



# 數學解題中的腦波特徵：以代數為例



黃思宇 廖唯鈞

指導教授：王子華

## 引言

- 認知負荷理論指出，學習材料的難度增加時，認知負荷也會隨之增加
- 本實驗以三種不同難度的二元一次聯立方程式作為刺激材料
- 以題目呈現的流程與時間差異作為額外的認知負荷

## 受試者與實驗設備

- 實驗受試者以網路問卷招募
- 共49位大學生及研究生，包含30位男性及19位女性
- 受試者年齡介於20~30歲之間，平均年齡22.04歲
- 使用E-prime3.0 軟體研究材料呈現及行為資料收集
- 腦波資料以32通道的腦波帽配合Curry 8.0 軟體進行收集

## 刺激材料

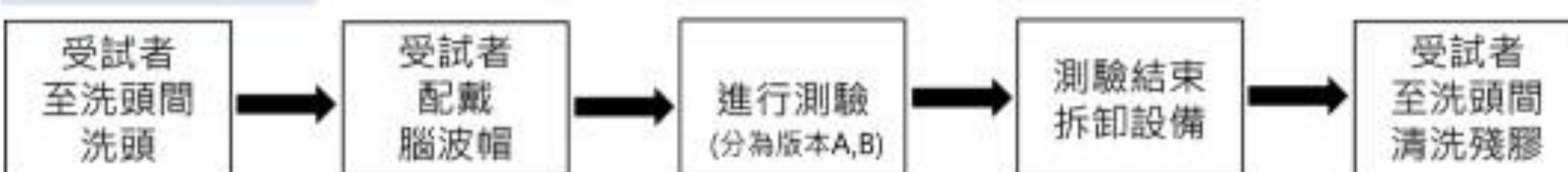
- 分為三種不同難度之題目(簡單、中等、困難)
- 皆為二元一次聯立方程式唯一解之題型
- 以白底黑字的方式呈現於螢幕中央

難度	簡單	中等	困難
題目範例	$\begin{cases} x + y = 2 \\ 2x + y = 3 \end{cases}$	$\begin{cases} x + 3y = 34 \\ 5x + 3y = 62 \end{cases}$	$\begin{cases} 7x - 6y = -4 \\ 6x - 7y = -9 \end{cases}$

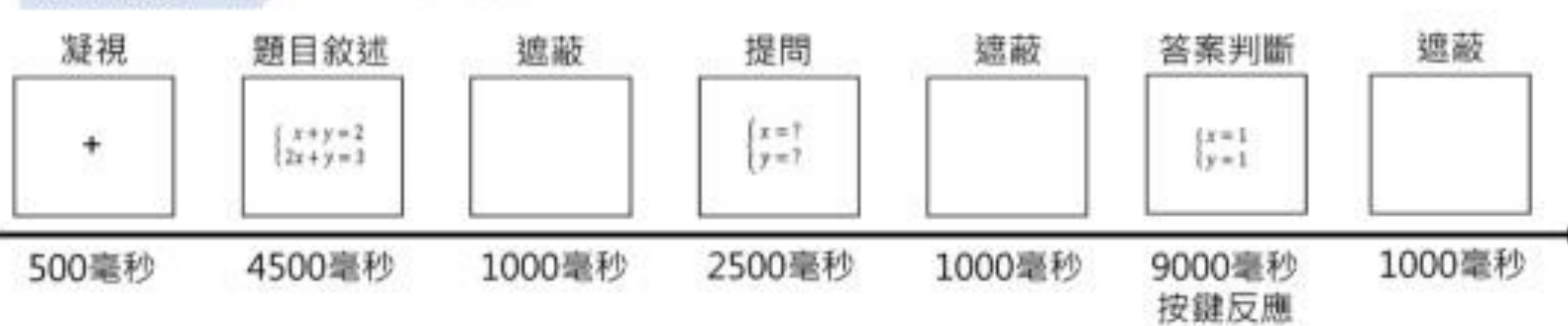
## 實驗流程

- 受試者判斷透過電腦螢幕所呈現之二元一次聯立方程式之題目與其所對應之方程式解是否相符，並透過電腦鍵盤進行作答
- 實驗分為兩階段，每階段題目總數相同，單一階段90題
- 單一階段中，三種題目難度將混和隨機呈現，每種難度各30題
- 過程當中不會提供紙筆進行計算輔助，只能以心算方式進行實驗

