

社會性科學議題建模課程對師資生公路選線決策的影響

鄭子善¹ 林靜雯^{2,*} 李宜諺² 林錦鴻³

¹國立臺北教育大學 師資培育暨就業輔導中心

²國立臺北教育大學 自然科學教育學系

³銘傳大學 醫療資訊與管理學系

摘要

東豐公路的興建需求源於921地震震斷了東勢到豐原唯一的聯絡道路，影響居民就醫與物資運送。本研究採個案研究法，以東豐公路選線這個真實的社會性科學議題(Socio-scientific Issue, SSI)，探討SSI建模課程對師資生公路選線決策面向與品質的影響，以及決策方案和決策面向與品質之間的關聯性。本研究的研究對象為六組，共23位某國立大學參與「科學統整課程設計」課程的師資生。研究者設計決策因素表格與SageModeler電腦建模兩種不同建模表徵工具，進行兩輪建立一評鑑一修正建模循環歷程(Generation-Evaluation-Modification)的SSI建模課程。研究結果顯示師資生對此議題的決策面向主要著重於安全與經濟，並由一開始關注地震影響交通「安全」及居民「社會」正義的面向，逐漸關注到此條道路在爭議中卻已投入成本興建一半的「經濟」面向。而在決策品質部分，隨著SSI建模課程介入，師資生的決策品質逐步上升，逐漸能掌握單一因素中「可比較與量測」的特質，並提供更為「充足的證據或理由」支持決策，但對於因素間關係仍停留於同因素面向的縱向連結，須藉助SageModeler電腦建模工具才出現少量跨面向考量的橫向連結。多數組別的決策方案前後一致，但都提出更多科學性證據或決策因素而增強了決策品質。

關鍵詞：SageModeler、公路選線、決策、社會性科學議題、社會性科學議題建模課程

壹、緒論

近年來科學教育的目標，逐漸從培養全民的基本能力轉為培養具科學素養的能力(Eilks, Rauch, Ralle, & Hofstein, 2013)。Roberts (2007)認為當代的科學素養重視寬廣和真實的生活環境，不再像以往強調科學知識的內容與原理原則，而是強調科學素養的功能性(Zeidler, Sadler, Simmons, & Howes,

2005)，認為科學與自然環境息息相關，科學學習應融入國際公民的角度，考量社會性科學議題(Socioscientific Issue, SSI)真實環境裡的各種複雜因素，像是社會、政治和倫理等影響，以及針對這些因素進行蒐集、分析、解釋資料、運用證據形成論證與溝通協調，並且做出決策(National Research Council [NRC], 2013)。

*通訊作者：林靜雯，jwlin@mail.ntue.edu.tw

(投稿日期：民國110年7月9日，修訂日期：民國110年9月13日，接受日期：民國110年9月13日)

與SSI相關的教學策略眾多，由於SSI牽涉決策因素的面向與因素間的關係，因此融合建模與SSI的教學漸受重視，像是Zangori, Peel, Kinslow, Friedrichsen與Sadler (2017)、Zangori, Foulk, Sadler與Peel (2018)的研究便呈現學習者在建模的發展中，更能將科學概念與SSI結合與應用，從而發展出上述的功能性科學素養。雖然SSI或建模的課程和教學在近幾年漸受重視，但從研究可知，無論在職或職前教師仍缺乏SSI或建模教學的理解與經驗(Nida, Mustikasari, & Eilks, 2021; Zangori et al., 2017)，因此，讓師資生實際參與相關的實作，有助於他們對這類教學的理解與提升其科學素養，進而遷移到之後的相關教學(Borgerding & Dagistan, 2018; Derman & Kayacan, 2017; Nida et al.; Pitiporntapin, Yutakom, & Sadler, 2016; Zangori et al., 2018)。學者們也指出欲評估學習者SSI決策過程裡科學素養的增進，可觀察學習者決策時所考量的因素面向及品質，藉以分析其在科學素養上呈現的效能(Alred & Dauer, 2020; Dauer, Lute, & Straka, 2017; Fang, Hsu, & Lin, 2019; Grace, 2009; Peel, Zangori, Friedrichsen, Hayes, & Sadler, 2019)。綜合上述，本研究以近期發生於臺中的東豐公路選線為主要SSI，設計SSI建模課程，探討此課程對師資生決策因素的影響。東豐公路的興建需求源於二十多年前的921大地震，震斷了豐原到東勢唯一一條聯絡道路，影響當時災民就醫與物資運送。然至目前為止，此條公路的選線結果仍在討論中(郭志榮、張光宗，2019)，是真實且與日常生活連結的SSI，而師資生們的決策因素面向與品質的改變除可能反映在其之後的教學外，其實也反映了一般大學生們進行SSI決策時的科學素養與進行課程後科學素養可能的增進情形。據此，本研究具體的究問題如下：

- 一、SSI建模課程對師資生公路選線決策因素的面向變化為何？
- 二、SSI建模課程對師資生公路選線決策因素的品質發展為何？
- 三、師資生公路選線決策方案與決策因素的面向和品質之關係為何？

貳、文獻探討

一、SSI建模課程與科學素養

科學素養是全球當代教育目標，它意指運用知識對自然現象進行科學性的思維，察覺科學本質、目的與限制，以及理解重要的科學想法(Demir, 2016)。科學素養與SSI息息相關，因為SSI乃在真實社會情境裡，讓學習者發展科學技能與運用知識對與科學相關的社會議題進行探究，它能促使學習者發展科學素養，因此不但應被納入課程中(Sadler & Zeidler, 2005)，科學教師更應學習如何有效的將素養與課程統整於課室中(Sadler, 2004)。

Sadler (2009)指出SSI取自真實生活的爭議性議題，因此能引起學習者的好奇心與興趣，學習者在SSI情境裡運用自身的想法與能力進行決策，將有助於帶來深度且有意義的學習。NRC (2013)進一步指出SSI是透過科學教學與學習而為當前的改革與政策提出建議，對學習者而言，即是學習利用他們所學的知識概念去對有關環境、社會、經濟、政治的複雜現象進行推理與決策(Sadler, Barab, & Scott, 2007)。

由於SSI議題牽涉多重面向以及複雜關係，學習者在過程中不易釐清這些面向及涉及因素(Pedretti & Nazir, 2011)，常基於直覺，而非證據進行決策，決策的品質亦常單面向考量而缺乏多面向的思考(Ural & Ercan, 2020)。Krell, Upmeier zu Belzen與Krüger

(2014)指出，結合建模的教學有助於激發學習者忽視的重要因素。Khan (2007)則指出，建模有助於讓學習者經由決策因素的提出及因素間關係的建立，進行更多元面向的決策思考與形成更優質的決策品質。Bielik, Opitz 與 Novak (2018)認為，建模過程有助於學習者轉化不同表徵，辨識與反思決策因素的合適與否，從而形成依據各種面向進行描述、解釋、預測或遷移的決策模型。因此，像是已有實徵研究支持能提升SSI決策品質的決策表格(吳貞儀、許瑛珖、張文馨、方素琦，2017)；或因視覺化的建模特色，幫助學習者建立各面向因素間的關係，甚至能建立更多不同面向間更高層次關係的SageModeler電腦建模(Bielik et al.)，都有潛力成為SSI建模課程的良好表徵工具。

此外，如何有效協助未來教師進行SSI教學以裨益更多學子，一直是師資培育努力的方向。根據Zangori等(2018)對小學在職教師進行SSI建模課程研究顯示，教師對SSI建模教學漸感容易駕馭，並認為這種教學是種跨學科、著重真實科學情境，以及支持客觀公正的課室教學方式。經由這樣的學習有助於教師體驗SSI建模課程，增進對SSI與建模教學的認識及其相關教學策略的發展，亦可減少他們對SSI與建模教學的焦慮。

綜合上述研究可知，SSI建模課程能幫助學習者激發更多決策的因素、更多元的面向、更佳的決策品質，經由不同表徵的介入，亦協助發展出更高層次的關係，形成更合宜的決策，甚至對在職或職前教師造成教學遷移。然而，無論國內外，結合建模和SSI的課程研究仍極其有限，以建模理念進行SSI決策品質評估，探討SSI課程效能的評量研究亦是不多，因此本研究以此SSI建模進行教學實踐，藉由東豐公路選線這個臺灣真實的SSI為決策的議

題，瞭解SSI建模課程對師資生在此本土性SSI決策的面向與因素品質上的演變。此外，師資生們的決策歷程也反映了國內一般大學生面對此事件的決策考量，是其科學素養的展現。

二、公路選線模型與決策因素面向

SSI具科學性、複雜性、倫理性、不確定性、開放性等特徵(Zangori et al., 2018)，而公路選線議題除了涵蓋環境生態永續經營的重大科學議題，道路的構造與使用還涉及科學、技學、工程、數學領域的科學、技術、工程及數學(Science, Technology, Engineering, Mathematics, STEM)跨科概念(NRC, 2013; Zavadskas, Liias, & Turskis, 2008)與經濟和社會等複雜且多重面向的決策因素(Kiker, Bridges, Varghese, Seager, & Linkov, 2005)，學習者能以公民立場應用知識與技能應用為懸而未決的方案做出決策，因此是值得探究的SSI之一(Kiker et al.; Patronis, Potari, & Spiliotopoulou, 1999)。

