

高中生在社會性科學議題決策中的反思與評估

張文馨 許瑛珪*

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘要

本個案研究研發融入後設認知問題的社會性科學議題(Socioscientific Issue, SSI)導向決策課程，並探討高中生的反思與評估表現。研究以便利取樣邀請66位來自臺北市某兩校高中的學生參與。研究資料來自學生在前、後測及學習單的填答內容，透過集群分析、共變異數分析、相依t考驗等統計分析，探討學生在課程中反思與評估能力的表現，以及其對決策能力與決策學習成效的影響。本研究以集群分析，依學生學習單中的反思與評估表現差異，將其分成四組：決策可行性／提出配套組、利弊權衡／提出配套組、利弊權衡／無關回應組、推理合理性／提出配套組。結果發現，利弊權衡／提出配套組、利弊權衡／無關回應組在課程中的從多元面向考量議題、利用補償性方法權衡方案表現顯著高於決策可行性／提出配套組，且這兩組經課程後的決策能力亦有顯著提升。推理合理性／提出配套組課程中的考量多元面向表現顯著優於決策可行性／提出配套組。基於研究結果，本研究建議未來發展後設認知引導問題，需具體引導學生深入反思SSI決策的本質，從決策過程的利弊權衡的角度進行評估與反思，以達到提升學生決策能力之目的。

關鍵詞：反思、決策能力、社會性科學議題、集群分析

壹、緒論

我國十二年國民基本教育(後文簡稱國教)新課綱重視學生核心素養的培養，也就是培養學生適應生活且面對未來挑戰所應該具備的知識、能力與態度(國家教育研究院，2014)。而社會性科學議題(Socioscientific Issue, SSI)正是每個人在生活中無可避免的問題，如：基因改造食品、以核養綠等議題都屬之，且需要學生使用跨科知識才得以解決問題。SSI的問題來自科學與科技的發展對環

境與社會造成風險與衝擊，所以這類議題涉及諸如生態環境、社會經濟、個人價值觀等多元因素(Lee & Grace, 2012; Liu, Lin, & Tsai, 2011; Sadler, 2004)。與十二年國教新課綱的教育目標呼應，SSI導向的教學目的在培養學生整合跨領域的知識(Fang & Hsu, 2017)、透過推理、決策等高階思考(Zohar & Nemet, 2002)與他人協商並解決議題中的兩難衝突(Karisan & Zeidler, 2017; Lee & Grace)。因此，SSI適合作為學習情境，培養學生具備解決真實問題的知識、能力與態度。

*通訊作者：許瑛珪，yshsu@ntnu.edu.tw

(投稿日期：民國110年2月18日，修訂日期：民國110年6月2日，接受日期：民國110年6月2日)

在多數情況下，解決SSI問題需要透過決策與推理的思考歷程。決策是一種高階思考能力，決策者要收集、分析各種訊息，以便從眾多競爭方案中進行抉擇(Jho, 2015)。然而SSI沒有正確答案，涉及多元面向的觀點，各種觀點的支持者在利益角力下可能產生衝突與兩難，因此SSI的決策需要人們基於多元資訊對議題中所有待選方案進行證據導向的評估、判斷與協調，以做出縝密決策(張文馨, 2018)。但是，SSI的決策仰賴涉及複雜的非形式推理思考過程(Meyer, 2018)，需要從多元面向考量多元觀點或競爭方案，收集相關資料，系統性的分析並基於決策法則(decision rules)就不同競爭方案的優劣、利弊做利益權衡(trade-off)，以考量各種方案的風險及其對不同群體的正、負面影響(Fang, Hsu, & Lin, 2019)。

雖然培養學生在SSI中進行合理決策非常重要，但雙處理理論(dual process theory)的觀點認為決策者基於個人的觀點、經驗與信念，在推理思考過程容易產生決策偏差(Klaczynski & Cottrell, 2004; Y.-T. Wu & Tsai, 2011)。而透過後設認知中的反思、監控、評估等思考過程，決策者有較高機會發現決策偏差，並進一步能調整並精緻化自己的決策過程與品質(Klaczynski & Cottrell)。從許多決策模式中，亦不難發現後設認知在決策推理過程中的關鍵角色(Betsch & Haberstroh, 2005; Kortland, 1996; Lee & Grace, 2012; Ratcliffe, 1997)。雖然已有研究證實學生的反思與評估決策歷程的程度越高，其決策表現較佳(Eggert & Bögeholz, 2010)，但是在很多研究中都指出學生很難在缺乏引導的SSI決策過程中展現深度的反思、監控、評估與調整等後設認知相關表現(Eggert, Ostermeyer, Hasselhorn, & Bögeholz, 2013; Fang & Hsu, 2017; Grace, 2009; Ratcliffe)。曾有研究透過

檢核表(Hsu & Lin, 2017)、後設認知提示問題(Eggert et al.)，引導學生反思與評估自身的決策歷程，但卻不曾有研究針對學生在SSI決策過程中的反思與評估表現進行系統性的分析，並具體連結學生的反思與評估表現與其決策表現。本研究認為，透過系統性的分析學生在決策歷程中的反思評估表現及其對決策表現的影響，不僅能具體瞭解學生在決策歷程中的後設認知表現，亦能瞭解如何協助學生在SSI決策過程中使用後設認知，對其決策歷程與品質進行反思與評估，以期能提高學生對其決策表現進行調整，透過反覆評估與調整的過程，精緻化並提升學生的SSI決策能力。

貳、文獻探討

一、SSI的決策

SSI意指由科技與科學發展所引發的社會與科學間的兩難衝突，這類議題近年內受到重視(Sadler, 2004)。SSI是開放性、結構模糊的問題，議題中的利益相關者由於對解決問題的方法有不同的主張而產生衝突(林昇邦、許瑛珖, 2017; Hsu & Lin, 2017)。SSI發生在真實生活中，大多涉及公眾利益，所以解決方法需要被公開討論與批判，權衡不同方案的正、負面影響以找出適當的解決策略(Fang et al., 2019)。因此，SSI本質上是一個決策問題，近年來科學教育領域更將如何引導學生在SSI中進行合理推理與決策視為教育目標之一(Eggert & Bögeholz, 2010)。

決策指的是從眾多競爭方案中進行抉擇的過程，是一種高階思考能力。Svenson (1996)依據決策過程中的思考複雜程度將決策任務分成四等級，最低等級一屬於無意識的決策，最高等級四則是決策者複雜的、有意識的使用決策法則，系統化的比較各種競

爭方案進行決策的過程。最高等級的決策任務通常是沒有特定解決方法的問題，例如：SSI中的決策(Meyer, 2018)。由於SSI本質上是一個複雜兩難的衝突問題，人們在進行決策時需要針對這些問題進行判斷、表達並與他人討論自己的觀點，所以SSI中的合理決策意味著學生需要仔細的從多元面向考慮議題，收集競爭方案的相關資料，透過詮釋、論證等推理過程，權衡多元面向的觀點，以找出合理決定(Kortland, 1996)。在這個過程中需仰賴學生複雜的非形式推理(張文馨, 2018; Meyer)，許多學者根據決策者在SSI中的決策過程，提出不同的決策框架或決策模式，例如：由Kortland提出的規範性決策模式(normative model of decision making process)，涉及辨識問題、發展判準並產生待選方案、評估待選方案、做決定、行動與監控等過程；又如Ratcliffe (1997)提出的六步驟決策行為模式，Ratcliffe認為規範性決策模式無法完整描述人類在生活中的決策行為，因為規範性決策認為人類是無限理性(unbounded rationality)的，決策過程不受決策者個人觀點與信念影響。基此，她提出六步驟的決策行為模式，用以描述學生在SSI中的決策行為，這六個步驟包含：考量議題並列出可能的待選方案(options)、發展適當的判準以比較待選方案(criteria)、收集並釐清所有方案的相關訊息(information)、基於判準評估方案的優、缺點(survey)、基於合理分析選擇出一個方案(choice)、回顧並評估前述決策過程，找出任何能提升決策品質的可能(review)。Svenson則是提出差異鞏固理論，將決策過程區分為三個階段：辨識議題、差異化、鞏固決策。決策者需要在這三個階段中，辨識SSI決策任務中涉及的面向，找出可能的解決方案，並透過各種策略或方法比較所有解決方案，以做出決策。林昇邦與許瑛珪(2017)、

