

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030816

震不震，告訴你

學校名稱：臺南市立新東國民中學

作者： 國二 黃品瑞 國二 林子揚 國二 林冠文	指導老師： 王雅慧 曾常哲
---	-----------------------------

關鍵詞：公車震動、暈車、加速度感應器

摘要

一開始我們都很好奇：公車時坐在前排的位置，真的像長輩們所說的一樣較不容易暈車嗎？為了釐清這個觀念，我們以特定的比例做了一台縮小版公車，並以手機做為加速度感應器，分別放置於前、中、後三個不同的位置，測量模型公車在不同坡度、轉向、引擎位置時的震動情況。分析、探討數據後，我們發現模型公車前方的位置在直行、上坡、左轉、右轉都是震動最小的，下坡時，反而是後方位置震動最小。綜合各項觀點，由於在大部分情況下，公車前方的位置都較穩定，故容易暈車的人可選擇前方的位置，下坡則選後方位置。若考慮設置博愛座可設置前方。而中間及後方不穩定，因此建議可改良為物品放置區。

壹、研究動機

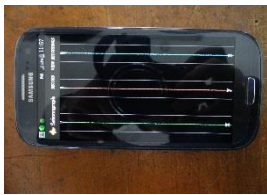
一年級生物課我們讀了一本書，書名為達爾文與小獵犬號，書中提及提出天擇說的達爾文先生在他剛開始的航海生活中，因為不斷地暈船，使他無法專心從事他的研究工作，更因為頭暈而感到痛苦不已。我們在一次的機會下看到一篇以在量測高鐵列車上震動情形為主題的科展報告，其研究結果對現實生活有不少顯著的成效，而報告的內容也激發了我們的好奇心，為甚麼在車內不同的位置會產生不太一樣的震動呢？在此之後在我們校外教學一起坐遊覽車的時候，一路上車子一直搖來晃去，原本興致高昂的同學和我們都承受不住像波濤一般的震動，司機先生總是提醒一些有暈車狀況的人選擇坐前面，我們也常聽大家說坐在公車前面可以減少暈車狀況的發生，但真的是如此嗎？為了克服暈車這頭痛的問題並對社會流言做個驗證，我們希望藉由一個客觀的實驗來釐清事情的真面目！我們決定以公車為目標，探究其不同位置的震動情形，提供給搭公車的人一個選擇座位的建議。

貳、研究目的

為了能夠提供容易暈車的人選座位的參考，此研究我們主要探究模型公車內不同位置的震動程度有何差異，並比較實際公車震動的情形，因此我們將研究目的定為：

- 一、藉由文獻探討釐清暈車的原因，並設計實驗。
- 二、探討模型公車在直行於不同路面時，車內前、中、後位置的三維空間震動情形。(比較)
- 三、探討模型公車在直行於不同坡度的地面時，車內前、中、後位置的三維空間震動幅度。
- 四、探討模型公車在轉彎時，車內前、中、後位置的三維空間震動幅度。
- 五、比較實際公車與模型公車的震動情況。(比較)
- 六、探討改變模型公車引擎的放置地點，是否會影響車內前、中、後位置三維空間震動幅度。(比較)
- 七、針對容易暈車的人提出座位選擇的建議。
- 八、提出公車上適當的座位設計。

參、研究設備及器材

			
模型公車（外觀）	模型公車（內部）	模型公車（可改變方向的前輪）	模型公車與電動馬達車連接處
			
電動馬達車	水平儀	束線帶	磚頭（模擬公車引擎配重）
			
震動測量儀（手機 1）	震動測量儀（手機 2）	震動測量儀（手機 3）	剪刀膠帶

肆、研究過程及方法

一、探討平衡器官構造及暈車原因

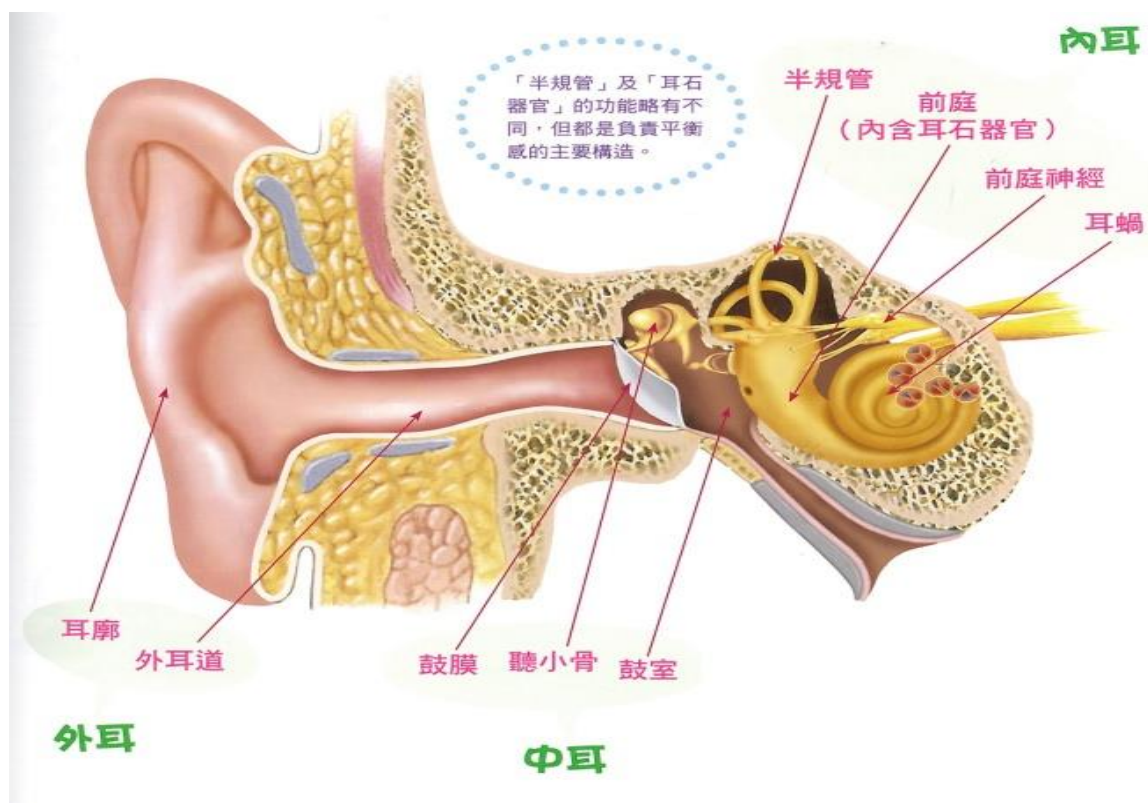
我們想要找出公車上最不容易暈車的位置，首先我們需要先了解身體平衡器官的運作方式，再進一步探討導致暈車的原因為何。

（一）、身體的平衡

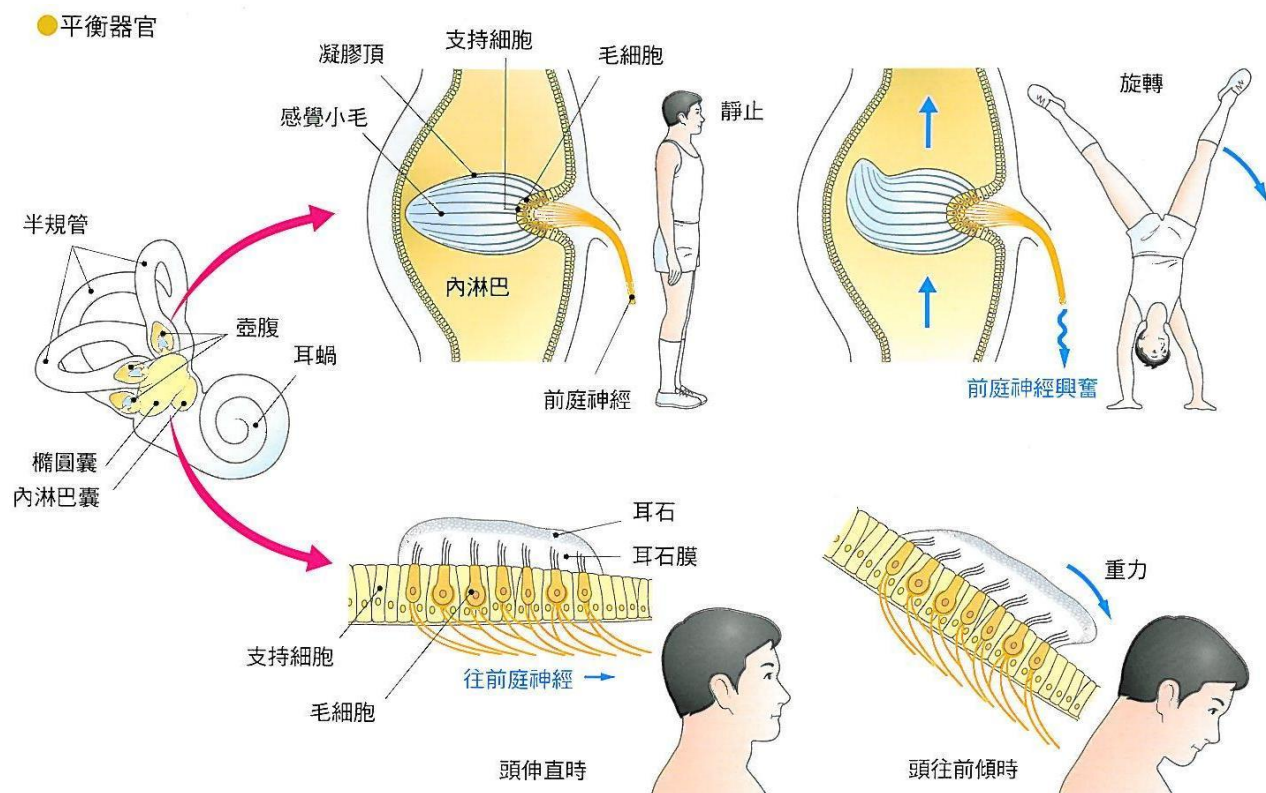
身體的平衡靠前庭、本體感覺、視覺相互配合。我們針對三者的平衡機制做介紹：

1.前庭感覺與平衡的維持：

耳朵的內耳包含耳蝸、三個半規管及前庭（如圖一），半規管與前庭對於平衡的維持特別重要。半規管及前庭均有外層的骨質迷路，包著內層的膜質迷路。骨質迷路和膜質迷路之間與膜質迷路內均有淋巴液，但成分略微不同，前者成分與腦脊髓液相似，稱為外淋巴；後者與細胞內液類似，稱為內淋巴。