Zavadskas等(2008)同樣以公路選線作為SSI，他們依據公路最初的開發、未來使用、退場觀點提出道路性能、生態、經濟、健康安全與舒適性作為公路設計的四項決策因素面向。道路性能面向意指道路使用效能，亦即進行規劃設計一條道路時，該道路依據創新或已知技術所衍生的獨特交通活動。生態面向是指道路建設對附近區域生物或環境所產生的影響，而這些影響是以不干擾與維護區域的環境樣貌為主。經濟面向則是指道路興建成本及未來發展的相關影響。以道路興建成本為例，便須考量道路製作、未來道路基本設施維護與管理的費用(Frangopol & Liu, 2007)。健康安全與舒適性面向則是指設計須顧及道路環境的安全問題，以及能為人民帶來生活上的便利性影響。

Kiker等(2005)研究則以環境、生態、經濟、社會政治作為決策因素面向。這當中環境面向涉及工程建設影響的道路周遭範圍，生態面向偏重工程建設後對生物及其生存環境造成的影響，經濟面向涉及花費與利益的分析，社會政治面向涉及資源掌控者(stakeholder)偏向呈現何者資料給決策者，也涉及資料的特定目的(ad hoc)與主觀性，還涵蓋資源共享與公民共識，更呈現了決策過程中公民如何捍衛資訊的可靠性與公平性。

根據上述可發現，相較於Zavadskas等(2008)重視的道路性能面向之交通運輸效益，Kiker等(2005)更著重社會面向裡公民與行政者間的行為互動，此二面向確實深具公路選線議題足以探討的面向。此外，Zavadskas等提出的生態面向實則應能涵蓋Kiker等的環境面向與生態面向。依此，研究者綜合這些面向的異同提出五項面向作為本研究的決策因素面向，分別是：安全、生態、道路性能、經濟與社會。安全面向偏重興建時涉及的地理因素考量，舉凡興建與設計時須顧及的地質或地形等會造成公路危險的因素均須考量在內；生態面向則指選線時涉及的生物及其周遭生存環境維護，這當中可能還涉及特殊物種與獨特環境的維護影響；道路性能則涉及民眾使用道路的效率問題；經濟面向則涉及道路興建的費用與利益的影響；社會面向則偏重經由政治與公民等多元觀點進行影響的探討。

三、東豐公路的歷史緣由

本研究選取東豐公路選線的真實議題作為課程核心的SSI。東豐公路又稱東豐快速道路，其興建源於1999年9月21日臺灣中部發生芮氏規模7.3且高達2,000人以上死亡的921大地震。該場地震造成豐原到東勢唯一聯絡道

路遭震毀，延誤災民就醫與物資運送，迫使當地政府與居民興起另闢道路以避免憾事再度發生的想法。初步規劃的東豐快速道路總長約九公里，經費約91.21億元，以隧道穿越公老坪山區，再採高架道路跨越臺3線及自行車道，後沿南堤東行至跨越大甲溪到東勢。政府的最初方案又被稱為隧道案，因興建難度、費用高昂且涉及經過921地震帶等問題，受到環評團體與民眾抨擊抗議。面對抗議，政府在2014年8月從爭議少的東勢區域率先施工，此舉更是激起環評團體與民意公憤並向法院提出訴訟，於是隨著二次訴訟的成功，該條道路已歷經二度開工與停工，至今仍是中斷的道路懸案(郭志榮、張光宗，2019；臺中市政府建設局，2017；歐素美，2020)。

東豐公路的現況可從政府規劃的五個區段標案來檢視(圖1)，已完成興建部分為東勢區域的第三標至第五標路段，因此豐原至石岡區域的第一、二標路段是現行政府與民眾仍在溝通協調的選線範圍，從最初規劃，政府與民眾曾提出的選線方案有沿著大甲溪以北的河岸平原興建的北堤案、改建原本的綠廊自行車道的自行車道案、沿著大甲溪以南的河岸旁興建的南堤案、擴建舊有道路的豐勢路案、開鑿公老坪臺地的隧道案。

Sormunen, Hartikainen-Ahia與Jäppinen (2017)和Verhoeff (2017)指出優質SSI應具引起決策者深度研究的情意性特徵，一種能激發學習者興趣與探究社會公平正義問題的意願之特徵。本研究的東豐公路選線屬於臺灣社會真實案例且至今仍爭議未決的SSI議題，而這些爭議性論點包括：官方隧道案造價最高且涉及地震帶、原受阻道路已有其他替代道路、各方案對不同區域居民影響互異、官方罔顧民意與環評程序逕自開工、已投入數十億經費的中斷工程應否接續、工程興建一

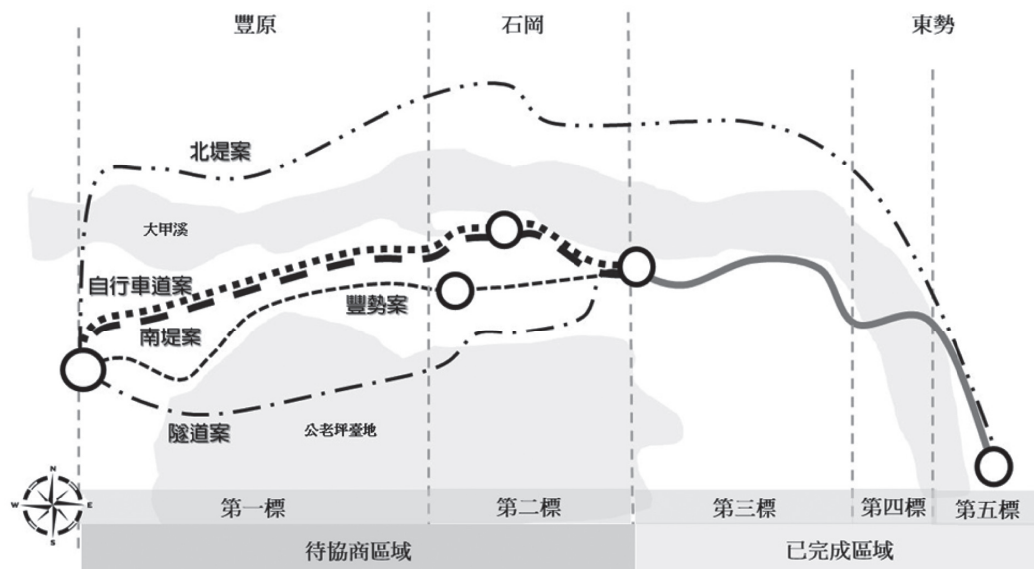


圖1：政府與當地民眾擬定的各種東豐公路選線方案

資料來源：修改自張菁雅(2016)。臺中東豐快河堤替代方案與自行車共構。查詢日期：2020年12月11日，檢自 <https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1805334>。

半是否仍應續建等論點，均符合SSI的真實性、即時性、社會性和衝突性等特色(Nida et al., 2021)，而執政單位與人民立場歧異的對峙，更是符應Zeidler等(2005)論及的SSI應能讓決策者以居民自居的道德標準進行各種因素考量，藉由增權賦能於居民而對與科學相關議題進行反思。由於該議題具真實性且與臺灣居民生活密切相關，如何妥善做出後續是否續建？於哪裡續建的決策，還廣涉眾多複雜因素與跨科知識。這當中，初受民眾詬病的決策方案為隧道方案，環評團體與部分民意的堅持，均非常適合學習者探究。由於本研究的參與者為未來可能成為國小教師的師資生，修習科學統整課程設計的相關課程，故本研究以此作為該課程內容的SSI，一方面讓師資生藉著SSI瞭解公路選線牽涉的跨科知識及親身體驗這種SSI建模課程的教與學，一方面希望他們奠基於此種經驗的學習能轉化到未來SSI統整課程與教學的設計。

四、公共建設政策之SSI決策的相關面向與品質

有關公路選線的SSI研究不多，因此本研究文獻探討將範圍擴大，奠基於與公共建設政策之SSI決策相關的研究，以瞭解過去研究在此類SSI決策相關面向與品質的考量與研究結果。Patronis等(1999)以真實的公路選線議題探討其對學習者決策的影響，他們利用希臘Patras即將興建的道路規劃方案，讓居住當地的14歲學生對行政當局提出的路址進行重新規劃與設計，最後學生們提出設計橋梁案作為替代方案以解決學校被迫搬遷的問題。研究結果除了詳述學習者漸能形成具效能的論辯過程，也將學習者提出的論證歸為質性、半量化、量化三類型進行分析。質性型論證呈現學習者以社會、生態、經濟、道路性能四面向的進行公路選線論證，常於研究初期出現最多且常常是兩兩面向對立的狀態，像是社會面向會與生態面向對立等；半

量化型論證則呈現學習者漸能從複雜的SSI情境提出基本因素，漸能提出可量化的無關或相關因素去支持論證；量化型論證於研究中出現最少，它是由個人建構或根植於學校知識，此類型論證代表學習者已能將因素間的關係進行數學式的估算與計算。

吳貞儀等(2017)以水庫興建作為SSI並依據滿足用水或發電利益的目標利益面向、避開居民聚落的顧及他人面向、減少迫害人文史蹟或特有物種環境的史蹟自然面向、穩定的水庫進流量或少量水庫淤積量以長久使用的科技管理面向，進行高中生決策影響的探討。研究結果顯示，隨著判準訓練和決策應用兩活動的進行，學習者漸能提出更多元的面向與更多的因素數量，也從原先較重視的目標利益和史蹟自然面向，轉變到科技管理的面向；但是，對於蒐集證據以支持決策主張仍有待加強。Sabel, Vo, Alred, Dauer與Forbes (2017)針對大學生進行真實生活中水文議題的決策研究，研究結果同樣顯示學習者雖能提出決策卻無法為決策提供證據支持、決策欠缺科學性與合理性也難以遷移到其他情境。從這些SSI決策研究可發現，SSI的探究確實有助於學習者融入情境應用所學與依據不同面向考量提出不同決策，但決策品質仍是有待改善，像是欠缺提出支持決策的科學性證據、將決策結構遷移到新情境的能力。

