 處最近的腦區—輔助運動區，也是前庭刺激的反應區之一，這一點似乎也可以說明，為何人們在聽音樂時，會覺得跟著音樂動頭是很自然的，甚至比用身體其他部位跟著音樂律動還要更自然。

當頭部有動作時，會刺激前庭系統，而這個刺激會直接傳到輔助運動區，因

此也就影響 Cz 區域的腦電波訊號。和前庭刺激相比，顯然由手部和腳部動作所造成的觸覺刺激強度沒有那麼強，無法有效地影響腦電波的訊號。本研究也是第一個讓受測者能跟著音樂動頭的腦電波研究。為了證實腦電波的訊號是源於前庭刺激，而不是肌肉收縮所造成的肌電圖訊號，也測量受測者在被動地被規律推動的腦電波，在此狀況下，受測者沒有主動肌肉收縮，但也能被刺激前庭系統。我們也發現了，在頭部主動律動以及被動推動時，所測得的腦電波訊號是相似的，這個發現也提供更多證據，說明輔助運動區在動作協調中扮演著整合聽覺訊號和前庭刺激的角色。

## (二)、各項任務的難易度差別

由受測者實驗時的訪談與觀察能發現，他們多半反應在反拍時比較不容易完成任務，會覺得比較困難，甚至會失敗重來，由於要求受測者必須以極小的動作來完成實驗，動作太大的也會被要求重做，一般受測者在跟著正拍律動時，可以順利地把動作收斂在小幅度下，但是在反拍時，動作較為不順，動的範圍也比較大，容易超出規範。根據先前的文獻，音樂拍子的頻率超過 2 Hz，則人要跟著在反拍上律動會有困難，本次實驗選擇的音樂都比 2 Hz 大一些，就是為了要讓受測者有挑戰性，能夠區分出在正反拍上去律動的難度，不過，由受測者最終的表現看來，加速度的記錄仍可以顯示，雖然在節奏較複雜且速度稍快的第三首音樂，受測者的表現會比較差一點，但無論在哪一段音樂，都有過半的受測者能完成在反拍上點頭的任務。這一點比文獻上提出的：「當拍子速度超過 2 Hz，人很難跟著在反拍上律動」不太一致。

在跟著音樂踩腳與動手指的時候，受測者也會表示在反拍上律動較為困難，尤其動作要控制在小範圍，常常一認真算拍子就出現大動作。加速度的紀錄可以看出，當受測者跟著律動時，手指與腳趾的加速度軌跡是有規律週期性且和對照的正弦波週期一致，但由於波形和正弦波相差較遠，故在此沒有比較其交叉關係係數與延遲時間的部分。不過由目測可看出它們的一致性，在實驗時，受測者也

表示，用手指跟著音樂動反拍較為簡單，因為手指比較靈活，有些受測者覺得，若要用腳趾踩拍，會比較難控制腳的肌肉，但用腳打正拍也比較自然。受測者的表現看來，用手指打反拍較用其他兩個部位來執行，較為容易也較精準，這應該和手部的肌肉構造有關，而且手指常從事精細動作，較為靈活。不過，大部分受測者也表示，用頭來數正拍是最自然的，甚至在用手指或腳趾跟著音樂律動時，會有強烈感覺想用頭跟著一起動，尤其是想使用頭在正拍上律動，幫助計算反拍的時間，也有受測者表示，會想踩腳來幫忙，或是想起身來跳舞。

本實驗受限於儀器，無法讓受測者一次律動不同的部位，且肢體律動的形式和範圍也有規範，可能使受測者無法完全融入，且讓正反拍的差異減少。不過，由此實驗也可以發現，受測者可以在被要求後，完成必須執行的任務，即使是節奏較複雜且速度較快的音樂下，也能跟著正反拍來律動。對受測者來說，要利用頭部在反拍律動是最困難的，不過在相同速度下，在正拍上律動卻是最為自然也最有感覺，這代表頭部不容易在反拍上律動並不是因為肌肉的限制導致無法跟上速度，而是因為對拍節結構的認知和掌握，而受測者在從事用手指或腳趾在反拍上律動的任務時，也常忍不住用頭來幫助數拍，使用頭部跟著音樂的正拍來律動是很自然的。這個現象也和論文前幾章敘述到的，藉由日常生活中的觀察，常可發現音樂的初學者會利用頭部動作在正拍上律動，以幫助穩固拍節結構，似乎是同樣的情形，使用頭部最為拍節結構的基準點，讓身體其他部位能在拍節結構的其他位置上律動，例如用手指演奏複雜節奏的音樂。反之，若要讓頭部在反拍上律動，就較為困難，一來，少了基準點，二來，若用身體其他部位替代來當基準點，所建立的拍節結構可能沒有頭部來的穩固。也有許多受測者表示，會想用腳踩在正拍來輔助算反拍，用腳來幫助算拍也是常見的現象，有時候，腳步似乎和頭部扮演相同的角色，都有穩固拍節的功能，不過，在從事反拍任務時，受測者也多表示，用腳趾來算拍比頭來的容易一些，但在實驗中，限制受測者只能使用大腳趾來算拍，也可能造成受測者的障礙，因為一般人習慣使用整個腳板來踩拍。