### 整體實驗流程



### 測驗版本 A 3種難度隨機出現，循環90題



### 測驗版本 B 3種難度隨機出現，循環90題



## 結果分析

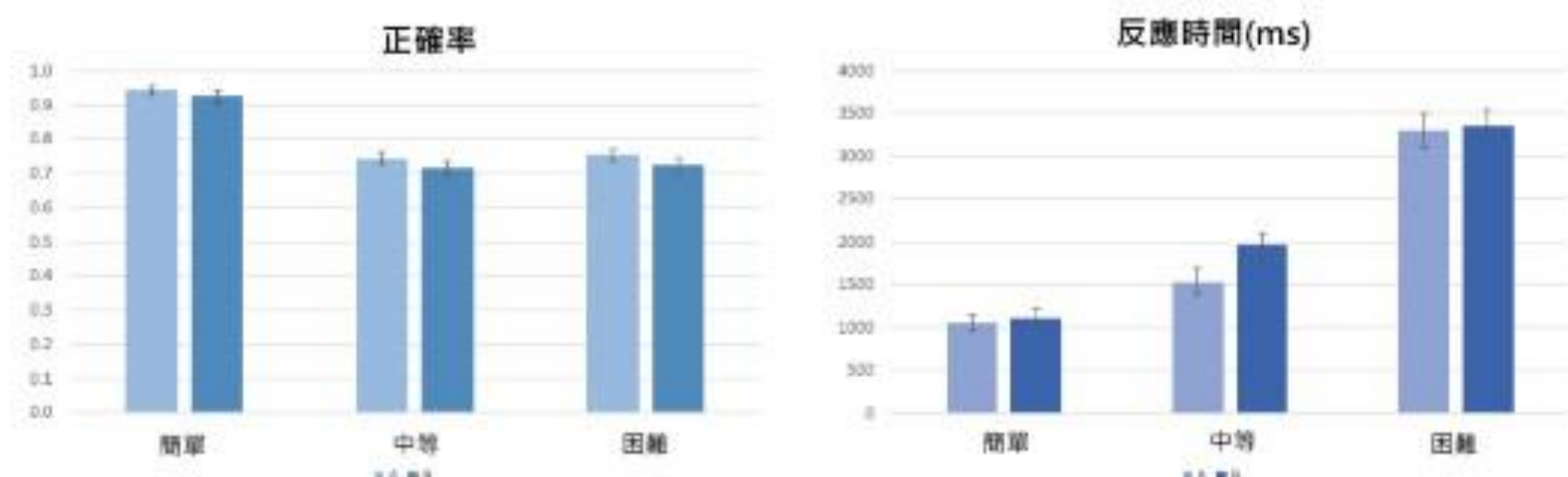
- 行為資料
  - a) 以SPSS統計軟體進行二因子變異數完全受試者內ANOVA分析
  - b) 將正確率及反應時間作為分析指標
- 腦波資料
  - a) 採用P7通道作為分析標的(答案判斷階段、P3(300~500ms之平均振幅))
  - b) 統計部分以SPSS統計軟體進行二因子變異數完全受試者內ANOVA分析
  - c) ERP資料以Matlab的eeglab與ERPLab插件做後續分析

## 行為表現

- 正確率：主要效果顯著  
[版本因子 $F(1,51)=5.815, p=.02$ 、難度因子 $F(2,102)=94.116, p<.001$ ]  
a) 版本因子：A版本(Mean=0.785, SE=0.24) > B版本(Mean=0.761, SE=0.24)  
b) 難度因子：簡單(Mean=0.901, SE=0.27) > 中等(Mean=0.704, SE=0.24) = 困難(Mean=0.714, SE=0.25)
- 反應時間：主要效果顯著  
[版本因子 $F(1,51)=8.713, p=.005$ 、難度因子 $F(2,102)=171.942, p<.001$ ]  
交互作用顯著 $[F(2,102)=11.906, p<.001]$