圖一、耳朵內部結構（圖片出處：地球公民 365 第 90 期）



圖二、半規管、前庭器運作原理（圖片出處：圖解人體地圖，暢文出版）

(1)偵側旋轉動作的半規管：

每個前庭有三條半規管，可感測角加速度，分為前、後、水平半規管，彼此互相垂直。每個半規管的末端有一個膨大的壺腹，壺腹內有壺腹嵴（上有毛細胞）。當頭部轉動時，淋巴液因為慣性而保持靜止，而半規管本身則在旋轉，這使液體和管內發生相對運動，而其流動方向與轉動方向相反，藉此使毛細胞受到刺激，把運動狀態傳到中樞（如圖二）。

(2)偵測傾斜狀態的前庭：

前庭又分為感測水平方向直線加速度的橢圓囊和感測垂直方向直線加速度的內淋巴囊（球狀囊），兩者中都有聽斑。聽斑是一層膠狀物質，黏膠中有些許碳酸鈣結晶（耳石），膠狀物下方是毛細胞。當頭部傾斜時，因重力的影響，會讓耳石移動而刺激下方的感覺細胞，把頭部變化資訊傳到中樞（如圖二）。

前庭、半規管的訊息均由前庭神經傳送，到達前庭神經核和小腦，兩者訊號互相衝動交流，再傳入腦幹網狀核，並且向下到達脊髓，控制肌肉來保持體位與眼球位置的平衡。同來源的訊號也向上到大腦皮質，終止於一個控制平衡的主要皮質中樞，將身體的平衡狀態通知心靈(psyche)。

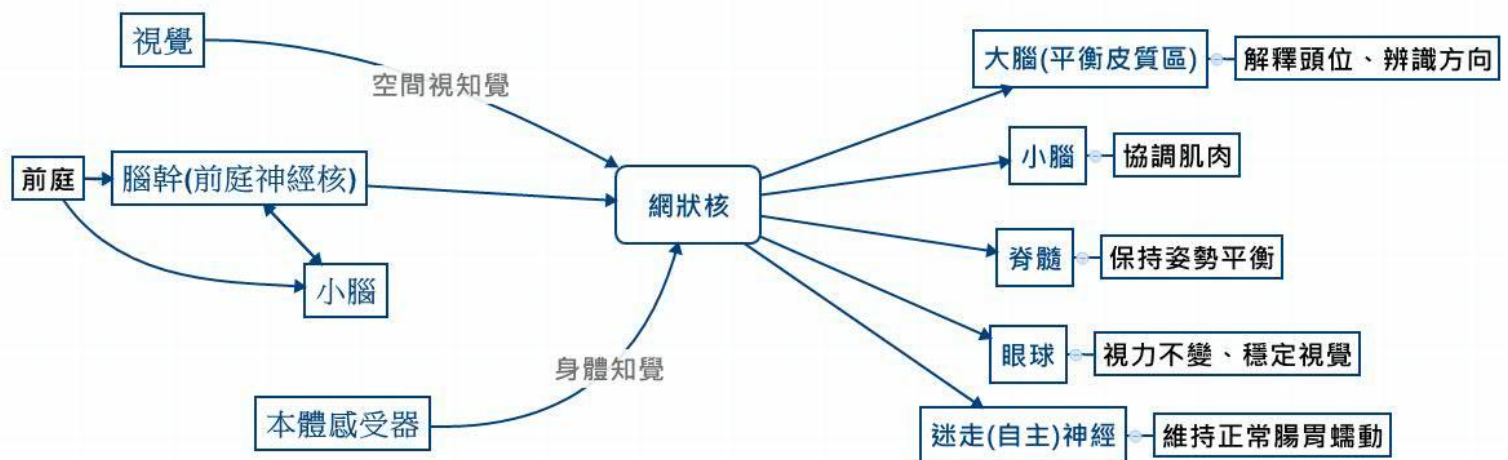
2.本體感覺與平衡：

前庭器僅能偵測頭部的方位與運動。神經系統必須再接受頭與身體各部分方向相互間的關係，此部分由頸部和身體的本體感受器接受訊息，將訊息直接傳入腦幹的網狀核，或間接經小腦再傳入網狀核，本體接受訊息後可再傳出訊息維持身體平衡。

3.視覺與平衡：

視覺機制可以有效的維持平衡，只要身體稍有直線或旋轉運動，視網膜上的視覺影響馬上會移動，並轉送到平衡中樞。

我們綜合身體平衡的神經傳導途徑繪製成下圖：



圖三、身體平衡的神經傳導途徑

(二)、探討暈車的症狀與成因

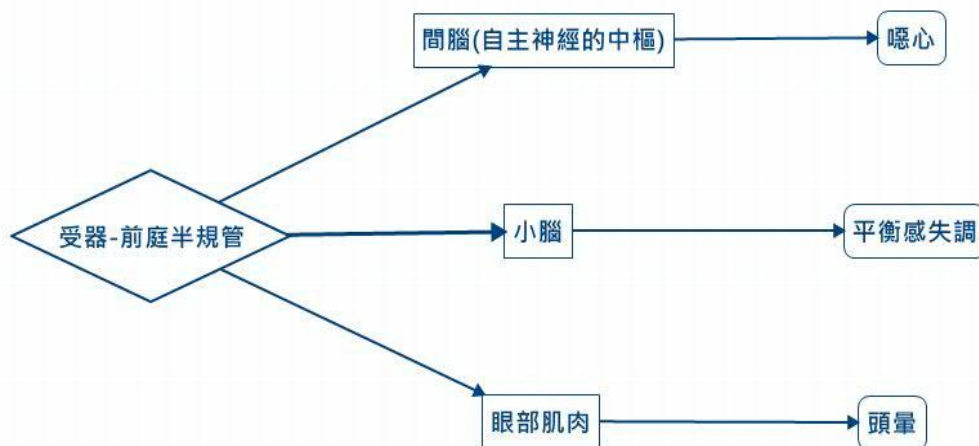
1.暈車的症狀：

暈車又稱「動暈症」，指交通工具動搖引起的自律神經失調，症狀主要有：噁心、嘔吐、冒冷汗、四肢無力、腳步不穩、面色蒼白、脈搏上升，若症狀只是頭昏腦脹、眼花撩亂就是「頭暈」，但若發現四周天旋地轉，合併噁心、嘔吐，則為「眩暈」。

2.暈車的成因：

造成暈車的外在因素有二個：(1)刺激太過強烈，超過內耳平衡限度。(2)視覺和平衡感不一致的「知覺衝突」，位於內耳的感覺受器傳入的訊息一旦與眼睛接受到的訊息不同時，便可能產生暈眩感。例如：公車在右轉時，乘客因離心力向左邊傾倒，明明車子是往右的，人卻是往左。眼睛接收到的訊息和平衡器官（半規管、前庭器）所感受到的訊息不同，就是所謂的知覺衝突。產生知覺衝突時，混淆的訊息趨使大腦放出一種壓力荷爾蒙的物質，使身體產生反蠕動的症狀，也就產生暈車現象。

我們根據平衡傳導途徑可判斷發生暈車症狀的機制如下圖：



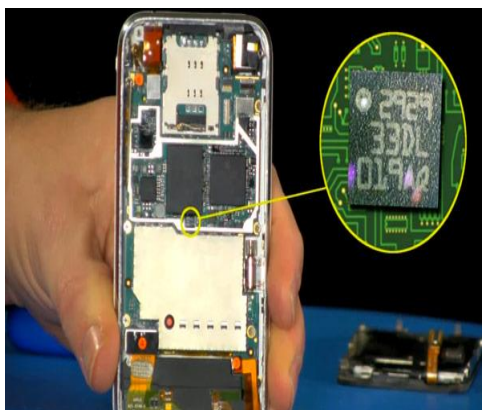
圖四：暈車機制

我們依「知覺衝突」理論來設計實驗，將 X 軸、Y 軸及 Z 軸分別代表三個不同的運動方向，扣除了車輛運動方向的維度，將剩下的維度納入實驗分析。我們測量不同行進方式車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度，並根據結果判斷舒適度較佳的座位。

二、研究方法

(一)如何測量震動情況？

現代智慧型手機普及，手機 app 軟體的發展十分的多元且實用。此次實驗量測使用到的三台手機都有配置加速度感應器（如圖五），搭配 Google Play 商店的 Seismograph 震動感測程式，即可用以測量、紀錄，並匯出量測的實驗數據進行分析、探討。



圖五：智慧型手機的加速度感應器位置（圖片取自網路）

加速度感應器測量的是自身運動時 X 軸、Y 軸及 Z 軸三個方向上的加速度值。加速度感應器輸出的其實是電壓，但利用 **Seismograph** 軟體即可轉換為加速度值(m/s^2)。加速度值越大，震動幅度越大，所以可用來測量震動幅度大小。