手部的任務是受測者覺得最容易執行的，無論在正反拍，難度都差不多，但是也有受測者表示，在正拍上算拍時，還是最想用頭部跟著律動。

### (三)、在正拍上點頭最為自然的可能原因

由腦波對正弦波的關係度看來，只有在動頭時，Cz 處所接收的腦波能看見有規律而反覆出現類似正弦波的波形，這和受測者被被動規律推動時所測得的腦波類似，這一點可能可以經由文獻回顧提到的前庭刺激得到佐證。當前庭受到刺激時，能在 Cz 處測得腦波的變化，本實驗所得的結果應該也反映了這個前庭刺激。

在本實驗並沒有找到跟著音樂律動時，頭部動作的加速度訊號和其對應正弦波延遲時間／週期的關係，在交叉關係係數較大的受測者，他們的延遲時間／週期可能是 0 或 0.25。以加速度和腦波相差 0.25 週期的情況而言，也就是在加速度通過零時，腦波達到極值，這可能是因為加速度為零的訊號對大腦來說是重要的，而腦部必須要能精準地接收這個加速度為零的訊息。

## 二、膚電訊號的分析

膚電訊號顯示，無論受測者在正拍或反拍跟著音樂律動不同的身體部位，平均後的結果都是動頭的膚導電值最高，踩腳次之，動手指最低，正反拍或不同音樂間則無顯著差異。

在開始跟著音樂動時，膚導電值馬上升高，之後緩緩減少，代表受測者不同的融入程度。動頭時膚導電值平均值是律動三個部位中最高的，可能可以反映受測者在跟著音樂動頭時也最能融入音樂，而頭部的結果，和手腳兩部分差異比較大，手腳兩者是比較接近的，可以顯示跟著音樂動頭和動四肢對受測者有不同的感受。膚導電值在動頭和動手指的情況相差最大，也和腦波的情形一樣。

膚導電值反映受測者的情緒，因此在動頭時膚導電值上升幅度最大，也代表

受測者情緒的變化最顯著，而從有的受測者身上可以發現，在跟著音樂點頭時，無論在正反拍上，其膚導電值在上升之後能維持比較高的數值一段時間，和律動其他部位相較，下降的速度比較慢，可能也反映了融入的程度較高，踩腳和動手指時，在正拍上律動一開始上升的幅度較大，但是下降的速度也較快，反拍則呈現比較緩慢的下降速度，這可能反映了其任務的困難度較高。

在前一章田野調查的部分，可以發現在聽音樂時，聽者常自然地跟著動頭，跟律動身體其他部位相比，頭部動作發生的頻率也最大，文獻回顧中，也有研究指出動頭時能誘發前庭刺激，讓聽者更能抓得住節奏，本實驗的膚電反應結果，可能是因為有前庭刺激，使受測者更融入音樂，而有更高的情緒。

### 三、研究限制

本研究由於儀器上的限制，受測者的律動方式和部位都受到規範，因此和實際聽音樂時所產生的動作或許有所不同，而儀器也可能影響受測者的融入程度。另外，實驗使用的刺激材料都是電音音樂，同時為了控制變項，音樂採用兩小節為一單位、不斷重複的模式來播放，可能也會降低受測者的興趣與專注程度。

每位受測者被要求跟著音樂律動時，肢體上的律動可能對大家的意義都不盡相同，也因此分析數值時，是沒有標準答案的，就結果看來，其律動部位的加速度訊號和拍點間的關係，也是因人而異，有待釐清。

先前的腦波研究，很少讓受測者在有身體動作的情況下測試，尤其是頭部的動作，本研究則讓受測者在有頭部動作的情況下測量腦波。肌肉動作容易在腦電波的紀錄中造成雜訊，尤其是牽涉到和頭部有關的動作，例如頸部肌肉的收縮，因此腦電波訊號很少在頭部有動作的情況下測量。在本實驗中，讓受測者先在頭部沒有主動動作的情況下，被動地讓受測的頭部有週期性的動作，以測量在頸部肌肉沒有收縮的情況下，有頭部動作的腦波。這種方法能避免腦波訊號記錄到肌

