

國立臺灣師範大學理學院科學教育研究所

碩士論文

Graduate Institute of Science Education

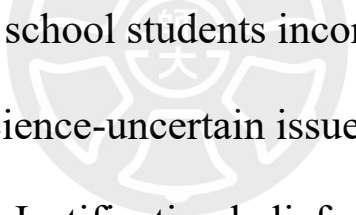
College of Science

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

分析高中生如何運用證據於思考不確定性科學議題與
其知識認識信念之關係

Analyzing how high school students incorporate evidence into
reasoning on a science-uncertain issue and the effect of
Justification beliefs



陳詠欣

Chen, Yung-Shin

指導教授：楊芳瑩 博士

Advisor : Yang, Fang-Ying, Ph.D.

中華民國 114 年 1 月

January 2025

誌 謝

碩班在論文趨近完成後走到了尾聲，感謝指導教授楊芳瑩老師，在我於論文文字海的沉浮過程中指引我方向、給予建議及幫助，這些建議有時讓我茅塞頓開，有時讓我面對更多的挑戰，但也正是這樣，我感受著思路越發清晰，文字也越發通暢有邏輯，謝謝老師在百忙之中仍撥出時間與我討論、協助我修改，在凌晨兩點收到老師的訊息真的是很奇妙的體驗！感謝口委許衷源教授和蔡孟蓉教授，給了許多寶貴的意見，教授們溫和嚴謹卻不失幽默，減緩我在口試時的緊張感。

謝謝研究室任雯姐、育廷學姊、昌俊口試當天的幫忙與加油打氣，你們的鼓勵與肯定讓人覺得很安心。謝謝奕萱在施測階段幫我聯絡同事、借用設備，用珍貴的休息時間幫忙處理繁瑣的大小事項，讓我的資料收集可以順利進行。謝謝建志在我論文初期連論文大綱、格式設定都還一知半解的時候給予協助以及提醒（過來人經驗很寶貴啊），讓我少走很多彎路也節省許多時間。謝謝我的論文好趴呢明顯，很幸運在每個階段都剛好有你一起努力，互通消息、互相提醒、互相彙報進度增加對方壓力，一起寫論文、一起不想寫論文，一起焦躁煩躁、哀嚎抱怨，讓我在兵荒馬亂的時候有人一起亂（嘆），不是孤軍奮戰真的是很棒的一件事。看著論文從骨到肉一點一點成型，一點一點完整，真得是很有成就感的一件事，謝謝我自己的堅持，也謝謝家人的支持與體諒，最終，謝謝一路走來幫助我、陪我成長的所有人，有你們的陪伴是我的幸運。

摘要

目前科學教育著重於培養學生解決問題的能力，科學論證推理與我們的日常生活息息相關，具備論證能力能讓學生在未來遭遇爭議性問題時，做出合理的判斷。而許多文獻指出知識認識信念影響思考論證表現，本研究自編科學文本，探討高中生在面對具不確定性科學議題時，如何運用證據於論證思考及其與知識認識信念的關係。受試者為高中二年級以上之學生共 101 人，學科傾向包含社會組 48 人，自然組 53 人。本研究以論證推理開放性問題檢視學生之論證思考能力，並將質性資料轉化為量化分數，並輔以知識認識信念問卷之量化資料得知其對於科學認識信念之想法，最終依據研究問題進行各項分析。

結果如下所述：受試者在完整閱讀文本及相關數據前後，其推理證據分數有顯著的差異，且後者為高。初步閱讀文本後，其論證推理表現與知識認識信念中的研究為本之權威辯證信念有極高的相關性；而在完整閱讀文本及相關證據後，其論證推理表現則與知識認識信念中的發展性較相關。不同的學習者特性亦對論證推理表現及知識認識信念有所影響。研究者認為學生的論證推理表現仍需加強，科學教育應更著重於「論證反駁」這類的進階思考能力，另外對於不同屬性的學生，應提供更多元的學習方式以供學生選擇。

關鍵字：知識認識信念、科學論證、不確定性科學議題

Abstract

Problem-solving is an important competence in science education. Having the ability of scientific argumentative reasoning allows students to make proper decisions when dealing with controversial issues. Many studies have pointed out that Justification beliefs influence the performance of argumentative reasoning. This study analyzed how high school students incorporate evidence into reasoning on a science-uncertain issue, as well as the effect of Justification beliefs. Participants were 101 high school students, including 48 students from the social sciences group and 53 from the natural sciences group. These students were invited to participate in a reading activity. Students' performance of argumentative reasoning was examined by several open-ended questions which were embedded in the issue-related reading material. The reading activity was divided into two reading sections. Students' responses to the open-ended questions were then analyzed by the content analysis. A quantitative questionnaire developed in a previous study was used to assess students' Justification beliefs.

Findings of the studies were listed as follows. First, there was a significant difference in students' use of evidence before and after reading the full text including data. After the initial reading, students' performance of argumentative reasoning showed a strong correlation with beliefs about justification by research-based authority. After reading the full text including d evidence, their reasoning performance was more strongly related to beliefs about development in science. Additionally, earner characteristics were also found to influence both argumentative reasoning performance and epistemic beliefs. The study result suggests that students' argumentative reasoning ability still needs to be strengthened. Science education should place more emphasis on higher-order thinking skills. Moreover, more diverse learning approaches should be

provided for students with different characteristics.

Keywords: Justification beliefs, Scientific argumentative reasoning, science-uncertain issue



目次

誌謝.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iii
目次.....	v
表次.....	vii
圖次.....	ix
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與研究動機.....	1
第二節 研究目的與研究問題.....	3
第三節 研究限制.....	4
第四節 名詞解釋.....	4
第二章 文獻探討.....	7
第一節 論證推理.....	7
第二節 科學閱讀.....	10
第三節 不確定性議題於科學教學的運用.....	11
第四節 知識認識信念.....	15
第三章 研究方法.....	21
第一節 研究對象.....	21

第二節	研究工具.....	21
第三節	研究設計與施測流程.....	26
第四節	資料分析.....	30
第四章	研究結果與討論.....	35
第一節	論證推理表現分析.....	35
第二節	知識認識信念與論證推理表現分析.....	38
第三節	學習者特性對論證推理表現與科學認識信念分析.....	43
第五章	結論與建議.....	49
第一節	論證推理表現.....	49
第二節	知識認識信念與論證推理表現.....	50
第三節	學習者特性與論證推理表現及知識認識信念之關聯.....	52
第四節	研究結果之教育意義.....	54
參考文獻.....		57
附錄一 科學文本.....		61

表 次

表 3-2.1 科學認識信念問卷	23
表 3-4.1 論證推理測驗編碼架構標準	31
表 3-4.2 論證推理測驗回應實例	32
表 4-1.1 受試者論證推理表現	35
表 4-1.2 受試者論證推理表現成對樣本 T 檢定 (前-後).....	36
表 4-1.3 受試者在完整閱讀文本及相關證據前後珊瑚白化成因選擇之變化	36
表 4-1.4 受試者立場改變與否與其論證推理表現 (未改變 N=59, 改變 N=32)	37
表 4-2.1 科學認識信念問卷之敘述統計	38
表 4-2.2 科學認識信念與初步閱讀文本後之論證推理表現的相關性	40
表 4-2.3 科學認識信念與完整閱讀文本及相關證據後之論證推理表現的相關性	41
表 4-3.1 不同性別受試者於初步閱讀文本之論證推理表現 T 檢定 (男性 N=63, 女性 N=38)	43
表 4-3.2 不同性別受試者於完整閱讀文本及相關證據之論證推理表現 T 檢定 (男性 N=63, 女性 N=38)	44
表 4-3.3 不同類組受試者之論證推理表現 (社會組 N=48, 自然組 N=53)	44
表 4-3.4 對珊瑚白化成因的興趣程度與其論證推理表現之間的關係	45
表 4-3.5 不同性別受試者與知識認識信念之 T 檢定 (男性 N=63, 女性 N=38)	

.....47

表 4-3.6 不同類組受試者與知識認識信念之 T 檢定(社會組 N=48, 自然組 N=53)

.....48



圖 次

圖 3-4 實驗流程示意圖29



第一章 緒論

本章內容共分為三節，分別為第一節研究背景與研究動機，第二節研究目的與研究問題，第三節名詞解釋。

第一節 研究背景與研究動機

自推行臺灣十二年國民基本教育課程綱要（即 108 課綱）以來，教學內容慢慢的有所轉變，以「三面九項」核心素養取代死背硬記的傳統教學，期望能培養學生具備「解決問題的能力」。在十二年國民基本教育課程綱要—自然科學領域中，是以培養學生科學素養為目標，並以注重核心概念的發展、科學知識於生活中的應用、重視科學本質的認識以及科學態度的培養為重點項目（邱美虹，2018）。

近年來隨著科技進步、網際網路發展，學生人人一支手機、一台平板，資訊的獲得如同探囊取物般容易，有利於學生在課後自主學習、加深加廣。隨著資訊取得愈發方便，學生學習的管道已不限於書本及課堂，基礎的知識可以經由網際網路快速取得，不需要在強行刻在腦海，而現今我們更看重的是，在遇到問題與困境時，學生能否利用所學找出解決方式，亦或是雖未曾學到但卻具備搜尋資料找出答案的能力。然而，在這資訊爆炸的時代，網路上的文章良莠不齊，新聞為賺取點閱率時常標題聳動、斷章取義；網友在分享資訊時也往往不加以求證，常常以訛傳訛，因此對於這個世代的孩子，媒體識讀更顯重要。108 課綱提及媒體識讀屬九大核心素養之一的「科技資訊與媒體素養」要項，期望高中生能善用各

種科技產品與傳播資訊媒體，具有關心自然科學發展與關鍵議題的能力（國家教育研究院，2018）。

針對培養「關心自然科學發展與關鍵議題的能力」，學校教育可以做到的是引導學生了解科學事實與介紹科學相關公共議題。科學相關公共議題常有正反意見、立場及爭議資訊，這些其實都皆能經由網路獲得，然而現實情況是，科學需要許多的證據、實驗數據佐證，不可憑空杜撰、偏聽偏信，因此我們無論何時皆需保有根據證據而論述的能力，避免人云亦云。但如何判斷獲得之訊息是否可信，又如何運用訊息來釐清問題，進而解決問題？這些是資訊使用者必須具備的能力，因此對於資訊世代的孩子來說，培養對科學相關資訊之合理性的論證思考能力至關重要（Yang, 2017）。培養學生科學推理與論證思考，除了能增進其解決問題的能力外，未來將有助於在科學相關政策制定中履行社會責任（Yang & Tsai, 2010）。

然而，每個人面對同樣的資料就能解讀或推論出相同的結果嗎？劉湘瑤等人（2007）表示，科學認識觀的不同，會影響其認知學習和訊息詮釋，人們對於科學本質的認識可能成為影響個人對科技相關社會議題之思考抉擇的重要因素。舉例來說，知識是否一塵不變？教科書或科學家所說的是否一定正確？這些答案都默默影響著我們的學習與判斷抉擇，故探討學生的知識認識信念可以讓我們更了解他的論證過程。

為了解學生之辯證信念，以及如何使用證據來進行論證推理，本研究先以科學認識信念問卷調查其知識認識信念，再以具有科學不確定性的自編文章：「探討珊瑚白化的可能因素」，作為施測文本，並進行階段性閱讀，閱讀完畢後輔以

論證推理測驗進行調查，探討學生在不同階段的論證推理能力。階段性閱讀共分為三部分，第一部分初步簡介珊瑚並帶入新聞議題引發受試者進行思考，對於新聞所提出的「核三廠溫排水是墾丁珊瑚白化元兇」進行評論；第二部分提出三項不利於珊瑚生存的因素，說明逆境成因及相關理論數據，請受試者選擇及說明其認為「造成墾丁珊瑚白化最可能的原因」；第三部分針對上述三項不利於珊瑚生存的因素，提供相關證據、數據及圖片，請受試者再次選擇及說明「造成墾丁珊瑚白化最可能的原因」，並回答相關問題。本研究希望能藉由上述階段性的文本閱讀及進行論證思考活動，深入了解學生使用證據的能力。

第二節 研究目的與研究問題

目的：分析高中生閱讀具科學不確定性的文本後，其論證推理表現，以及此表現與其辯證信念的關係。

1. 學生在閱讀探討珊瑚白化議題的文本後，其論證推理表現為何？
 - 甲、初步閱讀議題介紹（不含證據）後，論證推理表現如何？
 - 乙、閱讀完整文本後（包含相關證據），論證推理表現為何？是否改變原有的初始立場？
 - 丙、前後兩次的論證推理表現是否具有差異？
2. 學生的知識認識信念與不同階段的論證推理表現是否相關？
3. 學生的學習者特性是否會與知識認識信念及論證推理表現有交互關係？

第三節 研究限制

本研究因施測對象及科學文本內容限制，依其結果進行的推論不適用於所有年齡層的學生。相關限制如下所述：

本研究依施測對象的先備知識及目前所學之學科內容深度，編寫、設計科學文本之內容，以避免造成過大的認知負荷。因施測對象為高二、高三學生，於高一皆已學習基本自然科學課程，對於物理、化學、生物、地球科學都有一定的基礎，故本研究之推論不適用於低於此年齡層之學生。

第四節 名詞解釋

一、不確定性科學文本

本研究所使用的科學文本為具有不確定訊息的自編科學文本。基於研究設計，文本分為三部分，分別為「海洋的熱帶雨林」、「珊瑚白化可能原因」和「珊瑚白化相關數據與證據」。

文本中的「不確定性」在於珊瑚白化的原因沒有絕對的解答，而是需考量環境變化之因素來推測可能的原因。文本的情境脈絡為墾丁核三廠出水口珊瑚白化之現象，而文中提到造成珊瑚白化的原因包含：海溫升高、海洋酸化、核三廠溫排水等三個原因，提供相關理論與數據供受試者進行推理判斷。

二、論證推理

論證推理是科學思考的一部份，是基於科學理論與證據進行批判及推論的過程。我們期望培養學生能運用科學證據理解科學知識及其因果關係，進而解釋自己的論點或提出他人論點的限制，亦可進一步以類比、轉換等演繹推理方式，將

提出的論點進行說明或修正（國家教育研究院，2018）。

三、知識認識信念

本研究所使用的知識認識信念問卷源自 Cheng et al. (2021)、邱伯修 (2023)，包含六個向度，分別為確定性、發展性、個人辯證信念、學校為本之權威辯證信念、研究為本之權威辯證信念，以及多重來源辯證信念。分別敘述如下：