車子穩定行駛過程中的加速度值，我們選擇擷取中段時間的數值，利用 **Microsoft Excel** 分析數據、繪製圖表，再歸納實驗結果。**Seismograph** 是為 **Android** 所開發、可免費下載測量震動的 app，而且相容性很高，如此一來，智慧型手機便可作為實驗儀器，研究量測相當方便。

(二)製作模型公車

我們先調查實際公車的長、寬、高，偕同家人共同製作依比例縮小的模型公車(如圖六)。實際公車長：寬：高 = 20：6：9，我們依 12：1 的比例縮小製成模型公車。為了更符合公車的配重，我們以此 1200：1 縮小公車配重(如表一)。我們用每塊 2kgw 的磚塊來模擬引擎重量，並依實際公車的引擎位置，將磚塊置於模型公車的後方。



圖六：模型公車

表一：模型公車規格表

長(cm)	寬(cm)	高(cm)	模型公車重量(kgw)	引擎重量(kgw)
100.00	30.00	45.00	17.50	2.00

(三)分析車輛行進時產生暈車的震動方向：

我們將車輛行進時所產生的震動，分成 X 軸、Y 軸、Z 軸，以車子前進方向為標準，三維運動方向的定義，如下表二。

表二：三維運動方向的定義

三維方向	X 軸	Y 軸	Z 軸
定義 (車子運動方向)	水平方向 前後移動	水平方向 左右移動	垂直方向 上下移動

由於暈車主要是因為知覺衝突所造成的。我們整理出車子在不同行進方式下，可能會造成暈車的震動方向，如下表三。

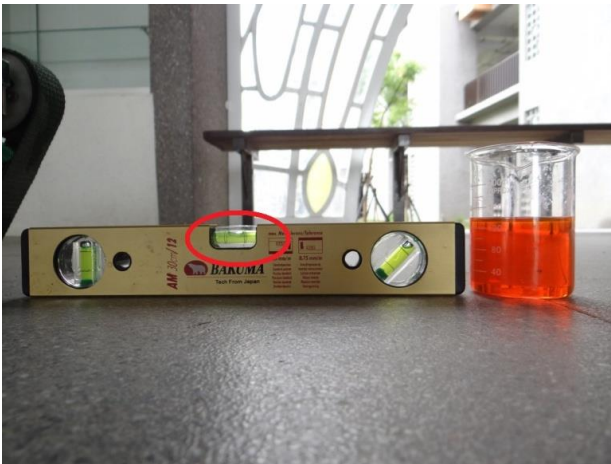
表三：不同行進方式下，可能造成暈車的震動方向

車輛行進方式	車輛移動方向	造成暈車的震動方向
直走(引擎在後)	前(水平前後)(X 軸)	Y 軸、Z 軸
上坡(引擎在後)	前(水平前後)(X 軸) 上(垂直上下)(Z 軸)	Y 軸
下坡(引擎在後)	前(水平前後)(X 軸) 下(垂直上下)(Z 軸)	Y 軸
左轉(引擎在後)	前(水平前後)(X 軸) 左(水平左右)(Y 軸)	Z 軸
右轉(引擎在後)	前(水平前後)(X 軸) 右(水平左右)(Y 軸)	Z 軸
直走(引擎在前)	前(水平前後)(X 軸)	Y 軸、Z 軸

(四)實驗地點選擇

為了模擬公車行駛在不同路面上，我們選擇校園內有規律性的地面做為我們的實驗場所，可做為對照組，再選擇有規律性凹凸及小石子路面做為實驗組，探討不同路面車子震動情形，小石子路面顛簸情況最像柏油路面，讓實驗結果能類推到實際公車行駛於柏油路的震動狀況。

- 1、直行、左右轉：平坦的地磚（圖七）、連鎖磚（圖八）、小石子地面（圖九）。
- 2、上下坡：小石子地面的無障礙坡道（圖十）。



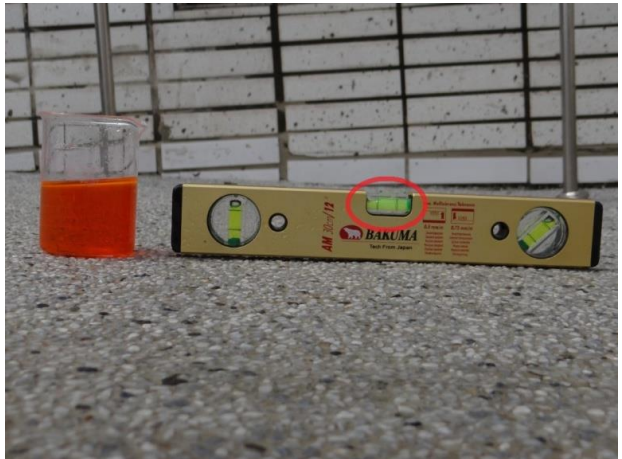
圖七：平坦的地磚地面



圖八：連鎖磚地面



圖九：小石子地面



圖十：小石子地面的無障礙坡道

(五)實驗步驟

1、《不同路面實驗》

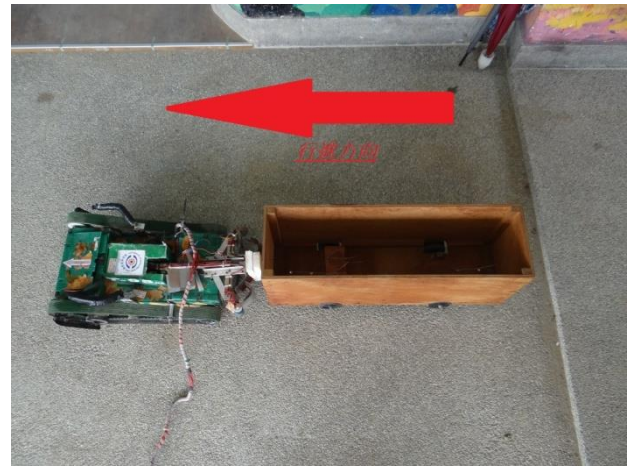
我們想要瞭解不同的路面是否會造成模型公車震動的差異，因此我們選擇不同的路面進行實驗測量，做為之後解釋震動的依據。

實驗一：測量模型公車在不同路面直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

- (1) 選定另外兩種不同路面的平面路段（連鎖磚、地磚）進行直走實驗。
- (2) 我們在平面路面取一段約 5 公尺的距離，在起點及終點處放置標記，做為量測的範圍。
- (3) 將模型公車的前輪都先固定為直行方向，利用束線帶連接模型公車與電動馬達車（如圖九），由電動馬達車提供動力來源，帶動模型公車前行（如圖十）。



圖十一：利用束線帶連接兩車

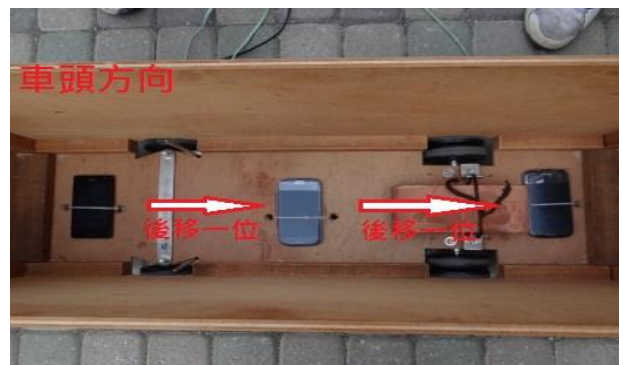


圖十二：兩車直行狀況

- (4) 三支手機調整至相同時間，分別置於模型公車前、中、後三個位置，量測模型公車由起點至終點的震動情況。
- (5) 每支震動測量儀（手機）在相同的位置重複量測 3 次，得到 3 組實驗數據，再將測量儀更動測量位置，往後移動一格（如圖十三），重複以上步驟進行測量，三支測量儀共得到 27 組數據資料。
- (6) 將資料匯入 excel 軟體，分析前、中、後位置之三維震動情況。

圖十三：震動測量儀量測位置

測量位置(前)	測量位置(中)	測量位置(後)
震動測量儀 1	震動測量儀 2	震動測量儀 3
震動測量儀 3	震動測量儀 1	震動測量儀 2
震動測量儀 2	震動測量儀 3	震動測量儀 1



2、《不同坡度實驗》

我們為了探討公車直行於不同坡度的地面時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度，我們針對平面、上坡、下坡來進行實驗：

實驗二：測量模型公車在平面直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

- (1) 我們在平面小石子路面取一段約 5 公尺的距離，在起點及終點處放置標記，做為量測的範圍。
- (2) 同**實驗一**步驟(2)、步驟(3)、步驟(4)、步驟(5)、步驟(6)。

實驗三：測量模型公車在上坡直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

- (1) 我們選擇無障礙坡道小石子路面，取一段上坡約 5 公尺的距離，在低處起點及高處終點處放置標記，做為量測的範圍（如圖十四）。
- (2) 同**實驗一**步驟(2)、步驟(3)、步驟(4)、步驟(5)、步驟(6)。

實驗四：測量模型公車在下坡直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

- (1) 同樣的無障礙坡道小石子路面，取一段下坡約 5 公尺的距離，在高處起點及低處終點處放置標記，做為量測的範圍（如圖十五）。
- (2) 同**實驗一**步驟(2)、步驟(3)、步驟(4)、步驟(5)、步驟(6)。。



圖十四：上坡測量中的電動馬達車



圖十五：下坡測量中的電動馬達車

3、《轉彎實驗》

我們為了探討公車轉彎時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度，我們針對右轉、左轉來進行實驗：