肉收縮的肌電圖和雜訊。

藉由這種被動運動的方式測量到的腦波，和受測者做小幅度頭部運動作的腦波，都有出現週期性「類似正弦波」的紀錄，也證實這些紀錄不是由肌肉收縮造成的，而是頭部律動造成的前庭刺激所造成的腦波記錄。本研究顯示，週期性的頭部和腳趾動作可以誘發在額葉中央的腦電波訊號，雖然這些額葉中央的活動所具有的意義仍然有待釐清，筆者認為，腦電波測量可能是一個探索身體在跟著音樂律動時的神經與認知過程中的有用工具，然而，它的效度與信度仍有待作進一步的檢驗。



## 第六章 結論

對大部分人來說，身體隨著音樂而動是再自然不過的經驗，在音樂場合也很容易觀察到樂手或聽眾跟著音樂搖擺。音樂和身體律動，這兩者息息相關，然而，其中的機制，卻尚未能解釋清楚。近年來，有越來越多研究用不同的方法來解釋這個現象，企圖釐清兩者間的關係。本論文假設，在聽音樂時，跟著音樂來律動，能利用肢體動作填補音樂拍點上的空缺，幫助區塊化，增進演奏者及聽者對節奏的感知，使他們更能感受音樂、抓住拍子，而較複雜的節奏型態，例如切分節奏之容易引發動作感，是為了讓人要藉由主動運動來製造感覺回饋，填上空拍，以將聲音事件區塊化。

在本論文中，以文獻回顧幫助建構理論基礎，再從田野觀察中分析不同的音樂活動中、不同的演出與聆聽環境、不同類型的音樂演出以及來自不同音樂背景和經驗的演奏者和聆聽者的身體律動方式。以筆者自身參與音樂活動和影片觀察到的資料為主，歸納出最常見的律動部位和模式，發現在聽大部分的音樂類型下，包括一般生活中最常接觸到的流行音樂和西洋古典音樂，一般人習慣在重拍或正拍上跟著律動，而以頭部的律動最常見，但軀幹與四肢也會自然地跟著律動，在重拍上律動似乎比在弱拍上律動更常見，不過，若是音樂的弱拍上有較突出的打擊樂器聲音，如加了重音的小鼓或鈸等高頻聲響，聽者就容易跟著這些音色在弱拍上律動，這種情形在搖滾樂較為常見。在不同音樂場域聆聽不同音樂、聆聽者背景與喜好的不同，都能影響律動的形態，例如，爵士樂手的律動方式就比較特別，初學者常在正拍或重拍律動，但有經驗的樂手能自然地在弱拍或反拍上律動，甚至能即興演出更複雜的拍子，例如兩拍三連音或四拍三連音，同時跟著彈奏的拍子律動，或是在一連串快速音符中，不定期加上重音，肢體動作也跟著重音走，這個現象和我們的假設一致：爵士樂強調切分音和後半拍，初學者需要利用身體動作來填補音樂上在正拍的空缺，以將聲音事件分組，方便鞏固拍節結構來接收，而有經驗的爵士樂手，可以在反拍自然地律動，可能是因為不需要依賴身體的感

覺回饋來數拍，甚至可以利用律動來增加對切分音的複雜感感受，使他們對音樂更有感覺，也更融入。

為了更進一步測量音樂與律動的相位關係，本研究以加速規測量來自不同音樂傳統的樂手，利用肢體動作鞏固拍節認知時的手部加速度訊號，包括臺灣的傳統音樂南管與北管，和西洋古典音樂的指揮，分析音樂與動作間的相位關係，以及不同的刺激回饋。許多樂種中皆發展出利用身體動作來數拍的傳統，這些肢體律動並不會製造樂音，它們的目的只是為了幫助數拍，但是這些動作也能夠有系統地傳承下來，成為學習該樂種的人必須學習的技巧之一，同時這些動作也被規範，每種樂種都有自己不同的動作來數拍。本研究顯示，觸覺回饋能反映拍節結構中階層最高的拍點，其次是順著地心引力之速度所引起的本體覺，與抗地心引力之速度所引起的本體覺。在拍點上，兩種臺灣傳統音樂樂手數拍動作的加速度的訊號通過零，都是由樂人自己數拍，反之，西洋音樂的指揮在拍點上達到加速度的極值，是利用動作來使其他樂手達到音樂演奏的一致性。在臺灣的南管與北管音樂中，樂手的肢體動作有如「內生性的節拍器」，能藉由不同的感覺刺激幫助鞏固拍節結構，這些動作所體現的拍子階層性，也與記譜法若合符節。相對的，西洋古典音樂的樂譜及指揮手勢，並未如此明示出拍子的階層性。