Fang等(2019)曾回顧幾個主要的決策模式或架構，發現這些決策模式雖有字遣詞上的差異，但具有類似的決策步驟與過程，大致能按Svenson的理論將這些決策模式或架構區分成三個主要階段。然而，這些決策模式大多著重在決策過程中的非形式推理過程，有關決策過程中，影響決策品質的其他關鍵過程，例如：綜合考量所有判準來進行利益權衡、反思等卻被忽略，為此，Fang等在彙整相關文獻後，將權衡所有方案的優、缺點、反思等重要過程納入考量，將決策過程區分成三個主要階段。首先，在第一個辨識議題階段的主要任務是找出決策空間，學生需要透過推理過程考慮不同方案背後涉及的多元觀點及其兩難(Lee & Grace, 2012; Svenson)；第二則是差異化階段，學生應用適當的決策方法，系統性的針對所有方案的優、缺點做全盤利益權衡以做出合理決策(Fang et al.; Papadouris, 2012)；最後，在鞏固決策階段，則需要反思並檢視決策過程的決策推理偏差(Böttcher & Meisert, 2013; Eggert et al., 2013; Lee & Grace)。

然而，即便決策過程能如上述將其歸納為三個主要階段，但其中仍涉及學生各種推理思考過程，這些複雜的SSI決策歷程可能導致學生在決策過程中產生偏差，做出粗糙的決策。例如：學生在辨識議題階段只仰賴單一面向而傾向單一方案(Hong & Chang, 2004)或忽視競爭方案(Jonassen, 2012)；學生在差異化階段也不容易以系統性方法進行資料分析與推理，也無法審視證據的有效性(Papadouris, 2012; Ratcliffe, 1997)或就不同判準間的優、劣做利益權衡；大多數研究更指出學生容易仰賴經驗或直覺進行推理(Acar, Turkmen, & Roychoudhury, 2010; Eggert & Bögeholz, 2010)，無法反思並檢討自己的決策過程(Grace, 2009; Ratcliffe)。由此可知，協助

學生在SSI情境中做出縝密決策，須引導學生減少這些偏差。為此，必須先探討學生產生這些決策偏差的原因。

有很多學者以雙處理理論描述人類的決策與推理過程。相對於無限理性，雙處理理論假設人類是有限理性的，在生活中的推理與決策過程經常受到個人經驗、價值觀、情緒或信念的影響(Klaczynski & Cottrell, 2004)。雙處理理論由心理學家Evans (1984, 2010)提出，據其理論，人類大腦存在兩個系統負責處理決策與推理的過程。系統一是直覺的、仰賴經驗且無意識的；系統二則是有意識的利用邏輯推理、分析從外接收到的相關資料(Papadouris, 2012; Y.-T. Wu & Tsai, 2007, 2011)。當人類遇到複雜且結構不清楚的決策任務時，首先將根據個人經驗、價值觀等，使用系統一進行初步判斷，主要目的是建構決策者對該任務的理解與認識，並作出初步決策，這個決策較為快速但粗糙，容易產生決策偏差，屬於直覺式的決策。某些時候，決策者會進入系統二，透過系統性的分析與詮釋資料，進行理性推理，精緻化初步決策，透過系統二產生的決策通常較縝密，但花費較久。由此可知，若期望學生能在SSI這類複雜且結構不清的問題中產生縝密且合理的決策，需要協助學生的推理思考過程能進入系統二，系統性的分析並詮釋資料，避免只仰賴系統一而導致決策過程出現偏差。

二、SSI決策中的後設認知

透過上一段的文獻探討可知，如何協助學生在決策過程中系統性的分析並詮釋資料，避免學生產生決策偏差是培養學生能在SSI中做出合理決策的關鍵。過去許多研究者亦指出有許多教學策略能提升學生的SSI決策能力，例如：提供一個明確決策架構，引導

學生比較競爭方案的優劣，做出縝密的決策(Karpudewan & Roth, 2018)。透過小組合作則是能讓立場不同或文化差異的學生交流觀點，提升其對議題的認識(Lee & Grace, 2012; Lee, Grace, Rietdijk, & Lui, 2019)。此外，後設認知在學生的SSI決策中至關重要，部分學者認為若能協助學生反思與評鑑自身的決策過程，能增加學生調整並精緻自己決策品質的機會(Eggert et al., 2013; Fang et al., 2019; Hsu & Lin, 2017; Ratcliffe, 1997)。Klaczynski與Cottrell (2004)就曾指出為了能有效減少學生在決策過程中僅仰賴系統一導致決策偏差，需增進學生監控與調整其決策過程，亦即後設認知。因為透過後設認知中的反思、監控、評估的思考過程，決策者有較高機會發現決策偏差，並進一步能調整自己的決策過程與品質。

在許多學者提出的決策模式中亦不難發現後設認知在決策過程中的重要性，例如：Betsch與Haberstroh (2005)將決策過程分成三個階段：前選擇(preselectional phase)、選擇(selectional phase)、後選擇(postselectional phase)。其中，在後選擇階段的主要目的是確認決策的效果，透過評估決策效果、反思與回饋策略，可精緻決策品質。Ratcliffe (1997)提出的決策六步驟中亦包含回顧自身決策的步驟，該步驟需要決策者評估前階段的決策過程，反思能夠增進決策品質的可能。Kortland (1996)提出的規範性決策模式中，最後步驟是決策者能利用判準來監控決策的有效性，藉此檢視最終決策是否達到預期。Lee與Grace (2012)進一步調整Svenson (1996)的差異鞏固理論，在鞏固決策的階段安排跨文化的小組討論，透過與他人討論的過程中反思自身的決策過程與品質。分析上述多個決策模式能發現，若學生能應用後設認知，在其決策過程中透過監控、評估的歷程檢視自己

的決策品質與成效，則應能提升其最終決策的品質，做出縝密的決策。

雖然已有研究證實學生反思與評估決策品質的程度越高，其決策品質越高(Eggert & Bögeholz, 2010)，但亦有研究結果指出學生很難在決策過程中展現其反思、監控、評估與調整等後設認知(Eggert et al., 2013; Fang et al., 2019; Ratcliffe, 1997)。文獻中探討學生決策過程中的後設認知與其決策品質關連性的實徵研究並不多見。Hsu與Lin (2017)的準實驗研究法，設計有無後設認知引導的SSI決策課程對其決策表現的影響，其結果指出，有後設認知引導學生評估判斷品質的課程，學生在課程中的決策表現顯著高於沒有後設認知引導者。然而Eggert等的準實驗研究卻有不同的結果，他們的研究比較協作學習加上後設認知引導的課程(以下稱COOP + META課程)、單純協作學習(以下稱COOP課程)，以及傳統課程等三種課程對學生描述議題能力、使用決策策略、評估解決策略能力的影響，發現只有接受傳統課程的學生在上述三項能力顯著低於其他兩種課程，COOP + META課程與COOP課程間的課程成效沒有顯著差異。Eggert等解釋，他們的研究只使用前、後測問卷評量學生的三項能力發展(包含評估決策的能力)，雖然預期課程中提供的後設認知問題能引導小組學生反思自己的決策方法，但學生可能沒有在實際決策過程中使用。此外，Eggert與Bögeholz利用試題反應理論(Item Response Theory, IRT)發展的決策能力試題可算是最直接將後設認知品質與決策能力連結的研究，該研究提供三則學生進行決策的方法：補償性方法(權衡所有方案的優、缺點)、非補償性方法(一次只考量一個面向，利用消去法刪去方案)、直覺的方法，要求學生描述並比較上述三種方法的差異及優、缺點，並提出改進的建議。透過IRT將學生的答案區

分難易度，最終Eggert與Bögeholz定義，學生若能描述越多上述三種決策方法特徵、能提供與決策方法相關的改進建議，屬於較高程度的反思。檢視上述研究發現，雖然Hsu與Lin、Eggert等均提供後設認知引導，但引導的形式不太相同，Hsu與Lin提供的後設認知引導，例如：判準檢核表，僅要求學生評估自身判斷品質(包括與任務的相關性、可測量性、合理性)，而Eggert等提供的後設認知引導則是類似提示，並沒有確切要求學生根據後設認知引導實際評估自身決策品質，才會導致學生可能在實際決策過程中沒有使用後設認知來進行反思和評估。而且，Eggert與Bögeholz定義學生的反思著重在決策方法的使用，對其他SSI決策能力著墨不多。

從上述文獻探討可知，SSI中的決策仰賴決策者收集、分析、權衡多元觀點與資料，且沒有正確答案，屬於Svenson (1996)所定義的最高層級的決策任務(等級四)。從雙處理理論的觀點則指出，若教學能減少學生僅透過系統一進行決策，能減少其推理過程的偏差，應能提升學生的決策品質，使其做出較合理的決策。多數文獻雖認為提供學生後設認知的引導，協助學生反思與評估自身的決策歷程能減少學生仰賴系統一所造成決策偏差，進而提升其決策品質，然而，Eggert等(2013)基於其研究發現認為即便提供後設認知的引導，並非所有學生都能展現後設認知。換言之，學生可能對引導無任何回應，亦可能對這些引導有錯誤認知，導致展現無效的後設認知，進而無法達到提升決策品質之目的，不過上述基於Eggert等研究發現之推論尚需實徵研究進一步探討。基於此，本研究發展SSI決策課程，並在課程中嵌入後設認知的引導來協助學生反思與評估決策品質，藉此探討學生在SSI決策中的反思與評估表現，以瞭解後設認知引導能否有效協助學生展現後

