

國立臺灣師範大學科學教育研究所

博士學位論文

指導教授：張俊彥博士

科學桌遊與它們的 X

Science Board Games and their possible e"X"tensions



研究生：鄭秉漢撰

中華民國一〇八年七月

謝辭

桌遊就像魔戒一般，誘引人心；研究就像火把一樣，照亮迷霧。 ——佚名

是的，這是一個拿著火把在世界中朝魔戒前進的故事，走在搜尋魔戒的研究之路上，讓我能稍稍窺見光芒的是這幾年來助我精進與支援的貴人，心懷感謝。恩師一詞也無法描述內心感激的是指導老師—張俊彥教授，嶄新的思維與鼓勵持續引領我前進；一起組隊打怪練等（和歡樂？）的仁哲、文獻學長和研究室夥伴們，在村莊提供補給的助理惠羽和仕雯，一直支持我闖蕩的家人與室友，還有最強的輔助郁璇，都是這條路上最大的支柱。面對廣闊的世界與挑戰，也是因為有各個支援者的激勵，讓我能桌遊研究的魔戒迷霧中持續往前走：如同在教堂給予充實精神的余俊樑老師，在驛站啟航出發的楊雅婷老師，訓練場上精深知能的庭光學長，冒險公會提供經驗的賴信志老師與林青蓉老師，藝術館裡擴展視野的高志璋科長，圖書館中培養科教的所上老師，瞭望台上給予展望的口試委員范丙林老師、侯惠澤老師和吳穎滄老師，還有在酒館裡盡情歡笑和開團的桌遊夥伴們。這個故事的冒險充滿刺激，繼續堅持是探知每一幕內容的方法，儘管不一定令人動聽，但投入在故事中肯定會獲得最充實的經歷。

這是個名為「傳承」的遊戲機制，一切經歷將會永久影響後續遭遇，還有更多未知事物的這條路要繼續地往下走，探尋至尊魔戒—X科學桌遊之謎。

摘要

許多文章顯示桌上遊戲運用在科學知識的學習有成效，科學桌遊若能被更廣泛地開發與運用，相信能為科學教育的多元化提供更多的幫助。本研究基於科學系統知識、科學模型與桌遊特性，系統化科學桌遊並發展以學習科學知識為目的的桌遊的設計程序，開發基於此程序的科學桌遊以及實際將設計程序運用在實務中，結果顯示桌遊成效與設計運用皆有成效。此外，本研究也將科學桌遊的效用擴展至科學知識外的素養培養，例如態度、探究與技能等，建立能擴展科學桌遊學習成效的設計模式。透過實徵研究，顯示依循設計模式所開發的 X 科學桌遊擴展了科學知識外的知能學習，且設計模式也能運用至實務設計中。最後，本研究釐清設計項目的屬性及設計模式的運作脈絡，以供科學桌遊設計者參考。

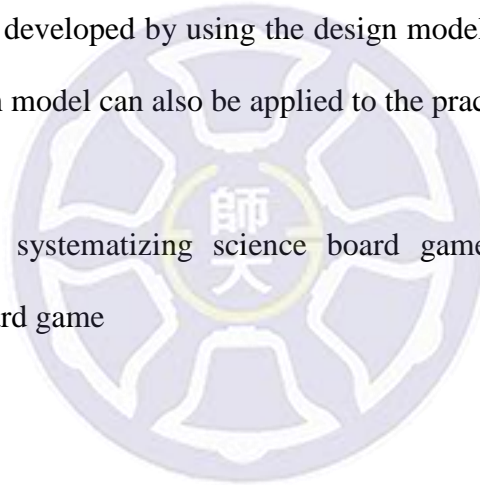
關鍵字：科學教育、系統化科學桌遊、桌遊設計模式、延展效用、X 科學桌遊



Abstract

There is potential utility for the science learning through the use of board games. If science board games can be developed and be used well, it will be helpful for the diversification of science education. Based on the composition of science board games, the structure of science knowledge and the science model, this study systematized science board game and developed an design programme of science board games for learning science knowledge. The result proved that the science board games developed by design programme were effective. Additional, the design programme could apply in practice. This study also developed an extended design model of science board games to extended the utility of science board games for improving scientific competence, such as attitudes, inquiry and scientific skills. Through the result of this study, it shows that the X-science board games which developed by using the design model can extended the effectiveness of science learning. The design model can also be applied to the practical design.

Keyword: science education, systematizing science board game, board game design model, extended utility, X-science board game



目次

第一章、科學桌遊與它們的 Aim	1
第一節 引言：科學桌遊的開發	1
第二節 研究目的	3
第三節 文章架構與內容	3
第二章、科學桌遊與它們的 Base.....	6
第一節 科學桌上遊戲的定義	6
第二節 科學桌遊的組成	9
第三節 基於科學學習的桌遊架構	12
第三章、科學桌遊與它們的 Cases.....	22
第一節 科學桌遊分析架構	22
第二節 桌遊背景與組成的回顧結果	25
第三節 科學桌遊模型的回顧	29
第四節 小結：科學桌遊設計提示	32
第四章、科學桌遊與它們的 Design	34
第一節 科學桌上遊戲設計項目	34
第二節 科學桌遊設計程序	37
第三節 科學桌遊成效評估	42
第四節 科學桌遊設計程序運用案例	54
第五章、科學桌遊與它們的 EXtension.....	66
第一節 X 科學桌遊延展項目	66
第二節 X 科學桌遊設計模式	69
第三節 X 科學桌遊之成效評估	70
第四節 X 科學桌遊設計模式運用案例	90
第六章、科學桌遊與它們的 Future.....	103
第一節 設計與運用	103
第二節 未來發展	110
參考文獻.....	113

表次

第一章、科學桌遊與他們的 Aim

第二章、科學桌遊與他們的 Base

表 1 文獻對遊戲的特徵的描述.....	8
表 2 桌遊的組成與定義.....	9
表 3 Gilbert、Boulter 和 Elmer(2000) 的模型分類類別.....	16
表 4 陳瑞麟 (2004) 提出的六種模型類別.....	17
表 5 Harrison 和 Treagust (2000) 提出的十種模型類別.....	17
表 6 科學桌遊模型化之使用示例.....	20

第三章：科學桌遊與它們的 Cases

表 7 科學桌遊研究背景之內容分析表.....	22
表 8 科學桌遊本體組成之內容分析.....	23
表 9 科學桌遊組成與科學模型的標記.....	24
表 10 論文回顧之研究對象與主題學科.....	25
表 11 論文回顧之學科主題與桌遊組成.....	28
表 12 論文回顧之桌遊組成與對應的科學模型.....	31
表 13 論文回顧之桌遊階段機制、對應的科學模型與學習成效.....	32

第四章：科學桌遊與它們的 Design

表 14 桌遊中的設計.....	40
表 15 漫遊太陽系的項目與設計內容.....	43
表 16 漫遊太陽系的知識與規則結構.....	44
表 17 漫遊太陽系的回合過程與階段機制.....	44
表 18 漫遊太陽系的配件.....	45
表 19 漫遊太陽系的研究流程.....	46
表 20 太陽系概念測驗結果.....	47
表 21 學習動機結果.....	48
表 22 學生對漫遊太陽系的興趣.....	48

表 23 食在好時的項目與設計內容.....	49
表 24 食在好時的規則結構.....	50
表 25 食在好時的回合過程與階段機制.....	51
表 26 食在好時的配件.....	51
表 27 食在好時的研究流程.....	52
表 28 知識測驗結果.....	53
表 29 綠野仙中之設計程序引導流程.....	54
表 30 綠野仙中的項目與設計內容.....	55
表 31 綠野仙中的知識與規則結構.....	56
表 32 綠野仙中的回合過程與階段機制.....	56
表 33 綠野仙中的配件.....	57
表 34 高中學生對綠野仙中的評估.....	58
表 35 震事時候設計程序引導流程.....	60
表 36 震事時候的項目與設計內容.....	60
表 37 震事時候的知識與規則結構.....	61
表 38 震事時候的回合過程與階段機制.....	62
表 39 震事時候的配件.....	62
表 40 參與者對震事時候的評估.....	63

第五章：科學桌遊與它們的 EXtension

表 41 X 科學桌遊培養的科學知能.....	66
表 42 X 科學桌遊的組成延展.....	67
表 43 桌遊中的設計.....	70
表 44 瘋水輪流轉的項目與設計內容.....	71
表 45 瘋水輪流轉的規則結構.....	72
表 46 瘋水輪流轉的回合過程與階段機制.....	73
表 47 瘋水輪流轉的配件.....	74
表 48 瘋水輪流轉的研究流程.....	76

表 49 生活水資源概念測驗結果.....	77
表 50 生活水資源覺知結果.....	77
表 51 生活水資源個人習慣差異.....	78
表 52 水資源調適桌遊的項目與設計內容.....	80
表 53 水資源調適桌遊的規則結構.....	82
表 54 水資源調適桌遊的回合過程與階段機制.....	83
表 55 水資源調適桌遊的配件.....	84
表 56 水資源調適桌遊的研究流程.....	85
表 57 學生的水資源調適知識表現.....	86
表 58 學生的水資源環境責任的表現.....	87
表 59 學生的大眾利益的表現.....	87
表 60 電流之戰之設計模式運用流程.....	90
表 61 實驗型桌遊的項目與設計內容.....	91
表 62 實驗型桌遊的規則結構.....	92
表 63 實驗型桌遊的回合過程與階段機制.....	93
表 64 實驗型桌遊的配件.....	93
表 65 學生科學過程技能的表現.....	95
表 66 SAVIOURS 之設計模式運用流程.....	97
表 67 防災桌遊的項目與設計內容.....	98
表 68 防災桌遊的規則結構.....	99
表 69 防災桌遊的回合過程與階段機制.....	99
表 70 防災桌遊的配件.....	100
第六章：科學桌遊與它們的 Future	
表 71 X 科學桌遊延展設計之運用.....	109

圖次

第一章、科學桌遊與他們的 Aim

圖 1 文章架構.....	3
---------------	---

第二章：科學桌遊與它們的 Base

圖 2 遊戲特性。(a)互動系統地圖。(b)遊戲設計認知。.....	7
------------------------------------	---

圖 3 本研究的科學桌遊的基礎定義.....	9
------------------------	---

圖 4 科學系統。(a)科學知識結構。(b)氣體動力論系統。.....	13
-------------------------------------	----

圖 5 桌遊結構與科學知識結構.....	14
----------------------	----

圖 6 演化論的結構。(a) 演化論桌遊結構。(b) 演化論知識結構。.....	15
--	----

圖 7 模型化科學桌遊：科學知識系統、科學模型與桌遊組成的關係.....	19
--------------------------------------	----

第三章：科學桌遊與它們的 Cases

第四章：科學桌遊與它們的 Design

圖 8 科學桌遊 CSSC 設計項目.....	34
-------------------------	----

圖 9 科學桌遊 CSSC 設計程序.....	38
-------------------------	----

圖 10 漫遊太陽系的太陽系系統結構.....	43
-------------------------	----

圖 11 學生填寫的太陽系概念圖.....	47
-----------------------	----

圖 12 食在好時的概概念結構.....	50
----------------------	----

圖 13 綠野仙中的氣候變遷與土地利用之系統.....	55
-----------------------------	----

圖 14 綠野仙中的氣候變遷與土地利用之系統.....	58
-----------------------------	----

圖 15 綠野仙中的遊玩過程.....	59
---------------------	----

圖 16 震事時候的地震災害與防災之系統.....	61
---------------------------	----

圖 17 震事時候的遊玩過程.....	64
---------------------	----

第五章：科學桌遊與它們的 EXtension

圖 18 X 科學桌遊設計模式.....	69
----------------------	----

圖 19 瘋水輪流轉的概概念結構.....	72
-----------------------	----

圖 20 省水知識 V 圖.....	75
--------------------	----

圖 21 水資源調適概概念結構.....	81
----------------------	----

圖 22 遊戲表現記錄.....	89
圖 23 實驗型桌遊之電池電路概念圖.....	91
圖 24 學生對實驗型桌遊之回饋.....	95
圖 25 實驗型桌遊的遊玩過程.....	96
圖 26 災害調適策略概念圖.....	98
圖 27 防災桌遊的遊玩過程.....	102
第六章：科學桌遊與它們的 Future	
圖 28 科學桌遊 CSSC 設計項目屬性圖.....	106
圖 29 科學桌遊 CSSC 設計項目之分析示意。(a) 漫遊太陽系。(b) 藍晶方舟。.....	106
圖 30 設計項目思考單。(a) 思考單的內容。(b)教師培訓填寫設計項目思考單。.....	107
圖 31 X 科學桌遊設計模式思維圖.....	110



第一章、科學桌遊與它們的 Aim

第一節 引言：科學桌遊的開發

科學桌遊是指將科學知識融入至遊戲中，並運用至科學學習的桌上遊戲，以期望使用者在玩遊戲的過程中理解與學習科學知識。許多實徵研究已顯示科學桌上遊戲運用在科學知識的學習有成效，是故，若科學桌遊能被更廣泛地開發與運用，相信能為科學教育的多元化提供更多的幫助。以科學學習為目的的科學桌遊之開發與設計，應考量科學學習的內涵與桌遊的遊戲內容，從科學學習的觀點以及桌遊的特徵來探討科學桌遊的設計程序，可讓科學桌遊的教育／推廣者，有具綜整性、可依循的參考觀點來完整地開發桌遊。此外，若能將科學桌遊的效用擴展至科學知識外的素養培養，例如態度、探究與技能等，相信能擴展科學桌遊在科學教育的多元化效用。

一、科學桌遊設計與運用

桌上遊戲是玩家一同在桌子上面對面遊玩、通常不主要以數位電子設備運作的遊戲。桌上遊戲的特色是玩家在面對面的實體空間中進行遊戲，藉由操作實體配件來運作遊戲規則，以達成遊戲目標(Ogershok & Cottrell, 2004)。此外，亦具有情節性、挑戰性與互動性等遊戲特性，還有實體化的物件、外顯的回饋過程、人工操作的計算方式等特徵(Cheng, Tsai, Chang, & Chien, 2019; Engelstein, 2017)。桌遊運用在科學知識的學習已有許多研究指出有幫助，例如，Miralles, Moran, Dopico, and Garcia-Vazquez (2013)發展人類呼吸系統和循環系統的桌遊，學生組合卡牌並自己判斷身體系統與器官間的分類，在玩完遊戲後的後測成績顯著高於前測，也認為遊戲可以幫助他們學習。Gutierrez (2014)設計了DNA桌遊，使用黏土與細針黏成基因，讓學生排序DNA序列、發生變異等，結果顯示學生在玩完遊戲後成績有提升。Alexander, Sevcik, Hicks, and Schultz (2008)創作一套「Elements」競爭型卡牌遊戲，卡牌上畫有元素離子，幫助學生認識化學元素的名稱和符號，以及排列化合物。Peppler, Danish, and Phelps (2013)的桌遊安排了玩家間相互合作的互動，藉由討論讓學習者了解環境對蜜蜂的影響和蜜蜂的合作行為。這些文獻表明運用科學桌遊在科學學習的目的，即是希望提供一種以遊戲為主的學習環境，讓使用者能在玩遊戲的過程中理解與學習科學知識。因此，若科學桌遊能被更廣泛地

開發與運用，相信能為科學教育的多元化提供更多的幫助。在此目的下，科學桌遊的開發與設計應考量科學學習的內涵與桌遊的特性。然而，現階段尚未有完整的設計模式，是從科學學習的觀點以及桌遊的特性來分析與探討科學桌遊的設計，這讓有意設計科學桌遊的教育推廣者，難有綜整性的參考觀點來完整地建構桌遊。此外，現階段的科學桌遊多以培養特定的科學知識為目的(Miralles et al., 2013; Rose, 2011; Steinman & Blastos, 2002)，非培養系統性的科學知識，皆顯示科學桌遊的設計尚有發展空間。

知識的學習即是學習者對學科知識之結構的形成(Bruner, 2009; 張春興 & 林清山, 2009)，因此，科學桌遊之設計的科學學習可以從結構與本質兩個觀點討論：(1)科學學習的目標之一為理解科學知識，科學知識通常分有系統、關係、成份等相互具有結構性的關聯(邱美虹, 2016)，而桌遊組成中的回合流程、階段機制與物件單元也構成遊戲的運作系統，與系統性的科學知識結構相近。(2) 科學模型做為科學概念中的物件、事件或現象的表徵，讓抽象的概念變得容易理解(Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000)，而桌遊擁有遊戲情境，透過配件做為遊戲情境的物件或事件的表徵，本質也如同科學模型，此外，在科學學習的意義也相似，都是輔助學習者理解科學。因此，科學桌遊之設計思維可立基於對桌遊與科學知識的結構以及桌遊組成與科學模型的關聯進行分析，然後再參考遊戲設計概念，建構一套具科學知識學習效用的科學桌遊設計程序。

二、科學桌遊的擴展

另一方面，除了系統知識，科學教育亦注重科學概念、科學態度與科學探究（技能）的培養，例如跨領域概念、對科學的興趣與覺知、對科學問題解決的觀察與規劃執行(NGSS, 2013; 國家教育研究院, 2013)，這提供了科學桌遊設計的新目標—擴展科學桌遊在科學教育的功用。因此，若能基於科學知識學習的科學桌遊設計程序，再整合能擴展科學學習內涵與科學桌遊特性相關的學習要素與桌遊要素，發展一套可依循、可運用的能擴展學習的科學桌遊的設計模式，供科學桌遊的設計者分析和開發科學桌遊，應可擴展科學桌遊在科學教育的多元化效用。於本研究，將擴展科學桌遊之英文名為 Extended Science Board Game，取名為 X-科學桌遊(X-SBG)，乃參考整合與擴展各類元素、功能與效用之延展實境，其 Extended Reality 縮寫成 XR(Mann, Furness, Yuan, Iorio, & Wang, 2018; Yachina, Zeynalov, & Dyushebekova, 2016)。

第二節 研究目的

本研究的目的是在發展一個立基於科學學習理論、具聚焦性且可依循的科學桌遊設計模式與準則，並探討設計模式的運用與成效。主要的研究目的有三。

- 一、基於科學學習理論與文獻回顧建立科學桌遊設計程序。
- 二、依循設計程序發展科學桌遊，透過實徵研究檢驗桌遊的成效。
- 三、立基於科學桌遊設計程序與桌遊實徵結果，發展「X-科學桌遊設計模式」，擴展科學桌遊在科學學習的多元化效用。

第三節 文章架構與內容

此篇研究所建立之科學桌遊設計程序，乃針對以學習科學知識為目標的桌遊的設計，而X科學設計模式，則是基於科學學習表現（概念、態度、技能）培養的科學桌遊。本篇文章架構如圖 1，主文將在第二章探討科學桌遊的組成以及可運用至桌遊的科學學習理論，提供具科學學習的觀點之桌遊分析項目。第三章依循桌遊分析項目，回顧科學桌遊的設計與運用，釐清科學桌遊在科學學習中的特徵。第四章則參考分析項目與回顧結果，建立基於科學學習的桌遊設計程序，並依循設計程序發展兩套桌遊與探討其成效，同時說明兩個設計程序應用案例。第五章則建置基於學習功能擴展的X科學設計模式，並評估依X科學桌遊設計模式發展的兩套桌遊的成效，亦說明兩個設計模式應用案例。第六章討論與精緻科學桌遊設計程序與X科學桌遊設計模式，以及討論科學桌遊的未來發展。本研究所發展的設計模式立基於科學知識結構與科學模型，故依循此模式所分析或發展的桌遊內容具特定的結構性與範圍性，可能無法涵蓋現行所有桌遊的所有特性。

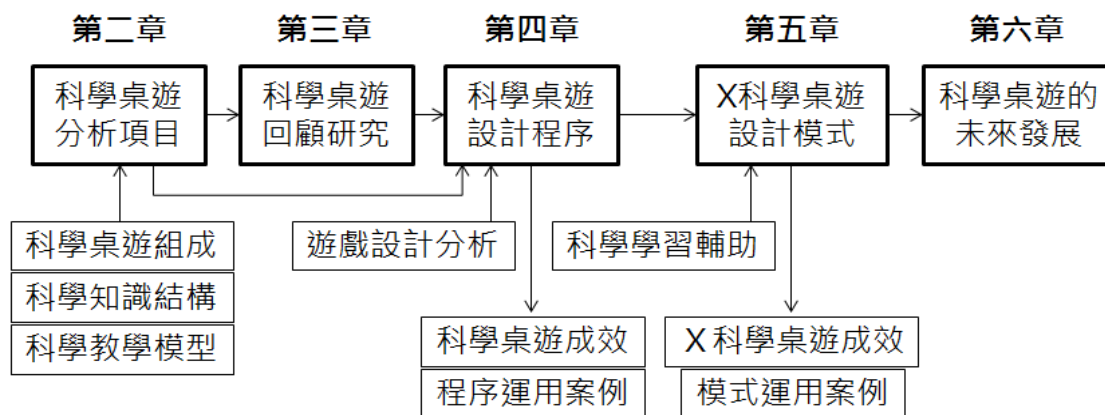


圖 1 文章架構

第一章：科學桌遊與它們的 Aim

此章在給予讀者了解本研究所定義之科學桌遊及其在科學學習的宗旨及潛力，並提出科學桌遊的開發與設計應從科學學習的觀點以及桌遊的特徵來探討，亦考量科學桌遊的效用擴展至科學態度、探究與技能等的培養，以擴展科學桌遊在科學教育的多元化效用。

第二章：科學桌遊與它們的 Base

此章在描述基於科學學習理論的科學桌上遊戲基礎組成與分析項目，以釐清科學桌遊的組成與科學學習理論。其中，科學桌遊組成包含背景主題、流程規則、勝利目標、初始設置、回合過程、階段機制、物件單元、實體配件；運用到的科學學習理論為科學系統知識、科學教學類比模型。在文中，本研究建立一套科學桌遊分析結構，可描述桌遊的組成內容及科學知識的結構，以及依「勝利目標」、「階段機制」、「實體配件」等桌遊組成之科學知識內容所對應的科學教學類比模型（本文命名為科學桌遊模型），此兩者建構出科學桌遊的結構及模型化的脈絡，以及描述科學桌遊對科學學習的幫助的可能。

第三章：科學桌遊與它們的 Cases

本章在回顧科學桌遊的設計與運用，以前章科學桌遊分析結構為基礎，採用內容分析法整理科學桌遊的桌遊組成與科學桌遊模型，目的在了解不同學科與對象之科學桌遊的運用現況與目的，探討與歸結實徵研究中在科學桌遊的組成常用的設計與運用、科學桌遊模型在科學學習的應用，並釐清桌遊運用至科學學習的注意事項以及可能的限制與發展的空間。

第四章：科學桌遊與它們的 Design

本章綜整科學桌遊的組成、桌遊的科學學習理論、科學桌遊回顧研究之結果：科學桌遊之設計、運用與特徵，建立基於科學學習的桌遊設計程序。程序分有學習資訊、科學系統、規則結構、機制組成等四大項目，設計程序的分析步驟可分為基於系統學習為主的系統導向（學習資訊、科學系統、規則結構至機制組成）的過程，以及遊樂增強為主的回饋導向（學習資訊、機制組成與規則結構）的過程。本章亦依循設計程序發展兩套桌遊並探討其成效，也將描述運用設計程序的兩個案例。

第五章：科學桌遊與它們的 EXtension

本章在探討科學知能的培養與可延伸的桌遊組成，目標在建置基於學習功能擴展的 X 科學設計模式。科學知能可分為科學概念、科學態度與科學（探究）技能等三個面向，包含有科學教育關注的基本學科領域之核心概念、社會性科學議題之概念、科技與工程之跨域概念；對科學的興趣與覺知、欣賞科學的重要性及科學中的美感、自主學習與運用科學、體認及建立對科學議題的價值觀；規劃與執行科學的問題解決、提出合理且較完整的討論及資訊分享、對科學現象進行推理與論證以建立模型。延展的桌遊組成則從規則結構與機制組成兩個桌遊設計分析項目探討，分別有目標導向、情境設置之延展，分別利用陷阱目標、大型化遊戲、難度模組；以及遊戲中鷹架、記錄系統、存檔系統、同情境劇本、科學過程、科技媒材、空間應用。設計模式如同設計程序分有兩種導向的設計過程，於本章將描述兩套桌遊的成效以及運用設計模式的兩個案例。

第六章：科學桌遊與它們的 Future

本章在討論上述兩章之科學桌遊的成效與運用案例，以精緻科學桌遊設計程序與 X 科學桌遊設計模式，並且探討兩者各自在科學學習與遊戲遊玩的意義與特性，亦描繪科學桌遊的未來發展與未來研究。

第二章、科學桌遊與它們的 Base

本章的目標在建立基於科學學習理論的科學桌上遊戲基礎組成與分析項目，以釐清科學桌上遊戲關於科學學習的內涵。分析項目有科學桌遊的組成與科學學習理論，本章將探討與描述此兩個部分的內容。