身體律動除了能幫助樂手穩定音樂的拍節感受，還能使聽眾更融入音樂，也更抓得住拍子，在本論文最後一個實驗，請沒有受過音樂專業訓練的聽者至研究室聽節奏複雜程度不同的電子音樂，並測試聽者在不同律動方式下：用點頭、或用手指或腳趾跟著音樂打正拍或反拍，所接收到的兩個生理訊號：律動部位的加速度、Cz 腦區的腦電波以及膚電反應。

本研究驗證了動頭就能引起的前庭刺激，能反映在 Cz 腦波上，反之，跟著音樂踩腳的腦電波紀錄，比較少發現這種情形，而跟著音樂動手指時則沒有這種現象。膚導電值的紀錄顯示，在跟著音樂動頭時，情緒反應是最顯著的，其次是踩腳，似乎可以說明，在跟著音樂動頭時，聽眾更能融入音樂，和先前田野觀察

的結果，發現「頭部」是最常見的律動部位，也許能一起說明「聽音樂時，跟著音樂動頭，是最自然的方式」。

本研究是第一次在有頭部動作時，測量腦波，也證實腦電波能夠做這方面的運用。研究結果和假設一致：利用身體動作能幫助聽者填補音樂中的空拍，使他更能抓得住節拍也更能感受音樂。身體律動所產生的不同感覺回饋：前庭覺、觸覺與本體感覺，都能一起作用，幫助聽覺，使人對音樂更有感動。

這種跟著拍節結構同步律動的能力，或許能幫助人類群體從事音樂與舞蹈等活動，而這些肢體與聽覺同步活動的行為，在人類的演化史中早已出現，而且在不同的時空與文化下，都曾被應用來達成團結群體的功能，從部落中的歌舞儀式，到宮廷中的舞蹈以及軍事訓練，再到現在常見的大型演唱會活動，處處可見這種行為，儼然在人類的歷史中扮演不可或缺的角色。

本研究將重心放在探討聆聽音樂時自然產生的動作，這些動作不是事先計畫好的，而是在有音樂的情況下，不由自主跟著律動，這些動作和有規範的舞蹈動作有所不同，所以雖然音樂與舞蹈自古以來息息相關，對於舞蹈的議題，並沒有在本研究中多作著墨，只有利用臺灣原住民的樂舞輔助說明「動作做為數拍傳統」的概念。不過，音樂和舞蹈的關聯性是值得被探討的，在較傳統的舞蹈中，音樂的特色也是影響舞者動作的元素，而舞蹈的類型也可能影響音樂的發展，音樂的創作，包括節奏、音高及音色等等，都可能和這些肢體動作有關，但這些議題牽涉甚廣，還不在本研究的範圍內，未來的研究可以再深入分析兩者的關聯，例如：臺灣各族的原住民樂舞、西洋古典芭雷，拉丁舞、中東肚皮舞等各個民族由來已久的民俗舞蹈，其動作與音樂如何配合。先前的研究尚未偵測在動頭時的腦波訊息，在本研究中，限制受測者頭部律動的程度，測得的腦波和受測者在放鬆狀態下被被動推動的腦波類似，似乎可以支持使用腦電波儀器測量頭部有輕微動作腦波的做法，也提供了腦電波實驗的另一個可能性，未來可以繼續研究。

本研究在測試聆聽音樂時的腦波時，使用的音樂刺激材料是節奏特徵較旋律

特徵明顯的電子音樂，且速度控制在 2 Hz 左右，一小節有四拍，將來的研究，可以運用更多種類的刺激材料，例如擁有不同拍節結構的音樂，甚至是結構較複雜的某些一般人不熟悉的傳統音樂，再加上速度的變化，更深入探討人對拍節結構的認知，另外，在本研究的這個實驗部分，受測者是為受過專業音樂訓練的愛樂者，將來也許能依照聽者喜愛聆聽音樂的類型與音樂背景來分組。

根據文獻回顧，音樂的節奏是引起身體律動的最重要元素，不過，旋律或音色等等特色，可能也會影響人在跟著音樂律動時，所做出的動作。在未來的研究，也可以更進一步探討其間的關聯。身體跟著音樂律動，看似自然發生的情況，對一般人來說，也許並沒有太大的特殊性，但在臨床上，運用音樂來帶動病患的動作，是已經行之有年的技術，目前在臺灣的物理治療師，已經會運用節奏來帶動神經方面的患者行走或從事各種功能性活動，而在小兒物理治療的領域，也有越來越多應用音樂融合治療的研究及應用（彭伊君，2008；汪子瑄，2009）。先前的研究指出，音樂中的節奏元素是最能有效引起動作的，在本研究也中著重節奏的部分，然而在聆聽音樂時，聽者所接收的是包括節奏、旋律、音色等等的音樂整體，即使能引起動作的是其中的節奏元素，仍不能忽略音樂的其他部分，在本研究中的田野觀察部分，也發現音色與旋律等等元素也會影響肢體律動的形態。另外，比起單純使用拍點，用音樂來幫助運動更能讓人融入其中、更有興致完成運動任務。未來可以更進一步討論不同音樂特色引起的動作特徵，也能幫助臨床上的應用。

