

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班
碩士論文

指導教授：楊芳瑩 博士

以眼球追蹤技術探討先備知識、閱讀歷程以及科學閱讀理解的關係

Using eye tracking technology to explore the relations among prior knowledge, reading process and science-text comprehension

研究生：王琇伶 撰

中華民國 一零四 年 六 月

誌謝

此篇論文的完成得之於人者太多，首先，感謝指導教授楊芳瑩老師，老師給予的指導與身、心靈上的支持，是我完成此篇論文的最大推手。同時，老師也給我很大的自由度，讓我能在研究所的課程與論文研究之外，還能修習教育學程以及進行生涯探索，讓我在就讀研究所的過程中，更確立自己未來的志向。

除了指導教授外，也感謝洪逸文老師、陳建廷老師以及師大化學系的邱智宏教授，謝謝你們在此研究施測過程的支持，特別是在試題設計與評分規準設計上的專業協助。在此，也為因施測進行而帶來的不便向老師們表達歉意。另外，感謝此研究的受試者們，因為有你們的參與才能讓此研究順利進行與完成。

接下來要感謝的是楊老師研究室的夥伴們：靜文姊、怡君學姊、俐陵學姊還有育芬，無論是在儀器操作的協助、論文與課程內容的討論、行政事務的處理、施測進行的陪伴……等等，都受到研究室同伴的大力協助，除了以上的支持外，也謝謝你們給予我經驗的傳授與分享，讓我在面對困難與低潮時，能夠快速地克服難關。

此外，亦感謝碩士班的朋友們：子深、緯宏、郁欣、毅中、上維……，在修習研究所課程、教育學程以及論文研究的過程，都受到了你們的幫忙，尤其是修課及所上事務的資訊分享，讓我不致於脫節；另一方面，因為有你們的陪伴與課外活動的邀請，讓我的研究所生活更加地豐富。

最後，感謝我的家人們，不僅僅是經濟上的支持，亦是我精神上的支柱，讓我能心無旁騖地完成碩士學位。總而言之，此篇論文並非以我一己之力即能完成，謝謝所有曾經協助、關心我的人們，因為你們，我才能順利完成這個學習階段，邁向未來。

摘要

對於大部分的學生來說，閱讀科學文本是學習科學知識的主要方法與來源，然而學生在科學文本的閱讀理解表現各有不同，若能了解學生的先備知識對於閱讀歷程以及科學閱讀理解的影響，將有助於促進學生的科學學習成效。在本研究中，首先測驗 40 位高中受試者對施測文本相關概念的理解程度，並以眼球追蹤技術記錄受試者閱讀科學文本的歷程，最後使用理解測驗測試受試者對於文本的理解狀況，以了解先備知識、閱讀歷程和閱讀理解間的關係。在資料分析方面，研究者利用前測結果進行變異數同質性分析來區分受試者的先備知識程度，分為高、中、低三組，並且依據分組對眼球追蹤的數據與後測資料進行描述性統計、單因子變異數（one-way ANOVA）分析及平均值等式穩健測試，再以皮爾森相關係數檢定以了解閱讀理解與眼球追蹤數據的相關性。

研究結果發現，先備知識的差異與學生在科學文本上的閱讀理解有關，先備知識高比先備知識低的學生具有較佳的閱讀理解。眼球追蹤的數據顯示，先備知識與學生在閱讀「研究方法」的平均凝視時間、「根據資料而形成之科學推論與解釋」的回視次數、「預測模式圖」與「預測模式關鍵圖區」的平均凝視時間、「預測模式圖」的第一次閱讀凝視時間、「數據趨勢」文字描述的總閱讀時間與總凝視時間、第一次凝視時間等眼動形式有關。閱讀理解與眼球追蹤數據的相關分析發現，讀者的視覺注意力分配與閱讀理解具有相關性，整體、文本內容閱讀理解較佳且能應用文本概念於不同情境下進行推論與解釋之讀者針對文章中「數據趨勢」的文字描述具有較少的視覺注意力分配，並在「背景知識」文字描述、「根據資料而形成之科學推論與解釋」有較多的回視次數，在「背景知識圖」有較少的第一次閱讀凝視時間，顯示閱讀理解層次較高的學生會有較多的訊息整合以幫助閱讀理解。

關鍵字：科學文本、先備知識、眼球追蹤、閱讀歷程、閱讀理解

Abstract

There were three purposes of this study: one was to explore the relation between reader's prior knowledge and science-text comprehension, another was to investigate the association between reader's prior knowledge and reading process, the other was to explore the relation between reader's reading process and science-text comprehension. Participants were forty senior-high students whose eye movements were recorded by the eye tracking system as they were reading a popular science article adopted from Scientific American. They were separated into three groups by the prior knowledge test. The article discussing the ocean acidulation contains text and graphic information. It was presented as 9 slides displayed on the computer screen. After reading the article, students were given a posttest for assessing their text comprehension. One-way ANOVA and Pearson correlation analysis were employed for data analysis. One-way ANOVA indicated that students with medium prior knowledge, compared to those with low prior knowledge, displayed higher visual attention to the text zone about research methods, trends of data, scientific inference and explanations based on data, and in prognostic chart. Those with high prior knowledge demonstrated less early information processing on the text zone about trend of data and prognostic chart. The correlation analyses demonstrated that students who showed higher science-text comprehension paid less visual attention to the text zone of the data trend, and displayed less early information processing on the graph of background knowledge. Meanwhile, they would show more later information processing including re-reading on the text zone about background knowledge, and scientific inference and explanations based on data. It was concluded that the students of higher text comprehension were more able to integrate relevant information.

Key words: science-text, prior knowledge, eye-tracking, reading process, reading comprehension

目錄

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的與待答問題.....	2
第三節 研究範圍與研究限制.....	3
第四節 研究的重要性.....	4
第五節 名詞解釋.....	4
第二章 文獻探討.....	7
第一節 先備知識和文本閱讀理解.....	7
一、純文字文本之閱讀理解模式.....	8
二、多重形式文本之閱讀理解模式.....	10
第二節 眼球追蹤技術.....	11
一、眼球追蹤技術之原理.....	11
二、眼球追蹤技術的應用與眼動指標.....	12
第三節 應用眼球追蹤技術探究先備知識與科學閱讀歷程，以及科學閱讀歷程與理解之關係.....	14
一、先備知識與閱讀歷程之關係.....	14
二、科學閱讀歷程與理解之關係.....	15
第三章 研究方法.....	17
第一節 研究對象.....	17
第二節 研究工具.....	18
一、軟、硬體設備.....	18
二、閱讀材料.....	19
三、紙筆測驗.....	20
第三節 研究設計與施測流程.....	21
一、先備知識測驗（前測）.....	22
二、眼動儀器的校正.....	22
三、閱讀施測材料.....	22
四、閱讀理解測驗（後測）.....	23
第四節 資料分析.....	23
一、先備知識測驗之結果與分組.....	24

二、先備知識與閱讀理解測驗之分析.....	25
三、先備知識與閱讀歷程之分析.....	26
四、閱讀歷程與閱讀理解之分析.....	30
第五節 研究歷程.....	30
一、研究工具的準備.....	30
二、正式施測.....	32
三、結果和資料分析.....	32
第四章 資料呈現與分析.....	33
第一節 先備知識測驗結果與分組.....	33
第二節 先備知識與閱讀理解測驗之分析.....	35
一、閱讀理解測驗結果.....	35
二、先備知識與閱讀理解之變異數分析.....	36
第三節 先備知識與閱讀歷程之分析.....	38
一、先備知識與所有頁面眼動資料之交叉分析.....	39
二、先備知識與各區域眼動資料之交叉分析.....	40
第四節 閱讀歷程與閱讀理解之分析.....	55
一、閱讀理解測驗與所有頁面眼動資料之相關分析.....	56
二、閱讀理解測驗與「研究目的」眼動資料之相關分析.....	56
三、閱讀理解測驗與「研究方法」眼動資料之相關分析.....	57
四、閱讀理解測驗與「數據趨勢」眼動資料之相關分析.....	58
五、閱讀理解測驗與「根據資料而形成的科學推論與解釋」眼動資料之 相關分析.....	60
六、閱讀理解測驗與「預測模式」眼動資料之相關分析.....	61
七、閱讀理解測驗與「背景知識」眼動資料之相關分析.....	62
第五章 綜合討論與展望.....	66
第一節 研究結果與討論.....	66
一、先備知識測驗與分組之結果討論.....	66
二、先備知識與閱讀理解測驗之分析結果討論.....	67
三、先備知識與閱讀歷程的分析結果討論.....	68
四、閱讀歷程與閱讀理解之相關分析結果討論.....	70
五、待答問題之回應.....	76
第二節 教育上的意涵.....	79
第三節 未來展望.....	80
參考文獻.....	82
附錄一 先備知識測驗.....	87
附錄二 閱讀理解測驗.....	88
附錄三 先備知識評分規準.....	90
附錄四 閱讀理解測驗評分規準.....	92

附錄五 各頁面文本區域分類.....	95
--------------------	----



圖目錄

圖 2-1.1	純文字文本之閱讀理解模式.....	8
圖 2-1.2	多重形式文本之閱讀理解模式.....	10
圖 3-1.1	硬體設備與接線示意圖.....	19
圖 3-3.1	施測流程圖.....	23
圖 3-4.1	先備知識分組之閱讀理解測驗分數統計流程圖.....	26
圖 3-4.2	各文本區域劃分之範例.....	28
圖 3-5.1	準備研究工具之流程圖.....	31
圖 4-1.1	先備知識測驗分數分布圖.....	33
圖 4-2.1	閱讀理解測驗分數分布圖.....	35
圖 4-3.1	(a)高先備知識組、(b)中先備知識組、(c)低先備知識組之眼動軌跡圖	38



表目錄

表 2-2.1	眼球移動的類型與指標的規準.....	13
表 3-1.1	研究樣本人數資料.....	18
表 3-4.1	先備知識測驗評分規準.....	24
表 3-4.2	閱讀理解測驗評分規準.....	25
表 3-4.3	各區域類別之主要闡述內容與定義.....	27
表 3-4.4	本研究所使用之眼動指標說明.....	29
表 4-1.1	先備知識測驗分數之描述性統計.....	34
表 4-1.2	先備知識分組之統計結果.....	34
表 4-2.1	閱讀理解測驗分數之描述性統計.....	36
表 4-2.2	各先備知識組別之閱讀理解測驗分數的統計結果.....	37
表 4-3.1	各先備知識組別之所有頁面眼動資料的統計結果.....	39
表 4-3.2	各先備知識組別之「研究目的」眼動資料的統計結果.....	40
表 4-3.3	各先備知識組別之「研究方法」眼動資料的統計結果.....	42
表 4-3.4	各先備知識組別之「數據趨勢(文)」眼動資料的統計結果.....	43
表 4-3.5	各先備知識組別之「大氣數據趨勢圖」眼動資料的統計結果.....	45
表 4-3.6	各先備知識組別之「海洋數據趨勢圖」眼動資料的統計結果.....	46
表 4-3.7	各先備知識組別之「數據趨勢」圖文交互閱讀的統計結果.....	46
表 4-3.8	各先備知識組別之「根據資料而形成之科學推論與解釋」眼動資料的統計結果.....	47
表 4-3.9	各先備知識組別之「預測模式」眼動資料的統計結果.....	48
表 4-3.10	各先備知識組別之「預測模式關鍵圖區」眼動資料的統計結果.....	50
表 4-3.11	各先備知識組別之「預測模式全圖區」眼動資料的統計結果.....	51
表 4-3.12	各先備知識組別之「預測模式」圖文交互閱讀的統計結果.....	52
表 4-3.13	各先備知識組別之「背景知識」眼動資料的統計結果.....	53
表 4-3.14	各先備知識組別之「背景知識圖」眼動資料的統計結果.....	54
表 4-3.15	各先備知識組別之「背景知識」圖文交互閱讀的統計結果.....	54
表 4-4.1	閱讀理解測驗分數與所有頁面眼動資料的 Pearson 相關分析結果.....	56
表 4-4.2	閱讀理解測驗分數與「研究目的」眼動資料的 Pearson 相關分析結果.....	57
表 4-4.3	閱讀理解測驗分數與「研究方法」眼動資料的 Pearson 相關分析結果.....	57
表 4-4.4	閱讀理解測驗分數與「數據趨勢」眼動資料的 Pearson 相關分析結果.....	59
表 4-4.5	閱讀理解測驗分數與「根據資料而形成的科學推論與解釋」眼動資料的 Pearson 相關分析結果.....	60
表 4-4.6	閱讀理解測驗分數與「預測模式」眼動資料的 Pearson 相關分析結果.....	61
表 4-4.7	閱讀理解測驗分數與「背景知識」眼動資料的 Pearson 相關分析結果.....	63
表 5-1.1	先備知識分組與眼動資料分析後達顯著之區域、指標與趨勢.....	76
表 5-1.2	閱讀理解與閱讀歷程分析後達(接近)顯著相關之區域、指標與趨勢.....	77

第一章 緒論

此章節將分別敘述本研究的「研究背景與動機」、「研究目的與待答問題」、「研究範圍與限制」、「研究的重要性」與本文中關鍵詞的「名詞解釋」，讓讀者能夠大致上了解本研究的框架、限制與內涵，以及關鍵詞在本研究中的定義。

第一節 研究背景與動機

隨著科技日新月異地進步，學生已經可以藉由各式各樣的媒體、素材獲得科學知識，例如：以科學題材為背景的电影、電視或廣播中播放的科普節目，以及科學相關的新聞、報章雜誌、百科全書、科普書籍、教科書……等，無論是在課堂中或是放學後，學生最常藉由文本進行學習（Verhoeven & Perfetti, 2008）。但不論是教科書或是科普文章都不可能完整呈現閱讀所需的基本科學知識與概念，因此，在閱讀理解的過程中，閱讀者的先備知識即扮演了重要的角色。

過去五十年以來，字彙知識和先備知識被反覆地研究，並且皆指出與文本理解有密切的相關（高麗娟，1993）。許多學者已使用基模理論廣泛地研究先備知識和閱讀理解的關係（Stahl, Jacobson, Davis & Davis, 1989）。而所謂的基模即為個體用以了解周圍世界、吸收知識的認知結構（張春興，1996）。根據基模理論，閱讀者的基模或是其已組織對於世界的知識，會大量地提供閱讀者在理解、學習、記憶文本中觀點上的基礎（Anderson, 1984）。Johnston（1984）也提出具有較多先備知識的人比起較少先備知識者有較好的理解。Ausubel（1968）亦主張影響學生學習的首要因素是先備知識，即有意義的學習是建立在學生能有意義地結合新知識到現有知識結構中。除上述研究外，近期的實證研究亦有相同的結

論，並有部分學者指出先備知識在閱讀理解歷程中所扮演的角色（Kendeou & Broek, 2007；Tarchi, 2010），因此，先備知識在科學文本的閱讀理解和科學學習上的影響是相當重要的。

雖然先備知識與閱讀理解的關係已經被廣泛地研究，但過往的研究方法大多僅利用閱讀理解的紙筆測驗探討先備知識對理解的影響，較少討論其閱讀歷程的情況和差異。此外，傳統進行閱讀相關研究的方法大多以放聲思考（think-aloud）為主，此方法易受到受試者口語表達以及施測者的理解和受試者訊息之一致性的影響，而造成施測的困難和誤差。Veenman等人（2006）指出放聲思考會打擾且會引發思考的過程，使得認知資源從執行初級任務中分心。近年來，隨著眼球追蹤技術（眼動儀）的發展，而能蒐集閱讀者在閱讀過程中的眼球凝視點資料來了解讀者的閱讀歷程，促使與閱讀理解相關的研究有了更明確、有效的方法。眼球追蹤技術較不會打擾讀者的閱讀過程，並且能讓讀者在一般的閱讀情況下進行閱讀（Ariasi & Mason, 2011）。因此，在本研究中，將透過眼動儀對讀者視覺注意力落點與時間的紀錄來探討先備知識的差異對於閱讀歷程與閱讀理解的影響，以及閱讀理解與閱讀歷程的相關性。

第二節 研究目的與待答問題

本研究有三項研究目的，一為透過閱讀理解的紙筆測驗確認讀者先備知識差異與科學文本閱讀理解的關係；二為透過眼球追蹤技術探討不同先備知識的閱讀者在閱讀科學文本的過程中，如何分配其視覺注意力，也就是先備知識的多寡與其閱讀歷程的關係；三為藉由眼球追蹤技術了解閱讀歷程與閱讀理解間的相關性。本研究的閱讀材料包含了地球科學和化學的相關知識，因此，先備知識並非侷限於單一科目的內容，而是包括跨學科的知識。

由上述可知，本研究將了解「不同先備知識的讀者在閱讀科學文本上的理解差異」、「先備知識的多寡與閱讀歷程的關係」以及「閱讀歷程與閱讀理解間的相關性」。因此，針對這三個目的，本研究提出三個研究問題，如下所述：

1. 在閱讀完科學文本後，具有不同先備知識的讀者之閱讀理解狀況為何？
2. 在閱讀科學文本時，具有不同先備知識的讀者，其視覺注意力的分配狀況是否有所差異？
3. 在閱讀科學文本時，讀者的視覺注意力分配狀況與閱讀理解是否具有相關性？

第三節 研究範圍與研究限制

因為受到研究對象與本研究使用的科學文本，以及所設計的研究工具、研究方法的限制，本研究結果在推論上可能會受到某些條件的限制。在此，將本研究的研究範圍與限制列舉如下：

1. 眼球追蹤技術主要是基於 Just 和 Carpenter (1980) 的心眼假設，即眼球的落點就是注意力分配的位置，但仍有小部分會影響注意力分配的其他心理因素，則不在此研究的討論範圍。
2. 本研究的研究對象為高中生，由於不同階段的學生之學習科學時間與廣度會有所差異，因此本研究結果推論到不同學習階段的學生時需較為保守。
3. 本研究之文本形式為說明型文本，且研究材料為科學文本，科學文章的描述方式、對自然現象及相關事物的解釋方式與一般文學文章、小說或故事不同 (Yore & Shymansky, 1991)，故若要推論至其它文本形式（如：論說文）或其他種類的文章（如：反駁式文本）則需要再進一步研究。

第四節 研究的重要性

此節將依據本研究的研究目的、選用的科學文本兩個面向探討此研究的重要性。

1. 本研究將會利用眼動資料對不同先備知識、閱讀理解的受試者進行閱讀歷程的討論與比較，在教育現場中的學生並不一定具有相同的先備知識，假若教師能夠了解學生先備知識的差異與閱讀歷程、閱讀理解的關係，則教師可以在學生閱讀科學文本時，給予學生適當的閱讀指導。
2. 本研究的科學文本取材於《科學人》雜誌，《科學人》雜誌為科普、科學議題、科學概念傳播的媒介之一，其讀者相當多元，而每個讀者所具有的先備知識、閱讀歷程並不完全相同，假若欲讓每位讀者皆能理解文本中的內容，則需考量到讀者的先備知識與閱讀歷程、閱讀理解的關係，如果文本的作者或編輯者能夠將此關係納入文章撰寫與編輯上，應可幫助不同先備知識、閱讀歷程的讀者達到更好的閱讀理解。

第五節 名詞解釋

1. 先備知識

先備知識為學習者在進行學習或閱讀某事物時，其已經具有與之相關的概念、知識，即為學習者已組織過的相關認知結構。本研究中所指的先備知識為受試者在閱讀研究材料前，對於「海洋酸化」、「碳酸鈣補償深度」、「化學平衡-勒沙特略原理」的認知和理解。

2. 視覺注意力

William James (1980) 指出注意力是由心智所控制，在一系列的想法或多種同時出現的物件中，使其中之一以清晰、逼真的形式呈現，並且有知覺地集中、專注在其精髓上。也就是說，視覺注意力是將注意力聚焦在視覺範圍內出現的某個物件上。

3. 閱讀理解

Kintsch (1998) 將理解分為兩個層次：「以文本為主」和「情境模式」，以文本為主是對於文本中呈現訊息的命題表徵，即可將文本中的語意訊息組織成有結構的命題，而情境模式則是需要讀者將文本提供的訊息與其先備知識進行整合後才能達到。本研究的測驗除了以文本為主的閱讀理解外，更加著重於情境模式的層次。

4. 閱讀歷程

在本研究中所稱之閱讀歷程為受試者閱讀研究材料時，透過眼動儀設備所記錄的視覺注意力之分佈狀況與時間。本研究將選取數項眼動指標，如凝視時間、回視次數、圖文交互閱讀等，作為閱讀歷程的表示方式。

5. 凝視點

凝視是在閱讀過程中的短暫停留，凝視點即為閱讀者的雙眼於閱讀時所聚焦、注意、停留的位置。從心眼假設可以知道一般人眼睛凝視的位置，就是認知處理的部分。Rayner (1998, 2009) 指出，一般而言，凝視長度的範圍為 100~500 毫秒，視閱讀材料而定。為避免忽略凝視點，本研究以 100 毫秒為凝視點的基準。

6. 回視

在科學文本中包含許多不同屬性的內容，例如：研究目的、研究方法、

數據趨勢、背景知識等，文本內容依照屬性分類而有不同區域，若讀者依照文章順序閱讀時，因某些因素再回頭閱讀前面區域的文本時，則稱為回視。Rayner (1998) 認為回視通常代表讀者對此部分的資訊進行整合或重新理解語意。即為晚期的訊息處理。

7. 圖文交互閱讀

在此研究中所指的圖文交互閱讀為在同一頁面中之圖片與文字描述間的交叉閱讀。在閱讀具有圖文的科學文本時，若讀者的前一凝視點位於文字區域，而下一凝視點位於圖片區域，則視為一次圖文交互閱讀，相反的，若讀者的前一凝視點位於圖片區域，而下一凝視點位於文字區域亦為一次圖文交互閱讀。

8. 再閱讀凝視時間

因文本會依據屬性而分為不同區域，在讀者第一次進入該區域閱讀後，因故離開至其他區域閱讀，又再次回到該區域的凝視時間即為再閱讀凝視時間，亦屬於晚期的訊息處理。因此，本研究中所指之再閱讀凝視時間是在閱讀文字區域時，除了第一次閱讀的凝視時間外，之後在同一區域的所有凝視時間總和。

第二章 文獻探討

本研究欲探討之問題為先備知識、閱讀歷程和閱讀理解間的影響，並以眼球追蹤技術做為閱讀歷程之研究工具，因此，在文獻探討的這個章節，將回顧三部分的相關文獻，一為先備知識和文本閱讀理解的關係，二為眼球追蹤技術，三為眼球追蹤技術在先備知識、閱讀理解和閱讀歷程的應用。

第一節 先備知識和文本閱讀理解

此節將探討先備知識和文本閱讀理解的關係。閱讀者對於某主題的相關知識深深影響其文本閱讀理解的成效，這是因為明確出現在文本中的資訊通常並不足以讓讀者建構出與文本所描寫之情境一致的心智表徵，而是需要仰賴閱讀者的先備知識（Kintsch, 1988, 1998）。為了支持這個主張，實證研究證實閱讀者的先備知識增進並改善文本理解，特別是科學文本常使用的說明文（expository）材料（Afflerbach, 1986；Chi, Feltovich, & Glaser, 1981）。

一般來說，學者皆同意文本的理解包含由下而上的文字辨識過程和由上而下的理解過程（e.g. Perfetti, 1999）。而由此兩種過程的閱讀理解互動模式（e.g. Kintsch, 1998；Just & Carpenter, 1987）也為閱讀理解發展之個人差異方面的研究提供了最佳的架構。現今大多數的文章都不只包含了文字的敘述，也具有圖片的呈現，使得讀者在理解文章時，需對不同來源資訊進行整合與彈性使用，例如：語言、文字的資訊和圖片的訊息（Verhoeven & Perfetti, 2008）。過去數十年來，文本研究領域已經偏向以記憶為基礎和建構主義觀點的整合模式，在此，將介紹兩種重要的閱讀理解模式，分別是：純文字文本之閱讀理解模式（e.g. Perfetti, 1999；Kintsch, 1998）以及多重形式文本之閱讀理解模式（e.g. Paivio, 1986；