第一節 科學桌上遊戲的定義

一、遊戲的特徵

遊戲是玩家參與在人造的規則、衝突與回饋中並完成目標的一種系統，包含了規則、目標、衝突、互動等多個要素 (Abt, 1987; Prensky, 2003; Salen, Tekinbaş, & Zimmerman, 2004)。遊戲專家們對遊戲特徵進行分析，描述遊戲應具有故事背景或遊戲的世界觀，然後藉由一套系統規則來運作遊戲的世界觀，包含目標、物件、環境、回饋系統等提供玩家能投入遊戲並體驗遊戲世界的環境 (Gee, 2005)，例如，Burgun (2012) 提出互動系統地圖 (圖 2a)，認為遊戲具有四個特性，這四個特性分別從廣泛的環境逐漸聚焦出遊戲的定義：(1) 互動系統：由物體與物體間的相互作用所構成。(2) 謎題：即是玩家需解決的問題與構想的解決方案。(3) 競賽：讓解決方案由個人執行，並且無法與他人共享，讓玩家與玩家間、或玩家與系統間相互競爭，判定誰先達成目標。(4) 模稜兩可的決策與未知的結果：遊戲具有各項決策，讓玩家無法肯定當下贏了遊戲目標的方法是否最適當正確，這讓每次遊戲都能思考另一種決策，來分析是否更有效，從而取得更大的勝利。Lopes and Kuhnen (2007) 也提出遊戲設計分析 (圖 2b)，定義一個遊戲要運作應包含五個項目：(1) 概念：即遊戲本身在意義上存在的目標。(2) 文本：描述遊戲世界的背景，包括呈現給玩家的故事，環境和動機。(3) 核心內容和功能：建立遊戲相關的功能，包括有具體的物體、遊戲運作方式。(4) 機制：遊戲中的「大腦」，每當玩家希望執行某個動作時，他必須選用遊戲中給定的一個可用動作，然後輸入一組或多組資訊，遊戲再藉由回饋程序給出輸出結果。(5) 動作：由玩家在遊戲中可執行的動作組成，玩家依其願望與決策，從遊戲中運行可選擇的各類動作，然後通過機制層來獲得回饋。

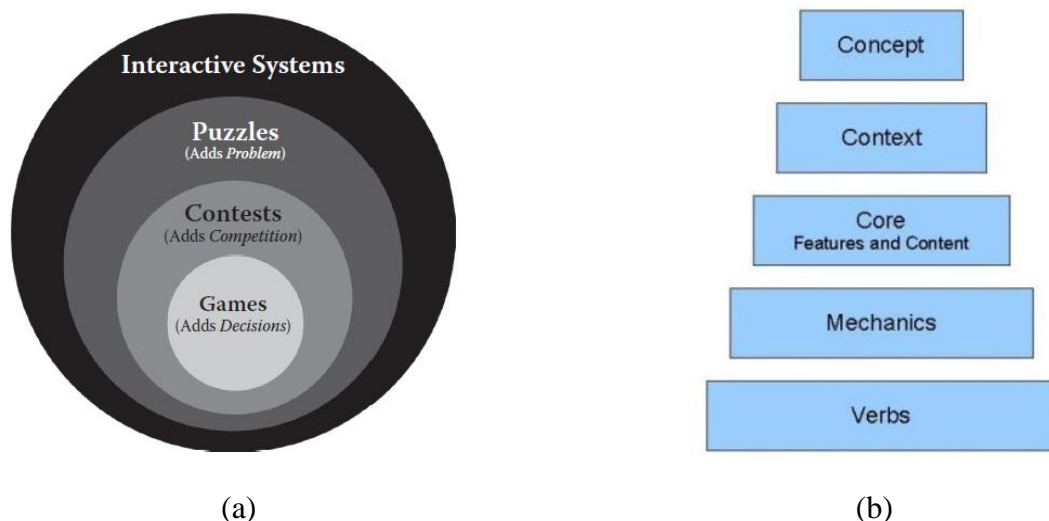


圖 2 遊戲特性。(a)互動系統地圖。(b)遊戲設計認知。

以教育為目的的遊戲亦如同大部分的遊戲一樣，具有故事背景或遊戲中的世界，但更特別的是這個遊戲世界具有學科知識的內涵，試圖讓學生在投入遊戲時，同時學習知識 (Kiili, 2005; Reese, 2009)。以科學學習為目標的遊戲，即是將科學知識融入在遊戲世界中 (Eisenack, 2013)。對於教育型遊戲的特性，Starks (2014) 提出了具教育性質的嚴肅遊戲 (Serious game) 應有的遊戲框架，將社會認知理論和多元智能理論與遊戲設計原則相結合。有 5 個內涵：(1) 知識：遊戲試圖傳達的知識，知識通常代表遊戲的總體目的。(2) 目標：目標是遊戲要給玩家達成的內容。(3) 結果預期：預期是指玩家在遊戲做了一個行為後，獲得的可能結果，通常玩家會預期這個結果能接近遊戲目標。(4) 鼓勵：鼓勵被稱為對玩家的支持，可以是幫助實現目標的環境和社會因素。環境是指遊戲中讓玩家可以安全、方便表現行動的設定；而社會因素，則是在玩家執行行動後，給予鼓舞的設定。(5) 障礙：障礙是阻礙玩家實現目標的因素，玩家移動到下一個情境前，必須解決的謎題。像鼓勵一樣，可以從環境或社會因素來設定障礙。Garris, Ahlers, and Driskell (2002) 則提出能幫助學習的遊戲應包含課程內容與遊戲特性，將學習概念傳遞至遊戲中，並設計讓玩家可以反覆操作的環境（目標、行動、回饋的循環），讓玩家能反思與目標的差異，學習、調整與效化遊戲行動策略與知識。學習型遊戲可以依據學習目標，設計玩家在遊戲中會面臨到的與學科內容有關的情境，供玩家選擇或執行行動，並預先規劃各種行動會提供的回饋，以利於使用者在遊戲之中的概念建構 (Kiili, 2005)。文獻對遊戲的特徵的描述如表 1。

表 1 文獻對遊戲的特徵的描述

文獻	項目	描述
Burgun (2012) (一般遊戲)	互動系統	由物體與物體間的相互作用所構成
	謎題	提供玩家需解決的問題與構想的解決方案
	競賽	讓解決方案由個人執行，並判斷誰先達成目標
	決策與未知結果	玩家在每次遊戲都能思考另一種決策，來分析是否更有效
Lopes and Kuhnen (2007) (一般遊戲)	概念	遊戲本身在意義上存在的目標
	文本	描述遊戲世界的背景，包括呈現給玩家的故事，環境和動機
	核心內容和 功能	建立遊戲相關的功能，包括有具體的物體、遊戲運作方式
	機制 動作	玩家執行某個動作時，遊戲會藉由回饋程序給出輸出結果 由玩家在遊戲中可執行的動作組成，並通過機制層來獲得 回饋
Starks (2014) (教育遊戲)	知識	遊戲試圖傳達的知識，通常代表遊戲的總體目的
	目標	遊戲要給玩家達成的內容
	結果預期	玩家在遊戲做了一個行為後獲得的可能結果
	鼓勵	即對玩家的支持，可以是幫助實現目標的環境和社會因素
	障礙	阻礙玩家實現目標的因素，可以是環境或是社會因素
Garris et al. (2002) (教育遊戲)	輸入	課程內容與遊戲特性，將學習概念傳遞至遊戲中
	過程	玩家可以反覆操作的環境（目標、行動、回饋的循環）
	輸出	遊戲後的學習表現

二、科學桌遊的定義

具教育性質的遊戲希望玩家在遊戲中能學習學科知識，讓玩家藉由各種媒介投入在遊戲中學習。就使用的媒介或載具來分類，遊戲可分為使用數位載具的數位遊戲，以及使用實體配件的桌上遊戲，雖然這些遊戲類型從外觀上看起來有所差異，但它們卻擁有相似的設計概念或回饋邏輯性。本研究探討的桌上遊戲，意指許多人共同在桌子上面對面遊玩，通常不使用電子設備或數位產品運作的遊戲。桌上遊戲具有情節、挑戰與互動等遊戲特性，另外還有實體化的物件、外顯的回饋過程、人工操作的計算方式等特徵 (Cheng, Yeh, & Chang, 2016; Oggershok & Cottrell, 2004)。

綜合上述文獻，以科學學習為目標的科學桌上遊戲，應包含：(1) 桌上遊戲的特性，例如遊戲背景、目標、謎題、遊戲內容、遊戲功能、機制、以及供玩家在遊戲中操作的實體物件。(2) 科學領域學習的特性，例如：科學概念、可學習的環境、學習有所回饋等。因此本研究

定義之科學桌上遊戲，乃以科學知識做為遊戲內容，遊戲同時具有遊戲世界與科學知識，並且，玩家未使用任何數位載具，單純以實體物件和人工操作的方式，來進行遊玩。圖 3 為本文對科學桌遊的定義，下文將依序探討科學桌遊的組成與科學桌遊的科學學習這兩個項目。

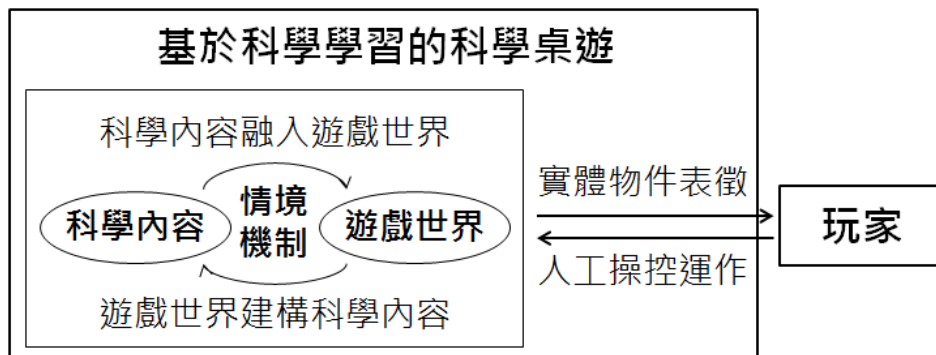


圖 3 本研究的科學桌遊的基礎定義

第二節 科學桌遊的組成

桌遊具有一般遊戲的特徵，除此之外，為了讓遊戲可以描述故事背景、運作遊戲，桌上遊戲，藉由規則與配件描述了一個遊戲，大部份的桌遊設計者說明主要由「背景主題」、「流程規則」及「實體配件」等三大部分組構而成，還有其他次要的組成 (Engelstein, 2017)。本研究綜整文獻，歸納次要的組成含括在「流程規則」中，包含該遊戲的「勝利目標」、「初始設置」、「回合過程」、「階段機制」、「物件單元」，這些組成建立了一個桌遊的故事背景及遊戲世界觀、運作規則及玩家操作方式 (表 2)。

表 2 桌遊的組成與定義

主要組成	次要組成	定義
背景主題		遊戲的背景故事、硬體環境與背景知識 (Engelstein, 2017; Lopes & Kuhnen, 2007; Starks, 2014)。具體來說，是桌遊中的時間、空間、角色的環境。
流程規則	勝利目標	玩家達成的目標。透過各種解決方案解決遊戲途中的問題和阻礙，相互競爭取得勝利 (Burgun, 2012; Starks, 2014)。
	初始設置	玩家一開始擁有的資訊與資源。
	回合過程	具體的物體、遊戲運作流程，形成遊戲中具時序的情境，統整遊戲的各項功能 (Lopes & Kuhnen, 2007)。
	階段機制	物件間相互作用，玩家執行動作後由特定過程回饋出結果 (Burgun, 2012; Garris et al., 2002; Kiili, 2005; Lopes & Kuhnen, 2007)。
	物件單元	遊戲環境中的物體與物件 (Burgun, 2012)。
實體配件		玩家操作的實體物件，例如、卡牌、模型 (Engelstein, 2017)。

一、背景主題

遊戲的故事與背景，不牽涉遊戲的運作系統，僅是遊戲世界的環境描述。現行桌上遊戲的主題有：文明、太空探索、工業、神話、科幻等 84 個主題分類 (BoardGameGeek, 2018a)。依據這些主題可初步從遊戲的時間、空間、角色和應用領域等面向描述。例如：Gibson and Cooper (2017) 的植物桌遊，其背景主題是植物的特徵調查與分類，時間為現代、空間為小型植物、角色為植物學家，應用的領域則為生物。Peppler 等人(2013) 的桌遊以蜜蜂的一生為背景，時間為現代、空間為自然環境、角色為蜜蜂，應用領域為生物。

二、流程規則

遊戲的運作規則，含有該遊戲的勝利目標、初始設置、回合過程、階段機制與物件單元等次要組成。一般來說，遊戲會告知玩家勝利目標，並給予初始擁有的資訊與資源，讓玩家在數個回合過後，達成目標或者輸掉遊戲 (Cheng et al., 2016)。

(一) 勝利目標

遊戲中玩家得以勝出的條件，主要包含結束條件與贏家判斷等兩個項目。結束條件是指遊戲將在什麼條件下結束，然後進行贏家判斷；贏家判斷則是指哪位玩家贏了／輸掉遊戲（競爭遊戲）或大家是否共同贏了／輸掉遊戲（合作遊戲）。例如：Trevino et al. (2016) 的光學概念桌遊，所有玩家會在同一個起點開始，走格子前進。遊戲將在有一位玩家抵達終點時結束，贏家是第一個抵達終點的玩家，屬於競爭遊戲。

(二) 初始設置

玩家在遊戲一開始時所獲得的公開資訊，以及個人擁有的資源。玩家將在每次的回合過程中嘗試得到更多資訊、增強自己的資源或能力，以期達成勝利目標而勝出。

(三) 回合過程

通常桌遊具有數個回合，回合過程即是遊戲的每一個回合的始末期程中，玩家依時序面臨的多個情境課題或待處理的問題事項。例如：Arslan, Moseley, and Cigdemoglu (2011) 設計的環境桌遊在每一個回合過程中，每個玩家將依序面臨「角色前進」、「環境議題認識」、「答案結算」三個情境。

(四) 階段機制

階段機制是玩家在面對情境或待處理的問題時，可執行的行動操作與回饋程序，單一個情境可能不使用到機制（單純的判斷結果）或使用一個機制，也有可能內含多個機制。桌遊中的階段機制的功能主要是處理遊戲中的物件間的互動與關係，通常需要靠玩家以人工的方式處理回饋結果，像是：操作物件、計算數值、程序處理 (Engelstein, 2017)。桌遊網站「BoardGameGeek」歸納出目前的機制共有 51 種，有：動作表演、競標拍賣、投注、投資買賣、記憶、點對點移動、剪刀石頭布、擲骰並移動、組合收集、投票、工人放置等不同的機制 (BoardGameGeek, 2018b)。應用例子如：Arslan et al. (2011) 設計的環境桌遊，在每一個回合過程，每個玩家將面臨「角色前進」、「環境議題認識」、「答案結算」三個情境，「角色前進」的階段機制採用「擲骰並移動」：玩家擲出的骰子點數是往前移動的格數。「環境議題認識」的情境則採用「記憶」與「說故事」兩個機制，玩家抽取卡牌，利用遊戲中或遊戲前獲得的環境資訊（知識），說出一個有關環保的故事。最後，「答案結算」為「點對點移動」，在玩家說完故事後，遊戲系統給予回答的內容的結果，前進或後退不定數量的格子（格點）。

(五) 物件單元

物件單元呈現桌遊環境的物件與單位，例如：金錢量、人口數、人力數、溫度值、獎勵點，或是一座城堡、一條路、一顆地球等。

三、實體配件

「實體配件」讓玩家藉由操作桌遊的配件來執行遊戲中的互動環境與回饋機制。桌上遊戲的配件，是實體的、可觸摸的表徵，例如：卡牌、骰子、圖板、棋子與指示物、說明書等。它們用來描述「背景主題」、說明「桌遊規則」與「階段機制」、標示「物件單元」。實體配件通常會配合階段機制來設計與安排，以供玩家執行行動以及顯現回饋結果。例如：Kirikkaya, Iseri, and Vurkaya (2010) 的太陽系桌遊，有一個走格子的圖板，每個玩家走格子用的棋子與骰子，供玩家問答的卡牌，還有很多個在遊戲中要收集的行星小模型。

桌遊組成建構了桌遊中的遊戲世界與運作方式，了解桌遊組成有助於釐清桌遊設計時需安排的項目。在確定桌遊組成後，如何將科學概念融入在桌遊組成中是下一步需要思考的。

第三節 基於科學學習的桌遊架構

科學桌遊以傳達科學概念為目標，應讓學生理解知識結構，設計原則應掌握結構化、特徵學習、自我組織與增強等基礎，依循科學桌遊的組成可從兩個科學學習的觀點討論：(1) 呈現科學知識結構的桌遊結構，以及(2)呈現科學模型的模型化桌遊組成。在本節將連結桌遊的組成與科學知識的結構，也將科學桌遊的組成轉化成科學模型，建立科學桌遊的科學學習論點。

一、結構化科學桌遊

學習是將事物相互聯繫，並將它們組織成具有意義的結構，知識的學習即是學習者對學科知識之結構的形成 (Bruner, 2009; 張春興、林清山, 2009)。知識具有層次化的系統或結構，知識的學習強調需理解學科的知識結構，以及學科概念與原理之本質特徵和事物間的關係與規律。因此，學習的歷程是將各種概念、事實與資訊構成一個動態的結構。基於此學習歷程，具效果的教學應有四項原則：(1) 動機：學習要有動機，喜歡學習、願意學習。(2) 結構：教材應有組織及結構地進行知識的傳達。(3) 順序：教材教法的使用配合學習者的發展，也需考量學科的性質規劃具體或抽象、簡單或複雜、動作表徵或符號表徵的內容。(4) 增強：參與者在學習活動中透過自我認知理解而滿足，產生增強作用 (Bruner, 2009)。因此，以學科學知識為目的之科學桌遊，其設計內涵應具結構化的科學知識，且符合知識的本質特徵，讓學習者在遊戲中不排斥學習，並透過遊戲來組織知識結構、增強認知滿足。

在科學社群的思維中，將自然世界視為多個系統的構成，系統下的成份彼此建立關係，數個關係間的互動進而形成一個具系統性結構的科學知識 (邱美虹, 2016) (圖 4a)。科學知識的系統中包含數個成份的「屬性」或「關係」，彼此間交互影響或相互依存 (陳可恭, 2002)。成份是指可定義且可區辨的元素，在認知心理學的知識結構中稱為「論點 (argument)」，指的是特定時間、地方、人或物體，通常對應於名詞 (Anderson, 1985)；關係則為各成份間會因具有共同目的而存在關聯，如同知識結構的命題 (Proposition) 由多個論點組織，將成份／論點以動詞，形容詞和其他具關係的字詞建構相互間的關係。通常一個系統含有多個回饋效果，一個或多個成份或關係的變動會影響其他成份或關係的狀態；此外，一個系統中的成份可能是另一個系統 (Assaraf & Orion, 2005)。

科學知識的系統結構描述了自然世界大尺度的運作或微觀的系統。例如，地球系統是一個大尺度的複雜互動系統，主要由大氣，海洋，岩石和生物圈等次系統（關係）組成，子系統下則有各個成份（例如：空氣、陽光、水、動物、植物等），這些成份通過力、運動和能量轉換，驅動著各子系統內部的各個成份的交互作用 (Lawton, 2001; V. J. Mayer, 1995)。在微觀的系統中，氣體動力論也有結構性的知識，屬於成份的壓力 (P)、體積 (V)、溫度 (T)，發展出相互具關係的定律 ($PV = K$; $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$)，這些關係進而發展出理想氣體定律 ($PV = nRT$) (邱美虹, 2016) (圖 4b)。系統性的知識結構旨在呈現科學知識的原貌和完整性，同時，系統性的科學知識較為接近科學社群對科學系統的看法。因此，以理解科學知識做為目標的科學桌遊，應在遊戲中呈現科學知識結構。

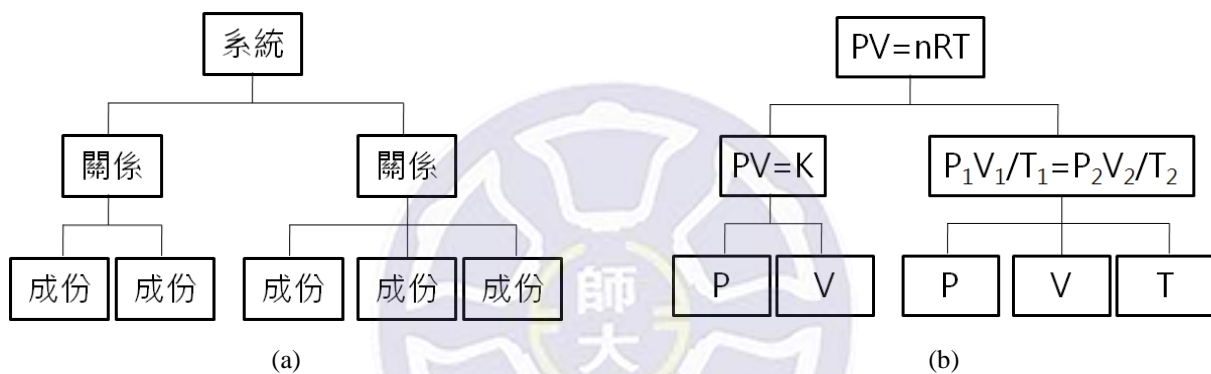


圖 4 科學系統。(a)科學知識結構。(b)氣體動力論系統。

科學系統知識的結構包含數個成份與相互間「屬性」或「關係」，此結構可藉由桌遊的組成建構而成：一個回合過程會面臨多個情境，每個情境的處理與回饋由一至數個階段機制建立物件單元間的關係並運作回饋結果。意即「回合過程」可視為由多個「階段機制」建構而成，而「階段機制」則聯結了數個「物件單元」的關係，三者建構了整個遊戲的運作系統，在許多桌遊也有呈現這樣的結構 (Arslan et al., 2011; Kirikkaya et al., 2010)。圖 5 顯示桌遊的結構與科學知識的系統結構相近：(1) 回合過程指整個遊戲世界的系統，串聯桌遊的各個運作組成，如同知識系統則是複雜概念之整體，建構了各成份彼此間交互影響或相互依存之關係，皆描述一個環境（遊戲、科學）的運作。(2) 階段機制是物件單元間的轉換關係、轉換模式，知識中的關係是指各元素間會因具有共同目的而存在協調與關聯，兩者都在描述該環境中的各個互動關係。(3) 物件單元是桌遊環境的數值單位，成份則是可定義且可區辨的元素，皆是在該環境所設定的最小單位。

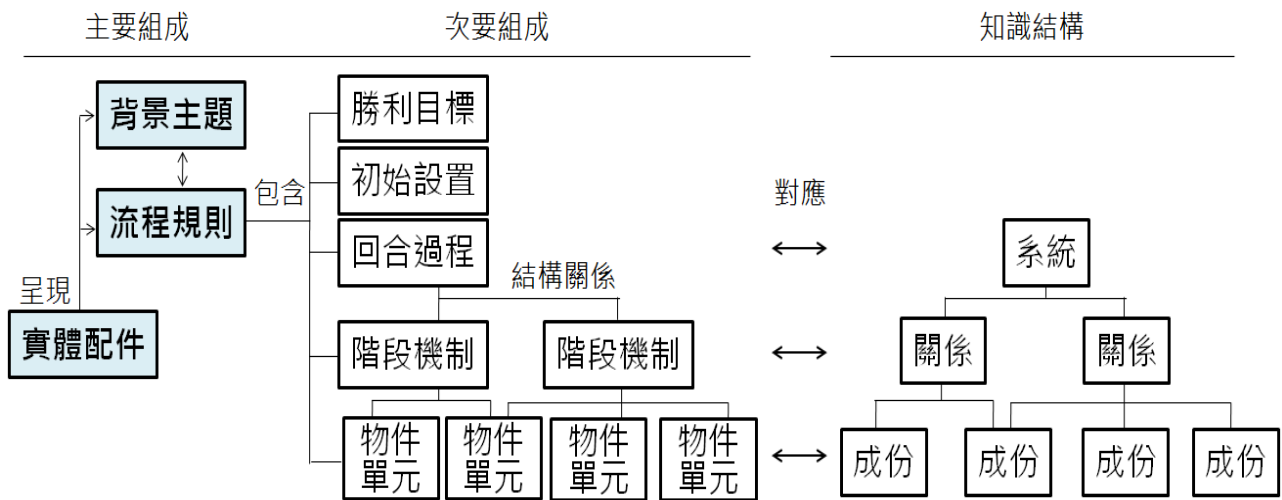


圖 5 桌遊結構與科學知識結構

依循圖 5 本研究分析知名的桌上遊戲「演化論」(BoardGameGeek, 2010)，其結構如下：

(一) 實體配件

遊戲說明書描述遊戲的背景與流程規則，玩家操作實體卡牌體驗遊戲世界。

(二) 背景主題

遊戲的背景是生物科學-演化論，玩家扮演上帝，藉由不同性狀培育自己的物種，讓自己的物種能在競爭中活的長久。

(三) 流程規則

1. **勝利目標：**在遊戲卡牌庫抽完時遊戲結束，分數最高的玩家是贏家。分數是遊戲結束時，玩家所擁有的存活的物種數量以及物種擁有的性狀數。

2. **初始設置：**(i) 將所有卡牌堆成一疊，供大家在遊戲中抽取；(ii) 每個人抽取 5 張手牌，做為起始擁有的生物資源與資訊。

3. **回合過程：**建構四個情境，各情境之階段機制，以及階段機制所建構之物件單元的關係如下述。(1)、(2)、(3)、(4) 即一個回合的過程，遊戲進行數個回合直到遊戲結束。

(1) **演化：**面臨物種演化，玩家執行「打出手牌」的行動，得到「新物種」或「新性狀」的結果，階段機制屬於「手牌管理」。此機制建構了「卡牌種類」、「卡牌張數」、「物種」與「性狀」的關係，描述了物種具有許多性狀的科學知識。

(2) **食物供給：**決定此回合現有食物量。階段機制屬於「擲骰」，玩家擲骰，依骰子點數出現食物量。此機制建構了「骰子點數」、「食物」的關係。

- (3) 進食：面臨物種尋求吃飽的情境。玩家選擇自己的物種，並依食性來進行各種吃食行為，例如：肉食物種吃其他物種、物種防禦自己避免被吃、草食物種吃植物。機制為「行動選擇」。此機制建構了「性狀」、「食性」、「植物」、「物種」的關係。描述了物種需要進食、物種性狀影響個體存活的科學知識。
- (4) 生存：面臨物種生存的情境。此時，是遊戲依條件自動處理結果，例如：未吃飽的物種死亡、可繁殖的物種繁殖下一代等。