SSI決策是在科學衝突、可行性主張的評估、基於證據考量風險，以及基於道德、環境、社會觀點做出專業且足以對抗問題的替代性方案(Nurtamara, Sajidan, Suranto, & Prasetyanti, 2020)。關於SSI決策的品質評量，Nurtamara等根據文獻將其分為三類，分別是(一)從SSI相關的道德、倫理、經濟、環境等各種面向考量的解釋能力；(二)針對複雜問題創立多種解決方案的能力；(三)評估

解決方案的能力，該能力係指比較與評量可能的解決方案到反思決策過程。他們認為高品質的決策便是經由功能性推理(functional reasoning)、合理性論辯、各種解決方案所支持；學習者在形成的各種可行方案中，如何應用科學理論與科技資訊等證據形成最後的決策，以及辨識最後的決策與證據間的關係去考量各種方案。根據前述研究可發現，SSI課程對學習者對於各面向考量的解釋能力、提出替代性解決方案確實有所裨益，然而，如何應用科學性證據佐證以評估方案，進而達致較高品質的決策仍是有待努力。本研究嘗試藉由結合建模的SSI課程進行決策影響研究，希冀能提升師資生SSI決策的品質。

參、研究方法

一、研究設計與對象

本研究為個案研究，研究者以東豐公路選線為SSI，由本文第一、二、四作者為臺灣某國立大學參與「科學課程統整設計」這門課程的師資生設計SSI建模課程統整課程作為統整課程的範例，藉此訓練師資生SSI建模能力並希望他們轉化相關能力用以設計統整課程，並由第一、二作者協同教學。

「科學課程統整設計」為一門18週的課程，第一至第六週說明課程統整的意義與統整課程的模式，藉此建立統整課程的理論基礎，其中包含藉由SSI跨科統整的模式。第七到第八週帶領師資生尋找適合議題設計課程與發表統整課程設計的初步構想。由於師資生們過往皆沒有SSI建模課程學習的經驗，因此第九到第十四週，研究者以東豐公路選線的SSI建模課程為例進行六週的示範教學。第十五週針對共計六週的SSI建模示範課程(詳細課程內容詳如表1，並於後詳細說明)與學期初始六週的統整課程理論進行解析與對

表1：公路選線SSI建模課程之教學單元、建模階段、課程內容及資料收集說明

教學單元	建模階段	課程內容	資料收集
1 東豐公路的建與不建	G1	辨識公路選線議題：教師介紹SSI議題、爭議性論點與小組發想	1.課堂錄影1 2.教學反思與田野紀錄1
2 東豐公路選線方案		1.原有各種選線方案 2.介紹決策因素表格並讓學生以決策因素表格及解說文字建立初步模型	1.課堂錄影2 2.決策因素表格學習單1 3.小組投票決策學習單1 4.教學反思與田野紀錄2
3 東豐公路選線因素	E1	1.利用情境決策步驟與能力對應表進行決策因素的自評 2.教師與同儕回饋決策評判	1.課堂錄影3 2.決策因素表格學習單1 3.教學反思與田野紀錄3
	M1	修改G1模型：小組討論與修改決策	
4 公路選線因素的權衡	G2	1.SageModeler軟體介紹與建模練習 2.利用情境決策步驟與能力對應表進行因素權衡的自評	1.課堂錄影4 2.決策因素表格學習單2 3.SageModeler電腦建模1 4.教學反思與田野紀錄4
5 公路選線模型的評鑑	E2	1.利用SageModeler操作因素權衡 2.運用模型設計評鑑標準進行選線模型(含因素和關係)的自評 3.修改G2模型	1.課堂錄影5 2.決策因素表格學習單2 3.SageModeler電腦建模2 4.教學反思與田野紀錄5
6 公聽會與公投	M2	應用選線模型進行東豐公路選線公聽會	1.課堂錄影6 2.小組投票決策學習單2 3.教學反思與田野紀錄6

照。最後三週則讓師資生們發表他們所設計的課程統整方案，最後並進行反思。整個東豐公路SSI建模課程研究同時著重師資生作為公民進行SSI建模的決策能力，以及師資生作為學生及未來老師，設計統整課程的教學能力，但本文先著重於師資生們透過SSI建模課程後決策能力改變的分析。此示範課程設計兩輪建立—評鑑—修正建模循環歷程(Generation-Evaluation-Modification，以下簡稱GEM cycle)，並藉由「決策因素表格」與「SageModeler電腦建模」這二種工具作為這兩輪建模教學的主要介入及資料收集工具，此外，另收集課室現場的上課與同儕討論的錄影、師資生完成的相關報告等質性資料、兩位協同教學者(第一、二作者)進行建模導向課程對師資生SSI決策影響的課堂紀錄與反思，及三位研究者(本文前三位作者)的課堂田

野紀錄。參與的師資生共23人，有三位住在臺中，所有同學皆曾到過東豐公路選線範圍附近，對東勢農產、豐原景點等皆不陌生。研究者依照學生意願自行分為六組。除第六組有兩位教育學院的學生外，其餘均為理學院的學生(表2)。

表2：研究對象小組人數與學科背景

組別	人數	學科背景
一	4	自然
二	4	自然
三	4	數資
四	4	自然
五	4	自然
六	3	自然、教育
合計	23	

二、公路選線建模課程內容

本研究的SSI建模課程發展主要是依據Khan (2007, 2011)提出的GEM cycle進行課程設計。GEM cycle是一種強調持續性發展模型的循環歷程，這些歷程分別由模型建立、評鑑和修正三階段組成一個連續循環過程。儘管不同學者針對不同的研究目的會提出各式各樣建模歷程，但作者回顧建模歷程相關的研究發現建立、評鑑和修正是建模歷程中必不可少的重要三步驟，因此本研究以此進行課程的設計。參與者在此歷程裡，會像受過科學訓練的專家解決詮釋性問題(explanation problems) (Khan, 2007)，而對不熟悉的系統環境建構出模型。首先，在模型建立階段，參與者會先利用自己的先備知識基模產生一種類比式(analogy)或簡單地發展出關鍵要素的初步模型；評鑑階段則是針對發展出來的模型，進行觀察、實驗、資料收集，或在思維實驗中進行心智模擬；最後的模型修正階段則是參與者針對在評鑑階段發現的模型缺陷進行模型修改、辨識模型要素間的新差異，進而精緻化地描述這些模型元素間的過程。

本研究發展出二輪GEM cycle的東豐公路選線建模課程，課程內容共分六單元，每單元二小時，合計12小時，分別於學期的第九到第十四週進行(詳見表1內容)。藉由「決策因素表格」和「SageModeler電腦建模」二種模型表徵工具的介入(於後面「研究工具」的段落說明)，呈現二輪GEM cycle (G1-E1-M1以決策因素表格介入，G2-E2-M2則再增加SageModeler電腦建模)。每堂課均有相關的學習單與課堂錄影確認各階段的學習影響，在模型產生(G1、G2)及修正(M1、M2)的階段會明顯在模型表徵工具中留下小組完成的模型表徵。G1與M2階段另分別會以小組投票決策學習單記錄各組的決策及其依據緣由。表1呈

現該課程各單元裡的歷次建模階段、課程內容以及相應的資料收集內容(後節詳述)。

本研究依據文獻探討處所整理之公路選線的五個決策因素面向、十二年國民基本教育課程綱要(教育部，2018a，2018b)的學習內容(附錄)整理成本次教學實踐研究的課程——東豐公路SSI建模課程的學習內容，根據課程內容，衍生的可能決策因素如圖2所示。臺灣十二年國民基本教育強調素養的培養，倡導學習者能將知識應用與轉移到真實社會情境(教育部，2018b)，本課程設計涉及科學與社會領域的多種跨科概念與學習內容，學習者須以這些作為核心進行SSI問題的解決。依據前述公路選線模型的五個面向以及課綱涵蓋的學習內容，整理出各個面向可能包括的決策因素並以圖2呈現。

從該圖可知公路選線決策在安全面向涉及地形與地質二決策因素，地形因素則涵蓋東豐區域的山地、丘陵、臺地三種決策子因素地形學習概念；生態面向涉及水文、生物、綠地三種因素；性能面向則涉及公路各路線的往返時間、車流量二種因素；經濟面向則涉及社區發展、興建經費二種因素，而興建經費因素還包括路址總長、土地徵收、工程技術三種子因素；社會面向則是涉及公民參與、行政政策面向，公民參與因素還涉及居民組成、調查研究二種子因素。這些決策面向彼此之間交互作用且共同對公路選線的決策造成影響，各面向裡的因素間或子因素間亦可能交互影響而具交集，像是公路的往返時間因素會受不同時段的車流量因素影響，因而此二因素間的交集便形成各路線的實際往返時間。