Verhoeven & Perfetti, 2008)。

一、純文字文本之閱讀理解模式

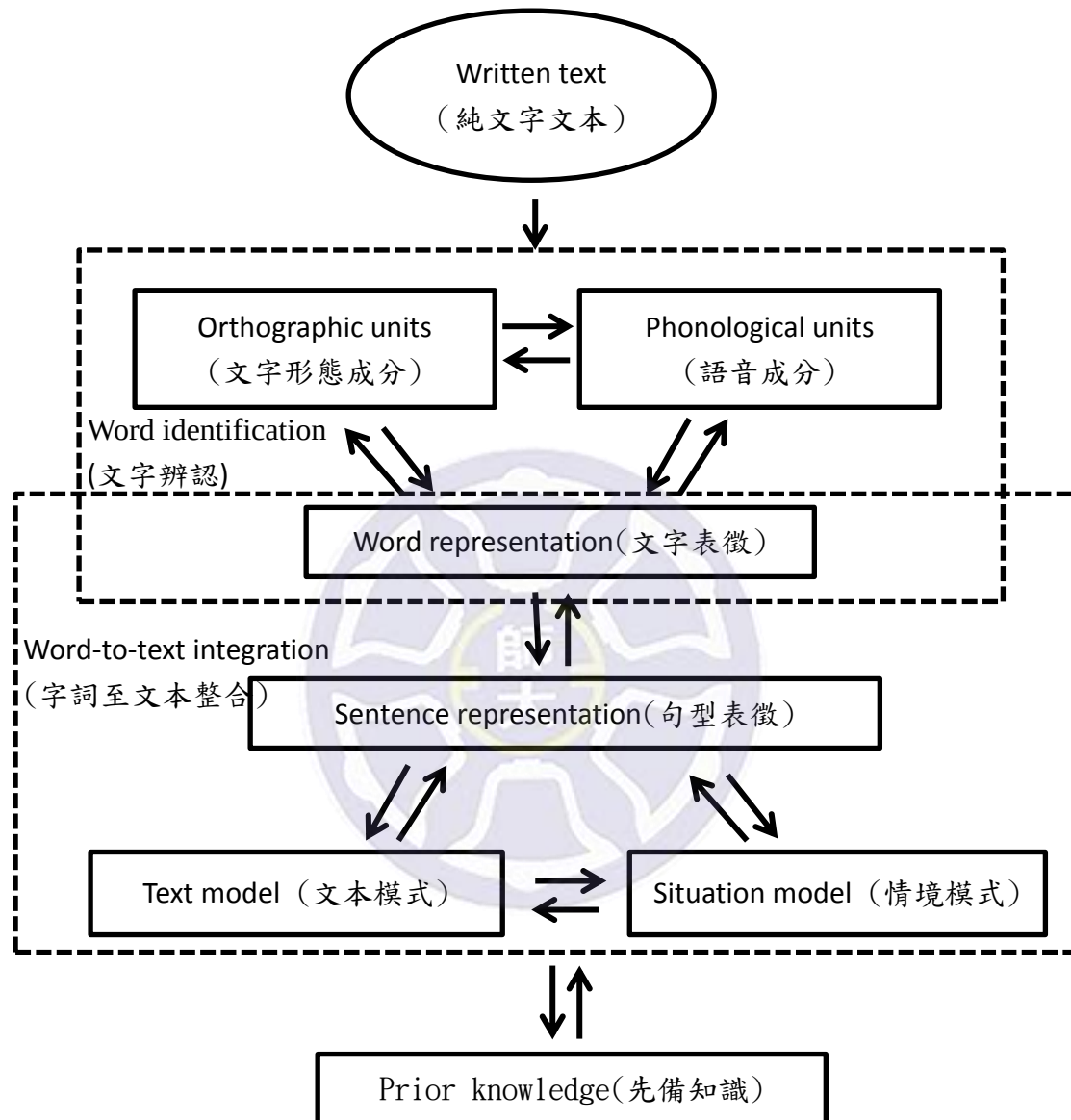


圖 2-1.1 純文字文本之閱讀理解模式 (譯自 Perfetti, 1999)

圖 2-1.1 呈現純文字之閱讀理解模式，此模式之理解過程分為兩個階段，第一階段為字詞辨識，第二階段為字詞至文本的整合。閱讀者在閱讀文本時，起始

於字詞的辨識，這個過程也包含了從視覺輸入的語言表徵（Verhoeven & Perfetti, 2008）。根據 Perfetti 與 Hart（2001）所提出的詞彙質量假設，主張讀者的閱讀技巧取決於讀者對字詞的知識，包含拼字、語音、形態與字義的精確表徵。在讀者對於字詞進行表徵的同時，即開啟了字詞至文本的整合。雖然關於字詞歸屬語法結構的理論各有不同（MacDonald, Perlmutter, & Seidenberg, 1994；Frazier & Clifton, 1996），但各研究者皆同意每個字詞會立即地歸屬成為語法上的詞組。透過詞組的產生，讀者即可參照字詞的意義來形成文本語意的表徵，因此才能理解文本中描述的情境。

故讀者若欲理解文本內容，就必須依據文章所提供的訊息結合成句子的意義。然而，許多文本理解的理論模式，例如：建構整合模式（construction-integration model, CI model）、景觀模式（landscape model）以及共振模式（resonance model），都認為文本理解無法僅藉由出現在文本中的訊息即能達到，閱讀者還需要利用他們的先備知識去建構與其個別經驗和情境相關的新知識（Verhoeven & Perfetti, 2008）。

目前被廣泛運用的文字閱讀理解模式為 Kintsch（1998）所提出建構整合模式（CI model），此模式將文本閱讀理解分為「以文本為主」和「情境模式」兩種層次。讀者必須達到文本的理解才能夠建構情境模式，但是因為文本不可能描述所有的訊息，故讀者會運用先備知識建構文字意義，然後整合前後文字而形成詞句意義，這樣的過程隨者閱讀歷程不斷重複，最後形成情境模式。因此情境模式的構成要素涵蓋：文本的訊息、基於文本的推論、相關的先備知識以及基於文本和先備知識的推論（Kintsch, 1998）。對於讀者而言，情境模式可以幫助他們辨別並定義問題、具體描述問題解決的原因、產生解決已定義問題的策略、評論解決的成果（cf. Zwaan, Kaup, Stanfield, & Madden, 2001）。

二、多重形式文本之閱讀理解模式

隨著科技的進步與多媒體的使用，現今的文本除文字的描述外，大多具有圖像的資訊，也就是多重形式文本。圖 2-1.2 即為多重形式文本的閱讀過程，其中對於文字語意訊息的理解包括字詞辨識、句子處理、文本模式的建構；圖像資訊的理解則包含圖像模式的建構。針對多重訊息的處理，Paivio（1986）首先提出雙重編碼理論，認為語意訊息與圖像資訊的編碼系統相互獨立且相互連結，過去研究顯示圖像資訊有助於讀者理解複雜的闡述性文本(Marcus, Cooper, & Sweller, 1996；Schnotz, 2005)。同樣地，在多重形式文本閱讀理解模式中，讀者仍需以其先備知識與從文本而得的文本、圖像模式進行整合，以達到情境模式的理解。

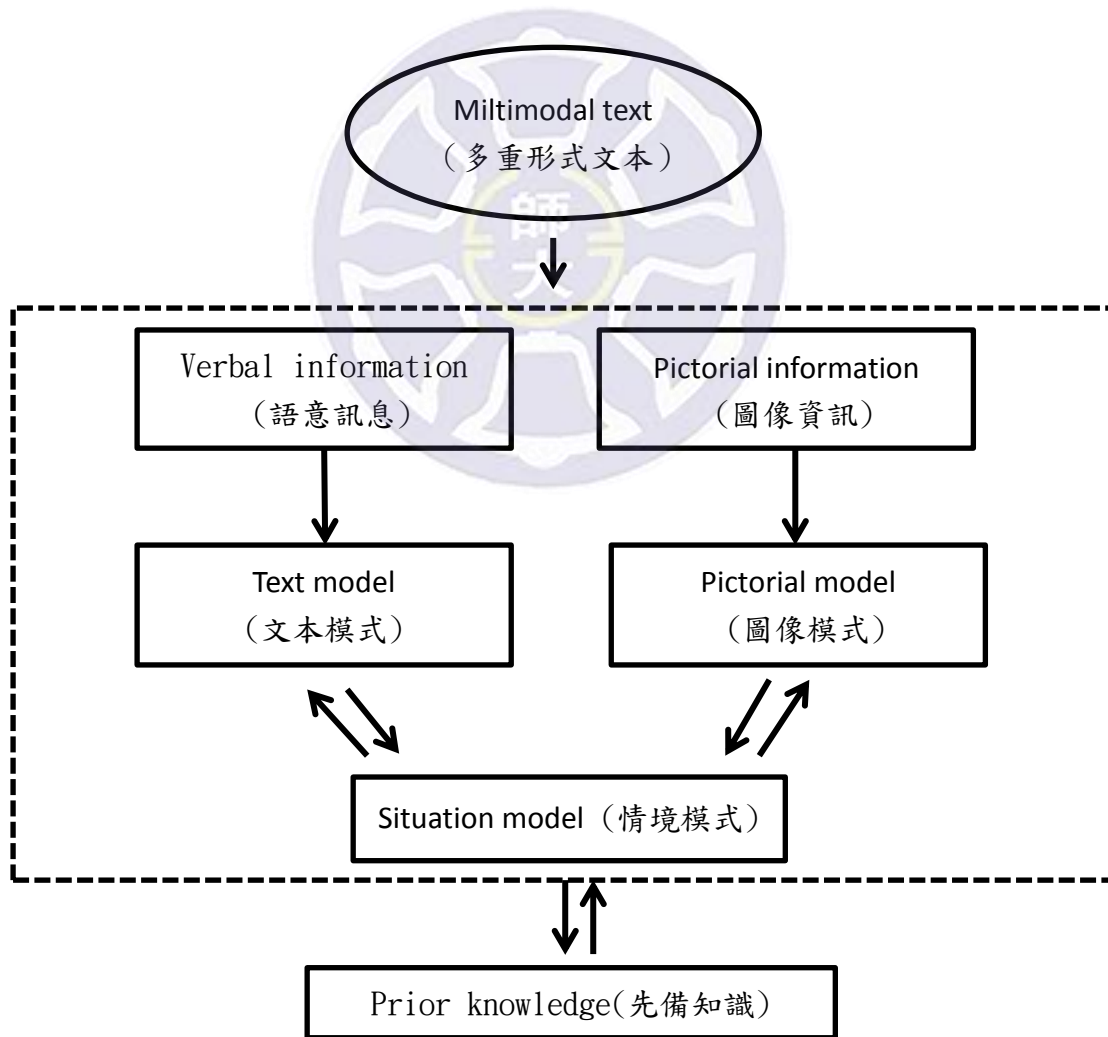


圖 2-1.2 多重形式文本之閱讀理解模式（譯自 Verhoeven & Perfetti, 2008）

第二節 眼球追蹤技術

此節將分三部分介紹眼球追蹤技術的原理、眼球追蹤技術的應用，以及常用的眼動指標。

一、眼球追蹤技術之原理

人類的視覺受器一般包含三個部分：中央小窩、旁中央小窩、週邊視力。中央小窩為視網膜的中心，大約為 2 度的範圍，旁中央小窩位於中央小窩的外圍，範圍共約五度，而週邊視力則是旁中央小窩以外者。中央小窩有密度很高的錐狀細胞，敏銳度最高，旁中央小窩次之，周邊視力則最為模糊。因此，為了要將事物看清楚，人們必須經常地移動眼睛讓感興趣的物件成像落在最敏銳的中央小窩（Liversedge, Gilchrist, & Everling, 2011）。為了能讓標的持續投射於中央小窩，一般將眼球移動的方式分為五種：一為眼球快速移動（saccade），即為凝視點間的移動；二為平滑追蹤移動（smooth pursuit movement），此方式是為了追蹤正在移動的物體；三為輻奏移動（vergence movement），可使眼睛能在不同距離的物體上聚焦；四為前庭眼移動（vestibulo-ocular movement），此能在移動頭部時讓標的仍能成像在網膜上；五為視覺震顫移動（optokinetic movement），為在持續移動頭部時，讓成像落在中央小窩上（Kandel, 2000）。眼球的移動分為非自發或反射運動，以及受大腦認知系統控制的自發運動。眼球追蹤技術即是隨時間記錄眼球移動的角度範圍，並且經由計算獲得量化的資料，例如：位置、停留時間、停留次數……等。

眼球追蹤技術的發展是基於以上所述的眼球移動特徵以及 Just 與 Carpenter（1980）所提出的心眼假設，心眼假設主張眼球的移動直接地提供了注意力位置的動力追蹤，也就是說眼睛凝視的位置，即是注意力集中與訊息處理的位置。

二、眼球追蹤技術的應用與眼動指標

而眼球追蹤技術發展以來，主要運用在心理學的研究上，眼動的測量揭露了閱讀理解中基礎的認知過程和機制（Rayner, Chace, Slattery, & Ashby, 2006），以及視覺感知等歷程（Liversedge & Findlay, 2000）。一般而言，在閱讀訊息時，眼球的移動包含快速移動的掃視（saccade），以及相對穩定的凝視（fixation）。Rayner（1998, 2009）提出一般凝視的時間範圍為 100 至 500 毫秒，會因為閱讀材料而有所變化。凝視的平均時間大約是 250 毫秒。掃視的時間則會依度數而改變，一般閱讀情況下，2 度的掃視時間約為 30 毫秒，5 度的掃視時間則為 40 至 50 毫秒。近年來，有越來越多的研究者運用此技術是在於教育研究上（Lai et al., 2013），探討的範圍包含：圖文閱讀的歷程、科學問題解決的過程、不同文本形式的閱讀……等，除此之外，由於電腦與教學多媒體的普及，眼球追蹤技術也常用在多媒體學習的研究上。

在眼動的指標方面，常用的指標為：總閱讀時間、凝視點數、平均凝視時間、感興趣區的花費時間、各感興趣區域的凝視點數、回視數量……等，視研究目地與問題進行選擇。依據測量的規準，Radach 和 Kennedy（2004）將以文字閱讀的指標分為兩個類別：時間規準、空間規準，時間規準視測量時間的指標，而空間規準則是位置。Lai 等人（2013）將眼動的指標分為兩種面向，分別是眼球移動的類型（凝視、掃視、混和）與指標的規準（時間、空間、數量），如表 2-2.1 所示。利用眼球追蹤技術的研究者可根據研究目的選擇所需之量測指標。

表 2-2.1 眼球移動的類型與指標的規準

	凝視	掃視	混和
時間	總凝視時間 注視(gaze)時間 平均凝視時間 第一次凝視時間 第一次凝視前的時間 再次造訪的凝視時間 凝視時間的比例	掃視時間	總閱讀時間 第一次經過時間 再閱讀時間
空間	凝視位置 凝視序列	掃視距離	掃視途徑型態
數量	凝視數量 平均凝視數量 再次造訪的凝視數量 凝視數量的機率	掃視數量 掃視間數量	



第三節 應用眼球追蹤技術探究先備知識與科學閱讀歷程，以及科學閱讀歷程與理解之關係

一、先備知識與閱讀歷程之關係

近年來文獻上已累積一些運用眼球追蹤技術探究科學閱讀歷程的文章，在此略為介紹。

Kaakinen 和 Hyona (2007) 探討立場對闡述性文章理解的影響，在給定一個立場之下，讓大學生對於較熟悉之疾病（高先備知識文本）和罕見疾病（低先備知識文本）的文章進行兩次閱讀，並在第三次閱讀前轉換立場，研究結果指出閱讀過程中的視覺注意力落點會受到先備知識和閱讀立場的影響，其中先備知識幫助組織相關或不相關的文本訊息，並且對於高先備知識文本會較早引發立場影響，而立場則會影響第一次閱讀的時間。

Cook、Wiebe 與 Glenda (2008) 利用眼球追蹤技術探討先備知識對讀者閱讀和解釋化學知識中，在宏觀表徵與分子模型表徵的影響，結果指出高先備知識者在分子模型表徵中有較多的交互閱讀，而先備知識低者則在宏觀的表徵有較多交互閱讀的狀況，也就是說高先備知識者會將視覺注意力分配於與概念相關的特徵上，而低先備知識者則僅聚焦在表面的特徵。

Mason、Tornatora 和 Pluchino (2013) 以眼動資料探討四年級學生在閱讀圖文科學文本時圖文整合的狀況，進行先備知識與眼動資料的相關分析後，發現先備知識與圖文交互閱讀的次數及從文到圖的凝視時間具有正相關，即具有較多與主題相關的先備知識者較會整合圖文的訊息，而且再閱讀文本時，在圖片的再審視的時間較長。

Yang、Chang、Chien、Chien 和 Tseng (2013) 利用眼球追蹤技術探討在真實課室中學習者於多媒體教學（power point）的視覺注意力分配，並在研究中比

較不同專業背景受試者的注意力分配差異，結果指出具專業背景的學生在文字區域中展現出較高的視覺注意力，但在圖片區域差異較少，然而注意力的落點明顯較具選擇性並符合概念結構，進一步分析後，發現具專業背景的學生在訊息解碼與整合較佳。

Ho、Tsai、Wang 和 Tsai（2014）以眼球追蹤技術探討先備知識與線上探究學習之科學文本閱讀，結果揭示所有學生皆花費較多時間在文字的訊息上，而高先備知識者比起低先備知識者在圖片上有較長的凝視時間與回視，且有較多圖文與科學數據間的交互閱讀，這顯示高先備知識者能夠整合文字與圖片、科學數據間的訊息，而先備知識低者則會在此遭遇困難。

上述的實證研究已透露出先備知識會影響閱讀歷程，而根據前述的純文字以及多重形式文本之閱讀理解模式，可知文本內容會與先備知識整合以形成情境，因此先備知識程度較高者，較能在訊息處理初期就提取相關的先備知識以幫助閱讀理解，而具有較多的後期訊息整合，但是先備知識低者，在初期的訊息處理時，因缺乏先備知識的輔助，使其表現較少的後期訊息處理的歷程。總而言之，先備知識的差異確應會反映於讀者的閱讀歷程，且會對於後期訊息處理之歷程的作用較為明顯。

二、科學閱讀歷程與理解之關係

除了探究先備知識與科學閱讀歷程，眼球追蹤技術與資料分析，近幾年來也陸續有學者發表科學閱讀歷程與科學理解的相關研究。例如：王又亭（2012）以眼球追蹤技術探討高中生之生物圖文閱讀歷程與概念理解，分析後結果顯示學生在文字的凝視時間較圖片長，且閱讀理解較佳的學生在新資料區有較多的視覺注意力與回視次數，此外，在理論示意圖的凝視點、圖文交互閱讀次數亦較多。

Mason、Tornatora 和 Pluchino（2013）以眼動資料探討四年級學生在閱讀圖文科學文本時圖文整合的狀況，除了對先備知識與眼動資料的分析外，亦對眼動

資料與學習成就進行分析，結果指出當閱讀具圖文的文本時，在語意與圖像資訊有較多整合過程者則有較高的學習成就。

O'Keefe、Letourneau、Homer、Schwartz 與 Plass（2014）以眼球追蹤技術探討科學的多表徵學習，結果發現讀者在與概念相關的刺激間進行凝視的轉移，會與不同學習成就有關，且在不同物件間的轉移會有不同的學習成就，可能會具有較佳的概念理解或有較好的學習遷移。

Jian 和 Wu（2015）以眼球追蹤技術探討讀者在閱讀包含具語意與空間表徵的科學圖解時之閱讀策略，研究結果揭露讀者大多利用圖文參照作為閱讀策略，且分析眼動資料與閱讀理解測驗後，結果發現圖文參照閱讀者較僅閱讀文字者有較好的文本理解，且圖文參照者在整篇文章中具有較長的總凝視時間。

由上述文獻可以發現閱讀歷程中的注意力分配或變化與閱讀理解間具有相關性，此歷程又以後期訊息處理的多寡為主要的因素，通常具有較多後期訊息處理的讀者，其閱讀理解較好。由於目前文獻多以探討圖文表徵之使用對於閱讀理解的影響，對於闡述式的科學文章探討較少，因此，對於科學文本的閱讀歷程及閱讀理解的關係還有待更多研究進行釐清。

第三章 研究方法

本研究將探討三個主要的研究問題：

1. 在閱讀完科學文本後，具有不同先備知識的讀者之閱讀理解狀況為何？
2. 在閱讀科學文本時，具有不同先備知識的讀者，其視覺注意力的分配狀況是否有所差異？
3. 在閱讀科學文本時，讀者的視覺注意力分配狀況與閱讀理解是否具有相關性？

根據上述的研究問題，此章將說明本研究的研究對象、研究工具、研究設計與施測流程、資料分析、研究歷程，分述如下。



第一節 研究對象

本研究之受試者為臺北市某公立高中的一個高一數理資優班（男生班）和兩個高二地科、化學專題研究班的學生。前述班級的學生總人數為 61 人，扣除沒有意願參與研究的學生以及家長同意書勾選不同意者，共有 40 位學生參與此研究，其中包含女生 2 人、男生 38 人，以年級區分，則高一學生 23 人、高二學生 17 人，研究樣本人數資料如表 3-1.1 所示。

本研究選用高一數理資優班和高二地科、化學專題研究班的學生，原因有三：第一，高二地科、化學專題研究班的學生在施測學期的前一學期上過與施測材料（海洋酸化）相關的課程，高一數理資優班學生則無，因此，可以推測在所有施測的學生中有先備知識的差異；第二，依據文獻（Gunning, 1996）可知高一以上的學生應已能藉由文章內容的閱讀以理解文章說明的重要概念，並能夠進行推理，

故適合用來作為研究閱讀理解的施測對象；第三，閱讀施測材料所需的化學先備知識（基礎的化學平衡概念）已包含於國中學習課程內，因此，通過升學考試的高一和高二學生皆具有相關的先備知識，而非無任何先備知識的閱讀。

表 3-1.1 研究樣本人數資料

學校	人數 (男生, 女生)	人數 (高一, 高二)	實際參與並完 成研究人數 (男生, 女生)	實際參與並完 成研究人數 (高一, 高二)
臺北市某公立高中	61 (58, 3)	61 (30, 31)	40 (38, 2)	40 (23, 17)

第二節 研究工具

本節將對於研究所使用的工具進行介紹，分為以下三個部分：一為軟、硬體的部分，乃眼球追蹤技術所使用的軟、硬體設備；二為閱讀材料的部分；三為紙筆測驗的部分，即為研究者所使用的自編測驗。

一、軟、硬體設備

軟體的部份使用到 Facelab5.0 與 GazeTracker9.0。前者的功能在於取樣、校正和控制紅外線裝置；後者則是用來呈現閱讀材料與紀錄眼球追蹤的資料。在取樣方面，Facelab 的取樣頻率為 60Hz（即每秒進行 60 次的取樣），由於其具備紅外線裝置控制精靈，可使攝影機（Sony FCB-EX480B）在三種不同方式進行設定，以提升眼球追蹤的精準度；此外，Facelab 利用焦點成像的技術，可容許受試者在閱讀過程中小幅度的頭部移動，幅度為垂直或水平方向 $\pm 25\text{mm}$ ，在此幅度的頭部移動下，仍然可以保持眼球追蹤的能力；另外，瞳孔角膜模式提供在取樣頻率 60Hz 下，能具有 0.01 度的高度解析度。

在硬體方面，使用一部眼動儀、一個外接給受試者用以閱讀的螢幕（解析度為 1024*768）、鍵盤、滑鼠、螢幕切換器、下巴架，以及兩台品牌為 Dell 的高階筆電，其中一台電腦裝載 Facelab5.0 之軟體以進行校正，並連接眼動儀以收集眼動資料；另一電腦則裝載 GazeTracker9.0，除了呈現文本外，亦用以記錄與儲存眼動資料，兩台電腦間用網路線連接以傳輸資料。如圖 3-1.1 所示。下巴架則是讓受試者能夠大略固定頭部位置，減少過大的頭部移動，以確保眼球追蹤的穩定性。

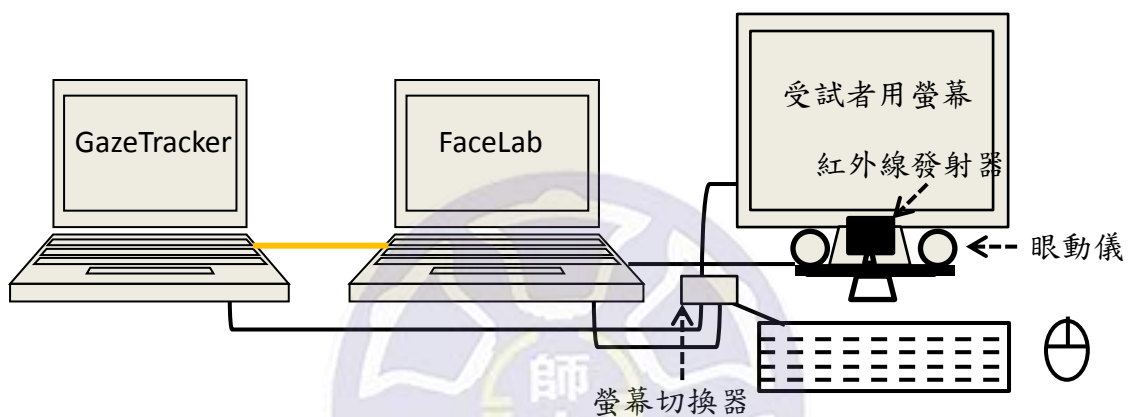


圖 3-1.1 硬體設備與接線示意圖

二、閱讀材料

本研究閱讀材料取自於 2006 年 4 月出版之《科學人》雜誌，其文章的原著為 Scott C. Doney，由林筱雯翻譯，文章的標題為「海洋酸化的危機」。

研究者選用此文章之原因為《科學人》雜誌是科普傳播的重要媒介，不論是學生、教師、一般大眾皆可透過閱讀此類雜誌獲得科學知識，或是藉此了解新興的科學議題，然而，不論是教科書或是此類科普雜誌皆無法在有限的篇幅中記載所有相關的科學概念，特別是描述科學議題的文章；加上，科學議題的文章往往不只包含了單一個學科的內容，而是自然科目的綜合應用。

研究者選用「海洋酸化的危機」作為本研究的閱讀材料，該文內容主要描述科學家如何透過觀察、實驗假設、實驗、數據分析……等科學過程驗證海洋酸化的事實，以及海洋酸化可能造成的影響，其內容涵蓋了地球科學和化學科目的科學概念，地科方面的概念主要為全球暖化、海洋酸化、碳酸鈣補償深度；而化學方面則為化學平衡中的勒沙特略原理、氣體溶解度，其中化學的概念已在國中階段有初淺的教授，而地科概念則會因人而異，尤其是海洋酸化和碳酸鈣補償深度之概念在學校課程中較少提及，需要額外涉獵。