設認知對其決策過程進行反思，並透過集群分析，將反思與評估表現特徵類似之學生進行分群，以便探討不同集群(不同反思與評估行為特徵)之學生與其決策能力表現的差異，期望透過此研究能具體連結學生的反思與評估行為與其決策表現，以便能深入探討後設認知引導的設計應具備的要點，作為未來SSI決策課程發展之參考。本研究的待答問題如下：

- (一)學生在嵌入後設認知引導的SSI導向課程中的反思與評估表現情形為何？
- (二)不同反思與評估表現的學生在課程中的決策表現差異為何？
- (三)不同反思與評估表現的學生課程後的決策學習成效差異為何？

參、研究方法

一、研究情境與研究參與者

本研究以個案研究法試圖探討學生在SSI決策的反思評估表現，以及其對學生決策學習成效的影響。研究邀請兩位高中地球科學教師與研究者合作，優化本研究團隊過去發展的SSI決策學習課程(張文馨、許瑛珖、何玉婷、劉承珏，2021)，期能結合理論與實務經驗，經促進學生反思其決策過程與品質的表現，並進一步能提升其SSI決策能力，期能增進SSI決策課程在教學現場的實用性。

本研究透過便利取樣，邀請兩位參與課程發展的教師在其任教學校的選修課程實施。兩校同樣位於臺北市的文教區，學生大多來自小康家庭。兩位授課教師均有超過15年的教學經驗，且對SSI這類議題有一定的理解程度。SSI決策課程的實施，一週共2小時，為期兩週。參與本研究的學生，一共三班，其中一班來自女校(33人)、兩班來自男女

混校(共33人)，在扣除無效樣本後，共66位學生參與本研究。

二、SSI決策課程

本研究發展的SSI決策課程挑選有關海岸線變遷的議題作為學習課程的SSI情境。課程建置在協作線上導向的探究科學環境平臺(collaborative web-based inquiry science environment)。為探討學生在決策過程中的後設認知，尤其著重在學生對決策歷程與決策品質的反思與評估，本研究設計有較大決策空間的決策任務，讓學生根據情境設計海岸防護方案，雖有較高的任務難度，卻較能提供學生進行反思與評估的機會。

課程架構如表1所示，SSI決策課程涵蓋文獻探討歸納出的決策三階段：辨識議題、差異化、鞏固決策，包含八個小任務(五個認知任務、三個後設認知任務)。認知任務引導學生進行SSI決策，後設認知任務則主要引導學生反思與評估自身或同儕的決策品質。由表1可知，在辨識議題階段，學生需要探索本研究發展之互動軟體、瞭解任務情境、根據軟體提供的多元資料、釐清海岸線變化對當地造成的影響(Step 1)，以及待解決問題(Step 2)，並設想可能的解決方法、瞭解各種海岸防護技術的差異，從多元觀點思考使用海岸防護技術可能發生的兩難衝突以找出決策空間(Step 3)，且透過後設認知任務，學生需要反思自己提出的待解決問題是否適當、多元，並進行修改(Meta 1)。差異化階段則透過問題引導學生、考量並比較並權衡各種防護技術的利弊、設計出能解決當地問題的海岸防護方案(Step 4)，此步驟也會提供互動軟體，學生在構思海岸防護方案時，能將防護技術擺放在適當位置。軟體除了提供各種防護技術的特色、當地環境資料，還會隨著學生的操作即時評估出經費，供學生檢視。鞏

表1：SSI決策課程架構

週次	決策階段	認知任務	後設認知任務	協作方式
第一週	辨識議題 (1小時)	Step 1：探索軟體提供的資料，推論海岸線變化及其造成的影響。 Step 2：釐清待解決的問題且設想所有可能的解決方法。 Step 3：認識四種海岸防護技術(海堤、護岸、短突堤、養灘)，並辨識使用防護技術將面臨的兩難。	Meta 1：依據四種防護技術的特性，反思並調整欲解決問題及其解決方法。	改良式
	差異化 (1小時)	Step 4：挑選並設計最適合的海岸防護技術方案並說明挑選的過程以及理由。		改良式
第二週	鞏固決策 (1.5小時)	Step 5：評估並反思自己的方案對當地的正、負面影響，並思考如何說服當地民眾接受該方案可能產生的負面影響。	Meta 2：評估他人的方案品質。 Meta 3：歸納同學的建議，反思並調整自身方案的不足之處或予以反駁。	改良式
				全程協作品質。

固決策階段的主要任務是檢視決策品質，本研究在這個階段要求學生除了必須對自己的決策品質進行反思與評估外(Step 5，以下稱自評任務)，也需要進行同儕互評，透過引導問題相互檢視並批判彼此的設計的防護方案(Meta 2，以下稱互評任務)，回應同儕提供的建議與批判(Meta 3，以下稱回應任務)，藉此能達到反思並調整決策過程與品質之目的。需提醒的是，因為在後續鞏固決策階段的本質即是期待學生能針對決策過程進行反思，且自評任務已經要求學生思考自身決策的優、缺點，考量授課時間及任務重複性，避免增加學生的認知負荷及重複性操作，本研究在差異化階段並未再設計後設認知任務。

另外，課程採用改良式小組協作的方式進行，所謂改良式的協作方式指的是在整個課程中，學生需先個人填答自己的學習單，待完成每個階段的學習單後方能與同組學生

討論，透過此種方式，能促進學生在與他人討論交流觀點前，先就決策任務深入思考，可增進彼此的交流互動，因此，除了互評任務與回應任務全程小組協作外，本研究要求學生在各小任務的前半段須自行獨立思考任務，在後半段則須與同組成員討論，由教師掌控小組成員交流的時間。此外，本研究採用異質性分組，具體做法是先依學生前測進行決策時所考量的因素區分科學與社會兩種傾向，再為將不同考量傾向的學生2～3人配對。在最終的互評決策任務(互評任務)之前，本研究亦先將學生設計出的海岸防護方案依其理由涉及的面向，將不同考量面向者，一對一配對進行互評。而授課教師在教學過程中的每週課程前，會跟全班說明當週任務。學生進行任務時，則於課程中來回巡視，檢視學生進度，並鼓勵同組學生在完成每項任務後，相互交流。

三、評量工具

為回應本研究的三個研究問題，除學生在課程中的學習單填答將作為分析學生SSI決策表現、反思與評估行為之依據外，本研究亦發展兩份SSI決策能力測驗，作為前、後測診斷學生課程前、後的SSI決策能力，作為檢視課程成效之依據。

過去有關SSI決策能力的評量，主要以開放性問題為主，以SSI作為議題情境發展一份測驗作為前、後測診斷學生的決策能力改變，並評估課程的有效性(林昇邦、許瑛珖，2017；Hsu & Lin, 2017)。然而，參與本研究的兩位授課教師反應，前、後測使用相同內容的測驗，學生容易感到疲倦，且對填寫相同試題意願不高，甚至表現出抗拒的情緒。為減少學生因後測填答意願不高，而影響測驗工具之信、效度，本研究從研究團隊在其他研究計畫所發展之SSI決策能力試題題庫中，挑選兩個情境及其試題作為本研究使用的評量工具。該題庫是基於IRT發展而成，透過測驗等化的程序建立共同量尺，讓填答不同測驗的學生成績能互相比較，也能解決題目權重不等的問題(周嵩益、歐陽金樹，2005)。本研究認為，使用不同測驗作為前、後測除能減少學生因填答意願低落造成的測驗誤差外，亦能檢視學生經SSI決策課程後，其SSI決策能力的近遷移表現。

本研究挑選的兩個SSI決策能力測驗的情境分別為「發電」(6小題)和「水庫興建」(7小題)。兩份測驗由相似的試題組成，題目描述亦使用近似的用字遣詞。試題均以紙筆測驗的形式於SSI決策課程前、後一週實施。施測時間為30～40分鐘，由學生個人填寫。每份測驗共3大題開放性題目，各自對應SSI決策課程的三個階段：辨識議題(3或4小題)、差異化(1小題)、鞏固決策(2小題)。