本文分析「演化論」桌遊的桌遊結構，亦分析現有演化論概念的部分結構（圖 6a、6b）。參考關於演化的知識架構：變化產生及對物種影響此兩種關係描述，以及關係中牽涉的面向，次成份則是各面向下所組成的因素 (Demastes, Good, & Peebles, 1996; Rutledge & Mitchell, 2002)。雖然舉例的各組成的內容不完全一致對應，但確實顯示了結構的相似性。

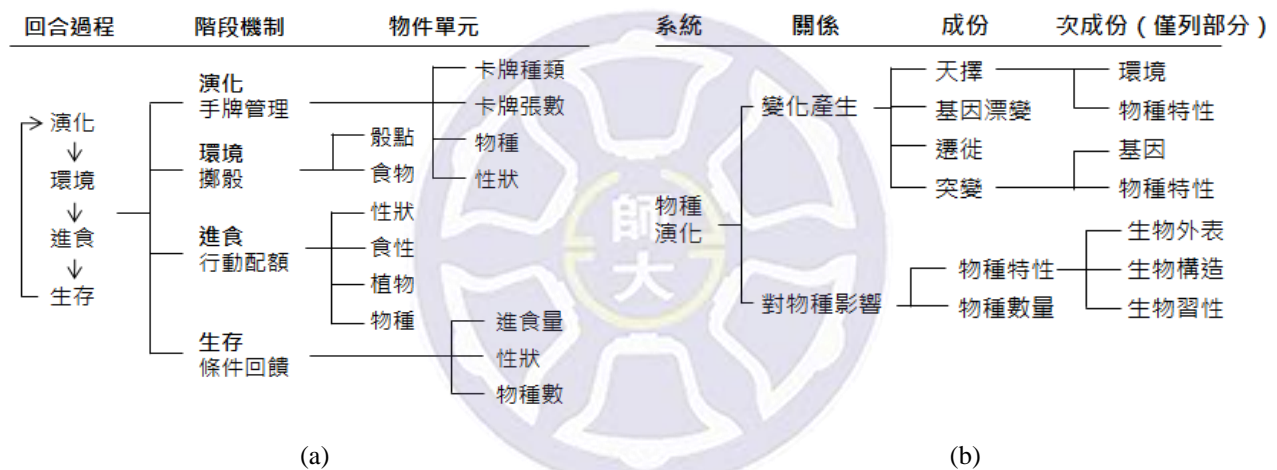


圖 6 演化論的結構。(a) 演化論桌遊結構。(b) 演化論知識結構。

本章所建立的桌遊結構，除可描述桌遊的組成內容，也可呈現科學知識的結構，為科學桌遊分析架構提供初步的觀點。然而，要描繪科學桌遊具科學學習的特性，需進一步地以科學模型探討科學桌遊。

二、模型化科學桌遊

模型通常被視為表徵，用來呈現物件、事件、現象或想法 (Gilbert et al., 2000)，科學模型運用在科學學習有三個面向：學習科學：瞭解科學的系統與模型，及科學模型的限制與範圍；學習做科學：建構、表達和效化科學模型；學習科學的本質：認識和理解模型的本質與角色 (Justi & Van Driel, 2005)，顯示科學模型在科學學習上的應用。科學模型可以從三個觀點面向了解模型，分別為本體論、認識論和方法論：本體論從模型的本體地位探討模型，將模型視

為物件、事件、現象與想法的表徵；認識論從學習方面來表述學生對於模型是科學產物、學習與教學工具；方法論則是從模型在科學發展上的功能與幫助來討論（邱美虹，2008）。

從科學模型的本體論探討科學桌遊是可行的方法，因為針對桌遊組成的探討是不牽涉學生在遊戲時的知識建構過程與桌遊在學習過程中的功能性，應去除認識論和方法論。因此，從模型本體論探討桌遊的組成，是將桌遊組成與科學模型做連結的關鍵。此外，科學模型跟桌上遊戲的本質有兩個面向相似，(1) 科學學習的目的：科學模型在協助瞭解科學系統，科學桌遊的結構亦如同科學知識系統結構，有助於呈現科學系統。(2) 本質存在的意義：桌上遊戲設計者發想了一個模擬的、可運作的世界，再藉由桌上遊戲的各個組成，表徵遊戲世界中的物件、事件與現象；與科學模型相近，科學模型是自然世界的科學知識的表徵。這兩個面向的對應關係顯示科學桌遊的本質與科學模型的本質接近，若能選用適當地模型分類，將科學桌遊轉化為科學模型，應更能說明與建立科學桌遊與科學模型的連結。

以下列出基於模型本體地位進行分類的各類別，以表達和描述模型間的差異與共同的特徵，藉此釐清可運用至科學桌遊的分類方式。

(一) Gilbert et al. (2000) 的分類

Gilbert 等人的觀點中，科學的模型是出於特定目的的表現物件、事件、想法與現象，應用範圍相當廣泛。可以用不同尺度大小來對應存在的物體；也可以將抽象的物件視為模型的對象；可以是一個事件；也可以呈現一個系統和相互間的關係（表 3）。

表 3 Gilbert、Boulter 和 Elmer(2000) 的模型分類類別

類別	說明
心智模式 (mental model)	私人、個人化的認知表徵。
表達模型 (expressed model)	個人或小組成形，於公眾領域的一種或多種交互模型。
共識模型 (consensus model)	不同的小組在討論與實驗之後均同意且有價值的模型。
歷史模型 (historical model)	在特定歷史情境下產生，會被之後取代的共識模型。
課程模型 (curricular model)	將歷史或科學模型包含至正式課程，簡化後的模型。
教學模型 (teaching model)	通常共識、歷史、課程模型難理解，教師或學生開發易理解的模型。
混合模型 (hybrid model)	合併每個不同模型的特徵具一致性，用以課程與課堂教學。
教育模型 (model of pedagogy)	教師在課堂中使用，關注科學本質、科學教學本質和科學學習本質的模型。

(二) 陳瑞麟 (2004) 的分類

陳瑞麟從模型的存有狀態探討分類，提出「模映」(modeling) 一詞，即一物對另一物的模仿或模擬，而模映對方的事物即為「模型」，而被模映的事物可以是實體物件、行為、現象等，通常蘊涵事物之間的關係 (表 4)。

表 4 陳瑞麟 (2004) 提出的六種模型類別

模型類別	實例	存有狀態
實物模型	模型玩具、縮小橋樑、建築等等	三度空間的實體物
圖像模型	原子結構圖、DNA 的心中形象	二度空間圖案或心像
概念模型	概念系統、動物行為、社會學理論	概念
理論或數學模型	運動定律、供需定律等等	數學存目
邏輯模型	兩集合間一般性的關係結構	集合論存目
電腦模型	螢幕模擬駕駛、飛行	程式

(三) Harrison and Treagust (2000) 的分類

Harrison 和 Treagust 從教師課室教學探討模型，認為教學用的科學模型需有系統性地分類，並利用模型間的特性來適當地類比與解釋科學現象與科學知識，以用於學生學習科學。類比模型包括縮放和誇大實體物體；符號和方程式；圖表和地圖；模擬等類比模型 (表 5)。

表 5 Harrison 和 Treagust (2000) 提出的十種模型類別

模型類別	次類別	說明
用來建立 概念知識	尺度模型(Scale model)	描述指定物件的顏色、外部形狀和結構，非以材料、內部結構，功能用途為主。例：動物模型、汽車玩具。
	教學類比模型 (Pedagogical analogical models)	教師解釋與分享資訊的教學方式，通常藉由簡化或誇大的模擬來突出想要傳達的概念屬性。例如：原子是球，原子鍵插入在球中間。
	標誌和符號模型 (Iconic and symbolic models)	採用符號或標示來解釋物件的組成，例如：二氧化碳的化學式 CO_2 ，或是 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ 。
	數學模型 (Mathematical models)	以數學方程式表示物理性質和過程，用以描繪概念性的關係。例如： $k = PV$ 。
	理論模型 (Theoretical models)	人類建構用來描述理論的基礎實體，例如：氣體動力學模型。
描述多重 概念和過 程	地圖，圖表和表格 (Maps, diagrams and tables)	主要在表徵模式、路徑和關係，讓學生簡易判讀的圖像。如，天氣圖、電路圖。
	概念過程模型 (Concept-process models)	呈現一個非物質概念的過程 (概念-過程)，例如：氧化還原的化學平衡過程。

	模擬(Simulations)	多種動態的模型，一個複雜的過程。例如：全球暖化。
實體、理論和過程	心智模型(Mental models)	一種心智的、類比的表徵，個體在與他人互動時所產生的，具高度個人化與動態性。
的個人模型	綜合模型(Synthetic models)	學生不斷發展中的概念，綜合了初始模型與教師傳達的科學模型。例如：學生使用太陽系模型來學習原子結構。

思考科學桌遊應用在科學學習的目的與功能，乃設計者將科學知識建構成具範圍性的遊戲世界，規畫具體運作規則，並使用實體配件表徵遊戲世界與規則，供遊戲者自主操作。依此目的下，文獻中各種模型本體地位之分類類別，並不是所有的分類方式都可以做為模型化桌遊的依據。Gilbert 等人的分類含有個人想法、共同想法、歷史情境等人為因素與過程，不適合作為作為具制式規則性的桌遊的模型化依據；陳瑞麟的分類則以哲學觀點出發，以存有狀態的分類項目較 Gilbert 具體，然則與 Harrison 和 Treagust 的分類相比，後者的分類觀點以教學實務為依據，更為接近科學桌遊的目的；此外，Harrison 的分類類別也較多，應更能詳細地將科學桌遊模型化，進而在本研究中探討科學桌遊的組成與設計。

Harrison 和 Treagust 的模型分類較適合用於分析桌遊組成，他們將在學習上用於類比或解釋科學知識的方式，有系統性地分類出十種科學模型。是故，若要以此模型分類對應於桌遊的組成，且符合科學模型的本體地位（自然世界的科學知識的表徵），桌遊組成之特性需：具單一本質性，可由單一科學模型對應；具表徵性，可表現科學知識上的意義；具運作性，玩家可運用模型類比或解釋科學知識。因此，桌遊本體組成部分，不是每個都適合呈現科學模型，以下對各個組成予以說明：

- 1. 背景主題：**背景主題是桌遊的環境，僅為字詞上的描述與定義，不具物件外表、事件過程等意義，沒有表徵性和運作性，不適合呈現科學模型。
- 2. 流程規則：**由多個細部組成組構而成，不具單一本質特性，無法單一分類科學模型，不適合呈現科學模型。
- 3. 實體配件：**可細分圖板、卡牌或指示物等，具有表徵的意義，適合呈現科學模型。
- 4. 流程規則—勝利目標：**勝利目標指遊戲目的、達成目標、結束條件，為單一事件過程，也有運作性，適合呈現科學模型。

5. **流程規則—初始設置**：玩家一開始擁有的資訊與資源，僅為描述性內容，不具運作性，不適合呈現科學模型。
6. **流程規則—回合過程**：一回合的過程，雖然具事件流程，但回合過程由許多機制／事件組合而成，屬複合性的組成，無法單一歸類，不適合呈現科學模型。
7. **流程規則—階段機制**：在情境下的行動操作與回饋計算，具有事件、現象等過程，有單一性、運作性，適合呈現科學模型。
8. **流程規則—物件單元**：桌遊環境的單位，僅為定義性的內容，不具物件外表、事件過程等意義，不適合呈現科學模型。

總結上述判斷，設計科學桌遊時能在／應在「勝利目標」、「階段機制」、「實體配件」等桌遊組成，依據其科學知識內容，以 Harrison and Treagust (2000) 提出的十種模型類別，呈現這些組成對應的科學模型(本文命名為科學桌遊模型)，建構出科學桌遊模型化的脈絡(圖 7)。

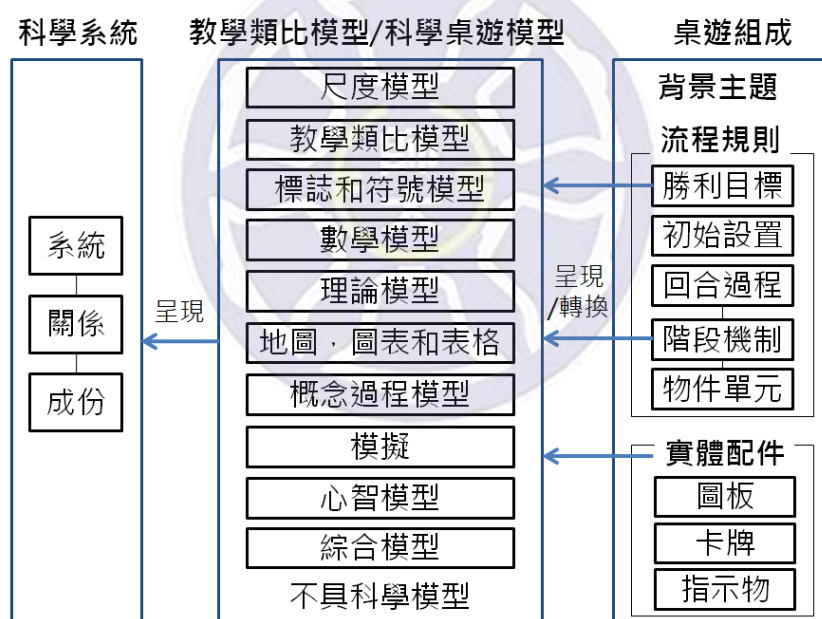


圖 7 模型化科學桌遊：科學知識系統、科學模型與桌遊組成的關係

三、模型化之架構使用示例與討論

本文嘗試以圖 7 之脈絡，分析 5 篇科學桌遊實徵研究的文章以及一款現行的科學桌遊，以示意科學桌遊組成的模型化。分析內容與過程如下：(1) 分析可模型化的桌遊組成及其科學內容，包含：勝利目標、階段機制、實體配件。(2) 分析各組成的科學內容及對應的科學模型。結果如表 6，顯示：(1) 依循模型化架構，科學桌遊的組成可轉換成科學模型，其中，若該組成具有科學概念，則能轉換成相對應的概念本質的科學模型，若不含科學概念，則該

組成不具有科學模型；(2) 部分桌遊的勝利目標並未具有科學模型，但所有桌遊皆至少含有一種具科學模型的階段機制，這種階段機制可能是讓桌遊具有學習效果的因素；(3) 若一個遊戲具有許多情境與階段機制，則通常可以呈現多種科學模型與概念本質。上述的結果顯示階段機制是科學桌遊的核心，除了維持遊戲運作外，也是讓桌遊具學習成效的因素之一 (Cheng et al., 2016; Cheng, Yeh, Tsai, Lin, & Chang, 2019)。此外，若要學習不同本質的科學概念，科學桌遊可採用相對應的模型與階段機制。

藉由初步分析可得到科學桌遊基本上具有科學模型的特徵，若進一步分析與回顧桌遊實徵研究，應可歸結出科學桌遊設計在科學桌遊組成與科學模型的運用，並找尋可作為科學桌遊設計程序的要點與特徵。

表 6 科學桌遊模型化之使用示例

桌遊主題	桌遊組成	組成說明	科學桌遊模型
蜜蜂行為 (Peppler et al., 2013)	勝利目標	勝利：採集蜂蜜最多的玩家	概念過程模型：思考蜜蜂採集蜂蜜的過程和方法以獲得蜂蜜
	階段機制	擲和走：骰點、蜜蜂行為和移動格子的關係	不具科學模型：蜜蜂的行為並非隨機或無決策的進行
		手牌管理：蜜蜂行為與蜂蜜量的關係	概念過程模型：不同的蜜蜂行為會獲得不同的蜂蜜量
	實體配件	板塊：蜜蜂的各種行為 卡牌：蜜蜂的單一行為	概念過程模型：行為之間的因果關係 教學類比模型：教師設計模擬的蜜蜂行為
DNA 排序 (Miralles et al., 2013)	勝利目標	勝利：接最長的 DNA 的玩家	概念過程模型：了解會影響 DAN 連結的因素
	階段機制	模式組合：連結 DNA 的 ATCG 的編碼與排序	標誌或符號模型：組合 ATCG 的符號，連結 DNA
		手牌管理：基因突變影響或改變 DNA 排序	概念過程模型：操作與 DAN 有關的因素，影響 DNA 連結
	實體配件	卡牌：基因突變 指示物：DNA 模型	概念過程模型：影響 DAN 連結的因素 標誌或符號模型：ATCG 的符號與連結
太陽系天體 (Kirikkaya et al., 2010)	勝利目標	勝利：最先收集完太陽系行星的玩家	尺度模型：了解太陽系的行星與外表
	階段機制	擲和走：建立骰點和移動格子的關係	不具科學模型：骰點與移動格子與科學無關
		敘事：抽卡牌並回答問題	教學類比模型：教師給予案例問題，請學生回答
	實體配件	板塊：繞圈的格子	沒有科學模型：板塊與太陽系無關

		<p>卡牌：向學生提問太陽系問題用的情境卡牌</p> <p>指示物：八大行星小模型</p>	<p>教學類比模型：卡牌呈現案例與問題</p> <p>尺度模型：指示物呈現行星的外型</p>
人體消化系統與循環系統 (Gutierrez, 2014)	<p>勝利目標</p> <p>階段機制</p> <p>實體配件</p>	<p>勝利：最先把手牌出完的玩家</p> <p>敘事：組合打出並解釋</p> <p>卡牌：消化系統或循環系統的外型</p>	<p>不具科學模型：手牌不與科學知識有關</p> <p>心智模型：學生闡述自己的理解</p> <p>尺度模型：消化系統或循環系統的外型</p>
化學結構式 (Morris, 2011)	<p>勝利目標</p> <p>階段機制</p> <p>實體配件</p>	<p>勝利：最先把手牌出完的玩家</p> <p>模式組合：出牌組成結構</p> <p>卡牌：離子符號</p>	<p>不具科學模型：手牌不與科學知識有關</p> <p>標誌或符號模型：組合出化學的結構式</p> <p>標誌或符號模型：離子符號</p>
「演化論」 (BoardGame Geek, 2010)	<p>勝利目標</p> <p>階段機制</p> <p>實體配件</p>	<p>勝利：存活物種數量及性狀數最多的玩家</p> <p>手牌管理：出牌讓物種誕生、物種擁有性狀</p> <p>擲骰：骰子隨機出現食物</p> <p>行動選擇：選擇自己的物種進行各種吃食、攻擊或防禦行為</p> <p>卡牌：物種的模樣</p> <p>卡牌：性狀的功能性與效果</p>	<p>概念過程模型：需理解物種存活的原因與過程</p> <p>概念過程模型：物種性狀改變的現象過程</p> <p>不具科學模型：食物數量並非完全隨機的出現</p> <p>概念過程模型：物種食性與性狀對於進食行為的影響</p> <p>尺度模型：物種的外型</p> <p>概念過程模型：性狀對於進食與存活的影響</p>

第三章、科學桌遊與它們的 Cases

第二章藉由文獻探討建立了基於科學學習理論的科學桌遊分析項目，包含有科學桌遊組成與科學桌遊模型，這些項目也可分析科學桌遊在科學學習的設定。在此章將進一步回顧與探討科學桌遊的設計與運用，從這些桌遊中找尋可作為科學桌遊設計程序的要點與特徵。

第一節 科學桌遊分析架構

本節回顧過去的實徵研究，從研究中歸納與釐清科學桌遊設計程序的注意事項。分析的內容有科學桌遊組成與科學桌遊模型。

本研究定義之科學桌上遊戲，乃以科學知識做為遊戲內容，遊戲同時具有遊戲世界與科學知識，並且玩家未使用任何數位載具，單純以實體物件和人工操作的方式來進行遊玩。搜尋的文章主要以期刊論文為主，以非數位科學桌上遊戲為搜尋目標，資料的搜尋邏輯為：「桌上遊戲」與「科學領域」之交集，然後，排除「數位」。本研究收集 38 篇論文，各篇論文之分析方法採用內容分析法整理科學桌遊的研究背景、桌遊組成、科學桌遊模型等三部份，其中，(1) 研究背景的分析目的在了解不同學科與對象之科學桌遊的運用現況，釐清各學科運用／設計桌遊的目的或目標；(2) 桌遊組成的分析目的在探討與歸結實徵研究中在科學桌遊的組成常用的設計與運用；(3) 科學桌遊模型目的在分析該桌遊的科學桌遊模型，以釐清科學桌遊模型在科學學習的應用，以及桌遊運用至科學學習的注意事項。以下分項說明之。

一、研究背景分析

包括有「主題學科」、「研究對象」，如表 7。

表 7 科學桌遊研究背景之內容分析表

分析項目	構面	分類別	說明
研究背景	主題學科	物理 (physics)、化學 (chemistry)、生物 (biology)、地球科學 (earth science)、醫學 (medical science)、環境科學 (environmental science)	自然科學領的各學門
	研究對象	國小學生 國中學生 高中學生 大學學生 教師	研究對象為國小學生 研究對象為國中學生 研究對象為高中學生 研究對象為大學學生 研究對象為教師

二、桌遊組成分析

以可模型化的桌遊組成為分析對象，另加上「背景主題」。因「背景主題」是玩家在接觸該桌遊時，第一時間建構的想像的遊戲世界，具有存在意義，故增加探討桌遊的世界環境—「背景主題」。因此，在組成分析有「背景主題」、「勝利目標」、「階段機制」、「實體配件」，編碼如表 8。其中，(1)背景主題：時間脈絡由古至今，硬體環境依小至大分，另外還有角色種族和應用背景共四個構面。(2)勝利目標有結束條件、勝利判定。(3)階段機制：擲和走 (Roll and Move)、模式組合 (Pattern Building)、成套收集 (Set Collection)、記憶 (問答) (Memory)、手牌管理 (Hand management)、敘事 (Storytelling)等 51 種全球桌遊玩家與設計者的桌遊網站平台 (Boardgamegeek) 所列出的機制種類 (BoardGameGeek, 2018b)。(4)實體配件：圖板、卡牌、指示物的使用數量。

表 8 科學桌遊本體組成之內容分析

本體組成	構面	分類別	編碼	說明
背景主題 (Theme)	時間脈絡 (Time)	史前時代 (Prehistoric)	TT-P	人類出現前
		上古時代 (Ancient Time)	TT-A	人類出現至 3 世紀
		中世紀 (Middle Ages)	TT-MA	3 世紀到 15 世紀
		現代 (Modern)	TT-M	15 世紀到 22 世紀
		未來 (Future)	TT-F	22 世紀後
		其他 (Other)	TT-O	其他未在上述描述中的
		硬體環境 (Environment)	微粒 (Micro) 組件 (Component) 組構 (Structure) 領域 (Field) 星球 (Planet) 太空 (Space) 其他 (Other)	微粒 (Micro)
組件 (Component)	TE-C			肉眼能見全貌，不大於人體
組構 (Structure)	TE-T			肉眼能見全貌，大於等於人體
領域 (Field)	TE-F			肉眼不能見全貌，極大於人體
星球 (Planet)	TE-P			一個星球的尺度
太空 (Space)	TE-S			一個太空的尺度
其他 (Other)	TE-O			其他未在上述描述中的
角色種族 (Role)	人類 (Human) 動物 (Animal) 外星生命 (Extraterrestrial) 奇幻非人種族 (Fantasy) 其他 (Other)	人類 (Human)	TR-H	玩家扮演人類
		動物 (Animal)	TR-A	玩家扮演動物
		外星生命 (Extraterrestrial)	TR-E	玩家扮演外星人
		奇幻非人種族 (Fantasy)	TR-F	玩家扮演非人種族
		其他 (Other)	TR-O	其他未在上述描述中的
應用之科學 背景 (Background)	自然科學 (Natural science) 應用科學 (Applied Science) 形式科學 (Formal science) 其他 (Other)	自然科學 (Natural science)	TB-N	物理、化學、天文、生物...等
		應用科學 (Applied Science)	TB-A	電腦、工程、運輸、農業...等
		形式科學 (Formal science)	TB-F	數字、數學、邏輯、統計...等
		其他 (Other)	TB-O	其他未在上述描述中的

勝利目標 (Rule-Victory)	結束條件 (End condition)	手牌出完 (Card)	RE-C	玩家出完手牌時
		回合到達 (Round)	RE-R	指定的回合數結束時
		數值完成 (Value)	RE-V	以某物件單元的數值為目標
		時間終止 (Time)	RE-T	在一定時間內結束
		其他 (Other)	RE-O	其他未在上述描述中的
勝利判定 (Victory judgment)		最高數值 (Value)	RV-V	擁有某物件單元數值最高者
		最先到目標 (Destination)	RV-D	最先滿足目標者 (終點、數量)
		最後存活 (Survival)	RV-S	最後 (唯一) 存活者
		其他 (Other)	RV-O	其他未在上述描述中的
階段機制 (Game mechanics)	階段機制 (Game mechanics)	擲和走 (Roll and Move)	RM	丟骰子，並依骰點前進
		模式組合 (Pattern Building)	PB	組合各種模式來獲得回饋
		成套收集 (Set Collection)	SC	鼓勵玩家收集一系列物品
		記憶 (問答) (Memory)	ME	要求玩家回憶以前的遊戲事件
		手牌管理 (Hand management)	HM	藉由打出手牌來獲得益處
		敘事 (Storytelling)	ST	藉由說故事來達成條件
	其他 45 種	...	依 BGG 分類的描述編碼	
實體配件 (Components)	圖板 (Board)	遊戲圖板：數量	CB-N	遊戲圖板的數量
		卡牌 (Card)	CC-N	遊戲卡牌的數量
		指示物 (Token)	CT-N	遊戲指示物的數量