實驗五：測量模型公車在右轉時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

- (1) 我們在平面小石子路面取一段前後約 5 公尺、往右約 4 公尺的空間，做為量測的空間。
- (2) 將模型公車的前輪轉向右邊約為 30° 角（如圖十六），並利用束線帶連接模型公車與電動馬達車，控制電動馬達車左輪轉動，右輪不動，帶動模型公車轉彎。



圖十六：模型公車前輪偏轉約 30° 角



圖十七：模型公車右轉

- (3) 三支手機調整至相同時間，分別置於模型公車前、中、後位置，操控電動馬達車拖動模型公車直行約 3.5 公尺後，右轉並直行約 3.5 公尺停止（如圖十七），標記為終點處，依此路徑做為量測範圍。
- (4) 接下來同**實驗**步驟(3)、步驟(4)、步驟(5)、步驟(6)。

實驗六：測量模型公車在左轉時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

- (1) 我們在平面小石子路面取一段前後約 5 公尺、往左約 4 公尺的空間，做為量測的空間。
- (2) 將模型公車的前輪轉向左邊約為 30° 角（如圖十八），並利用束線帶連接模型公車與電動馬達車，控制電動馬達車右輪轉動，左輪不動，帶動模型公車轉彎。
- (3) 三支手機調整至相同時間，分別置於模型公車前、中、後位置，操控電動馬達車拖動模型公車直行約 3.5 公尺後，左轉並直行約 3.5 公尺停止（如圖十九），標記為終點處，依此路徑做為量測範圍。
- (4) 接下來同**實驗**步驟(3)、步驟(4)、步驟(5)、步驟(6)。



圖十八：模型公車前輪偏轉約 30°角



圖十九：模型公車左轉

4、《實際公車震動測量》

我們上網了解居住地附近的公車路線與班次，實地走訪後，我們決定由黃幹線的文化中心站出發，於黃幹線的土庫里站下車。依序經歷右轉、直走、左轉、直走、右轉、上坡、下坡、左轉，共五種行進方式。

實驗七：測量真實公車以不同行進方式在道路上行駛時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

我們的測量方法如下：

- (1) 上車後，三人在前、中、後位置將手機固定在座位上。(注意：手機殼必須拆下，以免影響震動測量結果)
- (2) 在經過特定地標時由一人負責舉手，提醒大家開始記錄；結束時也是依此方式。
- (3) 共進行九趟的公車測量，最後再將所得的數據進行分析。
- (4) 比較模型公車與實際公車的震動情況。

5、《改變引擎位置實驗》

我們認為引擎位置的差異可能會造成模型公車震動差異。因此我們改變模擬公車磚塊（模擬引擎）位置進行實驗，依據實驗結果可做為不同車型選擇座位的參考：

實驗八：測量沒有放置模擬引擎的模型公車直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度（對照組）

- (1) 將用以模擬引擎配重的磚塊，從模型公車上取下。
- (2) 同實驗二步驟(1)、步驟(2)、步驟(3)、步驟(4)、步驟(5)、步驟(6)。

實驗九：測量模擬引擎放在前方的模型公車直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

- (1) 將用以模擬引擎配重的磚塊，移至模型公車的前方位置，並用束線帶加以固定。
- (2) 同實驗二步驟(1)、步驟(2)、步驟(3)、步驟(4)、步驟(5)、步驟(6)。
- (3) 比較不同模擬引擎位置的模型公車直行（實驗二、實驗八、實驗九），三維震動幅度的差異。

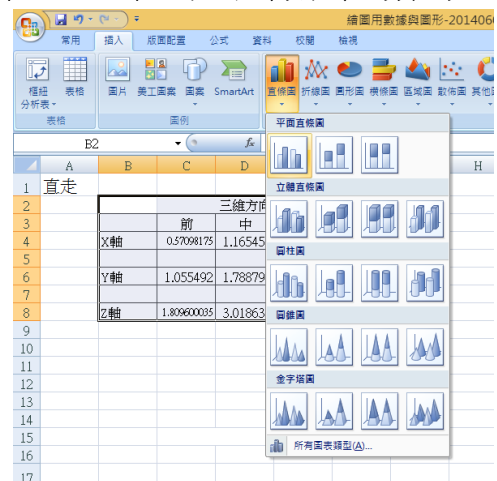
(六)、數據分析方法

我們把手機利用 Seisomograph App 所測得的數據匯入 Excel 進行處理：

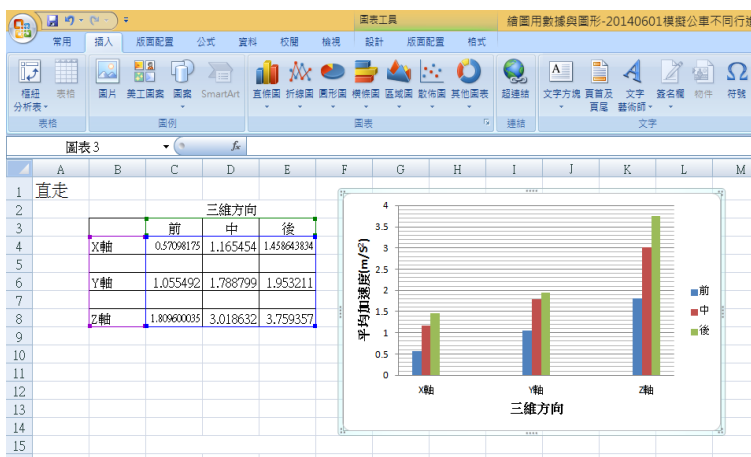
1. 為了避免車子剛起步與結束時的不穩定，我們在分析數據時選取中間時段的數值。
2. 將測得的加速度取絕對值，捨棄加速度的方向性（正負值），只取其大小值，用來判斷震動幅度的大小。
3. 再將所擷取的加速度絕對值取平均值，得到每次實驗前、中、後位置三維震動的加速度數據。
4. 將每次實驗的前、中、後三個位置共九次實驗數據取平均值，整理後得到實驗數據總表（如圖二十）。
5. 將實驗數據總表利用 Excel 繪製長條圖（如圖二十一、二十二），進行結果的探討。

	A	B	C	D	E
1	直走				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

圖二十：繪成表格的數據



圖二十一：選擇圖表形式-長條圖



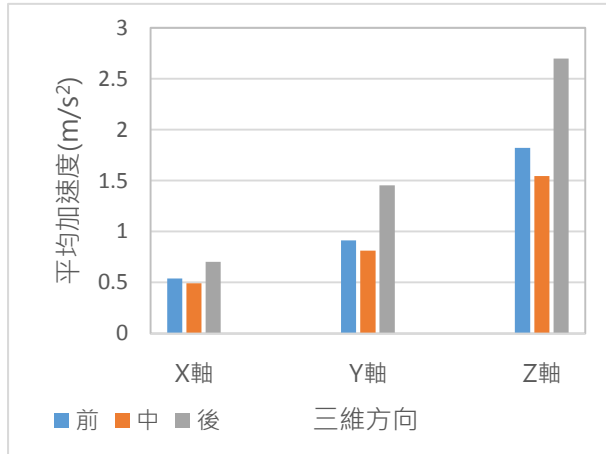
圖二十二：繪製完成的表格與圖表

伍、研究結果

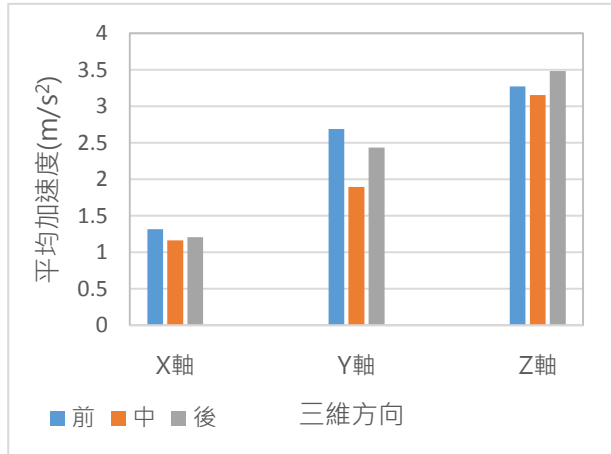
我們將數據匯入 Excel，數據運算分析並繪製成圖表，以加速度大小來判斷震動幅度。

1、《不同路面實驗》

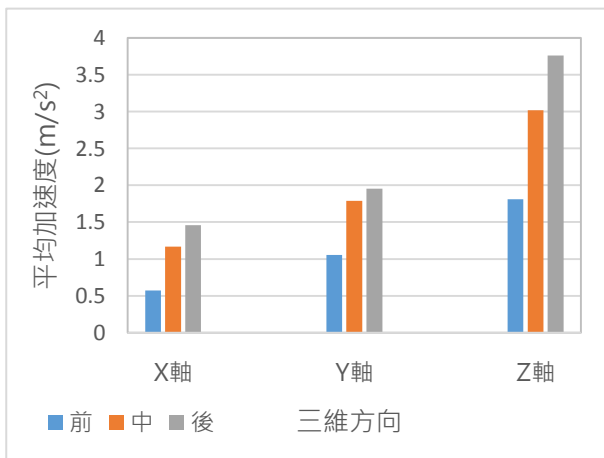
結果一：測量模型公車在不同路面直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動情形



圖二十三：車子直走時三維方向震動幅度大小關係圖
(地磚路面)



圖二十四：車子直走時三維方向震動幅度大小關係圖
(連鎖磚路面)



圖二十五：車子直走時三維方向震動幅度大小關係圖
(小石子路面)