確定使用此篇科學文章後，研究者開始著手分析文章中提及的科學概念，並且依據文章本身的描述方式與順序改寫文章以能用電腦呈現文本內容，主要改寫的方式為將文章中與海洋酸化議題較無相關的故事描述去除，保留研究脈絡與主要數據、發現、推論等內容，並且留下科學文章中的圖片與圖說，若圖片較大，則用一頁呈現圖片與圖說，不再外加其他敘述，用最接近科普文章的寫作方式作為改寫原則，改寫後版本經專家審查確認內容無誤。改寫後的內容與次序如下：

「大氣中二氧化碳含量的觀察與研究假設、方法和研究發現」、「造成二氧化碳大量增加的原因與證據」、「海洋吸收二氧化碳的實證」、「海洋酸化的情況與程度」、「二氧化碳造成海洋酸化的成因」、「碳酸鈣補償深度的意涵」、「海洋酸化對水中生物的影響」。

三、紙筆測驗

本研究對受試者進行的測驗分為前、後測，前測為先備知識之測驗，後測為閱讀研究材料後，對於文本內容的理解測驗。

在先備知識測驗的部分，Shapiro（2004）認為與議題相關之先備知識為讀者本身已經建立、存在與文本內容相關的知識，通常利用開放式問答或多重選擇題進行評量。因此，研究者利用開放式問答的形式，請受試者針對「全球暖化對海洋的影響以及海中二氧化碳濃度的變化」、「過多二氧化碳溶入水中會帶來的影

響」、「利於鐘乳石形成的因素與條件」以及「深度大於 5000 公尺之海水中沒有鈣質沉積物之原因」進行回答，前兩題可用以觀察受試者對於海洋酸化議題了解的程度，後兩題分別為化學平衡與碳酸鈣補償深度的概念，其中，「過多二氧化碳溶入水中會帶來的影響」由研究者與指導教授、臺北市某公立高中正式地科教師共同討論後完成，其他問答題則是由臺北市某公立高中現職之正式地科與化學教師(共兩名)共同出題。

閱讀理解測驗部份，是在受試者閱讀完施測材料且離開施測儀器後進行。研究者依據施測材料的內容設計了六道開放式問答題，題目可對應到 Kintsch(1998)的閱讀理解分類，此六道題目中有四道題目的答案可直接從閱讀材料中獲得，定義為文本題，另外的兩道題目為不同情境之應用題，此類題目的設計是讓受試者利用閱讀施測材料後而得之概念應用在不同情境中的推論與解釋，因此受試者需要運用先備知識並整合閱讀材料內容後才能完整回答，此兩道題定義為情境題。此六道題目同樣地與指導教授、前述之公立高中地科教師進行充分討論後而確立。

第三節 研究設計與施測流程

本研究的實驗設計，是透過電腦呈現閱讀科學文本，閱讀材料由研究者選取自《科學人》，並依據原文的編排方式、圖片搭配進行改寫，主要刪除與主概念（碳循環）較無關係的文字片斷，並經由專家審查後確認閱讀內容。閱讀材料的內容依序說明「大氣中二氧化碳含量的觀察與研究假設、方法和發現」、「造成二氧化碳大量增加的原因與證據」、「海洋吸收二氧化碳的實證」、「海洋酸化的情況與程度」、「二氧化碳造成海洋酸化的成因」、「碳酸鈣補償深度的意涵」、「海洋酸化對水中生物的影響」。

本研究施測的流程如圖 3-3.1 所示，包括四個主要的階段：先備知識測驗（前測）、眼動儀器的校正、施測材料的閱讀、閱讀理解測驗（後測）。以下將對施測的四個階段進行說明：

一、先備知識測驗（前測）

此測驗為開放式問答題之紙筆測驗，主要是測驗受試者對「全球暖化」、「海洋酸化」、「化學平衡-勒沙特略原理」、「碳酸鈣補償深度」概念理解的程度。進行前測時，研究者會用口頭詢問受試者班級、座號、左右眼分別之視力情況，以建立受試者基本資料，並記錄於受試者資料表中。研究者未限制受試者填寫先備知識測驗的時間，以期受試者能盡其所能地回答問題。

二、眼動儀器的校正

在進行完先備知識的測驗後，研究者會請受試者坐至眼動儀前方，並調整座椅與下巴架之高低，讓受試者能以最適當的姿勢進行接下來的施測材料閱讀。坐姿調整後，利用軟體 FaceLab5.0 進行眼動儀之校正，包含調整紅外線光源的位置、眼動儀器的焦距、眼動儀鏡頭的拍攝仰角、捕捉受試者的臉部特徵……等，在確定頭部模型之後，即開始進行九宮格校正，校正通過後則可接續下一步驟的閱讀施測流程，若是第一次九宮格校正未通過，則進行二次校正，假使還是未通過，即結束施測。

三、閱讀施測材料

開始閱讀施測材料前，研究者會以固定的指導語向受試者說明接下來的施測流程與注意事項（包含文本主題簡述、十字校正頁之應對、閱讀中換頁的方法），說明完後，研究者即點選施測材料，使其呈現於受試者前方之電腦螢幕上，待受試者閱讀完前導頁後，受試者即可自主按下鍵盤之空白鍵開始閱讀施測材料，施測材料（包含前導頁）共有 12 個頁面，當受試者閱讀完一頁後，按下空白鍵即可換到下一頁，換頁之後無法再回到上一頁，依據此方式閱讀，直到閱讀完所有

內容。在閱讀的過程中，眼動儀器將會持續記錄受試者的閱讀歷程，直到受試者閱讀完成且研究者按下資料儲存之指令，才停止眼動資料的紀錄。確定資料儲存後，請受試者轉移位置至一般課桌椅以進行下一階段的閱讀理解測驗。

四、閱讀理解測驗（後測）

閱讀理解測驗為一般性紙筆測驗，在受試者閱讀完施測材料後進行。閱讀理解測驗為六道開放式問答題，其中內容包含受試者能直接從施測材料中獲得的知識，即文本題，以及需要較高層次理解或是與先備知識整合後才能回答之內容，為情境題。研究者並未限制受試者填寫閱讀理解測驗之時間，讓受試者能完整填答。

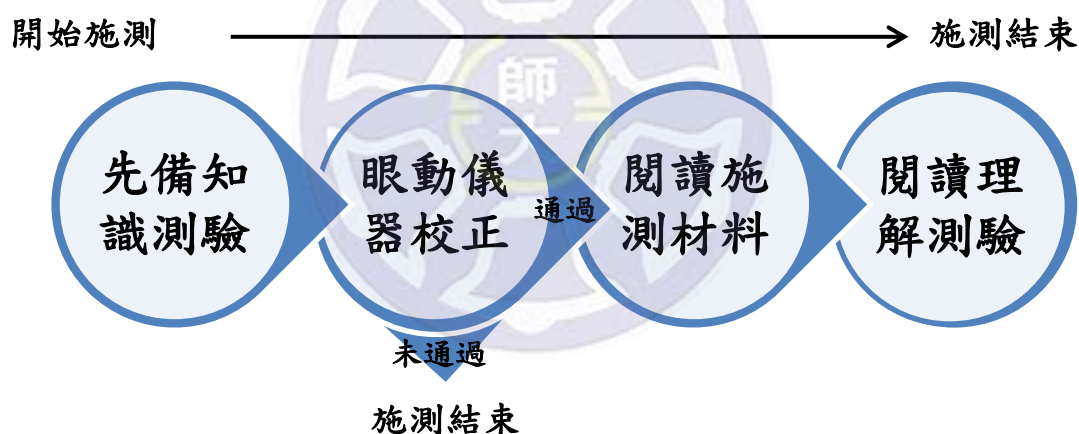


圖 3-3.1 施測流程圖

第四節 資料分析

本研究之目的是希望能透過眼球追蹤技術了解先備知識、閱讀歷程和閱讀理解之間的關係，根據研究目的和研究設計，在資料分析時依據進行四個步驟：首

先，進行先備知識測驗結果的分析，並且依評分結果區分受試者的先備知識程度，進行分組；第二，分析閱讀理解測驗結果，並針對此結果，依據先備知識的分組進行統計分析；第三，先備知識與閱讀歷程的分析，即比較不同先備知識之組別間，其眼動資料的差異；最後，分析閱讀歷程對閱讀理解的影響。以下分別詳細描述這四部份的分析方法：

一、先備知識測驗之結果與分組

為了能夠適當地從先備知識測驗將受試者以先備知識的程度進行分組，研究者將依據受試者的答題情況進行四等第的評分，並為評分進行三角校正。每一道題目皆會發展出一套評分規準，並依據規準給予對應的分數，評分規準會由研究者與專家、指導教授共同討論後發展、確立，在此以其中一題為例，其評分規準如表3-4.1所示。完整之評分規準列於附錄三。

表 3-4.1 先備知識測驗評分規準

題目	得分	評分標準
2.假如大氣中過多的二氧化碳溶於海水之中，將會如何影響生態?(可繪圖解釋)	+3	寫出會造成海水酸鹼值降低(海洋酸化)，溶於水中的碳酸會解離使得碳酸鈣補償深度上升，並且會影響外殼為碳酸鈣之海洋生物，造成碳酸鈣溶解，以及不易製造碳酸鈣外殼。
	+2	寫出會造成「海水酸鹼值降低(海洋酸化)」，以及溶於水中的碳酸會解離使得「碳酸鈣補償深度上升」，或「影響外殼為碳酸鈣之海洋生物」，造成「碳酸鈣溶解」或「不易製造碳酸鈣外殼」。
	+1	寫出造成海水酸鹼值降低，會危害部分海洋生物，影響食物鏈。
	+0	未寫出海水酸鹼值降低、空白或其他描述。

先備知識測驗共4道題目，每題最高得3分，滿分為12分，各題得分的加總即為先備知識測驗的分數。將每位受試者之先備知識的評分確立後，對此分數進行描述性統計，並且將受試者進行分組，分為高（得分高於平均數加上半個標準差以上者）、中、低（得分低於平均數減去半個標準差者）三個組別，分完組別後，利用SPSS 22統計軟體對此三組進行同質性檢定與單因子變異數分析（one-way ANOVA）與事後比較（Scheffe法），以確定此三組具有先備知識上的差異。

二、先備知識與閱讀理解測驗之分析

首先，研究者會依據評分規準評量受試者在每一道題目的答題狀況，評分規準由研究者發展，並與指導教授、專家共同討論後確立，其形式與先備知識測驗評分規準相同，在此以一題為例，如表 3-4.2 所示，完整之評分規準詳見於附錄四。閱讀理解測驗共 6 題，每題最高得 3 分，滿分為 18 分，研究者與專家根據評分規準對所有受試者的閱讀理解測驗給予評分且進行三角校正後，加總 6 道題目之得分作為閱讀理解測驗總分，前 4 道題目分數之加總為文本題得分，後 2 道題目之加總為情境題得分，並分別對此三種分數進行描述性的統計。

表 3-4.2 閱讀理解測驗評分規準

題目	得分	答案
1. 過去與現在的海洋酸鹼值有何不同？此不同是如何造成的？請詳細描述。	+3	完整寫出海洋酸鹼值降低（約 0.1 左右）；是因為（化石燃料燃燒產生的）二氧化碳被海水吸收，二氧化碳溶於水後會形成碳酸，碳酸解離形成碳酸氫根與氫離子，也可繼續解離成碳酸根與氫離子，導致氫離子增加，降低海洋的酸鹼值。
	+2	寫出海洋酸鹼值降低；因為二氧化碳溶於水形成碳酸，並解離出氫離子造成酸鹼值降低。（較不完理解釋）
	+1	僅寫出海洋酸鹼值降低；二氧化碳濃度增加。（兩者或兩者之一）
	+0	空白或不相關敘述。

為了解先備知識對閱讀理解的影響，研究者會依據先備知識的分組，以 SPSS 22 統計軟體針對各先備知識分組之閱讀理解測驗的總分、文本題得分、情境題得分進行描述性統計、同質性檢定、單因子變異數分析（one-way ANOVA）以及事後比較（Scheffe 法），若未通過同質性檢定，則進行平均值等式穩健測試（Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗），及事後比較（Games-Howell 檢定），統計分析之流程如圖 3-4.1。

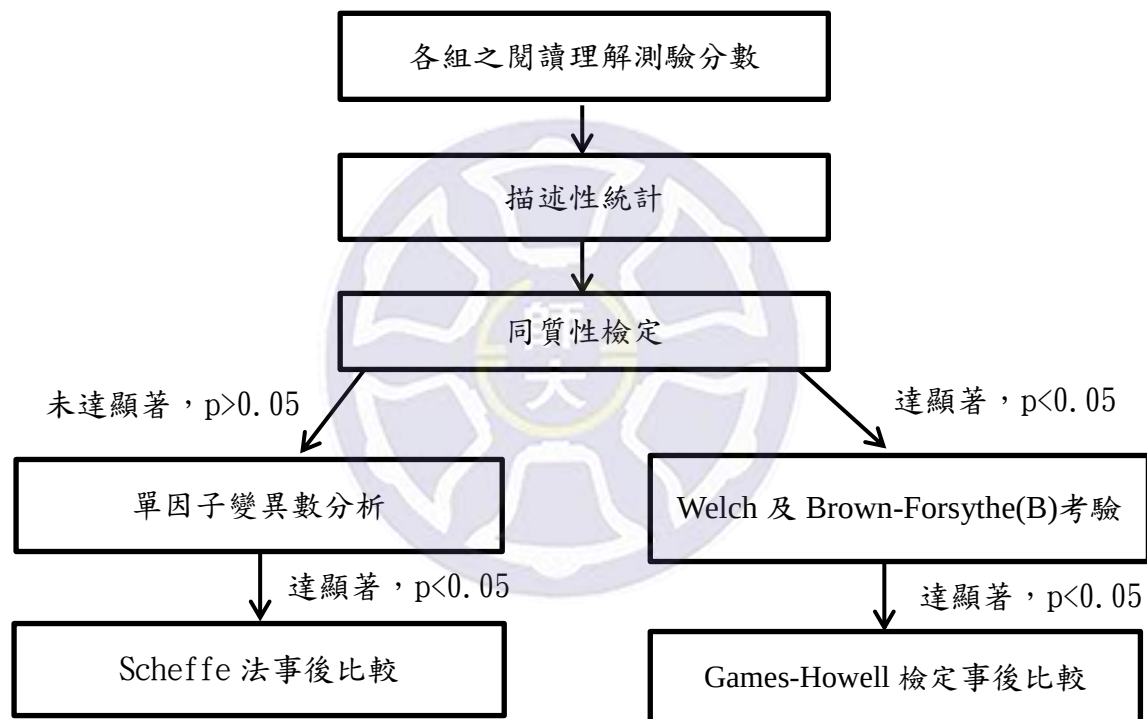


圖 3-4.1 先備知識分組之閱讀理解測驗分數統計流程圖

三、先備知識與閱讀歷程之分析

在進行眼動資料分析之前，研究者必須先對施測材料之內容進行分類，在科學文本中包含許多不同屬性的內容，例如：研究假設、研究方法、研究數據、結果等，因此，研究者依照 Duschl (1990) 所歸納之形成科學解釋或論述的要素以

及科學實驗過程進行文本分類，且因圖片與文字之表徵不同而分開歸類，文字部份分為「研究目的」、「研究方法」、「數據趨勢」、「根據資料而形成的科學推論與解釋」、「預測模式」、「背景知識」六個區域；而圖片部份分為「數據趨勢圖」、「數據趨勢圖標」、「數據趨勢之空間圖標」、「預測模式全圖區」、「預測模式關鍵圖區」、「預測模式圖標」、「背景知識圖」七個區域，各區域之主要闡述內容與定義如表 3-4.3 所示。

表 3-4.3 各區域類別之主要闡述內容與定義

區域類別	主要闡述內容與定義
研究目的	以純文字描述科學家進行實驗研究的目的。
研究方法	以純文字說明科學家為了研究目的而使用的實驗方法與選用方法的原因。
數據趨勢	以純文字說明科學家經過實驗後所得之數據，以及數據所呈現的變化趨勢。
根據資料而形成的科學推論與解釋	以純文字描述透過數據趨勢的觀察，科學家對於造成此趨勢原因的解釋，以及此狀況將產生影響的推論。
預測模式	以純文字闡述由已知的數據趨勢預估未來的狀況。
背景知識	以純文字描述研究中科學推論與解釋所用的科學概念。
數據趨勢圖	以圖片呈現實驗所得的數據，並顯示數據趨勢。
數據趨勢圖標	以圖片或文字標示數據趨勢圖中顏色與座標代表的意涵。
數據趨勢之空間圖標	以圖片的方式標示數據趨勢圖中的空間位置。
預測模式全圖區	以圖片的方式呈現科學家對未來所預測的情況。
預測模式關鍵圖區	預測模式圖中主要變化的區域。
預測模式圖標	以圖片、文字標示預測模式圖中顏色深淺代表的意涵。
背景知識圖	以圖片顯示此研究中科學推論與解釋所需的科學概念。

在確立施測材料各頁面內容之區域後（各頁面之區域劃分詳見於附錄五，並以圖 3-4.2 為例），研究者將區域的劃分方法輸入眼動資料儲存與分析軟體 GazeTracker9.0 中，並設定凝視時間的長度為 100ms，而後進行資料的輸出與分析。

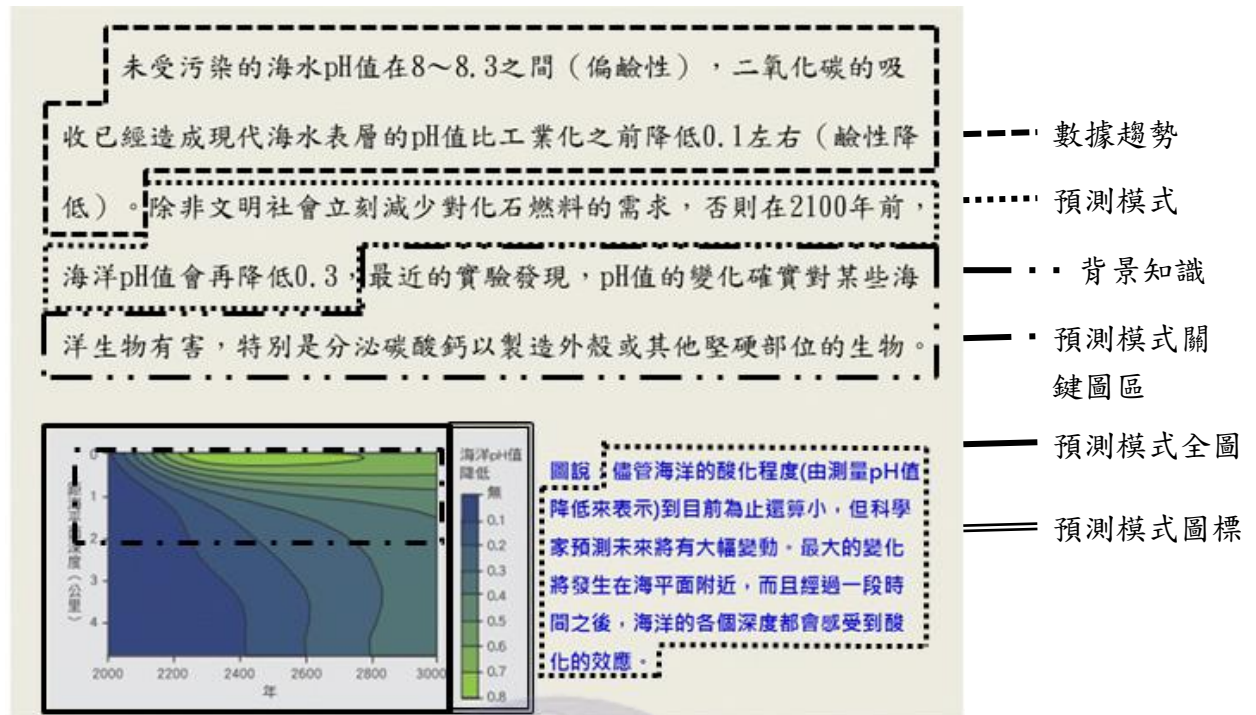


圖 3-4.2 各文本區域劃分之範例

從 GazeTracker9.0 輸出的資料中包含許多眼動資料的分析指標，在本研究中將使用十一項眼動指標，包含：總閱讀時間（total time tracked）、總凝視時間（total fixation duration）、凝視時間百分比（percent time fixated）、平均凝視時間（average fixation duration）、區域中時間百分比（total time in zone）、區域中閱讀時間百分比（percent time spent in zone）、凝視時間對總凝視時間的百分比（percent time fixated related to total fixation duration）、回視次數（times of regression）、圖文交互閱讀（inter-scanning count between picture and text）、再閱讀凝視時間（re-reading fixation duration）、第一次閱讀凝視時間（first-pass fixation duration），以上眼動指標的意義與計算方式如表 3-4.4 所示。此外，因為各區域之字數並不一致，因此，在去除眼動資料遺失率超過 40% 的頁面資料時，會因字數差異影響眼動資料的分析，故研究者將會受到字數影響的指標進行字數處理，如：總凝視時間、區域中總閱讀時間、再閱讀凝視時間、第一次閱讀凝視時間等。

表 3-4.4 本研究所使用之眼動指標說明

中文名稱	英文名稱	意義	計算方式
總閱讀時間	total time tracked	在一頁面中所有的閱讀時間	該頁面中所有閱讀時間的總和
總凝視時間	total fixation duration	在一頁面或區域中所有的凝視時間	該頁或區域中所有凝視時間的總和
凝視時間百分比	percent time fixated	在一頁面中，總凝視時間與總閱讀時間之比值	該頁總凝視時間／該頁總閱讀時間
平均凝視時間	average fixation duration	在一頁面或區域中，所有凝視點的平均時間	該頁或區域總凝視時間／總凝視點數
區域中總閱讀時間	total time in zone	在一區域中所有的閱讀時間	該區域中所有閱讀時間的總和
區域中閱讀時間百分比	percent time spent in zone	在一區域中之總閱讀時間與所屬頁面總閱讀時間的比值	該區域總閱讀時間／該頁面總閱讀時間
凝視時間對總凝視時間的百分比	percent time fixated related to total fixation duration	在一區域中總凝視時間與所屬頁面總凝視時間的比值	該區域總凝視時間／該頁面總凝視時間
第一次閱讀凝視時間	first-pass fixation duration	第一次閱讀此區域的總凝視時間，不包含再次閱讀的凝視時間	第一次閱讀到首次離開此區域前的所有凝視時間總和
回視次數	times of regression	閱讀完此文字區域至下一文字區域後，又回此區域閱讀的總次數	凝視點從下一文字區域回到該文字區域的次數總和
圖文交互閱讀	inter-scanning count between picture and text	圖片區域與文字區域間的來回閱讀總次數	閱讀完圖片區域進入文字區域，以及由文字區域進入圖片區域的次數總和
再閱讀凝視時間	re-reading fixation duration	第一次閱讀此文字區域後，再閱讀此區域的所有凝視時間	除了第一次進入該文字區域的凝視時間外，之後從其他文字區域回到此區域的凝視時間總和

從 GazeTracker9.0 輸出資料並進行字數處理後，研究者依據先備知識測驗的分組，對全頁面、各文本區域與眼動指標以 SPSS 22 統計軟體進行描述性統計、同質性檢定、單因子變異數分析 (one-way ANOVA) 以及事後比較 (Scheffe 法)，若發現三組之平均數未通過同質性檢定，則進行平均值等式穩健測試 (Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗)，及事後比較 (Games-Howell 檢定)，統計分析之流程與閱讀理解測驗之分析相仿，如圖 3-4.1 所示。

四、閱讀歷程與閱讀理解之分析

為了解閱讀歷程是否與科學文本閱讀理解之間存在相關性，研究者針對閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與所有頁面、各區域的眼動資料進行皮爾森 (Pearson) 相關分析，透過此分析探討閱讀理解較佳者的眼動特徵，在此分析中的文本分類、眼動資料之指標和先備知識與閱讀歷程分析相同，分別如表 3-4.3、3-4.4 及附錄五所示。

第五節 研究歷程

為完成本研究，需透過以下之研究歷程，分別為：「研究工具的準備」、「正式施測」、「結果和資料分析」等三個階段。此三階段的詳細流程如下所述：

一、研究工具的準備

在準備研究工具以前必須先確立研究主題，從提出研究問題開始至完成研究工具約花費五個月的時間，時間起迄為一百零二年六月初至同年十月底。圖 3-5.1 表示確立研究主題到工具準備的流程。

研究者在提出研究問題後，隨即開始與指導教授進行討論，並且閱讀相關的

文獻以確立研究主題與假設。在主題確認後，開始尋找可使用之科普文章，與指導教授討論確定可以使用後，即進行文章的先備知識分析與改寫，然後與指導教授及某公立高中地科教師進行討論，經過一再地討論和修改完成施測的閱讀材料，此階段約花費兩個月的時間。之後的三個月，研究者與某高中地科、化學教師共同發展先備知識測驗之題目，並與指導教授後討論以確定。至於閱讀理解測驗則是由研究者依據施測的閱讀材料進行設計，在設計完成後，與指導教授和地科教師進行充分地討論，經過修改後完成。