試題題庫已經以979位學生的填答進行試題的信、效化分析與試題等化。以「水庫興建」為例，試題使用之評分標準顯示於附錄一。從附錄一可知，SSI決策能力測驗的評分標準是按SSI決策課程的三階段進行評分，要求學生(一)在辨識議題階段，能釐清各方案所涉及的利益相關變項；(二)在差異化階段，能根據相關資料，使用適當的決策方法比較各方案的差異並找出優勢方案；(三)在鞏固決策階段，能透過反思自身決策的缺點與限制，進一步提出解決之道以提升決策品質。各面向包含1～2子面向，評分分數從0～3分，各包含4～5個層級不等。

透過以訊息加權均方適合度值(infit mean square)、偏離反應均方適合度值(outfit mean square)指標檢驗值落在0.56～1.42之間可知，本研究以部分給分模式(partial credit model)進行試題參數估計，模式與實際資料間的適配度(goodness of fit)落在0.5～1.5之間，可被接受(M. Wu, Tam, & Jen, 2016)，顯示本研究的評分編碼與模式之間，具有良好的適配度，因此部分給分模式能用於詮釋受試者在決策能力測驗的答題情形。此外，本研究使用加權概似估計法(Weighted maximum Likelihood Estimates, WLE)，檢視測驗工具之信度。估計的結果得知，WLE的信度則落在.6176，雖信度不高，但可被接受。

四、資料分析

為回答研究問題，本研究收集學生的前、後測、課程中的學習單填答，用以探討學生經課程前、後SSI決策能力表現、學生在課程中的SSI決策表現，以及學生對SSI決策過程與品質的反思與評估表現。SSI決策能力測驗(前、後測)之分析方式已於前文說明，以下將說明學生在課程中的決策表現、反思與評估表現之分析方法。

學生在課程中的SSI決策表現來自其在學習單中的填答。延續SSI決策課程的架構，學習單的填答也按決策三階段作為面向進行分析，評分標準如附錄二所示。在附錄二中，學生在課程中的辨識議題階段，主要評估學生是否能考量議題中涉及的多元面向。在本研究提供的課程情境中，相關面向共五種(生態、經濟、交通、居民安全、地理景觀)，若學生答案涉及這些面向，即獲得該面向分數，每個面向不重複計算，最高能獲得1分，因此，學生辨識議題階段，最高能獲得5分。在差異化階段，則分析學生能否使用補償性決策方法，針對待選方案的優、缺點做通盤的利弊權衡。在鞏固決策階段，由於學生在此階段所進行的三個任務性質有差異，因此，將個別分析學生在這三個任務中的表現，此三個任務分別為：反思與評估學生自己的決策品質(自評任務)、反思與評估同儕的決策品質(互評任務)、回應同儕的建議(回應任務)，其中學生在互評任務的建議由於難以區分程度，本研究採類別編碼，將學生給同儕的建議進行分類。此外，由於本研究欲探討學生在反思與評估表現及其對學生SSI決策表現之影響，而學生在鞏固決策階段進行的任務便屬反思與評估自身或同儕之決策品質，因此本研究進一步將學生在鞏固決策階段的評估表現(自評任務、互評任務、回應任務)以集群分析做特徵分群，以探討學生在SSI決策課程引導下的反思與評估表現。而由於學生在互評任務的主要任務是直接修改其在Step 1與Step 2的填答內容，本研究並未要求學生在此步驟須填答額外內容，因此不納入集群分析。

最後，本研究為比較不同反思與評估表現之學生在課程中的決策表現、課程後的決策學習成效差異，將根據集群分析的分群結果，使用單因子共變異數分析(one-way

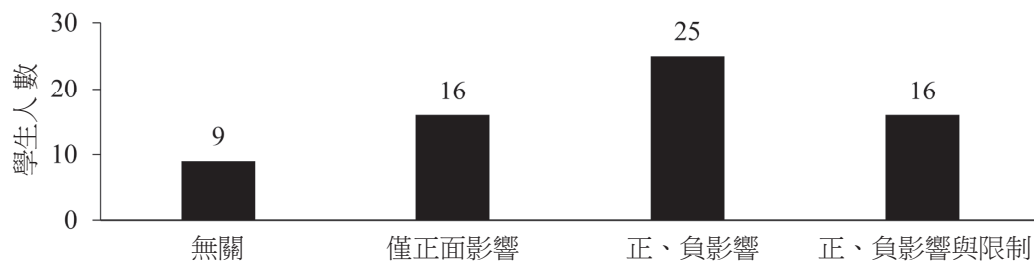
analysis of covariance)比較不同集群學生在學習單、與後測的SSI決策表現差異，也將進行相依 t 考驗，檢視不同集群學生經SSI決策課程的決策能力變化，藉此探討在SSI決策課程中，展現不同反思與評估表現之學生，是否在SSI決策表現上有所差異。

肆、研究結果

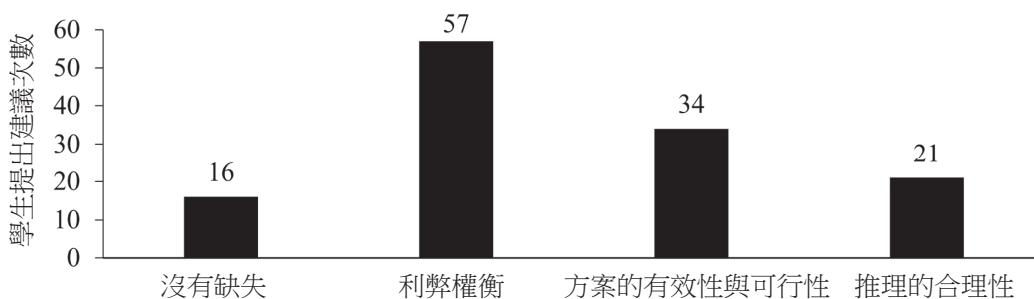
一、學生在課程中的反思表現情形

圖1呈現66位學生在鞏固決策階段的自評決策品質、互評決策品質、回應同儕建議的表現。從圖1(a)可知，學生在自評任務時，有24.24%的學生(16人)能審思自身決策的正、負面影響，並同時反思情境的限制條件；有37.88%學生(25人)能同時反思自身決策的正、負影響；有24.24%的學生(16人)則是僅能再次反思自身決策的正面影響，不過也有13.64%的學生(9人)反思的內容與情境或決策無關。在圖1(b)互評任務中，統計學生給予同儕的建議數量，所有學生提出的建議共有128則，其中，16.41%從同儕推理的合理性進行評估(21則)，有26.56%的建議是考量方案的有效性與可行性(34則)，另外，學生提出的建議中，有44.53%是從海岸防護方案的優、缺點、方案遺漏的面向來評估同儕的決策(57則)，有12.50%的建議指出同儕的決策沒有缺失(16則)。最後，圖1(c)在回應任務裡，60.61%的學生能基於同儕提供的建議提出配套措施或聲明情境的條件限制(40人)；有16人(24.24%)僅重申自身決策的優、缺點，也有10位學生(15.15%)未正面回應同儕的建議。

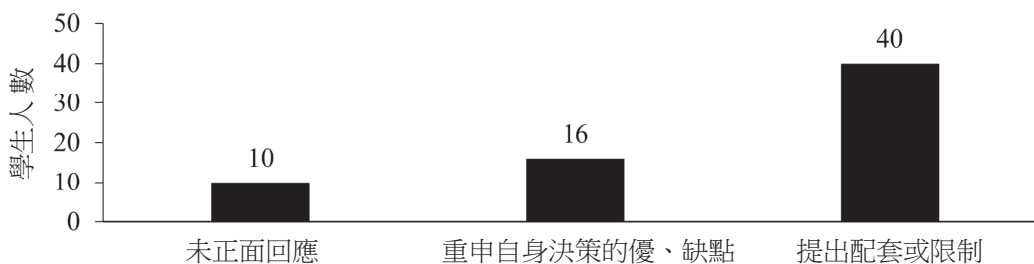
為探討學生對後設認知引導的回應差異是否對其決策表現產生影響，本研究進一步利用二階段集群分析將學生在自評任務、互評任務(共四類)、回應任務，共六項變數進



(a)自評任務



(b)互評任務



(c)回應任務

圖1：學生在課程中的評估表現

行分群。第一階段先將上述六項變數轉換成標準化分數(z score)，並以歐式距離(euclidean distance)計算資料點距離，再採用階層式叢集分析中的華德最小變異法(Ward's method)進行分群，根據華德最小變異法產生的樹狀圖建議將學生分成四群，並利用變異數分析對集群分析的分群結果加以驗證。四個集群學生在鞏固決策階段的評估表現及變異數分析結果呈現於表2。