1. 確定性 (Certainty)：

個人認為知識穩定、固定的程度。即知識為永恆不變的真理。

2. 發展性 (Development)：

個人認為知識為暫時性且會隨著時間滾動式的發展與變化的程度。

3. 個人辯證信念 (Personal justification)：

在遇到的不同想法和觀點時，會將個人觀點及經驗視為相關且有價值的來源，用以進行評估。

4. 學校為本之權威辯證信念 (Justification by school-based authority)：

在辯證的過程中，對於知識主張的相關訊息，更信任教科書、教師等具有權威性的來源。

5. 研究為本之權威辯證信念 (Justification by research-based authority)：

在辯證的過程中，對於知識主張的相關訊息，更信任科學家與研究數據等具有權威性的來源。

6. 多重來源辯證信念 (Justification by multiple sources)：

認為判斷知識主張的過程中，需經由多方資訊交叉比對進行驗證，無法僅由單一來源的資訊進行判斷。

第二章 文獻探討

本章共有四小節，分別為「論證推理」、「科學閱讀」、「不確定性議題於科學教學的運用」與「知識認識信念」。

第一節 論證推理

經濟合作暨發展組織（OECD）每三年舉辦一次「國際學生能力評量計畫」（Programme for International Student Assessment, PISA），評量各國 15 歲學生包含閱讀、數學、科學三個領域的學習成效，且每一次皆有一項主測之科目，以檢視學生是否具備面對未來的能力。此測驗結果提供各國專家學者了解在國際比較下，自身教育體制所培養出的學生表現，而這些資料將可供各國進一步修改未來教育方向的重要訊息。2022 年 PISA 評量，台灣學生在數學、閱讀與科學分別排名第三、第五及第四。台灣學生在科學領域一直都有不錯的表現，而 2025 年又會是以科學為主測的年份，在最新的 PISA 2025 科學測驗架構中，提出三項中學生應培養的科學能力，包含「科學地解釋現象」、「評估與設計科學探究活動，並能科學地解讀數據與證據」、「研究、評估及使用科學訊息進行決策和行動」（OECD, 2022），其中「研究、評估及使用科學訊息進行決策和行動」是全新的項目，牽涉到對科學本質的理解。

而國內的部分，教育部 108 課綱提到的學習表現項目包含探究能力，探究能力可被分為問題解決與思考智能面向，思考智能包含四個部分，分別為想像創造、推理論證、批判思辨及建立模型（國家教育研究院，2018），其中「論證推理」

與 PISA 2025 提到的科學能力內涵不謀而合，可知培養學生的科學思考能力是目前各國科學教育共同努力的目標。

在科學教學中融入論證推理，除了能提升學生論證能力之外，亦能增進學生主動學習、科學探究和批判性思考的能力 (Duschl & Osborne, 2002)。科學論證推理是基於科學理論與證據進行批判及推論的過程，Yang & Tsai (2010) 表示，科學教育的目標之一就是培養學生的科學推理能力，而論證過程是科學推理的關鍵特徵。我們期望培養學生能運用科學證據理解科學知識及其因果關係，進而解釋自己的論點或提出他人論點的限制，亦可進一步以類比、轉換等演繹推理方式，將提出的論點進行說明或修正 (國家教育研究院，2018)。

論證是科學和科學教育的核心 (Newton et al., 1999)。新興科學理論建立的過程中，論證會經過四個層次：一是科學家需經由自我論證後提出假設；二是說服其他科學家接受自己的看法；三是於期刊雜誌、研討會上公開發表自己的研究成果；四是成為一般大眾所知、所接受的科學知識 (Driver et al., 2000)。上述每個步驟皆歷經科學家們不斷的挑戰與反駁，而這便是促成科學進步的原動力 (Niaz et al., 2002)，科學會在多次論證的過程中，不斷修正而愈發嚴謹完善，因此論證是科學發展不可或缺的一環。

除了在學術界之外，科學論證推理亦與我們的日常生活息息相關。Siegel (1995) 認為論證是人們解決問題及爭論的一種方法，具備論證能力能讓學生在未來遭遇爭議性問題時，做出理性、合理的判斷 (Yang & Tsai, 2010)，而不是隨波逐流，人云亦云，成為被媒體操弄的一份子。然而過去的課堂討論大多由教師主導，無法促進學生對科學問題的反思及討論 (Newton et al., 1999)，學生無從

自經驗中學習，只能被動接收訊息，而較少思考資訊的合理性。Kuhn (1992) 的研究表示，論證推理在性別或年齡方面沒有存在顯著差異，但卻與教育程度密切相關，受試者的教育程度越高，於論證推理上更有可能發展出具支持性的證據和替代理論。由上述論點推測，教育是能加強大眾論證推理能力的一種方法，且 Kuhn (1992) 亦認為社會環境 (social contexts) 如課堂，是最有可能練習和發展論證性思考的場所。

論證推理最廣為大眾所知的是 Toulmin (1958) 的論證結構 (Toulmin Argumentation Pattern, TAP)，為科學教育中很常使用的一種模式。TAP 論證模式由六個部分組成，包括資料(data)、主張(claim)、論據(warrant)、支持(backing)、限制 (qualifiers) 和反駁 (rebuttal)。證據與主張之間密切的關係是 Toulmin 的核心要素，教育學者認為透過 TAP 進行論證，可培養學生以科學家的方式進行思考，對於所提出的主張或觀點能以證據佐證；對於不同的觀點也能以客觀且舉證的方式加以贊同或反駁 (邱美虹, 2018)。經由這個模式，能有系統性地進行科學邏輯論述，藉由建立解釋的過程將科學事件推導出來 (林志能、洪振方, 2008)。

林志能等人 (2008) 表示，科學課程的目的之一，是希望學生能學會科學家思考的方式，並學習使用科學家的行為語言。在 108 課綱中強調學生須具有探究與解決問題的能力，並能以科學方法進行推理與邏輯思考。Nussbaum (2002) 表示，論證能力有助於學生在未來參與公民活動，我們也期許學生具備上述能力後，能在制定科學相關政策時履行其社會責任 (Yang & Tsai, 2010)。

第二節 科學閱讀

科學閱讀是科學學習的管道之一，由於科學文本具專業性且常以說明文的方式出現 (Oretr et al., 2002)，學生需先同時具備科學素養及閱讀素養。在 PISA 主測為閱讀的 2018 年，台灣於 79 個國家與經濟體中排第 17 名，相較於上一次的 2009 年 (第 23 名) 有更佳的表現，然而相較於 PISA 的數學、科學領域之表現，閱讀領域一直是台灣學生較弱的項目，亦是學者致力於提升的部分。PISA 閱讀領域中的閱讀認知能力，分為對文本訊息的「擷取與檢索」和「統整與解釋」，以及對外在連結的「省思與評鑑」。「擷取與檢索」指的是在文中篩選、檢索和蒐集訊息的能力，學生需能對訊息的重要性做出正確判斷；「統整與解釋」則是需要對文本有連貫性的理解，並將資訊加以整理、推論，甚至進一步作出解釋；最後「省思與評鑑」的部分，則需充分瞭解文本的目的及其背後意涵，並利用自身經驗、先備知識、證據等，連結文本並進行反思及評估 (鄭可萱、李松濤, 2018)。

而針對科學素養，根據最新的 PISA 2025 科學架構所提出學生必須學習的三項科學能力，分別為「科學地解釋現象」、「評估與設計科學探究活動，並能科學地解讀數據與證據」、「研究、評估及使用科學訊息進行決策和行動」(OECD, 2022)，可知了解科學相關訊息並進行批判與審慎評估，是當前科學教育的關注重點。在凡事講求證據的現代，各項精密儀器的普及使得科學數據成為最使人信服的佐證，然而當我們面對動輒上千筆的實驗資料、各式圖形、線圖時該如何判讀？又該如何評估？

綜上所述，了解科學相關訊息需要學生具備良好的閱讀理解及論證思考的能力，並在思考過程中，善用所學的科學知識，解讀數據、檢驗文本的合理性，甚

至是找出文本不足之處加以修正或予以反駁。最終，能在面臨待解決問題的時候，善用所學技能找出答案，相信具備良好的閱讀能力，有助於學生後續在論證推理上有更好的表現。

基於上述，本研究為了解學生如何使用證據來進行論證推理，設計科學閱讀與思考活動，以自編不確定性科學文本作為刺激學生論證思考的素材，從學生的思考回應內容評估其「科學地解讀數據與證據」及「研究、評估及使用科學訊息進行決策和行動」等科學能力，進而探討其能否根據文本中的科學知識、數據進行論證推理及提出批判性思考。

第三節 不確定性議題於科學教學的運用

科學教師在進行教學時，往往會強調某個實驗或理論的背景條件，正是因為科學理論總有其適用的範圍與前提，在前提條件外，科學理論常留有討論或被推翻的空間，嚴謹的教學有助於學生建立正確且完整的概念。除了我們最常接觸的實驗科學之外，自然界也具有許多不確定性，同一物種即便生活在相同環境，仍舊會有個別差異；同一藥品對於相同病症也不一定有相同程度的療效。而這些具科學不確定性之處正是科學家有興趣鑽研的部分，亦是最具有研究價值的部分。

大眾所認知的科學，大多是既定的事實與知識，具有確定性且不會再有變動，例如地心引力 (Painter, 2013)。但事實上，並非全部的科學都如同大眾所想的非黑即白，舉例來說，特定的科學方法在特定環境、條件的限制之下，雖能獲得幾乎一致的數據或答案，但其實數據的測量永遠存在不可避免的誤差，更別說若是某些條件做了變更，例如實驗機型、藥品廠商，都有可能得到不同的結果。

大眾時常將科學不確定性，誤解為對該議題的無知 (Painter, 2013)，或是科學家們未達成共識，然而，真相是科學事件往往複雜、不可預測且具有其限制。以台灣熟悉的颱風氣象預報為例，高低氣壓消長、地形起伏皆會對颱風路徑造成影響，故我們無法百分之百確認颱風未來的走向，唯有在時間接近時才能窺探一二；另外，同一份數據經由各國氣象預報中心可能產生出不同的解讀，同樣的天氣型態放在不同的地形亦可能造成不同的結果，這些科學的不確定性 (scientific uncertainty) 使得許多科學或社會議題變得複雜，然而這些議題經常牽扯國家社會的政策制定，需要公民能做出好的決策，而當我們在面臨這些不確定性訊息時，如何能做出好的判斷？進而做出最佳的決策？

黃翎斐與胡瑞萍 (2006) 提到，教育必須賦予學生對日常生活議題進行科學思考的能力。在科學教學中，為符合國際思潮重視科學探究歷程，發展解釋、舉證、評估、設計科學探究活動之能力，已有許多具有成效的方式，例如社會性科學議題之教學 (Osborne et al., 2004 ; Zohar & Nemet, 2002 ; Hong et al., 2012)。社會性科學議題 (socio-scientific issues, SSI) 做為具真實性的情境學習素材融入教學中，除了強化科學知識與生活實例相關的認識外，亦能培養學生運用所學進行思考，並對該議題有更深入的認識與批判，進而發展問題解決和探究之能力 (邱美虹，2018)。

相較於傳統教科書中的習題往往具備「標準答案」，社會性科學議題大多為開放式、具有爭議特性，為兩難之困境，如「救命寶寶」，它沒有絕對的答案與好壞，問題本身的複雜度也遠遠超過是非、選擇的範疇，不同的立場會有不同的想法與選擇，透過該情境可培養學生的論證推理能力、對議題的重視與關心，進

而於行動中展現其科學素養。SSI 教學訓練學生的內容不只是建構「科學知識、實驗技能」。它還包括「表達、溝通、推理、論證、批判、做決定」，甚至「查找、解讀、評鑑資料和證據」等高層次的思考能力，不再僅止於「記憶、理解」的認知層次。總和來說，回答這類問題是一種「論證」的過程、是一種「立場」的表達、是一種「價值取捨」的結果（林樹聲，2015）。

科學知識的形成需要經過科學社群的認可，有研討會、科學期刊等途徑讓科學家們能進行意見交流、觀念澄清和論辯。在課室中進行論證形式的科學教學，可以讓學生體會知識形成的歷程，如同科學家般運作，每個人所提出的想法必需經由該社群進行評鑑，能否被接受取決於理論基礎的可信度和合理性，這樣的過程可以幫助學生發展論證的技能及與人溝通的信心，對於將來面對生活中的議題，或是行使民主社會中公民的義務都有所幫助（黃翎斐、胡瑞萍，2006）。

論證形式的科學教學，需兼顧兩個重要條件「有效議題」及「適當交談情境」（Duschl & Osborne, 2002）。「有效議題」是指該現象或主題並非只有單一解答，而是具有多種可能，如此才能引起有效的論證，亦能引發學生的先備知識進行修正或是延伸。「適當交談情境」則是指在論證前須與學生說明規則，如秩序維持、尊重他人等。此外，教師的提問也需以開放、探究的方式引導學生進入論證，應盡量使用以學生為中心的教學活動和策略，並在交談中，需避免出現遲疑、不確定的對話，才不會阻礙課室論證的進行（黃翎斐、胡瑞萍，2006）。

Osborne 等人（2004）發現學生在經由論證教學後，其論證品質有所提升，並提出了一個「支持與促進科學教室中的論證教材之架構」，用以支持列出九項論證教材設計的參考架構，分別說明如下（黃翎斐、胡瑞萍，2006）：

- 一、 陳述表：針對特定主題給學生一個相關科學概念的陳述表，請學生對每一個陳述表達同意或不同意的看法，並說出理由。
- 二、 概念圖：以包含另有概念或有缺漏、錯誤之處的概念圖做為教材，請學生討論其中的概念與連結是否正確，並說明理由與論點。
- 三、 學生實驗報告：以缺乏某些訊息或含有可改進部分的實驗報告，請學生說明可改進之處和理由。
- 四、 競爭理論——以卡通圖呈現：以圖示呈現兩個（含）以上的競爭理論，請學生選出認為正確的理論，並說明理由。
- 五、 競爭理論——以故事呈現：針對同一事件提供不同競爭理論的故事，請學生選出認為正確的理論，並說明理由。例如：關於地球的生命起源，同時呈現生命起源於外太空以及生命起源於地球兩種理論，讓學生進行討論。
- 六、 競爭理論——以想法與證據呈現：針對一個科學現象，提供兩個（含）以上的競爭解釋，對於這些競爭解釋同時提出支持或反駁的證據，請學生討論這些證據與理論之間的關係，選擇認為正確的理論並說明理由。
- 七、 論點的建構：為一個科學現象提供數個解釋，請學生選擇認為正確的解釋並說明理由。
- 八、 預測—觀察—解釋（prediction-observation-explanation POE）：介紹一個現象或裝置，請學生預測結果並說明理由，接著進行示範或操作，觀察實際結果。若實際結果與學生預期不符，則請學生重新提出新論點
- 九、 設計實驗：請學生分組設計實驗來測試一個假說，需詳細說明實驗設計及步驟，並試著討論另外可行的方法。