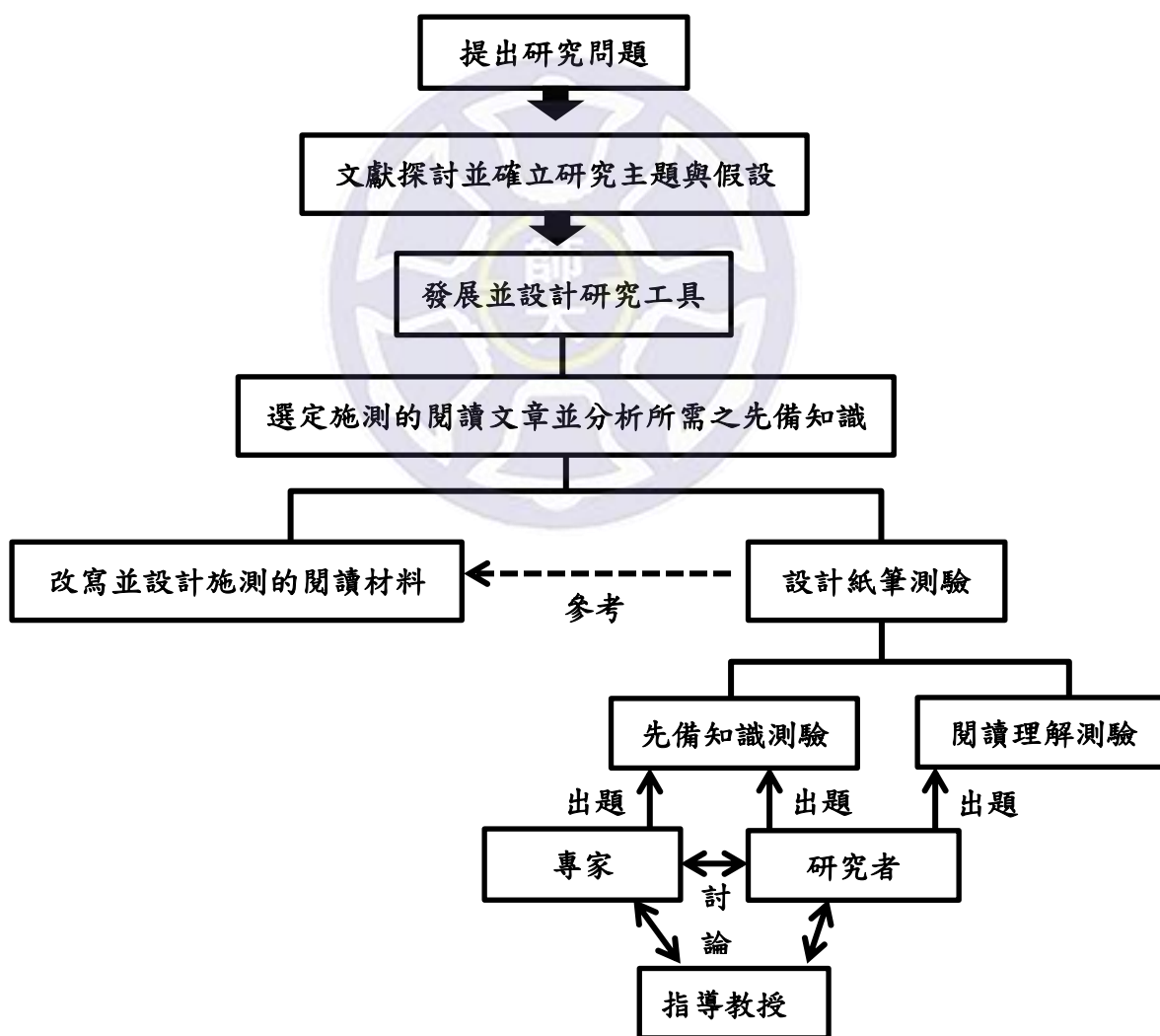


圖 3-5.1 準備研究工具之流程圖

二、正式施測

研究者將施測儀器裝置在施測對象之學校的地科實驗準備室內，並利用中午午餐與午休時間、班會及專題研究課程的時間進行施測，期間曾因遭遇該校的第二次期中考，而暫停一周，正式施測時間總共歷時一個月。

三、結果和資料分析

資料分析階段，此時期主要的工作在於確立先備知識測驗、閱讀理解測驗的評分規準並且進行分組和統計分析。而後劃分閱讀材料的區域，以進行眼動資料的輸出，並且依據先備知識的分組對於閱讀理解測驗的結果和眼動資料以 SPSS 22 進行描述性統計、同質性檢定與單因子變異數分析（one-way ANOVA）以及事後比較（Scheffe 法），若未通過同質性檢定，則進行平均值等式穩健測試（Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗），及事後比較（Games-Howell 檢定）。最後，對於眼動資料與閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分進行皮爾森相關分析。此期間與指導教授持續進行討論，以提出研究結果與教育上的建議。

第四章 資料呈現與分析

本章將介紹本研究資料分析的結果，共包含四節，第一節為先備知識測驗結果與分組，顯示受試者在先備知識測驗的答題狀況，以及依據測驗結果的分組情形；第二節為先備知識與閱讀理解測驗之分析，分別呈現受試者在閱讀理解測驗的答題表現，以及不同先備知識程度的受試者在閱讀理解測驗結果的比較；第三節為先備知識與閱讀歷程之分析，即以先備知識測驗之分組進行全文本及各區域眼動資料的比較；第四節為閱讀歷程與閱讀理解之分析，即以閱讀理解測驗的結果與全文本、各區域之眼動資料進行相關係數的分析。

第一節 先備知識測驗結果與分組

本研究之先備知識測驗共 4 題（每題 3 分），在經過三角校正的批改後，40 位受試者之先備知識測驗分數分布情形如圖 4-1.1 所示，平均分數為 3.38 分，標準差為 1.55，先備知識測驗分數之描述性統計如表 4-1.1 所示。由於先備知識測驗之滿分為 12 分，從描述性統計可以發現，本實驗受試者在先備知識測驗的得分普遍偏低。

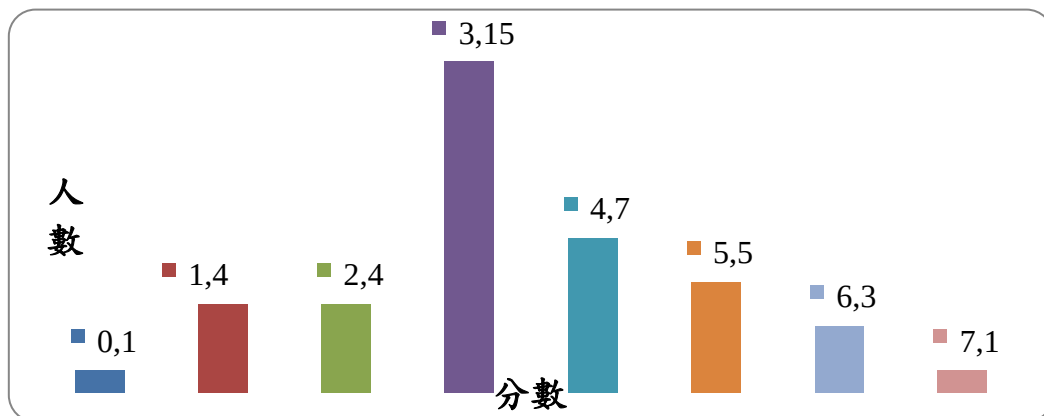


圖 4-1.1 先備知識測驗分數分布圖

表 4-1.1 先備知識測驗分數之描述性統計

	受試者數	平均分數	標準差	最大值	最小值
先備知識測驗	40	3.38	1.55	7	0

本研究依據受試者先備知識測驗的結果，將受試者分為高、中、低三組，以平均數加減半個標準差為分界，得分比平均數加半個標準差大者（5 分以上）屬於高先備知識組，得分較平均數減半個標準差小者（2 分以下）為低先備知識組，得分介於 3~4 分之間者為中先備知識組，以此標準分組後，高先備知識組共 9 人、中先備知識組共 22 人、低先備知識組共 9 人，因各組人數不均等且為確認此三組之先備知識程度具有差異，進行單因子變異數分析（one-way ANOVA）及事後比較。

統計結果如表 4-1.2 所示，三組之變異數同質性檢定未達顯著水準($p>0.05$)，表示三組之間的平均數差異是來自於先備知識的不同，單因子變異數分析的結果達顯著水準 ($p<0.01$)，顯示有證據支持三組間的先備知識有差異；事後比較指出分數之高低關係為：「高先備知識組」大於「中先備知識組」大於「低先備知識組」，因此，可確認先備知識分組基準之可行性，在接下來探討先備知識與閱讀理解、閱讀歷程時，使用此分組進行統計分析與比較。

表 4-1.2 先備知識分組之統計結果

組別	平均分數 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值	Scheffe 事後比較
高先備知識	5.56 (0.72)	F=2.39	F=114.43**	高 > 中 > 低
中先備知識	3.32 (0.48)			
低先備知識	1.33 (0.25)			

註：** $p<0.01$

第二節 先備知識與閱讀理解測驗之分析

此節將先報導閱讀理解測驗的描述性統計，呈現受試者在閱讀理解測驗的得分情形，然後依據先備知識測驗之分組對閱讀理解測驗結果進行同質性與單因子變異數分析（one-way ANOVA），以了解具不同先備知識程度的受試者在閱讀理解測驗表現之差異。

一、閱讀理解測驗結果

本研究之閱讀理解測驗共 6 題（每題 3 分，總分 18 分），其中 4 題為文本題（總分 12 分），另外 2 題為情境題（總分 6 分），在經過三角校正的批改後，40 位受試者閱讀理解測驗總分之分布如圖 4-2.1 所示。閱讀理解測驗總分之平均分數為 8.18 分，標準差為 3.18；文本題之平均得分為 6.13 分，標準差為 2.29；情境題之平均得分為 2.05 分，標準差為 1.26。表 4-2.1 為閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分之描述性統計。

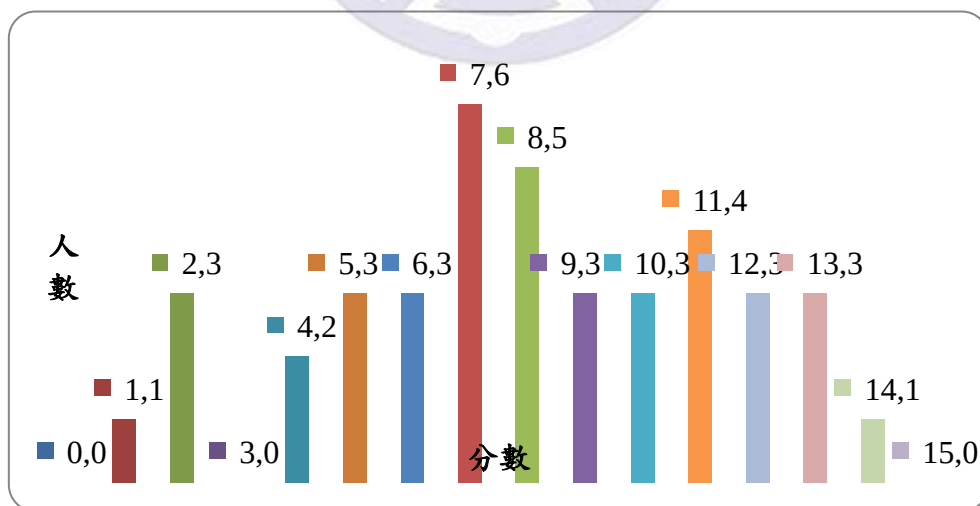


圖 4-2.1 閱讀理解測驗分數分布圖

表 4-2.1 閱讀理解測驗分數之描述性統計

閱讀理解測驗	受試者數	平均分數	標準差	最大值	最小值
總分	40	8.18	3.18	14	1
文本題得分	40	6.13	2.29	11	1
情境題得分	40	2.05	1.26	4	0

二、先備知識與閱讀理解之變異數分析

依據受試者在先備知識測驗的分組對閱讀理解測驗之總分、文本題得分及情境題得分進行同質性與單因子變異數分析，其單因子變異數分析、事後比較之結果如表 4-2.2 所示。

閱讀理解測驗總分之平均數：高先備知識組為 10.00 分、中先備知識組為 8.27 分、低先備知識組為 6.11 分，針對各組平均數進行統計後，發現此三組的閱讀測驗分數之同質性檢定未達顯著，顯示閱讀理解測驗的分數差異是來自於先備知識的不同，而單因子變異數分析結果達顯著，指出不同先備知識者其閱讀理解測驗分數確有差異，事後比較可知相關性為：先備知識高者比中、低者具有較好的閱讀理解，而中先備知識者又比低先備知識者好，其中以高先備知識與低先備知識組間的差異最為明顯。

閱讀理解測驗中文本題之得分平均數：高先備知識組為 6.68 分、中先備知識組為 6.36 分、低先備知識組為 4.89 分，針對各組在文本題得分之平均數進行統計後，發現此三組之同質性檢定未達顯著，因此進行單因子變異數分析，結果未達顯著，顯示不同先備知識者在閱讀文本後對於文本內容的理解並沒有明顯地差異。

情境題之得分平均數：高先備知識組為 3.22 分、中先備知識組為 1.91 分、低先備知識組為 1.22 分，針對各組在情境題得分之平均數進行統計後，發現此三組通過同質性檢定且在單因子變異數分析中達顯著，揭示不同先備知識程度者

在應用從文本獲得之概念進行不同情境的推論與解釋上有所差異，且事後比較可知其趨勢為：高先備知識者較中先備知識者好，中先備知識者又較低先備知識者好，其中以高先備知識者和中、低先備知識者間差異較為顯著。

表 4-2.2 各先備知識組別之閱讀理解測驗分數的統計結果

閱讀理解測驗	組別	平均分數 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值	Scheffe 事後比較
總分	高先備知識	10.00 (2.35)	F=0.76	F=3.90*	高 > 低
	中先備知識	8.27 (2.83)			
	低先備知識	6.11 (3.76)			
文本題 得分	高先備知識	6.68 (1.92)	F=0.54	F=1.88	單因子變異數 分析未達顯著
	中先備知識	6.36 (2.08)			
	低先備知識	4.89 (2.85)			
情境題 得分	高先備知識	3.22 (0.83)	F=0.55	F=8.18**	高 > 中 高 > 低
	中先備知識	1.91 (1.15)			
	低先備知識	1.22 (1.09)			

註：* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

第三節 先備知識與閱讀歷程之分析

本研究提供受試者的閱讀材料是改編自《科學人》雜誌「海洋酸化的危機」一文，共包含 12 個頁面。研究者依據文本內容進行文字與圖片閱讀區域的劃分：在文字部分包括「研究目的」、「研究方法」、「數據趨勢」、「根據資料而形成的科學推論與解釋」、「預測模式」、「背景知識」等區域；而在圖片部分包括「數據趨勢圖」、「數據趨勢圖標」、「數據趨勢之空間圖標」、「預測模式圖」、「預測模式關鍵圖區」、「預測模式圖標」、「背景知識圖」等區域。以下將以先備知識分組針對所有頁面、各區域之眼動資料、第一次閱讀凝視時間、圖文間交互閱讀、文字區域間回視與再閱讀凝視時間進行統計分析與比較。圖 4-3.1 呈現不同先備知識組別在包含「研究方法」與「數據趨勢」文字描述與圖片頁面的眼動軌跡圖，各組以一人為例，圖 4-3.1 可見中、低先備知識者在數據趨勢文字描述的凝視點較多，而中、高先備知識者的圖文交互閱讀較明顯。

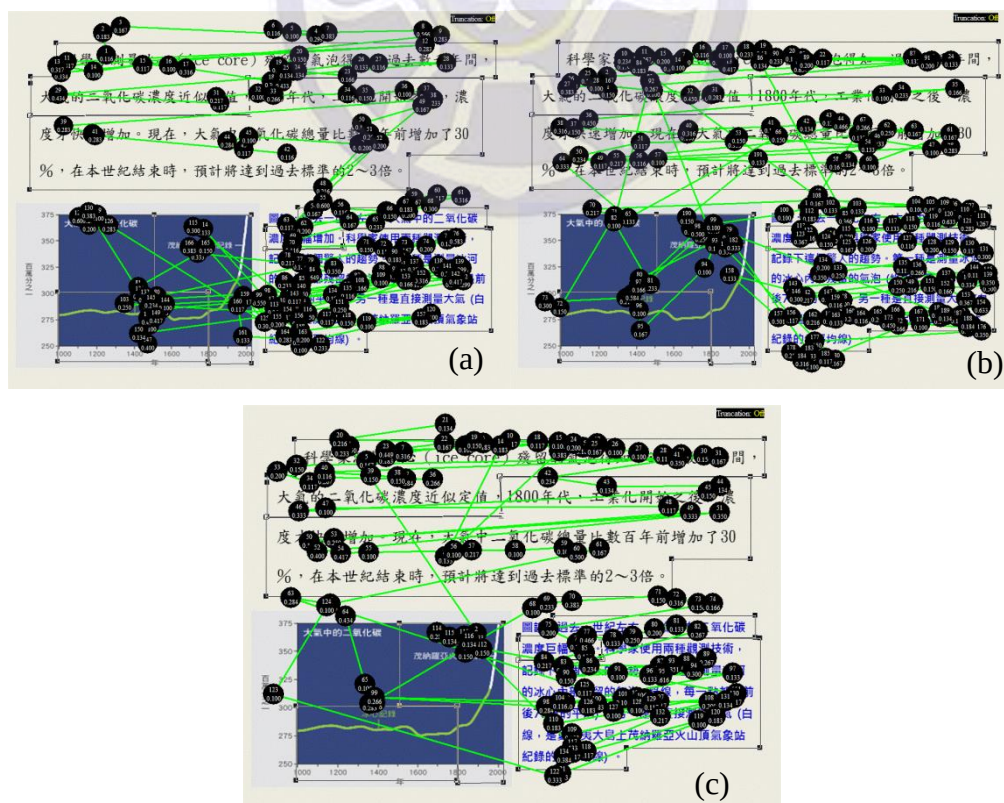


圖 4-3.1 (a)高先備知識組、(b)中先備知識組、(c)低先備知識組之眼動軌跡圖

一、先備知識與所有頁面眼動資料之交叉分析

眼動資料統計時會先刪除眼動資料遺失率超過 40% 的受試者，再針對不同先備知識程度的受試者完成頁面之總閱讀時間、總凝視時間、凝視時間百分比、平均凝視時間等此四項指標（定義見表 3-4.3）進行同質性考驗、單因子變異數分析及事後比較，其統計結果如表 4-3.1 所示。

表 4-3.1 各先備知識組別之所有頁面眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知識之平均 (SD)	中先備知識之平均 (SD)	低先備知識之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間 (秒)	272.28 (48.24)	296.81 (103.93)	261.49 (103.93)	F=3.53*	W/F=0.62 (穩健測試)
總凝視時間 (秒)	195.04 (43.54)	215.10 (85.02)	182.32 (45.02)	F=2.42	F=0.57
凝視時間 百分比(%)	62.64 (7.61)	63.65 (7.35)	60.65 (6.81)	F=0.30	F=0.53
平均凝視 時間(秒)	0.20 (0.02)	0.21 (0.02)	0.20 (0.01)	F=1.86	F=0.60

註：* $p < 0.05$

統計結果顯示總閱讀時間之同質性達顯著，因此，進行平均值等式穩健測試（Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗），結果未達顯著（ $p > 0.1$ ），表示三組在總閱讀時間無顯著差異；此外，從單因子變異數分析的結果，也發現此三組在總凝視時間、凝視時間百分比、平均凝視時間皆沒有顯著差異，故無需進行事後比較。綜上所述，得知先備知識的差異與受試者在閱讀所有頁面時的總閱讀時間及凝視的狀況無顯著關係。

二、先備知識與各區域眼動資料之交叉分析

在此將針對不同先備知識程度者在各區域的總閱讀時間、該區閱讀時間百分比、總凝視時間、該區凝視時間對總凝視時間的百分比、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間、回視次數、再閱讀凝視時間、圖文交互閱讀等指標，進行同質性考驗、單因子變異數分析、事後比較。由於部分受試者在某一、二個頁面的眼動資料遺失率超過 40%，故部分受試者於該頁面之資料不列入統計計算，因此為避免字數差異的影響，在總閱讀時間、總凝視時間、再閱讀凝視時間之指標，在字數處理後才進行統計。此外，分析圖片的第一次閱讀凝視時間時，圖片不細分成圖標、關鍵圖區等區域，是以該圖的所有區域進行分析。

(一) 先備知識與「研究目的」區域的眼動資料之交叉分析

「研究目的」區域的文字內容是介紹「海洋酸化的危機」一文之研究目的，在所有頁面中僅有一個頁面的一小段落以純文字的方式描述，因此，此區域不進行圖文交互閱讀之分析，其統計結果如表 4-3.2 所示。

統計結果顯示，任何眼動指標在高、中、低先備知識組別間平均數的差異皆通過同質性考驗，但在變異數分析中皆未達顯著水準，這指出先備知識程度的不同與受試者在本科學文本閱讀時的閱讀時間、凝視時間、回視次數與再閱讀凝視時間、第一次閱讀凝視時間的無交互關係。

表 4-3.2 各先備知識組別之「研究目的」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知識之平均 (SD)	中先備知識之平均 (SD)	低先備知識之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒/字)	0.13 (0.05)	0.15 (0.07)	0.13 (0.07)	F=0.42	F=0.29
閱讀時間百分比(%)	50.06 (12.52)	51.32 (10.13)	45.49 (7.81)	F=2.04	F=1.03

眼動指標	高先備知 識之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知 識之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
總凝視時間(秒/字)	0.10 (0.04)	0.10 (0.05)	0.08 (0.05)	F=0.29	F=0.40
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	55.30 (16.69)	55.12 (11.81)	49.11 (12.00)	F=2.56	F=0.74
平均凝視時間 (秒)	0.20 (0.03)	0.19 (0.20)	0.18 (0.02)	F=1.07	F=1.00
第一次閱讀凝視 時間 (秒/字)	0.09 (0.04)	0.08 (0.04)	0.06 (0.03)	F=0.42	F=0.81
回視次數 (次)	0.88 (0.84)	1.75 (1.29)	1.11 (1.05)	F=1.20	F=2.02
再閱讀凝視時間 (秒/字)	0.01 (0.01)	0.02 (0.42)	0.02 (0.04)	F=1.10	F=0.49

(二) 先備知識與「研究方法」眼動資料之交叉分析

「研究方法」區域是以純文字的方式描述科學家根據研究目的所使用的研究方法，內容包含方法的選定與原因，由於內容不具有對應於文字的圖片，因此，此區域不進行圖文交互閱讀之分析，其統計結果如表 4-3.3 所示。

進行同質性檢定後發現三組在「研究方法」的總閱讀時間達顯著，故進行平均值等式穩健測試 (Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗)，結果未達顯著 ($p>0.1$)，顯示三組在此區域的總閱讀時間之平均數沒有差異。其他通過同質性考驗之指標，進行變異數分析後，僅平均凝視時間接近顯著水準，顯示讀者的先備知識程度與閱讀「研究方法」時的平均凝視時間有關，且事後比較中僅低、中先備知識組間接近顯著差異，此結果說明受試者在閱讀科學文本的「研究方法」時，其總閱讀、凝視時間、百分比、第一次閱讀凝視時間、回視次數、再閱讀凝視時間皆與先備知識無交互作用，但平均凝視時間中，中先備知識組有大於低先備知識組的趨勢。

表 4-3.3 各先備知識組別之「研究方法」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知 識之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知 識之平均 (SD)	同質性 檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒/字)	0.12 (0.02)	0.12 (0.05)	0.11 (0.04)	F=4.22*	W/F=0.184 (穩健測試)
閱讀時間百分比(%)	34.59 (5.15)	32.39 (6.14)	33.93 (5.48)	F=0.53	F=0.50
總凝視時間(秒/字)	0.09 (0.02)	0.09 (0.04)	0.08 (0.04)	F=2.60	F=0.08
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	38.88 (6.77)	36.33 (6.88)	38.06 (6.83)	F=0.28	F=0.47
平均凝視時間 (秒)	0.20 (0.02)	0.21 (0.02)	0.19 (0.02)	F=0.27	F=2.71(*)
第一次閱讀凝視 時間 (秒/字)	0.05 (0.03)	0.05 (0.02)	0.05 (0.02)	F=0.67	F=0.61
回視次數 (次)	3.38 (1.69)	2.15 (1.63)	1.89 (1.27)	F=0.45	F=2.27
再閱讀凝視時間 (秒/字)	0.03 (0.02)	0.04 (0.03)	0.03 (0.19)	F=1.63	F=0.66

註：*p<0.05

(三) 先備知識與「數據趨勢」眼動資料之交叉分析

「數據趨勢」區域的內容主要是說明科學家進行研究後所得的數據趨勢，除了以純文字的方式闡述外，也搭配相對應的圖片及圖說，因此，在「數據趨勢」的區域將會分為三個面向進行統計分析，一為純文字的部分，包含主文與圖說，二為圖片的部分，包含兩張圖片：大氣數據趨勢圖、海洋數據趨勢圖，三為圖文交互閱讀的分析。

1. 「數據趨勢」純文字部份之分析

表 4-3.4 顯示不同先備知識程度之受試者在「數據趨勢」文字部分的眼動資料統計結果。

表 4-3.4 各先備知識組別之「數據趨勢(文)」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備 知識之 平均 (SD)	中先備 知識之 平均 (SD)	低先備 知識之 平均 (SD)	同質性 檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間 (秒/字)	0.09 (0.02)	0.12 (0.05)	0.11 (0.02)	F=5.67**	W/F=3.75* (穩健測試)
閱讀時間百分比 (%)	16.90 (2.03)	18.66 (3.34)	19.67 (4.39)	F=1.65	F=1.43
總凝視時間 (秒/字)	0.07 (0.01)	0.09 (0.04)	0.08 (0.02)	F=3.91*	W/F=3.53* (穩健測試)
凝視時間對總凝視 時間的百分比 (%)	19.14 (2.97)	20.94 (3.41)	21.97 (4.21)	F=0.30	F=1.39
平均凝視時間 (秒)	0.19 (0.02)	0.20 (0.02)	0.20 (0.01)	F=1.28	F=1.01
第一次閱讀凝視 時間 (秒/字)	0.04 (0.01)	0.06 (0.03)	0.06 (0.02)	F=5.17*	W/F=5.94** (穩健測試)
回視次數 (次)	2.88 (1.73)	3.00 (2.03)	3.33 (2.06)	F=0.65	F=0.13
再閱讀凝視時間 (秒/字)	0.03 (0.01)	0.03 (0.02)	0.02 (0.02)	F=2.07	F=1.56