由表2可知，四群學生在自評任務中的平均標準分數並沒有顯著差異($F = 2.628$, $p = .058$)。但是四群的學生在互評任務中，所考量的理由及回應任務中的表現有顯著差異(表2)，因此，為了能區辨四群在反思與評估決策品質的特徵，本研究在後續討論不同集群特徵時，將著重在學生於鞏固決策階段中，互評任務與回應任務的表現。

從表2中的平均標準分數上看，相較其他

表2：四集群在評估決策的表現差異

變數	平均標準分數				<i>F</i>	<i>p</i>	Tukey
	集群1	集群2	集群3	集群4			
自評任務	0.251	0.141	0.589	-0.270	2.628	.058	
互評任務							
利弊權衡	-0.083	0.791	0.078	-0.830	8.284	< .001	2, 3 > 4; 2 > 1
推理的合理性	-0.270	-0.543	-0.149	1.295	15.967	< .001	4 > 1, 2, 3
方案的有效性與可行性	1.073	-0.807	-0.566	-0.566	53.454	< .001	1 > 2, 3, 4
沒有缺失	-0.348	-0.520	1.790	-0.520	84.954	< .001	3 > 1, 2, 4
回應任務	0.301	-0.162	-0.711	0.318	4.001	.011	1, 4 > 3
集群人數	25	15	13	13			
百分比	37.88	22.73	19.70	19.70			

註：Tukey欄中的數字為集群編號。

集群，集群1的學生(25位)在互評任務中，給予同儕的建議次數，在方案的有效性與可行性類別上的平均標準分數顯著高於其他集群($F = 53.454$, $p < .001$)。統計集群1的學生在互評任務中，給予同儕的建議總共有56則，而從方案的有效性與可行性提供建議的比例最高(53.57%，30則)。在回應任務中，集群1的學生在平均標準分數上顯著高於集群3($F = 4.001$, $p = .011$)，顯示相較集群3的學生，集群1的學生較能根據他人的質疑提出配套措施或說明情境的條件限制。按照學生在互評任務與回應任務中的表現，本研究將集群1命名為決策可行性／提出配套組。

集群2共有15位學生，從表2可知，這15名學生在互評任務中利弊權衡方面的平均標準分數顯著高於集群1、集群4($F = 8.284$, $p < .001$)。描述性統計指出，集群2的學生在互評任務中，總共給予同儕22則建議，全屬於利弊權衡的類別(100.00%)，換言之，集群2的學生互評任務中，均從同儕是否能針對所有方案的優、缺點進行全盤考量來評估同儕的決策品質。此外，變異數分析結果亦指出

集群2在回應任務上的平均標準分數與其他集群沒有顯著差異。集群2被命名為利弊權衡／提出配套組。

集群3共有13名學生，從表2分析結果則指出，集群3的學生在利弊權衡類別的平均標準分數顯著高於集群4($F = 8.284$, $p < .001$)；認為同儕的方案沒有缺失的平均標準分數也顯著高於其他集群($F = 84.954$, $p < .001$)。描述性統計的結果則指出，集群3的學生在互評任務，總共提出31則建議，有45.16%的建議，認為同儕的決策沒有缺失，有38.71%的建議指出同儕的決策並未通盤考量所有方案的優、缺點。此外，集群3的13名學生在回應他人提供的建議時，平均標準分數最低，且顯著低於集群1、集群4($F = 4.001$, $p = .011$)。集群3以利弊權衡／無關回應組稱之。

集群4共有13位學生，這些學生在互評任務總共提出19則建議，其中有73.68%的建議是評估同儕決策的推理合理性。由表2可知，集群4的學生在互評任務中，評估同儕推理的合理性的平均標準分數顯著高於其他集群($F = 15.967$, $p < .001$)，在回應任務中，集

群4的表現是所有集群中最好的(平均標準分數：0.318)，且顯著優於集群3 ($F = 4.001, p = .011$)。本研究將其命名為推理合理性／提出配套組。

二、學生在課程中的反思與評估表現對與其決策表現之影響

為瞭解學生在課程中的評估決策品質表現與其決策表現、決策學習成效的關連，本研究透過比較四群學生在課程中(學習單)、後測的決策表現差異。首先，由於學生在鞏固決策階段的表現已經作為集群分析的依據，因此四群在課程中的決策表現主要比較學生在辨識議題、差異化兩個階段的分數差異。本研究利用學生在前測辨識議題、差異化兩個階段的總分作為共變異數，各別比較四群學生在學習單中的分數差異。經共變異數分析結果指出，學生在前測、學習單中兩個階段的表現：辨識議題($F = 0.470, p = .704$)、差異化($F = 1.797, p = .059$)均通過回歸係數同質性檢定，符合共變異數假設，能進一步進行共變異數分析。而共變異數分析的結果指出(見表3)，四群學生經前測分數調

整後的學習單分數有顯著差異，在辨識議題階段，決策可行性／提出配套組學生的調整後平均分數顯著低於其餘三組($F = 4.545, p = .006$)，顯示這群學生在考量議題中的多元面向上，表現顯著低於其他群；在差異化階段，利弊權衡／提出配套組與利弊權衡／無關回應組的調整後平均分數顯著高於決策可行性／提出配套組的學生($F = 3.338, p = .025$)。

三、學生在課程中的反思與評估表現對其決策學習成效之影響

另外，為比較此四群學生的決策學習成效，本研究以IRT估計出的學生前測 θ 值作為共變異數，後測 θ 值作為依變數比較四群學生的決策能力。使用學生在前、後測的 θ 值而非原始得分的原因是，本研究的前、後測驗採用不同試題，需要透過測驗等化的程序建立量尺，讓學生在兩個測驗上的分數能夠相互比較，因此本研究選擇使用IRT估計出的 θ 值作為量尺分數，便於比較學生課程前、後的決策能力差異。不過，由於受限於測驗時間，前、後測在決策能力各向度的題數無法

表3：四群在學習單中的辨識議題階段與差異化階段之決策表現共變異數分析

決策階段 (最高分)	集群	<i>n</i>	Mean (<i>SD</i>)	Adjusted Mean (<i>SE</i>)	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i> (1, 3)	<i>p</i>	η^2	Post hoc
辨識議題：考量多元面向(5分)	1	25	2.64 (1.440)	2.64 (0.235)	18.765	6.255	4.545	.006	.183	1 < 2, 3, 4
	2	15	3.93 (0.884)	3.95 (0.304)						
	3	13	3.69 (0.947)	3.71 (0.327)						
	4	13	3.54 (1.050)	3.50 (0.331)						
差異化：使用適當決策方法權衡方案的優、缺點(2分)	1	25	1.00 (0.289)	1.00 (0.086)	1.854	0.618	3.338	.025	.141	2, 3 > 1
	2	15	1.33 (0.488)	1.33 (0.113)						
	3	13	1.38 (0.506)	1.40 (0.122)						
	4	13	1.08 (0.494)	1.08 (0.119)						

註：1. 集群1、2、3、4分別為決策可行性／提出配套組、利弊權衡／提出配套組、利弊權衡／無關回應組、推理的合理性／提出配套組。

2. Post hoc欄中的數字為集群編號。

太多，對於學生在前、後測的決策能力估計也受限於題數，僅能就決策能力整體表現進行評估，而無法如學習單中，針對各向度逐一比較。

本研究先以變異數分析，比較四群學生在前測的 θ 值差異，以檢視學生的起點行為，結果指出四群學生在前測的決策能力 θ 並無顯著差異($F = 0.11, p = .541$)，進一步用相依 t 考驗比較學生課程前、後的決策能力變化則發現雖然四群學生的平均決策能力均有進步，但僅有利弊權衡／提出配套組($t = 3.748, p = .002$)與利弊權衡／無關回應組($t = 2.541, p < .026$)有達顯著。此結果顯示，在互評任務中，從利弊權衡考量同儕的決策品質之學生，在課程後，其SSI決策能力得到顯著提升。此外，表4亦顯示無論學生在回應任務中表現如何，似乎不影響其課程後的決策學習成效，因為相較決策可行性／提出配套組、推理合理性／提出配套組，雖然利弊權衡／無關回應組的學生，在回應同儕建議時，通常提出無關的回應，其決策能力在後測卻能顯著進步。

伍、討論與結論

本研究發展融入後設認知引導的SSI決策課程以提升學生的決策能力，透過分析學生對課程中在後設認知任務中的反思與評估表

現，以及其與學生課程中的決策表現、課程後的決策學習成效的表現差異，試圖從研究結果歸納如何引導學生在SSI決策任務中進行有效的反思與評估，並能進一步提升學生的SSI決策能力。以下將針對主要研究結果進行討論。