三、研究工具

本研究主要的研究工具有「決策因素表

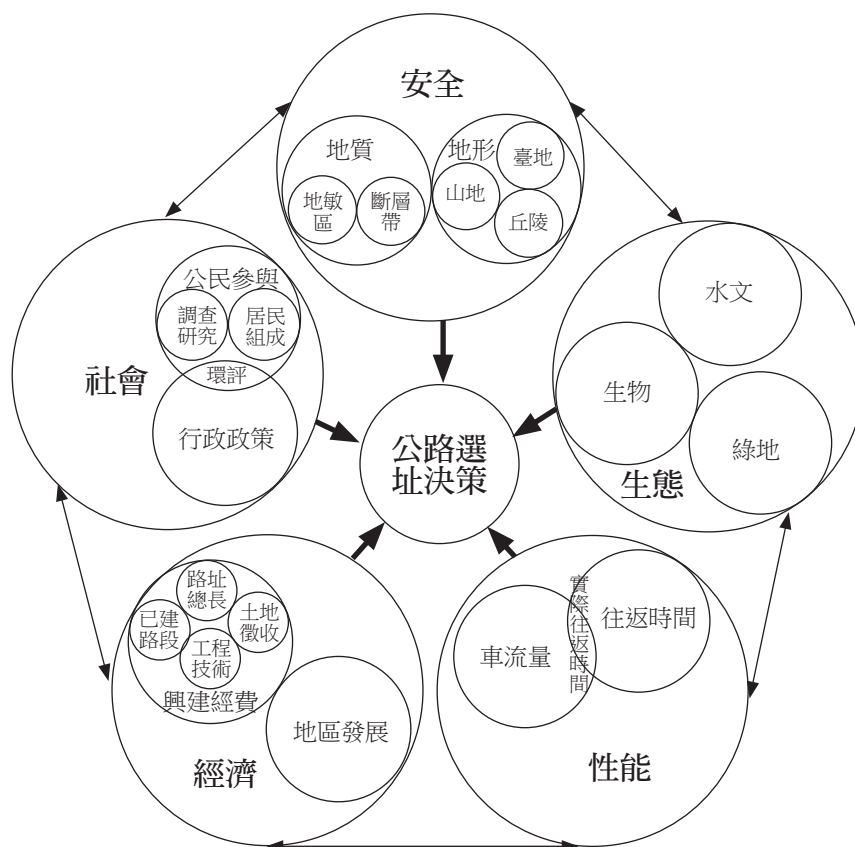


圖2：東豐公路選線模型決策因素的主要面向

格學習單」與「SageModeler電腦建模」二種建模表徵工具及「投票決策學習單」三種，茲說明如下。

(一)決策因素表格學習單

決策因素表格學習單涵蓋了決策因素表格、情境決策步驟與對應表、判準自評、模型自評等內容，共兩份，於兩輪GEM cycle中各使用一份。其中，決策因素表格為本研究的分析重點，其內容主要是依據吳貞儀等(2017)、林昇邦與許瑛珪(2017)對於學生形成SSI決策所提出的形成判準步驟進行修改而成。他們提出的形成判準步驟有訂定判準、收集證據、說明理由等。為期協助學習者在公路選線SSI的多種方案裡形成決策，本研究

的學習單依據這些步驟形成決策因素表格，其功能在於協助學習者針對SSI提出考量因素，並依此評估不同方案優劣而做出合適的決策。學生須在此表格提出決策因素作為公路興建判準，依據這些說明收集資料的項目與選取資料的理由，再綜合比較與權衡因素對不同方案的影響程度而做出最後決策。

(二)SageModeler電腦建模

SageModeler電腦建模軟體是由密西根大學開發、協助學習者建模的線上系統(Bielik et al., 2018)，目前已有中文版的操作介面。在本研究中，學習者藉由該軟體所完成的模型呈現其對SSI的決策因素及其關係。操作方式為使用者從網站<https://sagemodeler.concord.org/>

app/?lang=zh-TW進入，直接進行線上公路選線建模的操作；在思考欲解決的決策議題後，須辨識可解釋或預測此議題的重要決策因素；接著，將左上角的因素圖像托曳到畫面中央並設定該因素標籤名稱；之後，拖曳因素間線條以定義因素間的關係；右上角的功能視窗可讓使用者進行因素間關係的互動操作，並視覺化這些影響結果。圖3顯示操作者在這系統建立因素及因素間的相關性，並於右上功能視窗設定因素間的影響程度關係。

(三)投票決策學習單

該學習單於課程最初階段G1與最末階段M2分別會進行，內容包含請學習者填寫公路選線方案的決策，以及說明投給該方案的理由。

四、資料分析

本研究三個研究問題的主要分析單位為「決策因素」。本研究定義決策因素為學習者根據SSI提出決策時所考量與訂定的判斷。本研究有兩種主要建模表徵工具，當以

「決策因素表格」收集資料時，表格裡的考量因素與佐證資料項目被視為因素；當以「SageModeler電腦建模」收集資料時，SageModeler模型裡所繪製的變因圖框則被視為因素。研究者主要以學生在決策因素表格，以及SageModeler電腦建模書寫的結果為主，小組報告決策因素、小組討論與修改決策、師生的回饋等課堂錄影質性資料(完整資料收集與課程之對應詳見表1)為輔，進行三角校正，釐清各組針對公路選線議題之意涵。所有質性資料皆先經過編號，以資料類型-建模階段-小組組別三碼編號，而後轉錄成逐字稿。例如：課堂錄影6-M2-2為第二組於M2階段進行的第六次課堂錄影資料，該次課堂錄影的重點為師生對公聽會發表的回饋(表1)。

有關師資生提出的所有決策因素，先經本研究第一至第三作者進行因素單位界定，三位作者皆具科學教育專業背景的碩博士學位，並皆有建模及SSI相關研究的經歷。在評分者信度上，由本研究通訊作者訓練另二位研究者，兩位研究者經過訓練後，各自分析所有的書面資料和逐字稿，初步的因素單位

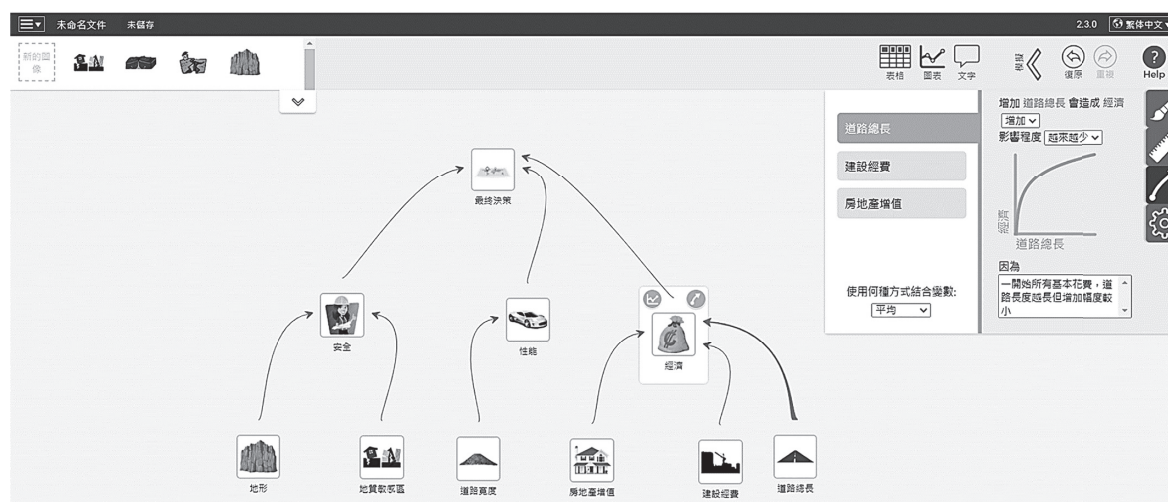


圖3：SageModeler電腦建模的操作介面

界定評分者信度為.80。不一致的地方，經三位作者共同討論，直到達成共識。以下所有編碼程序亦同。

(一)決策因素的面向

因素單位切割完成後，面向的編碼主要依據本研究文獻整理公路選線所建立的課程架構，分為安全、生態、性能、經濟、社會五個主要面向以及其下次面向(圖2)。完成後的面向之初步評分者信度為.83，經三位研究者共同討論後達完全共識。最後研究者綜合學生於G1、M1、G2、M2四階段決策因素的結果進行個數與百分比的描述性統計，並歸納結論。

(二)決策的品質

本研究決策品質考量決策因素的品質以及因素與因素之間的關係。在因素品質方面，本研究以吳貞儀等(2017)提出的因素品質評量方式，將每一個因素依據與主題的相關性、可比較與量測、具充足證據或理由三方面進行分析。若任一條件符合，即給予1分，滿分是3分。整體因素品質的平均，可得單一因素品質。當提出越多因素，或單一因素的品質越佳，整體因素品質的總分便越高。而在因素與因素之間可能產生關係的連結方面，本研究以Ebenezer與Connor (1998)和Novak與Gowin (1984)概念圖的關係評量方式進行評分。所有關係的編碼則基於不同因素面向是否符合前述公路選線的五大面向(圖2)進行歸類，又分為縱向或橫向連結。縱向連結中的關係僅在單一面向中進行連結，每個連結給1分，橫向連結則跨不同的面向，每個連結給2分。最後，本研究的決策品質的計分可以用「整體因素品質總分 + 縱向關係數 × 1 + 橫向關係數 × 2」表示。