註：* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

統計結果顯示，總閱讀時間、總凝視時間、第一次閱讀凝視時間未通過同質性檢定，因此，進行平均值等式穩健測試 (Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗)，結果總閱讀時間、總凝視時間、第一次閱讀凝視時間皆達顯著 ($p < 0.05$)，顯示有證據支持此三組在總閱讀時間、總凝視時間、第一次閱讀凝視時間之平均數有差異，進行事後比較 (Games-Howell 檢定) 後發現在總閱讀時間、總凝視時間、

第一次閱讀凝視時間皆僅在高、中先備知識組間達顯著 ($p < 0.05$)，而在第一次閱讀凝視時間中高、低先備知識組間接近顯著 ($p < 0.1$)。另外，通過同質性檢定之指標，在變異數分析後皆未達顯著水準，即三組之平均數沒有差異。從以上結果可知，受試者在閱讀數據趨勢（純文字）時的總閱讀時間以及總凝視時間、第一次閱讀凝視時間與先備知識的不同有顯著交互關係，在總閱讀時間、總凝視時間的趨勢為中先備知識者最長，低先備知識者次之，高先備知識者最短，而第一次閱讀凝視時間則是低先備知識者最長，高先備知識者最短，且先備知識分組在這三個指標中又以中、高先備知識組間的差異最為顯著。

2. 「數據趨勢」圖片部份之分析

此部份的分析是將「數據趨勢」的圖片區域分為主要圖區、圖標、空間圖標等區塊，以進行統計分析。「數據趨勢」圖在閱讀材料中包含兩張圖片（大氣趨勢圖、海洋趨勢圖），為避免圖片大小對眼動資料的影響，將兩張圖片的主要圖區分開分析，其中海洋數據趨勢圖劃分為主要圖區、圖標、空間圖標進行各眼動指標的分析，但針對第一次閱讀凝視時間之指標則將海洋數據趨勢圖的所有區域綜合進行分析；在圖文交互閱讀的分析上，兩張圖片共同進行比較。表 4-3.5 為先備知識與大氣趨勢圖主要圖區的眼動資料統計結果。

如表 4-3.5 的統計結果可知，除了平均凝視時間未通過同質性檢定外，其他通過的指標進行變異數分析後，皆未達顯著，顯示先備知識的程度與閱讀、凝視時間及百分比間、第一次閱讀凝視時間不具顯著相關。因平均凝視時間未通過同質性檢定，故進行平均值等式穩健測試（Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗），考驗結果依舊未達顯著 ($p > 0.1$)，指出先備知識亦與受試者閱讀大氣數據趨勢圖時之平均凝視時間沒有顯著關聯。

表 4-3.5 各先備知識組別之「大氣數據趨勢圖」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知 識之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知 識之平均 (SD)	同質性 檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒)	2.45 (2.45)	2.76 (1.36)	2.79 (3.01)	F=2.61	F=0.22
閱讀時間百分比(%)	6.43 (4.33)	7.55 (3.38)	6.88 (5.22)	F=1.03	F=0.28
總凝視時間(秒)	1.74 (2.13)	2.05 (1.08)	1.95 (2.01)	F=1.63	F=0.18
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	6.74 (5.46)	8.59 (4.15)	7.72 (5.51)	F=0.66	F=0.51
平均凝視時間 (秒)	0.21 (0.10)	0.22 (0.05)	0.24 (0.11)	F=3.43*	W/F=0.23 (穩健測試)
第一次閱讀凝視 時間 (秒)	0.37 (0.45)	0.68 (0.74)	0.58 (0.63)	F=0.79	F=0.68

註：* $p < 0.05$

表 4-3.6 為先備知識與「海洋數據趨勢圖」主要圖區的眼動資料統計結果，統計結果顯示閱讀時間百分比、平均凝視時間未通過同質性檢定，所以這兩指標進行平均值等式穩健測試（Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗），分析後此兩指標未達顯著（ $p > 0.1$ ），其他進行變異數分析之指標均未達顯著，這說明了先備知識和受試者閱讀海洋數據趨勢圖時的閱讀、凝視時間及百分比之間無顯著關係。

除了主要圖區外，研究者亦針對三組在圖標、空間圖標的各眼動指標平均數進行分析，統計結果均通過同質性檢定，但在變異數分析中皆未達顯著水準，顯示先備知識的差異和受試者閱讀圖標時的閱讀、凝視時間與百分比沒有顯著關係。

表 4-3.6 各先備知識組別之「海洋數據趨勢圖」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知 識之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知 識之平均 (SD)	同質性 檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒)	4.73 (3.24)	5.20 (3.77)	3.69 (1.47)	F=2.28	F=0.60
閱讀時間百分比(%)	12.67 (8.09)	12.34 (6.04)	10.92 (3.31)	F=3.79*	W/F=0.37 (穩健測試)
總凝視時間(秒)	3.86 (2.81)	3.77 (2.78)	2.69 (1.57)	F=1.28	F=0.58
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	15.62 (10.81)	13.44 (6.87)	11.88 (5.13)	F=3.21	F=0.49
平均凝視時間 (秒)	0.27 (0.13)	0.21 (0.05)	0.20 (0.06)	F=4.95*	W/F=0.68 (穩健測試)
第一次閱讀凝視 時間 (秒)	0.97 (1.70)	1.76 (1.89)	2.94 (2.65)	F=1.77	F=1.90

註：* $p < 0.05$

3. 「數據趨勢」圖文交互閱讀之分析

表 4-3.7 報導不同先備知識程度的受試者在閱讀數據趨勢時圖文交互閱讀的統計結果。三組之平均數雖通過同質性檢定，但變異數分析未達顯著，這說明受試者閱讀數據趨勢文字與圖片間交互閱讀的次數與先備知識程度無顯著關係。

表 4-3.7 各先備知識組別之「數據趨勢」圖文交互閱讀的統計結果

眼動指標	高先備知識 之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知識 之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
圖文交互閱 讀 (次)	7.75 (3.99)	7.55 (2.95)	6.75 (4.65)	F=1.73	F=0.19

(四) 先備知識與「根據資料而形成之科學推論與解釋」眼動資料之交叉分析

「根據資料而形成之科學推論與解釋」區域是以純文字的方式說明科學家在取得研究數據後，針對數據結果所得到的推論以及對數據的解釋，因內容不具對應的圖片，故僅進行純文字的分析。表 4-3.8 為先備知識程度與此區域眼動資料的分析結果。

表 4-3.8 各先備知識組別之「根據資料而形成之科學推論與解釋」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知識之平均 (SD)	中先備知識之平均 (SD)	低先備知識之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒/字)	0.10 (0.02)	0.12 (0.05)	0.11 (0.04)	F=1.28	F=0.36
閱讀時間百分比(%)	26.88 (5.02)	29.39 (3.48)	30.81 (5.22)	F=0.46	F=1.83
總凝視時間(秒/字)	0.07 (0.02)	0.08 (0.04)	0.08 (0.03)	F=1.17	F=0.42
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	30.55 (4.96)	32.68 (3.16)	34.64 (5.48)	F=2.12	F=2.00
平均凝視時間(秒)	0.20 (0.03)	0.20 (0.02)	0.19 (0.12)	F=1.80	F=0.31
第一次閱讀凝視時間(秒/字)	0.04 (0.02)	0.04 (0.03)	0.04 (0.01)	F=1.22	F=0.21
回視次數(次)	3.75 (1.83)	4.65 (2.13)	2.29 (1.80)	F=0.54	F=3.65*
再閱讀凝視時間(秒/字)	0.03 (0.01)	0.04 (0.03)	0.03 (0.03)	F=1.17	F=0.31

註：*p<0.05

統計結果顯示所有眼動指標皆通過同質性檢定，其中回視次數在變異數分析中達到顯著，其他指標則未達顯著水準，這說明有證據支持不同先備知識程度的受試者在閱讀「根據資料而形成之科學推論與解釋」時，其回視次數的平均數有差異，接著對回視次數進行事後比較（Scheffe 法）發現僅有中、低先備知識組間差異達顯著（ $p<0.05$ ）。綜合以上所述，可以知道先備知識分組在此區域的回視次數之趨勢為：中先備知識者>高先備知識者>低先備知識者，其中又以中、低先備知識組間的差異達顯著。

（五） 先備知識與「預測模式」區域眼動資料之交叉分析

「預測模式」區域的內容主要是說明科學家依據研究結果對未來發展的預測，以純文字搭配相對應的圖片及圖說進行闡述，因此，在「預測模式」的分析將會分三個面向進行，一為純文字的部分，其中包含主文與圖說；二為圖片的部分，劃分為關鍵圖區、全圖、圖標；三為圖文交互閱讀的分析。

1. 「預測模式」純文字部份之分析

不同先備知識程度的受試者閱讀「預測模式」文字描述之眼動資料與分析結果如表 4-3.9 所示。統計結果指出各組的所有眼動指標之平均數皆通過同質性檢定，但在變異數分析中，均未達顯著水準，顯示出受試者的先備知識程度與其閱讀科學文本中「預測模式」文字內容時的閱讀、凝視時間及百分比、第一次閱讀凝視時間、回視次數、再閱讀凝視時間無顯著關係。

表 4-3.9 各先備知識組別之「預測模式」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知識之平均 (SD)	中先備知識之平均 (SD)	低先備知識之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒/字)	0.06 (0.03)	0.08 (0.03)	0.07 (0.04)	F=0.08	F=0.99
閱讀時間百分比(%)	9.31 (3.39)	10.29 (2.46)	9.25 (3.22)	F=0.71	F=0.58

眼動指標	高先備知識之平均 (SD)	中先備知識之平均 (SD)	低先備知識之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
總凝視時間(秒/字)	0.05 (0.03)	0.06 (0.03)	0.05 (0.03)	F=0.13	F=1.00
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	10.95 (4.00)	12.39 (3.24)	11.13 (3.81)	F=0.80	F=0.66
平均凝視時間 (秒)	0.18 (0.02)	0.20 (0.03)	0.19 (0.02)	F=1.62	F=0.88
第一次閱讀凝視時間 (秒/字)	0.03 (0.02)	0.04 (0.02)	0.03 (0.02)	F=0.44	F=0.29
回視次數 (次)	1.13 (0.64)	1.50 (1.00)	0.89 (0.78)	F=1.51	F=1.61
再閱讀凝視時間 (秒/字)	0.01 (0.01)	0.02 (0.02)	0.02 (0.03)	F=3.12	F=1.50

2. 「預測模式」圖片部份之分析

閱讀材料中僅有一張圖片被歸類為「預測模式」，研究者將此圖片劃分為關鍵圖區、全圖區、圖標，分別進行眼動資料的統計分析，但在第一次閱讀凝視時間指標的分析，則以所有區域共同進行計算，並將結果呈現於全圖區之表格中。表 4-3.10 即報導不同先備知識組別在閱讀關鍵圖區時的眼動資料與統計結果。

在同質性檢定中，平均凝視時間達顯著，因此，針對此指標改進行平均值等式穩健測試 (Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗)，結果顯示三組平均凝視時間之平均數在兩考驗中皆達顯著，故進行事後比較 (Games-Howell 檢定)，其中高、中先備知識組間的差異接近顯著水準 ($p < 0.01$)，而高、低及中、低先備知識組間的差異皆不顯著，也就是說受試者的先備知識程度和其閱讀關鍵圖區的平均凝視時間具相關性，以中先備知識者的平均凝視時間最長，高先備知識者最短。而其他通過同質性檢定之眼動指標，並未在變異數分析中達顯著。

表 4-3.10 各先備知識組別之「預測模式關鍵圖區」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備知 識之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知 識之平均 (SD)	同質性 檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒)	1.00 (1.16)	1.08 (0.97)	0.83 (0.74)	F=0.44	F=0.07
閱讀時間百分比(%)	2.66 (2.68)	2.83 (2.32)	2.15 (1.92)	F=0.48	F=0.09
總凝視時間(秒)	0.63 (0.79)	0.72 (0.64)	0.49 (0.43)	F=1.00	F=0.22
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	2.67 (2.78)	3.00 (2.74)	2.19 (2.00)	F=0.50	F=0.14
平均凝視時間 (秒)	0.14 (0.02)	0.24 (0.14)	0.16 (0.02)	F=3.47*	W/F=3.81* (穩健測試)

註：* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

表 4-3.11 報導先備知識差異與「預測模式全圖區」眼動資料的分析結果，顯示全圖區的平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間未通過同質性檢定，因此，對其進行平均值等式穩健測試 (Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗)，考驗後發現在這兩指標三組之平均數皆達顯著 ($p < 0.01$)，故進行事後比較 (Games-Howell 檢定)，其中平均凝視時間中高、中先備知識組間及中、低先備知識組間的差異達顯著水準 ($p < 0.05$)，但高、低先備知識組間不顯著 ($p > 0.01$)；而第一次閱讀凝視時間中則僅中、高先備知識組間接近顯著差異 ($p < 0.1$)。而其他通過同質性檢定之指標在變異數分析中皆未達顯著。

綜合以上，可發現先備知識的程度與受試者閱讀「預測模式全圖區」的平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間具有交互關係，以中先備知識組之平均凝視時間顯著高於高、低先備知識組，且中先備知識組之第一次閱讀凝視時間接近顯著高於高先備知識組。

表 4-3.11 各先備知識組別之「預測模式全圖區」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備 知識之 平均 (SD)	中先備 知識之 平均 (SD)	低先備 知識之 平均 (SD)	同質性 檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒)	3.40 (3.42)	3.06 (2.56)	3.63 (3.32)	F=1.38	F=0.35
閱讀時間百分比(%)	9.13 (8.33)	7.99 (5.39)	9.20 (7.49)	F=1.70	F=0.39
總凝視時間(秒)	2.20 (2.36)	2.12 (1.81)	2.32 (2.21)	F=0.89	F=0.18
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	9.45 (8.73)	8.96 (6.67)	10.69 (10.22)	F=1.10	F=0.43
平均凝視時間 (秒)	0.18 (0.03)	0.23 (0.07)	0.18 (0.02)	F=5.56**	W/F=4.04* (穩健測試)
第一次閱讀凝視 時間 (秒)	0.29 (0.28)	0.95 (1.10)	1.67 (2.54)	F=4.23**	W/F=3.92* (穩健測試)

註：* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

在「預測模式」圖片的分析除了關鍵圖區、全圖區外，研究者亦針對圖片中的圖標進行變異數分析，三組在所有眼動指標的平均數皆通過同質性檢定，然而沒有任何一個指標在變異數分析中達到顯著水準，因此，受試者閱讀預測模式圖標的閱讀、凝視時間、百分比、第一次閱讀凝視時間與先備知識無顯著相關。

3. 「預測模式」圖文交互閱讀之分析

針對不同先備知識程度受試者的圖文交互閱讀次數進行單因子變異數分析，其分析結果如表 4-3.12 所示。從統計的數值可以發現，三組之平均數通過同質性檢定，但在變異數分析中未達顯著，意即，受試者的先備知識和其閱讀「預測模式」文字與圖片時交互閱讀的次數間不具相關性。

表 4-3.12 各先備知識組別之「預測模式」圖文交互閱讀的統計結果

眼動指標	高先備知識 之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知識 之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
圖文交互閱 讀 (次)	2.75 (2.44)	3.00 (2.22)	2.44 (1.33)	F=0.85	F=0.22

(六) 先備知識與「背景知識」區域眼動資料之交叉分析

「背景知識」區域的內容主要提及與海洋酸化相關的化學平衡(勒沙特列原理)，和地球科學中碳酸鈣補償深度之概念，在此區域中包含純文字的敘述，亦具有相對應的圖片與圖說，因此，將分為三部分進行分析，一為純文字區域，包含主文與圖說；二為圖片分析；以全圖區為主，不進行更細緻的劃分；三為圖文交互閱讀之分析。

1. 「背景知識」純文字部份之分析

表 4-3.13 為不同先備知識程度的組別在「背景知識」文字區域之眼動資料統計結果。

由表中數值可以知道總閱讀時間、總凝視時間、再閱讀凝視時間未通過同質性檢定，因此，這三個指標改用平均值等式穩健測試(Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗)進行分析，結果顯示不論是總閱讀時間、總凝視時間、再閱讀凝視時間的三組平均數皆不達顯著($p>0.1$)，而其他通過同質性檢定之指標，在變異數分析中均未達顯著，以上統計結果說明受試者在閱讀「背景知識」文字敘述時，其閱讀、凝視時間、百分比、第一次閱讀時間、回視次數、再閱讀凝視時間皆與先備知識差異無顯著相關。

表 4-3.13 各先備知識組別之「背景知識」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備 知識之 平均 (SD)	中先備 知識之 平均 (SD)	低先備 知識之 平均 (SD)	同質性 檢定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒/字)	0.14 (0.02)	0.15 (0.06)	0.12 (0.03)	F=6.84**	W/F=1.93 (穩健測試)
閱讀時間百分比(%)	22.37 (2.88)	22.29 (3.14)	22.18 (1.68)	F=1.74	F=0.01
總凝視時間(秒/字)	0.10 (0.02)	0.11 (0.05)	0.09 (0.03)	F=5.86**	W/F=2.12 (穩健測試)
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	25.86 (2.99)	24.73 (2.67)	26.01 (2.72)	F=0.30	F=0.90
平均凝視時間 (秒)	0.20 (0.02)	0.20 (0.15)	0.19 (0.02)	F=0.31	F=0.57
第一次閱讀凝視 時間 (秒/字)	0.06 (0.03)	0.07 (0.03)	0.06 (0.03)	F=0.51	F=0.27
回視次數 (次)	7.38 (3.70)	8.47 (5.31)	5.86 (3.02)	F=2.53	F=0.85
再閱讀凝視時間 (秒/字)	0.04 (0.02)	0.05 (0.03)	0.04 (0.03)	F=7.47**	W/F=2.36 (穩健測試)

註：** $p < 0.01$

2. 「背景知識」圖片部份之分析

利用先備知識分組對「背景知識圖」眼動資料進行分析，其統計結果如表 4-3.14 所示。統計數值顯示除第一次閱讀凝視時間外，其他指標的三組平均數皆通過同質性檢定，但是在變異數分析中，沒有任何指標達到顯著水準。而第一次閱讀凝視時間在進行平均值等式穩健測試 (Welch 及 Brown-Forsythe(B)考驗) 後未達顯著水準 ($p > 0.1$)。也就是說受試者先備知識的程度和閱讀「背景知識圖」時的閱讀、凝視時間、百分比、第一次閱讀凝視時間無顯著關係。

表 4-3.14 各先備知識組別之「背景知識圖」眼動資料的統計結果

眼動指標	高先備 知識之 平均 (SD)	中先備 知識之 平均 (SD)	低先備 知識之 平均 (SD)	同質性檢 定 F 值	ANOVA F 值
總閱讀時間(秒)	7.67 (5.20)	7.41 (5.43)	6.14 (3.33)	F=1.43	F=0.23
閱讀時間百分比(%)	13.65 (8.02)	11.63 (6.48)	14.71 (12.00)	F=0.82	F=0.46
總凝視時間(秒)	6.24 (4.61)	6.02 (4.53)	4.69 (2.60)	F=1.45	F=0.35
凝視時間對總凝視 時間的百分比(%)	17.70 (10.65)	14.16 (8.28)	18.29 (16.28)	F=0.78	F=0.55
平均凝視時間 (秒)	0.21 (0.04)	0.27 (0.14)	0.23 (0.05)	F=1.12	F=0.88
第一次閱讀凝視 時間 (秒)	0.84 (0.65)	1.21 (1.39)	2.48 (1.60)	F=6.92**	W/F=2.00 (穩健測試)

註：**p<0.01

3. 「背景知識」圖文交互閱讀之分析

表 4-3.15 報導以先備知識分組比較閱讀「背景知識」文字與圖片時交互閱讀次數的統計結果。分析數據顯示三組的交互閱讀次數之平均數通過同質性檢定，然而在變異數分析上並未達到顯著，這指出受試者閱讀「背景知識」時圖文交互閱讀的次數與其先備知識無關。

表 4-3.15 各先備知識組別之「背景知識」圖文交互閱讀的統計結果

眼動指標	高先備知識 之平均 (SD)	中先備知 識之平均 (SD)	低先備知識 之平均 (SD)	同質性檢定 F 值	ANOVA F 值
圖文交互閱 讀 (次)	6.63 (5.07)	6.05 (3.69)	4.13 (2.53)	1.28	0.99

小結

根據以上利用先備知識分組針對不同內容或圖文類型（區域）進行的眼動資料平均數之統計結果，可以發現先備知識和受試者閱讀科學文本時歷程之間的相關性有限。在單因子變異數分析中，發現先備知識程度與受試者閱讀「根據資料而形成之科學推論與解釋」時的回視次數有關，又以中先備知識組顯著多於低先備知識組，此外，先備知識程度與「研究方法」的平均凝視時間接近顯著具有關係，又以中先備知識組接近顯著大於低先備知識組。

針對未通過同質性檢定的區域及指標進行平均值等式穩健測試後，發現先備知識程度和受試者閱讀「數據趨勢」文字敘述時的總閱讀時間及總凝視時間、第一次閱讀凝視時間有關，此三者又以中先備知識組的時間顯著高於高先備知識組；另一相關的區域與指標為「預測模式全圖區」及「預測模式關鍵圖區」之平均凝視時間，和「預測模式圖」的第一次閱讀凝視時間，並有中先備知識組大於高先備知識組的趨勢。

第四節 閱讀歷程與閱讀理解之分析

此節主要是呈現閱讀理解測驗之總分、文本題得分、情境題得分與經劃分後的區域及眼動資料進行皮爾森（Pearson）相關性檢定的分析結果，以下將會以所有頁面和「研究目的」、「研究方法」、「數據趨勢」、「根據資料而形成的科學推論與解釋」、「預測模式」、「背景知識」六種區域分類進行個別報導，如該區域中包含文字與圖片兩種表達類型，則報表內會以「圖—眼動指標」表示此眼動指標來自於圖片區域。

一、閱讀理解測驗與所有頁面眼動資料之相關分析

表 4-4.1 為閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與所有頁面之眼動資料的相關分析結果。結果發現，閱讀理解測驗總分與各眼動指標皆未達顯著相關，然而，文本題得分與總閱讀時間具有接近顯著之正相關，即總閱讀時間較長者能對文本內容有較佳的閱讀理解；情境題得分與凝視時間百分比、平均凝視時間有接近顯著或達顯著負相關，也就是說較能應用文本中概念進行不同情境下推論與解釋者在所有頁面中的凝視時間百分比比較少，且平均凝視時間較短。

表 4-4.1 閱讀理解測驗分數與所有頁面眼動資料的 Pearson 相關分析結果

「所有頁面」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題得分	情境題得分
總閱讀時間（秒/字）	0.15	0.31(*)	-0.18
總凝視時間(秒/字)	0.09	0.25	-0.22
凝視時間百分比(%)	-0.11	0.01	-0.28(*)
平均凝視時間（秒）	-0.11	0.06	-0.39*

註：(*) $p < 0.1$ ；* $p < 0.05$

二、閱讀理解測驗與「研究目的」眼動資料之相關分析

表 4-4.2 為閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與「研究目的」中所有眼動指標的相關分析之結果。相關分析的結果發現，在「研究目的」內容，本研究檢視的任何眼動指標與閱讀理解測驗總分、情境題得分的相關性皆未達顯著，即此區域之閱讀歷程與受試者應用文本概念進行不同情境的推論與解釋無關。但文本題得分與閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間的百分比有接近顯著的正相關，此結果顯示對文本內容理解較佳者在「研究目的」的閱讀、凝視時間之比例較高。

表 4-4.2 閱讀理解測驗分數與「研究目的」眼動資料的 Pearson 相關分析結果

「研究目的」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題得分	情境題得分
總閱讀時間（秒/字）	0.09	0.20	-0.14
閱讀時間百分比(%)	0.22	0.32(*)	-0.04
總凝視時間(秒/字)	0.06	0.18	-0.18
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	0.03	0.30(*)	-0.02
平均凝視時間（秒）	0.00	0.14	-0.25
第一次閱讀凝視時間（秒/字）	0.09	0.23	-0.21
回視次數（次）	0.17	0.15	0.15
再閱讀凝視時間（秒/字）	-0.02	-0.01	-0.02

註：(*) $p < 0.1$

三、閱讀理解測驗與「研究方法」眼動資料之相關分析

表 4-4.3 為閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與「研究方法」中所有眼動指標的相關分析結果。結果發現，在此區域中的眼動指標與閱讀理解測驗總分、文本題及情境題得分之相關皆未達顯著，即受試者閱讀「研究方法」時的閱讀歷程與閱讀理解、不同情境之文本概念應用沒有明顯地相關性。