從上述「支持與促進科學教室中的論證教材之架構」內容可知，提升論證品質的教學需包含針對不同論點、理論或實驗方法的比較與批判，也就是學習材料需具備「不確定性」，讓學生學習在不同論述中，找出符合自己觀點的支持證據，或是反駁其餘觀點的不合理之處。因此，本研究運用具不確定性的科學議題來探討學生之論證推理能力。

不確定性議題與社會性科學議題相似，同樣為開放式、具有爭議特性，基於不同立場、不同理論基礎的判斷下，會產生不同的答案。依上述各項理論基礎，本研究將實驗情境脈絡設定在具科學不確定性的珊瑚白化議題，運用自編閱讀教材刺激學生的論證推理。研究中論證教材的設計參考「支持與促進科學教室中的論證教材之架構」，採用第六項「競爭理論——以想法與證據呈現」；交談情境部分則為方便後續資料分析，選擇以線上匿名問卷進行調查，問卷為開放形式，已向學生說明該問卷不是考試亦沒有正確答案，令其放心作答。

本研究以自行編寫具不確定性的科學文本用於施測，該科學文本彙整網路上多篇相同議題之文章，選用之議題包含珊瑚簡介、海溫升高、海洋酸化、核三廠溫排水四個主題，以了解學生在面對科學不確定性議題時，會如何使用證據來進行論證推理。

第四節 知識認識信念

一直以來，認識論 (epistemology) 都是哲學中重要的一個子領域，主要是研究知識的性質、起源、範圍，和認識的正當性與信念的合理性等相關問題。心理學領域對於認識論的研究源於 Piaget，心理學家認為，人們會因為成長過程中不

同的教育學習經驗，而造就不同的「個人認識觀」(Personal epistemology)，個人認識觀是討論如「我們知道什麼？」、「什麼是『知道』？」和「我們如何知道？」等問題。

根據心理學家 Hofer 和 Pintrich (1997, 2002) 所提出的研究定義，個人認識觀 (personal epistemology) 具有兩個共同的元素，一為知識的本質信念 (beliefs about the nature of knowledge)，也就是個人對於「知識」本質的理解；二為認識的本質與過程 (the nature or process of knowing)，為個人對於「知的過程」的理解，亦即是何謂「知道」與如何「得知」。

Hofer 和 Pintrich (1997, 2002) 更進一步將上述兩個元素各分為兩個維度，「知識的本質信念」分為知識的確定性與知識的簡單性；「認識的本質與過程」分為知識的來源與「知」過程的合理辯證。認識論信念的四個維度之定義簡述如下：

一、知識的確定性 (certainty of knowledge)：

意指個人認為知識穩定、固定的程度。即知識為永恆不變的真理，亦或是知識為暫時性且會隨著時間滾動式的發展與變化。

二、知識的簡單性 (simplicity of knowledge)：

意指個人認為知識相關的程度。即知識為相互獨立的片段事實，亦或是連續、相互關聯的複雜組成。

三、知識的來源 (source of knowledge)：

意指個人認為知識所獲得的源頭。從認為知識源於自身之外，且為傳遞者如權威、課本、教師所傳播，到認為知識源於自身經驗建構之結果。

四、「知」過程的合理辯證 (justification for knowing)：

意指個人如何辯證與評價自己/他人的知識，即對於「知道」該過程的理解。

從透過觀察或相信權威，到經由探究證據與評價作為「知」過程的辯證。

劉湘瑤等人 (2007) 表示，國內外科學教育改革相關文獻皆強調，科學教學應不只著重在科學概念知識的傳遞，也應提升學生對科學探究過程和科學知識本質的瞭解。心理學家認為，不同的教育學習經驗會造就不同的個人認識觀，而學生對於科學本質的看法經常是由個人的科學學習經驗獲得，因此從心理學的觀點來說，個人對於科學知識本質的看法及對科學知識「知的過程」之看法，是為個人的「科學認識觀」(林美馨、楊芳瑩，2011)。

科學認識觀是個人的對「科學是什麼？」的信仰，科學認識觀的不同，會影響其認知學習和訊息詮釋。在進行議題的判斷抉擇時，認為知識是不變的人，僅會以過往的經驗知識作決定，較不易變通接受多元觀點，並進一步做深入思考；反之，認同知識具不確定性與可變性者，傾向做高層次、具批判性的思考，並能從不同面向分析事件的爭論點。簡而言之，個人對科學本質的認識可能成為影響個人對科技相關社會議題之思考抉擇的重要因素(劉湘瑤、李麗菁、蔡今中，2007)。

於學習上而言，學生是否容易接受新的科學知識？對專家學者或是教科書所述內容是全盤接受亦或抱持懷疑？對於不確定的科學概念是否會進行驗證？這些都與學生的科學認識觀息息相關，亦影響著學生的學習方法與成效。

Bråten 等人 (2013) 提到，我們將知識視為暫時性而非確定性，知識不是簡單的片段事實，而是複雜且相互關聯等等觀點，是源自專家權威而非自身經驗，並透過詢問知識來源交叉驗證而不是以自身意見和經驗來證明其合理性，這樣的

認識論觀點已被證明能在針對不同看法甚至是相互矛盾的論點時，可預測學生的綜合性推論能力。Bråten 等人針對運用多重來源資訊進行辯證的相關研究雖是基於 Hofer 和 Pintrich (1997) 所提的框架進行，實質內涵更著重「知過程的合理辯證 (justification for knowing)」的討論。

Wolfe 和 Goldman (2005) 表示，為了處理多重來源資訊的論證推理，學生需意識到每個事件的解釋/解答通常是複雜的，它通常涉及多個角度且資訊並非由單一來源所提供。因此，Bråten 等人 (2013) 針對辯證信念的部分，進一步提出三個分類，敘述如下：

一、個人辯證信念 (Personal justification)：

在遇到的不同想法和觀點時，將個人觀點及經驗視為相關且有價值的來源，用以進行評估。

二、權威辯證信念 (Justification by authority)：

在辯證的過程中，對於知識主張的相關訊息，更信任如教科書、教師和科學家等具有權威性的來源。

三、多重來源辯證信念 (Justification by multiple sources)：

認為判斷知識主張的過程中，需經由多方資訊交叉比對進行驗證，無法僅由單一來源的資訊進行判斷。

Bråten 等人 (2013) 的研究指出，上面三項辯證信念中，受試者最注重權威辯證信念，多重來源辯證信念次之，最後則為個人辯證信念，而後續的研究更將「權威辯證信念」進一步區分出「學校為本」與「研究為本」兩種形式，在判別網路訊息之合理性時，各別扮演不同角色 (Cheng et al., 2021)。上述研究結果與

現實情況相符，現今資訊社會存在「認知勞動分工 (division of cognitive labor)」的現象 (Bromme et al., 2010)，許多情況下我們不可避免的依賴外部專業知識，而非使用自身經驗 (Bromme et al., 2010 ; Chinn et al., 2011)；而在文學、藝術人文、社會科學領域，人們更傾向使用個人觀點與經驗來判斷 (即個人辯證信念)；但在需要解釋多方資訊的領域，如歷史、法律和神學，則更傾向依賴多方資訊的相互比對驗證 (即多重來源辯證信念)。綜上所述，人們的辯證信念在不同領域間可能會有所不同。

Yang 等人 (2016) 表示，學生的科學知識論信念會影響他們對於科學文本的理解，而識別科學問題的能力與閱讀理解科學資訊的能力密切相關。在科學教育中，閱讀是獲取科學知識的基本能力，亦是成功解決問題的預測指標。因此，若想要增強學生從文本中學習科學的能力，提升其科學閱讀能力便成為需關注的要點。科學教師應培養學生用自己的語言來解釋閱讀材料中的關鍵概念，而不是僅僅記住文本內容就好，教師適度的給予鷹架，如運用說明性或批判性問題進行閱讀引導，將有助於學生對科學文本的理解 (Yang et al., 2016)。此外，具有不同知識認識信念的學生對科學的爭議問題會有不同的反應 (Cheng et al., 2021)，在閱讀過程中，具有較複雜之認識論信念的學生，會更容易改變其觀念 (Kendeou et al., 2011)，亦能提出更高品質的論證 (Baytelman et al., 2020)。

本研究以自編的科學文本作為閱讀材料，並輔以論證推理開放式問題給予鷹架，問題中包含說明性或批判性問題，請學生敘述其選擇理由及依據，並可進一步對其他論點提出反駁，期望藉由回答論證推理開放式問題的過程中，提高學生對於科學文本之理解。此外，另以源自 Cheng et al. (2021)、邱伯修 (2023) 的

科學認識信念問卷分析學生對知識認識信念的理解。此問卷包含六個向度：確定性 (Certainty)、發展性 (Development)、個人辯證信念 (Personal justification)、學校為本之權威辯證信念 (Justification by school-based authority)、研究為本之權威辯證信念 (Justification by research-based authority)，以及多重來源辯證信念 (Justification by multiple sources)。以此探討受試者的知識認識信念與其論證推理表現是否相關。



第三章 研究方法

依據研究目的和問題，本研究先以科學認識信念問卷探究受試者的知識認識信念，再以自編具科學不確定性議題之文本，配以開放性問題進行論證推理施測，收集受試者對開放性問題之回應進行分析，以探討受試者在思考具科學不確定議題時的論證推理能力，以及此能力與知識認識信念間的關係。本章共四節，分別為「研究對象」、「研究工具」、「研究設計與施測流程」和「資料分析」。

第一節 研究對象

本研究施測對象為高二以上學生，受試者來自桃園市某公立社區型高中三年級學生，及台南市某公立高中二年級學生，最終取得有效資料共 101 份，其中男生 63 人、女生 38 人。兩所學校學生皆已學習高一自然科學課程內容，包含物理、化學、生物、地球科學，對於自然科學課程有一定了解，學生學科類別傾向分別為社會組 48 人、自然組 53 人。

受試者於實驗前皆已了解實驗目的及流程，並簽署知情同意書，尚未成年者亦有經過家長同意並簽章，完成施測後受試者可領取超商禮券作為回饋。

第二節 研究工具

本研究欲探討高中生在閱讀具有不確定性科學議題之文本時，其論證推理能力，以及論證推理能力與其知識認識信念之間的關係。科學文本分三階段閱讀，每階段均配合幾個開放性的論證推理問題讓學生填寫回應，以檢驗受試者在閱讀每階段文本後的想法，以及能否在文章中找出支持/反駁原有想法之論述，或是提

出該論述還需哪些資料進一步驗證與補充。科學認識信念問卷、不確定性科學文本及論證推理問題皆以 google 表單的方式呈現，學生則以平板或是手機進行閱讀及作答。

一、科學認識信念問卷

本研究所使用科學認識信念問卷源自 Cheng et al. (2021)、邱伯修 (2023) 修改 Bråten 等人 (2013) 發展之問卷。此問卷共有 27 題，包含六個向度，分別為確定性 (Certainty) 6 題、發展性 (Development) 6 題、個人辯證信念 (Personal justification) 3 題、學校為本之權威辯證信念 (Justification by school-based authority) 3 題、研究為本之權威辯證信念 (Justification by research-based authority) 4 題，以及多重來源辯證信念 (Justification by multiple sources) 5 題。

科學認識信念問卷如表 3-2.1 所示，為五點量表，受試者依照想法選取非常同意、同意、普通、不同意至非常不同意，依序轉換為分數紀錄為 5 分至 1 分，最終以各向度平均分數計算得分。

表 3-2.1 科學認識信念問卷

向度	題號	題目內容	信度
確定性 (Certainty)	C 1	科學知識總是對的。	0.77
	C 2	科學上的所有問題都有一個正確的答案。	
	C 3	從事科學活動最重要的事就是要找出一個唯一正確的答案。	
	C 4	關於科學的一切，科學家們瞭解的已經非常多了；並沒有很多是需要他們再去瞭解的。	
	C 5	一旦科學家們從實驗中得到一個結果，這個結果應該是唯一的解答。	
	C 6	科學家們總是一致同意科學中已經被認為是真確的事。	
發展性 (Development)	D 1	在科學中，有一些現在的科學觀點跟科學家們過去所想的不一樣。	0.91
	D 2	科學課本中的觀點有時候會改變。	
	D 3	有一些科學上的問題甚至連科學家們都沒有辦法回答。	
	D 4	科學中的觀點有時候會改變。	
	D 5	新的科學發現可能會改變科學家們認為是對的事物。	
	D 6	有時候科學家們會改變他們原來認為是對的想法。	
個人辯證信念 (Personal justification)	PJ 1	所謂自然科學中的「事實」是取決於個人的觀點。	0.83
	PJ 2	因為不存在完全正確的答案，所以每個人對自然科學都可以有不同的看法。	
	PJ 3	自然科學知識都只是個人的見解，事實根本就不存在。	

學校為本之權威 辯證信念 (Justification by school-based authority)	Au 1	如果自然科學老師說某事是正確的，我就相信它是正確的。	0.89
	Au 2	我相信我在自然科學課堂中所學的一切內容都是正確的。	
	Au 3	自然科學教科書上所寫的內容都是正確的。	
	Au 4	如果自然科學家說某件事是個事實，我就相信它是個事實。	
研究為本之權威 辯證信念 (Justification by research-based authority)	Au 5	當我看到某自然科學相關訊息，而此訊息是基於科學調查結果而提出時，我相信那是正確的。	0.74
	Au 6	我相信那些基於科學研究所提出的論述。	
	Au 7	如果科學家提出觀點時，也同時提出相關的研究調查資料，我就相信此觀點。	
多重來源辯證 信念 (Justification by multiple sources)	Ms 1	為了能相信自然科學課本中論述，我必須查驗各種不同的知識來源。	0.80
	Ms 2	要檢測自然科學課本中錯誤的論述，很重要的就是查驗數個訊息來源。	
	Ms 3	我從不會輕易相信自然科學相關的主張或論述，除非我查證過至少兩個資訊來源。	
	Ms 4	自然科學相關訊息是否正確無法從單一來源而判斷。	
	Ms 5	要決定我所讀到自然科學相關訊息是否正確，我必須查驗它是否和我讀過的或聽過的其他自然科學相關訊息一致。	

資料來源：邱柏修 (2023)。探討學生線上研究表現與其科學認識信念及科學學習自我效能間的關係。國立臺灣師範大學理學院科學教育研究所碩士論文。

二、不確定性科學文本

本研究自編的不確定性科學文本，如附錄一所示。文本內容以新聞議題「墾丁珊瑚白化」切入，海溫升高、海洋酸化、核三廠溫排水為三個可能原因，提供相關理論與數據以供受試者推測判斷造成墾丁核三廠出水口珊瑚白化之元兇。