(三)公路選線決策方案與決策因素面向和品質的關係

研究者將各組在最初與最末階段的決策方案、決策因素面向的數量、比例與決策品質，綜合書面資料與課堂錄影等質性資料進行綜合分析及多元資料三角校正。接著依據決策方案的前後一致性、決策面向的改變及影響面向改變的因素，以及依據決策品質分數的中位數區分決策品質的高低，三者綜合探討，最後依據這些發現形成研究主張。

肆、研究結果與討論

本研究旨在探討SSI建模課程對師資生的決策影響，經由東豐公路選線議題，師資生在課程介入過程中決策面向的變化、決策因素品質的發展，以及決策與決策因素面向和品質間的關係。茲依據研究問題整理發現如下。

一、決策因素的面向變化

表3呈現各組師資生在公路選線議題上，於各建模階段(G1、M1、G2、M2)中決策因素面向在安全、生態、性能、經濟、社會五個面向的變化。

從表3可知，師資生於東豐公路選線四階段共提出254個因素。所提出的決策因素總量中，面向的排序由多至少為經濟、安全、生態、社會、性能。綜覽四階段的變化可發現在課程一開始(G1)時，安全的因素獲得最多的注意(27.66%)，其次是社會(21.28%)，其他三面向則都獲得17.02%的關注。這與興建東豐公路的初衷相呼應，乃因為921大地震震斷了東勢和豐原的聯絡道路，造成居民救災、物資運送等基本生存權益受損的問題意識有關。例如：「安全性永遠是最重要的，為避免道路因天災石崩塌或堵塞，道路興建應以

表3：各組在各建模階段的決策因素面向的個數與百分比

階段	組別	安全	生態	性能	經濟	社會	總數
G1	一	2	2	3	0	2	9
	二	2	1	0	1	1	5
	三	3	0	0	1	3	7
	四	2	1	3	3	1	10
	五	2	2	2	1	1	8
	六	2	2	0	2	2	8
	小計	13	8	8	8	10	47
	%	27.66	17.02	17.02	17.02	21.28	100.00
M1	一	2	2	2	3	0	9
	二	5	5	3	5	0	18
	三	3	0	0	0	3	6
	四	2	3	3	2	0	10
	五	2	2	3	1	0	8
	六	3	2	0	5	7	17
	小計	17	14	11	16	10	68
	%	25.00	20.59	16.18	23.53	14.71	100.00
G2	一	2	1	1	5	2	11
	二	3	1	1	6	0	11
	三	3	1	0	3	2	9
	四	3	2	3	4	0	12
	五	1	1	0	1	5	8
	六	3	3	0	6	0	12
	小計	15	9	5	25	9	63
	%	23.81	14.29	7.94	39.68	14.29	100.00
M2	一	1	2	2	4	2	11
	二	3	6	1	7	0	17
	三	5	2	0	3	2	12
	四	3	2	3	4	0	12
	五	1	1	0	1	5	8
	六	3	3	0	6	4	16
	小計	16	16	6	25	13	76
	%	21.05	21.05	7.89	32.89	17.11	100.00
總計		61	47	30	74	42	254
%		24.02	18.50	11.81	29.13	16.54	100.00

它的優先考量。」(決策因素表格學習單-G1-1)但開始尋找進一步支持的證據並發表初步的決策考量後(M1)，原先經濟、生態和性能三個同樣不被重視的面向，卻拉開了距離，經濟的面向(23.53%)躍升為除了安全(25.00%)之外最重要的因素。甚至更換了建模表徵後(G2、M2)，經濟的面向更大幅度躍升為最重要的因素(39.68%、32.89%)，安全的面向(23.81%、21.05%)則退居第二。整體而言，經濟與安全是整個公路選線歷程中最受師資生重視的面向，而性能本來就不受重視，更換為電腦建模表徵後，其不僅排序最後，其關注度更由原本G1時的17.02%下降至7.89%左右。此外，生態面向的排序多維持在第三順位，最後M2階段甚至跟安全面向同樣以21.05%排序第二，顯示其雖非最重要但仍具一定性影響。社會面向曾在G1一開始時排序第二，但從開始收集支持證據後，其關注度便大都維持在15.00%左右，同樣屬於較不受重視的面向。

綜合課堂討論影片與學習單可知，參與者在前期認識到政府興建東豐公路的初衷在另闢一條可通往山區且避開斷層帶的替代道路，因此最重視與避開危險區域有關的安全面向因素。然而，隨著情境決策步驟與能力對應表的教學介入，在比較不同方案差異後，學生辨識出此SSI情境並非僅單純興建替代道路的問題，而是更複雜的善後半途因故被迫停止而未能完成的興建問題，於是在後期轉為更重視節省支出的經濟面向因素，傾向用最少費用的方式解決續蓋一條與興建初衷不完全相符的道路。

建成：「公老坪方案涉及921的車壟埔地震帶，根本與……興建921替代道路(的初衷)背道而馳，而且還是採用最昂貴的隧道式興建，我

們建議用現有的豐勢路去擴建最省錢。」(課堂錄影3-M1-2)

小優：「比較這四方案可看到，在交通順暢狀態下行經最耗時的方案也僅花費15分鐘，這顯示每個方案的道路功能差不了多少。一條才15分鐘的路程，再加上北堤這邊已有通往山區的路，東豐公路我們甚至建議可以不用再蓋下去。」(課堂錄影3-M1-4)

綜合上述，師資生在東豐公路選線的面向變化由一開始的安全與社會面向逐漸轉至經濟和安全面向並重，並且認同各方案在性能差異小，因此逐漸忽略性能面向。雖然本研究的分析架構與Patronis等(1999)、吳貞儀等(2017)的研究略有不同，但仍可發現學習者在公共建設決策普遍重視的面向為：顧及目標利益的經濟面向、重視史蹟自然的生態面向、顧及他人的社會面向。然而，由於東豐公路原始興建的目的乃由於921地震震斷了原本的道路，且原本東勢、豐原附近即有容易受地震影響的複雜地質，因此本研究的參與者較其他相關研究更重視興建區域的安全面向，而較不重視與公共建設效能相關的性能面向。

二、決策因素品質的發展

表4顯示各組在不同建模階段提出的決策因素品質的發展狀況。整體而言，全班在這四階段的決策品質，因著二種表徵工具使用和操作、情境決策步驟與能力對應表和模型設計評鑑標準的自評學習等，都造成因素和關係品質的遞增，也因此決策品質總分由G1的99分穩定上升至M2的272分。總覽四階段，在單因素的品質中，師資生最容易掌握「與主題具相關性」(0.98分)且課程一開始

表4：各組在不同階段的單因素品質、關係品質以及決策品質變化

階段	組別	因素			因素 得分	因素數	關係		關係 得分	決策品 質總分
		與主題 相關	可比較 與量測	具證據			縱向	橫向		
G1	一	8	0	0	8	9	9	0	9	17
	二	5	0	0	5	5	5	0	5	10
	三	7	3	3	13	7	7	0	7	20
	四	10	0	0	10	10	10	0	10	20
	五	8	0	0	8	8	8	0	8	16
	六	8	0	0	8	8	8	0	8	16
	小計	46	3	3	52	47	47	0	47	99
	單因素	0.98	0.06	0.06	1.11	1.00	—	—	—	—
M1	一	8	1	2	11	9	9	0	9	20
	二	18	1	5	24	18	18	1	20	44
	三	6	4	2	12	6	6	0	6	18
	四	9	5	5	19	10	10	0	10	29
	五	7	3	1	11	8	8	0	8	19
	六	16	0	1	17	17	17	0	17	34
	小計	64	14	16	94	68	68	1	70	164
	單因素	0.94	0.21	0.24	1.38	1.00	—	—	—	—
G2	一	11	8	2	21	11	11	10	31	52
	二	11	5	2	18	11	11	6	23	41
	三	9	9	9	27	9	9	2	13	40
	四	12	9	4	25	12	12	0	12	37
	五	8	6	1	15	8	8	0	8	23
	六	12	6	5	23	12	12	0	12	35
	小計	63	43	23	129	63	63	18	99	228
	單因素	1.00	0.68	0.37	2.05	1.00	—	—	—	—
M2	一	11	10	4	25	11	11	9	29	54
	二	17	12	2	31	17	17	6	29	60
	三	12	12	12	36	12	12	3	18	54
	四	12	9	4	25	12	12	0	12	37
	五	8	6	2	16	8	8	0	8	24
	六	16	5	6	27	16	16	0	16	43
	小計	76	54	30	160	76	76	18	112	272
	單因素	1.00	0.71	0.39	2.11	1.00	—	—	—	—
總計		249	114	72	435	254	254	37	328	763
單因素		0.98	0.45	0.28	1.71	1.00	—	—	—	—

(0.98分)便接近滿分1分、其次為「可比較與量測」(0.45分)、最弱的是「具充足證據或理由」(0.28分)。雖然如此，但隨著課程的介入，師資生對「可比較與量測」對「具充足證據或理由」的掌握，皆從課程一開始(G1)的0.06分，逐步上升至課程結束時(M2)的0.71和0.39分。而在因素與因素的關係中，師資生們的表現則明顯與單一因素品質的成長有落差。師資生們較容易掌握同面向因素之間的「縱向連結」，而對於不同因素面向間的「橫向連結」，則需要建模表徵工具由決策表格轉換到SageModeler電腦建模(G2、M2)時才大量出現，且即便出現，相較於縱向連結($n = 254$)，整體橫向連結數量亦不高($n = 37$)。可能的原因在於SageModeler電腦建模雖然有助於跨面向與系統性思考，但新工具的操作需要練習，且這項練習與「科學統整課程設計」這門課程或「公路選線」的跨科學學習有明顯不同的教學目標，因此在兩次課程中既要完成軟體的練習與熟悉，又要轉換表徵，馬上利用所習得的軟體工具進行議題的探索。加上更換到電腦教室上課、排除電腦軟硬體等問題，對師生而言都有過高的認知負荷。這在教師的反思、學生報告和研究人員的田野紀錄中都有相關的紀錄。例如：