表 4-4.3 閱讀理解測驗分數與「研究方法」眼動資料的 Pearson 相關分析結果

「研究方法」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題得分	情境題得分
總閱讀時間(秒/字)	0.08	0.14	-0.06
閱讀時間百分比(%)	-0.04	-0.08	0.04
總凝視時間(秒/字)	0.02	0.10	-0.12
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	-0.03	-0.10	0.11
平均凝視時間（秒）	-0.01	0.09	-0.19
第一次閱讀凝視時間（秒/字）	-0.11	-0.09	-0.12
回視次數（次）	0.16	0.19	0.05
再閱讀凝視時間（秒/字）	0.13	0.21	-0.07

四、閱讀理解測驗與「數據趨勢」眼動資料之相關分析

閱讀材料中除了文字區域外，還有兩張圖片被歸納為「數據趨勢」，分別為大氣數據趨勢圖、海洋數據趨勢圖，此外，圖片劃分為主要圖區、圖標、空間圖標。表 4-4.4 為閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與「數據趨勢」中所有眼動指標（包含文字、主要圖區、圖標）的相關分析結果。其中空間圖標之眼動資料與閱讀理解測驗皆沒有接近顯著或顯著相關性。

閱讀理解測驗總分與眼動資料分析之結果發現，在「數據趨勢」文字區域的閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間的百分比與閱讀理解測驗總分相關性達顯著，在圖片區域則以「大氣數據趨勢圖」的平均凝視時間接近顯著負相關，即整體閱讀理解較好的受試者花費在「數據趨勢」文字描述的時間百分比較少，且在「大氣趨勢圖」的平均凝視時間有較少的趨勢。

文本題得分與眼動資料分析的結果顯示，在「數據趨勢」文字區域的閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間的百分比有顯著負相關，圖片區域中則於「圖標」之總閱讀時間、閱讀時間百分比有接近顯著的正相關，此結果說明對文本內容理解較佳者花費在文字描述的時間百分比較少，而閱讀「圖標」的時間與比例較多。

情境題得分與眼動資料分析的結果揭示，在文字區域中的閱讀時間百分比、總凝視時間、凝視時間對總凝視時間的百分比、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間有顯著或接近顯著之負相關，但在圖片區域中的所有眼動指標均未發現有接近顯著或顯著相關性，以上結果說明不同情境下文本概念的應用和文字區域的閱讀歷程較具相關性，且可知較能應用文本概念進行不同情境的推論與解釋者，其閱讀「數據趨勢」文字區域時所花費的閱讀、凝視時間比例較少，且總凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間亦較短。

表 4-4.4 閱讀理解測驗分數與「數據趨勢」眼動資料的 Pearson 相關分析結果

「數據趨勢」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題 得分	情境題 得分
總閱讀時間(秒/字)	0.02	0.18	-0.27
閱讀時間百分比(%)	-0.39*	-0.34*	-0.36*
總凝視時間(秒/字)	-0.02	0.14	-0.29(*)
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	-0.38*	-0.36*	-0.29(*)
平均凝視時間 (秒)	-0.12	0.04	-0.36*
第一次閱讀凝視時間 (秒/字)	-0.13	0.01	-0.36*
回視次數 (次)	-0.06	-0.11	0.07
再閱讀凝視時間 (秒/字)	0.13	0.20	-0.05
大氣圖-總閱讀時間(秒)	0.04	0.11	-0.10
大氣圖-閱讀時間百分比(%)	0.05	0.11	-0.07
大氣圖-總凝視時間(秒)	-0.04	0.03	-0.16
大氣圖-凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	-0.02	0.04	-0.12
大氣圖-平均凝視時間 (秒)	-0.29(*)	-0.24	-0.28
大氣圖-第一次閱讀凝視時間 (秒)	-0.06	0.00	-0.15
海洋圖-總閱讀時間(秒)	0.02	0.17	-0.24
海洋圖-閱讀時間百分比(%)	0.07	0.16	-0.10
海洋圖-總凝視時間(秒)	0.02	0.15	-0.20
海洋圖-凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	0.11	0.15	0.02
海洋圖-平均凝視時間 (秒)	-0.13	-0.18	0.00
海洋圖-第一次閱讀凝視時間 (秒)	0.03	0.07	-0.05
圖標-總閱讀時間(秒)	0.22	0.30(*)	0.01
圖標-閱讀時間百分比(%)	0.24	0.29(*)	0.09
圖標-總凝視時間(秒)	0.19	0.28	-0.02
圖標-凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	0.24	0.27	0.13
圖標-平均凝視時間(秒)	-0.08	0.05	-0.28
圖文交互閱讀(次)	-0.04	0.13	-0.04

註：(*) $p < 0.1$ ；* $p < 0.05$

五、閱讀理解測驗與「根據資料而形成的科學推論與解釋」眼動資料之相關分析

閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與「根據資料而形成的科學推論與解釋」眼動資料之相關分析結果如表 4-4.5 所示。從分析結果可以發現在此區域中，回視次數與閱讀理解測驗總分之相關性達顯著，且為正相關，其它眼動指標則無，這說明受試者閱讀「根據資料而形成的科學推論與解釋」時，回視次數越多，整體閱讀理解測驗的成績越高。

文本題得分與眼動資料的分析結果顯示對文本內容的閱讀理解與總閱讀時間、總凝視時間、回視次數、再閱讀凝視時間有顯著或接近顯著的正相關，即文本閱讀理解較佳者在閱讀「根據資料而形成的科學推論與解釋」時，其閱讀、凝視時間、回視次數及再閱讀凝視時間較多。

情境題得分與眼動資料的分析結果顯現出不同情境下文本概念的應用與閱讀時間百分比、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間有顯著或接近顯著負相關，而與回視次數達顯著正相關，綜合上述，可知應用文本概念進行不同情境的推論與解釋較佳者，在「根據資料而形成的科學推論與解釋」的閱讀時間比例較少，且平均凝視時間與第一次閱讀凝視時間較短，但回視次數較多。

表 4-4.5 閱讀理解測驗分數與「根據資料而形成的科學推論與解釋」眼動資料的 Pearson 相關分析結果

「根據資料而形成的科學推論與解釋」 眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題總分	情境題總分
總閱讀時間(秒/字)	0.19	0.34*	-0.14
閱讀時間百分比(%)	-0.18	-0.08	-0.31(*)
總凝視時間(秒/字)	0.13	0.28(*)	-0.19
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	-0.14	-0.09	-0.20
平均凝視時間（秒）	-0.14	-0.01	-0.33*
第一次閱讀凝視時間（秒/字）	-0.11	0.02	-0.31(*)
回視次數（次）	0.48**	0.43**	0.41*
再閱讀凝視時間（秒/字）	0.26	0.35*	0.02

註：(*) $p < 0.1$ ；* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

六、閱讀理解測驗與「預測模式」眼動資料之相關分析

「預測模式」的閱讀內容除了文字的描述外，還有一張相對應的圖片，圖片劃分為關鍵圖區、全圖區、圖標。表 4-4.6 為閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與「預測模式」眼動資料（包含文字區域、關鍵圖區、全圖區、圖標）的相關分析。

閱讀理解測驗總分與眼動資料之相關分析結果皆未達顯著，顯示整體閱讀理解與閱讀歷程沒有相關性。文本題得分與眼動資料之相關分析發現對文本內容的理解與「預測模式」文字描述的回視次數有接近顯著正相關，在圖片區域中，則與關鍵圖區的閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間百分比有接近顯著之正相關，以上結果揭示在「預測模式」文字區域有較多回視且在關鍵圖區中花費閱讀、凝視時間比例較高者能對文本內容有較好的理解。

情境題得分與眼動資料的分析結果發現不同情境的文本概念應用與「預測模式」文字區域及「預測模式圖標」有相關性；在文字區域中的總閱讀時間、總凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間有顯著或接近顯著負相關；而圖標區域則是和總閱讀時間、閱讀時間百分比、總凝視時間、凝視時間對總凝視時間的百分比有顯著或接近顯著的負相關。此結果揭示在不同情境下應用文本概念較佳者，其在「預測模式」文字描述的閱讀、凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間較短，且在圖標的閱讀、凝視時間及百分比亦較短。

表 4-4.6 閱讀理解測驗分數與「預測模式」眼動資料的 Pearson 相關分析結果

「預測模式」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題得分	情境題得分
總閱讀時間(秒/字)	-0.10	0.02	-0.28(*)
閱讀時間百分比(%)	0.00	-0.06	0.11
總凝視時間(秒/字)	-0.14	-0.02	-0.31(*)
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	-0.06	-0.12	0.08
平均凝視時間（秒）	-0.21	-0.04	-0.45**
第一次閱讀凝視時間（秒/字）	-0.11	0.01	-0.29(*)

「預測模式」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題得分	情境題得分
回視次數（次）	0.17	0.28(*)	-0.07
再閱讀凝視時間（秒/字）	-0.06	0.01	-0.16
關鍵圖-總閱讀時間(秒)	0.08	0.24	-0.22
關鍵圖-閱讀時間百分比(%)	0.18	0.29(*)	-0.07
關鍵圖-總凝視時間(秒)	0.09	0.23	-0.20
關鍵圖-凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	0.19	0.28(*)	-0.03
關鍵圖-平均凝視時間（秒）	0.07	0.13	-0.04
全圖-總閱讀時間(秒)	0.04	0.14	-0.15
全圖-閱讀時間百分比(%)	0.12	0.18	-0.02
全圖-總凝視時間(秒)	0.03	0.10	-0.11
全圖-凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	0.13	0.15	0.04
全圖-平均凝視時間（秒）	0.29	0.29	0.21
全圖-第一次閱讀凝視時間（秒）	-0.18	-0.13	-0.21
圖標-總閱讀時間(秒)	-0.07	0.08	-0.33*
圖標-閱讀時間百分比(%)	-0.11	0.02	-0.31(*)
圖標-總凝視時間(秒)	-0.10	0.05	-0.34*
圖標-凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	-0.13	-0.02	-0.28(*)
圖標-平均凝視時間(秒)	-0.12	-0.04	-0.25
圖文交互閱讀(次)	0.03	0.08	0.10

註：(*) $p < 0.1$ ；* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

七、閱讀理解測驗與「背景知識」眼動資料之相關分析

閱讀材料中除了文字部分被歸類為「背景知識」外，另有一張圖片被歸為背景知識的內容，因此全圖不再細分。表 4-4.7 為閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分與此區域文字及圖片之眼動資料相關分析結果。

統計結果指出，閱讀理解測驗總分與「背景知識」文字區域的總閱讀時間、總凝視時間、回視次數、再閱讀凝視時間達顯著正相關，文字區域的其他指標則無顯著相關；「背景知識」圖片區域的第一次閱讀凝視時間與閱讀理解測驗分數達顯著負相關，且閱讀時間百分比和凝視時間對總凝視時間的百分比接近顯著負

相關。綜合以上結果說明受試者在閱讀「背景知識」文字區域時，總閱讀、凝視時間、回視次數與再閱讀凝視時間越多者，以及在圖片區域的閱讀與凝視時間百分比、第一次閱讀凝視時間越短則有較好的整體閱讀理解。

文本題得分與眼動資料之分析結果發現與文字區域的總閱讀時間、總凝視時間、回視次數、再閱讀凝視時間有顯著正相關，圖片區域則和閱讀時間百分比、第一次閱讀凝視時間有接近顯著或顯著負相關，即閱讀「背景知識」文字描述的閱讀、凝視時間、再閱讀凝視時間較長且回視次數較多，以及在閱讀圖片時間比例、第一次閱讀凝視時間較少者有較好的文本內容理解。

情境題得分與眼動資料之分析結果顯示，不同情境下文本概念之應用與文字區域的平均凝視時間有顯著負相關，而與回視次數有接近顯著的正相關，另外，圖片區域中，則與平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間有顯著負相關，但與圖文交互閱讀次數有接近顯著的正相關。以上結果揭示能夠應用文本概念於不同情境者，其閱讀「背景知識」文字描述及圖片時有較短的平均凝視時間且較多的回視、圖文交互閱讀次數，此外閱讀圖片的第一次閱讀凝視時間亦較短。

表 4-4.7 閱讀理解測驗分數與「背景知識」眼動資料的 Pearson 相關分析結果

「背景知識」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題得分	情境題得分
總閱讀時間(秒/字)	0.40*	0.54**	0.04
閱讀時間百分比(%)	0.07	0.12	-0.05
總凝視時間(秒/字)	0.35*	0.49**	-0.01
凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	0.18	0.19	0.13
平均凝視時間（秒）	-0.16	-0.02	-0.36*
第一次閱讀凝視時間（秒/字）	0.01	0.15	-0.24
回視次數（次）	0.42*	0.42*	0.30(*)
再閱讀凝視時間（秒/字）	0.50**	0.55**	0.24
圖-總閱讀時間(秒)	0.03	0.10	-0.10
圖-閱讀時間百分比(%)	-0.31(*)	-0.33(*)	-0.18
圖-總凝視時間(秒)	0.01	0.08	-0.10
圖-凝視時間對總凝視時間的百分比(%)	-0.30(*)	-0.34	-0.14

「背景知識」眼動指標	閱讀理解測驗		
	總分	文本題得分	情境題得分
圖-平均凝視時間（秒）	-0.21	-0.07	-0.39*
圖-第一次閱讀凝視時間（秒）	-0.48**	-0.45**	-0.38*
圖文交互閱讀(次)	0.16	0.16	0.29(*)

註：(*) $p < 0.1$ ；* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

小結

在進行各區域眼動資料與閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分的相關分析後，可以發現受試者在「研究方法」的閱讀歷程與閱讀理解無明顯地關係；然而，在其他區域中則有部分眼動指標與閱讀理解測驗有顯著相關。

由總分與眼動資料的分析結果可知，具有較佳整體閱讀理解者在「數據趨勢」文字描述的閱讀時間百分比、「大氣數據趨勢圖」的平均凝視時間較少；在「根據資料而形成的科學推論與解釋」中有較多回視次數；在「背景知識」文字敘述的總閱讀時間、總凝視時間、回視次數、再閱讀凝視時間較多，且在「背景知識」圖片區域閱讀與凝視時間百分比、第一次閱讀凝視時間較少。

文本題得分與眼動資料的分析結果顯示，具有較佳文本內容理解者在所有頁面的總閱讀時間較長；「研究目的」的閱讀、凝視時間之比例較高；「數據趨勢」文字描述的閱讀、凝視時間百分比比較少，而「數據趨勢圖標」的閱讀時間與比例較多；「根據資料而形成的科學推論與解釋」的閱讀、凝視時間、回視次數及再閱讀凝視時間較多；「預測模式」文字區域回視較多且在「預測模式關鍵圖區」中花費閱讀、凝視時間比例較高；「背景知識」文字描述的閱讀、凝視時間、再閱讀凝視時間較長且回視次數較多，以及在閱讀圖片時間比例、第一次閱讀凝視時間較少。

從情境題得分與眼動資料的分析結果可知較能應用文本概念進行不同情境

的推論與解釋者，在閱讀所有頁面時，凝視時間百分比、平均凝視時間較少；「數據趨勢」文字區域時的所花費的閱讀、凝視時間比例、總凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間較少；「根據資料而形成的科學推論與解釋」的閱讀時間比例、平均凝視時間與第一次閱讀凝視時間較少，但回視次數較多；「預測模式」文字描述的閱讀、凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間較短，在「預測模式圖標」的閱讀、凝視時間及百分比較短；「背景知識」文字描述及「背景知識圖」有較短的平均凝視時間且較多的回視、圖文交互閱讀次數，且在圖片的第一次閱讀凝視時間亦較短



第五章 綜合討論與展望

本章內容分為三小節，第一節為研究結果與討論，闡述資料分析的結果，並且以統計結果回應本研究的待答問題；第二節為教育上的意義，即反思此研究結果在教育現場的應用方式；第三節為未來展望，即依據此研究的發現或待改進之處提出未來可能的研究方向。

第一節 研究結果與討論

本節將統整資料分析的結果並進行推論，內容包含：先備知識測驗結果、先備知識與閱讀理解測驗的分析、先備知識與閱讀歷程之分析、閱讀歷程與閱讀理解之相關，之後，再依據研究結果回答本研究之待答問題。

一、先備知識測驗與分組之結果討論

先備知識測驗共分為四題，依據評分規準評定受試者的回答內容，每題給予 0~3 分不等，總分為 12 分。40 位受試者的平均分數為 3.38 分，最高分為 7 分，由此可以發現在先備知識測驗中的得分偏低，也就是說，受試者對於海洋酸化以及海洋酸化相關的化學及地科之先備知識普遍不足，這可能是因為海洋酸化的議題在國高中課程中較少提及。

此外，本研究以先備知識測驗分數作為後續分析閱讀歷程的分組依據，利用測驗分數之平均數加減半個標準差作為分組基準，故高先備知識組有 9 人、中先備知識組有 22 人、低分組有 9 人。從分組的人數分布可以發現，受試者的先備知識程度集中在中等程度組，為確保三組之間先備知識確實具有差異，進行同質性檢定及單因子變異數分析，統計分析後，三組的得分平均數通過同質性檢定且單因子變異數分析達顯著 ($p < 0.05$)，表示有證據支持這三組的測驗分數是來自於相同的變異數且具有顯著差異，即這三組的先備知識確實具有程度上的不同。

二、先備知識與閱讀理解測驗之分析結果討論

(一) 閱讀理解測驗結果

閱讀理解測驗共有六題，依據評分規準評定受試者作答的內容，每題給予 0~3 分，總分為 18 分。40 位受試者的閱讀理解測驗總分之平均數為 8.18 分，最低分為 1 分，最高分為 14 分，眾數為 7 分；測驗中有四題為文本題，完全正確可得 12 分，文本題可直接反應受試者對於文本內容的理解狀況，所有受試者在文本題的平均得分為 6.13 分，最低分為 1 分，最高分為 11 分，眾數為 5、6、8 分；其他兩題為情境題，完整回答可得 6 分，用以反應受試者在不同情境下應用文本概念進行的推論與解釋，屬於較高層次之閱讀理解，所有受試者在情境題之平均得分為 2.05 分，最低分為 0 分，最高分為 4 分，眾數為 3 分。由上述可知，受試者在閱讀完海洋酸化的文本後，對文本內容的理解程度以及不同情境之文本概念的應用有程度上的不同。

此外，由情境題的平均分數、眾數可以發現受試者在情境題的答題狀況較不理想，且得分集中在 3 分以下，顯示受試者較無法將從文本中獲得的概念應用在不同情境下，可能是因為國高中的理科教學相對缺乏概念的情境遷移應用。

(二) 先備知識與閱讀理解之變異數分析

依據先備知識測驗的分組對受試者閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分進行單因子變異數分析。結果顯示三組之閱讀理解測驗總分、文本題得分、情境題得分均通過同質性檢定，但僅總分與情境題得分之變異數分析達顯著 ($p < 0.05$)。總分之事後比較僅發現高先備知識組顯著高於低先備知識組，而情境題得分之事後比較則發現高先備知識組顯著高於中、低先備知識組，從三組總分、情境題得分之平均數的大小可推論出受試者先備知識對整體閱讀理解及不同情境之文本概念應用的相關趨勢，即具有較高程度先備知識的受試者在閱讀科學文本後能有較好的閱讀理解、文本概念應用。而且本研究之閱讀材料包含多種科

學概念，故此結論與 Ozuru 等人（2009）提出閱讀者在多概念間的理解情況取決於現有知識水平的看法一致。

此外，三組之文本題得分未達顯著或接近顯著差異，但在情境題得分差異達顯著，此結果揭示受試者的先備知識程度與其對於文本內容的理解沒有顯著相關性，不過，如果受試者欲應用文本概念進行不同情境下的推論與解釋時，則會因先備知識程度而有所差異，也就是說，在閱讀完科學文本後，若欲獲得較高層次的閱讀理解，便須仰賴讀者的先備知識。

三、先備知識與閱讀歷程的分析結果討論

依據先備知識分組比較各組在全文本、各區域的眼動資料之平均數，通過同質性檢定者進行單因子變異數分析，未通過者使用平均值等式穩健測試，結果達到或接近統計顯著性的區域與眼動指標為：「研究方法」之平均凝視時間（中先備知識組接近顯著大於低先備知識組）、「根據資料而形成之科學推論與解釋」的回視次數（中先備知識組顯著多於低先備知識組）、「數據趨勢」文字區域的總閱讀時間、總凝視時間及第一次閱讀凝視時間（中先備知識組大於高先備知識組）、「預測模式全圖區」之平均凝視時間（中先備知識組大於高先備知識組）、「預測模式關鍵圖區」之平均凝視時間（中先備知識組大於高、低先備知識組）、「預測模式圖」之第一次閱讀凝視時間（中先備知識組接近顯著大於高先備知識組）。

此結果可以發現在文本中「研究目的」、「背景知識」的眼動資料，無論文字或圖片皆未達到顯著或接近顯著，由此可推論當受試者在閱讀「研究目的」、「背景知識」時，其閱讀歷程不因先備知識程度之不同而有所差異，可能是因為「研究目的」段落為介紹科學家進行研究的背景，與先備知識無關；「背景知識」段落是闡述二氧化碳進入海洋後的解離狀況、碳酸影響海洋平衡的趨勢以及碳酸鈣補償深度的意涵，但從先備知識測驗可以發現所有受試者在此方面的概念偏少，因此，在此二區域的閱讀歷程沒有差異應屬合理結果。

在「研究方法」的區域中，僅平均凝視時間接近顯著（ $p<0.1$ ）且有中先備知識組大於低先備知識組之趨勢，根據 Rayner（2009），平均凝視時間與訊息處理時使用的認知資源（認知努力）有關，雖然三組在總凝視時間中沒有顯著差異，但可由平均凝視時間的趨勢發現中先備知識組在每一凝視點所花費的時間較長，即訊息處理時，運用的認知資源較多，但低先備知識組的訊息處理時運用的認知資源較少，此研究結果顯示中先備知識者在閱讀「研究方法」時可能產生較多理解困難因而呈現較高的認知努力，而低先備知識者，基於其在閱讀理解表現最差，猜測這些學生其實沒有盡力理解此區域的內容。

在「根據資料而形成之科學推論與解釋」的區域，僅有回視次數達顯著（ $p<0.05$ ），回視次數之平均數以中先備知識組最多，高先備知識組次之，低先備知識組最少，事後比較後可知中先備知識組顯著多於低先備知識組。如文獻探討中所討論，在眼動指標中，回視屬於訊息整合或再次解讀語意的歷程，為後期的訊息處理，因此，由統計結果可推論中先備知識程度者在閱讀「根據資料而形成之科學推論與解釋」時，會進行較多的訊息整合或語意再解讀。低先備知識者回視最少的原因，與其具有較少先備知識，因此僅讀過內容，直接接收新訊息，而未進行訊息整合有關。

於「數據趨勢」的區域，僅在文字敘述的總閱讀時間、總凝視時間及第一次閱讀凝視時間達顯著差異，其中總閱讀時間、總凝視時間以中先備知識組最長，高先備知識組最短，而第一次閱讀凝視時間以中、低先備知識者最長，高先備知識者最短，但此三指標在事後比較僅中、高先備知識組間達顯著，事實上，統計資料（表 4-3.4）顯示，低先備知識組與中先備知識組在此三眼動指標上數值相近。由於總閱讀、凝視時間是計算此區域內所有的閱讀、凝視時間之加總，因此包含初次閱讀與再閱讀整合過程的時間，而第一次閱讀凝視時間為初期的訊息處理歷程，其反應了初步進行文句理解所花費的時間，可代表文句的困難程度（陳學志、賴惠德、邱發忠，2010）。故此結果指出對於高先備知識者而言，大氣與海洋中二氧化碳增加趨勢的內容較為簡單，且能快速提取已具有的相關概念進行整合，使得整體所需花費的

時間與初期訊息處理的時間較少；對於中先備知識者而言，與數據趨勢相關的內容較為困難，使得第一次閱讀凝視時間較長，且其在總閱讀時間、總凝視時間也最長，指出中先備知識者將大部分的閱讀時間運用在初期訊息處理，較少進行後期的訊息處理。

在「預測模式」的區域中，達顯著或接近顯著的區域與指標為「預測模式全圖區」之平均凝視時間、「預測模式關鍵圖區」之平均凝視時間、「預測模式圖」之第一次閱讀凝視時間，趨勢大致上以中先備知識組最大，低先備知識組次之，高先備知識組最小，事後比較發現在全圖區之平均凝視時間僅中、低先備知識組間達顯著，而在關鍵圖區之平均凝視時間為中先備知識組顯著大於低、高先備知識組，在圖之第一次閱讀凝視時間為中先備知識組接近顯著大於高先備知識組。在眼動指標中，第一次閱讀凝視時間越長表示文本的內容對讀者而言較為困難，而平均凝視時間越長，代表讀者花費的認知努力較高。若依據此說法，低先備知識者進行閱讀時，應該因為文本較困難而具有較長的第一次閱讀凝視時間與平均凝視時間，但本研究結果卻呈現中先備知識組的在此二指標最長的情況，這顯示中先備知識者似乎較能嘗試運用認知資源解決文本困難，而低先備知識的受試者可能較注重於文字區域的閱讀，或認為圖片內容過於困難而忽略了圖片區域的閱讀理解。而高先備知識者的平均凝視時間最短的結果則符合指標的意涵，也就是說預測模式圖對於高先備知識者而言較為簡單。

上述的分析指出，第一次閱讀時間可視為文本困難的指標，而平均凝視時間似乎與閱讀者是否能運用認知資源進一步解決文本困難有關。

四、閱讀歷程與閱讀理解之相關分析結果討論

將閱讀歷程與閱讀理解測驗總分進行相關分析後，達顯著或接近顯著相關的區域與指標為：「數據趨勢」文字描述之閱讀時間百分比（負相關）；「大氣趨勢圖」之平均凝視時間（負相關）；「根據資料而形成的科學推論與解釋」之回視次