三、科學桌遊模型分析

將桌遊組成模型化成科學模型的科學桌遊模型，以桌遊組成與科學桌遊模型之類別來共同標記 (表 9)。

表 9 科學桌遊組成與科學模型的標記

桌遊組成		對應	科學模型類別			
類別	編碼	↔	類別	編碼	類別	編碼
勝利目標	Th		尺度模型	SM	理論模型	TM
階段機制	Ma		教學類比模型	PM	模擬	SI
實體圖板	Bo		數學模型	MM	心智模型	MeM
實體卡牌	Ca		概念過程模型	CM	綜合模型	SM
實體指示物	To		標誌或符號模型	IM	沒有應對到科學模型	Non
			地圖、圖形和表格	DM		

註：此表的使用方式為：若左欄的本體組成，符合右欄的科模型類別其中一種，便予以組合。例如：遊戲目標是治療所有病人 (的概念與過程)，即為「勝利目標－概念過程模型」；遊戲中的圖板在描述細胞的樣貌與大小，即為「實體圖板－尺度模型」；遊戲的卡牌呈現教師模擬的情境過程，即為「實體卡牌－教學類比模型」。

第二節 桌遊背景與組成的回顧結果

一、研究背景

在 38 篇論文中，對象是大學生最多 (60%)，其次是高中 (21%)；學科則多以生物 (34%)、醫療 (29%) 為主 (表 8)，環境科學(5%)和物理(7%)的論文則很少 (表 10)。進一步分析，有 7 篇論文 (18%) 是以醫學系大學生為研究對象，以解決醫療問題為學習目的桌遊 (Beylefeld & Struwig, 2007; Nuetzman & Abdullaev, 2012)，同樣的，有 5 篇生物學科的桌遊也多以醫學系大學生為對象，在增進人體構造之知能 (Anyanwu, 2014; Coil, Ettinger, & Eisen, 2017)。探討桌遊在科學領域的運用：(1) 醫療的學習以注重臨床學習與案例探討，故運用桌遊的方式進行案例探討，是在醫學學習中被加以運用的方式。(2) 物理、化學運用桌遊的研究較少，有可能是因為學科概念較注重多項變數的計算與實驗操作，可能較難運用桌遊來達到學習效果。總結：運用桌遊時需考量學科概念的內涵與學習方式，若桌遊能配合學科概念的內涵或學習方式，應可多加利用。

表 10 論文回顧之研究對象與主題學科

學科	國小生	國中生	高中生	大學生	教師	論文數
生物	2	-	2+4 ^a	5+4 ^a	-	13
化學	-	-	-	6	-	6
環境科學	-	-	-	1	1	2
地球科學	1	1	1	1	-	4
醫療	-	1 ^c	1 ^b +1 ^c	7+1 ^b	-	10
物理	2	-	-	1	-	3
論文數	5	2	9	26	1	38

^a 四篇論文同時以高中生和大學生為對象；^b 此篇論文同時以高中生和大學生為對象；

^c 此篇論文同時以國中生和大學生為對象。

二、桌遊組成

(一) 背景主題

結果如表 11。時間脈絡都是「現代」(100%)，例如現代環境保育、太陽系組成、化學領域發現等；硬體環境以組件 (45%) 和微粒 (26%) 佔多數，其次為組構 (16%) 與領域 (11%)，配合學科主題分析比例的原因：(1) 醫療與生物文章佔多數 (全部論文的 61%)；(2) 醫療與生物的學習主題通常以人體器官／人體病理為主，多為組件與微粒 (Coil et al., 2017; Steinman

& Blastos, 2002), 佔兩學科領域 78%, 佔組件與微粒尺度論文數 60%; (3) 另外, 化學的 6 篇文章也全是微粒尺度 (100%) (Carney, 2014; Farmer & Schuman, 2016), 這使得回顧文章中, 組件與微粒尺度有較多的比例 (共 71%)。

討論背景主題的設計, (1) 時間都為現代, 可能原因是科學桌遊是教授現今科學知識為目的, 故設計現代的時間背景, 也避免因為應用了其他時間脈絡而導致學生誤解科學信度或效度的可能 (Smith, 2003; van der Stege, van Staa, Hilberink, & Visser, 2010)。(2) 硬體環境的設計, 將桌遊運用在特殊的自然環境之學習, 例如: 極小的難以直接用肉眼觀看的尺度(化學領域)、或隱藏在人體(生物醫療領域)、或非人(昆蟲)行為 (Lauren, Lutz, Wallon, & Hug, 2016; Morris, 2011)。這反映當學習內容需要藉助高階儀器, 或需要呈現極端尺度時, 也許可以改使用桌遊來協助了解概念。

(二) 勝利目標

以「完成數值時遊戲結束, 最先達到數值目標的玩家獲勝」居多 (37%), 其次是「到特定時間時遊戲結束, 擁有最多分數的玩家獲勝」(29%), 再來則是「當有玩家手牌出完時遊戲結束, 最先將手牌出完的玩家獲勝」(18%)。三種遊戲勝利目標在各領域皆有, 並無特別的運用領域。討論勝利目標的設定: (1)「最快完成數值」做為贏家的設定(到達終點、收集金錢、手牌最先出完等)居多(Anyanwu, 2014; Rose, 2011), 可能原因是目標明確、公平競速等特性, 能刺激玩家間的競爭性, 是常用增強遊戲投入的手法 (Engelstein, 2017)。(2)「到特定時間時遊戲結束」的設定, 則多因為回顧的文章多是運用在課堂中, 受限於需在固定時間的課程時間內遊玩遊戲, 故遊戲結束的條件設計採以「時間」做為遊戲結束, 然後比積分, 也是一種勝利目標的設計 (Farmer & Schuman, 2016; Viggiano et al., 2015)。

(三) 階段機制

階段機制指玩家在桌遊中可運用的動作與回饋方式, 38 篇論文主要運用 8 種機制, 最多的是「敘事」(22%)、「擲和走」(21%) 以及「記憶/問答」(20%), 其次是「模式組合」(16%), 「成套收集」與「手牌管理」則為少數。討論可能原因為: (1)「擲和走」的經典之作是「大富翁 (Monopoly)」, 採用丟擲骰子判定前進格數進而在格子觸發事件, 是相當令人熟悉且易於設計的機制, 因此運用比例不低 (Pippins, Anderson, Poindexter, Sultemeier, & Schultz, 2011; Valente et al., 2009)。(2)「記憶/問答」與「敘事」偏高的原因可發現多使用在生物與醫療領

域(共佔74%)，採用案例討論的方式，由學生抽取問答卡並回答問題，也因為生物與醫療的論文數多，使得這兩種機制在此8種機制裡的比例偏高；同時，因案例討論的方式，也可看到這兩種機制會同時出現(Beylefeld & Struwig, 2007; Karbownik et al., 2016)。(3)「模式組合」是將兩兩具相關的牌組合後，獲得回饋資訊的機制，「成套收集」則是收集一系列有相關的卡牌。這兩種機制適合用在具對應關係、分類關係的概念中，是多數自然學科裡的學習內涵(Campbell & Reece, 2003; 莊志彥、蘇育任，1999)，也看到兩個機制都有在各學科被使用。

(四) 實體配件

有23篇(61%)使用圖板，且大部分是配合「擲和走」機制(Viggiano et al., 2015; Yoon, Rodriguez, Faselis, & Liappis, 2014)。卡牌在所有桌遊中都有被運用到(100%)，指示物則應用的較少，也多是配合「擲和走」機制(Anyanwu, 2014; Arslan et al., 2011)。

(五) 小結

科學桌遊在科學領域的運用，基本上會配合學科的概念內容及學習方式，以及對應的時間與空間環境。為了讓桌遊能運用在課堂，或引起學生投入，勝利目標可設計遊玩時間彈性的「到特定時間時遊戲結束」，也能安排具競速性的贏家判斷方式增強遊戲投入。部分遊戲的階段機制會考量使用者的上手程度，並配合學科的學習內涵。思考遊戲的機制，一個遊戲所含的機制數量與種類，影響到遊戲性也影響玩家所思考的廣度與深度，對於再玩性也會有影響，而策略性與隨機性通常是一種分法取向(Engelstein, 2017)。通常隨機性越高的遊戲，回饋的不可控制度越高，玩家的刺激度與情緒也易激發，「擲和走」的擲骰就屬於隨機性機制，「成套收集」也有抽牌隨機性(BoardGameGeek, 2018b)。策略性高的遊戲，能讓學生控制各項變數，提供規劃與再次修正的機會，「模式組合」、「手牌管理」即偏向策略抉擇。其他機制例如「記憶問答」和「敘事」則依賴玩家的記憶能力，若玩家的能力不高，又無法在遊戲中提升，則可能造成艱困的反應，對遊戲喪失樂趣(Csikszentmihalyi, 1990)。因此，設計科學桌遊時的遊戲性、隨機性與策略性的平衡，需考量學生背景能力程度。

桌遊的機制代表桌遊的結構度，也呈現科學桌遊欲傳達的科學知識結構之複雜度。目前90%的遊戲僅使用三種以內的機制，顯示大多遊戲並非呈現複雜科學系統，而是特定概念的知識(Kirikkaya et al., 2010; Lennon & Coombs, 2006)。另外，不同的機制類型組合，給予玩家不同的調節作用，回饋訊息的方式與類型會影響玩家的遊玩與學習(Engelstein, 2017; Skinner,

1958)，對於桌遊機制的的作用，值得未來深入探討。

表 11 論文回顧之學科主題與桌遊組成

學科	背景主題			流程規則 (各學科統計)		實體配件 (各學科統計)								
	時間脈絡	硬體環境	角色種族	結束條件_勝利判定	階段機制	圖板種類	卡牌種類	指示物種類						
生物 (13)	TT-M (13)	TE-M (3)	N/A (3)	RE-C_RV-D (2)	PB (1)、HM (1)	CB-0 (5)	CC-1 (8)	CT-0 (5)						
		TE-C (9)	N/A (4)	RE-R_RV-V (2)	SC+ST (2)、GM+HM (1)	CB-1 (7)	CC-2 (4)	CT-1 (8)						
			TR-A (2)	RE-T_RV-V (3)	PB+HM (1)、RM+HM (1)	CB-2 (1)	CC-3 (1)							
			TR-H (2)	RE-V_RV-D (4)	RM+ME+ST (3)									
			TR-O (1)	RE-V_RV-S (1)	ME+ST+SC (1)									
		TE-F (1)	TR-H (1)	RE-V_RV-V (1)	HM+PB+ME+ST (1) RM+ME+ST+PB (1)									
化學 (6)	TT-M (6)	TE-M(6)	N/A (6)	RE-C_RV-D (4)	SC (2)、PB (1)、SC+ST (1)	CB-0 (6)	CC-1 (3)	CT-0 (6)						
				RE-T_RV-V (2)	PB +HM (2)				CC-2 (3)					
環境 (2)	TT-M (2)	TE-F(2)	TR-H (2)	RE-V_RV-D (2)	HM (1)、RM+ME+ST (1)	CB-1 (2)	CC-1 (1)	CT-1 (2)						
地球 科學 (4)	TT-M (4)	TE-C (1)	N/A (1)	RE-C_RV-D (1)	PB +HM (1)、RPS+SC (1)	CB-0 (2)	CC-1 (3)	CT-0 (2)						
		TE-T (1)	N/A (1)	RE-O_RV-V (1)	RM+ME+ST (1)				CB-1 (2)	CC-2 (1)	CT-1 (2)			
		TE-F (1)	N/A (1)	RE-V_RV-D (2)	RM+ME+ST+PB (1)									
		TE-P (1)	N/A (1)											
醫療 (10)	TT-M (10)	TE-M (1)	TR-H (1)	RE-T_RV-V (6)	SC (1)、RM+PB (2)	CB-0 (1)	CC-1 (7)	CT-0 (2)						
		TE-C (5)	N/A (1)	RE-V_RV-D (4)	RM+ME+ST (6)				CB-1 (9)	CC-2 (3)	CT-1 (8)			
			TR-H (4)		RM+ME+ST+PB (1)									
		TE-T (4)	TR-H (4)											
物理 (3)	TT-M (3)	TE-C (2)	N/A (2)	RE-C_RV-D (1)	PB (2)、RM+ME+ST (1)	CB-0 (1)	CC-1 (2)	CT-0 (1)						
		TE-T (1)	TR-H (1)	RE-V_RV-D (2)					CB-1 (2)	CC-2 (1)	CT-1 (2)			
論文 數 (38)	TT-M (38)	TE-M (10)	N/A (9)	RE-C_RV-D (7)	HM (2)、SC (3)、PB (4)、	CB-0 (15)	CC-1 (24)	CT-0 (16)						
			TR-H (1)	RE-V_RV-D (14)	GM+HM (1)、RPS+SC (1)、				CB-1 (22)	CC-2 (13)	CT-1 (22)			
		TE-C (17)	N/A (8)	RE-V_RV-S (1)	RM +HM (1)、RM+PB (2)、							CB-2 (1)	CC-3 (1)	
			TR-A (2)	RE-V_RV-S (1)	SC+ST (3)、PB+HM (4)、									
			TR-H (6)	RE-V_RV-V (1)	RM+ME+ST (12)、									
			TR-O (1)	RE-R_RV-V (2)	ME+ST+SC (1)、									
		TE-T (6)	N/A (1)	RE-T_RV-V (11)	HM+PB+ME+ST (1)									
			TR-H (5)		RM+ME+ST+PB (3)									
		TE-F (4)	N/A (1)	RE-C_RV-V (2)										
			TR-H (3)											
	TE-P (1)	N/A (1)												

註：()括號裡面為具有此編碼的論文篇數

第三節 科學桌遊模型的回顧

一、科學桌遊模型

(一) 勝利目標

結果如表 12。大多數都是以「數值」做為遊戲結束或勝負的判定，因此，若判定的數值具科學意義與概念內容，且含有目標的完成過程時，其科學桌遊模型會是概念過程模型 (Knudtson, 2015; Spiegel et al., 2008)，是部分遊戲的特點(39%)；然而，若判定的數值或結束的條件並未是科學概念或未具科學意義時(例如：手牌先丟完)，就不屬於科學模型 (Spandler, 2016; Trevino et al., 2016)，這類的科學桌遊將近一半(45%)。回顧的文章中以較高階複雜的模型(模擬、理論模型)做為勝利目標的論文相當少，僅只有 1 篇文章(3%)，主題為全球暖化 (Eisenack, 2013)。

勝利目標為流程規則的子類別，是引導玩家走向勝利，最受玩家關注與刺激玩家思維的桌遊本體組成，相當重要 (Starks, 2014)。然而，將近一半的科學桌遊使用「如果手牌出完就結束，看誰先出完」的勝利目標，在科學桌遊模型中不具有科學模型的本質，建議應加以利用「勝利目標」在桌遊中的重要性。

(二) 階段機制

階段機制呈現了遊戲組件單位間的關係，所有的桌遊都有利用階段機制來呈現概念知識，其中，運用概念過程模型的桌遊有 32%，有 13%的桌遊利用地圖與圖表模型來呈現學科概念；比較特別的是，有一半的論文使用心智模型 (53%)，這主要是運用了階段機制「敘事」(Story Telling)：讓玩家根據自己的想法來解釋和描述 (Carney, 2014; Karbownik et al., 2016)，因此，屬於心智模型。根據結果顯示：(1) 特定的機制表現了特定的模型，例如「敘事」呈現心智模型。另外，(2) 同一機制有可能表現出不同的模型，例如「模式組合 (Pattern Building)」：允許玩家依照特定的模式，將手牌組合，然後得到回饋，是故，若遊戲設計是讓玩家組合概念過程的原因或變數後，可以得到過程後的結果，就屬概念過程模型 (Chen et al., 2012; Knudtson, 2015)；如果是將具有相同／不同特性的卡牌組合／分類後，可以得到組合後的結果，則屬於地圖與圖表模型 (Gibson & Cooper, 2017; Spandler, 2016)。值得一提的是，(3) 並非所有機制都可以符合科學模型，像是「擲和走」的機制：用骰子呈現隨機性的前進步數，

鮮少有科學概念符合，故此機制很難符合科學模型。

階段機制的功能是在協助玩家了解遊戲世界，並且得以預測和推導遊戲中的回饋關係。回顧過去的研究，每個遊戲經由 1-3 個機制構成，運用了 1-2 個科學模型，以構成簡單的知識結構。階段機制對於遊戲運作與平衡的影響以及是否有發揮功能來協助學生對遊戲世界和主題學科的了解，值得進一步探討。

(三) 實體配件

運用圖板的有 23 篇(61%)，然而大部分只是配合「擲和走」的機制，並無運用科學模型(73%) (Lennon & Coombs, 2006; Pippins et al., 2011)；另外有 2 篇是概念過程模型，將蜜蜂的一生與行為原因繪製在圖板上 (Lauren et al., 2016; Peppler et al., 2013)，也有將細胞繪製在圖板上，是為尺度模型 (Spiegel et al., 2008)。卡牌則在所有遊戲都有被運用，呈現遊戲內容、供玩家操作，且都具有模型表徵的功用。多數的卡牌呈現科學的符號模型 (21%) 以及圖表模型 (39%) (Gutierrez, 2014; Viggiano et al., 2015)，特別的是有將近半數的遊戲使用教學類比模型(47%)，由教師將模擬的問題或案例寫在卡上，讓學生在抽到問答卡時提出看法和解釋答案 (Beylefeld & Struwig, 2007)。指示物則將近 86% 只是做為一般指示物，並無模型的表徵特性，但有桌遊運用指示物來呈現尺度模型，例如：DNA 的樣貌與排序 (Miralles et al., 2013)、太陽系的星體 (Kirikkaya et al., 2010)。

回顧分析桌遊實徵研究，遊戲中有使用高階模型的是環境科學的桌遊「Keep Cool」，學科單元為全球暖化 (Eisenack, 2013)。該遊戲的勝利目標運用了「模擬」模型，以全球各國在發展經濟時也要顧及排碳量和引發的全球暖化為背景，模擬出影響全球暖化的多項因素；運用了策略性高的「手牌管理」機制，讓玩家可以依據自身需求，觀察遊戲發展、預測回饋結果，以建立自己的策略過程，是概念過程模型；卡牌也呈現了每個數值之間的關係，也使用了碳與溫度呈正相關的實體指示物，具象化兩者間的數學關係。就遊戲提供的科學系統概念、遊戲的遊戲性，相較其他論文具較高層次的設計表現。

表 12 論文回顧之桌遊組成與對應的科學模型

實體配件	桌遊組成	子類別	對應的科學模型
說明書 (38) (遊戲說明)	勝利目標 (38)	RE-C_RV-D (7)	Th-Non (7)
		RE-R_RV-V (2)	Th-SI (1)、Th-CM (1)
		RE-T_RV-V (11)	Th-IM (2)、Th-CM (9)
		RE-V_RV-D (14)	Th-SI (1)、Th-DM (1)、Th-PM (1)、Th-CM(2)、Th-Non(9)
		RE-V_RV-S (1)	Th-CM (1)
		RE-V_RV-V (1)	Th-CM (1)
		RE-C_RV-V (2)	Th-CM (1)、Th-Non (1)
階段機制 (38)	階段機制 (38)	SC (3)	Ma-IM (3)
		PB (4)	Ma-CM (2)、Ma-DM(2)
		HM (2)	Ma-CM (2)
		SC+ST (3)	Ma-MeM (3)
		GM+HM (1)	Ma-CM (1)
		PB+HM (4)	Ma-DM (1)、Ma-IM(2)、Ma-CM+ Ma-IM (1)
		RM+HM (1)	Ma-CM (1)
		RPS+SC (1)	Ma-DM (1)
		RM+PB (2)	Ma-CM (2)
		RM+ME+ST (12)	Ma-MeM (12)
		ME+ST+SC (1)	Ma-MeM (1)
		HM+PB+ME+ST (1)	Ma-CM + Ma-MeM (1)
		RM+ME+ST+PB (3)	Ma-MeM +Ma-DM (1)、Ma-MeM +Ma-CM (2)
圖板 (23)	階段機制 (2) 物件單元 (21)		Bo-CM (2)
			Bo-DM (5)、Bo-Non (16)
卡牌 (38)	階段機制 (5) 物件單元 (33)		Ca-CM (4)、Ca-CM+Ca-PM (1)
			Ca-IM (6)、Ca-DM (9)、Ca-PM (11)、Ca-IM+Ca-PM (1)、 Ca-DM+Ca-IM (1)、Ca-DM+Ca-PM (5)
模型指示(22)	物件單元 (22)		To-SM(1)、ToIM(1)、ToMM(1)、To-Non (19)

註：()括號裡面為具有此編碼的論文篇數

二、科學桌遊的設計對學生學習科學概念的影響

本研究再進一步探討有做前後測概念測驗的論文，結果如表 13。結果顯示：(1) 勝利目標即使不具有科學模型仍可提升學習成效，推論原因為科學桌遊對學習的幫助主要來自階段機制。這些桌遊都有運用到具科學模型的階段機制（如：概念過程模型、符號模型、地圖圖表模型等），因為模型本身即有科學學習的功用 (Justi & Van Driel, 2005)，而階段機制是桌遊中玩家動手操作與回饋的組成，故得以讓學生在操作階段機制的過程中建構科學知識。(2) 分

析學科與科學桌遊模型，生物／醫療領域的論文的階段機制多採用心智模型，論文數達 65%，老師先寫好模擬問答卡，讓學生抽取並解釋案例的解決方法。然而，心智模型屬學生個體表現的心智模型，而非具教學導向的功能，但在後測成績也有上升的表現，推測是勝利目標使用具競速性的「最先達成數值」，促使學生必須嘗試建立和表現正確的心智模型，以達到遊戲勝利。(3) 針對遊戲的設計，雖然勝利目標不一定需要具有科學模型，但若有與議題或概念連結，增加學生在遊戲中的情境投入，將有助於動機的表現 (Starks, 2014; 林樹聲, 2005)。(4) 此外，勝利目標設定為「固定時間做為遊戲結束」的方式，在實徵研究中也表現出進步的成效，是故，運用在以堂授課的教學現場，有時間彈性。(5) 最後，不論階段機制的數量多少，在學習成效都有上升，因此，設計上應考量階段機制的應用模型，而非單以數量做為評估。

表 13 論文回顧之桌遊階段機制、對應的科學模型與學習成效

背景 主題	勝利 目標	階段機制的類別					
		RM+PB	PB+HM	RM+ME+ST	ME+ST+SC	RM+ME+ ST+PB	HM+PB+ ME+ST
		階段機制的科學模型					
		Ma-CM	Ma-CM+ Ma-IM	Ma-MeM		Ma-MeM+ Ma-DM	Ma-CM+ Ma-MeM
	RE-T_ RV-V	42.17% / 62.60%	70.00% / 83.00%				
Th-CM	RE-V_ RV-D			56.30% / 62.20%		72.17% / 86.37%	
	RE-T_ RV-V			51.36% / 57.96%			
	RE-R_ RV-V					63.50% / 73.50%	
	RE-V_ RV-D			50.00% / 85.50%		65.50% / 53.25% / 75.30%	
Th-Non	RE-V_ RV-D			59.40% / 76.78%		77.70% 39.00% / 56.00%	

註：數值標示為：前測答對率(%) / 後測答對率(%)

第四節 小結：科學桌遊設計提示

依據實徵研究的回顧結果，可提供建立以學習科學知識為目標的桌遊設計之觀點。

一、勝利目標

勝利目標採用固定時間的遊戲結束方式也能有成效進步，並不需要以固定回合或特定目

標的方式結束遊戲，這讓桌遊運用在以節堂授課的教學現場有時間彈性。

二、階段機制

桌遊的階段機制在科學桌上遊戲是重要角色，除了維持遊戲運作外，機制對應的科學桌遊模型也是讓桌遊具學習成效的大部分因素。遊戲中，階段機制讓學生在動手操作遊戲的過程，也在認識與使用科學模型，若要學習真實複雜的科學系統，科學桌遊應採用更多或更高階的模型與對應的階段機制 (Engelstein, 2017; Verhoeff, Waarlo, & Boersma, 2008)。

三、實體配件

實體配件是表徵遊戲運作與讓玩家操作遊戲組件的具象化物件，是必要的存在。配件中的指示物因其資訊表現量較低，本身僅能呈現系統科學模型的成份面向，或是呈現兩變數間的關係面向，例如：尺度模型、數學模型、符號模型；而圖板和卡牌則較能呈現多變數的關係與系統資訊，例如：數學模型、概念過程模型、模擬、理論模型等。因此，在回顧實徵研究中也有發現，圖板和卡牌相較指示物有較多比例運用到科學模型(卡牌 100%、圖板 58%)，也建議設計時多用卡牌或圖板來表徵遊戲物件單元與階段機制，並在這些配件中運用模型。

四、基於科學學習的發展

桌上遊戲因為要讓玩家能自行操作與計算回饋，會將數值概略化，並將重要概念的階段機制突顯，簡化其他機制運算 (Engelstein, 2017)，這與科學模型用在教學時的情況相同：使用類比模型而簡化或誇大部分屬性 (Harrison & Treagust, 2000)，在使用上應注意讓學習者對於被簡化的部分感到不解甚至有錯誤想法的可能性。另外，科學桌遊可模型化成科學桌遊模型，但模型具有有效性和限制性 (Lauren et al., 2016; 邱美虹、劉俊庚, 2008)，並不是任意地使用模型就能達到學習效果，所以桌遊的組成還需配合概念的特性，使用適當的科學模型。因此，每個桌遊僅適合用來學習預期傳達的學習內容，不宜過度運用到其他概念。

從回顧文章中，科學模型的運用僅只有四種，分別為概念過程模型、地圖圖表模型、符號模型與心智模型，在科學系統知識裡多僅在關係階層，顯示目前的科學桌遊研究多僅呈現特定的知識，而非較高階的系統性知識。此外，目前回顧的研究中，遊戲使用的遊戲機制多數偏向需事前記憶或隨機性太重的機制，使得遊戲性低，且未使用到科學模型可能也較不符合科學擬真性。這些結果提示了桌遊發展的空間。