師1：「(電腦)建模對關係連結助益頗大；但時間有限，既要維護因素品質的標準和模型的完整性，這當中可能均呈現出有限的發展，但長期以往，當這二者都能兼顧時，會更看出預期的效果。」(教學反思6)

師2：「今天換到電腦教室上課(上SageModeler電腦建模)，一開始有部分同學找不到電腦教室，耽擱了教學時間。雖然大部分同學對這個軟體很有興趣，但也有同學反映需

要時間熟悉軟體、存檔時擔心沒有存到檔案，或老師打不開(檔案)，(師生)花了許多時間探索可能的方法。SageModeler本身功能很強，若是學生能深入學習一次，在不同課程都能夠利用這種建模思維，才是根本解決之道。」(教學反思5)

整體而言，決策因素品質與關係數量的提升，呈現師資生們漸能從公路選線的複雜情境裡提出影響選線的重要因素。這些研究結果呼應Krell等(2014)和Khan (2007)的研究論點，SSI建模課程確實能增進決策因素和關係數量、豐富決策面向與提升決策品質。再者，相較於先前的SSI研究，學習者常難以替公共建設的決策提供科學性證據的支持(吳貞儀等，2017；Patronis et al., 1999; Sabel et al., 2017)，但本研究到了課程後期，多數組別已能達至決策因素的目的性、量化、證據佐證要求，因此此類課程確實具有潛力解決以往SSI課程仍待解決的問題。此外，經由電腦建模的協助，學習者建立更多的縱向關係，少數組別更開始建立起不同面向間的橫向關係。這也與Bielik等(2018)的研究發現相似，SSI建模課程能幫助學習者發展更豐富的因素關係，以及具有幫助參與者發展出更高層次關係的可能性。

三、決策方案與決策因素面向及品質之間的關係

東豐公路選線共有豐勢案、自行車道案、北堤案、南堤案、隧道案五種方案(如圖1)，而在G1和M2階段時，小組會針對這些方案進行決策與決策因素的說明，表5即呈現這二階段各組決策方案的結果及品質的高低。根據表5，除了隧道案外，其他四種決策方案都有小組支持，其中，又以豐勢案為最，12組次(6組 × 2次決策)中有5組次選擇此案。其

表5：小組課程前後的決策方案與決策品質高低

組別	G1		M2	
	方案	品質	方案	品質
一	豐勢案	高	豐勢案	高
二	北堤案	低	北堤案	高
三	自行車道案	高	豐勢案	高
四	豐勢案	高	豐勢案	低
五	自行車道案	低	自行車道案	低
六	南堤案	低	南堤案	低

次為自行車道案(3組次)，最末為北堤案與南堤案(各2組次)。在課程前後兩次決策中，僅第三組由自行車道案轉為豐勢案，其他組別的決策前後一致。依據表5的「小組課程前後的決策方案變化」，以及前面表3「各組在各建模階段的決策因素面向的個數與百分比」和表4「各組在不同階段的單因素品質、關係品質以及決策品質變化」綜合可得：最多組次選擇的豐勢案在G1與M2階段皆有第一、四組的支持且第三組原先支持自行車道案，也在M2階段修改為豐勢案。

(一)選擇豐勢案的小組

決策品質總分若分別以中位數區分為高低兩群(G1中位數16.5；M2中位數48.5)，則除了第四組的M2決策屬低品質決策外，豐勢案的決策皆屬於高品質決策群。比較特別的是，第四組在M2階段對其他組別忽視的性能(25.00%)面向，十分強調，但對於其他組別相對重視的社會面向，則完全沒有提及。根據質性資料發現，第四組堅持保有高比例的性能面向，乃因為第四組在G1階段認為各方案往返時間不僅涉及路徑長，還涉及不同時段壅塞程度。由於不同時段壅塞程度首先由此小組提出，在發表時受到班級其他組別的關注，使得此小組持續維持道路面向其他因素的加強，而忽略的其他面向因素的證據探索。在顧此失彼情形下，第四組僅在G1階

段時提出人口流動率這項與社會面向相關因素，之後便全數刪除。反觀另兩個同樣支持豐勢案的小組，則在各階段提出民眾考量、政府考量、社會影響等因素且都維持相當比例。例如：

雅珍：「雖然單從路徑長度去估算各方案往返時間都大約在差異不大的16到20分鐘，但是當我們將不同時段的路線壅塞程度因素納入時，就差異很大了。從豐勢案來看，在早上七點前的行車時間是16到26分鐘，七點到八點變為14到40分鐘，再下個鐘頭變成16到45分鐘。」(課堂錄影6-M2-4)

至於第三組從自行車道案轉為豐勢案則可從該決策因素表格學習單進行例舉，根據圖4呈現，該組在G1階段發表後，將安全面向的地形因素逐轉為更明確的坡度和曲率半徑等因素，接著，有同學察覺到坡度因素不僅影響安全面向，也影響著經濟面向，小組因而建立起該因素對不同面向的橫向連結關係，並藉此強化了後續經濟面向因素數量和關係；此外，從表4該組在G2和M2皆滿分的因素得分可知，該組高品質的具量化和證據的因素同樣支持著決策方案之改變，由此可知，該組決策品質的改變導致了決策面向的改變，並導致造成決策的更動。

(二)選擇非豐勢案的小組

其他前後一致方案的小組，除了選擇北堤案的第二組外，其決策因素品質無論課程前後皆屬於低品質群。第二組的北堤案最末呈現重視經濟(41.18%)與生態(35.29%)兩面向(表3)，在因素得分與關係得分均具高分。第二組主張藉由沿著北堤的河邊平原重建新道路，可避開高額隧道預算和對住宅區(豐勢路段和石岡區域)、農作區域、綠廊自行車

判準表格 M2			方案比較 G1				
經濟 面向 安全 面向	興建的條件	收集資料項目	方案比較				
	經費最少	1.路徑長 2.徵收路段 3.坡度	方案一 堤岸	方案二 自行車	方案三 隧道	方案四 原公車路線	方案五 最短距離
	危險性最低	1.坡度 2.曲率半徑	堤岸旁的地質 容易被水侵蝕	V	V	V	是山地 (彎路多)
	最符合環評 標準	1.環評標準內容 2.相關標準資料	堤岸旁可能居 住的居民比較多	可能會侵占到 居民的腳踏車 道	V	公路旁邊的商 家住戶會受到 影響	V
橫向連結			環境	其他	經濟 面向		
需要將道路變為快速道路，所 需要的安全性就更高			汽車廢氣亦造成 堤岸生態汙染	V	開闢隧道、 山路(破壞山 地)	公路旁邊再興建一 條公路不知道會不會 負荷過大	開闢隧道、山路 (破壞山地)
附近就是大甲溪以及石岡壩， 對於環境的影響也是希望能降 低到最小			V	V	需開闢隧道 (花費高)	V	需開闢隧道 (花費高)

圖4：第三組在G1和M2的決策因素表格

道等的生態影響，這類因素呈現在經濟和生態面向的綜合考量，但卻欠考量已興建完成的三、四標路段該如何處置的後續問題。此外，在SageModeler電腦建模介入前，該組是唯一注意到不同因素面向橫向關係的組別(表4)，電腦建模介入後，更強化橫向連結與關係得分，進而造成整體決策品質總分最高。

欣欣：「我們認為所有車道改建對於行駛時間的改善都有限，如果我們用北堤方案完整地重蓋一條新路，雖然花費在土地徵收費用可能會高一些，但是道路改建跟新建比較來，真的重新建造一條道路就比較貴嗎？而且新的道路要拓多寬就可以多寬，就可以真正改善壅塞問題，也避開影響較多民眾居住或工作環境的影響，也不會影響到原有的綠廊生態。」(課堂錄影6-M2-2)

而選擇自行車道案的第五組(表5)，呈現自行車道案最末重視社會(62.50%)面向，根據質性資料，該組的社會面向偏重於民意，所以選擇將綠廊自行車道進行改建，以符合各區域民眾想保持原有的生活方式。但該組雖能提出符合決策目的之因素，但卻較難提

出量化或可靠性的證據，像是認為自行車道案最不破壞綠地，主因其路徑最短的推論，因此呈現雖課程介入有助於其決策品質逐步提升，但提升有限。例如鄧亞：「我們利用Google Earth估算出各方案的路徑長，可發現隧道7.338 km > 南堤3.957 km > 自行車道1.98 km，所以破壞綠地的範圍最小的是自行車道案」(課堂錄影6-M2-5)。

至於選擇南堤方案的第六組重視經濟與社會面向。在所有重視經濟面向的方案中，該方案特別重視社會面向，卻也彰顯出非理工組背景所組小組的獨特之處，像是提出有別於他組的「執政者魅力」社會面向因素和「觀光效益」經濟面向因素。例如：

君偉：「只有人民願意使用這條道路，去興建這條路才有意義，因此我們認為執政者如何去跟人民行銷這條道路也是很重要的一个面向。另外，我們若興建南堤還有一個好處，我們可以利用它附近的自行車道綠廊進行觀光效益的結合，不僅不破壞生態，還能獲取更多觀光收入，讓人民受惠。」(課堂錄影6-M2-6)