數（正相關）；「背景知識」文字敘述之總閱讀時間、總凝視時間及回視、再閱讀凝視時間（正相關）；「背景知識」圖片區域之第一次閱讀凝視時間、閱讀時間百分比及凝視時間對總凝視時間的百分比（負相關）。

將閱讀歷程與文本題得分進行相關分析後，達顯著或接近顯著相關的區域與指標為：所有頁面之總閱讀時間（正相關）；「研究目的」之閱讀、凝視時間百分比（正相關）；「數據趨勢」文字描述之閱讀、凝視時間百分比（負相關）；「數據趨勢圖標」之總閱讀時間與閱讀時間百分比（正相關）；「根據資料而形成的科學推論與解釋」之總閱讀、凝視時間、回視次數及再閱讀凝視時間（正相關）；「預測模式」文字區域之回視次數（正相關）；「預測模式關鍵圖區」之閱讀、凝視時間百分比（正相關）；「背景知識」文字描述之總閱讀、凝視時間、再閱讀凝視時間、回視次數（正相關）；「背景知識圖」之閱讀、凝視時間百分比、第一次閱讀凝視時間（負相關）。

將閱讀歷程與情境題得分進行相關分析後，達顯著或接近顯著相關的區域與指標為：所有頁面之凝視時間百分比、平均凝視時間（負相關）；「數據趨勢」文字區域之閱讀、凝視時間百分比、總凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間（負相關）；「根據資料而形成的科學推論與解釋」之閱讀時間百分比、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間（負相關）、回視次數（正相關）；「預測模式」文字描述之總閱讀、凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間（負相關）；「預測模式圖標」之總閱讀、凝視時間及百分比（負相關）；「背景知識」文字描述之平均凝視時間（負相關）、回視次數（正相關）；「背景知識圖」之平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間（負相關）、圖文交互閱讀次數（正相關）。

從相關分析結果可以發現「研究方法」的閱讀歷程與閱讀理解間無明顯相關，即使閱讀理解測驗中的文本題包含「研究方法」的問答題，此顯示出受試者在此區域的閱讀理解較無遭遇困難。

在所有頁面中，總閱讀時間與文本題得分有接近顯著正相關，而凝視時間百分比、平均凝視時間與情境題得分達顯著或接近顯著負相關，即對文本內容理解較佳者在所有頁面的總閱讀時間較長，而較能應用文本概念於不同情境下者則有較少的凝視時間百分比、平均凝視時間。此結果顯示花費較多時間閱讀文本的讀者，因為其較仔細且用心地進行閱讀而對文本內容有較佳的理解，另外，視覺注意力分配及認知努力較少者較能在不同情境下應用文本概念進行推論與解釋，顯示應用文本概念較佳者在此文本中較無遭遇閱讀困難，而使用較少認知資源，這可能是與先備知識有關，由情境題得分與先備知識分組的分析可知，概念應用與先備知識程度有顯著相關，故對文本較熟悉者能有較高層次之閱讀理解。

在「研究目的」區域，閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間的百分比與文本題得分達接近顯著正相關，即於「研究目的」花費的閱讀、凝視時間比例較多者對於文本內容的理解較佳，閱讀、凝視時間百分比是指花費在該區域的閱讀、凝視時間與該頁面總閱讀、凝視時間的比例，此結果揭示對文本內容理解較佳者在此區的視覺注意力分配較多，可能是因為「研究目的」是本研究閱讀材料的核心，掌握此內容者能更加了解文本的脈絡，而達到較佳的文本內容理解。

在「數據趨勢」文字區域，閱讀時間百分比與閱讀理解測驗總分達顯著負相關，且閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間的百分比與文本題得分達顯著負相關，另外，閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間的百分比、總凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間與情境題得分達顯著或接近顯著負相關。從以上的分析結果可知，於「數據趨勢」文字描述區域所花費閱讀時間的百分比較少者具較佳的文本閱讀理解以及不同情境下文本概念的應用，此外，總凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間較少者亦能有較佳的文本概念應用。如此，顯示整體閱讀理解較佳者對於「數據趨勢」文字區域的視覺注意力分配較少，而較能應用文本概念於不同情境者在此區的認知努力及初期訊息處理時間較少，此與先備知識有關，從先備知識分組對情境題得分及閱讀歷程的分析可知文本概念

在不同情境下的應用與先備知識程度有顯著關係，且高先備知識者在此區的初期訊息處理時間較短。由上述可知閱讀理解較佳且較能應用文本概念者在此區域較無遭遇閱讀困難。

在「大氣數據趨勢圖」區域，平均凝視時間與閱讀理解測驗總分接近顯著負相關，此說明整體閱讀理解較佳者在閱讀大氣中二氧化碳含量趨勢圖時的平均凝視時間較短，這樣的狀況應與先備知識有關，從先備知識的分析可以發現高先備知識者在「數據趨勢」文字區域的第一次閱讀凝視時間顯著及接近顯著小於中、低先備知識，這說明對於高先備知識者而言，數據趨勢的描述較為簡易，其已能在文字區域理解數據趨勢，因此，在閱讀大氣趨勢圖時，解讀所需運用的認知資源較少，故平均凝視時間較短實屬合理。

在「數據趨勢圖標」區域，文本題得分與總閱讀時間、閱讀時間百分比達接近顯著正相關，此說明在圖標花費時間較多者能有較佳的文本內容理解，圖標顯示數據趨勢圖的呈現方式與意涵，也就是說，當讀者在圖標有較多視覺注意力分配時，其能對於數據趨勢有較佳的閱讀理解，而使整體文本內容的理解較好。

於「根據資料而形成的科學推論與解釋」區域，閱讀理解測驗總分、文本題、情境題得分皆與回視次數達顯著正相關，即在此區回視次數越多者具有較佳的整體閱讀理解，由於回視代表的是後期訊息處理、整合的過程，也就是說受試者在閱讀過程中進行較多訊息整合時，其對文本的內容能產生較全面性的理解，並較能應用文本概念於不同情境中。此外，先備知識與閱讀歷程的分析結果，發現先備知識與回視次數有關，雖然僅在中、低先備知識組間具顯著差異，但仍可發現先備知識較高者回視次數較多的趨勢，由此可知，先備知識扮演引導讀者有效整合訊息的角色。

另外，文本題得分與「根據資料而形成的科學推論與解釋」的總閱讀、凝視時間、再閱讀凝視時間有接近顯著或顯著正相關，即當讀者總閱讀、凝視時間與

再閱讀凝視時間較長時，能有較佳的文本內容閱讀理解，顯示此區域內容對文本理解較佳者較簡單，能較快進入訊息整合，而有較好的文本理解。另一方面，情境題得分與閱讀時間百分比、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間達顯著或接近顯著負相關，故可知對在不同情境下應用文本概念較佳者而言，閱讀此區所需的認知努力及初期訊息處理時間較少，使其能快速進入後期訊息處理，此有助於高層次閱讀理解的達成。

在「預測模式」文字區域中，文本題得分與回視次數達接近顯著正相關，即回視次數較多者在文本題的表現較佳，而情境題得分與總閱讀、凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間達顯著或接近顯著負相關，也就是說總閱讀、凝視時間、平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間較少者較能應用文本概念。此結果顯示後期訊息整合或語意再解讀有助於文本內容的理解，而當讀者閱讀此區域所需的認知努力較少，或對內容較為熟悉時，其較能應用文本概念於不同情境中。

在「預測模式圖區」，文本題得分與「預測模式關鍵圖區」的閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間百分比有接近顯著正相關，即花費在此區域的時間比例較高者有較好的文本內容理解。而情境題得分與「預測模式圖標」的總閱讀、凝視時間與百分比達顯著或接近顯著的負相關，即應用文本概念較佳者在「預測模式圖標」的注意力分配較少，此應與先備知識有關，因其對圖標呈現方式與內涵較為熟悉，而能用較少的閱讀時間即可理解文本概念並應用於不同情境。

在「背景知識」文字區域，與閱讀理解測驗總分、文本題得分達顯著相關的指標有總閱讀時間、總凝視時間、回視、再閱讀凝視時間，且皆為顯著正相關。此結果顯示整體及文本內容閱讀理解較佳者在閱讀「背景知識」文字區域時，所花費的閱讀時間較多，且回視次數與再閱讀時間也較多，但閱讀理解與第一次閱讀凝視時間未達顯著相關，從這樣的狀況可以知道閱讀理解較佳的受試者在閱讀此區域時花費較多的時間進行訊息整合，因此有較好的閱讀理解，此結果與王又亭（2012）針對高中生教科書閱讀歷程與閱讀理解的中閱讀理解分數高者回視次

數較多之結果吻合。除此之外，情境題得分與平均凝視時間達顯著負相關，但與回視次數達顯著正相關，此說明應用文本概念較佳者在「背景知識」文字描述的閱讀無遭遇困難，這與先備知識程度有關，因其較熟悉該內容而僅需運用較少之認知努力即能達到高層次閱讀理解，且能較快進入後期的訊息整合，而有利於文本概念之應用。

在「背景知識圖」區域中，閱讀時間百分比、凝視時間對總凝視時間的百分比及第一次閱讀凝視時間與閱讀理解測驗總分、文本題得分呈現接近顯著或顯著負相關，此結果顯示出「背景知識圖」的訊息處理時間與注意力分配較低者，其整體、文本內容之閱讀理解表現越高。而情境題得分與平均凝視時間、第一次閱讀凝視時間達顯著負相關，但與圖文交互閱讀次數有接近顯著之正相關，此揭示越能應用文本概念於不同情境者，在閱讀「背景知識圖」時，運用越少的認知資源與初期訊息處理時間即可達到閱讀理解，而圖文交互閱讀屬於圖片與文字的訊息整合，即後期訊息處理有利於高層次閱讀理解的達成。

綜合「背景知識」文字與圖片區域的分析結果，在「背景知識」文字區域的訊息整合以及圖片區域的閱讀注意力分配、第一次閱讀凝視時間是整體閱讀理解表現高低的重要指標，明確地說，「背景知識」的閱讀理解表現與文字、圖文的整合有正向關係，亦和分配於圖片的注意力有關，若首次閱讀圖片時間過長，則顯示閱讀者在圖像訊息的解讀遭遇困難，進而影響其閱讀理解與文本概念應用。

由以上所有區域眼動資料與閱讀理解的分析結果可知，大部分文本區域中，於文字區域具較多的閱讀時間、視覺注意力分配及訊息整合、語意再解讀有助於對文本內容的理解，而不同情境下的文本概念應用則與後期訊息處理歷程和讀者之先備知識較具有相關性，即當讀者越熟悉文本內容且有越多訊息整合時，其越能產生較高層次之閱讀理解。

五、待答問題之回應

本研究的待答問題有三，其問題與回應如下所述：

（一）在閱讀完科學文本後，具有不同先備知識的讀者之閱讀理解狀況為何？

從分析結果可以發現先備知識程度確實與閱讀理解有關，且先備知識程度較高者，在閱讀完科學文本之後，其整體閱讀理解較好，並較能應用文本概念於不同情境下的推論與解釋，即具有高層次的閱讀理解，但對文本內容理解並不因先備知識的程度而有所差異。

（二）在閱讀科學文本時，具有不同先備知識的讀者，其視覺注意力的分配狀況是否有所差異？

不同先備知識程度的讀者在閱讀本科學文本時的視覺注意分配狀況確實有差異，本研究發現當讀者閱讀研究方法、與解釋海洋酸化數據、趨勢與預測酸化情況的內容時，才能發現先備知識程度與閱讀歷程的相關性，視覺注意力分配的差異如表 5-1.1 所示。

表 5-1.1 先備知識分組與眼動資料分析後達顯著之區域、指標與趨勢

文本區域	眼動指標	先備知識分組		
		高	中	低
研究方法	平均凝視時間	次之	最大*	最小*
數據趨勢（文）	總閱讀時間	最小*	最大*	次之
	總凝視時間	最小*	最大*	次之
	第一次閱讀凝視時間	最小*	次之*	最大
根據資料而形成之科學對 論與解釋	回視次數	次之	最大*	最小*
預測模式全圖區	平均凝視時間	最小*	最大*	次之*
預測模式關鍵圖區	平均凝視時間	最小*	最大*	次之
預測模式圖	第一次閱讀凝視時間	最小*	次之*	最大

註：*有統計上差異的組別

由表 5-1.1 可知視覺注意力分配的差異為：中先備知識者在「研究方法」的平均凝視時間、「數據趨勢」文字描述的總閱讀時間、總凝視時間、「根據資料而形成之科學推論與解釋」的回視次數、「預測模式全圖區」與「預測模式關鍵圖區」的平均凝視時間皆最大；高先備知識者在「數據趨勢」文字描述的總閱讀時間、總凝視時間及第一次閱讀凝視時間、「預測模式全圖區」與「預測模式關鍵圖區」的平均凝視時間、「預測模式圖」的第一次閱讀凝視時間最小；而低先備知識者在「數據趨勢」文字描述第一次閱讀凝視時間、「預測模式圖」的第一次閱讀凝視時間最長，但在「研究方法」的平均凝視時間、「根據資料而形成之科學推論與解釋」的回視次數最少。

(三) 在閱讀科學文本時，讀者的視覺注意力分配狀況與閱讀理解是否具有相關性？

相關分析結果顯示，讀者的視覺注意力分配與閱讀理解具有相關性，整體、文本閱讀理解較佳且能應用文本概念於不同情境下進行推論與解釋之讀者針對文章中「數據趨勢」的文字描述具有較少的視覺注意力分配，並在「背景知識」文字描述、「根據資料而形成之科學推論與解釋」有較多的回視次數，在「背景知識圖」有較少的第一次閱讀凝視時間，顯示閱讀理解層次較高的學生會有較多的訊息整合以幫助理解文本內容。閱讀理解總分、文本題得分、情境題得分與各區域中達顯著或接近顯著相關之眼動指標與趨勢詳細列於表 5-1.2 中。

表 5-1.2 閱讀理解與閱讀歷程分析後達（接近）顯著相關之區域、指標與趨勢

文本區域	閱讀理解測驗	眼動指標	相關趨勢
所有頁面	文本題得分	總閱讀時間	正相關(*)
	情境題得分	凝視時間百分比	負相關(*)
		平均凝視時間	負相關*
研究目的	文本題得分	閱讀時間百分比	正相關(*)
		凝視時間對總凝視時間的百分比	正相關(*)

文本區域	閱讀理解測驗	眼動指標	相關趨勢
數據趨勢 (文字區域)	總分、文本題 得分	閱讀時間百分比	負相關*
		凝視時間對總凝視時間的百分比	負相關*
	情境題得分	閱讀時間百分比	負相關*
		總凝視時間	負相關(*)
		凝視時間對總凝視時間的百分比	負相關(*)
		平均凝視時間	負相關*
		第一次閱讀凝視時間	負相關*
大氣趨勢圖	總分	平均凝視時間	負相關(*)
數據趨勢圖標	文本題得分	總閱讀時間	正相關(*)
		閱讀時間百分比	正相關(*)
根據資料而形 成的科學推論 與解釋	總分	回視次數	正相關**
	文本題得分	總閱讀時間	正相關*
		總凝視時間	正相關(*)
		回視次數	正相關**
		再閱讀凝視時間	正相關*
	情境題得分	閱讀時間百分比	負相關(*)
		平均凝視時間	負相關*
		回視次數	正相關*
		第一次閱讀凝視時間	負相關(*)
預測模式 (文字區域)	文本題得分	回視次數	正相關(*)
	情境題得分	總閱讀時間	負相關(*)
		總凝視時間	負相關(*)
		平均凝視時間	負相關**
		第一次閱讀凝視時間	負相關(*)
		第一次閱讀凝視時間	負相關(*)
預測模式關鍵 圖區	文本題得分	閱讀時間百分比	正相關(*)
		凝視時間對總凝視時間的百分比	正相關(*)
預測模式圖標	情境題得分	總閱讀時間	負相關*
		閱讀時間百分比	負相關(*)
		總凝視時間	負相關*
		凝視時間對總凝視時間百分比	負相關(*)
		凝視時間對總凝視時間百分比	負相關(*)
背景知識 (文字區域)	總分、文本題 得分	總閱讀時間	正相關*
		總凝視時間	正相關*
		回視次數	正相關*
		再閱讀凝視時間	正相關**
	情境題得分	平均凝視時間	負相關*
		回視次數	正相關(*)

文本區域	閱讀理解測驗	眼動指標	相關趨勢
背景知識圖	總分、文本題 得分	閱讀時間百分比	負相關(*)
		凝視時間對總凝視時間的百分比	負相關(*)
		第一次閱讀凝視時間	負相關**
	情境題得分	平均凝視時間	負相關*
		第一次閱讀凝視時間	負相關*
		圖文交互閱讀次數	正相關(*)

註：(*) $p < 0.1$ ；* $p < 0.05$ ；** $p < 0.01$

第二節 教育上的意涵

科普文章是學生或一般民眾接收新的科學訊息與議題的主要管道之一，而此類的文章主要的描述方式為研究目的、研究方法、數據趨勢、根據資料而形成之科學推論與解釋、預測模式、此議題涉及之相關科學概念……等內容，然而，除非讀者是該議題的專家學者，否則，大多數讀者都需要具備相當程度的先備知識才能獲得較好的閱讀理解，因此，根據本研究對先備知識、閱讀歷程、閱讀理解的分析，提出以下的建議，以期透過學校的教育讓科普文章之讀者能夠較輕易地讀懂內容：

一、加強對科學研究的數據、圖表之解讀：

從先備知識與閱讀歷程、閱讀理解的分析可以發現，造成視覺注意力分配不同的內容以數據趨勢、根據資料而形成的科學解釋與推論及預測模式為主，此顯示當文本內容涉及科學過程裡數據詮釋與推估時，閱讀理解與先備知識程度、閱讀歷程皆具相關性，因此，學校的科學教育應多注重實驗數據詮釋與推論之教學，也就是應適度地讓學生進行實驗，學習科學過程，特別是實驗結報的撰寫或發表，提升理解圖表能力，減少閱讀圖表所需的時間，以利整體閱讀時的訊息整合。

二、強調閱讀過程時的訊息整合之重要性：

從閱讀歷程與閱讀理解的相關分析可以發現，文本概念理解與應用表現較佳的讀者在閱讀文章中與科學概念相關之訊息時具較多的回視與再閱讀凝視時間，而背景知識相關的圖文交互閱讀也較為顯著，這顯示概念理解與應用表現較佳的受試者經歷較久的訊息整合過程，此結果揭示學習科學概念時，訊息整合是理解的關鍵步驟，並助於達到高層次閱讀理解，因此，在教師教學的過程中，可以引導學生進行因果、概念間的連結，並鼓勵圖文交互閱讀，或是文章前後敘述的資訊整合。

三、指導學生搜尋文獻、科學概念（關鍵字）的技巧：

從本研究可以發現先備知識對於閱讀理解有一定程度的相關性，但是文章中不可能寫入所有閱讀該文章的先備知識，因此，若讀者希望能獲得較好的閱讀理解時，即需為自己補充不足的科學概念，故相關概念與文獻的搜尋即成為重要的技能，教師可以將文獻、概念搜尋納入課程或作業中，讓學生嘗試自我學習與自我提升。

第三節 未來展望

本節將針對本研究的限制與研究設計進行反思，並提出可行的改善方式，以及未來可以延伸的研究方向，以期能有更全面性的相關研究。

一、研究對象

本研究的研究對象為高一與高二的學生，雖然部分學生學過海洋酸化的議題及所涉及之科學概念，但可能因此議題不列入考試範圍，故沒有進行複習，使得原本預期的先備知識程度差異不明顯。未來可以考慮將研究對象改為就讀地球科

學系、化學系等較熟悉此議題及相關科學概念之大專以上的學生作為專家，而一般的大專生或民眾作為生手，以更加顯著的先備知識差異進行閱讀歷程的分析。

二、施測方式

本研究是以眼動儀作為主要研究工具，為求資料的完整性而使用下巴架固定受試者頭部的位置，然而，此安排與一般自然進行閱讀的狀態有些不同，可能會影響學生閱讀文本的心境與精神，若是可以在不用固定頭部的情境下進行眼動資料收集，會更貼近真實狀況。

三、閱讀材料的內容

本研究是以「海洋酸化的危機」一文作為閱讀材料，然而在國、高中地球科學的授課內容較少提及海洋酸化，因此，學生對於海洋酸化與相關概念相當不熟悉，未來進行類似研究時，未來建議可以利用較常見、熱門的新興議題作為閱讀材料，如此，在學生先備知識之差異較為顯著的狀態下進行更細緻的分析。

參考文獻

中文部份

王又亭(2012)。以眼球追蹤方法初探高中生教科書之圖文閱讀歷程與概念理解。

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文。

張春興(1996)。教育心理學—三化取向的理論與實踐。台北：東華。

陳學志、賴惠德、邱發忠(2010)。眼球追蹤技術在學習與教育上的應用。科學教育研究，55(4)，39-68。

蔡介立、顏妙璇、汪勁安(2005)。眼球移動測量及在中文閱讀研究之應用。應用心理研究，28，91-104。

西文部份

Afflerbach, P. (1986). The influence of prior knowledge on expert readers' importance assignment process. In J. A. Niles, & R. V. Lalik (Eds.), *National reading conference yearbook. Solving problems in literacy: Learners, teachers and researchers*, Vol.35 (pp. 30-40). Rochester, New York: National Reading Conference.

Amadiou, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Marine, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, 19, 376-386.

Anderson, R. C. (1984). Role of the reader's schema in comprehension, learning, and memory. In R. C. Anderson, J. Osborn, & R. J. Tierney (Eds.), *Learning to Read in American Schools: Basal Readers and Content Texts* (pp. 243-257). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Ariasi, N., & Mason, L. (2011). Uncovering the effect of text structure in learning from a science text: An eye-tracking Study. *Instructional Science*, 39, 581-601.

- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Chi, M., Feltovich, P., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Cook, M., Wiebe, E. N., & Glenda, C. (2007). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. Wiley InterScience. www.interscience.wiley.com.
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: the importance of theories and their development*. New York, NY: Teachers College Press.
- Frazier, L., & Clifton, C. (1996). *Construal*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gunning, T. G. (1996). *Creating reading instruction for all children*. Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Ho, H. N. J., Tsai, M. J., Wang, C. Y., & Tsai, C. C. (2014). Prior knowledge and online inquiry-based science reading: Evidence from eye tracking. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12, 525-554.
- Hyona, J., Lorch, R. F., & Kaakinen, J. (2002). Individual differences in reading to summarize expository text: Evidence from eye fixation patterns. *Journal of Education Psychology*, 94, 44-55. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0633.94.44>.
- James, W. (1980). *The principles of psychology*. New York: Holt.
- Jian, Y. C., & Wu, C. J. (2015). Using eye tracking to investigate semantic and spatial representations of scientific diagrams during text-diagram integration. *J Sci Educ Technol*, 24, 43-55.
- Just, M. A., & Carpenter, P. (1980). A theory of reading: From eye fixation to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1987). *The psychology of reading and language comprehension*. Boston, MA: Allyn and Bacon.

- Kaakinen, P., & Hyona, J. (2007). Perspective effects on expository text comprehension: Evidence from think-aloud protocols, eyetracking, and recall. *Discourse Processes*, 40, 239-257.
- Kandel, E. R., James H. S., & Thomas M. J. (2000). *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill.
- Kao, L. C. (1993). Word Knowledge and Prior Knowledge in Reading Comprehension. *北體學報*, 2(8), 253-282.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction integration model. *Psychology Review*, 85, 363-394.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Lai, M. L., Tsai M. J., Yang F. Y., Hsu, C. Y., Liu, T. C., Lee, S. W. Y., Lee, M. H., Chiou, G. L., Liang, J. C., & Tsai, C. C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, 90-115.
- Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Science*, 4(1), 90-115.
- Liversedge, S., Gilchrist, I., & Everling, S. (Eds.), (2011). *The oxford handbook of eye movements*. NY: Oxford University Press.
- Macdonald, M. C., Perlmutter, N. J., & Seidenberg, M. S. (1994). The lexical nature of syntactic ambiguity resolution. *Psychology Review*, 101, 676-703.
- Marcus, N., Cooper, M., & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88, 49-63.
- Mason, L., Caterina, M. T., & Pluchino, P. (2013). Do fourth graders intergrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movement patterns. *Computers & Education*, 60, 95-109.

- O'keefe, P. A., Letourneau, S. M., Homer, B. D., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2014). Learning from multiple representations: An examination of fixation patterns in a science simulation. *Computers in Human Behavior*, 35, 234-242.
- Ozuru, Y., Dempsey, K., & McNamara, D. S. (2009). Prior knowledge, reading skill, and text cohesion in the comprehension of science texts. *Learning and Instruction*, 19, 228-242.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. London: Oxford University Press.
- Prefetti, C. A. (1999). Comprehending written language: A blueprint of the reader. In C. M. Brown, & P. Hagoort (Eds.), *The neurocognition of language processing* (pp. 167-208). London: Oxford University Press.
- Prefetti, C. A., & Hart, L. (2001). The lexical quality hypothesis. In L. Verhoeven, C. Elbro, & P. Reitsma (Eds.), *Precursors of functional literacy* (pp. 189-214). Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- Radach, R., & Kennedy, A. (2004). Theoretical perspectives on eye movements in reading: Past controversies, current issues, and an agenda for future research. In R. Radach, A. Kennedy, & K. Rayner (Eds.), *Eye movements and information processing during reading* (pp. 3-26). New York: Psychology Press.
- Rayner, K. (1998). Eyemovements and in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletins*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K. (2009). Eyemovements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506.
- Rayner, K., Chace, K. H., Slattery, T. J., & Ashby, J. (2006). Eye movements as reflections of comprehension process in reading. *Scientific Studies of Reading*, 10(3), 241-255.