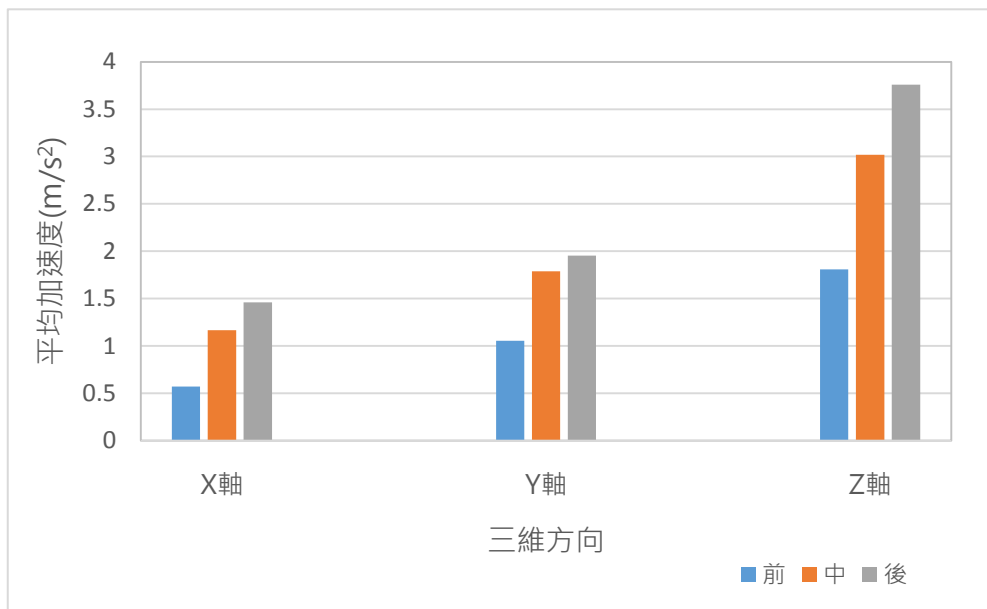
從以上三張圖可看出：地磚路面最為平坦，可作為對照組，此時模型公車中間震動最小，前面次之，後面最大。連鎖磚凹凸起伏大且規律，此時模型公車中間震動最小，前後震動大幅增加，推測為模型公車行進時彈跳所致。模型公車在小石子路面直行時，前面震動最小，後面最大。不同路面可能導致車子震動情形不同，而小石子路面與柏油路最為相近，故我們以小石子路面為場地，測量模型公車在不同行進方式下的震動情形。

2、《不同坡度實驗》

結果二：測量模型公車在平面直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

車輛行進方式	車輛移動方向	造成暈車的震動方向
直走（引擎在後）	前（水平前後）（X 軸）	Y 軸、Z 軸

	X 軸	Y 軸	Z 軸
前面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.570	1.055	1.809
中間位置 加速度大小 (m/s^2)	1.165	1.788	3.018
後面位置 加速度大小 (m/s^2)	1.458	1.953	3.759



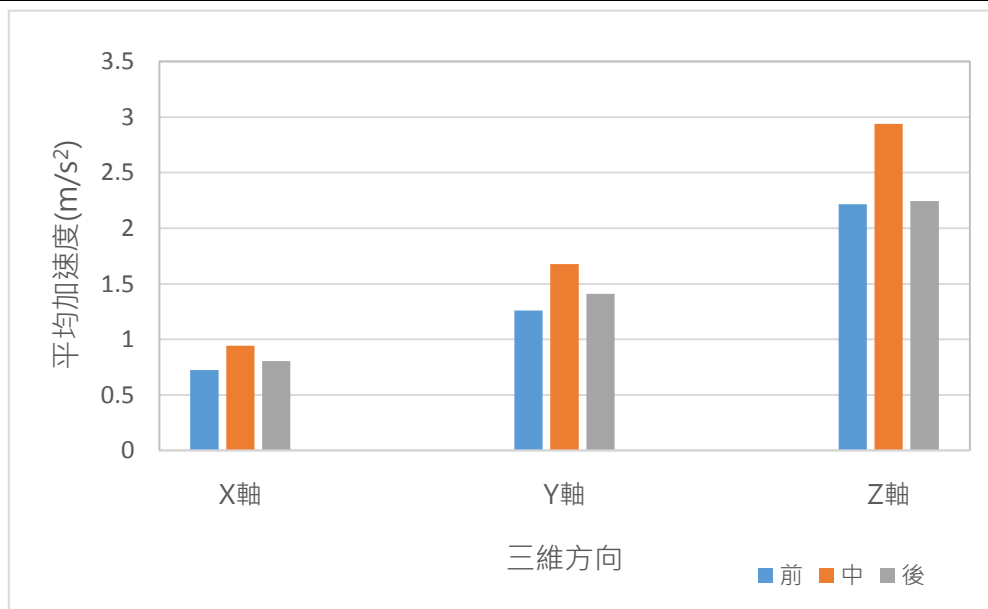
圖二十六：車子直走三維方向震動幅度大小關係圖

由圖二十六可知，當引擎在後的公車直行時，造成暈車的震動方向是 Y、Z 兩軸，而 Y、Z 兩軸的震動幅度又以車子後方為最大，中間次之，前方最小。依此量測結果，我們推論當引擎在後的公車在直走時，坐在後面位置的人最易暈車，坐在前面位置的人較不易暈車。

結果三：測量模型公車在上坡直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

車輛行進方式	車輛移動方向	造成暈車的震動方向
上坡（引擎在後）	前（水平前後）（X 軸） 上（垂直上下）（Z 軸）	Y 軸

	X 軸	Y 軸	Z 軸
前面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.724	1.258	2.216
中間位置 加速度大小 (m/s^2)	0.944	1.678	2.937
後面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.804	1.410	2.245



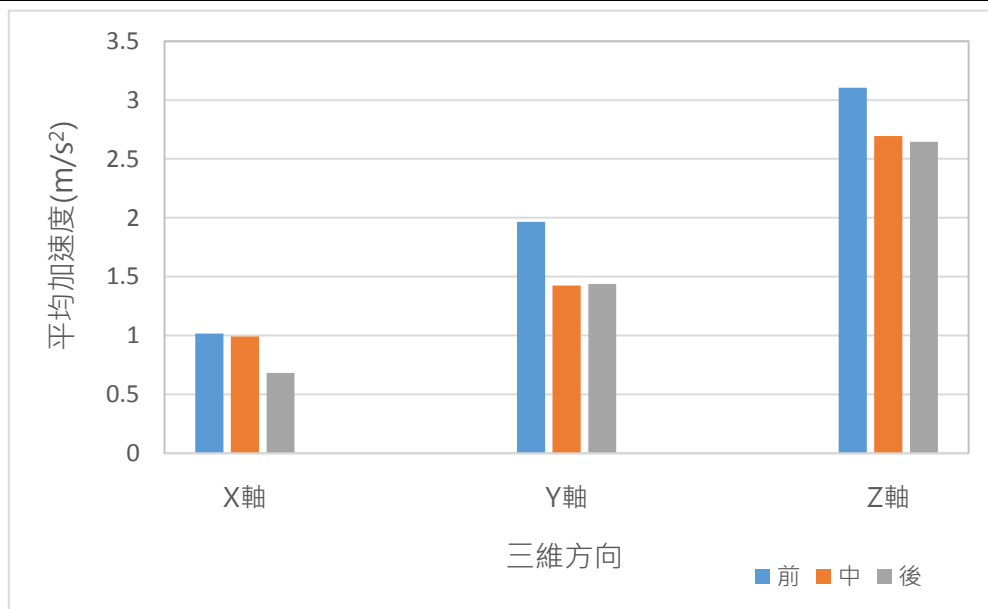
圖二十七：車子上坡時三維方向震動幅度大小關係圖

由圖二十七可知，在上坡時，雖 Z 軸的震動幅度略高於其他兩個維度，但造成暈車的震動方向是 Y 軸，而 Y 軸的震動幅度，以中間的震動幅度最大，後方其次，而前面最小。依此量測結果，我們推論當引擎在後的模型公車在上坡時，坐在中間位置的人最易暈車，坐在前面位置的人較不易暈車。

結果四：測量模型公車在下坡直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

車輛行進方式	車輛移動方向	造成暈車的震動方向
下坡（引擎在後）	前（水平前後）（X 軸） 下（垂直上下）（Z 軸）	Y 軸

	X 軸	Y 軸	Z 軸
前面位置 加速度大小 (m/s^2)	1.015	1.964	3.104
中間位置 加速度大小 (m/s^2)	0.991	1.423	2.693
後面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.681	1.436	2.644



圖二十八：車子下坡時三維方向震動幅度大小關係圖

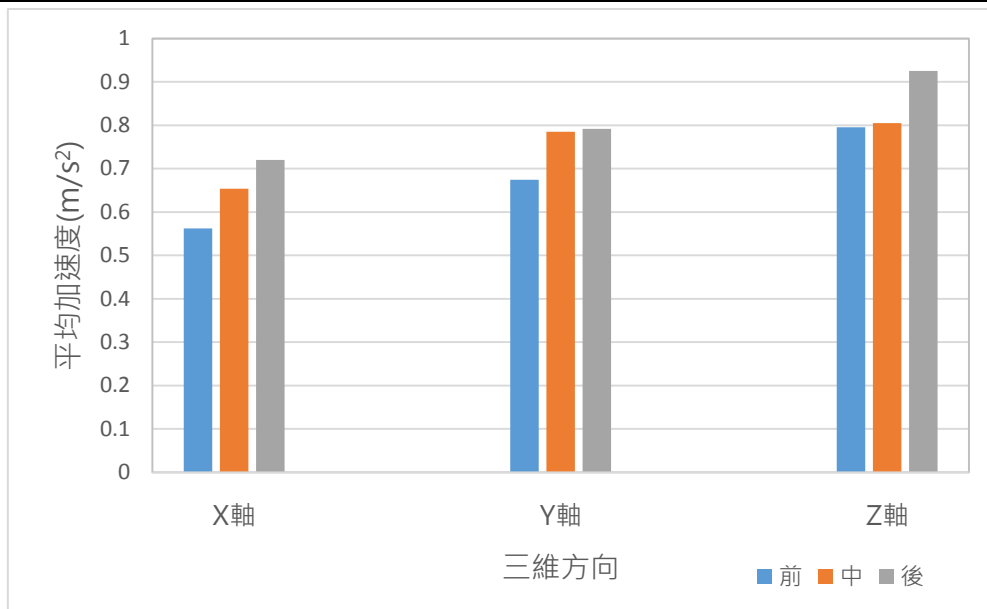
由圖二十八可知，在下坡時，雖 Z 軸的震動幅度略高於其他兩個維度，但造成暈車的震動方向是 Y 軸，而 Y 軸的震動幅度，以前方的震動幅度最大，後方其次，而中間最小。依此量測結果，我們推論當引擎在後的模型公車在下坡時，坐在前面的人最易暈車，坐在中間位置的人較不易暈車。