由於網路上的文章、數據資料繁多，內容參差不齊，有些科學專業知識敘述過於片段缺乏前因後果，故研究者彙整網路上眾多科學文章、圖片及數據資料，且考量到媒體素養，為使文本內容符合真實情況、數據具有參考價值，彙整之參考資料及數據皆來自可信度較高的科普文章、官方網站，如國立海洋生物博物館官網、科學人、泛科學等。內容之議題包含珊瑚簡介、海溫升高、海洋酸化、核三廠溫排水四個主題，最終將其編寫成三部分內容，分別為「海洋的熱帶雨林」、「珊瑚白化可能原因」和「珊瑚白化相關數據與證據」。

此外，考量到有些理論過度複雜，超出受試者先備知識以及目前高中課程所學的學科內容深度，為避免對受測者造成過大的認知負荷，研究者參考國、高中自然科學課程內容，對已知概念重點提及，對尚未學習的理論予以補充，期望文本能連貫且條理分明，在受試者閱讀的過程中能清楚傳達，降低外在因素造成的不利影響。

研究者在編寫該文本的過程中，與一位科教研究者反覆討論並進行修正，建立專家效度，並在施測前請約 20 位大學以上的受試者進行試測，依其反饋與科教研究者討論後進行最終調整，以期望能呈現出最佳效果。

三、論證推理開放性問題

本研究之科學文本閱讀分為三階段，為分析受試者論證推理表現，特在每一階段後設計開放性問題，用以調查學生在閱讀每階段文本後的想法，以及能否在文章中找出支持/反駁原有想法之論述，或是提出該論述還需哪些資料進一步驗證與補充。論證推理開放性問題共有六題，分別位於文本中「海洋的熱帶雨林」與「珊瑚白化可能原因」後各一題，「珊瑚白化相關數據與證據」後有四題。

論證推理開放性問題位於附錄一科學文本內文中，是基於 Toulmin 論證架構 (Toulmin, 1958) 進行設計，同時參考過去研究 (Yang, 2017 ; Yang & Bhagat, 2019) 編製而成，並經專家審查後確認，以探討受試者之論證推理能力。

第三節 研究設計與施測流程

本研究科學文本設計採用具科學不確定性之議題，與指導教授討論之後選用與台灣切身相關的珊瑚白化作為主軸，並加入海溫升高、海洋酸化、核三廠溫排水三個珊瑚白化可能原因，彙整網路上多篇科學文章，最終將其編寫成三階段科學文本，配以開放性問題檢測受試者的論證推理表現。文本內容分別為「海洋的熱帶雨林」、「珊瑚白化可能原因」和「珊瑚白化相關數據與證據」。科學文本編寫完成後，進一步確認研究目的與研究問題，並制定施測流程。科學認識信念問卷以及論證推理測驗皆以 Google 表單方式進行。

本研究之施測流程共有七個階段，流程依順序說明如下：

一、填寫科學認識信念問卷：

閱讀文本前，先填寫表 3-2.1 所示之科學認識信念問卷。該問卷為五點量

表，受試者依照想法選取非常同意、同意、普通、不同意至非常不同意，依序轉換為分數紀錄為 5 分至 1 分，最終以各向度平均分數計算得分。

二、閱讀〈海洋的熱帶雨林〉：

按指示進入 Google 表單後，受試者首先填寫基本資料、學科類別傾向以及對珊瑚白化成因的興趣程度。接著閱讀科學文本第一部分：〈海洋的熱帶雨林〉，此部分為珊瑚的基本介紹，包含珊瑚的適合的生存環境、生長習性以及其對於海洋的重要性，並解釋何謂「珊瑚白化」，以及目前學術界採用之珊瑚白化監測分級。

三、第一階段問題：

以新聞議題「根據墾管處調查，墾丁南灣核三廠出水口的珊瑚礁出現大量珊瑚白化情形，有學者專家認為可能和核能發電廠的溫排水有關，但溫排水是否是造成珊瑚白化的元兇，仍有待進一步釐清。」引起受試者思考造成珊瑚白化的成因，並回答「是否認同墾丁珊瑚白化的元兇是核能發電廠的溫排水」，此時受試者單純說明想法，尚不需進行論證推理。

四、閱讀〈珊瑚白化可能原因〉：

閱讀科學文本第二部分：〈珊瑚白化可能原因〉，此部分是從科學理論的角度出發，介紹三項不利珊瑚生存的因素，包含海溫升高、海洋酸化以及核三廠溫排水。文本之科學理論例如珊瑚白化的風險評估方法、海洋酸化相關化學反應式及其解釋、核能發電產生廢熱之原因及其生態影響，內容提及各因素對珊瑚造成的逆境成因以及影響，提供受試者更多的背景知識以進行後續論證判斷。

五、 第二階段論證推理問題：

閱讀完〈珊瑚白化可能原因〉之後，請受試者於上述三個原因中，選擇其認為最可能造成墾丁珊瑚白化的原因，並說明其選擇之依據與想法。

六、 閱讀〈珊瑚白化相關數據與證據〉：

閱讀科學文本第三部分：〈珊瑚白化相關數據與證據〉，此部分文本針對三項不利珊瑚生存之因素，提供相關證據、數據、圖片做今昔對比，例如海水表面溫度變化、不同海域酸化程度、墾丁海域週熱化度數（DHW）及相關事件表，並分項說明珊瑚如今面臨的現況及科學家對未來的預估，以供受試者更多資料進行論證思考。

七、 第三階段論證推理問題：

完整閱讀文本及相關證據後，再次請受試者於上述三個原因中，選擇其認為最可能造成墾丁珊瑚白化的原因，並說明其選擇之依據與想法。除此之外，問題更進一步詢問上述資料是否反駁他的想法，或是是否需要何種類型資料以佐證其目前想法。



圖 3-4 實驗流程示意圖

第四節 資料分析

本實驗之數據資料分為兩種，分別為「科學認識信念問卷」之量化資料及「論證推理開放性問題」之質性資料。科學認識信念問卷為五點量表，目的是為了分析學生對知識認識信念的理解；論證推理開放性問題之質性資料則進一步編碼以便分析，編碼架構如表 3-4-1 所示，此架構是根據過去研究編制 (Yang & Bhagat, 2019 ; Yang, 2017)，並經專家審查確認。研究者將受試者的回應分別依推理證據、知識、論證反駁三個項目進行評分，藉此來探討學生的論證推理能力，受試者回應實例可見表 3-4-2。質性資料分析過程是先由研究者與一位科教研究者共同分析 50 份受試者回應，待評分者信度達 88%，再由本研究研究者完成分析。過程中若有無法確認之分析時，再與科教研究者共同討論解決。

論證推理開放性問題以質性分析轉換而得的分數，會依項目分為推理證據、知識、論證反駁三類，依閱讀階段分成「初步閱讀文本」及「完整閱讀文本及相關證據」兩類。初步閱讀文本階段包含「海洋的熱帶雨林」、「珊瑚白化可能原因」兩個主題的閱讀內容，針對這兩部分的論證推理開放性問題有兩題；完整閱讀文本及相關證據階段則包含閱讀「珊瑚白化相關數據與證據」，此部分含四題論證推理開放性問題。研究者依照研究問題的不同，將上述學生回應分數進行組間及組內的比較，以成對樣本 T 檢定或是獨立樣本 T 檢定進行。再者，論證推理開放性問題的質性資料轉化為量化分數後，與科學認識信念問卷所得的量化資料進行交叉分析，以 Pearson 相關性分析進行。最終，根據學習者特性進行分組，比較不同性別及類組學生間的論證推理分數，以獨立樣本 T 檢定進行檢驗，而對於

珊瑚白化成因的興趣程度則與論證推理分數進行 Pearson 相關性分析。

表 3-4.1 論證推理測驗編碼架構標準

項目	分類	標準	得分
推理證據	無	沒有或提出與推理無關的證據	0
	部分、間接	提出證據，但證據間接或不完整	1
	直接	提出直接、完整的推理證據	2
	複合式	同時提出直接與間接的證據	3
知識	無	沒有或提出無關的知識	0
	非科學知識	提出社會性的知識	1
	科學知識	提出科學性的知識	2
	複合式知識	同時提出社會性與科學性的知識	3
論證反駁	無	沒有或提出無關的反駁	0
	提及觀點	提及自己所選以外的其他觀點	1
	提出反駁	對自己以外的一個觀點提出反駁	2
	提出兩種反駁	對自己以外的其他觀點皆提出反駁	3

表 3-4.2 論證推理測驗回應實例

項目	分類	學生回應實例
推理證據	無	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全球暖化 2. 從文章數據了解 3. 上提回答過
	部分、間接	<ol style="list-style-type: none"> 1. 珊瑚會不適應 2. 酸化並沒有直接說會造成白化，沒有核電廠的地方也有白化，可見不會是直接理由
	直接	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因為墾丁珊瑚附近有第三號核能發電廠，它會排放熱水到海洋中，進而造成珊瑚白化 2. 全球暖化導致水溫上升，不適合珊瑚生存
	複合式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 珊瑚是位於熱帶的物種 所以在現在的暖化情況下 會導致熱帶地區的海水更快的升溫 而造成白化的現象 2. 上文顯示沒有核電廠的綠島、蘭嶼也出現大量白化，因此可推測白化並非全是因為核電廠溫排水，且全球珊瑚礁有多次大規模白化，可知珊瑚並非因單一區域因素導致白化，因此我推測應是海溫上升造成
	無	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因為環境改變所導致 2. 看起來可能性最大
知識	非科學知識	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全球暖化 2. 溫度上升也會對海洋生物造成影響
	科學知識	<ol style="list-style-type: none"> 1. 資料中提到全球暖化導致近 30 年來 98% 的珊瑚都白化過 2. 大量的二氧化碳會被海水吸收，導致酸化，我認為會對珊瑚造成最大的影響
	複合式知識	<ol style="list-style-type: none"> 1. 珊瑚是位於熱帶的物種 所以在現在的暖化情況下 會導致熱帶地區的海水更快的升溫 而造成白化的現象 2. 核電廠大多蓋在需要水源的地方，而珊瑚礁大多

	在淺海位置，所以可能較容易被溫排水影響
無	<ol style="list-style-type: none"> 1. 現在全球暖化的影響，一直讓溫度上升，導致珊瑚白化越來越嚴重，甚至有可能到無法挽救的地步，還特地利用衛星遙測海表溫度，所以我覺得跟海溫上升最有關係。 2. 海洋溫度上升，因為現今全球暖化導致海洋溫度上升，且造成全球暖化是由陸地所導致的，所以應該會由陸地旁的海水開始上升溫度
論證反駁	<p>提及觀點</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 因為沒有核電廠的地方也出現白化的現象，二氧化碳造成海洋酸化，對珊瑚造成進一步的影響。 2. 海溫上升會壓迫珊瑚的生存環境，但是溫排水有控制的溫度，所以我覺得海溫上升是最可能的原因
	<p>提出反駁</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 核三廠排溫水所產生的影響不如整個海溫上升的影響還大 2. 水溫上升不一定會讓珊瑚白化，這要依珊瑚本身的耐受度來決定，且海溫是慢慢上升，不會快速影響，但溫排水會迅速升高附近海溫，讓珊瑚無法承受。
	<p>提出兩種反駁</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 海水不會轉為酸性，但鹼性卻會逐漸變弱；沒有核電廠的綠島、蘭嶼，也出現大量白化情形。所以可以排除這兩個選項 2. 酸化並沒有直接說會造成白化，沒有核電廠的地方也有白化，可見不會是直接理由。

第四章 研究結果與討論

本章分為三節，分別是「論證推理表現分析」、「知識認識信念與論證推理表現分析」、「學習者特性對知識認識信念與論證推理表現分析」。

第一節 論證推理表現分析

在初步閱讀文本後，受試者的論證推理表現如表 4-1.1 所示。各項分數為：推理證據 ($M = 0.93, SD = 0.85$)、知識 ($M = 1.34, SD = 0.89$)、論證反駁 ($M = 0.26, SD = 0.64$) 以及總均分 ($M = 2.52, SD = 1.85$)。完整閱讀文本及相關證據後，受試者的論證推理表現分數則為：推理證據分數 ($M = 1.16, SD = 0.88$)、知識分數 ($M = 1.33, SD = 0.90$)、論證反駁分數 ($M = 0.30, SD = 0.70$) 以及總均分 ($M = 2.78, SD = 1.78$)。

表 4-1.1 受試者論證推理表現

	初步閱讀文本		完整閱讀文本及相關證據	
	平均	標準差	平均	標準差
推理證據	0.93	0.85	1.16	0.88
知識	1.34	0.89	1.33	0.90
論證反駁	0.26	0.64	0.30	0.70
總均分	2.52	1.85	2.78	1.78

針對完整閱讀文本前後，論證推理表現的分數是否有顯著差異，研究者以成對樣本 T 檢定進行檢驗，分析結果如表 4-1.2。初步閱讀文本後的推理證據分數 ($M = 0.93, SD = 0.85$) 與完整閱讀文本及相關證據後的推理證據分數 ($M = 1.16, SD = 0.88$) 有顯著的差異，且後者為高，而效果量偏小。

表 4-1.2 受試者論證推理表現成對樣本 T 檢定 (前-後)

	前 <i>M (SD)</i>	後 <i>M (SD)</i>	<i>t</i> 值	<i>p</i> 值	效果量
推理證據	0.93(0.85)	1.16(0.88)	-2.315	.023	0.27
知識	1.34(0.89)	1.33(0.90)	.088	.930	-0.01
論證反駁	0.26(0.64)	0.30(0.70)	-.533	.595	0.06
總均分	2.52(1.85)	2.78(1.78)	-1.240	.218	0.14

受試者在不同閱讀階段對於珊瑚白化成因的選擇如表 4-1.3 所示，在完整閱讀文本及相關證據後，有 32 個受試者改變原有的初始立場，59 個受試者仍堅持原本的選擇，另外有 10 個因沒有照題目敘述進行選擇，不符合判斷標準，其論證推理表現可見表 4-1.4。研究者進一步將受試者依照是否改變原有之立場進行分類並進行獨立樣本 T 檢定，然而兩者的論證推理表現無顯著差異。

表 4-1.3 受試者在完整閱讀文本及相關證據前後珊瑚白化成因選擇之變化

前\後	海溫上升	海水酸化	核三廠溫排水	其他	總數
海溫上升	38	6	2	0	46
海水酸化	0	5	1	0	6
核三廠溫排水	18	5	13	0	36
其他	6	1	3	3	13
總數	62	17	19	3	101

表 4-1.4 受試者立場改變與否與其論證推理表現 (未改變 N=59, 改變 N=32)