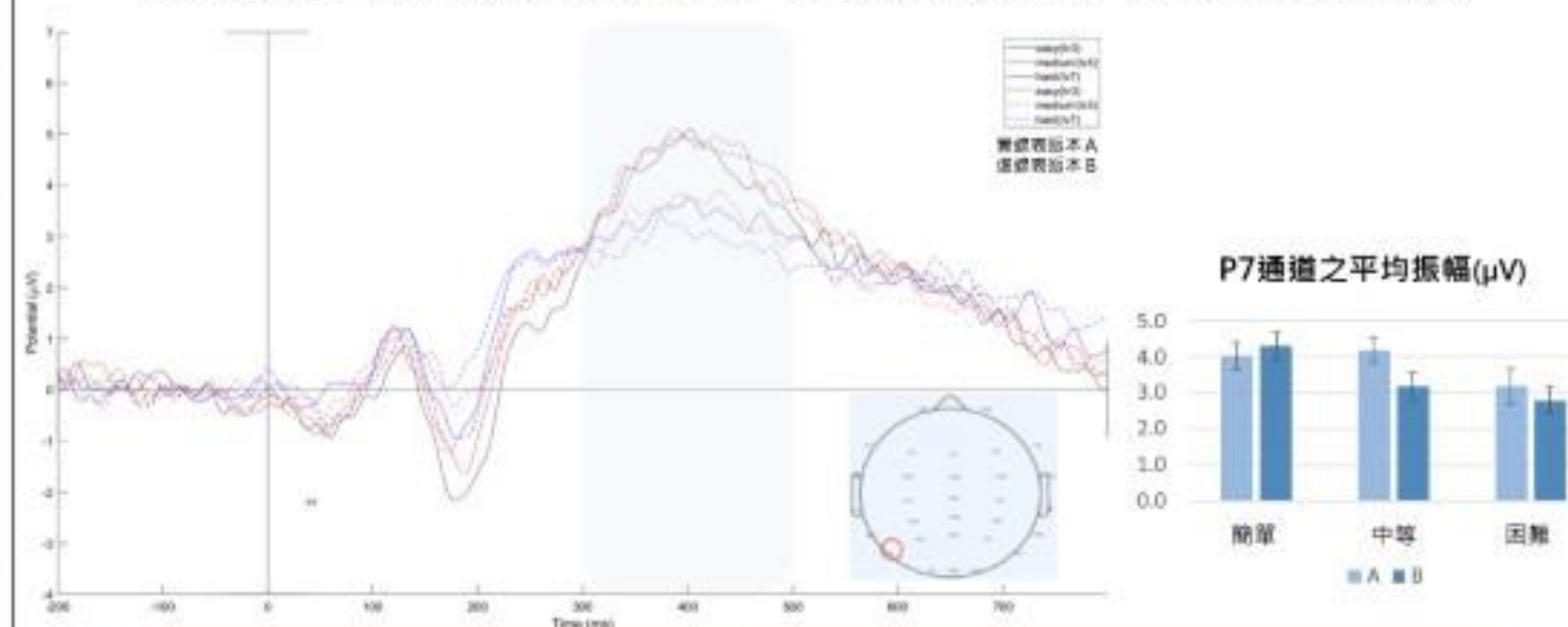
- 對反應時間做單純主要效果：(單位：ms)

- a) A版本：  
簡單(Mean=1061.83, SE=103.85) < 中等(Mean=1539.76, SE=139.97) < 困難(Mean=3302.0, SE=185.56)
- b) B版本：  
簡單(Mean=1114.9, SE=95.58) < 中等(Mean=1971.40, SE=160.51) < 困難(Mean=3357.5, SE=203.91)
- c) 中等難度：A版本(Mean=1539.76, SE=139.97) < B版本(Mean=1971.40, SE=0.49)



## ERP表現

- 分析結果 (P3平均振幅):  
難度因子主要效果顯著 $[F(2,94)=14.315, p<.001]$   
交互作用顯著 $[F(2,94)=3.439, p=0.036]$
- 單純主要效果：(單位： $\mu V$ )  
a) 版本A：簡單(Mean=4.01, SE=0.37) = 中等(Mean=4.17, SE=0.34) > 困難(Mean=3.18, SE=0.49)  
b) 版本B：簡單(Mean=4.28, SE=0.39) > 中等(Mean=3.18, SE=0.38) = 困難(Mean=2.79, SE=0.37)



## 總結與討論

- 行為表現：
  - a) 正確率：B版本整體 < A版本，顯示時間所產生得負面影響
  - b) 反應時間：簡單及困難難度沒有因版本不同而有顯著差異；中等難度表現會因版本會有不同，其中在版本B當中花費時間較長(約400ms)
- 腦波表現：
  - a) 在P7通道分析單純主要效果發現，中等難度的表現會根據測驗階段不同而有差異：在A版本中振幅與簡單難度較為接近，在B版本的表現上則更趨近困難難度
  - b) 在單純主要效果分析中，中等難度雖未達顯著差異，但B版本因時間壓縮(3.5秒)導致振幅縮小
- 兩階段的最大的差異在於測驗階段之時間長度
  - a) 根據行為及腦波的結果，時間的因素(壓縮)會成為影響答題表現的關鍵——因此本研究建議時間應該被考量為外在認知負荷的影響因子

### 參考資料

- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Clark, R., Nguyen, F., and Sweller, J. (2006). Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load, San Francisco: Pfeiffer. ISBN 0-7879-7728-4.