有關音樂與身體律動的研究，近年來有越來越多人著墨，但受限於儀器設備以及音樂種類繁多難以掌握，加上又牽涉到跨領域的複雜度，研究有諸多限制，希望將來能更深入探討兩者的關聯，並和其他學者用不同實驗方法所做的研究對話，尋找「跟著音樂動」的機制。

## 參考文獻

- 胡名霞，2001 初版。《動作控制與動作學習》。臺北：金名圖書。
- 徐頌仁，2001。《音樂演奏的實際探討》。臺北：全音樂譜出版社。
- Sacks, O. 2008,《腦袋裝了 2000 齣歌劇的人》(Musophilia: Tales of Music and Brain.)  
廖月娟譯。臺北：天下文化。
- Wilson, D. S. 2008,《演化的力量：達爾文理論綻放出新的光芒》(Evolution For  
Everyone — How Darwin's Theory Can Change the Way We Think About Our Lives.)  
李明芝譯。臺北：博雅書屋。
- 葉亦希，2009。《音樂身體的空漸建構及其地方感：以臺灣大學鹿鳴堂廣場中的音樂身  
體為例》，臺北：國立臺灣大學音樂學研究所碩士論文。
- 汪子瑄，2009。《治療性音樂結合荷重坐站阻力運動對雙邊痙攣型腦性麻痺兒童之療效》，  
臺北：國立臺灣大學物理治療研究所碩士論文。
- 彭伊君，2008。《治療性音樂對痙攣型雙邊腦性麻痺兒童於荷重坐站動作之立即效果》，  
臺北：國立臺灣大學物理治療研究所碩士論文。
- Aschersleben, G. (2002). Temporal control of movements in sensorimotor synchronization.  
*Brain and Cognition*, 48, 66-79.
- Balasubramaniam, R. (2006). Trajectory formation in timed repetitive movements. In M. L.  
Latash and F. Lestienne (Eds.), *Motor control and learning* (pp. 47-64). New York:  
Springer.
- Brown, S. (2003). Biomusicology, and three biological paradoxes about music. *Bulletin of  
Psychology and the Arts*, 4, 15-17.
- Brown, S., Martinez, M. J., and Parsons, L. M. (2006). The neural basis of human dance.  
*Cerebral Cortex*. 16:1157-1167.
- Buhusi, C. V., and Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural  
mechanisms of interval timing. *Nat Rev Neurosci*. 6: 755-765.

- Dragoi, G., and Buzsáki, G. (2006). Temporal encoding of place sequences by hippocampal cell assemblies. *Neuron*, 50:145-157.
- Cadoz, C. and Wanderley, M. M. (2000). Gesture—Music. In M. M. Wanderley and M. Battier (Eds.). *Trends in gestural control of music* (pp. 71-94). Paris: IRCAM/Centre Pompidou.
- Carson, R. G., Chua, R., Byblow, W. D., Poon, P., and Smethurst, J. (1999). Changes in posture alter the attentional demands of voluntary movement. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 266, 853-857.
- Chen, Y., Ding, M., and Kelso, J. A. S. (1999). Alpha (10 Hz), Beta (20 Hz) and Gamma (40 Hz) networks in the human brain and their functions in a visuomotor coordination task revealed by MEG. *Soc For Neurosci*, 25, 1893.
- Chen, J. L., Zatorre, R. J., and Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythm. *NeuroImage*, 32, 1771-1781.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., and Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral cortex*, 18(12), 2844-2854.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., and Zatorre, R. J. (2008). Moving on time: brain network for auditory-motor synchronization is modulated by rhythm complexity and musical training. *Massachusetts Institute of Technology*, 20(2), 226-239.
- Clarke, E. F. (1987). Levels of structure in organization of musical time. *Contemporary Music Review*, 2(1), 211-238.
- Cross, I. (2003). Music, cognition, culture and evolution. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 42–56). New York, NY, USA: Oxford University Press.
- Daniel J. Levitin and Anna K. Tirovolas. (2009). Current advances in the cognitive neuroscience of music. *Ann. N.Y. Acad Sci*, 1156, 211-231