雖然該組在二種表徵工具僅簡單呈現此二因素的縱向關係，但從報告內容裡可發現，該組已能論及將執政者魅力(社會面向)、自行車道綠廊(生態面向)、觀光效益(經濟面向)與人民受惠(社會面向)進行連結，但仍欠缺具體釐清關係與表徵於外。再者，唯有關觀光效益實屬未來願景，第六組並未提供相關的證據佐證，因此整體決策品質雖仍隨課程介入而進步，但課程前後都歸屬於低品質決策群。而其因素雖然新穎，但最終未獲其他組別青睞。

整體而言，多數組別會因應著初始關注的面向而有不同的決策方案。可能因為是以組為單位進行決策及證據搜尋，因此多數組別顧及群體壓力，傾向維持一致的決策。新穎及具有高品質的決策因素容易在小組討論時獲得關注，兩者同時具有時，會影響最後決策(例如第三組)，但僅具備新穎的要素，則可能讓小組在有限搜尋時間內失焦做出低品質的決策(例如第四、六組)。所有組別在前後決策均未選擇政府初始提出的隧道案，呼應著小組對安全與經濟面向的重視，因為隧道案不僅涉及車壟埔斷層帶而最具危險性，也因須炸壟臺地而耗資最多。多數學生們各自關心的面向不同，同樣重視經濟面向，也因其對生態、社會等面向的差異，造成決策方案的差異；在品質總分則呈現各組能藉由增加因素數量、因素得分、關係得分等過程，提升因素品質總分。

本研究呼應Peel等(2019)的研究結果，SSI建模課程能協助學習者辨識與反思決策因素的合適性，增強決策的解釋與預測能力，讓決策更具備量化、證據佐證品質之科學性證據支持。同時也呈現出本研究的學習者與其他SSI公共建設決策研究最大差異在於格外重視對安全和經濟面向(吳貞儀等，2017；

Patronis et al., 1999)，而與專業的工程領域研究的決策面向與因素比較(Kiker et al., 2005; Zavadskas et al., 2008)，則是略微忽略經濟面向裡的未來維護費用。小組對這些面向的差異彰顯本研究的學習者深切認識東豐公路的興建初衷是要解決將來地震會再次造成道路中斷問題，然而，隨著越來越多安全面向因素的支持證據顯示官方偏好路線竟涉及斷層帶，以及，在性能面向因素的證據呈現各方案差異不大時，讓他們開始質疑這道路興建的必要性並共同捨棄官方建議方案，提出多重方案以解決選線議題；於是多數組別選擇捨棄或減少性能面向，轉為偏重經濟面向，企圖以最節省經費的方式，解決道路興建一半的窘境。雖與其他研究重視面向不同，也揭露學習者對這些面向的考量與解釋的合理性，同樣符合Nurtamara等(2020)所提出的高品質SSI決策應能呈現：能依據各種面向考量提出決策解釋，具提出多重解決方案能力，能從多重方案進行比較、評量決策過程。

伍、結論與建議

以下依據本研究三個研究問題總陳研究結論和建議，以及對師資培育課程的啟示與應用。

一、學生於東豐公路選線議題重視經濟與安全的面向

本研究以東豐公路選線這個真實的SSI設計SSI建模課程探討其對師資生的決策影響，研究結果顯示在東豐公路選線的特殊情境中，師資生首重經濟與安全兩面向，且師資生由一開始關注地震影響交通「安全」及居民「社會」正義的面向，逐漸關注到此條道路在爭議中已投入成本完成了原來五個標案

的三～五標，因此牽涉了許多其他「經濟」面向的因素。這初步顯示了一般民眾接觸這個議題時考量的面向。

二、決策表格有助於單一因素品質的提升，SageModeler有助於橫向關係的連結

而在課程初期，每小組對此議題可提出5～10個能扣緊主題相關性的因素，但多無法進一步具體量化與提出支持的證據或理由，此點也反映出一般大學生對於此類SSI議題的科學素養。但隨著課程的逐步介入，師資生們的決策品質也逐漸提升，特別是決策表格對於單一因素的具體量化以及證據之持有明顯的助益，而SageModeler電腦模擬軟體的介入，則協助了進一步跨面向橫向連結的思考，但礙於教學時間僅有六次課程，因此學生額外學習電腦模擬軟體，無法深入探索與應用，使得電腦模擬對於橫向連結雖有助益，但無法擴大其效益。未來若有機會能利用其他時間或課程，讓學生先行學會此種電腦建模軟體的操作，將對於更系統性、模型化的思維有所助益。

三、新穎與高品質的決策因素影響決策方案

可能因為本研究採小組合作學習的方式，受限於須取得小組所有成員的共識，因此多數組別傾向於維持決策的前後一致性，但逐步強化決策因素和關係的品質支持原先的決策。較為新穎、具有高決策品質的因素會影響學生的決策。在本研究中，當兩者兼具時，導致了第三組更改原來的自行車道案至豐勢案；而僅具有新穎特質的因素，有時反而誤導學生花了時間和精力，但就如同第四、六組一樣，最終產生低品質的決策。由

於本研究以小組方式進行學習與決策，小組成員互動在學習討論中扮演重要的角色，但本研究未進行這部分的資料收集和深入探討，是本研究的限制。未來建議可以針對小組與個人兩種不同的方式進行SSI建模課程對學生決策的影響，以釐清小組各成員互動及小組合作在過程中扮演的角色。此外，對不同學科背景專業學習者，在本研究中略微窺見其對於關注的面向似有不同的偏好，但因為人數少，因此還有待未來進一步研究，深入探討不同學科背景對決策面向和品質影響之間的差異為何。

四、對師培課程的啟示與應用

以往在職教師或師資生因為缺乏SSI或建模教學的理解與經驗(Nida et al., 2021; Zangori et al., 2017)，因此，讓師資生在師培課程中實際參與相關的實作，有助於其對這類新型態教學的理解與科學素養提升，進而遷移到之後的相關教學(Borgerding & Dagistan, 2018; Derman & Kayacan, 2017; Nida et al.; Pitipornatapin et al., 2016; Zangori et al.)。類似研究，國外已累積一些證據，但國內尚少有研究報導。這亦是本研究進行教學實踐研究之初衷與價值。本研究以臺灣本土的SSI建模課程設計，初步為提升師資生科學素養提供可行的案例證據。然而，因為本研究的課程為「科學課程統整設計」，並非僅針對SSI建模課程設計開設的課程，因此要讓師資生有完整的學習體驗，也勢必排擠到其他課程統整設計方式的學習。但新課綱的精神有許多目前師資生過去未曾有的學習經驗，因此在適當的師培課程中設計適當的課程，讓未有相關教學經驗，甚至是學習經驗的師資生們親身體驗，是研究者認為重要的課題。最後，本研究尚未能分析相關經驗遷移至教學

及課程設計的資料，目前，研究者亦著手進行後續分析，期待未來有更多SSI與建模課程結合的投入與實證成效的呈現。

誌謝

本研究感謝科技部經費補助(計畫編號：MOST 108-2511-H-152-004-MY3)，在此特致謝忱。

參考文獻

1. 吳貞儀、許瑛珩、張文馨、方素琦(2017)。社會性科學議題線上教學模組對高中生多元面向決策的影響。數位學習科技期刊，9(3)，69-94。doi:10.3966/2071260X2017070903004
[Wu, J.-Y, Hsu, Y.-S, Zhang, W.-X, & Fang, S.-C. (2017). The influence of the online learning module on the multi-perspective decision-making of high school students. *International Journal on Digital Learning Technology*, 9(3), 69-94. doi:10.3966/2071260X2017070903004]
2. 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 Education*, 25(S), 413-437. doi:10.6173/CJSE.2017.25S.01]
3. 教育部(2018a)。十二年國民基本教育課程綱要——國民中小學暨普通型高級中等學校：自然科學領域。臺北市：作者。
[Ministry of Education. (2018a). *Curriculum guidelines of 12-year basic education for elementary school, junior high and general senior high schools—The domain of natural sciences*. Taipei, Taiwan: Author.]
4. 教育部(2018b)。十二年國民基本教育課程綱要——國民中小學暨普通型高級中等學校：社會領域。臺北市：作者。
[Ministry of Education. (2018b). *Curriculum guidelines of 12-year basic education for elementary school, junior high and general senior high schools—The domain of social studies*. Taipei, Taiwan: Author.]
5. 郭志榮、張光宗(2019)。東豐快有爭議，道路強碰斷層與農地，環境疑慮待解。查詢日期：2021年5月20日，檢自<https://e-info.org.tw/node/229472>。
[Kuo, C.-J., & Chang, K.-T. (2019). *Dongfengkuai you zhengyi, daolu qiangpeng duanceng yu nongdi, huanjing yilu daijie*. Retrieved May 20, 2021, from <https://e-info.org.tw/node/229472>]
6. 張菁雅(2016)。臺中東豐快河堤替代方案與自行車道共構。查詢日期：2020年12月11日，檢自<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1805334>。
[Chang, Y.-C. (2016). *Taichung Dongfengkuai hetidai fangan yu zixingchedao gonggou*. Re-