第四章、科學桌遊與它們的 Design

前章已探討科學桌遊的組成以及可運用至桌遊的科學學習理論，也回顧科學桌遊的設計與運用，釐清科學桌遊的特點。本章將綜整上述的結果，建立基於科學學習的桌遊設計程序。本章亦依循設計程序發展兩套桌遊，探討其成效；另外也將描述運用設計程序的兩個案例。

第一節 科學桌上遊戲設計項目

綜合第二章與第三章的文獻，具教育性質的科學桌遊應包含有：(1)桌上遊戲的特徵，例如：遊戲情境、遊戲目標、互動環境、回饋機制、物件操作等桌遊組成；(2)透過桌遊的組成與結構來呈現科學知識結構與科學模型並表徵科學系統知識。因此，以學習科學知識為目標的科學桌遊，應考量與分析科學學習的目標、科學系統知識的內容、桌遊的環境與目標、科學桌遊的機制與組成，以聚焦學習目標與內容以及遊戲內容與功能 (Lopes & Kuhnen, 2007; Starks, 2014)。本研究將這些內容與功能劃分成四個項目：學習資訊、科學系統、規則結構、機制組成，統稱 CSSC 設計項目 (圖 8)。四個項目各有主要的分析重點，並與相鄰的項目相互連結。分析時，需以桌遊的組成與科學模型做為核心要素，並思考科學知識的系統和桌遊的運作結構的關係。

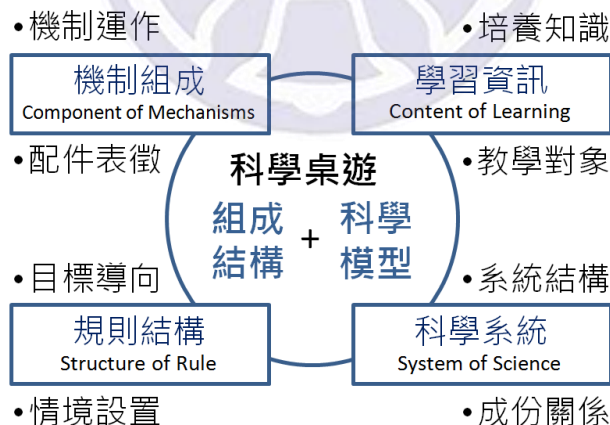


圖 8 科學桌遊 CSSC 設計項目

一、學習資訊 (Content of Learning)

學習資訊處理該科學桌遊的學習目標與學習對象。

(一) 學習目標

指預期讓玩家學到的科學知識，是科學桌遊的核心，聚焦了其他項目的發展。正確定義學習目標對於確立遊戲的願景和重點非常重要，具體描述欲學習的知識，能引導和激發整個設計

和開發過程 (Kiili, 2005; Starks, 2014)。這個概念也是自上而下方的設計程序的起點，下一節將進一步討論。

(二) 學習對象

需注意玩家的學習背景，玩家的認知能力會影響玩家可接受的知識難度與複雜度認知負荷 (Sweller, 1994)；此外，玩家的遊戲經驗與能力也會影響其對遊戲難度的接受度 (Csikszentmihalyi, 1990)。

二、科學系統 (System of Science)

科學學習不應用片斷的內容傳達科學知識，應讓學習者學習系統性的科學知識，理解科學知識的原貌和完整性 (邱美虹, 2016)。此項目在具體地描述學習的範圍，即科學系統知識的內容。建立科學知識結構有助於規劃桌遊的組成與結構，不僅用於知識融入，也豐富遊戲環境的事件，讓玩家投入具科學意涵的情境、面臨各項科學性的選擇 (Cheng, Tsai, et al., 2019)。

(一) 系統結構

處理此桌遊的科學世界與科學觀，建構此世界下的科學系統知識，包含成份、關係與系統，以及變數回饋關係 (V. J. Mayer, 1995)，並於建構時確保系統下的數個元素的「屬性」和「關係」都是有意義的，彼此間也需存在交互影響或相互依存。

(二) 成份關係與模型

在此項目也釐清科學知識中的各個科學概念與對應的科學模型，以將科學模型運用在桌遊組成中，形成科學桌遊模型。除了配合概念的特性使用適當的科學模型外，也需注意桌遊受限於無法複雜回饋與計算，會將重要概念的階段機制突顯，簡化其他機制運算 (Engelstein, 2017)，因此需了解桌遊的限制性適當地運用合適程度、數量的階段機制與科學模型，以同時滿足遊戲性以及科學擬真性。

三、規則結構 (Structure of Rule)

規則結構主要是將科學系統知識依循桌遊的組成與結構建構至遊戲系統中。桌遊的組成有「背景主題」、「流程規則」、「實體配件」，「流程規則」下還有「勝利目標」、「初始設置」、「回合過程」、「階段機制」與「物件單元」。規則結構主要將抽象的學習內容轉變為具體的桌

遊內容，優先設定它們可以框出遊戲的範圍，對後續設定遊戲細節時，有聚焦的效果(Connolly, 2013)。因此，此項目僅處理遊戲的內容和功能，不牽涉細部運作，本研究歸結出「背景主題」、「勝利目標」、「初始設置」、「回合過程」是主要的規劃，並分為目標導向（勝利目標）與情境設置（背景主題、回合過程、初始設置）兩個部分。

（一）目標導向

勝利目標建議考量設計符合科學模型的內容，幫助學生理解科學知識。遊戲的勝利目標應符合科學學習目標的內容 (Starks, 2014)。當遊戲設定了一個具體目標時，參與者會因為想達成目標，主動地去探索與學習遊戲的原則，解決碰到的問題，並內化在遊戲中所學到的一切 (Hinebaugh, 2009)。如果將遊戲目標與學習目標設定一致，參與者在達成遊戲目標的同時，也學習到學習目標 (Gee, 2003; Prensky, 2003)。

（二）情境設置

主要分為角色扮演與回合過程。

1. 角色扮演：當我們賦予玩家一個真實或虛擬世界的角色，並給予該角色面臨的課題時，參與者將投入在該角色所處的環境中，進行經驗上的學習，來解決其目標或問題 (Joyce, Weil, & Calhoun, 1986; Shaftel & Shaftel, 1967)。若在遊戲中建立符合學習目標的角色情境，有助於達到教學的目的 (Maier & McLaughlan, 2001)。此外，遊戲情境若與生活議題有連結性，可增加學生投入的動機 (林樹聲, 2005)，因此，背景主題應扣合科學內容與生活議題。

2. 回合過程：指玩家在遊戲中面臨的情境或待處理的問題，這些情境由遊戲目標、遊戲背景所建構。它呈現了遊戲的運作過程，也描述了科學知識的結構整體。「回合過程」定義了科學世界和桌遊世界間的交互體驗，包含科學知識與桌遊內容、科學運作與遊戲玩法，同時，它體現了遊戲的內容和功能，在玩家體驗遊戲方面發揮著重要的核心作用，也承接了桌遊的教育性，確保科學知識系統融入在遊戲中 (Cheng et al., 2016)。回合過程引導參與者不斷地思考與學習遊戲世界的法則，在各個情境中運用所學到的知識與技能 (Engelstein, 2017; Garris et al., 2002; Lopes & Kuhnen, 2007)。因此，若流程與目標的達成步驟有關，能幫助學生進行重複的任務處理及回饋思考，有助學習成效提升 (Garris et al., 2002; Kiili, 2005; 黃桂芝、曾憲雄、翁瑞鋒、何筱婷, 2008)。至於「初始設置」，則是玩家一開始擁有的資訊和資源，雖然無法有對應的科學模型，但為了確保遊戲體驗良好，也需安排妥當。

四、機制組成 (Component of Mechanisms)

此項目處理遊戲細部的操作與回饋，因此，主要分析桌遊的機制運作以及處理實體配件。

(一) 機制運作

桌遊的組成「階段機制」與「物件單元」各自呈現科學知識系統的關係與成份。科學桌遊的階段機制不僅維持遊戲運作，還具有學習效果的功能。遊戲設計師須對每個階段機制有一個清晰而詳細的定義，還有該階段機制所構成的物件單元。同時，注意對應的科學知識結構的關係與成份，以及對應的科學模型。遊戲運作部分，需定義玩家可操縱的動作，以及玩家在執行動作後，在遊戲中的回饋。這個動作和回饋，構成了物件單元間的關係，同時，也描述了科學知識結構的”關係”的內容。學習就是在玩家中的遊戲狀態、動作操縱和資訊回饋的過程中產生。回饋對知識的發展與技能練習相當重要，它讓學習者可以藉由反思，調整自身的思維與行動模式 (Kiili, 2005; Starks, 2014)。在指定遊戲動作時，設計師必須確保其在任何遊戲狀態下的使用和關係都符合科學性，並且具連貫性。設計師必須非常重視玩家自主從中學到東西，而不是只給予唯一或限定他們要做的事 (Lopes & Kuhnen, 2007; Starks, 2014)。機制的安排也會影響玩家間的互動，互動對於參與者在遊戲中的學習是重要的因素：自我活動、與他人分享、參與學習 (Passey, 2010)，玩家為了達到遊戲目標，將會為了尋求解決方式而主動自我學習，或向他人學習 (Huang, Yeh, Li, & Chang, 2010; Johnson & Johnson, 2013)。

(二) 配件表徵

桌遊中的配件是表徵遊戲運作與讓玩家操作遊戲組件的具象化物件，是必要的存在。配件的指示物因其資訊表現量較低，本身僅能呈現系統科學模型的成份面向，或是呈現兩變數間的關係面向；圖板和卡牌則較能呈現多變數的關係與系統資訊，建議設計時多用卡牌或圖板來表徵遊戲物件單元與階段機制，並在這些配件中運用科學模型，讓玩家從中學習。

第二節 科學桌遊設計程序

本研究建立的設計程序，在協助科學桌遊設計者分析與建構桌遊的內容。本設計程序參考遊戲設計認知過程與遊戲學習觀點，有由上而下的從抽象的觀點轉變為更具體的觀點、系統導向學習，或由下而上的從玩家具體的動作反向建構遊戲背景、強調動作與回饋的學習與樂趣增強 (Kiili, 2005; Lopes & Kuhnen, 2007; 孫春在、2013)。科學桌遊以學習科學知識為目

標，遊戲設計程序應以科學概念出發，從抽象的系統知識轉變為具體的遊戲操作（系統導向的程序），基於科學知識的建立以引導遊戲的設計，讓科學桌遊確實地聚焦在系統學習的效果上（Cheng, Yeh, et al., 2019）；此外，也應反向分析學習者適合的遊戲系統（回饋導向的程序），思考會引發玩家增強與心流的具體動作和遊戲環境（Csikszentmihalyi, 1990），確保桌遊的遊戲性與回饋關係。CSSC 設計程序的每個步驟皆是同時思考兩種分析過程，並檢視桌遊的科學模型與遊戲結構（圖 9），每個項目依循桌遊的組成結構與科學模型，並根據相互之間的關係進行內容分析，以求科學學習性與遊戲樂趣性的平衡，設計出具嚴謹性和系統性的科學桌遊。

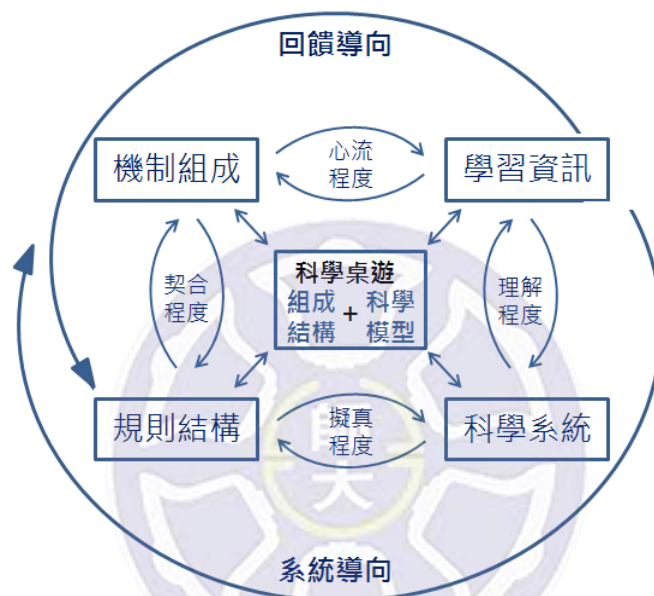


圖 9 科學桌遊 CSSC 設計程序

一、從科學學習目標到遊戲操作：系統導向的程序

系統導向的過程是從遊戲本身的存在目的出發，依序從廣泛抽象的概念，定義出具體細部的遊戲組成。科學桌遊設計者需具有明確的學習目標，將桌遊要傳達的、較抽象的科學知識系統逐步具體化成遊戲的內容，將非遊戲的內容轉變為遊戲系統。在分析每個項目時皆應依循科學知識，構想範圍再逐步規劃細節，以持續聚焦在科學學習的功用。

（一）從學習資訊到科學系統

從分析「學習資訊」開始，分析科學桌遊使用對象的背景，以及對象的學習目標，即傳達的科學知識、預期學會的科學知識，用短語列出學習資訊，聚焦遊戲的發展方向，然後，依對象對於科學知識的理解程度，建立適當內容量和複雜度的科學系統概念，即為「科學系統」的內容。

(二) 從科學系統到規則結構

科學系統應詳細列出／畫出系統的成份與關係，及這些項目之間的關係，需要注意的是，科學系統應配合學習對象可以和需要理解的內容，且能反映數個概念間的關係，以建構系統知識。在科學知識系統建立完後，依科學系統的架構與脈絡，設定遊戲的規則結構。在這個步驟，需注意遊戲規則應盡量擬真科學系統，以符合科學知識的內容。另外，此步驟是科學桌遊設計模式過程中，從科學學習較重的項目，進入到遊戲特性較重的項目，因此，需特別注意桌遊的組成結構與科學知識的結構。在規則結構，將細化科學系統中的「關係」項目，將關係做為桌遊中的各個情境，串聯出遊戲的回合過程，引導學生在遊戲過程中建構科學知識的系統。此外，設計與現實環境相關聯的情境，讓學習者從經驗創造意義，有助於自我學習 (Sterling, 2004)。值得注意的是勝利目標的設計，因為，現今大部分對於教育型的遊戲的批評之一，就是遊戲目標和學習目標不一致 (Ciavarro, 2006; Gee, 2003)，當遊戲目標和學習目標不同時，知識的學習就會從遊戲過程中消除 (Barnes, Peck, Sheppard, & Tickell, 2007)，因此，兩者需要相符，這部分也可藉由分析勝利目標這個桌成組成的科學模型來達成。

(三) 從規則結構到機制組成

在安排遊戲的規則結構後，選擇契合各個過程情境、科學知識與科學模型的遊戲機制、物件單元與實體配件，此即是在機制組成應該分析的內容。在機制組成設計參與者可自行制定策略、處理衝突、批判性自我反思等特性的遊戲功能，能進一步建構系統學習的環境 (Bawden, 1997; Sterling, 2004)。

(四) 從機制組成到學習資訊

如同第三章回顧文獻獲得的資訊：桌遊的階段機制在科學桌上遊戲是讓其具學習成效的因素，學生在遊戲中動手操作機制的過程，也在認識與使用科學模型進而學習到對應的科學概念。因此，制定階段機制需確認學生是否能在動手操作機制／遊戲的過程中得以學習預期給予的科學知識，是故，需思考機制對應的科學桌遊模型，亦即釐清科學概念的本質所對應的科學教學類比模型，再使用適當的機制來呈現模型。

一般來說，以主題出發的桌遊，會與背景主題有相當的關連性，但描述的背景與知識概念不一定涉及娛樂。然而娛樂是任何遊戲應具有的主要特徵，因此從概念出發的主要挑戰就是引入玩家覺得娛樂的因素在遊戲中 (Lopes & Kuhnen, 2007)。此時亦需思考遊戲娛樂的設計

分析方法：考量玩家的能力背景，安排適當且具能引發挑戰的機制組成，以觸發玩家的心流，增強其動機或對遊戲的娛樂性。

二、科學桌遊也是遊戲：思考回饋導向的程序

雖然大多數設計教育型遊戲的目標是教育而非娛樂，但這兩者是可以兼具的 (Starks, 2014)，科學桌遊除了基於科學知識結構與本質的設計，也應規劃強化學習與投入遊樂功能。是故，從機制組成考量玩家在遊戲中的體驗，基於遊樂的程式加入會讓玩家主動學習與感到興趣的環境，提升學習動機與遊玩動機亦是重點 (Huizinga, 1938)。表 14 列出桌遊設計項目與桌遊組成之設計與說明，以提供觸發學習與提高投入動機的設計參考。

表 14 桌遊中的設計

設計項目	桌遊組成	設計與說明
規則結構	勝利目標	<p>1. 遊戲目標</p> <p>若需要提高玩家投入遊戲，目標的設定要與玩家能力有差距（稱之為挑戰），若目標是對玩家而言是高度且預期可達成的挑戰時，易投入遊戲，達到沉浸狀態（即心流經驗）(Csikszentmihalyi, 2000; Kiili, De Freitas, Arnab, & Lainema, 2012)。</p>
	流程規則	<p>1. 扮演角色</p> <p>給予角色面臨的課題時，玩家將投入在該角色所處的環境中，來解決其目標或問題 (Joyce et al., 1986; Shaftel & Shaftel, 1967)。</p> <p>2. 遊戲情境</p> <p>是指玩家在遊戲中的每一個流程回合 (process round)，依序面臨的多個情境或待處理的問題，這些情境由遊戲目標、遊戲背景所建構。參與者必須不斷地思考、學習遊戲世界的法則，在各個情境中運用所學到的知識與技能，才能進行遊戲 (Engelstein, 2017; Garris et al., 2002; Lopes & Kuhnen, 2007)。情境若符合現實並可以讓學生發揮複雜的技能運用以解決面臨的問題，可增加觸發心流的可能 (Fullagar & Kelloway, 2009)。</p> <p>3. 重複的過程</p> <p>在一場桌遊的遊戲時間中，玩家通常會經歷數個重複的流程回合，直到遊戲結束。這讓參與者能在每個新的回合，都有機會去精緻化與練習在遊戲過程所學習到的知識與能力 (Cheng et al., 2016)。桌遊中的每個回合也提供學生熟悉遊戲操作的機會，若能建立他們對遊戲程序的信心，則能提高遊戲投入的意願 (Hou & Li, 2014)。</p>

1.回饋與控制

玩家在遊戲中，與遊戲的環境互動的結果。流程規則中的每個情境，都會有一個回饋機制，用來反應玩家輸入的動作以及動作產生的結果。回饋對知識的發展與技能練習相當重要，它讓學習者可以藉由反思，調整自身的思維與行動模式 (Kiili, 2005; Starks, 2014)。如果情境提供學生待解決的特定問題，回饋機制待玩家輸入的動作能讓其有策略操作、行動控制的機會，則應能使玩家更深入的理解遊戲過程以及學習有效性，並觸發心流 (Hsieh, Lin, & Hou, 2016; Kiili et al., 2012)。

2. 玩家互動

互動對於參與者在遊戲中的學習，是很重要的因素。玩家互動包括：自我活動、與他人分享、參與學習 (Passey, 2010)。玩家為了達到遊戲目標，將會為了尋求解決方式而主動地自我學習，或向他人學習 (Huang et al., 2010; Johnson & Johnson, 2013)，因此桌遊應設計有玩家可互動/觀摩/學習的機會。

3.互動環境

遊戲應與現實相關聯，並且讓參與者可在遊戲中設計可行的策略、處理衝突，以及批判性自我反思等，可以讓參與者產生自我組織與批判、具系統性的學習 (Bawden, 1997; Sterling, 2004)。

實體配件

1.美術與介面

遊戲中的美術與視覺官感影響玩家受遊戲的吸引程度，強化表徵的呈現方式能促使玩家投入遊戲 (Huynh, Raveendran, Xu, Spreen, & MacIntyre, 2009)。此外，遊戲中的操作介面 (UI) 的不同、資訊輸入的媒介不同也會影響玩家在遊戲中的感受，也需考量在遊戲設計中 (許一珍、范丙林、巫宗翰、蕭文祥，2015)。

設計過程以學習資訊之教學對象為主，分析對象的遊戲能力背景，同時思考機制組成與規則結構兩個項目。讓玩家可以依自身的能力，建構與決定策略模式，挑戰目標。因此，科學桌遊的設計也需考量學生的能力背景 (Hinebaugh, 2009)。需要注意的是，科學桌遊以科學學習為目標，基於遊樂和回饋的程序依項目從學習資訊、機制組成，以及部分的規則結構進行設計與安排，不宜過度影響規則結構與科學系統，以免與學習目標（科學系統知識）有偏離。

第三節 科學桌遊成效評估

一、主題選擇

本研究選擇兩個主題做為科學桌遊的內容：地球科學的太陽系概念與食農概念。地球科學／天文教育中，太陽系的概念是基本且重要（教育部、2018b），但其複雜的結構概念與大量的知識，學生往往覺得很難學習（Bailey, Prather, & Slater, 2004; Taylor, Barker, & Jones, 2003），為了促進學生學習太陽系概念，本研究以太陽系為背景，設計「漫遊太陽系」科學桌遊，做為研究的主題。食農概念之教育也是臺灣注重的議題，目的在於將人類環境安全、飲食安全和農業安全之概念整合，提升大眾對食農的了解，了解地方給食與地產地消的過程和自然資源保育（台灣農業推廣學會、2016；顏建賢、曾宇良、張瑋琦、陳美芬、謝亞庭，2015）。

二、太陽系桌遊—漫遊太陽系

（一）桌遊設計

本研究設計「漫遊太陽系」桌遊，以傳達太陽系概念為目標，依循設計程序的4個項目，設計如下表15。以基於知識的系統導向設計程序為主，從學習資訊開始，遊戲目的是讓小學生能學習地球的重要物質與太陽系成員，以此目的繪製概念圖建構太陽系系統，包含地球分有大氣圈、生態圈和岩石圈及各圈的重要物質，太陽系的星球排序、星球樣貌與大小、星球種類與特性等（圖10）。再來需思考如何將科學知識轉換成遊戲主題和規則：需不需要列出地球所有物質、太陽系的環狀軌道、太陽系所有星體、星球實際大小比例、星球實際距離比例、星球各種特性？考量桌上遊戲的內容負載量與配件承載性，完整的科學系統不可能全數擬真在遊戲中。因此，地球物質部分只列出了部分重要和常見的物質，並且設定成遊戲勝利條件；太陽系的星體則以星體分類為主，挑選出重要的成員，做成遊戲卡牌；星球特性則挑選出最為重要的一種，設定成遊戲中的能力；而太陽系的環狀軌道與距離比例簡化成離太陽的遠近，遊戲中限定星球擺放順序和位置，才能發動能力；星球大小則在卡牌繪圖上稍微呈現差異，並以數字簡化成相對大小，做為遊戲中能力發動的順序。遊戲目標是收集地球所需物質，每回合依「打出手牌、放置卡牌，然後發動卡牌能力」的流程進行，發動卡牌能力可以讓你獲得所需物質、影響別人或讓自己更強大等功能（表16）。配合遊戲規則和設定，遊戲機制就是物品收集（收集需要的物品）、卡牌驅動（藉由打出手牌來發動能力）、手牌管理

(安排和利用手牌)、不定順序執行(不按照固定順序執行動作)等機制(表 17),最後,基於科學知識與遊戲機制設計配件(表 18)。當然,遊戲主題、規則和機制需與學習目標、科學系統與科學模型緊扣,不能過於突兀無關,也需有遊戲和科學的代入感,讓學生能投入在遊戲環境和科學內容中,在不需要背景知識下,便可在遊玩過程中不知不覺學習太陽系概念。

表 15 漫遊太陽系的項目與設計內容

設計項目	次項目	內容
學習資訊	教學對象	國小 5.6 年級生
	培養知識	太陽系概念
科學系統	系統結構	太陽系的組成與結構
	成份關係	太陽系的成員、成員的位置、成員的特性
規則結構	目標導向	在太空中收集地球的重要物質
	情境設置	角色扮演：太空探險家 流程規則：探索、獲得物質或發動星球效果
機制組成	機制運作	回饋機制：手牌管理、模式組合、成套收集 玩家互動：競爭、卡牌干擾
	配件表徵	太陽系圖板、星球卡牌、物質指示物

1. **學習資訊**：漫遊太陽系的學習資訊,教學對象為尚未接觸國中地球科學的國小 5.6 年級生,以驗證遊戲的成效。培養知識則為地球科學/天文教育的基礎知識-太陽系。

2. **科學系統**：以太陽系的組成與結構為主,包含太陽系的成員與種類、成員的位置、成員的特性等知識,如圖 10。後續遊戲的規則與機制需設計讓玩家可以學會該結構。