3、《轉彎實驗》

結果五：測量模型公車在右轉時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

車輛行進方式	車輛移動方向	造成暈車的震動方向
左轉（引擎在後）	前（水平前後）（X 軸） 左（水平左右）（Y 軸）	Z 軸

	X 軸	Y 軸	Z 軸
前面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.562	0.674	0.795
中間位置 加速度大小 (m/s^2)	0.654	0.785	0.805
後面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.720	0.792	0.925



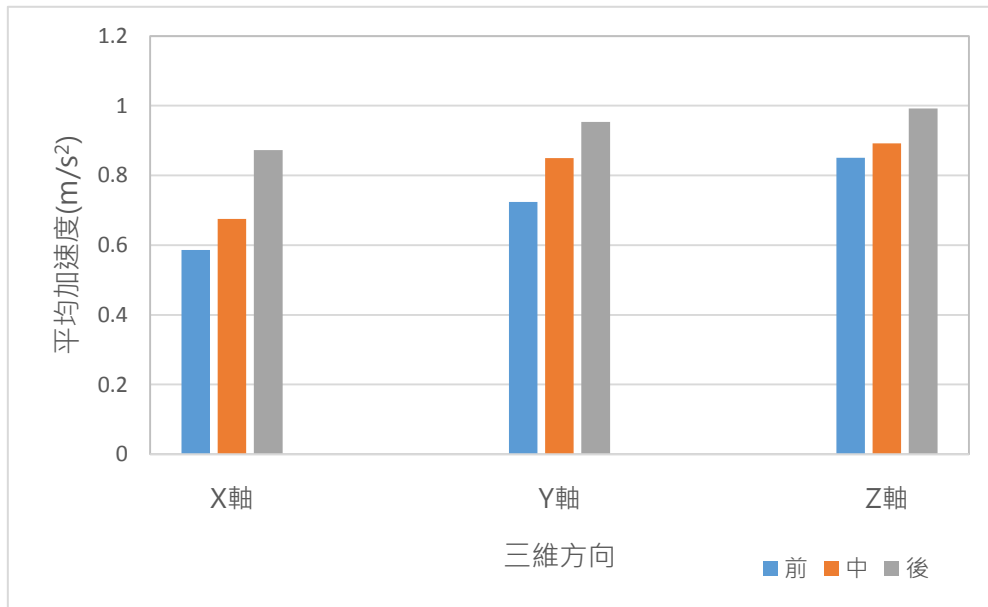
圖二十九：車子右轉時三維方向震動幅度大小關係圖

由圖二十九可知，在右轉時，造成暈車的震動方向是 Z 軸，而 Z 軸震動幅度則以後方為最大，中間次之，前方最小。依此量測結果，我們推論當引擎在後的模型公車在右轉時，坐在後面位置的人最易暈車，坐在前面位置的人較不易暈車。

結果六：測量模型公車在左轉時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

車輛行進方式	車輛移動方向	造成暈車的震動方向
右轉（引擎在後）	前（水平前後）（X 軸） 右（水平左右）（Y 軸）	Z 軸

	X 軸	Y 軸	Z 軸
前面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.586	0.675	0.873
中間位置 加速度大小 (m/s^2)	0.724	0.850	0.954
後面位置 加速度大小 (m/s^2)	0.851	0.892	0.992

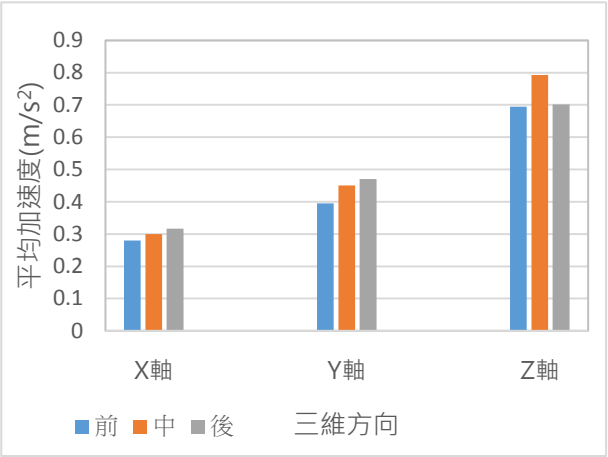


圖三十：車子左轉時三維方向震動幅度大小關係圖

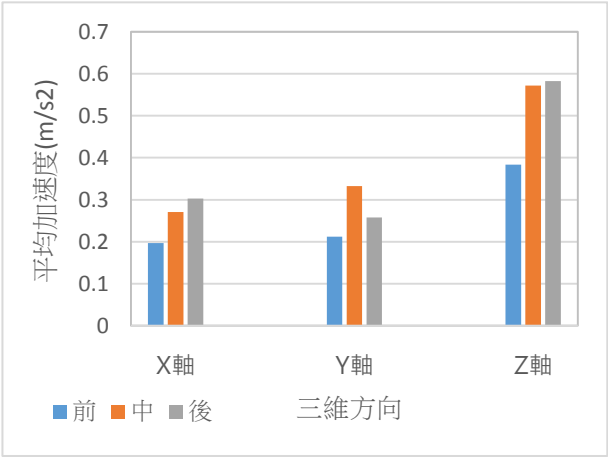
由圖三十可知，在左轉時，造成暈車的震動方向是 Z 軸，而 Z 軸震動幅度則以後方為最大，中間次之，前方最小。依此量測結果，我們推論當引擎在後的公車在左轉時，坐在後面位置的人最易暈車，坐在前面位置的人較不易暈車。

4、《比較實際公車與模型公車》

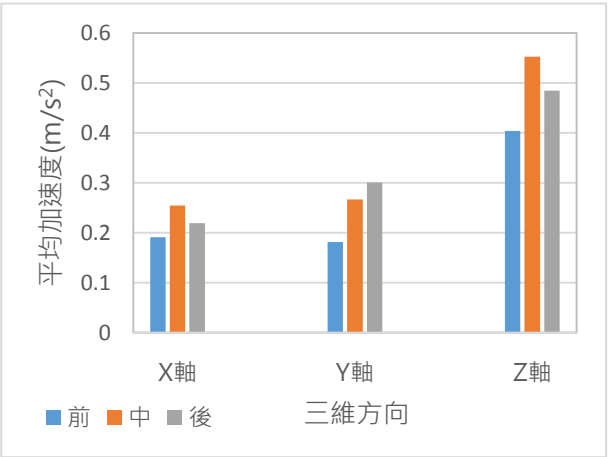
結果七：測量實際公車以不同行進方式在道路上行駛時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度