- trieved December 11, 2020, from <https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1805334>]
7. 臺中市政府建設局(2017)。東豐快速道路重新規劃內容專案報告。查詢日期：2020年12月12日，檢自<https://www.rdec.taichung.gov.tw/media/209499/76271630571.pdf>。
[Construction Bureau of Taichung City Government. (2017). *Dongfeng kuaisu daolu chongxin guihua neirong zhuanan baogao*. Retrieved December 12, 2020, from <https://www.rdec.taichung.gov.tw/media/209499/76271630571.pdf>]
 8. 歐素美(2020)。東豐快速道路公聽會，東勢分局出動大批警力維安。查詢日期：2021年1月12日，檢自<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3273507>。
[Ou, S.-M (2020). *Dongfeng kuaisu daolu gongtinghui, Dongshi fenju chudong dapi jingli weian*. Retrieved January 12, 2021, from <https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3273507>]
 9. Alred, A. R., & Dauer, J. M. (2020). Understanding factors related to undergraduate student decision-making about a complex socio-scientific issue: Mountain lion management. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(2). Retrieved June 20, 2021, from <https://www.ejmste.com/article/understanding-factors-related-to-undergraduate-student-decision-making-about-a-complex-7781>
 10. Bielik, T., Opitz, S. T., & Novak, A. M. (2018). Supporting students in building and using models: Development on the quality and complexity dimensions. *Education Sciences*, 8(3). Retrieved June 20, 2021, from <https://www.mdpi.com/2227-7102/8/3/149>
 11. Borgerding, L. A., & Dagistan, M. (2018). Preservice science teachers' concerns and approaches for teaching socioscientific and controversial issues. *Journal of Science Teacher Education*, 29(4), 283-306. doi:10.1080/1046560X.2018.1440860
 12. Dauer, J. M., Lute, M., & Straka, O. (2017). Indicators of informal and formal decision-making about a socioscientific issue. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 124-138. doi:10.18404/ijemst.05787
 13. Demir, E. (2016). Characteristics of 15-year-old students predicting scientific literacy skills in Turkey. *International Education Studies*, 9(4), 99-107. doi:10.5539/ies.v9n4p99
 14. Derman, A., & Kayacan, K. (2017). Investigating of the relationship between the views of the prospective science teachers on the nature of scientific models and their achievement on the topic of atom. *European Journal of Education Studies*, 3(6), 541-559. doi:10.5281/zenodo.583777
 15. Ebenezer, J. V., & Connor, S. (1998). *Learning to teach science: A model for the 21st century*. London, UK: Prentice-Hall.
 16. Eilks, I., Rauch, F., Ralle, B., & Hofstein, A. (2013). How to allocate the chemistry curriculum between science and society. In I. Eilks & A. Hofstein (Eds.), *Teaching chemistry—A study book: A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (pp.

- 1-36). Rotterdam, The Netherlands: Sense.
17. 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
18. Frangopol, D. M., & Liu, M. (2007). Maintenance and management of civil infrastructure based on condition, safety, optimization, and life-cycle cost. *Structure & Infrastructure Engineering*, 3(1), 29-41. doi:10.1080/15732470500253164
19. Grace, M. (2009). Developing high quality decision-making discussions about biological conservation in a normal classroom setting. *International Journal of Science Education*, 31(4), 551-570. doi:10.1080/09500690701744595
20. Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905. doi:10.1002/sce.20226
21. Khan, S. (2011). New pedagogies on teaching science with computer simulations. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 215-232. doi:10.1007/s10956-010-9247-2
22. Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., & Linkov, I. (2005). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2), 95-108. doi:10.1897/IEAM_2004a-015.1
23. Krell, M., Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2014). Students' levels of understanding models and modelling in biology: Global or aspect-dependent? *Research in Science Education*, 44(1), 109-132. doi:10.1007/S11165-013-9365-Y
24. National Research Council. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/18290
25. Nida, S., Mustikasari, V. R., & Eilks, I. (2021). Indonesian pre-service science teachers' views on socio-scientific issues-based science learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(1). Retrieved June 20, 2021, from <https://www.ejmste.com/article/indonesian-pre-service-science-teachers-views-on-socio-scientific-issues-based-science-learning-9573>
26. Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
27. Nurtamara, L., Sajidan, Suranto, & Prasetyanti, N. M. (2020). The effect of biotechnology module with problem based learning in the socioscientific context to enhance students' socioscientific decision making skills. *International Education Studies*, 13(1), 11-20. doi:10.5539/ies.v13n1p11
28. Patronis, T., Potari, D., & Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: Implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21(7), 745-754. doi:10.1080/095006999290408

29. Pedretti, E., & Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95(4), 601-626. doi:10.1002/sce.20435
30. Peel, A., Zangori, L., Friedrichsen, P., Hayes, E., & Sadler, T. (2019). Students' model-based explanations about natural selection and antibiotic resistance through socio-scientific issues-based learning. *International Journal of Science Education*, 41(4), 510-532. doi:10.1080/09500693.2018.1564084
31. Pitiporntapin, S., Yutakom, N., & Sadler, T. D. (2016). Thai pre-service science teachers' struggles in using socio-scientific issues (SSIs) during practicum. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 17(2). Retrieved June 20, 2021, from https://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/PyX53?_s=sCXhACTASyx7%2F5Zhnhk%2Be2fopBE%3D
32. Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Erlbaum.
33. Sabel, J. L., Vo, T., Alfred, A., Dauer, J. M., & Forbes, C. T. (2017). Undergraduate students' scientifically informed decision making about socio-hydrological issues. *Journal of College Science Teaching*, 46(6), 71-79. doi:10.2505/4/jcst17_046_06_71
34. 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
35. Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: Socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42. doi:10.1080/03057260802681839
36. Sadler, T. D., Barab, S. A., & Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socioscientific inquiry? *Research in Science Education*, 37(4), 371-391. doi:10.1007/s11165-006-9030-9
37. Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138. doi:10.1002/tea.20042
38. Sormunen, K., Hartikainen-Ahia, A., & Jäppinen, I. (2017). Quality of SSI scenarios designed by science teachers. In K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto, & J. Lavonen (Eds.), *Cognitive and affective aspects in science education research: Selected papers from the ESERA 2015 conference* (pp. 103-116). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-58685-4_8
39. Ural, E., & Ercan, O. (2020). Exploring pre-service primary school teachers' informal reasoning and argumentation levels on a socio-scientific issue: The issue of transgenic plants in the agriculture. *International Journal of Research in Teacher Education*, 11(3), 48-66.
40. Verhoeff, R. P. (2017). The use of drama in socio-scientific inquiry-based learning. In K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto, & J. Lavonen (Eds.), *Cognitive and affective aspects in science education research: Selected papers from the ESERA 2015 conference* (pp. 117-126). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-58685-4_9
41. Zangori, L., Foulk, J., Sadler, T. D., & Peel, A. (2018). Exploring elementary teachers' percep-

- tions and characterizations of model-oriented issue-based teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 29(7), 555-577. doi:10.1080/1046560X.2018.1482173
42. Zangori, L., Peel, A., Kinslow, A., Friedrichsen, P., & Sadler, T. D. (2017). Student development of model-based reasoning about carbon cycling and climate change in a socio-scientific issues unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(10), 1249-1273. doi:10.1002/tea.21404
43. Zavadskas, E. K., Lias, R., & Turskis, Z. (2008). Multi-attribute decision-making methods for assessment of quality in bridges and road construction: State-of-the-art surveys. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 3(3), 152-160. doi:10.3846/1822-427X.2008.3.152-160
44. Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357-377. doi:10.1002/sce.20048

The Impacts of Socioscientific Issue Modeling Curriculum for Preservice Teachers' Decision Making on Highway Route Selection

Tzu-Shan Cheng¹, Jing-Wen Lin^{2,*}, Yi-Yen Lee² and Chin-Hung Lin³

¹Center for Teacher Education and Careers Service, National Taipei University of Education

²Department of Science Education, National Taipei University of Education

³Department of Healthcare Information and Management, Ming Chuan University

Abstract

The demand for the construction of the Dongfeng Highway originated after the 921 earthquake that disrupted the only connecting road from Dongshi to Fengyuan, affecting residents' medical treatment and material transportation. Utilizing the authentic Socioscientific Issue (SSI) of Dongfeng Highway route selection, this study explored the impact of this SSI modeling curriculum on the decision-making aspects and quality of highway route selection, the decision-making plan, and the relationship between decision-making aspects and quality. This study involved six groups of 23 preservice teachers from a national university who participated in a Science Integrated Curriculum Design course. This study used a decision factors table and SageModeler, two representational modeling tools, to conduct two SSI modeling cycles of Generation-Evaluation-Modification. Results showed that the decision-making aspects of preservice teachers on this issue mainly focus on safety and the economy. Their attention went to the earthquake's impact on traffic "safety" and the "social" justice issues faced by residents, and then slowly shifted to the road involved in the dispute—the "economic" aspect of construction at half the cost. With the intervention of SSI modeling courses regarding decision-making quality, the preservice teachers' decision-making quality gradually increased. They grasped "comparable and measurable" characteristics in a single factor and provided more "sufficient evidence or reasons" to support their decision-making. Despite this, they provided the vertical connection of the same factor aspect. Only with the assistance of SageModeler could they use a small amount of cross-aspects consideration of the horizontal connection. The majority of the participants presented consistent decision-making plans, but they all incorporated more scientific evidence or decision-making factors to enhance decision-making quality.

Key words: SageModeler, Highway Route Selection, Decision Making, Socioscientific Issue, Socioscientific Issue Modeling Curriculum

* Corresponding author: Jing-Wen Lin, jwlin@mail.ntue.edu.tw