本研究發現即便接受同樣的教學引導，參與本研究的66位學生在後設認知任務中的反思與評估表現仍存在差異，尤其是在互評同儕決策品質、回應他人建議的任務中(互評任務，回應任務，見表1)。根據集群分析的結果(表2)，學生在此後設認知任務的反思與評估表現能被區分為四群，分別為決策可行性／提出配套組、利弊權衡／提出配套組、利弊權衡／無關回應組、推理合理性／提出配套組。決策可行性／提出配套組的學生著重於評估同儕決策的可行性、利弊權衡／提出配套組重視同儕決策能否對所有方案進行利弊權衡、利弊權衡／無關回應組的學生認為同儕的決策沒有缺失或著重於評估同儕提出的決策能否對所有方案進行利弊權衡，推理合理性／提出配套組的學生則重視同儕決策的推理合理性。正如Eggert等(2013)的研究發現，僅使用提示或告知的方式，要求學生反思其決策歷程與品質，學生未必真的能展現研究者或課程發展者預期中的反思。換言之，本研究所設計の後設認知引導無法協助所有學生都能有效的進行反思，

表4：四群在課程前、後的決策表現

組別	<i>n</i>	前測(θ)		後測(θ)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>ES</i>
		Mean	<i>SD</i>	Mean	<i>SD</i>				
決策可行性／提出配套組	25	-0.22	0.846	0.16	1.228	1.410	24	.171	0.282
利弊權衡／提出配套組	15	-0.16	0.789	0.62	0.900	3.748	14	.002	0.968
利弊權衡／無關回應組	13	-0.24	0.902	0.39	0.823	2.541	12	.026	0.705
推理合理性／提出配套組	13	-0.34	0.841	0.49	0.836	2.115	12	.056	0.587
前測ANOVA分析	$F = .011, p = .541$								

註：ANOVA：變異數分析(one-way analysis of variance)。

這也可能是為何本研究提供相同的後設認知引導，卻仍舊有學生在鞏固決策階段的表現有差異的緣故。

比較四群學生的決策表現則指出，利弊權衡／提出配套組、利弊權衡／無關回應組之學生在課程中的決策表現，顯著高於其他兩群學生(表3)，且無論是考量SSI中的多元面向，或是使用適當決策方法權衡方案優缺點的表現，都顯著高於決策可行性／提出配套組。根據雙處理理論的觀點(Evans, 1984, 2010; Papadouris, 2012; Y.-T. Wu & Tsai, 2007, 2011)，引導學生以系統二進行推理，縝密分析、比較、權衡各種方案，才能做出高品質的決策，所以，引導學生在鞏固決策階段反思自身決策過程，即是協助學生重新思考自身的決策過程與品質，避免仰賴系統一做出粗糙決策，藉此提升其決策表現。但是，並非所有的反思歷程都能增進決策表現，根據本研究結果(表3)，若學生在鞏固決策階段，傾向從利弊權衡檢視同儕的決策品質，則其在辨識議題階段中，更能充分考量議題的多元面向，有益於他們建構對情境的理解，也較容易有機會在後續的差異化階段，使用補償性決策方法權衡方案的優、缺點，以做出縝密決策。相對地，僅從決策可行性(決策可行性／提出配套組)在上述兩個階段中的表現都較差，甚至低於從推理合理性評估同儕的決策品質者(推理合理性／提出配套組)。換言之，學生在反思的過程中，應當從權衡利弊的角度檢視決策品質與決策過程，正如Fang等(2019)所言，權衡方案的利弊，可能是影響學生在SSI決策任務中能否做出縝密決策的關鍵。因為要求學生對SSI決策任務中所有方案的優缺點有多元面向的瞭解，只是進行決策的必要條件，並不能保證學生就能做出有品質的決策。有品質的決策更仰賴學生考量多元判準，使用邏輯且系統性的方法檢

視所有方案，意即使用補償性方法進行所有方案間的利益權衡，更能保證學生做出有品質的決策。本研究的發現，呼應Fang等的這個論點。基於此，本研究建議未來在發展SSI決策課程時，應該重視對學生使用補償性方法進行決策的教學引導。例如：在Hsu與Lin(2017)在學生決策前，提供練習活動，協助學生認識不同的決策方法(權重、刪去、簡單計分)，藉此引導學生在後續的決策活動中，能使用適當的決策方法考量方案的利弊，也能有足夠的知識在鞏固決策階段中，知道需要針對決策過程的哪些表現進行反思，才能達到效果。

此外，比較四群學生的課程前、後測表現差異指出，相較於決策可行性／提出配套組、推理合理性／提出配套，利弊權衡／提出配套組、利弊權衡／無關回應組之學生在課程前、後的決策表現有顯著進步(表4)。根據Eggert與Bögeholz(2010)的研究對學生高程度反思之定義：學生若能描述越多決策方法(補償性、非補償性、直覺式)特徵、能提供與決策方法相關的改進建議，屬於較高度度的反思。本研究的發現則是進一步指出學生在同儕互評任務中，若能著重在評估同儕決策是否能權衡所有方案的優、缺點(在Eggert與Bögeholz的研究中屬於補償性方法)，學生的決策表現能顯著得到提升。本研究猜測，當學生在評估同儕做決策的過程是否有權衡所有方案的優、缺點，意味著這些學生有較大的機會反求諸己，在檢視同儕的決策品質過程中，亦能反思自身決策是否完整權衡所有方案的優、缺點。此外，利弊權衡的考量先決條件在學生要能考量議題的多元面向，否則沒有進行各面向間權衡的必要，因此，當學生能反思自身決策是否權衡所有方案的優、缺點，其考量議題多元面向、使用補償性策略權衡方案的能力亦能得到檢視、

調整與提升，從利弊權衡／提出配套組、利弊權衡／無關回應組的課程前、後測表現，能佐證上述推論。而且，透過對決策偏差的反思、評估與調整過程，學生有機會發現自身決策的缺失，並重新調整決策過程。換言之，基於雙處理理論，本研究推測當課程中的後設認知引導能有效協助學生針對決策的利弊權衡進行反思，學生較有機會進入系統二，透過邏輯性、系統性的分析推理過程，使其決策能力在課程後應能有機會得到提升。而從決策可行性、推理合理性檢視同儕決策品質者，雖本研究亦認為可行性與推理合理性是影響決策品質的因素之一，然而按本文於文獻探討中之歸納，SSI決策的關鍵是考量並權衡多面向且相互衝突或矛盾的觀點，因為即使學生僅考量單一觀點，亦能評估決策可行性與推理合理性。基於上述推論，本研究認為後設認知引導應能協助學生反思與評估決策過程的利弊權衡，避免學生在反思與評估的過程中，因為SSI決策過程的複雜，導致無法聚焦在有效的、深入的反思上。正如學者所建議SSI的決策任務應當提供學生具體框架，以減少學生的認知負荷，專注於決策任務(Karpudewan & Roth, 2018)。Karpudewan與Roth的觀點同樣能用於後設認知引導問題的設計上，若期望學生深入反思評估自身決策，也應當提供具體的後設認知引導問題，能避免學生無所適從，不知道該如何進行有效且深入的反思，錯失重新檢視自身決策的機會，尤其是無法從利弊權衡角度反思決策品質的學生。

本研究另一個值得注意的發現是，相較決策可行性／提出配套組、推理合理性／提出配套組的學生，雖然利弊權衡／無關回應組的學生在回應任務中，大多提出無關的回應，但學生的決策表現卻優於上述這兩組學生(表3及表4)。本研究猜測可能原因是，互評

任務需要學生應用自己已獲得的知識對同儕的決策進行評論，是一種學生主動的批判性思考活動，而在回應任務，學生的回覆品質取決於同儕提供的評論品質，若學生接受到有品質的建議，或許能引導學生提出配套措施或決策的限制條件，若同儕提供的建議不具體，那麼學生為了回應同儕的建議就可能無法針對自己的決策提出條件限制或配套措施。基於這個推測，本研究建議未來在設計同儕互評活動時，能加入研究者或者教師的評論建議，提供學生較具體的評論建議，協助學生進行反思。

本研究發展融入後設認知引導的SSI決策課程，引導學生進行有效的反思，已達到提升學生決策表現的效果。根據研究發現，後設認知引導對學生有不同的影響，歸納出未來在SSI決策任務中設計後設認知引導時，應該要協助學生反思與評估決策過程的利弊權衡，避免學生因為SSI決策過程的複雜，導致無法聚焦在有效的、深入的反思上，尤其是那些無法從利弊權衡角度反思決策品質的學生，建議能提供直接的引導，要求他們針對決策的利弊權衡進行反思，或提供額外活動，讓他們瞭解利弊權衡在決策過程的重要性。此外，本研究按雙處理理論提出假設，認為若在決策過程中增加學生反思、後設認知等的機會，應能引導學生進入系統二，系統性的分析比較SSI中的各種觀點或方案的差異，較能調整學生僅仰賴個人經驗、直覺(系統一)進行決策，所導致的決策偏差。換言之，本研究提供後設認知引導的主要目的是引導學生使用系統二的推理思考，重新檢視學生在系統一的決策過程。然而，本研究僅分析學生在學習單的填答，並探討學生的反思與評估表現，以及其對決策表現的影響，雖然就研究結果來說，確實發現在後設認知任務中，若學生進行有效的反思與評估，其