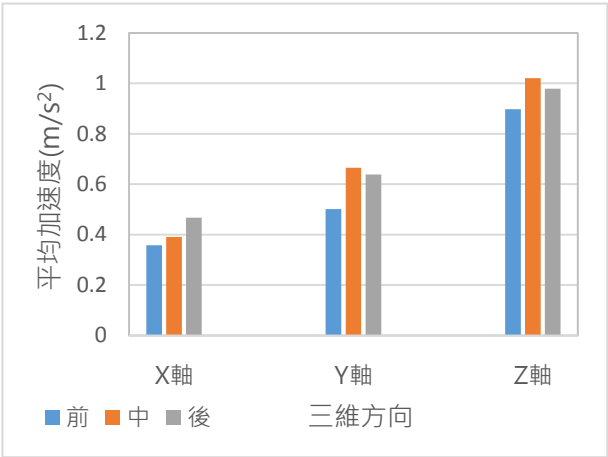
圖三十一：實際公車直走三維方向震動幅度大小關係圖



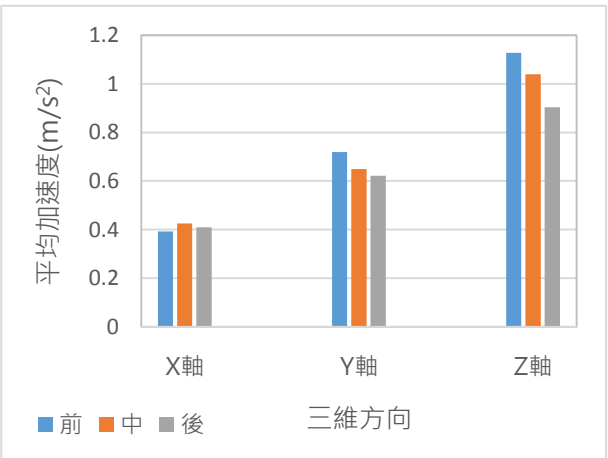
圖三十二：車子左轉三維方向震動幅度大小關係圖



圖三十三：實際公車右轉三維方向震動幅度大小關係圖



圖三十四：實際公車上坡三維方向震動幅度大小關係圖



圖三十五：實際公車下坡三維方向震動幅度大小關係圖

我們檢查產生「知覺衝突」的維度，判斷車子前、中、後位置的震動情況，並製作一比較表如下：

表四：實際公車與模型公車實驗結果比較表

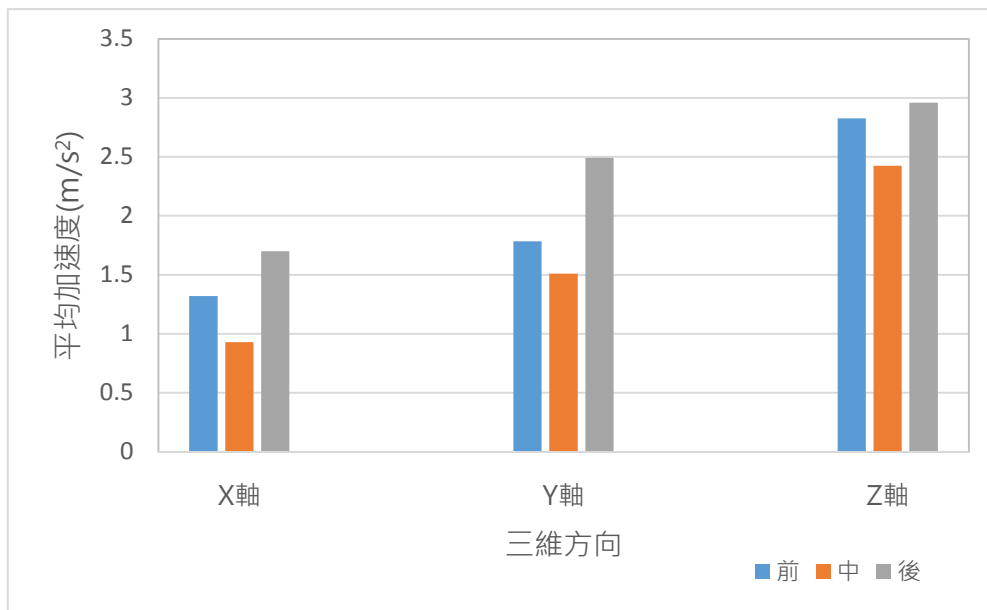
	震動幅度	震動最小之處	震動最大之處
直走（引擎在後） （採計 Y、Z 軸）	模擬	前	後
	實測	前	中、後
左轉 （採計 Z 軸）	模擬	前	後
	實測	前	後
右轉 （採計 Z 軸）	模擬	前	後
	實測	前	中
上坡 （採計 Y 軸）	模擬	前	中
	實測	前	中
下坡 （採計 Y 軸）	模擬	後	前
	實測	後	前

我們綜合比較結果可知：不同行進方式中，震動最小的位置大多是前面，僅下坡時震動最小位置是後面。在震動最大之處，模擬實驗和實測的結果有些微差別，直走與右轉時，實際公車中間震動較大，我們推測不同路況震動情形不同，而實際路況較為複雜，可能造成不規則震動。整體而言，我們所做的模擬公車實驗與實際公車測量結果十分相近，可以互相支持彼此所得的結果，模擬實驗有其參考性。

5、《改變引擎位置實驗》

結果八：測量沒有放置引擎的模型公車直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動

	X 軸	Y 軸	Z 軸
前面位置 加速度大小 (m/s^2)	1.408	1.975	3.083
中間位置 加速度大小 (m/s^2)	0.977	1.589	2.523
後面位置 加速度大小 (m/s^2)	1.768	2.614	3.118



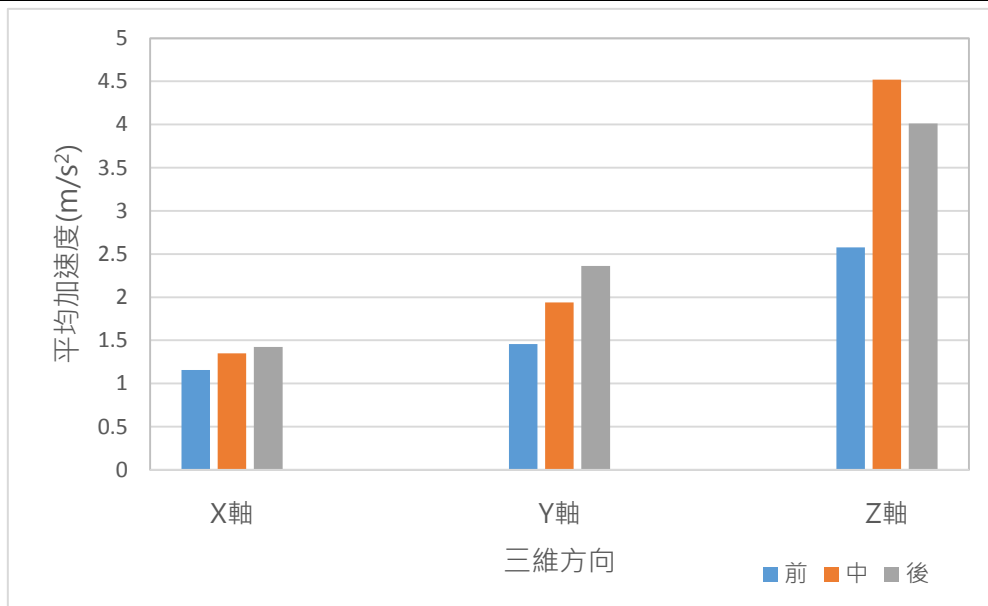
圖三十六、直行沒有引擎時三維方向震動幅度大小關係圖

由圖三十六可知，當沒有引擎的公車在直行時，Y、Z 軸的震動幅度則以後方最大，前方次之，中間最小。依此量測結果，我們推論重量平均分配的公車在直行時，後方位置震動幅度最大，而中間位置震動幅度最小。

結果九：測量引擎放在前方的模型公車直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動幅度

車輛行進方式	車輛移動方向	造成暈車的震動方向
直走（引擎在前）	前（水平前後）（X 軸）	Y 軸、Z 軸

	X 軸	Y 軸	Z 軸
前面位置 加速度大小 (m/s^2)	1.155	1.349	1.424
中間位置 加速度大小 (m/s^2)	1.455	1.937	2.362
後面位置 加速度大小 (m/s^2)	2.576	4.520	4.012

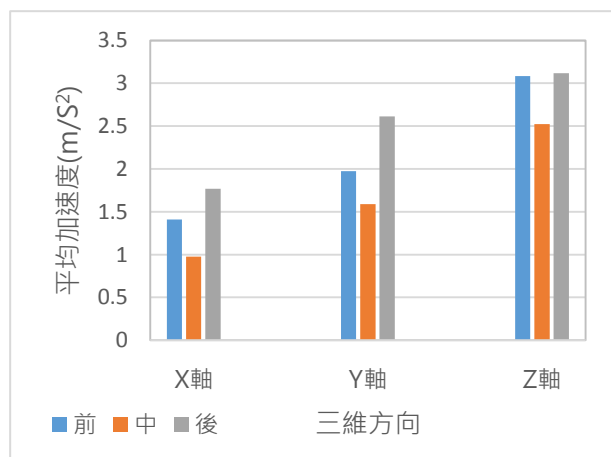


圖三十七：引擎在前方的車子直行時三維方向震動幅度大小關係圖

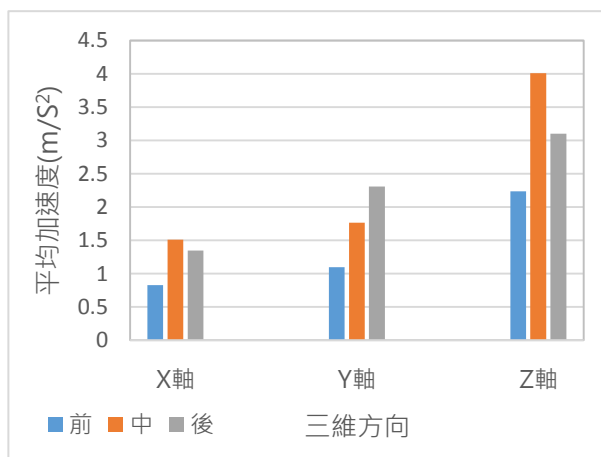
由圖三十七可知，當引擎在前方的公車在直行時，Y 軸的震動幅度以後方最大，中間次之，前方最小；而 Z 軸的震動幅度則以中間最大，後方次之，前方最小。依此量測結果，我們推論當前置引擎的公車在直行時，坐在前方位子的人較不容易暈車。

比較：不同引擎位置的模型公車直行時，車內前、中、後三個位置的三維空間震動

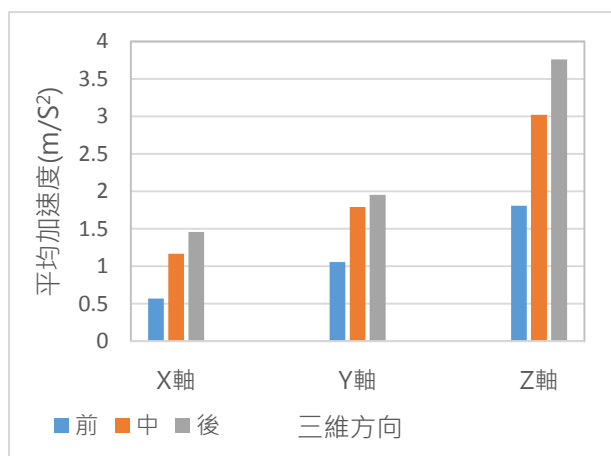
	震動最大處	震動最小處
直走（引擎在後）	後	前
直走（引擎在前）	中、後	前
直走（沒有引擎）	後	中