		初步閱讀文本		完整閱讀文本及相關證據	
		平均	標準差	平均	標準差
推理證據	未改變	1.02	0.881	1.19	0.900
	改變	1.06	0.759	1.16	0.884
知識	未改變	1.44	0.856	1.39	0.871
	改變	1.41	0.911	1.31	0.931
論證反駁	未改變	0.27	0.639	0.25	0.685
	改變	0.31	0.738	0.38	0.751
總均分	未改變	2.73	1.818	2.83	1.753
	改變	2.78	1.809	2.84	1.851

綜上所述，由論證推理表現分析結果可知，無論是在初步閱讀文本或完整閱讀文本及相關證據階段，受試者表現最佳的項目為「知識」，其次為「推理證據」，最終則為「論證反駁」。顯示受試者對於具不確定性之科學文本的閱讀能力，仍然以記憶及理解為主，以資料進行推理及應用之能力仍稍嫌不足。而立場改變與否則與其論證推理表現沒有顯著相關。

第二節 知識認識信念與論證推理表現分析

以科學知識為主要討論內容的「知識認識信念」包含六個向度，分別為確定性 (Certainty, 代號 C)、發展性 (Development, 代號 D)、個人辯證信念 (Personal justification, 代號 PJ)、學校為本之權威辯證信念 (Justification by school-based authority, 代號 School-based Au)、研究為本之權威辯證信念 (Justification by research-based authority, 代號 Research-based Au)，以及多重來源辯證信念 (Justification by multiple sources, 代號 MS)。受試者的知識認識信念問卷之敘述統計如表 4-2.1 所示。

表 4-2.1 科學認識信念問卷之敘述統計

向度	最小值	最大值	平均值	標準差
確定性 (C)	1.0	5.0	2.36	0.72
發展性 (D)	2.0	5.0	4.27	0.72
個人辯證信念 (PJ)	1.0	5.0	3.15	0.80
學校為本之權威辯證信念 (School-based Au)	1.0	5.0	2.41	0.88
研究為本之權威辯證信念 (Research-based Au)	1.5	5.0	3.17	0.74
多重來源辯證信念 (MS)	2.4	5.0	3.89	0.65

由上表可知，除了發展性面向，學生的知識認識信念平均得分不高，以 Pearson 相關分析各向度對應完整閱讀文本前後之論證推理表現分數，結果如表 4-2.2 及表 4-2.3。

知識認識信念與初步閱讀文本後之論證推理表現間的相關性如表 4-2.2 所示。在研究為本之權威辯證信念與推理證據 [$r = .290, p = .003$] 達顯著正相關，知識 [$r = .174, p = .082$] 及總均分 [$r = .189, p = .058$] 兩者亦接近顯著。論證反

駁與在學校為本之權威辯證信念 [$r = -.198, p = .047$] 呈顯著負相關，與發展性 [$r = .180, p = .072$] 則接近顯著。

知識認識信念與完整閱讀文本及相關證據後之論證推理表現間的相關性，如表 4-2.3 所示。發展性與推理證據 [$r = .271, p = .006$]、知識 [$r = .239, p = .016$] 及總均分 [$r = .261, p = .008$] 皆達顯著正相關。研究為本之權威辯證信念與推理證據 [$r = .196, p = .050$] 亦為顯著正相關。



表 4-2.2 科學認識信念與初步閱讀文本後之論證推理表現的相關性

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. C	-								
2. D	-.252*	-							
3. PJ	.145	-.062	-						
4. School-based Au	.440**	-.296**	.113	-					
5. Research-based Au	.315**	.228*	-.132	.436**	-				
6. MS	-.123	.592**	-.114	-.136	.214*	-			
7. Evidence_1	-.051	.123	-.053	.082	.290**	.073	-		
8. Knowledge_1	-.049	.060	-.040	.050	.174	.063	.733**	-	
9. Counterargument_1	-.163	.180	-.135	-.198*	-.079	.046	.124	.215*	-
10. Total_1	-.104	.148	-.090	-.007	.189	.080	.856**	.893**	.508**

註 1：方框表示 $p < 0.1$ ，*表示 $p < .05$ ，**表示 $p < .01$

註 2：標示代碼對照：

1. 確定性 (Certainty, 代號 C)
2. 發展性 (Development, 代號 D)
3. 個人辯證信念 (Personal justification, 代號 PJ)
4. 學校為本之權威辯證信念 (Justification by school-based authority, 代號 School-based Au)
5. 研究為本之權威辯證信念 (Justification by research-based authority, 代號 Research-based Au)
6. 多重來源辯證信念 (Justification by multiple sources, 代號 MS)
7. 初步閱讀文本之推理證據分數 (代號 Evidence_1)
8. 初步閱讀文本之知識分數 (代號 Knowledge_1)
9. 初步閱讀文本之論證反駁分數 (代號 Counterargument_1)
10. 初步閱讀文本之總均分 (代號 Total_1)

表 4-2.3 科學認識信念與完整閱讀文本及相關證據後之論證推理表現的相關性

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. C	-								
2. D	-.252*	-							
3. PJ	.145	-.062	-						
4. School-based Au	.440**	-.296**	.113	-					
5. Research-based Au	.315**	.228*	-.132	.436**	-				
6. MS	-.123	.592**	-.114	-.136	.214*	-			
7. Evidence_2	-.062	.271**	-.044	-.015	.196*	.137	-		
8. Knowledge_2	-.159	.239*	-.051	-.026	.152	.085	.733**	-	
9. Counterargument_2	-.066	.014	.020	-.111	-.028	-.155	.101	.156	-
10. Total_2	-.137	.261**	-.040	-.064	.163	.050	.905**	.806**	.366**

註 1：方框表示 $p < 0.1$ ，*表示 $p < .05$ ，**表示 $p < .01$

註 2：標示代碼對照：

1. 確定性 (Certainty, 代號 C)
2. 發展性 (Development, 代號 D)
3. 個人辯證信念 (Personal justification, 代號 PJ)
4. 學校為本之權威辯證信念 (Justification by school-based authority, 代號 School-based Au)
5. 研究為本之權威辯證信念 (Justification by research-based authority, 代號 Research-based Au)
6. 多重來源辯證信念 (Justification by multiple sources, 代號 MS)
7. 完整閱讀文本及相關證據後之推理證據分數 (代號 Evidence_2)
8. 完整閱讀文本及相關證據後之知識分數 (代號 Knowledge_2)
9. 完整閱讀文本及相關證據後之論證反駁分數 (代號 Counterargument_2)
10. 完整閱讀文本及相關證據後之總均分 (代號 Total_2)

由上述分析對比得知，初步閱讀文本後的論證推理表現與研究為本之權威辯證信念（Research-based Au）的相關程度極高，可見受試者認為科學研究的各項數據是提供他們辯證的判斷依據，然而在完整閱讀文本及相關證據後，研究為本之權威認識信念的影響減弱，這似乎意味著過多的科學數據反而干擾受試者的思辨能力，此時認為科學具有發展性（Development）的受試者，因較能接受知識是不斷變動更迭的，反而有更好的表現。



第三節 學習者特性對論證推理表現與科學認識信念分析

本研究所調查之學習者特性包含性別、類組傾向以及對珊瑚白化成因的興趣程度。研究者以學習者特性進行分類，分析不同性別及類組傾向學生間的論證推理表現和知識認識信念之差異，以獨立樣本 T 檢定進行檢驗；而珊瑚白化成因的興趣程度與其論證推理表現之間的關係，則以 Pearson 相關分析。

一、學習者特性與論證推理表現之關聯

不同性別受試者之論證推理表現 T 檢定如表 4-3.1 及表 4-3.2 所示。依結果可知，不同性別在初步閱讀文本的推理證據部分接近顯著， $t = -1.86$ ， $p = .065$ ，具有偏小之效果量。而在完整閱讀文本及相關證據後的論證反駁分數有顯著差異， $t = -2.31$ ， $p = .023 < .05$ 。女生在完整閱讀文本及相關證據後的論證反駁分數 ($M = 0.50$, $SD = 0.95$) 顯著大於男性 ($M = 0.18$, $SD = 0.46$)，具有中等的效果量。

表 4-3.1 不同性別受試者於初步閱讀文本之論證推理表現 T 檢定 (男性 N=63，女性 N=38)

初步閱讀文本		平均	標準差	t 值	p 值	效果量
推理證據	男	0.81	0.80	-1.86	.065	-0.38
	女	1.13	0.91			
知識	男	1.27	0.92	-.98	0.33	-0.20
	女	1.45	0.83			
論證反駁	男	0.24	0.62	-.39	0.70	-0.08
	女	0.29	0.69			
總均分	男	2.32	1.82	-1.46	0.15	-0.30
	女	2.87	1.86			

表 4-3.2 不同性別受試者於完整閱讀文本及相關證據之論證推理表現 T 檢定
(男性 N=63，女性 N=38)

完整閱讀文本及相關證據		平均	標準差	t 值	p 值	效果量
推理證據	男	1.14	0.90	-.23	0.82	-0.05
	女	1.18	0.87			
知識	男	1.29	0.89	-.59	0.56	-0.12
	女	1.40	0.92			
論證反駁	男	0.18	0.46	-2.31	.023	-0.47
	女	0.50	0.95			
總均分	男	2.60	1.69	-1.31	0.19	-0.27
	女	3.08	1.89			

不同類組受試者之論證推理表現如表 4-3.3 所示。然而，在類組偏好與論證推理表現 T 檢定的部分，雖然社會組表現較優，其差異並沒有達到顯著差異，僅有弱的效果量。

表 4-3.3 不同類組受試者之論證推理表現 (社會組 N=48，自然組 N=53)

		初步閱讀文本			完整閱讀文本及相關證據		
		平均	標準差	效果量	平均	標準差	效果量
推理證據	社會組	1.021	0.863	0.20	1.229	0.857	0.15
	自然組	0.849	0.841		1.094	0.904	
知識	社會組	1.438	0.823	0.22	1.417	0.846	0.19
	自然組	1.245	0.939		1.245	0.939	
論證反駁	社會組	0.229	0.555	-0.08	0.375	0.815	0.21
	自然組	0.283	0.717		0.226	0.577	
總均分	社會組	2.688	1.690	0.17	3.021	1.732	0.26
	自然組	2.377	1.983		2.566	1.803	

以 Pearson 相關分析學習者對珊瑚白化成因的興趣程度與其論證推理表現之間的關係，結果如表 4-3.4。結果發現：在初步閱讀文本後的推理證據 [$r = .283, p = .004$]、知識 [$r = .227, p = .023$]、總均分 [$r = .285, p = .004$] 皆與對珊瑚白化的興趣程度呈顯著正相關；而在完整閱讀文本及相關證據後的總均分 [$r = .200, p = .045$] 亦和對珊瑚白化成因的興趣程度呈顯著正相關，推理證據 [$r = .181, p = .069$] 則為接近相關。

由此可見，在初閱讀時受試者對於有興趣的主題可能更有涉獵、了解程度較高，而在有限資訊的條件下，亦更願意仔細閱讀相關內容及數據，思考證據的合理性以及提出看法，使論證推理的表現更佳；而在完整閱讀文本及相關證據後，於論證推理都會達到一定程度之表現，與受試者的興趣程度高低便沒有如初閱讀時的緊密關聯。

表 4-3.4 對珊瑚白化成因的興趣程度與其論證推理表現之間的關係

	初步閱讀文本				完整閱讀文本及相關證據			
	推理證據	知識	論證反駁	總均分	推理證據	知識	論證反駁	總均分
Interest	.283**	.227*	.130	.285**	.181	.107	.143	.200*

註 1：方框表示 $p < 0.1$ ，*表示 $p < .05$ ，**表示 $p < .01$

二、學習者特性與知識認識信念之關聯

此節呈現不同性別與不同類組傾向學生在知識認識信念上之差異。各項學習者特性與知識認識信念之 T 檢定如表 4-3.5 與 4-3.6 所示。

不同性別受試者與知識認識信念之 T 檢定如表 4-3.5 所示。依結果可知，不同性別受試者於科學認識信念中的確定性 (C) 存在顯著差異， $t=2.456$ ， $p=.016 < .05$ ，達到中等的效果量。男性受試者 ($M=2.49$, $SD=0.77$) 相較於女性受試者 ($M=2.14$, $SD=0.57$) 更傾向認為知識是穩定、有唯一解答的，然而，男性受試者組內標準差較大，有較大的分歧，而其餘向度則沒有顯著差異。

表 4-3.5 不同性別受試者與知識認識信念之 T 檢定 (男性 N=63，女性 N=38)

		平均	標準差	t 值	p 值	效果量
確定性 (C)	男	2.49	0.77	2.456	.016	0.50
	女	2.14	0.57			
發展性 (D)	男	4.24	0.80	-.688	.493	-0.12
	女	4.33	0.56			
個人辯證信念 (PJ)	男	3.22	0.77	1.051	.296	0.23
	女	3.04	0.85			
學校為本之權威辯證信念 (School-based Au)	男	2.45	0.97	.691	.491	0.14
	女	2.33	0.71			
研究為本之權威辯證信念 (Research-based Au)	男	3.15	0.77	-.323	.747	-0.07
	女	3.20	0.69			
多重來源辯證信念 (MS)	男	3.93	0.67	.922	.359	0.18
	女	3.81	0.62			

不同類組受試者與知識認識信念之 T 檢定如表 4-3.6 所示。依結果可知，不同類組傾向在科學認識信念中的多重來源辯證信念 (MS) 存在顯著差異， $t = -$

2.12, $p = .036 < .05$, 具有小至中等的效果量。自然組受試者 ($M=4.02, SD=0.60$) 相較於社會組受試者 ($M=3.75, SD=0.68$) 更傾向相信經由多方訊息相互比對所得到的知識進行判斷。而在研究為本之權威辯證信念 (Research-based Au) 部分則是接近顯著, $t = -1.86, p = .065$ 。對於辯證過程中關於知識主張的訊息, 自然組受試者 ($M=3.30, SD=0.76$) 相較於社會組受試者 ($M=3.03, SD=0.70$) 更容易接受來自研究單位的數據資料與主張。

表 4-3.6 不同類組受試者與知識認識信念之 T 檢定 (社會組 N=48, 自然組 N=53)

		平均	標準差	t 值	p 值	效果量
確定性 (C)	社會組	2.31	0.58	-0.75	0.45	-0.14
	自然組	2.41	0.83			
發展性 (D)	社會組	4.18	0.73	-1.25	0.22	-0.25
	自然組	4.36	0.71			
個人辯證信念 (PJ)	社會組	3.11	0.82	-0.48	0.63	-0.10
	自然組	3.19	0.79			
學校為本之權威辯證信念 (School-based Au)	社會組	2.37	0.69	-0.42	0.68	-0.08
	自然組	2.44	1.02			
研究為本之權威辯證信念 (Research-based Au)	社會組	3.03	0.70	-1.86	.065	-0.37
	自然組	3.30	0.76			
多重來源辯證信念 (MS)	社會組	3.75	0.68	-2.12	.036	-0.42
	自然組	4.02	0.60			