課程中的決策能力、課程後的決策學習成效確實較好。但後設認知任務或引導是否真如本研究所假設，是協助學生使用系統二來處理SSI決策任務仍未能獲得實際證據佐證。建議未來研究能進一步針對學生在決策過程中的思考歷程進行探討，以驗證本研究有關雙處理理論之假設。

誌謝

感謝協助課程發展與資料分析的所有教師，以及科技部專題研究計畫(MOST 104-2511-S-003-044-MY4、MOST 107-2511-H-003-014-MY3)、教育部核定之國立臺灣師範大學「高等教育深耕計畫」經費補助。

參考文獻

1. 林昇邦、許瑛珩(2017)。高中學生決策能力與氣候變遷調適素養改變之教學研究。科學教育學刊，25(S)，413-437。doi:10.6173/CJSE.2017.25S.01
[Lin, S.-P., & Hsu, Y.-S. (2017). A teaching research on improvements of eleventh graders' decision-making abilities and climate change adaptability literacy. *Chinese Journal of Science Educaion*, 25(S), 413-437. doi:10.6173/CJSE.2017.25S.01]
2. 周嵩益、歐陽金樹(2005)。使用試題反應理論來估計消費者的產品知識。體育學報，38(3)，99-108。doi:10.6222/pej.3803.200509.0909
[Chou, S.-I., & Ouyang, C.-S. (2005). Application of IRT to estimate product knowledge. *Physical Education Journal*, 38(3), 99-108. doi:10.6222/pej.3803.200509.0909]
3. 張文馨(2018)。探討高中生在社會性科學議題決策課程中非形式推理能力、小組協作調整行為與決策方法的關係。未出版之博士論文，國立臺灣師範大學科學教育所，臺北市。
[Zhang, W.-X. (2018). *Exploring 10th grade students' informal reasoning, decision-making approaches and their co-regulated behaviors in groups on socio-scientific issues*. Unpublished doctoral dissertation, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.]
4. 張文馨、許瑛珩、何玉婷、劉承珏(2021)。社會性科學議題決策學習模組的發展與成效。稿件審查中。
[Zhang, W.-X., Hsu, Y.-S., Ho, Y.-T., & Liu, C.-C. (2021). *The development and effect of a SSI-based learning module on students' decision-making abilities*. Manuscript submitted for publication.]
5. 國家教育研究院(2014年11月28日)。十二年國民基本教育課程綱要：總綱。查詢日期：2021年8月6日，檢自<https://www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/288/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B4%E5%9C%8B%E6%95%99%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E7%B8%BD%E7%B6%B1.pdf>。
[National Academy for Educational Research. (2014, November 28). *Curriculum guidelines of 12-year basic education: General guidelines*. Retrieved August 6, 2021, from <https://www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/288/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B4%E5%9C%8B%E6%95%99%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E7%B8%BD%E7%B6%B1.pdf>.]

- naer.edu.tw/upload/1/16/doc/288/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B4%E5%9C%8B%E6%95%99%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E7%B8%BD%E7%B6%B1.pdf]
6. Acar, O., Turkmen, L., & Roychoudhury, A. (2010). Student difficulties in socio-scientific argumentation and decision-making research findings: Crossing the borders of two research lines. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1191-1206. doi:10.1080/09500690902991805
 7. Betsch, T., & Haberstroh, S. (2005). Current research on routine decision making: Advances and prospects. In T. Betsch & S. Haberstroh (Eds.), *The routines of decision making* (pp. 359-376). Mahwah, NJ: Erlbaum.
 8. Böttcher, F., & Meisert, A. (2013). Effects of direct and indirect instruction on fostering decision-making competence in socioscientific issues. *Research in Science Education*, 43, 479-506. doi:10.1007/s11165-011-9271-0
 9. Eggert, S., & Bögeholz, S. (2010). Students' use of decision-making strategies with regard to socioscientific issues: An application of the rasch partial credit model. *Science Education*, 94(2), 230-258. doi:10.1002/sce.20358
 10. Eggert, S., Ostermeyer, F., Hasselhorn, M., & Bögeholz, S. (2013). Socioscientific decision making in the science classroom: The effect of embedded metacognitive instructions on students' learning outcomes. *Education Research International*, 2013. Retrieved June 30, 2021, from <https://www.hindawi.com/journals/edri/2013/309894>
 11. Evans, J. S. B. T. (1984). Heuristic and analytic processes in reasoning. *British Journal of Psychology*, 75(4), 451-468. doi:10.1111/j.2044-8295.1984.tb01915.x
 12. Evans, J. S. B. T. (2010). *Thinking twice: Two minds in one brain*. New York, NY: Oxford University Press.
 13. Fang, S.-C., & Hsu, Y.-S. (2017). Exploring university students' group and individual socio-scientific decision making with web-based instruction. *Chinese Journal of Science Education*, 25(4), 391-412. doi:10.6173/CJSE.2017.2504.04
 14. Fang, S.-C., Hsu, Y.-S., & Lin, S.-S. (2019). Conceptualizing socioscientific decision making from a review of research in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(3), 427-448. doi:10.1007/s10763-018-9890-2
 15. Grace, M. (2009). Developing high quality decision-making discussions about biological conservation in a normal classroom setting. *International Journal of Science Education*, 31, 551-570. doi:10.1080/09500690701744595
 16. Hong, J.-L., & Chang, N.-K. (2004). Analysis of Korean high school students' decision-making processes in solving a problem involving biological knowledge. *Research in Science Education*, 34, 97-111. doi:10.1023/B:RISE.0000020884.52240.2d

17. Hsu, Y.-S., & Lin, S.-S. (2017). Prompting students to make socioscientific decisions: Embedding metacognitive guidance in an e-learning environment. *International Journal of Science Education*, 39(7), 964-979. doi:10.1080/09500693.2017.1312036
18. Jho, H. (2015). A literature review of studies on decision-making in socio-scientific issues. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(5), 791-804. doi:10.14697/jkase.2015.35.5.0791
19. Jonassen, D. H. (2012). Designing for decision making. *Educational Technology Research and Development*, 60, 341-359. doi:10.1007/s11423-011-9230-5
20. Karisan, D., & Zeidler, D. L. (2017). Contextualization of nature of science within the socioscientific issues framework: A review of research. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5, 139-152. doi:10.18404/ijemst.270186
21. Karpudewan, M., & Roth, W. M. (2018). Changes in primary students' informal reasoning during an environment-related curriculum on socio-scientific issues. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16, 401-419. doi:10.1007/s10763-016-9787-x
22. Klaczynski, P. A., & Cottrell, J. M. (2004). A dual-process approach to cognitive development: The case of children's understanding of sunk cost decisions. *Thinking & Reasoning*, 10(2), 147-174. doi:10.1080/13546780442000042
23. Kortland, K. (1996). An STS case study about students' decision making on the waste issue. *Science Education*, 80(6), 673-689. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199611)80:6<673::AID-SCE3>3.0.CO;2-G
24. Lee, Y. C., & Grace, M. (2012). Students' reasoning and decision making about a socioscientific issue: A cross-context comparison. *Science Education*, 96, 787-807. doi:10.1002/sce.21021
25. Lee, Y. C., Grace, M., Rietdijk, W., & Lui, Y. C. (2019). A cross-cultural, cross-age, and cross-gender study of Hong Kong and UK secondary students' decision making about a biological conservation issue. *International Journal of Science Education*, 41, 2696-2715. doi:10.1080/09500693.2019.1693662
26. Liu, S. Y., Lin, C. S., & Tsai, C. C. (2011). College students' scientific epistemological views and thinking patterns in socioscientific decision making. *Science Education*, 95(3), 497-517. doi:10.1002/sce.20422
27. Meyer, H. (2018). Teachers' thoughts on student decision making during engineering design lessons. *Education Sciences*, 8. Retrieved June 30, 2021, from <https://www.mdpi.com/2227-7102/8/1/9>
28. Papadouris, N. (2012). Optimization as a reasoning strategy for dealing with socioscientific decision-making situations. *Science Education*, 96(4), 600-630. doi:10.1002/sce.21016
29. Ratcliffe, M. (1997). Pupil decision-making about socio-scientific issues within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, 19(2), 167-182.