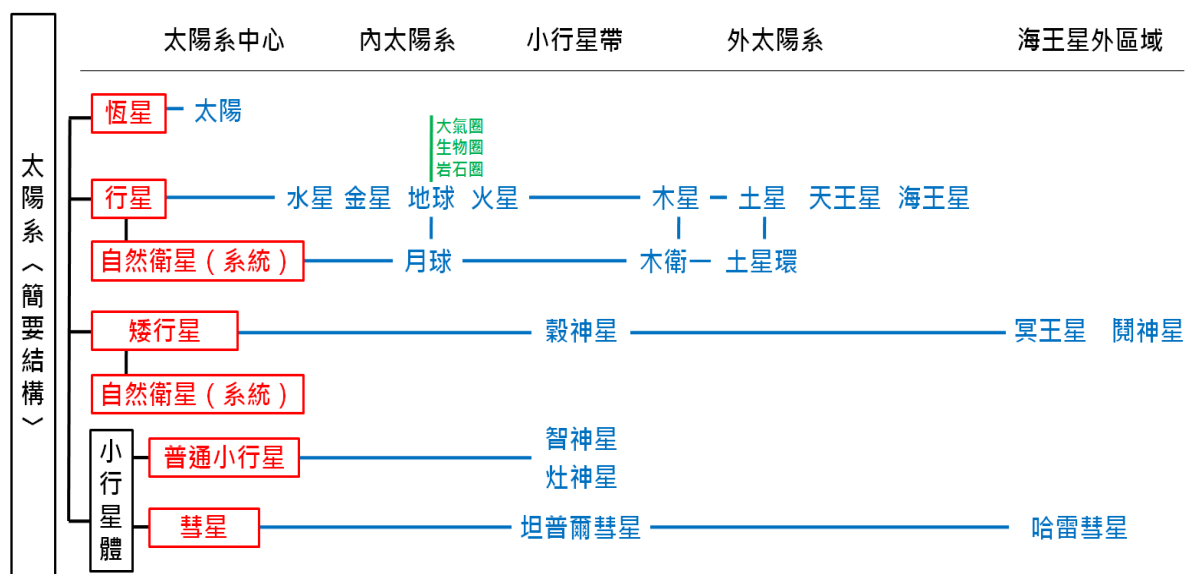


圖 10 漫遊太陽系的太陽系系統結構

3. **規則結構**：將抽象的學習內容轉變為具體的桌遊內容，包含有勝利目標、角色扮演、回合過程與初始設置（表 16）。

表 16 漫遊太陽系的知識與規則結構

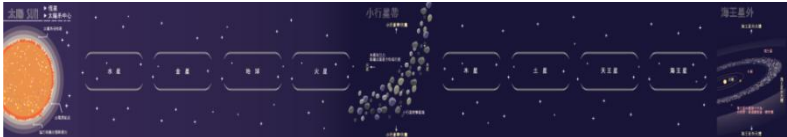



太陽系知識／情境	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
地球分有大氣圈、岩石圈和生命圈，各圈的物質不同，而物質粗略分為單物質與多物質。	地圖、圖表與表格模型	目標導向－勝利目標	設定 ：在太空中收集地球的重要物質，收集最多物質的玩家是贏家。 說明 ：在收集物質的過程了解地球的重要物質。
太空探險家負有任務。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置－角色扮演	設定 ：太空探險家。時間脈絡：未來；硬體環境：太空；角色種族：人類。 說明 ：玩家扮演太空探險家，投入在收集地球物質的任務。
星際探索與物質收集。	無法模型化此桌遊組成	情境設置－回合過程	設定 ：探索、獲得物質或星球效果。 說明 ：模擬探險家探索－收集過程。
太陽系的空間、太陽系的成員	無法模型化此桌遊組成	情境設置－初始設置	設定 ：設置太陽系板圖、拿取星球卡。 說明 ：遊戲初始設置。

4. **機制組成**：在此步驟，我們規劃漫遊太陽系的細部運作內容，即是安排回機制饋與玩家互動這兩個桌遊特性（表 17），在一場遊玩中，參與者會重複進行數次相同的回合過程，在每一個回合會依序面臨三個需處理的情境，直到遊戲結束。總體遊戲時間大約 50 分鐘。配件表徵則利用圖板、卡牌與指示物等實體物件，來呈現太陽系成員的分佈與樣貌（表 18）。

表 17 漫遊太陽系的回合過程與階段機制

太陽系知識／情境	科學桌遊模型	回合過程與情境	回饋機制與玩家互動
太陽系中的成員，例如：地球、金星、智神星、哈雷彗星等。	尺度模型	星球探索	機制回饋 ：手牌管理，打出繪有星球的手牌。 玩家互動 ：無。
太陽系成員的位置、大小、星體種類、星球特性。	地圖、圖表與表格模型	星球屬性與效果	機制回饋 ：模式組合，將打出的手牌依星球位置、大小、種類來放置卡牌並發動卡牌的效果。 玩家互動 ：競爭、卡牌干擾。
地球分有大氣圈、岩石圈和生命圈，各圈的物質不同。	地圖、圖表與表格模型	收集物質	機制回饋 ：成套收集，將利用卡牌收集的物質分類集中在新地球上。 玩家互動 ：無。

表 18 漫遊太陽系的配件

太陽系知識／ 情境	科學桌 遊模型	實體 配件	圖示與說明
太陽系成員的 位置。	尺度模 型	太陽系 圖板	 <p>太陽系的空間與分佈</p>
地球的物質。	地圖、 圖表與 表格模 型	玩家個 人板	 <p>收集地球的物質。分有三圈、單物質與多物質</p>
太陽系成員的 位置、大小、 星體種類。	地圖、 圖表與 表格模 型	星球卡 牌	 <p>相對大小、位置、種類、特性的資訊</p>
物質名稱與符 號。	標誌和 符號模 型	物質指 示物	 <p>各種物質的符號與名稱</p>

(二) 評量與分析

漫遊太陽系的目標在提升參與者的太陽系概念，我們運用下列策略，評量參與者的表現，並評估漫遊太陽系的成效。

1. **太陽系概念圖**：用於評量學生的太陽系結構概念。請學生在測驗卷上盡可能地寫/畫出太陽系的星體、星體間的關係、以及星體的資訊。參考知識思考結構分析 (Tsai & Huang, 2001)，針對正確的定義、描述、比較、分類與連結，依各項目計數。定義是指學生能列出概念或科

學術語的定義，例如，地球、木星是太陽系的成員之一；描述則是能寫出一個現象或一個事實，例如，地球含有矽、氧、氮等物質；比較則是能描述主體，事物或方法之間的關係，例如，木星較地球大、地球較木星離太陽近；分類則是依循某些條件分開或組合，例如，地球、水星都為類地行星；連結是能提出兩個事實或事件的關係，例如，地球上生命，可能是彗星引發的。

2. 太陽系學習自評量表：用於評量學生對太陽系概念的學習動機，以及學習環境（遊戲）的效用評估 (Tuan, Chin, & Shieh, 2005)。題目如：碰到較難的太陽系科學內容時，我會勇於接受挑戰；如果有一些天文知識無法了解時，我會找人討論，幫助了解；玩過這個遊戲，讓我對天文更感到興趣。採用李克特式五點量表，學生在看完題目後，從非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意的五個選項中，選擇最符合自身的選項。

3. 受試者訪談：遊戲結束後向學生提問他們對漫遊太陽系的遊玩想法，也請他們說明遊戲是否能幫助學習太陽系知識，以及是遊戲中的哪些部分幫助學習。

為了評估漫遊太陽系的有效性，本研究採用了一種前測—體驗遊戲—後測的準設計，研究對象為 21 位國小學生，實行時間與內容如表 19。資料的收集與分析方法如下：(1) 太陽系概念圖與太陽系學習動機量表於遊戲前與遊戲後進行測驗，收集學生的分數，使用變異數分析與效果量分析，評估學生在後測的分數是否高於前測。(2) 遊戲結束後，隨機抽 8 位受試者作為訪談對象，採內容分析法，評估對漫遊太陽系的遊玩想法。

表 19 漫遊太陽系的研究流程

時間	內容	工具
30 分鐘	遊戲前評量	太陽系概念圖 太陽系概念學習動機
120 分鐘	桌遊遊玩（玩兩場）	桌遊—漫遊太陽系
30 分鐘	遊戲後評量	太陽系概念圖 太陽系概念學習動機 訪談

（三）漫遊太陽系的成效

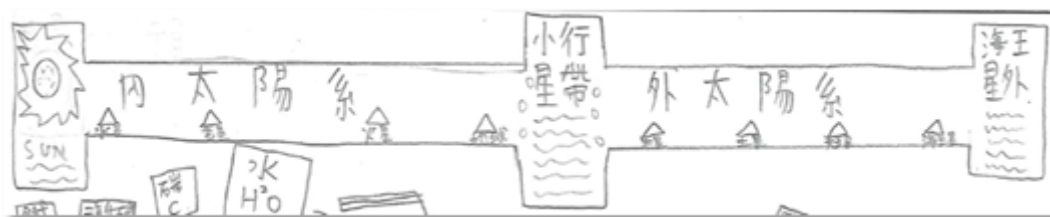
太陽系概念部分，學生填畫概念圖，依知識結構分析針對每個正確的定義、描述、比較、分類與連結進行計數。各面向的分數越高，代表參與者理解越多的知識；後面的面向（分類、

連結) 越多, 代表知識思維結構越複雜 (Tsai & Huang, 2001)。表 20 呈現學生在遊玩太陽系桌遊前與遊玩後在概念的表現, 在定義、描述、比較與分類等面向的後測顯著高於前測, 連結則沒有差異。顯示學生的後測的知識較多, 且較前測更具結構性。圖 11 為學生填寫的結果, 從學生畫的概念圖及知識表現, 有呈現桌遊預期給予他們的學習內容, 例如: 太陽系的成員有地球、金星、海王星等; 太陽系的空間與成員的排序, 例如: 水星、金星在內太陽系, 智神星在小行星帶, 木星與土星在外太陽系; 也知道星球的種類, 例如: 天王星、地球是行星, 泰坦是土星的衛星, 冥王星是矮行星; 也知道地球含有水、鐵、氮等物質。

表 20 太陽系概念測驗結果

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	t	效果量
定義	8.47	3.41	25.68	8.59	10.29**	2.63
描述	3.00	3.45	3.58	3.69	3.28**	0.16
比較	4.95	5.52	9.37	6.06	5.34**	0.77
分類	.58	1.83	4.53	5.33	3.33**	0.99
連結	.47	0.96	.63	1.01	1.84	0.16

** $p < .01$



星體位置: 內太陽系 ▷ 小行星帶 ▷ 外太陽系 ▷ 海王星外

星體種類: 行星 ▷ 矮行星 ▷ 矮行星 ▷ 衛星 ▷ 彗星

圖 11 學生填寫的太陽系概念圖

太陽系學習動機部分，學生在遊玩太陽系桌遊後，對於學習天文概念的學習動機如表 21。結果顯示學生在遊玩前及遊玩後並沒有顯著差異。此外，在遊戲結束後隨機抽 8 位受試者訪談他們認為漫遊太陽系對學習的影響，有 7 位學生提到他們很快就能知道這個遊戲的規則，原因是遊戲簡單，因此也不會排斥和需要花時間學習。有 5 名學生認為通過比較與對應遊戲中其他玩家出的牌，可以知道太陽系成員之間的分類差異。顯示遊戲機制採用「模式組合」，在遊戲中讓學生組合相同的種類後可以獲得對應的效果，協助學會分類。有 6 名學生則覺得卡片的設計可以幫助其學習太陽系成員的信息，原因可能是相關資訊有明示地在卡牌上，且皆與遊戲中的功能有關。表 19 呈現學生對漫遊太陽系的興趣自評，顯示有高度興趣，訪談中學生也都有提到會想再次玩這個遊戲。

表 21 學習動機結果

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	<i>t</i>	效果量
學習動機	3.93	0.39	3.86	0.52	-0.99	0.15

表 22 學生對漫遊太陽系的興趣

面向	測驗	平均值/最大值	程度
對此遊戲的興趣	後測	4.04 / 5	高度興趣

(四) 小結

基於研究結果，學生在玩完遊戲後提升了對於太陽系的知識，在後測也表現漫遊太陽系預期的學習目標。從訪談的回應中，學生認為卡牌的設計也能讓他們易於理解太陽系的成員，而遊戲的機制幫助他們學習太陽系成員的分類與特性。從本研究的效果量也顯示桌遊後的學習表現有上升，我們的研究在效果量為 0.16 至 2.64；動機則沒有上升，因為活動的時間很短，對於動機的觸發有限。遊戲樂趣上，大部分學生都給予正向回應，對於此遊戲有高度興趣。

進一步探討漫遊太陽系之設計對學生在知識的定義、描述、比較、分類與連結的學習幫助，本研究將這些知識轉化為相對應的尺度模型與地圖圖表模型，尺度模型是將在卡牌上直接寫出與畫出太陽系中的星球與其外表，有助學生知道太陽系的成員；地圖圖表模型則是在遊戲中讓學生操作模式組合此機制，藉由對應星球的種類與空間以獲得遊戲效果，學會比較與分類；遊戲中的星球效果則與星球特性有關，因此學生能描述星球的特性；知識的連結部

分，漫遊太陽系並沒有設計相關的機制與模型，因此使得學生在連結的表現並無差異。

此桌遊依循設計程序，以基於知識的過程依序分析與設計學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成，研究結果反映學生學習到遊戲欲傳達的太陽系概念，透過訪談也顯示藉由概念特性—科學模型—模型化遊戲機制此一步驟讓學生能對太陽系成員進行分類與比較。此實徵研究顯示依循設計程序及分析項目，依科學概念的特性來設計相符的遊戲機制，將對該概念的學習有所幫助。

三、食農桌遊—食在好時

(一) 桌遊設計

「食在好時」以傳達食物里程與作物季節概念為目標，依設計程序 4 個項目設計(表 23)。

表 23 食在好時的項目與設計內容

設計項目	次項目	內容
學習資訊	教學對象	大眾
	培養知識	食物里程與作物季節概念
科學系統	系統結構	食物里程、作物種植、經濟系統
	成份關係	作物季節、碳足跡、環境因子、經濟資金
規則結構	目標導向	獲取最多的資金
	情境設置	角色扮演：農夫 流程規則：作物季節、作物販賣
機制組成	機制運作	回饋機制：手牌管理、交易、工人放置 玩家互動：交易競爭
	配件表徵	個人農地板、作物卡、人民需求卡

- 1. 學習資訊：**食在好時的學習資訊，教學對象為一般大眾。培養知識則食物里程與作物季節。
- 2. 科學系統：**食農教育之目標例如瞭解「食物里程」及在地食材的觀念、認識作物季節性及品種多樣性、認識飲食及農業生產對大自然環境之衝擊，培養大眾對農作物買賣與吃食之概念(台灣農業推廣學會，2016；行政院農業委員會，2018；謝雯凱，2011)。在此研究，將上述內容化為系統，如圖 12，依類別分有四個面向，分別是作物季節(藍字)、作物種植(綠字)，食物里程(紅字)，市場經濟(橘字)。其中，作物季節包含作物季節的描述與各作物的生長季節；作物種植是種植步驟與注意事項、環境因子與影響；食物里程是食物產出到銷售的過程與碳足跡；經濟系統則為市場銷售與供需等思維。

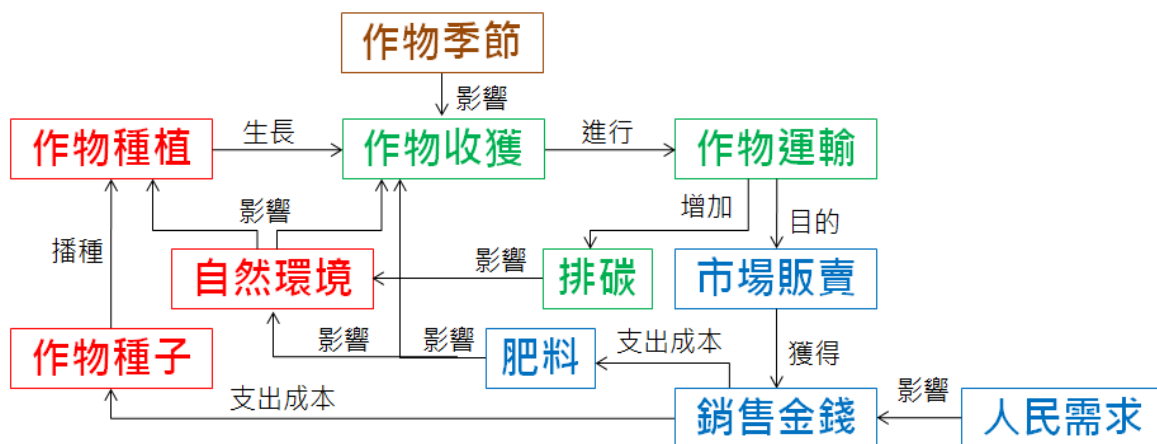


圖 12 食在好時的概概念結構

3. 規則結構：將抽象的學習內容轉變為具體的桌遊內容，包含有勝利目標、角色扮演、回合過程與初始設置（表 24）。

表 24 食在好時的規則結構



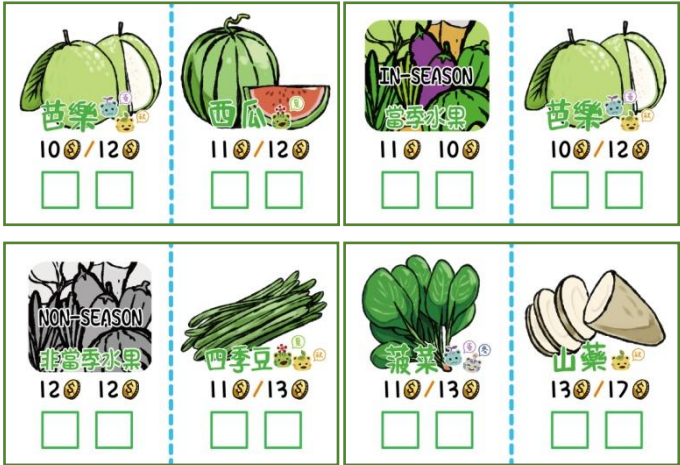
食農知識／情境	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
農作物之生長季節與種植，食物里程與碳足跡、農業經濟系統。	模擬	目標導向— 勝利目標	設定：經營自家農業，賺取最多金錢的人是贏家。結束條件：回合結束；勝利判定：最高數值。 說明：以經營自己的農地為目標，牽涉經濟與環境等因素。
農夫。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置— 角色扮演	設定：農夫。時間脈絡：現在；硬體環境：領域；角色種族：人類。 說明：玩家扮演農夫，想辦法經營自己的農地。
作物種植與販賣。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置— 回合過程	設定：環境（季節與農地）對作物與生長的影響、食物里程、市場販賣。 說明：模擬一天作物種植到販賣的過程。
運輸排碳、可種植作物、人民需求。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置— 初始設置	設定：設置台灣板、玩家拿取作物卡牌、公開人民需求卡。 說明：遊戲初始設置。

4. 機制組成：在此步驟，我們規劃食在好時的細部運作內容，即是安排回機制饋與玩家互動這兩個桌遊特性（表 25），在一場遊玩中，參與者會進行 8 次相同的回合過程，在每一個回合會依序面臨兩個需處理的情境，直到遊戲結束。總體遊戲時間大約 80 分鐘。配件表徵則利用圖板、卡牌與指示物等實體物件，來呈現作物種植與販賣、食物里程等因素（表 26）。

表 25 食在好時的回合過程與階段機制

食農知識／情境	科學桌遊模型	回合過程與情境	回饋機制與玩家互動
作物季節對作物收穫的影響、肥料對環境的影響。	概念過程模型	作物種植	機制回饋： 手牌管理，選擇種植的作物及施用的肥料，處理肥料對環境的影響。 玩家互動： 無。
食物里程、人民需求對作物販賣的影響、人民購買對資金的影響。	概念過程模型	作物販賣	機制回饋： 工人放置，將自己的作物運輸並賣給有需要的人民。 玩家互動： 需求有限下的販賣競爭。

表 26 食在好時的配件

食農知識／情境	科學桌遊模型	實體配件	圖示與說明
台灣分區與運輸排碳。	地圖、圖表與表格模型	台灣板	 <p>台灣分區、運輸排碳等資訊</p>
作物生長季節。	地圖、圖表與表格模型	作物卡	 <p>作物名稱、生長季節</p>
人民需求與經濟效益。	地圖、圖表與表格模型	人民需求卡	 <p>人民需求、作物販售金額</p>

(二) 評量與分析

食在好時的目標在提升參與者的對食農知識的了解，我們運用下列策略，評量參與者的表現，並評估食在好時的成效。

1. 食農知識測驗：用於評量參與者在作物季節、作物種植、作物食物里程、市場經濟的知識。測驗卷分為四個面向，作物的生長季節包含描述與各作物的生長季節；作物種植包含作物的種植步驟，以及肥料的種類與影響；食物里程包含有從作物收穫至運送到市場的運輸過程，以及在這過程中的排碳；市場經濟則有人民對作物的需求、作物販售與金錢流動等知識。題型部分，作物季節選擇題，例如：「有關於作物的生長季節，你認為哪些敘述是正確的？」、「以下作物的生長季節哪些正確？」，作物種植、作物食物里程、市場經濟三個面向為開放式簡答題，題目例如：「現在，你是一名農夫，你有農地也有作物的種子，請問從『作物生長到成熟、賣出獲得錢』的步驟應該有哪些？」、「為了讓自己的農場在環境與經濟上能永續經營，你認為哪些做法是較可行且適當的？」、「請問，若要維護大自然環境，身為農夫應該注意哪些事項？」。請參與者依題目描述填答，正確答案計一分。

2. 遊戲評估問卷：遊戲評估問卷的內容在詢問參與者在遊玩食在好時後，對該遊戲的體驗與建議，用於評估遊戲對他們的幫助及遊戲內容的設計，為開放式問卷。

為了評估食在好時的有效性，本研究採用了一種前測—體驗遊戲—後測的準設計，研究對象為 14 位一般大眾，實行時間與內容如表 27。資料的收集與分析方法如下：(1)食農知識測驗於遊戲前與遊戲後進行測驗，收集學生的計分，使用變異數分析與效果量分析，評估學生在後測的分數是否高於前測。(2)遊戲評估問卷則在遊戲後進行，採用內容分析，分析參與者對食在好時的看法與建議。

表 27 食在好時的研究流程

時間	內容	工具
30 分鐘	遊戲前評量	食農知識測驗
120 分鐘	桌遊遊玩（玩兩場）	桌遊—食在好時
30 分鐘	遊戲後評量	食農知識測驗 遊戲評估問卷

(三) 食在好時的成效

表 28 呈現參與者在遊玩「食在好時」前後關於食農素養的表現，包含作物季節、作物種

植、食物里程、市場經濟四個面向。在遊戲前，參與者大多了解作物季節的描述，但不知道各作物的生長季節，在後測對於作物的生長季節有顯著的提升，例如：知道作物季節會讓作物長的較茂盛，西瓜是夏季、橘子是冬季等知識，總體效果量為高度相關；參與者在作物種植的前測顯示已了解基礎的種植步驟（墾地、播種、施肥、驅蟲、成熟等），而在後測則沒有顯著上升；食物里程包含有從作物收穫至運送到市場的運輸過程以及過程中的排碳，市場經濟則是指人民對作物的需求、作物販售與金錢流動等知識，結果顯示參與者在食物里程與市場經濟有顯著的上升，例如，會思考作物在收成至銷售需要透過運輸、而區域間長距離的運輸排碳會對環境有影響，進而衝擊農地；也會思考人民的需求以及供應量，避免供過於求而浪費，也能思考作物種植的成本與獲益等知識，這些知識都是食在好時預期給參與者學會的內容。然而，因為遊戲中並沒有對作物種植有太多的描述，故可能使得此面向並無提升。

表 28 知識測驗結果

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	<i>t</i>	效果量
作物季節	7.07	1.44	8.64	1.87	-3.08**	0.94
作物種植	8.50	4.18	9.00	4.09	-1.84	0.11
食物里程	3.21	1.48	4.64	2.09	-4.16**	0.79
市場經濟	3.64	1.34	4.64	1.55	-2.88**	0.69

** $p < .01$

在遊戲評估，參與者認為遊戲可認識到蔬果相關知識包括作物的生長季節、食物從種植到銷售的過程，也能從中覺知作物產出的辛苦，理解肥料種類、運輸排碳對環境的影響，遊戲的過程與規則也能讓他們建構作物種植與經濟策略。部分的參與者也寫到遊戲能鼓勵他們在生活中吃當季的作物，或者思考作物的來源產地，基本上認同遊戲在知識學習的幫助。此外，參與者也對遊戲內容提出調整建議，例如：依地區人口調整作物需求量、增加運輸道路的差異及成本、不同地區的農地成本與耕種成本。這些建議是在表達遊戲的擬真性，然而桌遊依靠玩家自己操作規則與回饋，過於複雜會增加遊戲負荷，因此通常會僅加入凸顯符合學習目標的遊戲內容，忽略其他內容。為了增加單一遊戲能顧及的面向，設計上也許能考量在一個遊戲中包含各種細部主題和玩法，由玩家挑選想玩的內容。

(四) 小結

參與者玩完食在好時後，提升了對於遊戲中預期傳達的食農知識（作物季節、食物里程、

市場經濟),與遊戲的內容相符。進一步探討食在好時之設計對參與者在作物季節、食物里程、市場經濟的學習幫助,本研究繪製一套系統圖,將三者結合成遊戲內容。其中,使用地圖圖表模型,將作物依生長季節分類,繪製卡牌;採用概念過程模型,將季節對作物影響、肥料對作物影響、運輸對環境影響、作物與需求的關係等概念,轉換成手牌管理、工人放置的機制,讓玩家在操作中理解動作後的結果,連結因素間的因果關係,進而建構整體概念。此研究成果同樣顯示桌遊設計程序對於桌遊的設計具有參考的價值,基於知識的過程依科學系統設計遊戲流程,依科學概念的特性設計相符的遊戲機制,可協助參與者建立知識。

第四節 科學桌遊設計程序運用案例

評估設計程序的運作性與推廣性,本研究將以兩個實務案例進行探討,主題分別為氣候變遷與土地利用、地震與防災。本研究運用設計程序的方式,是先讓學生理解設計程序之理念與內容,然後引導他們進行桌遊的設計與分析(即本研究所建立之設計程序),隨後建置此桌上遊戲之實體配件、實施遊戲測試與評鑑,並持續修正與精緻遊戲內容。