- Schnotz, W. (2005). An intergrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). New York: Cambridge University Press.
- Stahl, S. A., Jacobson, M. G., Davis, C. E., & Davis, R. L. (1989). Prior Knowledge and Difficult Vocabulary in the Comprension of Unfamiliar Text. *Reading Research Quarterly*, 24, 27-43.
- Shapiro, A. (2004). How including prior knowledge as a subject variable may change outcomes of learning research. *American Education Research Journal*, 41, 159-189.
- Tarchi, C. (2010). Reading comprehension of informative texts in secondary school: A focus on direct and indirect effects of readers' prior knowledge. *Learning and Individual Differences*, 20, 415-420.
- Veenman, M. V. J., Van Hout-Wolters, B. H. A. M., & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: Conceptual and methodological consideration. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.
- Verhoeven, L., & Peretti, C. (2008). Advances in Text Comprehension: Model, Process and Development. *Applied Cognitive Psychology*, 22, 293-301.
- Yang, F. Y., Chang, C. Y., Chien W. R., Chien, Y. T., & Tseng, Y. H. (2013). Tracking learners' visual attention during a multimedia presentation in a real classroom. *Computer & Education*, 62, 208-220.
- Yore, L. D., & Shymansky, J. A. (1991). Reading in science: Developing and operational conception to guide instruction. *Journal of Science Teacher Education*, 2(2), 29-36.
- Zwaan, R. A., Kaup, B., Stanfield, R. A., & Madden, C. J. (2001). *Language comprehension as guided experience*. <http://cogprints.soton.ac.uk/documen>

附錄一 先備知識測驗

請盡量回答以下問題

班級:

座號:

性別:

1. 全球暖化的現象與大氣中二氧化碳濃度的增加有關，你認為全球暖化對海洋可能造成什麼影響？海水中的二氧化碳濃度可能會有何變化？請寫下你的想法。

2. 假如大氣中過多的二氧化碳溶於海水之中，將會如何影響生態？（可繪圖解釋）



3. 鐘乳石是在指碳酸鹽岩地區洞穴內，經漫長地質歷史作用和特定地質條件，所形成的石鐘乳、石筍、石柱等不同形態碳酸鈣沉澱物。鐘乳石形成的化學方程式如下： $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{aq})$ 請根據化學平衡的原理，請寫出有利於鐘乳石形成的條件與因素有哪些？

4. 科學家發現，在深度較淺的海床，其海底沉積物是由鈣質軟泥組成，若海床深度大於 5000 公尺以上，就無法找到鈣質浮游生物的沉積遺骸，你認為造成上述現象的原因可能是什麼？請寫下你的想法。

附錄二 閱讀理解測驗

閱讀「海洋酸化的危機」後，請回答以下問題

班級:

座號:

性別:

1. 過去與現在的海洋酸鹼值有何不同？此不同是如何造成的？請詳細描述。

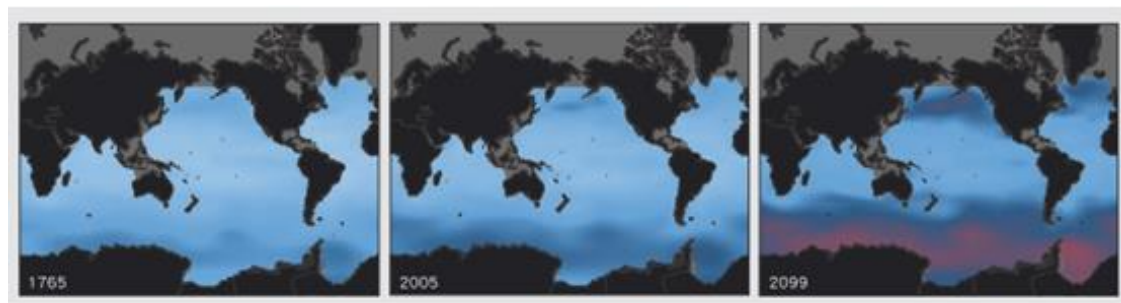
2. 請問在此文章中，科學家利用什麼方法了解大氣中二氧化碳濃度的變化？



3. 為什麼從 1800 年開始大氣中的二氧化碳濃度快速增加？

4. 請問二氧化碳如何影響海洋生態？請詳細描述。(可繪圖說明)

5. 下圖為巖石在 1765、2005、2099 年各地之海洋飽和度，請描述海洋飽和度變化的情況與趨勢，並解釋其原因。(淺藍色：過飽和，深藍色：瀕臨過飽和，紫紅色：不飽和)



6. 珊瑚是小動物群體，跟海葵有近親關係，珊瑚濾食水中的浮游生物，並分泌碳酸鈣骨骼，骨骼隨時間堆積而形成珊瑚礁，珊瑚礁是海洋中最有生產力、最具生物多樣性的生態系，珊瑚藻是一種會分泌碳酸鈣的藻類，外表很像珊瑚，它們對許多鈣化礁的形成也有貢獻，珊瑚與珊瑚藻的累積可以形成魚類棲息地。淺水珊瑚的美麗色彩，部份是來自生存於珊瑚細胞內的共生藻。在環境壓力下，共生藻會離開宿主，暴露出底下白色的碳酸鈣骨骼。請問，全球暖化和海洋酸化將會對珊瑚造成什麼影響?為什麼?請詳細說明。

附錄三 先備知識測驗評分規準

題目	得分	評分標準
1. 全球暖化的現象與大氣中二氧化碳濃度的增加有關，你認為全球暖化對海洋可能造成什麼影響？海水中的二氧化碳濃度可能會有何變化？請寫下你的想法。	+3	寫出全球暖化可能造成海水溫度上升、海水面上升；海水中的二氧化碳濃度會增加，造成海洋酸化（酸鹼值降低）。
	+2	寫出全球暖化可能造成「海水溫度上升」或「海水面上升」；海水中的二氧化碳濃度會增加，造成海洋酸化（酸鹼值降低）。
	+1	1. 寫出「海水溫度上升」或「海平面上升」，但海水中二氧化碳濃度為不變或減少。 2. 未寫出海水溫度上升與海水面上升，僅寫出「海水中二氧化碳濃度增加」，造成海洋酸化（酸鹼值降低）。
	+0	不知道、空白，或其他非相關之答案。
2. 假如大氣中過多的二氧化碳溶於海水之中，將會如何影響生態？（可繪圖解釋）	+3	寫出會造成海水酸鹼值降低（海洋酸化），溶於水中的碳酸會解離使得碳酸鈣補償深度上升，並且會影響外殼為碳酸鈣之海洋生物，造成碳酸鈣溶解，以及不易製造碳酸鈣外殼。
	+2	寫出會造成海水酸鹼值降低（海洋酸化），溶於水中的碳酸會解離使得「碳酸鈣補償深度上升」或「影響外殼為碳酸鈣之海洋生物」，造成「碳酸鈣溶解」或「不易製造碳酸鈣外殼」。
	+1	寫出造成「海水酸鹼值降低」，會危害部分海洋生物，影響食物鏈。
	+0	未寫出海水酸鹼值降低、空白或其他描述。

3. 鐘乳石是在指碳酸鹽岩地區洞穴內，經漫長地質歷史作用和特定地質條件，所形成的石鐘乳、石筍、石柱等不同形態碳酸鈣沉澱物。鐘乳石形成的化學方程式如下： $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{aq})$ 請根據化學平衡的原理，請寫出有利於鐘乳石形成的條件與因素有哪些？	+3	完整寫出所有的正確條件與因素，分別為水減少、水中二氧化碳降低、高溫、低壓、水中溶解之碳酸氫鈣增加、非酸性水溶液。
	+2	正確的條件與因素為水減少、水中二氧化碳降低、高溫、低壓、水中溶解之碳酸氫鈣增加、非酸性水溶液，寫出正確配對者三項以上。
	+1	寫出正確配對者一項以上 或 因素正確者三項以上。
	+0	僅寫出兩項以下之因素，且未正確寫出條件，空白、不知道或其他答案。
4. 科學家發現，在深度較淺的海床，其海底沉積物是由鈣質軟泥組成，若海床深度大於5000 公尺以上，就無法找到鈣質浮游生物的沉積遺骸，你認為造成上述現象的原因可能是什麼？請寫下你的想法。	+3	完整寫出碳酸鈣因溫度、壓力和酸鹼度（水中二氧化碳）三者的影響，在五千公尺以上深度會趨向溶解。（低溫、高壓、偏酸性）
	+2	寫出碳酸鈣因溫度、壓力和酸鹼度（水中二氧化碳）其中兩者的影響，在五千公尺以上深度會趨向溶解。（低溫、高壓、偏酸性）
	+1	寫出鈣質軟泥 或 碳酸鈣因溫度 或 壓力 或 酸鹼度 的影響（其中一項），而趨向溶解。
	+0	未寫出溫度、壓力、酸鹼度任何一項，或其他答案，空白、不知道。

附錄四 閱讀理解測驗評分規準

題目	得分	答案
1. 過去與現在的海洋酸鹼值有何不同？此不同是如何造成的？請詳細描述。	+3	完整寫出海洋酸鹼值降低（約 0.1 左右）；是因為（化石燃料燃燒產生的）二氧化碳被海水吸收，二氧化碳溶於水後會形成碳酸，碳酸解離形成碳酸氫根與氫離子，也可繼續解離成碳酸根與氫離子，導致氫離子增加，降低海洋的酸鹼值。
	+2	寫出海洋酸鹼值降低；因為二氧化碳溶於水形成碳酸，並解離出氫離子造成酸鹼值降低。（較不完整的解釋）
	+1	僅寫出海洋酸鹼值降低 或 二氧化碳濃度增加。（兩者或兩者之一）
	+0	空白或不相關敘述。
2. 請問在此文章中，科學家利用什麼方法了解大氣中二氧化碳濃度的變化？	+3	完整寫出兩種觀測方法與觀測站點：第一種方法為測量冰河的冰心內部殘留的氣泡，觀測站為南極；第二種為直接測量大氣，觀測站於夏威夷島上火山頂（茂納羅亞火山頂）的氣象站。
	+2	寫出兩種觀測方法（冰心氣泡與大氣測量）；或 寫出一種正確的觀測方法與對應觀測站位置。
	+1	僅寫出一種觀測方法；或僅寫出任一觀測站位置。
	+0	空白或不相關敘述。
3. 為什麼從 1800 年開始大氣中的二氧化碳濃度快速增加？	+3	由於工業化（工業革命）開始之後，大量燃燒化石燃料產生二氧化碳。
	+2	寫出燃燒化石燃料產生二氧化碳。
	+1	寫出工業化（工業革命）。
	+0	空白或不相關敘述。

題目	得分	答案
4. 當大氣中過多的二氧化碳溶於海水之中，將會如何影響生態。(可繪圖說明)	+3	過多的二氧化碳溶於水中會形成碳酸，碳酸會解離成碳酸氫根與碳酸根、氫離子，造成海洋酸化(酸鹼值降低)，使得飽和線上升，讓分泌碳酸鈣作為外殼的生物，外殼溶解，另外，氫離子與碳酸根結合使得碳酸根濃度降低，減弱生物製造碳酸鈣外殼的能力，使其難以生長，可能受影響之生物為浮游生物(浮游生物減少會降低魚類與海洋哺乳類的主食)。
	+2	寫出二氧化碳溶於水形成碳酸，碳酸會解離出氫離子，造成海洋酸化(酸鹼值降低)，「使得飽和線上升，溶解生物的碳酸鈣外殼」或「因碳酸根濃度降低，而減弱製造碳酸鈣的能力」。
	+1	寫出造成海洋酸鹼值降低(海洋酸化)，影響生物生存；或僅寫出影響碳酸鈣外殼生物生存。
	+0	空白或不相關敘述。
5. 下圖為霰石在 1765、2005、2099 年各地之海洋飽和度，請描述海洋飽和度變化的情況與趨勢，並解釋其原因。	+3	完整寫出原來的海水處於過飽和的狀態，在 2005 年時極地的海表水處於過飽和邊緣，2099 年時，兩極冷水區的海水轉變成不飽和，尤其是南極的繞極冰，由於海洋酸化，使得飽和線上升，又因為碳酸鈣在冷水中的溶解度較高(冷水的過飽和度比暖水低)，故在兩極(南極)冷水區較為嚴重。
	+2	寫出海洋飽和度的趨勢(原來的海水處於過飽和，後來越趨向於不飽和，尤其是在兩極地區)，以及海洋酸化造成飽和線上升或碳酸鈣在冷水中的溶解度較高(兩者之一)。
	+1	僅寫出海洋飽和度的趨勢(越趨向不飽和)，但未寫出任一原因。

題目	得分	答案
	+0	空白或不相關的敘述。
6. 珊瑚是小動物群體，跟海葵有近親關係，珊瑚濾食水中的浮游生物，並分泌碳酸鈣骨骼，骨骼隨時間堆積而形成珊瑚礁，珊瑚礁是海洋中最有生產力、最具生物多樣性的生態系，珊瑚藻是一種會分泌碳酸鈣的藻類，外表很像珊瑚，它們對許多鈣化礁的形成也有貢獻，珊瑚與珊瑚藻的累積可以形成魚類棲息地。淺水珊瑚的美麗色彩，部份是來自生存於珊瑚細胞內的共生藻。在環境壓力下，共生藻會離開宿主，暴露出底下白色的碳酸鈣骨骼。 請問，全球暖化和海洋酸化將會對珊瑚造成什麼影響？為什麼？請詳細說明。	+3	完整寫出全球暖化會造成海水溫度上升，使得共生藻離開宿主，造成珊瑚白化與消亡，海洋酸化會使海水中碳酸根濃度降低，減弱珊瑚、珊瑚藻製造碳酸鈣骨骼的能力，而無法形成珊瑚礁；此外，海洋酸化亦會使得飽和線上升，溶解珊瑚礁的碳酸鈣骨骼。
	+2	寫出「全球暖化造成珊瑚白化與消亡」，或「海洋酸化會使海水中碳酸根濃度降低，減弱珊瑚、珊瑚藻製造碳酸鈣骨骼的能力，而無法形成珊瑚礁」，或「海洋酸化亦會使得飽和線上升，溶解珊瑚礁的碳酸鈣骨骼」其中兩者。
	+1	寫出「全球暖化造成珊瑚白化與消亡」，或「海洋酸化會使海水中碳酸根濃度降低，減弱珊瑚、珊瑚藻製造碳酸鈣骨骼的能力，而無法形成珊瑚礁」，或「海洋酸化亦會使得飽和線上升，溶解珊瑚礁的碳酸鈣骨骼」其中一者。
	+0	空白或不相關敘述。

附錄五 各頁面文本區域分類

1956年，美國的地球科學家芮維爾（Roger Revelle）和蘇斯（Hans Suess）指出，必須測量大氣與海洋的二氧化碳含量，才能「更加明白，未來50年，工業化排放的二氧化碳，對氣候有什麼影響」，他們選擇的觀測點之一為南極，這是地球上離工業活動、植物生長最遠的地方，如此，才不會使測量結果產生不穩定的變化。另一個觀測站是一個新設立的氣象站，位在夏威夷的茂納羅亞火山頂。

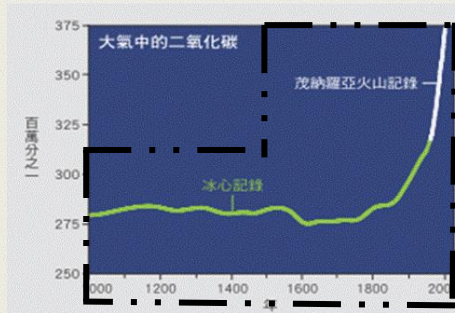
—— 研究目的 研究方法

茂納羅亞火山的觀測，從1958年開始持續到現在，夏威夷不像南極一樣偏遠，可以觀測到二氧化碳濃度隨北半球的生長季急遽升高、降低，但到了每一年年終，這種溫室氣體的濃度會比12個月前更高，因此，科學界明白了許多排放到大氣中的二氧化碳會一直留在那裡，但芮維爾的計算也顯示一部分二氧化碳最後仍然會進入海洋，此外，他亦知道進入海洋裡的二氧化碳會徹底改變海水的化學性質。

..... 研究方法

—— 根據資料而形成之
科學推論與解釋

科學家測量冰心 (ice core) 殘留的氣泡得知，過去數千年間，大氣的二氧化碳濃度近似定值，1800年代，工業化開始之後，濃度才快速增加。現在，大氣中二氧化碳總量比數百年前增加了30%，在本世紀結束時，預計將達到過去標準的2~3倍。



圖說 過去一世紀左右，大氣中的二氧化碳濃度巨幅增加。科學家使用兩種觀測技術，記錄下這個驚人的趨勢。第一種是測量冰河的冰心內部殘留的氣泡 (綠線，每一點都是前後75年的平均)，另一種是直接測量大氣 (白線，是夏威夷大島上茂納羅亞火山頂氣象站紀錄的年平均線)。

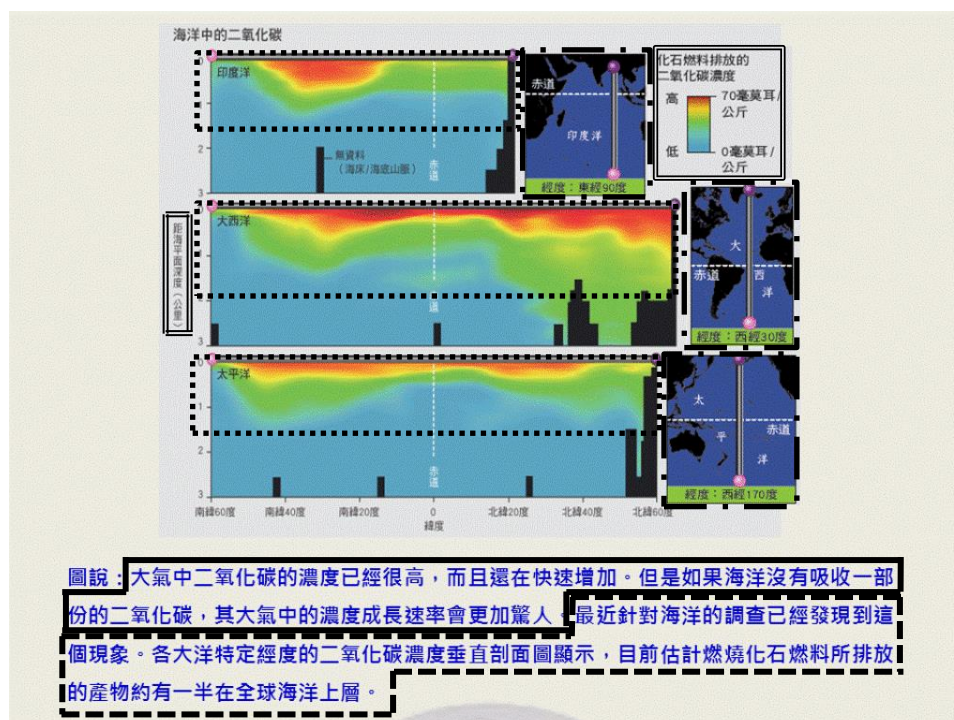
..... 研究方法 - - - 數據趨勢(文) ——— 大氣數據趨勢圖

快速增加的碳供給量，大部分來自化石燃料的燃燒，化石燃料的放射性同位素碳14含量非常低，且兩種穩定碳同位素之間的比例也很特殊，因此，燃燒化石燃料會留下可識別的同位素特徵。

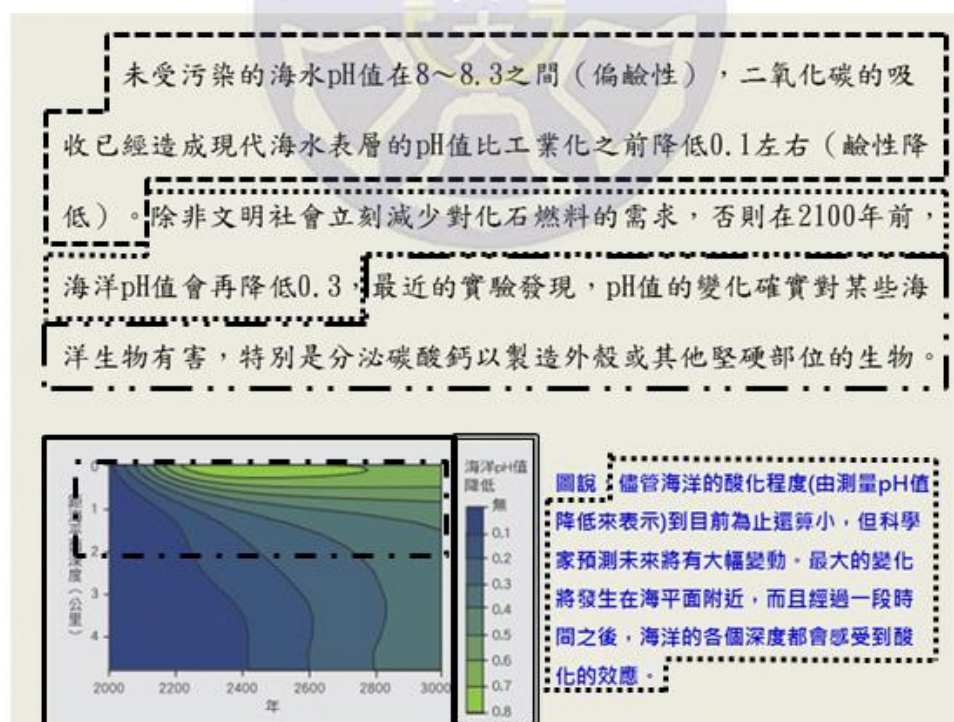
今日來自化石燃料的二氧化碳約有40%留在大氣裡，其他則以大致相等的比例，分別由陸地上的植物和海水吸收。

在技術的發展與觀測下，科學家發現，自工業革命開始，化石燃料釋放到大氣中的碳，有一半完全被海洋吸收。此外，經過長期在同一處海洋重複測驗碳濃度後發現，目前南大西洋表層數百公尺的海水碳濃度，比過去來得高，在太平洋、印度洋也發現類似的趨勢。

..... 背景知識 - - - 數據趨勢(文) ——— 根據資料而形成之科學推論與解釋



- 數據趨勢(文) 海洋數據趨勢圖 —— 數據趨勢圖標
- 空間圖標 —— 根據資料而形成之科學推論與解釋



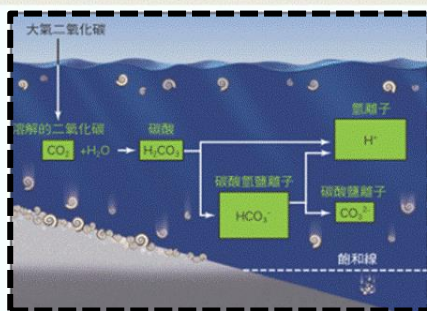
- 數據趨勢 預測模式 —— 背景知識
- 預測模式關鍵圖區 —— 預測模式全圖 —— 預測模式圖標

二氧化碳之所以會影響海洋的pH值是因為二氧化碳 (CO_2) 和水結合，形成碳酸 (H_2CO_3)，碳酸會釋放氫離子 (H^+) 到溶液裡，轉變為碳酸氫鹽離子 (HCO_3^-)，碳酸也可繼續解離成碳酸鹽離子 (CO_3^{2-})，但比例較少，一小部份的碳酸和少量的二氧化碳則不會解離，保持原狀，留在溶液裡，碳酸溶解與解離的結果，直接導致氫離子增加，改變了海洋的pH值。

碳酸鈣的溶解度完全仰賴碳酸鹽離子濃度，因而間接和pH值有關，但也視溫度、壓力等因素而定。

背景知識

海洋中的碳酸鈣會因生成環境壓力不同，形成不同的結晶構造，而分為方解石和霏石。目前，許多海洋深層冷水的酸度足以溶解碳酸鈣外殼，此情形稱為「不飽和」。海洋淺層的溫暖海水，對方解石和霏石則為「過飽和」，代表這兩者不傾向溶解。過飽和與不飽和間的過渡區，稱為「飽和線」，在飽和線以下，碳酸鈣開始溶解。



圖說 海洋吸收大氣中的二氧化碳，與水分子結合，形成碳酸。有少量碳酸會保持原狀，但大多會解離成氫離子跟碳酸氫鹽離子，使海洋變酸。有些碳酸氫鹽離子會繼續解離，形成碳酸鹽離子與更多氫離子。這些化學變化導致方解石和霏石的「飽和線」向上移動。飽和線以下，海洋生物用這兩種碳酸鈣結晶製造的硬殼，會完全溶解。

--- 背景知識圖 — · · 背景知識 — 根據資料而形成之科學推論與解釋

另一方面，氫離子容易和碳酸鹽離子結合，形成碳酸氫鹽離子，最後導致碳酸鹽離子濃度降低，科學家擔憂，pH值降低（碳酸鹽離子濃度也隨之降低），會減弱某些生物製造碳酸鈣的能力，使它們難以生長。可能受影響的生物之一，是一種分佈非常廣的浮游植物，稱為鈣板藻（表面覆蓋一層碳酸鈣組成的小鈣板），另一重要例子，是有孔蟲和翼足類兩種浮游生物，這些微生物是魚類和海洋哺乳類的主要食物來源。此外，生物學家也擔心珊瑚會受到影響。

—— 根據資料而形成之科學推論與解釋