- Davidson, J. (1993). Visual perception of performance manner in the movements of solo musicians. *Psychology of Music*, 21, 103-113.
- de Waele C, Baudonnière PM, Lepecq JC, Tran Ba Huy P, Vidal PP. (2001). Vestibular projections in the human cortex. *Exp Brain Res*. 141(4):541-51.
- Drake, C. (1993). Reproduction of musical rhythms by children, adult musicians, and adult nonmusicians. *Percept Psychophys*. 53: 25-33.
- Fitch, W. T., and Rosenfeld, A. J. (2007). Perception and production of syncopated rhythms. *Music Perception*, 25(1), 43-58.
- Fujii, S., Kudob, K., Ohtsukib, T., Odaa, S. (2009). Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer. *Neuroscience Letters*. 459:69-73.
- Fujioka, T., Zendel, B. R., and Ross, B. (2010). Endogenous Neuromagnetic Activity for Mental Hierarchy of Timing. *The Journal of Neuroscience*. 30(9): 3458-3466.
- Gardiner, T. W., and Kitai, S. T.. (1992). Single-unit activity in the globus pallidus and neostriatum of the rat during performance of a trained head movement. *Exp Brain Res*. 88: 517-530.
- Goebel, W., and Palmer, C. (2008). Tactile feedback and timing accuracy in piano performance. *Experimental Brain Research*, 186, 471-479.
- Halsband, U., Ito, N., Tanji, J., Freund, H. J. (1993). The role of premotor cortex and the supplementary motor area in the temporal control of movement in man. *Brain*. 116:243–246.
- Holden, R. (2003). The technique of conducting. In J. A. Bowen (Ed.) *The Cambridge companion to conducting* (pp. 3-16). Cambridge: University Press.
- Homan, R. W., Herman, J., and Purdy, P. (1987). Cerebral location of international 10-20 system electrode placement. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 66: 376-382.
- Hannon, E. E., and Trehub, S. E. (2005). Tuning in to musical rhythms: infants learn more

- readily and adults. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 102: 12639-12643.
- Iversen, J. R., Repp, B. H., Patel, A. D. (2009). Top-down control of rhythm perception modulates early auditory responses. *Ann N Y Acad Sci*. 1169:58-73.
- Iversen, J. R., Patel, A. D., Ohgushi, K. (2008). Perception of rhythmic grouping depends on auditory experience. *J Acoust Soc Am*. 124(4):2263-71.
- Jan Raethjen, R.B. Godivan, Sabine Binder, Kirsten E. Zeuner, Günther Deuschl, Henning Stolze. (2008). Cortical representation of rhythmic foot movement. *Brain Research*, 1236, 79-84
- Jantzen, K. J., Fuchs, A., Mayville, J. M., Deeke, L., and Kelso, J. A. S. (2001). Neuromagnetic activity in alpha and beta bands reflect learning-induced increases in coordinative stability. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1685-1697.
- Juslin, P. N. (2003). Five facets of musical expression: A psychologist's perspective on music performance. *Psychology of Music*. 31, 273-302.
- Montepare, J. M., Goldstein, S. B., and Clausen, A. (1987). The identification and emotions from gait information. *Journal of Nonverbal behavior*, 11, 33-42.
- Kahane, P., Hoffmann, D., Minotti, L., Berthoz, A. (2003). Reappraisal of the human vestibular cortex by cortical electrical stimulation study. *Ann Neurol*. 54(5):615-24.
- Katayamas, S., Hori, Y., Inokuchi, S., Hirata, T., Hayachi, Y. (1992). Electroencephalographic changes during piano playing and related mental tasks. *Acta Med Okayama*, Feb;46(1):23-9.
- Kelso, J. A. S., DelColle, J. D., Schöner, G. (1990). Action-perception as a pattern formation process. In : Jeannerod M, editor. *Attention and performance XIII*. (pp. 139-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lang, W., Obrig, H., Lindinger, G., Cheyne, D., Deecke, L. (1990). Supplementary motor area activation while tapping bimanually different rhythms in musicians. *Exp Brain Res*, 79:504-514.