一、土地利用桌遊—綠野仙中

本篇案例的資料來源為大專生協助地方推動永續校園計畫-都市森林與氣候變遷桌遊開發(黃悅筑、王齡慶、蔡宗霖,2019),桌遊名稱為「綠野仙中」。本研究運用設計程序的方式,是先向三位學生理解設計程序之理念與內容,然後引導他們進行桌遊的設計與分析(即本研究所建立之設計程序,表29),隨後建置此桌上遊戲之實體配件、實施遊戲測試與評鑑,並持續修正與精緻遊戲內容。以下將分設計分析、遊戲成品、遊戲評鑑三部分描述。

表 29 綠野仙中之設計程序引導流程

引導流程	說明
設計程序之理解	設計程序包含四個項目:學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成,依「系統導向」及「回饋導向」的過程進行分析。
學習資訊之分析	說明科學學習的內涵,為科學桌遊確認目標與定位。確認培養知識為氣候變遷與土地利用,教學對象為高中生。
科學系統之分析	為知識建立系統結構,以氣候變遷與土地利用為主題,確認知識範圍與建立高中生能理解之科學系統知識,並繪製概念圖/系統圖。
規則結構之分析	理解桌上遊戲的特徵,為遊戲設定環境。包含確認遊戲目標(發展經濟與維持環境)、情境設置(企業開發土地興建建築)。
機制組成之分析	建立細部運作與配件,藉由機制呈現科學概念之特性與模型。分析內

容包含遊戲的機制運作（抽牌、手牌管理、拼圖）、配件表徵（圖板、卡牌、指示物）。

遊戲建置與測試 實體配件的設計與輸出、遊戲的遊戲性測試。
 遊戲評鑑與修正 遊戲評估量表的设计、遊戲內容的修正。

（一）桌遊設計分析

案例對象經由設計程序，對學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成進行分析，包含建立系統結構、繪製概念圖／系統圖、設定遊戲環境、建立細部運作與配件（表 30、圖 13）。

表 30 綠野仙中的項目與設計內容

設計項目	次項目	內容
學習資訊	教學對象	高中生
	培養知識	氣候變遷與土地利用
科學系統	系統結構	氣候變遷與災害、土地利用與經濟
	成份關係	天氣種類、土地種類、溫度與災害
規則結構	目標導向	經濟發展與環境維持
	情境設置	角色扮演：企業 流程規則：開發土地、興建建築、面臨事件
機制組成	機制運作	回饋機制：抽牌、手牌管理、拼圖 玩家互動：土地空間競爭
	配件表徵	臺中地區圖板、建設卡牌、天氣卡牌、建築指示物

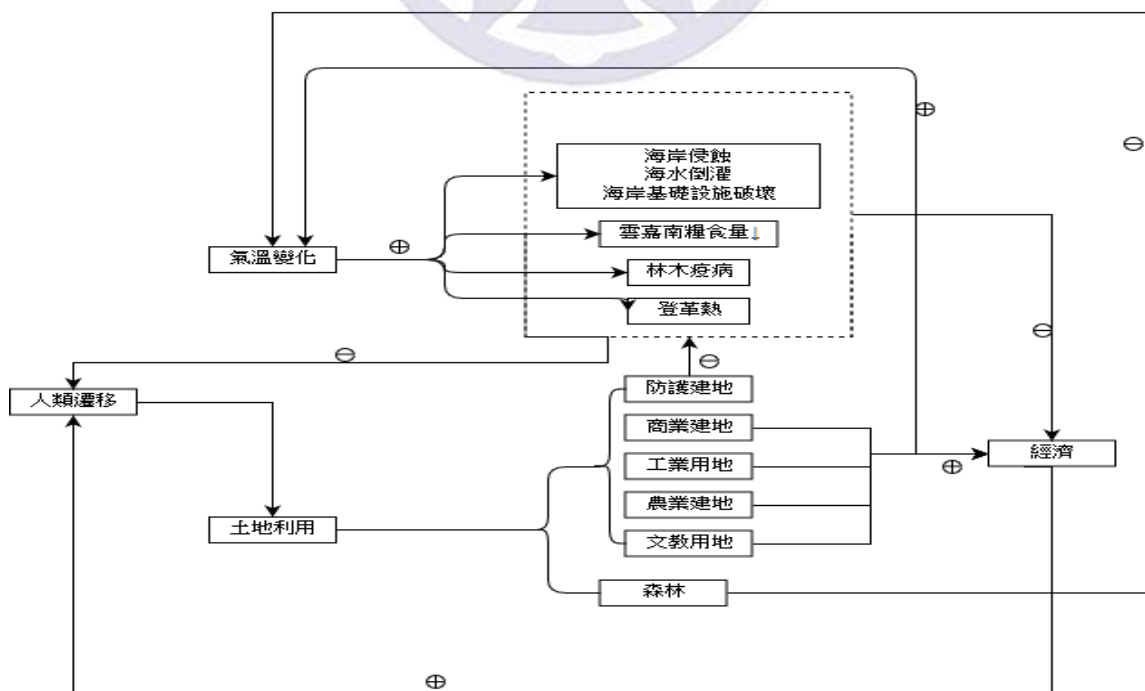


圖 13 綠野仙中的氣候變遷與土地利用之系統

在遊戲中，玩家會面臨兩個情境，分別是土地建設、事件影響。土地建設情境為玩家思考建設的種類（例如：工廠、商業中心、農地等），並花費對應的成本；事件影響情境則是收入資金、面臨天氣的影響（例如：建築損壞、森林病死、市民傷亡）。總體遊戲時間大約 100 分鐘。情境與規則如表 31，各情境的機制設計如表 32。

表 31 綠野仙中的知識與規則結構

土地利用知識／情境	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
企業發展會實施不同的土地利用方式，當開發土地時需擔負責任，例如：經濟、環境。企業的責任。	模擬	目標導向－勝利目標	設定： 開發土地獲獎資金，同時維持環境，分數最高的玩家是贏家。 說明： 在開發的過程了解對環境的影響及經濟發展。
土地利用對於建設、經濟與環境（土地與溫度）的影響。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置－角色扮演	設定： 企業。時間脈絡：現代；硬體環境：領域；角色種族：人類。 說明： 扮演企業家，肩負責任完成使命。
無。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置－回合過程	設定： 建設、獲取金錢、事件與環境影響。 說明： 模擬建設過程，及開發土地的各種影響，以及天氣對土地的影響。
	無法模型化至此桌遊組成	情境設置－初始設置	設定： 設置臺中地區板圖、玩家拿取建設卡牌。 說明： 遊戲初始設置。

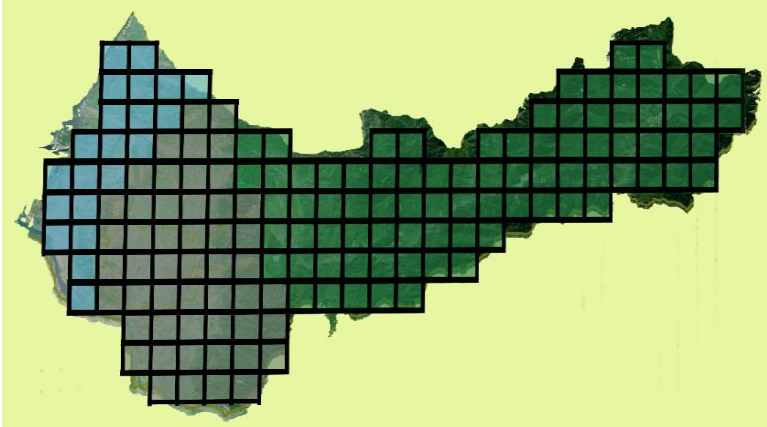
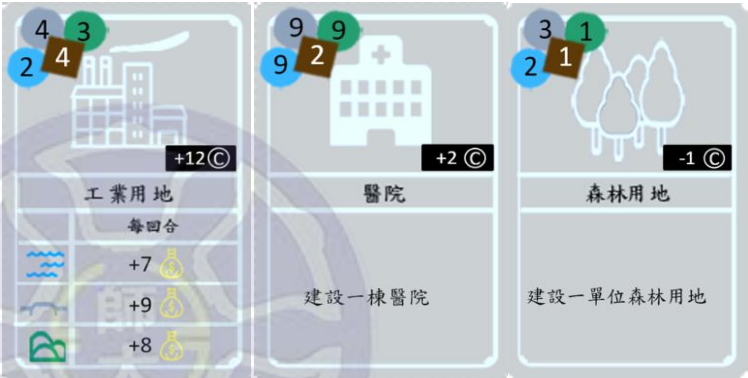


表 32 綠野仙中的回合過程與階段機制

土地利用知識／情境	科學桌遊模型	回合過程與情境	回饋機制與玩家互動
台中區的臨海、平地與山地分佈；各類建設成本、用途與效果。	地圖、圖表與表格模型，概念過程模型	土地建設	機制回饋： 手牌管理，打出建設卡在台中區建設不同空大小房子。然後依建設消耗資金成本、調整對環境的影響。 玩家互動： 空間佔用、土地競爭。
溫度與天氣危害、危害與災害的關係；土地建設與經濟發展的關係。	概念過程模型	事件影響	機制回饋： 回饋計算，計算溫度對天氣危害與災害的影響，計算土地開發獲利。 玩家互動： 無。

（二）桌遊成品與成效

依循設計程序，學生分析與安排遊戲內容後，設計遊戲中的實體配件（表 33）。

表 33 綠野仙中的配件

土地利用知識 ／情境	科學桌 遊模型	實體 配件	圖示與說明
臺中的臨海區域、平地區域與山地區域之分佈。	地圖、 圖表與 表格模 型	臺中圖 板	
各類建設成 本、用途與效 果。	概念過 程模型	建設卡	
不同建設的佔 用空間與佔用 範圍。	尺度模 型	建設指 示物	
溫度對事件強 度的影響、事 件對災害引發 的關係、複合 災害的發生。	概念過 程模型	事件卡 牌	

臺中的臨海區域、平地區域與山地區域

企業可開發之建設（在不同的地區有不同的成本、獲利或效果）

不同建設的佔用空間與佔用範圍

溫度對事件強度的影響、災害引發的關係、複合災害

桌遊設計後進行遊戲運用的評估，評估方式為至高中進行遊玩，並使用 (1) 開放式問題詢問學生遊玩遊戲後的概念反思，思考遊戲中的自我規劃與現行臺中的土地利用；以及 (2) 李克特式量表評估學生對遊戲設計的回饋。概念反思結果如圖 14，學生思考到企業在現實社會要發展需要注意許多事項，除了科學的內容（環境環保、地區性質、污染），還有社會性質（民意、政策、成本），也能思考每個面項間的關係，例如：交通對建設地區影響、建設開發對碳排量與危害的影響、居民對建設的看法。學生對桌遊設計的回饋結果如表 34，學生認為遊戲的卡牌設計能很簡單的被理解，遊戲有助於學習知識且好玩；然而，在遊戲解說、內容與機制相較於其他面向來的低。推測是遊戲題材與元素較多較廣，雖然有助於學習，但遊戲需要熟悉，在講解遊戲規則時需要更迅速與更清楚地解說。圖 15 為遊戲推廣的照片。

討論大家對於台中市規劃與上次大家在桌遊上的規劃與設置有何不同。而造成不同的原因是甚麼?(答案為開放, 無標準答案)

桌遊沒有政策以及民意問題, 有錢的就是老大。
而台中的土地使用分區上, 則因特定的政策與環境的考量, 而有現在我們所看到的台中。交通的易達性也是影響因素之一。
and 成本

討論大家對於台中市規劃與上次大家在桌遊上的規劃與設置有何不同。而造成不同的原因是甚麼?(答案為開放, 無標準答案)

為了能夠賺到更多錢, 考慮環保, 所以都蓋工廠在工業區, 滿了之後就把山區蓋滿了, 造成了山崩, 房屋都推倒了, 但是要和大自然取得和平真的非常困難

討論大家對於台中市規劃與上次大家在桌遊上的規劃與設置有何不同。而造成不同的原因是甚麼?(答案為開放, 無標準答案)

因為在森林蓋農場或森林成本較低, 而遊戲的目標是賺大錢, 所以以此為目的。
很少考慮到碳排放量, 導致我們的規劃與實際的臺中市有所不同。
在海邊或是森林蓋消波塊為了阻止其他人繼續蓋東西破壞土地。

討論大家對於台中市規劃與上次大家在桌遊上的規劃與設置有何不同。而造成不同的原因是甚麼?(答案為開放, 無標準答案)

1. 錢的花費與現實相差甚大
2. 農地、工廠有區位問題(原料、交通、人力等), 遊戲無
3. 有空地就能蓋(遊戲)、工廠想蓋可能遭受抗議(現實)

圖 14 綠野仙中的氣候變遷與土地利用之系統

表 34 高中學生對綠野仙中的評估

題目	平均
一、遊戲目標	
1. 遊戲背後的目標很明確地被定義。	4.33
二、卡牌設計	
2. 卡面印有規則說明, 對玩家出牌時很有幫助。	4.33
3. 卡片的圖片設計能夠幫助玩家理解與識別。	4.38
三、內容與機制	
4. 遊戲的規則能夠讓我理解。	3.88
5. 桌遊卡牌的數量是剛剛好的。	4.13
6. 遊戲所需的時間長度是合理的。	3.63

題目	平均
四、可玩性和娛樂性	
7. 遊戲規則提供了許多選擇,讓玩家能夠做出靈活的策略。	3.96
8. 這個遊戲很有趣。	4.58
五、效益	
9. 遊戲鼓勵玩家深入理解遊戲所帶出的主題。	4.67
10. 玩桌遊是一種有效利用時間的學習方法。	4.25



圖 15 綠野仙中的遊玩過程

(三) 小結

此案例提供了科學桌遊設計程序能實施與運用的支持，案例中的三位大學生能依循設計程序，設計出具學習目標、符合科學系統知識、具遊戲主題且能運作的科學桌遊，除了能規畫遊戲的內容，也能產出實體並進行評估。評估結果也顯示遊玩者能從中體驗欲傳達的知識。此案例除了顯示正向成效外，也提供了設計程序可再精緻化的內容。

案例對象反思，認為桌遊的設計在遊戲機制的調整是最為困難的，包含遊戲建構、玩家能力、科學情境觸發。雖然運用設計程序有助於建立完整架構，合理性、詳細的制定遊戲規則，但本身系統龐大，如何描繪整個遊戲的架構需要較多的時間練習；這也可能會讓第一次接觸的玩家感到複雜，因理解的困難與適應而破壞遊玩時的體驗與融入感。此外，還有科學學習情境是否得以觸發的機會，例如，遊戲中的世界溫度升高時會發生自然災害事件，但是案例中的原設定的觸發率太小，導致遊戲時間過半還沒觸發災害事件，因此還需調整。

二、地震與防災桌遊－震事時候

本篇案例的對象為 2 位地科系的大學生，設計之桌遊將於科普推廣活動進行推廣，桌遊名稱為「震事時候」。本研究運用設計程序的方式，是先向兩位學生理解設計程序之理念與內容，然後引導他們進行桌遊的設計與分析（表 35），隨後建置此桌上遊戲之實體配件、實施遊戲測試並持續修正與精緻遊戲內容。以下將分設計分析、遊戲成品、遊戲評鑑三部分描述。

表 35 震事時候設計程序引導流程

引導流程	說明
設計程序之理解	設計程序包含四個項目：學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成，依「系統導向」及「回饋導向」的過程進行分析。
學習資訊之分析	說明科學學習的內涵，為科學桌遊確認目標與定位。確認培養知識為地震與防災，教學對象為國中生。
科學系統之分析	為知識建立系統結構，以地震與防災為主題，確認知識範圍與建立國中生能理解之科學系統知識，並繪製概念圖／系統圖。
規則結構之分析	理解桌上遊戲的特徵，為遊戲設定環境。包含確認遊戲目標（保護人民生存）、情境設置（地震災害、教育與防災）。
機制組成之分析	建立細部運作與配件，藉由機制呈現科學概念。分析內容包含遊戲的機制運作（卡牌選擇、手牌管理）、配件表徵（圖板、卡牌）。
遊戲建置與測試	實體配件的設計與輸出、遊戲的遊戲性測試。
遊戲評鑑與修正	遊戲評估量表的設計、遊戲內容的修正。

（一）桌遊設計分析

案例對象經由設計程序，對學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成進行分析，包含建立系統結構、繪製概念圖／系統圖、設定遊戲環境、建立細部運作與配件（表 36，圖 16）。

表 36 震事時候的項目與設計內容

設計項目	次項目	內容
學習資訊	教學對象	國中生
	培養知識	地震與防災
科學系統	系統結構	致災因子、災害、防災四步驟
	成份關係	地震現象、災害種類、災害影響、減災、備災、應變、復原
規則結構	目標導向	提供社會韌性與維持生命生存
	情境設置	角色扮演：防災企業 流程規則：企業經營與服務研發、面臨事件
機制組成	機制運作	回饋機制：抽牌、手牌管理、模式組合 玩家互動：任務與計畫競爭
	配件表徵	台灣地區圖板、建設卡牌、服務卡牌、行動卡牌、事件卡牌

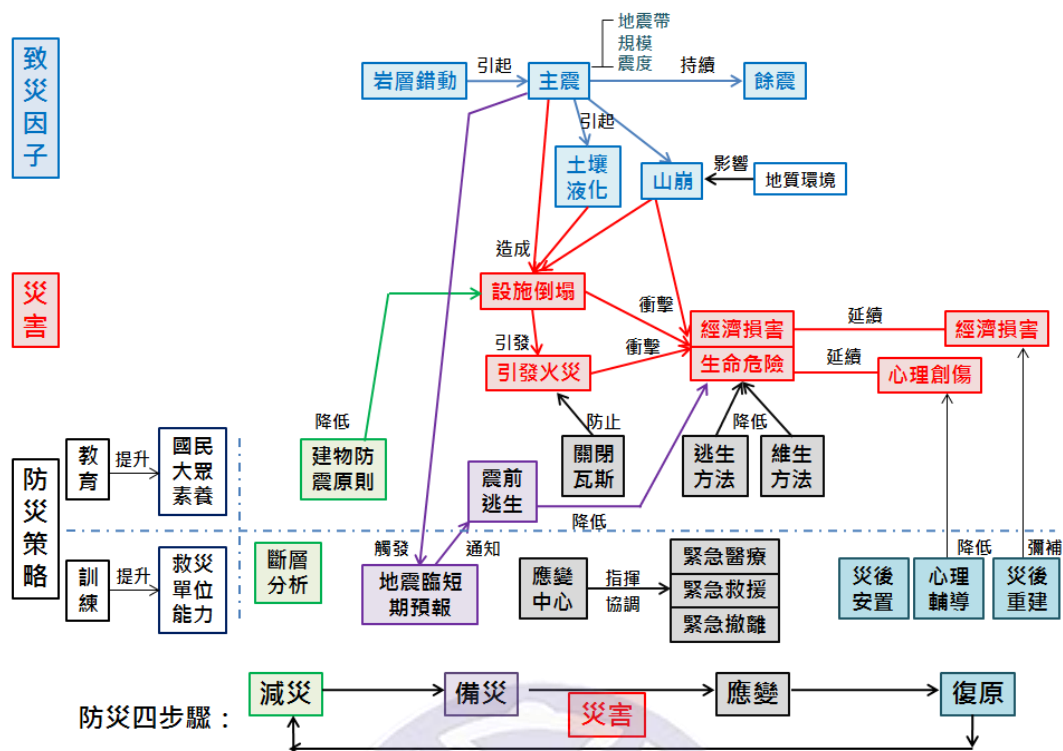


圖 16 震事時候的地震災害與防災之系統

在遊戲中，玩家只會面臨一個情境，即是企業經營。而在企業經營此情境下，將會面臨經營管理與服務研發，以及事件等兩個狀況。經營管理與服務研發狀況為玩家思考企業的經營方針，例如：科技研發、建物加固、國際合作、教育推廣等於減災、備災、應變與復原之行動；面臨事件狀況則是面臨天氣的影響（例如：地震來臨、災害衝擊、環境損害等）。總體遊戲時間大約 60 分鐘。規則與機制如表 37 與表 38。

表 37 震事時候的知識與規則結構

地震防災知識／情境	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
以防災為理念的企業，在發展時需思考災害成因、災害影響、防災建設、防災技術、防災教育等系統，以求社會韌性與生命生存之維持與提升。	模擬	目標導向－勝利目標	設定： 實施各項防災措施、積極維持或提升社會韌性與生命生存，以獲得民眾好感度與政府信任度。 說明： 在經營防災企業的過程了解災害成因、災害對經濟與生命的影響、防災措施。
防災企業的責任。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置－角色扮演	設定： 企業。時間脈絡：現代；硬體環境：領域；角色種族：人類。 說明： 玩家扮演防災企業家，肩負責任完成使命。

了解災害成因、災害影響、防災技術、防災建設、防災教育等系統。

無法模型化至此桌遊組成

情境設置—
回合過程

設定：防災行動、社會影響、環境影響、事件與災害影響。

說明：企業經營與防災研發與服務之過程，以及災害的影響與防災的系統。

無。

無法模型化至此桌遊組成

情境設置—
初始設置

設定：設置臺灣地區板圖、玩家拿取經營卡牌。

說明：遊戲初始設置。

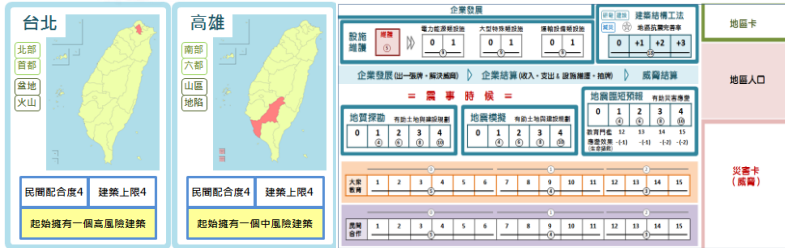

表 38 震事時候的回合過程與階段機制

地震防災知識／情境	科學桌遊模型	回合過程與情境	回饋機制與玩家互動
臺灣地區分佈、防災技術、防災建設、防災教育、社會韌性、生命影響；地震與危害、危害與災害的關係、防災措施與防災效果的關係。	概念過程模型	企業經營（經營管理、事件影響）	<p>機制回饋：(1)手牌管理，打出各種防災措施卡，提升社會韌性、調整對環境的影響、對社會的影響。(2)回饋計算，計算災害、防災措施與防災效果的關係。</p> <p>玩家互動：任務與計畫競爭。</p>

(二) 桌遊成品與成效

依循設計程序，學生分析與安排遊戲內容後，設計遊戲中的實體配件（表 39）。

表 39 震事時候的配件

地震防災知識／情境	科學桌遊模型	實體配件	圖示與說明
臺灣地區與地區特性。	地圖、圖表與表格模型	地區圖板	
各類防災技術、防災建設、防災教育等措施卡牌及其效果。	概念過程模型	措施卡	<p>臺灣地區及其自然與社會的概況</p>  <p>企業經營、防災研發與相關服務</p>

地震與危害、概念過事件卡
 危害與災害的程模型
 關係。



地震與危害、危害與災害

桌遊設計後進行遊戲運用的評估，評估方式為在遊戲測試時給測試員進行遊玩並使用李克特式量表評估學生對遊戲設計的回饋（表 40），結果顯示測試員普遍認同此遊戲的目標與學習的效用；而圖片對參與者在科學理解的效果有限，規則與機制在呈現防震的策略選擇與執行也不高。震事時候滿足了傳遞科學知識此一目標，然在表徵與遊戲執行的動作尚可持續加強。圖 17 為遊戲遊玩的照片。

表 40 參與者對震事時候的評估

題目	平均
一、遊戲目標	
1. 遊戲背後的目標很明確地被定義。	4.75
二、卡牌設計	
2. 卡面印有規則說明,對玩家出牌時很有幫助。	4.25
3. 卡片的圖片設計能夠幫助玩家理解與識別。	3.25
三、內容與機制	
4. 遊戲的規則能夠讓我理解。	4.75
5. 桌遊卡牌的數量是剛剛好的。	4.5
6. 遊戲所需的時間長度是合理的。	4.5
四、可玩性和娛樂性	
7. 遊戲規則提供了許多選擇,讓玩家能夠做出靈活的策略。	3.75
8. 這個遊戲很有趣。	4.5
五、效益	
9. 遊戲鼓勵玩家深入理解遊戲所帶出的主題。	4.5
10. 玩桌遊是一種有效利用時間的學習方法。	4.75



圖 17 震事時候的遊玩過程

(三) 小結

本運用案例的對象為兩位大學生，由研究者本人進行每週為時兩小時的引導討論，共八週。案例對象認為引導方式有助於他們思考科學桌遊設計程序之實施，也能實際運用開發出成品。在對成品遊戲進行自我效果評估時，確實模擬出企業建設、企業服務的效用，也能有所感受，也呈現震央與規模對各地區震度、災害及防震作為之效果的回饋關係。在設計過程中，對於科學與遊戲的比重和修正，案例對象也提出設計反思，科學學習部分：(1) 卡牌做為遊戲「物件單元」、科學「成份」的呈現，較是各自發揮各自的作用，卡牌之間的遊戲相互作用與科學「關係」還未有足夠結構化的系統，因此，需考量卡牌間的組合以提高遊戲策略與科學系統。(2) 地震發生頻率若較低將無法強烈感受防震的需要以及災害的衝擊，需思考遊戲中發生的頻率。(3) 需思考玩家動作執行數量與災害發生數的比例，包含每一回合執行動作的多寡，地震發生的頻率、災害種類之多寡。遊戲部分：(1) 單一因素（例如：錢）的比重太高，變成有錢可以做大部分的事，而少了因素間的必要性或前置性。(2) 玩家互動較少，缺乏模擬現實的社會互助。