由上述內容可知, 學習者特性不同其知識認識信念亦有所不同, 因此可能影響其在知識主張的想法以及數據的解讀。

第五章 結論與建議

本章共四節，前三節逐一回應本研究之研究問題，分別是「論證推理表現」、「知識認識信念與論證推理表現」、「學習者特性與論證推理表現及知識認識信念之關聯」，最後一節討論「研究結果之教育意義」。

第一節 論證推理表現

本研究的研究問題一為「學生在閱讀珊瑚白化不確定性文本後，其論證推理表現為何？初步閱讀文本後，論證推理表現如何？閱讀完整文本後（包含相關證據），論證推理表現為何？是否改變原有的初始立場？前後兩次的論證推理表現是否具有差異？」

由表 4-1.1 可知受試者在三個不同項目「推理證據」、「知識」、「論證反駁」的論證推理表現。無論是在初步閱讀文本或完整閱讀文本及相關證據階段，受試者表現最佳的項目為「知識」，其次為「推理證據」，最終則為「論證反駁」。若以 PISA 閱讀認知能力進行對應，「推理證據」、「知識」為對文本訊息的「擷取與檢索」和「統整與解釋」，而「論證反駁」則為對外在連結的「省思與評鑑」。由此可知學生對於閱讀不確定性文本後的論證推理，大多仍停留在記憶、理解的基礎認知層次，更高層次如推理、論證的思考能力仍然有待加強。

研究者以成對樣本 T 檢定進行檢驗，探討受試者於完整閱讀文本前後，論證推理表現的分數是否有顯著差異。依據表 4-1.2 之結果，可得知初步閱讀文本後的推理證據項目與完整閱讀文本及相關證據後的推理證據項目有顯著的增加，顯示受試者完整閱讀文本及相關證據後，能提出更直接、更明確的推理證據佐證其選擇的觀點。除了知識項目外，其餘項目於閱讀完整閱讀文本及相關證據後，得

分皆有提高，雖未達到顯著水準，但仍可知道接觸更多證據資料有助於提升受試者的論證推理表現。

此外，在質性資料的分析結果顯示，當完整閱讀文本前後選擇原因相同時，有些受試者並沒有再次提出選擇該答案的原因，只給予簡短回應如「與上題原因相同」，因而知識項目得分在完整閱讀文本及相關證據後並沒有提升，此現象顯示受試者對於文本訊息擷取、統整能力並非沒有進步，而是簡便的回應使知識項目得分被低估，無法顯示出來。

受試者在閱讀完整文本與相關數據後之立場，如表 4-1.3 所示，完整閱讀文本及相關證據後有 32 個受試者改變原有的初始立場，59 個受試者仍堅持原本的選擇，另外有 10 個因不符合判斷標準，無法進行分析，故剔除於資料外，其論證推理表現可見表 4-1.4。後續以獨立樣本 T 檢定進行分析，兩者的論證推理表現並無顯著差異，此結果顯示：受試者皆依據文中證據內容選擇其認為最正確的答案，並進行論證推理，與立場是否改變無關，故論證推理分數並沒有太大差異。

第二節 知識認識信念與論證推理表現

本研究的研究問題二為「學生的知識認識信念與不同階段的論證推理表現是否相關？」使用的知識認識信念問卷包含六個向度，分別為確定性 (Certainty)、發展性 (Development)、個人辯證信念 (Personal justification)、學校為本之權威辯證信念 (Justification by school-based authority)、研究為本之權威辯證信念 (Justification by research-based authority)，以及多重來源辯證信念 (Justification

by multiple sources)。

科學認識觀的不同，會影響其認知學習和訊息詮釋，人們對於科學本質的認識可能成為影響個人對科技相關社會議題之思考抉擇的重要因素（劉湘瑤等人，2007），本研究之分析結果亦顯示出這點。由表 4-2.2 可知，在知識認識信念的六個向度中，初步閱讀文本後的論證推理表現與研究為本之權威辯證信念（Justification by research-based authority）較具的相關性，顯示當受試者越相信來自科學家、科學研究的相關數據資料，論證推理表現越佳。此結果反映了思辨科學不確定性議題時，研究為本的權威來源提供較可信的證據，而學校為本之權威辯證信念（Justification by school-based authority）與論證反駁則呈顯著負相關，顯示為對於老師、教科書上內容抱持著懷疑的受試者，更容易於論證反駁項目有較好的表現。

完整閱讀文本及相關證據後的部分則見表 4-2.3。其論證推理表現與發展性（Development）有極高度的相關性，可以從此得知，相信知識會隨著時間、證據的累積進一步發展與變化的受試者，更易接受新的知識與訊息，也會在論證推理過程中有更好的表現。其中值得注意的是，無論是哪個階段的推理證據皆與研究為本之權威辯證信念（Justification by research-based authority）達顯著正相關，可見受試者仍然是更依賴來自專家學者的研究數據。

上述兩表比對可得知，受試者認為科學研究的各項數據是提供他們辯證的判斷依據，然而在後續完整閱讀議題得到更多科學數據時，反而會因依賴研究為本之權威辯證來源，造成無法判斷哪一邊的專家所提供的訊息最為合理，進而干擾受試者對於資料的解讀能力，使得研究為本之權威辯證信念與論證推理表現之相

關性下降，反而越認為科學具有發展性 (Development) 的受試者，越能體認知識是不斷變動更迭，其論證推理表現越好。

第三節 學習者特性與論證推理表現及知識認識信念之關聯

本研究的研究問題三為「學生的學習者特性是否會與知識認識信念及論證推理表現有交互關係？」其中學習者特性包含性別、類組傾向以及對珊瑚白化成因的興趣程度。研究者針對性別及類組傾向，以獨立樣本 T 檢定進行檢驗；對珊瑚白化成因的興趣程度與其論證推理表現之間的關係則以 Pearson 相關性進行分析。

一、學習者特性與論證推理表現

雖說 Kuhn (1992) 的研究顯示，論證推理在性別方面沒有存在顯著差異，但本研究中依據表 4-3.1 及表 4-3.2 結果可得知，不同性別在完整閱讀文本及相關證據後的論證反駁項目有顯著差異。女生在完整閱讀文本及相關證據後的論證反駁分數顯著大於男性，而在初步閱讀文本的推理證據部分，則是接近顯著。其餘項目雖然沒有達到顯著，但可以發現女生在論證推理表現分數略優於男生。由於本研究的科學文本內容較多，閱讀量較大，研究者認為可能和男女的閱讀習慣有關，女生在閱讀大量文字時較有耐心，記憶的程度較高，因此也能更準確、直接的提出相關的推理證據、知識及論證反駁。

然而，在類組偏好與論證推理表現的部分，並沒有達到顯著差異。令人意外的是，從表 4-3.3 可得知，雖為科學文本之閱讀，社會組學生的表現大多優於理組學生。研究者推測可能與社會組所接受的課程訓練有關，社會組學生接觸較多

的長篇閱讀，對於文字的敏感度及閱讀的精準度較佳，而文本中的科學知識多為理論性內容，大多不需要自行推測與計算，故可排除自然科學領域相關先備知識對受試者的影響。此外，社會科學研究通常接受一個問題可以有多種解釋，因此必須比較證據的權重，但自然科學研究較會受到主流或典範理論的影響，只要符合典範論述，證據的重要性就可能減低。綜上所述，這或許就是社會組學生在本研究中有更好表現的原因。

而在初步閱讀文本時的論證反駁項目，是唯一一項自然組受試者表現較佳的部分。因初步閱讀文本時尚未得到足夠資訊，以有限的資訊量進行論證反駁較為困難，故這個項目的論證推理表現可能就與自然科學的知識儲備量有關，因此自然組的受試者獲得更佳的成績。

最終，在珊瑚白化成因的興趣程度部分，研究者以 Pearson 相關分析其與論證推理表現之間的關係，結果如表 4-3.4 所示。在初步閱讀文本後的推理證據、知識、總均分皆與對珊瑚白化的興趣程度呈顯著正相關；而在完整閱讀文本及相關證據後的總均分和對珊瑚白化成因的興趣程度呈顯著正相關，推理證據則為接近相關。受試者對於有興趣的主題可能有更多的涉獵與了解，亦更願意仔細閱讀相關內容及數據，故初步閱讀時在資訊有限的情況下，更能思考證據的合理性，甚至是進一步提出看法，使論證推理的表現更佳；而在完整閱讀文本及相關證據後，由於相關的證據都列於文本供受試者閱讀，補足原先因沒有興趣而較無接觸的議題內容，因而論證推理表現與受試者的興趣程度高低便沒有如初閱讀時的緊密關聯。

二、學習者特性與知識認識信念

依表 4-3.5 結果可知，不同性別受試者於科學認識信念中的確定性 (C) 存在顯著差異。男性受試者更傾向認為知識是穩定、有唯一解答的，女性受試者則認為知識具有變動性。

Bråten 等人 (2013) 在研究中表示，人們的辯證信念在不同領域間可能會有不同。依表 4-3.6 結果可知，不同類組傾向在科學認識信念中的多重來源辯證信念 (MS) 存在顯著差異；在研究為本之權威辯證信念 (Research-based Au) 則是接近顯著。顯示為社會組受試者與自然組受試者對於知識認識信念某些項目存在不同程度的看法，例如認為在一個知識主張的判斷過程中，是否需要依賴多方資訊交叉驗證，亦或是可由單一來源的資訊進行判斷；亦或是在辯證過程中關於知識主張的訊息，更傾向接受來自何種來源的資訊。

在本研究中，自然組受試者相較於社會組受試者更傾向相信經由多方訊息相互比對所得到的知識進行判斷，而在辯證過程中，亦更容易接受來自研究單位的數據資料與知識主張。由上述內容可知，學習者特性不同其知識認識信念亦有所不同，因此可能影響其在知識主張的想法以及數據的解讀。

第四節 研究結果之教育意義

論證是科學和科學教育的核心 (Newton et al., 1999)，是科學發展不可或缺的一環，亦是人們解決問題及爭論的一種方法 (Siegel, 1995)。過去在課堂討論中，多由教師講述教學，而較少讓學生有討論、反思的機會 (Newton et al., 1999)，學生無從學習如何依問題進行論證思考從而找出答案、如何為自己現有想法提出

資料加以佐證。Kuhn (1992) 的研究曾提出社會環境 (social contexts) 如課堂，是最有可能練習和發展論證性思考的場所，且論證推理能力與教育程度密切相關，教育程度越高者，於論證推理上更可能發展出具支持性的證據和替代理論。顯示出教育是能加強大眾論證推理能力的一種方法，因此科學教師們任重而道遠。

由本研究的結果發現論證推理表現的「推理證據」、「知識」、「論證反駁」三個項目中，表現最佳的為「知識」，最末的為「論證反駁」。顯示為近年來的教育政策雖致力於推行探究實作，希望學生具備素養、擁有解決問題的能力，但對於科學學習，多數學生仍停留在基礎的認知層次，對於論證推理等高層次的認知能力還有許多進步的空間。

在數據資料的部分，由受試者在完整閱讀文本及相關證據後的論證推理表現可得知，更多、更完整的證據有利於受試者提出對自己觀點的明確佐證。然而，在學習如何解決問題的過程中，並非所有的資料數據都已經準備齊全，教師除了提供足夠的資料證據讓學生初步練習，亦需進一步培養學生搜尋資料之能力，而因為資料的良莠不齊，媒體識讀能力便成為學生必培養的重中之重。

教育必須賦予學生對日常生活議題進行科學思考的能力 (黃翎斐、胡瑞萍, 2006)。根據本研究之結果，要提升論證推理，學生必須了解可靠證據的來源，該如何篩選具可靠性證據、該如何檢視證據的權重會成為資訊世代孩子的重要課題。科學教師在教學過程中，課程教材可多選用來自於專家學者、研究單位的所提出的理論與數據，讓學生習慣以具公信力的證據進行推論，培養其研究為本的權威辯證信念；而在科學史課程中，除了說明科學理論的演進外，也需和學生強調科學在隨著時間發展的過程中，會因不斷修正與調整而越發完善，知識是具有

發展性的，而這就是科學進步的原因之一；此外，在學生對新聞時事、坊間傳說提出問題時，要求他們搜尋資料進行查證，亦或是以具不確定性的科學議題或是社會性科學議題作為課程內容，讓學生能接觸多元面向的觀點，在為自己所選擇的立場提出論據的過程中，能使學生的邏輯思路更為清晰，並提升其對多重來源辯證信念的認識，教師也能更清楚的檢視學生的論證推理能力。

在資訊爆炸的時代，辨別資料的真偽、好壞，是每個公民的責任，具備論證能力能讓學生在遇到具爭議性的問題時，做出合理的判斷，所謂謠言止於智者，理性思考、有利有據，不人云亦云、以訛傳訛，才是保護自己也保護他人的最好方式。



參考文獻

- 林志能、洪振方 (2008)。論證模式分析及其評量要素。科學教育月刊，312，2-18。
- 林昱欣 (2023)。運用眼球追蹤法探索高中學生之論證架構理解與論證表現及科學認識信念之關係。國立臺灣師範大學理學院科學教育研究所碩士論文。
- 林美馨、楊芳瑩 (2011)。由認識觀發展的角度探討國小學童對科學探究過程之看法。科學教育學刊，19(6)，531-548。
- 林樹聲 (2015)。社會性科學議題教學於中小學實踐上的魔力與阻力。台灣科技與社會研究學會，<https://sts.org.tw/archives/72>
- 邱柏修 (2023)。探討學生線上研究表現與其科學認識信念及科學學習自我效能間的關係。國立臺灣師範大學理學院科學教育研究所碩士論文。
- 邱美虹 (2018)。以科學素養為導向的新課綱——從社會性科學議題融入課程談起。臺灣教育評論月刊，7 (10)，1-7
- 教育部 (2018)。十二年國民基本教育課程綱要總綱。臺北市：教育部。
- 黃翎斐、胡瑞萍。(2006)。論證與科學教育的理論和實務。科學教育月刊，292，15-28。
- 楊子潔 (2022)。運用眼球追蹤法分析論證架構的閱讀及元素區辨與科學認識信念之關係。國立臺灣師範大學理學院科學教育研究所碩士論文。
- 劉湘瑤、李麗菁、蔡今中 (2007)。科學認識觀與社會性科學議題抉擇判斷之相關性探討。科學教育學刊，15(3)，335-356。
- 鄭可萱、李松濤 (2018)。當科學素養與閱讀素養相遇:高中學生科學新聞閱讀策