doi:10.1080/0950069970190203

30. Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536. doi:10.1002/tea.20009
31. Svenson, O. (1996). Decision making and the search for fundamental psychological regularities: What can be learned from a process perspective? *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 65(3), 252-267. doi:10.1006/obhd.1996.0026
32. Wu, M., Tam, H. P., & Jen, T.-H. (2016). *Educational measurement for applied researchers: Theory into practice*. Berlin, Germany: Springer.
33. Wu, Y.-T., & Tsai, C.-C. (2007). High school students' informal reasoning on a socio-scientific issue: Qualitative and quantitative analyses. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1163-1187. doi:10.1080/09500690601083375
34. Wu, Y.-T., & Tsai, C.-C. (2011). High school students' informal reasoning regarding a socio-scientific issue, with relation to scientific epistemological beliefs and cognitive structures. *International Journal of Science Education*, 33(3), 371-400. doi:10.1080/09500690903505661
35. Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62. doi:10.1002/tea.10008

附錄

附錄一：決策能力的評分標準

決策階段	說明	評分	學生答案範例
辨識議題： 辨識不同方案的支持證據(能寫出贊成各方案的正面理由／優點，每一點給1分)	3個以上的面向	3	影響的居民少，蓄水量進水量適中、建壩經費適中
	2個面向	2	蓄水量、進水量大，不會影響稀有生物
	1個面向	1	最大蓄水量&平均年進水量>>其他地點
	錯誤或空白	0	無
差異化： 使用適當的決策方法， 權衡比較多元資料，找出優勢方案	能根據證據或資料權衡正反面的理由	3	壩址C：「預估12年後」、「滿足30年」，以政府之考量，持久為最重要的；對居民而言，沒有任何人受到明顯危害；既然人口持續增加且「12年後」才會面臨問題，代表現階段水量沒有問題，需水量亦不會一夕暴增，故蓄水量考量較小
	能根據證據或資料提出兩個以上正面的支持理由	2	壩址B／壩址A影響人數過多，成本過高，不易實行，而壩址C會破壞生態，傷害稀有生物，因此折衷選擇B，對各項影響皆最小
	能根據證據或資料提出一個正面的支持理由	1	壩址A：影響居民較少，沒有太多搬遷經費。雖然有斷層經過，但是不易產生大變動
	錯誤或空白	0	壩址B：無論是蓄水量、影響居民數、建造及維護經費都是最平均的
鞏固決策： 反思並考量自身決策的缺點，並能提出解決應對或限制條件	提到兩個反對理由及考量可能的解決應對或限制條件	4	如果傷害到稀有生物的生存環境怎麼辦？如果人口一直增加到導致用水量不夠呢？／可以利用人工復育的方法or找到另一個一樣適合的地方讓生物生存；當人口持續成長時，要考慮是否會有人往外遷移or人口達飽和狀態的用水量
	提到一個反對理由及考量可能的解決應對或限制條件	3	會導致稀有動物滅絕，如何拯救？／在zoo成立稀有動物區，抓一些回去防止牠完全滅絕
	提到兩個以上面向的反對理由	2	B雖然影響的人不多，但還是比C多100戶，且積砂量大，而水量又沒A多／若是選擇C，蓄水量及平均年進水量都太少，且要建水庫，多少都會影響到人，跟A比起來，影響的人數已經算少了，若選A，不只建造及維護費高，影響的人數也太多
	提到一個面向的反對理由	1	影響野生稀有動物／凡事皆有利有弊，且影響後若細心維護或許不會造成過大傷害
	錯誤或空白	0	蓋水壩有好有壞，有此地蓋多少有些好處壞處，但必須經過仔細考量／無

附錄二：學習單填答的編碼表

決策階段	任務	編碼	標準	學生答案範例
辨識議題： 能辨識問題中的多元面向	Step 2	0 ~ 5	學生提出的觀點屬於以下哪個面向並計算學生能辨識出的面向數目： 生態、經濟、交通、居民安全、地理景觀	海龜失去產卵地。(生態) 觀光業用地減少。(經濟) 50年後部分住宅區將低於海平面(因為沙灘後退)，政府應事先想好遷徙的配套措施並事先告知人民其險境。(居民安全)
差異化： 使用具體、適當的決策方法，權衡待選方案並進行決策	Step 4	2	基於補償性決策方法，考量並權衡各種方案的優、缺點	1.對於有生物的地方，我們選擇使用養灘，雖然造價較貴，但是生態環境一去不復返，我們認為是值得的！很靠海的住宅區我們選擇使用海堤，加強保護措施，避免海水入侵住宅區。 2.海堤的建造雖會影響觀光業的發展，但我認為海灘可以有效的被保護，並且也不會因海岸侵蝕而影響交通；養灘是最美觀的解決方式，又對環境影響最小，但因成本過高，無法廣泛使用，但怕綠海龜沒地方住，所以養了一小段的灘……。
		1	使用非補償性決策法則比較競爭方案，例如僅考量方案優點，未作權衡。	選擇同時使用海堤及護堤技術，因為海堤能夠用二十年且防護力高可搭配護堤減少侵蝕海堤的程度。人工養灘維持生態及觀光產業。
		0	無具體決策方法	各個技術有不同的功能。
鞏固決策1： 評估自身決策能否有效解決問題	Step 5	3	同時考量正、負面影響，並指出限制條件	突堤有效減少波浪的強度但會破壞景觀綜合效果較人工養灘差。
		2	同時考量正、負面影響	有少部分的海龜棲地仍會被防護措施所破壞。
		1	僅正面影響	不僅維護生態且增加觀光收益。
		0	錯誤	那當初蓋攔沙壩的意義為何？
鞏固決策2： 評估他人決策的品質(此項為類別編碼)	Meta 2	4	沒有缺失	1.都有指出問題所在。 2.對經費的支出掌控得很好。
		3	方案利弊權衡	1.民宅也會受到侵蝕影響／應給予補貼。 2.沒有考慮到道路，只想到陸蟹和海龜道路仍會被侵蝕掉，交通會停頓。
		2	使用方案的有效性與可行性	1.養灘區域範圍過大 觀光區只有一小部分不需要建那麼多。 2.將養灘和突堤放一起反而會導致沙流失，的確可增加活動空間，也可帶來更多的觀光收益，但是因為沙子流失無法永續經營。
		1	推理的合理性	因為沙灘還是會流失，所以觀光帶來的錢不一定會多於人工養灘的成本。

決策階段	任務	編碼	標準	學生答案範例
鞏固決策3： 回應同儕給予的建議	Meta 3	2	根據他人建議提出配套或指出條件限制	的確可能會造成民眾更多的反彈，可以改成設定一個觀蟹區，增加導覽人員。
		1	重述本身決策的優點	設置消波塊的優缺點差距相當大，實施前必然會妥善評估當地環境。
		0	未能正面回應他人建議	1.是瞭解感謝同學建議。 2.我覺得很好看阿。

註：粗體表示非學生原始答案，由作者自行加註。

Senior High School Students' Reflection and Evaluation of Decision-Making Process Regarding a Socioscientific Issue

Wen-Xin Zhang and Ying-Shao Hsu*

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

This study aimed to investigate senior high school students' reflection and evaluation of decision-making toward a Socioscientific Issue (SSI) and how such decision-making influences students' decision-making performance. Researchers developed an SSI-based decision-making curriculum embedded with metacognition prompts as a platform to explore students' reflection and evaluation on their decision-making toward the SSI. Convenient sampling was used to select 66 students from two senior high schools located in Taipei City to take part in this study. Cluster analysis, a one-way analysis of covariance, and a pair *t*-test were used to analyze students' responses from a pre- and post-test instrument and student worksheet. Major results indicate that students' reflection and evaluation could be clustered into four clusters: (1) a feasibility/complementary group, (2) a trade-off/complementary group, (3) a trade-off/irrelevant group, and (4) a reasonableness/complementary group. Students in the trade-off/complementary and trade-off/irrelevant groups showed significantly higher performance in the curriculum than students in the feasibility/complementary group, especially when considering multiple dimensions of the SSI and when using compensatory rules to make a decision. Students in the two groups showed significant progression in their decision-making ability at the end of the instructional treatment in contrast to the students in the feasibility/complementary group and reasonableness/complementary group. In contrast to the feasibility/complementary group, the reasonableness/complementary group demonstrated significantly higher performance when considering multiple dimensions of the SSI. These results suggest that the direct and explicit metacognitive prompts were successful in engaging students in deep reflection to elaborate on these students' decision-making abilities, especially to engage students in evaluating and reflecting on the usage of trade-off analysis.

Key words: Reflection, Decision-Making Ability, Socioscientific Issues, Cluster Analysis

* Corresponding author: Ying-Shao Hsu, yshsu@ntnu.edu.tw