圖三十八：車子直走時三維方向震動幅度大小關係圖（無模擬引擎）（對照組）



圖三十九：車子直走時三維方向震動幅度大小關係圖（模擬引擎在前方）

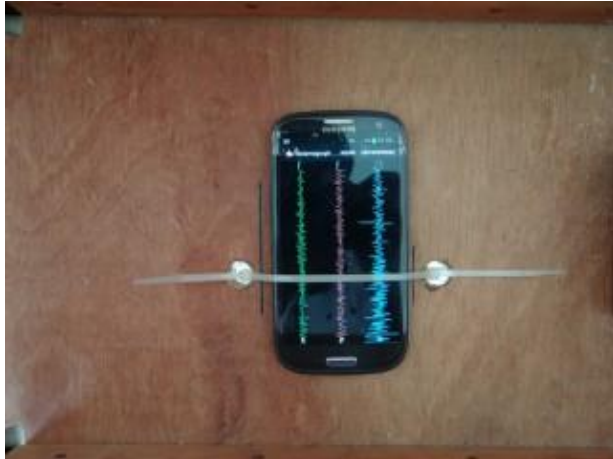


圖四十：車子直走時三維方向震動幅度大小關係圖（模擬引擎在後方）

從三張圖比較推論：重量平均的模型公車，輪子兩端前後面震動較大，若後面較重後面震動較大。圖三十九與圖四十相互比較：前面重量增加，前方震動幅度增加，但仍以後面位置震動幅度最大，可能與車子重量不平均，車頭被控制住為主要因素，前面震動仍最小。經過以上的比較，我們認為引擎的位置仍可能會影響模型公車三維方向的震動情形。

陸、討論

- 一、我們使用電鑽鑽孔，用束線帶穿過孔洞，將手機固定在模型公車上（如圖四十一），單純測量行進所造成的震動。所得之結果忽略了人體在座位上的吸震效果、公車避震器等減震因素，實際搭乘公車時，人體感受應該更為舒適。



圖四十一：手機放置方式

- 二、因使用的手機中有二支相同的品牌、型號，另一支品牌、型號均不相同，我們擔心加速度感應器的敏感度會有些微差距，故將手機輪調前中後三個位置，以避免不同手機所產生的儀器誤差。
- 三、**實驗結果總結**：在各種行進方式下，上下方向（Z 軸）之震動均最為劇烈。推斷其原因為：本實驗設計均以固定方向前進，且實驗過程擷取中段路程之數據，故大致排除煞車或地面不規則所造成的左右及前後晃動，導致上下震動較明顯。
- 四、**不同路面直行**實驗時，Y、Z 兩軸震動為易造成暈車震動之方向，由結果一發現：
- (一)地磚地面最平滑，中間震動幅度小，後面震動幅度最大，推論其原因為：模型公車前後有輪子，中間相對穩定，後面有引擎質量大，撞擊地面的作用力大，地面給車子的反作用力也較大，所以造成車子後面的震動幅度會較大。
 - (二)連鎖磚地面起伏大，中間震動幅度小，前後面震動幅度大增，推論其原因為：模型公車行進有彈跳感，兩輪中間，相對穩定，前後震動幅度大。
 - (三)小石子路面小幅度凹凸，前面震動小，後面震動最大，推論其原因為：模型公車後方質量大，震動幅度較大。而前面車頭被電動馬達車控制住，震動幅度較小。
- 五、**上、下坡實驗**時，Y 軸震動為易造成暈車震動之方向，由三、四發現：
- (一)上坡時，前面震動幅度最小，中間震動幅度最大，推論其原因為：電動馬達車拉力與下滑力相反，前面車頭被控制住，震動幅度小，後面質量大正向力大，左右方向摩擦力大，不易晃動，故中間震動幅度大。

(二)下坡時，後面震動幅度最小，前面震動幅度最大，推斷其原因為：下坡時，電動馬達車與下滑力相同，前方正向力小，Y 軸方向較不穩定，震動幅度最大，後方正向力大，震動幅度最小。

六、右、左彎實驗時，Z 軸震動為易造成暈車震動之方向，由結果五、六發現右、左轉時均是前面震動幅度最小，後面震動幅度最大，推論其原因為：車子平面行走，引擎位置還是主要影響因素，後方質量大，撞擊地面的力量大，震動幅度較大，而車頭為控制模型公車方向的地方，導致前方震動較小。

七、改變引擎位置是為了驗證引擎位置影響震動幅度的想法，直走實驗，Y、Z 軸震動為易造成暈車震動之方向，由結果八、九發現：

(一)沒有引擎(對照組)，中間震動幅度最小，後面震動幅度最大，推斷其原因為：模型公車前後有輪子，中間相對穩定，前面被控制住，故後面震動幅度較大。

(二)引擎在前，前面震動幅度最小，Y 軸後面震動幅度最大，Z 軸中間震動最大，推斷其原因為：因為磚頭放置位置在前中兩個手機之間，前面雖重量增加，但被馬達車控制住方向，故前面震動幅度仍最小，後面正向力小，Y 軸震動較大，中間正向力變大，Z 軸震動變大。

八、實際公車行駛於路面震動的變異度頗大，我們簡化實驗可歸納推論出造成震動大小的可能原因：

(一)前面位置：車頭為控制車身方向導致震動小，公車輪子前後兩側震動大。

(二)中間位置：公車前後車輪之間，中間震動小；中間位置正向力較小，Y 軸方向易搖晃。

(三)後面位置：公車車輪前後兩側震動大，引擎重量造成 Z 軸震動大，Y 軸搖晃減少。

每個位置影響震動幅度的原因有很多種，根據不同的行進方式及路況，影響比重不盡相同。

九、經由實驗結果，我們推測公車前後兩輪的距離可能會影響震動幅度大小，但當初模型公車的輪子已經固定，無法再改變輪子位置，前後輪的距離可以作為未來設計實驗的方向。

十、一般而言，大家普遍認為坐在公車的前座較不易暈車，我們利用知覺衝突的理論進行實驗，結果跟一般大眾普遍的認知相近。我們發現當公車直行、上坡、左轉及右轉時，公車前座震動的幅度確實是最小的，也較不容易暈車；但如果公車在下坡時，公車後方的座位才是震動幅度最小也最舒適的地方。

柒、結論

- 一、根據文獻探討得知，「視覺」、「本體感覺」、內耳的「前庭」是控制人體平衡的三大要素。若視覺和平衡感不一致或震動刺激太過強烈可能會造成的「知覺衝突」，發生噁心、嘔吐、冒冷汗、頭昏腦脹等暈車症狀。
- 二、根據實驗結果，地磚路面（非常平坦）、連鎖磚地面（規律凹凸）均是中間震動幅度較小，小石子路面則是前面震動幅度較小，不同路面可能導致車子震動情形不同，而小石子路與柏油路最為相近，故作為我們的實驗場地。
- 三、模型公車直行於平面道路、上坡路面時，造成暈車的震動方向以前面位置震動幅度最小，中間後面震動幅度較大。下坡路面時，反而是後面位置震動最小，前面位置震動幅度最大。
- 四、模型公車於平面道路左轉、右轉時，Z 軸震動易造成暈車，根據實驗結果，均是前面位置的震動幅度最小，後面位置震動幅度最大。
- 五、我們比較模擬公車實驗與公車實測所得的結果，造成暈車的震動方向，前面位置震動幅度最小，中間、後面位置震動較大；下坡直行時，反而是後面震動幅度最小，前面震動幅度較大。
- 六、引擎位置可能會影響公車震動幅度，但是仍須看整體公車重量分配而定。引擎在後方時，後面位置震動最大，引擎位置在前方時，前面震動幅度增加，但仍為後面震動最大。重量不平均的公車，前方被控制住，故前面震動較小，後面震動較大。
- 七、我們歸納出容易暈車的人在選擇座位時的簡易原則：平時選擇前面的座位，下坡時反而要選擇後面的座位。
- 八、根據實測與模擬實驗的結果，我們歸納出公車中間和後方的座位震動較大，人體感受舒適度較差，可考慮改為物品放置處。前方舒適度高，若需設立博愛座可考慮設置於此。

捌、參考資料及文獻

- 一、Alan Moorehead (1996)。翻譯：楊玉齡。達爾文與小獵犬號。臺北市：天下遠見。
- 二、力與運動。國中自然與生活科技第五冊。翰林出版社。
- 三、吳承儒、楊芸甄、洪暉詞 (2011)。危機自陷-臺灣高鐵差異沉陷的新測量方法。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會科展作品。
- 四、李旺祚 (1990)。新編 GUYTON 生理學下冊 (788-799 頁)。合計圖書出版社。
- 五、沈麗惠 (1986)。聽覺與平衡。佳慶百科彙集-人類 I (676-677 頁)。臺北市：佳慶文化事業。
- 六、松村讓而 (2009)。圖解人體地圖 (136-143 頁)。臺北市：暢文。
- 七、松村讓而 (2011)。翻譯：高淑珍。謎樣的身體 圖解 從頭到腳全包了 (69-71 頁)。臺北市：五南。
- 八、林茂村修訂 (1988)。解剖生理學 (292-293 頁)。臺北市：徐氏基金會。
- 九、林校群 (2013)。為甚麼會暈車？地球公民 365，90，46-49。
- 十、身體協調作用。國中自然與生活科技第一冊。南一書局。
- 十一、張吳雄 (1989)。為什麼有的人會暈車暈船？科學百科全書 (840-841 頁)。臺北市：暢文。
- 十二、楊怡祥 (1995)。眩暈招待 (12-25 頁，142-148 頁)。臺北市：時報。

【評語】 030816

結合知覺頭暈及車輛震動作為研究主題，縮小的模型及三隻手機量測不同部位的加速度及震動振幅，討論方面仍有許多的空間，例如暈車跟震動的關聯只有振幅、頻率該列入嗎？剎車是可以考慮的因子等。