- Baytelman, A., Iordanou, K., & Constantinou, C. P. (2020). Epistemic beliefs and prior knowledge as predictors of the construction of different types of arguments on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(8), 1199–1227. <https://doi.org/10.1002/tea.21627>
- Bråten, I., Ferguson, L. E., Strømsø, H. I., & Anmarkrud, Ø. (2013). Justification beliefs and multiple-documents comprehension. *European Journal of Psychology of Education*, 28(3), 879-902.
- Bromme, R., Kienhues, D., & Porsch, T. (2010). Who knows what and who can we believe? Epistemic beliefs are beliefs about knowledge (mostly) attained from others. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Eds.), *Personal epistemology in the classroom: theory, research, and implications for practice* (pp. 163–193). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cheng, C. H., Bråten, I., Yang, F. Y., & Brandmo, C. (2021). Investigating structural relationships among upper-secondary school students' beliefs about knowledge, justification for knowing, and Internet-specific justification in the domain of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(7), 980-1009. <https://doi.org/10.1002/tea.21689>
- Chinn, C. A., Buckland, L. A., & Samarapungavan, A. (2011). Expanding the dimensions of epistemic cognition: arguments from philosophy and psychology. *Educational Psychologist*, 46, 141–167.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(33), 287-312.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38, 39-72.
- Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of educational research*, 67(1), 88-140.
- Hong, Z. R., Lin, H. S., & Lawrenz, F. P. (2012). Effects of an integrated science and societal implication intervention on promoting adolescents' positive thinking and emotional perceptions in learning science, *International Journal of Science Education*, 34(3), 329-352.
- Kendeou, P., Muis, K. R., & Fulton, S. (2011). Reader and text factors in reading

- comprehension processes. *Journal of Research in Reading*, 34, 365–383.
- Kuhn, D. (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, 62(2), 155- 179.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of science education*, 21(5), 553-576.
- Niaz, M., Aguilera, D., Maza, A., & Liendo, G. (2002). Arguments, Contradictions, Resistances, and Conceptual Change in Students' Understanding of Atomic Structure. *Science Education*, 86(4), 505-525.
- Nussbaum, EM. (2002). Scaffolding Argumentation in the Social Studies Classroom. *Social Studies*, 93(3), 79-85.
- OECD. (2022). *Education policy outlook 2022: Transforming pathways for lifelong learners*. OECD Publishing.
- Oretr, J. Leon, J. A, & Graesser, A. C. (2002). *The psychology of science text comprehension*. Routledge.
- Osborne, J. F., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Painter, J. (2013). *Climate change in the media: Reporting risk and uncertainty*. Bloomsbury Publishing. <https://doi.org/10.5040/9780755694525>
- Siegel, H. (1995). Why should educators care about argumentation. *Informal Logic*, 17(2), 159-176.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wolfe, M. B. W., & Goldman, S. R. (2005). Relations between adolescents' text processing and reasoning. *Cognition and Instruction*, 23, 467–502.
- Yang, F. Y. (2017). Examining the reasoning of conflicting science information from the information processing perspective—an eye movement analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(10), 1347-1372.
- Yang, F. Y., & Tsai, C. C. (2010). Reasoning about science-related uncertain issues and epistemological perspectives among children. *Instructional Science*, 38(4), 325-354.
- Yang, F. Y., Chang, C. C., Chen, L. L., & Chen, Y. C. (2016). Exploring learners' beliefs about science reading and scientific epistemic beliefs, and their relations with science text understanding. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1200763>
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills

through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*,
39(1), 35-62.



附錄一 科學文本

海洋的熱帶雨林

熱帶雨林是陸上的生物基因庫，擁有極豐富的生態，亦提供重要的生化資源，許多藥品成分、抗病蟲基因皆來自於它，熱帶雨林的存在給予科學研究更多的可能。而你知道嗎？海洋裡亦有屬於它的熱帶雨林——珊瑚礁。

珊瑚礁是地球上古老的生態系之一，多樣性甚至超越熱帶雨林，面積雖不足地球表面的 1%，卻養育著 25% 海洋魚種。它提供魚類產卵、育苗的場地，保護沿海避免海浪侵蝕，也提供娛樂遊憩的場所，全球有至少百萬的人口依賴珊瑚礁維持生計，珊瑚礁島甚至是許多人的家，近年來，珊瑚礁更成為人們的藥庫，未來可能提供癌症、愛滋的新解方。珊瑚是珊瑚礁最重要的建造者，它是輻射對稱的刺絲胞動物，成長時會分泌碳酸鈣形成骨骼，即為珊瑚礁。新的珊瑚不斷成長在死去的珊瑚骨骼上，一層一層地加厚珊瑚礁，提升結構強度亦加大面積，許多生活在珊瑚礁中的生物的骨骼亦是由碳酸鈣組成，它們一同為珊瑚礁的形成做出貢獻。

熱帶珊瑚礁一般生長在南北緯 30° 間、溫暖、清澈的淺海地區，最適棲地為水深 50 公尺內的透光層，溫度約在 22~28°C，此處充足的陽光可供珊瑚的共生藻行光合作用，共生藻生成之葡萄糖、小分子有機酸、脂質等產物則提供給珊瑚，而珊瑚則反饋無機營養鹽與保護，彼此互利。珊瑚各色絢麗的外表，大多來自於體內的共生藻，當棲地因海水污染、海溫上升等因素變得嚴峻時，珊瑚受到壓迫，體內共生藻數量下降，便會使珊瑚失去顏色，此現象稱為「珊瑚白化」。目前學術界將珊瑚白化監測分成 1~6 級，若落在 1~3 級仍有機會復原，4~6 級則會死

亡。



圖一、珊瑚白化監測分級

新聞議題

根據墾管處調查，墾丁南灣核三廠出水口的珊瑚礁出現大量珊瑚白化情形，有學者專家認為可能和核能發電廠的溫排水有關，但溫排水是否是造成珊瑚白化的元兇，仍有待進一步釐清。

Q1. 就你目前所知，你認同墾丁珊瑚白化的元兇是核能發電廠的溫排水嗎？為什麼？

珊瑚白化可能原因探討

原因 A. 發燒的海洋——海溫上升

珊瑚的內胚層細胞住著一種稱為蟲黃藻的共生藻，它們經由光合作用為珊瑚帶來 90% 能量，是珊瑚礁生態系中重要的生產者，而健康的珊瑚呈現出的各種美麗顏色，便是源於體內的共生藻。「白化」為珊瑚的重要病徵，指的是在珊瑚遇到逆境、受到壓迫時，排出帶來顏色與養份的共生藻而呈現白色的現象，此時珊瑚並不會馬上死亡，若環境迅速恢復，逆境消失，共生藻會在幾週內重新被珊瑚吸收，如若不然，長期失去共生藻的珊瑚會因為飢餓而大面積死亡，這種狀況下珊瑚礁的恢復期便可能長達十年以上。

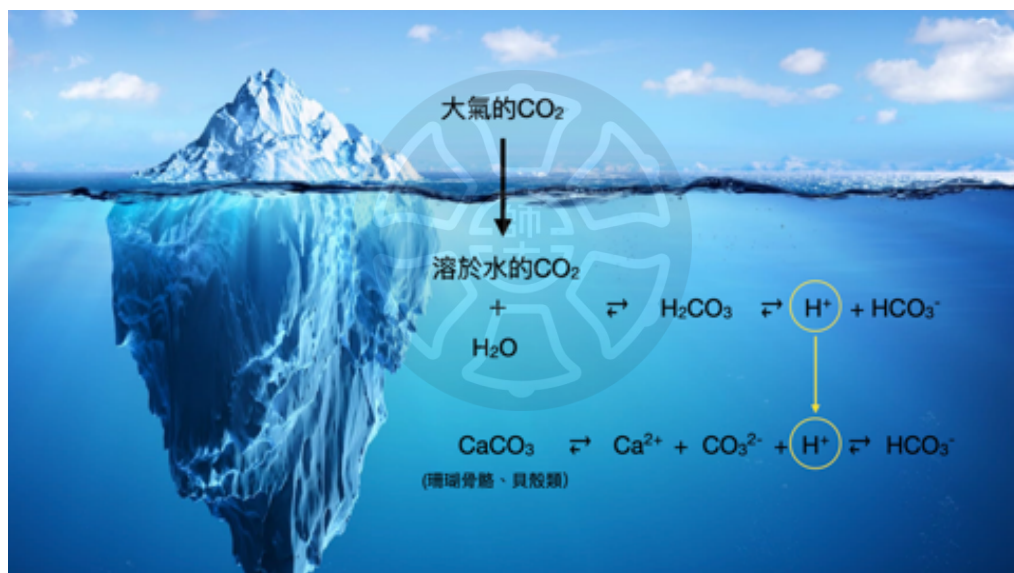
為了預測珊瑚白化的發生時間和地區，美國海洋與大氣總署 (NOAA) 利用衛星遙測海表水溫，以週熱化度數 (Degree Heating Week, DHW) 作為評估珊瑚白化風險與溫度累積效應的指標，DHW 計算當珊瑚面臨的海水水溫高於歷史夏季最高月均溫時所累積的熱緊迫。舉例來說，預測的海表水溫比歷史夏季最高月均溫高出 2°C 且會延續 4 週，則當地珊瑚累積的熱緊迫就是： $2 (^{\circ}\text{C}) \times 4 (\text{週}) = 8 \text{ DHW}$ 。

該預測共分為五大階段：沒有緊迫、白化觀察、白化警示、一級警戒、二級警戒。前兩者無白化風險，沒有緊迫是指海表水溫低於當地夏季最高月均溫；而白化觀察是指海表水溫高於當地最高月均溫，但低於珊瑚白化閾值 (bleaching threshold temperatures)。當海表水溫高於珊瑚白化閾值，且 DHW 介於 0~4 時，稱為白化警示，用以提醒研究及管理單位多加注意。當 DHW 達到 4 以上，即為

一級警戒，預期可能發生明顯的珊瑚白化，達到 8 以上則為二級警戒，預期珊瑚會大規模的白化，甚至大量死亡。

原因 B. 二氧化碳對海洋的影響——海洋酸化

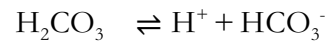
大氣、海洋和陸地是地球重要的三個碳儲庫，碳可以在各個碳儲庫之間流通，除了基本的光合與呼吸作用外，海洋中生物性碳酸鈣（如珊瑚礁骨骼、貝殼）的沉澱與溶解，以及二氧化碳對海水的溶解與逸散皆是碳儲庫間流動的方法。



圖二、海洋酸化相關化學反應

CO₂ 溶於海水後釋出氫離子 (H⁺)，使海水變酸、pH 值下降，稱為「海洋酸化」，目前已有許多證據指明，海洋酸化不利於海洋生態，亦進一步影響人類生活。

反應式一 (CO₂ 溶於水釋出氫離子) : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$



反應式二 (碳酸根消耗) : $\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$

反應式三 (碳酸鈣溶解) : $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$

由上述反應式二可知，過多的 H⁺ 會促使反應向右移動，造成 CO₃²⁻ 濃度下降，有許多生物如珊瑚、牡蠣等，需透過鈣化作用來形成碳酸鈣質的骨骼或殼體，當海洋酸化日益嚴重，直至 CO₃²⁻ 濃度下降到臨界值，便會影響物質之間的平衡，不利此類生物生成碳酸鈣沉澱，甚至在嚴重酸化的海水中會更傾向於溶解（反應式三）。

研究顯示，鈣化作用降低會造成碳酸鈣骨骼和殼體的脆化，不利於此物種的競爭及生存。除了上述生物外，另一個海洋酸化潛在受災戶是翼足類。牠們是一種小海螺，為南冰洋重要的浮游生物，養育著大量魚類、鯨類及海鳥，是這些生物主要的食物來源，作為能量金字塔不可撼動的底層，翼足類的重要性可想而知，科學家擔心若海洋酸化使極地翼足類減少，甚至完全消失，會對南冰洋食物鏈造成不可估量的衝擊。

原因 C. 海洋加溫器——核三廠溫排水

近年來，在全球暖化威脅下，火力發電比例急需減量，再生能源卻未能足以支撐供電，各國努力尋找解方，核能發電的成本低廉，過程幾近零空汙、零碳排，因此成為許多國家在過渡期的首選。但核能發電並非完美，除了核能安全性以及

核廢料儲放之外，溫排水亦是一個常被詬病的議題。

那麼核電廠為什麼有溫排水呢？根據熱力學第二定律，能量間的轉換無法達到百分之百，無法轉換的能量會以熱能形式放出，成為廢熱。為了避免廢熱使核能發電的原子反應爐熔毀，核電廠需要大量的水源來為發電機組降溫，因而核電廠大多座落於濱海、大型湖泊或河川旁，以便於取水及排放。

加熱後的湖/海水重新回到湖泊或海洋，看似物歸原處沒有造成任何影響，然而很多人不知道的是，「熱」亦是一種污染。溫度影響著許多物化性質，溫度的改變意味著生物將面臨不同的生存環境，故而過高溫或過低溫對生物而言，皆是生存逆境。

而台灣受限於地形與氣候，河川坡陡流急、流量四季不均，且淡水水量較少空間亦較封閉，相較於海水對自然環境影響更大，故台灣選擇以海水作為核電廠的冷卻水源。為了降低溫排水對海洋生態的衝擊，一般將升溫範圍控制於 7~10°C 之間，且在興建核三廠時，出水口亦特別設計，使較高溫的排放水僅能注入海洋表面，並額外加裝熱稀釋泵，在夏季高溫時可抽取更多海水，將溫排水預先混合降溫後再進行排放，以降低和原先海水的落差，盡可能將對環境的影響降至最低。