- Large, E. W., and Kolen, J. F., (1994) Resonance and the perception of musical meter. *Connect Sci*, 6: 177-208.
- Lewis, P.A., and Miall, R. C. (2003). Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: evidence from neuroimaging. *Curr Opin Neurobiol*, 13:1-6
- Lin, C.M., Wang, S.J., Young, Y.H., (2009). Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potentials Via Bone-Conducted Vibrations Applied to Various Midsagittal Cranial Sites. *Otol Neuroto*, 31(1): 157-61.
- Longuet-Higgins, H. C., and Lee, C. S. (1984). The rhythmic interpretation of monophonic music. *Music Perception*, 1, 424-441.
- Lobel, E., Kleine, J.F., Bihan, D.L., Leroy-Willig, A., Berthoz, A., (1998). Functional MRI of galvanic vestibular stimulation. *J Neurophysiol*, 80, 2699-709
- Loehr, J. D., Palmer C. (2009) Subdividing the beat: auditory and motor contributions to synchronization. *Music Perception*, 26, 5, 415-425.
- Luck, G., and Sloboda, J. A. (2009). Spatio-temporal cues for visual mediated synchronization. *Music Perception*, 26(5), 465-473.
- Luck, G., and Sloboda, J. A. (2008). Exploring the spatio-temporal properties of the beat in simple conducting gestures using a synchronization task. *Music Perception*, 25, 225-239.
- Mascar, F., Anton, J.L., Bonnet, M., Vidal, F. (2004). Discrimination of temporal information at the cerebellum: functional magnetic resonance imaging of nonverbal auditory memory. *NeuroImage*, 21: 154-162.
- Macar, F., Coull, J, Vidal, F. (2006). The supplementary motor area in motor and perceptual time processing: fMRI studies. *Cogn Process*, 7(2): 89-94.
- Macar, F., Lejeune, H., Bonnet, M., Ferrara, A., Pouthas, V., Vidal, F., Maquet, P. (2002). Activation of the supplementary motor area and of attentional networks during

- temporal processing. *Exp Brain Res*, 142:539–550
- Mauk, M. D., and Buonomano, D. V. (2004) The neural basis of temporal processing. *Annu Rev Neurosci.* 27:307-340.
- Mayhew, S. D., Dirckx, S. G., Niazy, R. K., Iannetti, G. D., and Wise, R. G.. (2010). EEG signature of auditory activity correlate with simultaneously recorded fMRI responses in humans. *Neuroimage*, 49(1):849-64.
- Mayville, J. M., Bressler, S. L., Fuchs, A., and Kelso, J. A. S. (1999). Spatiotemporal reorganization of electrical activity in the human brain associated with a timing transition in rhythmic auditory-motor coordination. *Exp Brain Res*, 127, 371-381.
- Mayville, J. M., Fuchs, A., Ding, M., Cheyne, D., Deeke, L., and Kelso, J. A. S. (2001). Event-related changes in neuromagnetic activity associated with syncopation and synchronization timing tasks. *Human Brain Mapping*, 14, 65-80.
- Mayville, J.M., Fuchs, A., Ding, M., Cheyne, D., Deeke, L., and Kelso, J. A. (2001). Event-related changes in neuromagnetic activity associated with syncopation and synchronization timing tasks. *Human Brain Mapping*, 14(2), 65-80
- Nusseck, M., and Wanderley, M. M. (2009), Music and Motion--How Music-Related Ancillary Body Movements Contribute to the Experience of Music. *Music Perception*, 26, 4: 335-353.
- Palmer, C., Koopmans, E., Loehr, J. D., and Carter, C. ( 2009). Movement-related feedback and temporal accuracy in clarinet performance. *Music perception*, 26, 5, 439-450.
- Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Exp Brain Res*. 163(2):226-38.
- Patton, D., and McIntosh, A. (2008). Head and neck injury risks in heavy metal: head bangers stuck between rock and a hard bass. *BMJ*, Dec 17, 337:a2825.  
([http://www.bmj.com/cgi/content/full/337/dec17\\_2/a2825](http://www.bmj.com/cgi/content/full/337/dec17_2/a2825))
- Pfurtscheller, G., Brunner, C., Schlögl, A., and Lopes da Silva, F.H. (2006). Mu rhythm

- (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *Neuroimage*, 31: 153-159.
- Phillips-Silver J and Trainor LJ. (2008). Vestibular influence on auditory metrical interpretation. *Brain and Cognition*, 67: 94-102.
- Phillips-Silver, J., Trainor, L.J., (2005). Feeling the beat: movement influences infants' rhythm perception. *Science*, 308, 1430.
- Phillips-Silver, J., and Trainor, L.J. (2007). Hearing what the body feels: auditory encoding of rhythmic movement. *Cognition*, 105: 533-546.
- Pollick, F. E. (2004). The features people use to recognize human movement style. In A. Camurri and G. Volpe (Eds.), *Gesture-based communication in human-computer interaction*. (pp. 10-19). Berlin: Springer Verlag.
- Pollok, B., Gross, J., Müller, K., Aschersleben, G., and Schnitzler, A. (2005). The cerebral oscillatory network associated with auditorily paced finger movements. *Neuroimage*, 24, 646-655
- Povel, D. J. (1981). Internal representation of simple temporal patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 3-18.
- Repp, B. H. (2005) Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12, 969-992.
- Richards, T. L., Berninger, V. W., Stock, P., Altermeier, L., Trivedi, P., and Maravilla, K. (2009) Functional magnetic resonance imaging differentiating good and poor writers. *J Clin Exp Neuropsychol*. 8: 1-17.
- Rudolf, M. (1995). The grammar of conducting. In *A Comprehensive Guide to Baton Technique and Interpretation*. (3<sup>rd</sup> ed). New York: Schirmer Books.
- Sakai, K., Hikosaka, O., and Nakamura, K. (2004). Emergence of rhythm during motor learning. *TRENDS in cognitive Sciences*, 8(12), 547-553.
- Sammler, D., Grigutsh, M., Fritz, T. and Koelsch, S. (2007). Music and emotion:

- electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology*, 44, 293-304.
- Serrien, D. J., and Brown, P. (2003) The intergration of cortical and behavioural dynamics during initial learning of a motor task. *European Journal of Neuroscience*, 17: 1098-1104.
- Schneider, D., Schneider, L., Claussen, C.F., Kolchev, C., 2001. Cortical representation of the vestibular system as evidenced by brain electrical activity mapping of vestibular late evoked potentials. *Ear Nose Throat J*, 80, 251-2, 255-8, 260 passim.
- Steinmetz, H., Furst, G., and Meyer, B. U. (1989) Craniocerebral topography within the international 10-20 system. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*, 72: 499-506.
- Stephan, T., Deutschlander, A., Nolte, A., Schneider, E., Wiesmann, M., Brandt, T., Dieterich, M., (2005). Functional MRI of galvanic vestibular stimulation with alternating currents at different frequencies. *Neuroimage*, 26, 721-32.
- Szirmai, I. (2010). How does the brain create rhythms? *Idegyogy Sz*, 63(1-2):13-23.
- Timmermann, L., Gross, J., Dirks, M., Volkmann, J., Freund, H.-J., Schnitzler, A., (2003). The cerebral oscillatory network of parkinsonian resting tremor. *Brain*, 126 (Pt. 1), 199–212.
- Todd, N. P., and Lee, C. S., (1994). An auditory-motor model of beat induction. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*,( pp.88-89). Aarhus, Denmark: International Computer Music Association.
- Todd, N.P., Cody, F.W., (2000). Vestibular responses to loud dance music: a physiological basis of the "rock and roll threshold"? *J Acoust Soc Am*, 107: 496-500.
- Todd, N. P., Rosengren, S.M., Colebatch, J.G. (2003). A short latency vestibular evoked potential (VsEP) produced by bone-conducted acoustic stimulation. *J Acoust Soc Am*, 114: 3264-72.
- Turner, G. , and Kenny, D. T. (2009). The acoustic consequences of movement restraint on six

- professional western contemporary popular singers. In *Proceedings of the Second International Conference of Students of Systematic Musicology. (SysMus09)* (Ghent, Belgium, November 18-20, 2009), IPEM Press, Ghent, 2009, 28-31.
- Trainor, L.J., Gao, X., Lei, J., Lehtovaara, K., and Harris, L. R. (2008). The primal role of the vestibular system in determining musical rhythm. *Cortex*, 45,1, 35-43.
- Vines, B. W., Krumhansl, C. L., Wanderley, M. M., and Levitin, D. J. (2006). Cross-modal intractions in the perception of musical performance. *Cognition*, 101, 80-113.
- Wanderley, M. M. (2002). Quantitative analysis of nonobvious performer gestures. In I. Wachsmuth. And T. Sowa (Eds.). *International Gesture Workshop 2001*. LNAI 2298. 241-253. Berlin: Springer.
- Wanderley, M. M., and Vines, B. W. (2006). Origins and functions of clarinetists' ancillary gestures. In A. Gritten and E. King (Eds.), *Music and Gesture* (pp. 165-191). Ashgate: Aldershot.
- Wang, L., Wei, J., Zhang, D., Dong, W., Guo, K., and Hu, M. (2004). The effects of vestibular stimuli on brain cognitive processing: an ERP study. *Neuroreport*, 15(18), 2757-2760.
- Will, U., and Berg, E. (2007). Brain wave synchronization and entrainment to periodic acoustic stimuli. *Neuroscience Letters*, 424, 55-60.
- Wohlschläger, A., and Koch, R. (2000). Synchronization error: An error in time perception. In P. Desain and L. Windsor (Eds.), *Rhythm perception and production* (pp. 115-127). Lisse, The Netherlands: Swets and Zeitlinger
- Wöllner, C., and Auhagen, W. (2008). Perceiving Conductors' Expressive Gestures from Different Visual Perspectives: An Exploratory Continuous Response Study. *Music Perception*, 26(2): 129-143.