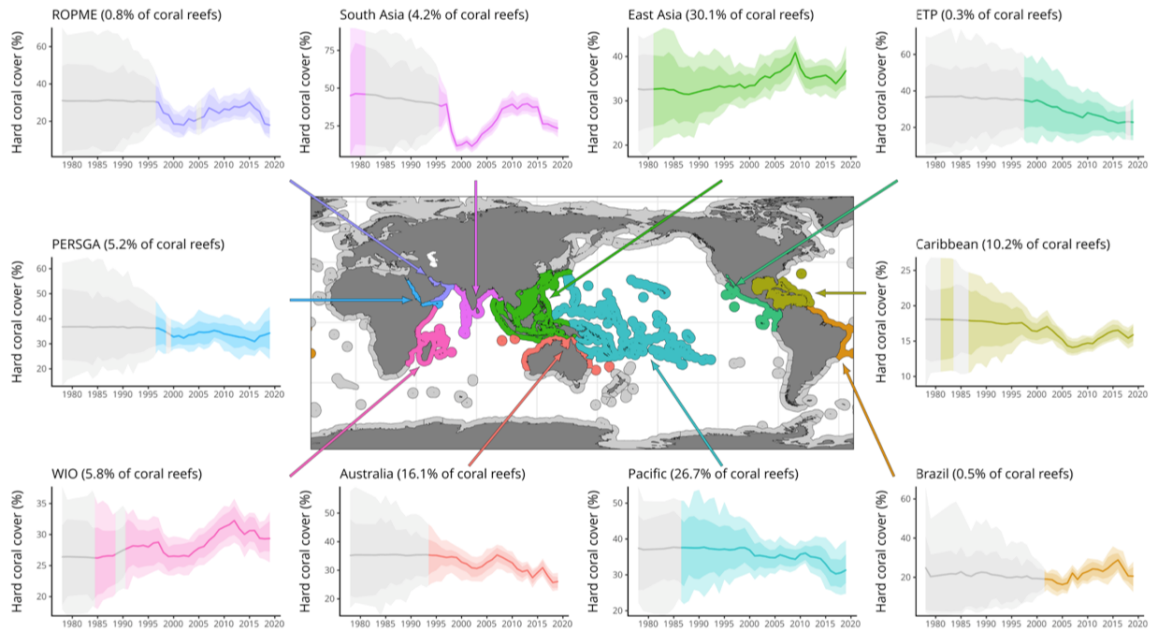
Q2. 看完以上三種原因，你覺得墾丁珊瑚白化最可能的原因為何？為什麼？

請詳細論述你的想法。

A. 發燒的海洋——海溫上升

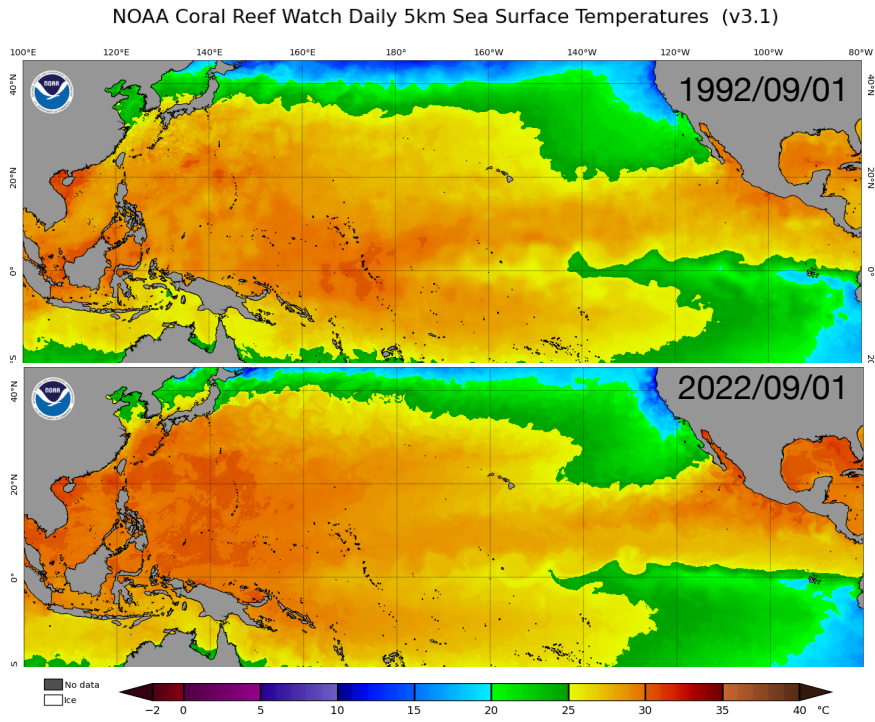
大堡礁位於澳洲東北部海岸，擁有世界上最大珊瑚礁群，有著極豐富的生物相，包含 400 種珊瑚、1500 種魚類和 4000 種軟體動物，是著名的世界遺產和潛水勝地，除此之外，它作為一種海洋結構，也為沿海地區提供保護，以抵禦大浪及風暴。然而，有科學家提出警示，全球暖化造成海水溫度升高，大堡礁正處於崩潰邊緣，過去 30 年來，超過 98% 的珊瑚，至少經歷一次白化，近六年來大堡礁甚至遭遇高達四次的大白化(2016、2017、2020、2022 年)，其中 2016~2017 年的極端高溫，影響範圍高達 1500 公里，且兩次大白化的區域相近，甚至有所重疊，珊瑚仍未來得及休養生息便再遭劫難，研究指出，嚴重受損的區域已經沒有足夠的成年珊瑚來讓珊瑚礁正常再生，未來的復原之路道阻且長。

全球性的珊瑚大白化與死亡事件已出現至少四次，在 1998 年第一次大白化事件之前，全球平均硬珊瑚覆蓋率高 (>30%) 且穩定，但 1998 年白化事件導致全球 8% 的珊瑚礁消失，而台灣的東沙環礁亦受到嚴重影響，歷經 20 多年仍未復原。中研院生物多樣性中心於 2020 年 7~9 月，在台灣 62 個樣點針對 28,250 株珊瑚，個別進行白化監測分級，分析彙整後發現有 52% 的珊瑚受到不同程度的熱壓迫。其中 31% (4~6 級) 即便日後水溫降低，最終仍會死亡；8% (3 級) 復原與否則視水溫變化而定，僅有 13% (1~2 級) 可在秋天水溫降低後恢復健康。

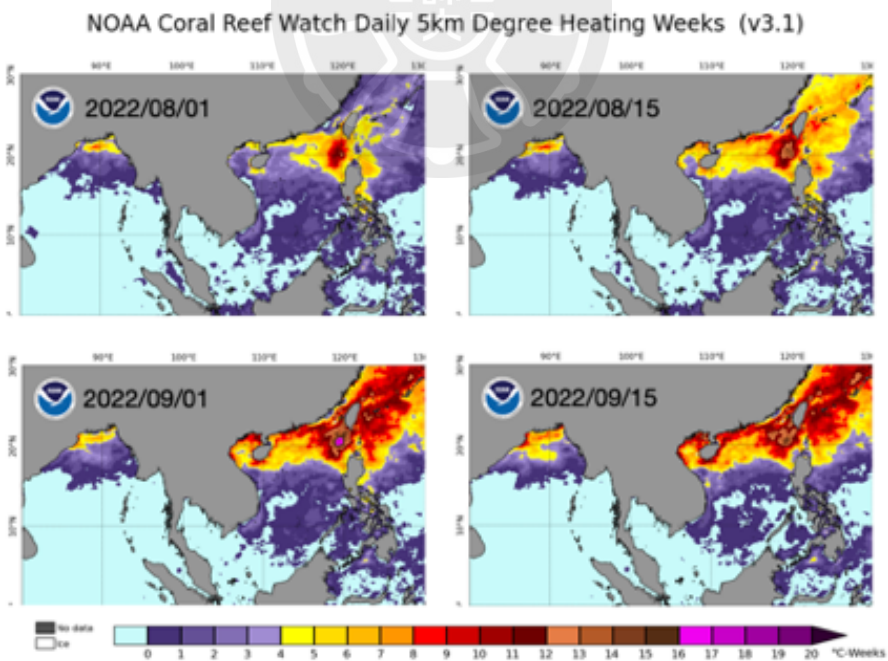


圖三、不同海域活硬珊瑚平均覆蓋率。實線代表具有 80% (較深陰影) 和 95% (較淺陰影) 信賴區間的估計平均值

根據 NOAA 的數據，海洋表面的水溫有明顯的上升，由 2022 年的週熱化度數 (Degree Heating Week, DHW) 評估珊瑚的白化風險，可得知台灣周遭地區的夏季狀況，隨著夏季高溫持續，八、九月對珊瑚是嚴峻的考驗。



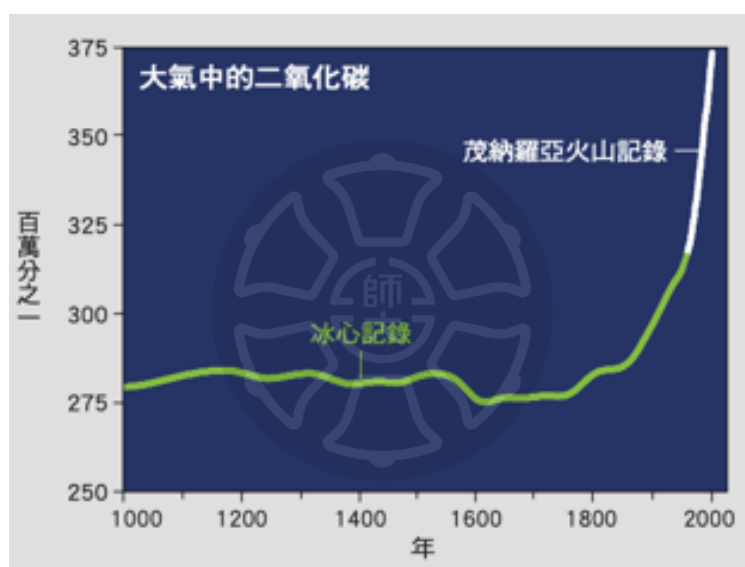
圖四、珊瑚大白化事件前後太平洋海水表面溫度變化



圖五、2022年夏季台灣周遭海域 DHW 數據示意圖

B. 二氧化碳對海洋的影響——海洋酸化

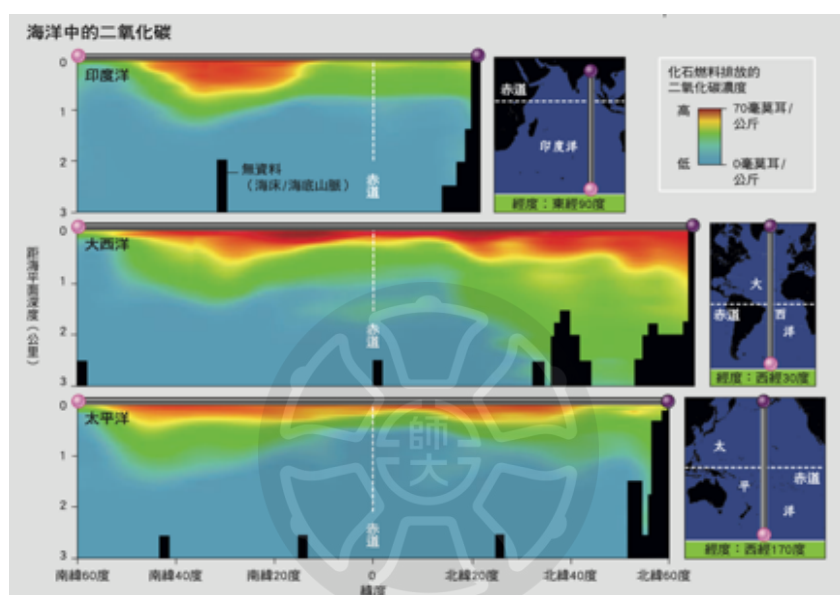
夏威夷茂納羅亞觀測站 (Mauna Loa Observatory)，可在不受污染、不受植被影響的情況下進行採樣，監測大氣中二氧化碳濃度，測量結果可代表北半球大氣平均狀態。2022 年該站測得二氧化碳濃度高達 421 ppm，而科學家以冰芯中封存的古大氣進行分析，發現在工業革命前的一萬年中，二氧化碳濃度約維持在 260~280 ppm，顯示數百年間，二氧化碳濃度已增加了 50%。



圖六、大氣中二氧化碳濃度變化

然而，上述數據已是碳儲庫間流動後的結果。海洋吸收了大量人為排放的二氧化碳，以 2003~2012 年為例，每年人為排放約 94 億噸二氧化碳，其中大約有 46% 累積在大氣中，成為暖化的元凶，26% 會被陸地生物圈吸收，剩下 28% 則進入海洋。海洋是極大的酸鹼緩衝系統，意指在合理範圍內吸收酸或鹼，並不會大幅改變海水的 pH 值（目前海水為弱鹼性，pH 值約為 8.1），雖然在二氧化碳的影響下，海水仍不會轉為酸性（ $\text{pH} < 7$ ），但其鹼性卻會逐漸變弱。

科學家透過熱力學平衡計算，推估工業革命以來，全球海水表面的 pH 值已下降 0.1，對應氫離子濃度約增加了 30%，而碳酸根離子濃度則減少了 16%。依據聯合國政府間氣候專家委員會 (IPCC) 預估之碳排量進行模擬，本世紀末全球海水表面的 pH 值會再下降約 0.4，碳酸根離子濃度則會再減少 50%，此理論計算與目前觀測數據的降幅大致吻合。



圖七、不同海域酸化程度示意圖

C. 海洋加熱器——核三廠溫排水

美國海洋與大氣總署 (NOAA) 以週熱化度數 (DHW) 作為評估珊瑚白化風險的指標，當 DHW 大於 4，即可能發生珊瑚白化，大於 8 則會大規模的白化及死亡。由墾丁地區的 DHW 可知，近年來 DHW 皆達到珊瑚白化的臨界值，該區的珊瑚遭受長期且嚴重的熱逆境，白化的比例逐年增加，但這並非單一案例，沒有核電廠的綠島、蘭嶼，亦出現大量白化情形。



圖八、近年來墾丁海域週熱化度數 (DHW) 及相關事件表

近年已有研究發現，在 DHW 高居不下時，墾丁南灣附近珊瑚白化程度遠遠小於周圍其他海域。南灣位於呂宋海峽的北端，受惠於南海內波和潮汐作用引發的間歇性湧升流，在退潮時會有低溫的深海海水湧入淺海區進行補充。以夏季為例，可使每天海溫震盪 3~8°C，縱使海表日均溫高於珊瑚白化的危險值，但每天

數小時的低溫海水補充，可有效緩解海溫升高對珊瑚的衝擊。

研究顯示，墾丁南灣地區的特殊造就珊瑚演化出更好的耐熱性。以南灣核三廠出水口的維氏腦紋珊瑚為例，經過 30 多年高溫及變動溫差的訓練，牠們可能已經發展出對熱逆境的調適機制，使牠們在高溫逆境中仍展現出絕佳的生命韌性。科學家研判，灣域地形湧升流的冷卻、忽冷忽熱的三溫暖效應，再加上充足的養分，珊瑚才能克服此等惡劣環境，故此處的珊瑚不容易白化，但是一旦出了南灣範圍，內波消失時產生的庇護能力也同時消失。

Q3. 看完整份文章，你認為造成墾丁珊瑚白化的最可能原因為何？

Q4. 承上題，請說明你選擇此原因的理由及想法依據

Q5. 上面列出的資料，哪些反駁了你的想法？這些資料如何反駁你的想法？
(沒有則寫無)

Q6. 若要確認你目前的想法是否合宜，你覺得你會需要哪些資料的支持？