三、設計程序案例小結

此兩個案例顯示在設計桌遊時很常碰到的困難—遊戲節奏與遊戲平衡，案例對象皆有科學相關知識，但由於桌遊經驗較不多，以致於設計之桌遊雖已能傳達知識但遊戲性還需稍加修正。例如：關於科學學習內容在遊戲的呈現，需(1) 強化科學系統的關係，包含遊戲機制、卡牌關聯；(2) 科學事件的發生頻率評估；(3) 玩家動作執行數與科學內容的比例。在遊戲設計部分，應考量 (1) 單一因素的比重、因素間的必要性或前置性；(2) 玩家互動與社會互動的關聯。基於案例結果，本研究認為在推廣設計程序時，應考量設計者的背景，以思考需在遊戲設計的概念或科學結構的知識加強引導。



第五章、科學桌遊與它們的 EXtension

第一節 X 科學桌遊延展項目

此節的目標在發展 X 科學桌遊設計模式。探討科學教育中的學習內容與學習表現，以及能培養學習知能、整合至科學桌遊中的延展項目，再規劃 X 科學桌遊設計模式。

一、科學知能的培養與可延伸的桌遊組成

依循科學桌遊設計程序，可分成兩個面向探討科學桌遊的延展：科學知能與桌遊組成。其中，科學知能即遊戲的學習目標，包含科學概念的學習、態度與技能的培養，於設計程序的學習資訊與科學系統兩個項目進行分析；桌遊組成則從規則結構與機制組成兩個項目探討延展的可能性，藉由各個桌遊組成的設計以培育科學知能各面向。

(一) 培養的科學知能

科學知能之內容本研究參考十二年國教自然領域課程綱要（教育部，2018b）、十二年國民基本教育自然科學領域綱要內容之前導研究（國家教育研究院，2013）、美國「新世代科學標準」(NGSS, 2013)，將其分為科學概念、科學態度與科學（探究）技能等三個面向（表 41）。

表 41 X 科學桌遊培養的科學知能

科學知能	說明
科學概念	包含有基本學科領域之核心概念，即物理、化學、生物、地球科學等自然學科之概念；社會性科學議題之概念，並在面對議題時的處理及因應，並做出適當的決策；理解與運用科學、科技、工程與數學之跨域概念 (Carnevale, Smith, & Melton, 2011; Kolstø, 2001; Standards, 2013; 林樹聲，2005；劉湘瑤、張俊彥，2018)。
科學態度	包含對科學的興趣與覺知、透過科學探索與思考對週遭的事物產生新的體驗及興趣；體會生活中處處都會運用到科學，而能欣賞科學的重要性及科學中的美感；自主學習與運用科學，養成應用科學思考與探究的習慣；認識科學本質，體認及建立對科學議題的價值觀等態度 (Standards, 2013; 國家教育研究院，2013；教育部，2018b)。
科學技能	主動察覺科學問題的成因，並能對問題規劃與執行科學的解決方法；對科學議題提出合理且較完整的疑問或意見，並能提出討論及資訊分享；對科學現象進行推理與論證，依據科學問題自行運思或討論以建立模型，描述一個系統化的科學現象 (Standards, 2013; 甘漢銑、陳文典，2004；邱美虹，2016；教育部，2018b)

(二) 延展的桌遊組成

本研究基於可設計與融入至桌遊組成之素材和概念，探討各類設計文章與實徵研究，目前歸納可延展的媒介與設計有 10 樣，如表 42。本章將就此些延展設計融入至桌遊中，發展 X 科學桌遊，並進行成效分析。

1. **規則結構項目**：目標導向、情境設置之延展，分別利用陷阱目標、大型化遊戲、難度模組。
2. **機制組成項目**：機制運作、配件表徵之延展，分別為遊戲中鷹架、記錄系統、存檔系統、同情境劇本、科學過程、科技媒材、空間應用。

表 42 X 科學桌遊的組成延展

延展的學習表現	設計項目	次項目	延展設計	說明
科學態度	規則結構	目標導向	陷阱目標	目的在引起學生反思。陷阱目標是指與學習目標不同的目標，預期讓玩家朝著只專注陷阱目標而忽略隱藏的學習目標（重要目標）進而導致遊戲失敗，對學生產生衝擊進而反思自身思維，建立對議題的價值觀 (Cheng, Tsai, et al., 2019)。
科學技能		情境設置	大型遊戲	目的在強化玩家互動。大型化的遊戲讓多人可分組共同遊玩，小組內朝勝利目標合作討論，小組間相互競爭刺激思考，強化玩家間在遊戲中的互動與討論 (Cheng, Tsai, et al., 2019)。
科學概念、科學技能		情境設置	難度模組	目的在提供不同概念數量與遊戲難度的情境，讓玩家可以依照自己的能力挑選可自我挑戰與適性學習的遊戲規則與內容的模組，協助培養科學概念或能力 (Csikszentmihalyi, 2000; Wang, 1980; 黃政傑、張嘉育, 2010)。難度模組也可以設計在遊戲中，在遊玩中逐漸增加難度。
科學概念、科學技能	機制組成	機制運作	遊戲鷹架	目的在引導玩家思考。遊戲中高階的認知可能難以建構，或者玩家間的互動可能產生衝突進而影響學習，鷹架的加入可以引導參與者的後設認知，思考自我的學習歷程，進而達到深度地學習或相互學習 (Azevedo & Hadwin, 2005; Nussbaum et al., 2009)。鷹架需要融入在遊戲機制中，以免破壞遊戲體驗 (Hou & Li, 2014)。
科學概念、科學技能			記錄系統	目的在引導學生回顧遊戲歷程。記錄系統記錄學生每一回合的遊戲資訊與遊戲狀況，當遊戲目標與學習目標相同時，每一回合的記錄，呈現了學生在遊戲中的學習表現，也反應了他們達到遊戲目標／學習目標的差距，除了有助於評估學生的學習狀況，也能讓學生在遊戲後回

科學概念、 科學技能	存檔 系統	<p>想遊戲中的資訊以建構全面的知識，或是回想遊戲中的表現與經驗，並以這些經驗，提出下一次遊戲時的行動與規劃 (Cheng, Tsai, et al., 2019)。</p> <p>目的在長時間遊玩。具複雜結構的系統知識，需要較長的學習時間 (Assaraf & Orion, 2005)，在制式教育場域較難有一次性的長時間課程，存檔系統有助於教學者／學習者快速整理遊戲，降低收納與設置遊戲的負荷，除了有助於遊戲推廣，也利於高階知識的養成及長時間的議題實作。</p>
科學態度、 科學技能	同境 劇本	<p>目的在評量學習遷移。玩家產生學習遷移是利用桌遊進行學習的目標之一。為了客觀評估學生的遷移行為，在參與者玩完遊戲後，遊戲提供另一個相近的、新的情境與知識系統，讓玩家接續遊玩，同時記錄玩家的遊戲歷程與表現。這個記錄能讓我們分析學生是否有發生學習遷移的行為，包括：在新的遊戲情境中，發現與先前遊戲情境的相關事物；或是，將在先前的遊戲中獲得的知識，應用在新遊戲的知識的學習 (Perkins & Salomon, 1992)。</p>
科學技能	科學 過程	<p>目的在營造玩家體驗科學探究或實驗的過程，包含觀察、命題、計劃、執行等方法，以提升課綱中所提的科學探究能力 (國家教育研究院, 2013; 教育部, 2018b)。除了科學探究過程，科技與工程之操作與建置也是能發展的機制之一。</p>
科學概念、 科學態度、 科學技能	配件 表徵 科技 媒材	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目的在擴充資訊。行動科技易於攜帶和使用，能與桌遊結合 (Huynh et al., 2009)，它具有擴增資訊量、呈現各類表徵、運算科學程式、增進人與人互動等功能 (Liou, Bhagat, & Chang, 2016; Whalen, 2003)。將行動科技的功能結合至桌遊，除了可以增加桌遊的資訊量，還能強化整體美術表現、增強模擬議題的情境的效果 (Klopfer & Squire, 2008)。 2. 目的在隱藏資訊。例如，將遊戲的回饋結果隱藏在科技媒材中，為了探索資訊已完成遊戲目標，促發參與者在遊戲中進行探究與實作的過程 (例：桌上遊戲「鍊金術師 Alchemists」 (BoardGameGeek, 2014))。
科學態度、 科學技能	空間 應用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目的在呈現議題體驗。從配件的設置、空間的營造，達到學習的目的，例如：實驗、科學史等。 2. 目的在延伸遊戲體驗。讓桌上遊戲不侷限在桌上，利用現實的環境來延長體驗，強化學習與興趣，例如：室內空間、戶外場域。

第二節 X 科學桌遊設計模式

X 科學桌遊設計模式基於科學桌遊設計程序的四個項目，在各項目加入可延展的學習表現、桌遊組成／環境，依循系統導向以及回饋導向的過程，分析與設計 X 科學桌遊。整體模式基於欲培養的學習表現與知識內容，思考於規則結構加入大型遊戲、陷阱目標以及於機制組成加入記錄系統、存檔系統、同境劇本、遊戲鷹架、科技媒材、空間應用等組成。如同設計程序，系統導向的分析在於聚焦系統學習與知能培養，回饋導向的過程則考量學生的能力與遊戲樂趣（圖 18）。

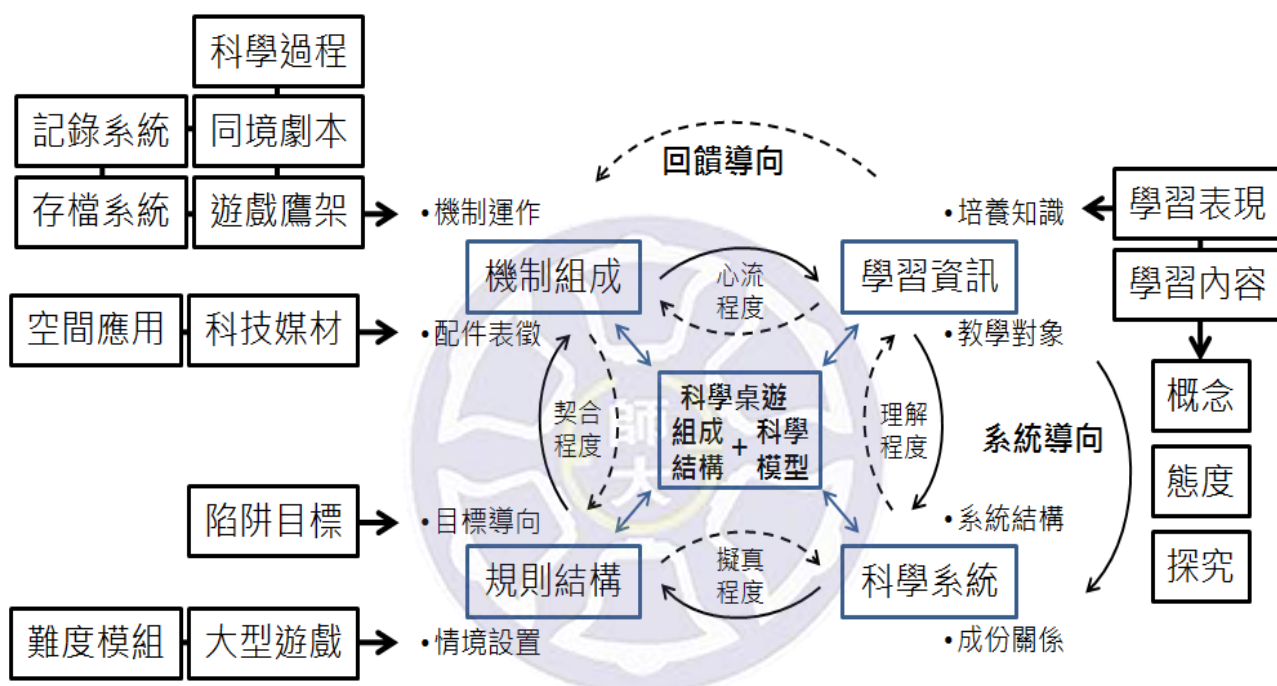


圖 18 X 科學桌遊設計模式

(一) 系統導向的過程

在 X 科學桌遊模式，系統導向的過程亦是從明確但抽象的學習目標，逐步具體化成知識內容及遊戲內容，轉變為遊戲系統，並整合延展的桌遊組成。過程從(1) 分析對象及學習目標（可參考表 38）、列出欲培養的科學學習表現與學習內容，建立對應的科學系統；(2) 再依據學習目標及科學系統，建構桌遊的整體世界觀，即情境與目標，以及可延展的組成（可參考表 39）；(3) 最後細緻化遊戲的互動功能，設計運作機制以及桌遊的實體配件，以期藉由各項目的整合來培養學習者的科學知能。

(二) 回饋導向的過程

如同科學桌遊設計程序，回饋導向的過程是依據學習者的背景，加入會使其感到興趣的機制（可參考表 14，精簡於下表 43），而願意投入遊玩、再度遊玩。延展的機制與規則之設計，皆是基於科學學習以及提高遊戲興趣為目標。

表 43 桌遊中的設計

設計項目	桌遊組成	設計與說明
規則結構	勝利目標	1. 遊戲目標： 遊戲目標設定明確、與學習目標一致、對玩家是高度且預期可達成的挑戰，這將讓學生內化遊戲中的所學，且易投入遊戲，達到沉浸狀態。
	流程規則	1. 扮演角色： 賦予角色課題、符合學習目標的角色情境，有助於達到教學的目的。 2. 遊戲情境： 符合現實、有待解決的問題/困難、可讓學生發揮複雜的技能運用，可增加觸發心流的可能。 3. 重複的過程： 精緻化與練習、供學生熟悉遊戲操作的機會，內化學習知能、提高遊戲投入的意願。
機制組成	階段機制	1. 回饋與控制： 提供學生待解決的特定問題、讓其有策略操作與行動控制的機會，應能使玩家更深入的理解遊戲過程以及學習有效性。 2. 玩家互動： 提供玩家可互動/觀摩/學習的機會，將會為了尋求解決方式而主動地自我學習，或向他人學習。 3. 互動環境： 與現實相關聯，參與者可在遊戲中設計可行的策略、處理衝突、批判性自我反思，可產生自我組織且具系統性的學習。
	實體配件	1. 美術與介面： 強化表徵的呈現方式、操作介面的設計、資訊輸入的媒介，會影響玩家在遊戲中的感受。

第三節 X 科學桌遊之成效評估

一、主題選擇

為能反應 X 科學桌遊所延展的科學學習表現之培養，本研究預期發展並探討兩個在科學學習上受關注的科學主題/議題的桌遊的成效，分別為生活水資源永續議題的推廣及水資源調適教育之推廣。水資源教育一直是持續推動的議題（莊英慧、熊召弟、耿筱曾、甘漢銑，200；黃運忠、盧秀琴，2004），然而民眾用水習慣尚未反映正向表現，例如：日常用水量仍超過平均 250 公升之用水標準（2017 年為 278 公升）（經濟部水利署，2017），顯見水資源觀念之培養與行動仍應持續推動，因此發展「瘋水輪流轉」科學桌遊以促進水資源教育之推廣，設計

有難度模組、遊戲鷹架，以培養對水資源之知識、態度與習慣。另一方面，近年因氣候變遷的影響，已對水資源造成衝擊，水資源調適教育之推廣亦為重要 (Bergkamp, Orlando, & Burton, 2003; Ford, Berrang-Ford, & Paterson, 2011; 行政院，2012)，本研究發展水資源調適桌遊「藍晶方舟」，培養學生對此議題之概念與價值觀，桌遊設計有陷阱目標、大型遊戲與記錄系統。

二、水資源桌遊—瘋水輪流轉

(一) 桌遊設計

本研究設計「瘋水輪流轉」桌遊，以傳達日常水資源永續概念為目標，依循設計程序的 4 個項目，設計如下表 44。日常水資源議題與生活相近，然而牽涉的因素眾多（天氣、飲食、電器使用、回收、時效等），同時加入至遊戲可能增加學生在遊戲中對於規則與認知上的負荷，故本研究使用「難度模組」與「遊戲鷹架」兩個 X 桌遊設計項目，前者目的是讓參與者能循序漸進的學習，後者則是給予參與者關鍵提示。

表 44 瘋水輪流轉的項目與設計內容

設計項目	次項目	內容
學習資訊	教學對象	國中生
	培養知識	日常水資源永續素養，包含：概念、態度與個人習慣
科學系統	系統結構	天氣影響、日常水資源流動
	成份關係	水足跡、天氣、食物、日常活動
規則結構	目標導向	維持自己的健康
	情境設置	角色扮演：現實生活中的自己
		流程規則：天氣影響、日常生活、健康結算 難度系統*：個人健康與水資源、回收與水資源
機制組成	機制運作	回饋機制：抽牌、手牌管理
		玩家互動：競爭、卡牌干擾
		遊戲鷹架*：藉由事件卡、行動卡提示遊戲中可思考的省水／健康措施
	配件表徵	個人習慣面板、食物卡、日常卡、水滴指示物

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

- 1. 學習資訊：**瘋水輪流轉的學習資訊，教學對象為國中生。培養知識則為日常水資源永續素養。素養包含水資源永續概念、態度與個人習慣。
- 2. 科學系統：**以天氣影響與日常水資源流動的組成與結構為主，包含水足跡、天氣、食物、日常活動，如圖 19。後續遊戲的規則與機制需設計讓玩家可以學會該結構。

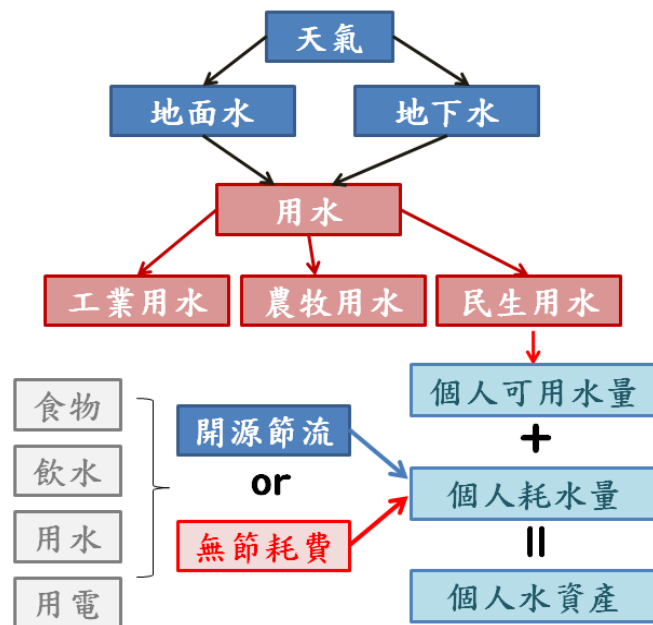


圖 19 瘋水輪流轉的概念結構

3. **規則結構**：將抽象的學習內容轉變為具體的桌遊內容，包含有勝利目標、角色扮演、回合過程與初始設置（表 45）。在規則結構運用的延展項目為「難度模組」，分有初階版、基本版與進階版。初階版呈現天氣、事件以及個人日常生活習慣對水資源的影響，每個天氣與事件僅作用一回合，日常生活則僅處理一餐食物、一個電器與多個省水方法的水足跡，讓參與者簡易地了解與水資源有關的因素。基本版則較初階版多了時間的影響，不同的天氣與事件影響水資源的時間不同，日常生活要處理三餐與飲水、多個電器、多個省水方法的水足跡。進階版則基於基本版，除了水足跡外，還要思考電器與飲食對人體與生活的附加作用，也多加入物品回收得以省水的內容。

表 45 瘋水輪流轉的規則結構

水資源知識／情境	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
科學概念、科學（生活） 技能：生活中會影響健康的因素，包括食物、飲水與生活習慣等。 現實生活中的自己。	模擬	目標導向— 勝利目標	設定：在日常生活維持健康，健康最高的人是贏家。結束條件：回合結束； 勝利判定：最高數值。 說明：以健康地生活為目標。
	無法模型 化至此桌 遊組成	情境設置— 角色扮演	設定：日常生活的自己。時間脈絡： 現在；環境：生活；角色種族：人類。 說明：玩家扮演現實生活中的自己，讓自己在生活中活下去。
科學概念：日常生活一天	無法模型	情境設置—	設定：天氣對水資源影響、日常生活

的過程。

化至此桌
遊組成
回合過程

運作、健康結算。

說明：模擬一天的過程，天氣對水的影響與日常生活過程。

難度模組*：分有：(1) 初階版：僅處理一餐食物、一個電器、多個省水方法的日常生活。(2) 基本版：處理三餐與飲水、多個電器、多個省水方法的擬真生活。(3) 進階版：基於基本版，多加入物品回收的內容。

科學概念：個人日常生活、生活作為。

無法模型
化至此桌
遊組成
情境設置—
初始設置

設定：設置個人習慣面板、玩家拿取卡牌、分配水滴指示物。

說明：遊戲初始設置。

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

4. 機制組成：在此步驟，我們規劃瘋水輪流的細部運作內容，即是安排回機制饋與玩家互動這兩個桌遊特性（表 46），在一場遊玩中，參與者會重複進行數次相同的回合過程，在每一個回合會依序面臨三個需處理的情境，直到遊戲結束。總體遊戲時間大約 50 分鐘。配件表徵則利用圖板、卡牌與指示物等實體物件，來呈現日常生活用水的因素（表 47）。機制組成使用「鷹架系統」設計，藉由社會事件卡呈現變化與衝擊，讓玩家思考因素改變的影響，以及解決策略；行動卡安排玩家可執行的動作，讓玩家專注在執行這些行動時的效用及影響。

表 46 瘋水輪流轉的回合過程與階段機制

水資源知識／情境	科學桌遊 模型	回合過程 與情境	回饋機制與玩家互動
科學概念： 天氣對水資源的影響。	概念過程 模型	天氣影響	機制回饋： 抽牌，抽取天氣並結算天氣對可用水的影響。 玩家互動： 無。
科學概念、科學（生活） 技能： 生活習慣對個人日常水足跡的計算。	概念過程 模型	日常生活	機制回饋： 手牌管理，將打出的手牌放置在個人習慣面板，依個人習慣計算每日用水水足跡。 玩家互動： 競爭、卡牌干擾。 鷹架系統*： 社會事件卡呈現變化與衝擊，呈現因素改變的影響；行動卡安排玩家可執行的動作。
科學概念： 個人飲食與用水對健康的影響。	概念過程 模型	健康結算	機制回饋： 條件結算，依個人打出的卡牌，計算個人健康狀況。 玩家互動： 無。

表 47 瘋水輪流轉的配件

水資源知識／情境	科學桌遊模型	實體配件	圖示與說明
<p>科學概念：個人生活習慣記錄，及生活中會影響健康的因素。</p>		<p>個人習慣面板-初階版*</p>	 <p>生活用水習慣（飲食、用水與省水、電器等資訊）</p>
<p>科學概念：個人生活習慣記錄，及生活中會影響健康的因素。</p>	<p>地圖、圖表與表格模型</p>	<p>個人習慣面板-基本版*</p>	 <p>生活用水習慣（三餐、飲水、用水與省水、電器等資訊，以及時間概念）</p>
<p>科學概念、科學（生活）技能：飲食、用水與省水、電器的水足跡與效果。</p>	<p>地圖、圖表與表格模型</p>	<p>食物卡、日常卡</p>	 <p>名稱、種類、水足跡、效果等資訊</p>
<p>科學概念、科學（生活）技能：回收行為對節省水資源的效益。</p>	<p>地圖、圖表與表格模型</p>	<p>回收卡-進階版*</p>	 <p>名稱、種類、回收的效果與獎勵</p>
<p>科學概念：社會事件對水資源與健康的影響。</p>	<p>概念過程模型</p>	<p>社會事件卡*</p>	 <p>社會中與水有關的事件（遊戲中的鷹架，提示在現實中可能遇到的問題）</p>

科學概念、科學（生活）技能：日常行為對日常水足跡與健康的影響。



遊戲中可執行的特殊行動（遊戲中的鷹架，提示在水資源的行動上有哪些可以注意的）

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

（二）評量與分析

瘋水輪流轉的目標在提升參與者的日常生活水資源永續的素養，我們運用下列策略，評量參與者的表現，並評估瘋水輪流轉的成效。評估對象為 53 位國中生。

1. 省水知識 V 圖：用於評量學生對省水的概念與方法。V 圖以學習目標做為核心事件，可同時評估對於特定事件的概念領域與方法領域間的關聯 (Fox, 2007; Guley-Dilger, 1992; Novak, Bob Gowin, & Johansen, 1983)。本研究的 V 圖以核心事件：如何增加水資源做為問題中心，請學生列出此問題的關鍵概念與因素，以及探索達成此目標的方法，並闡述自身對於此事件的知識與價值。學生填寫與核心事件相符並有效的答案計一分（圖 20）。

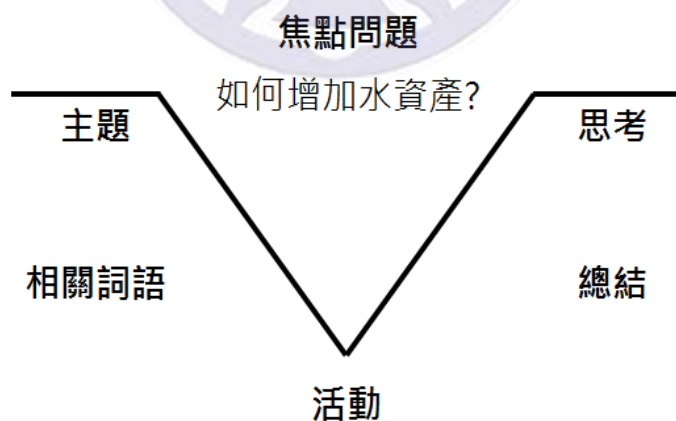


圖 20 省水知識 V 圖

2. 生活水資源覺知量表：用於評量學生對日常水資源永續的覺知評估，參考九年一貫課綱環境議題素養（教育部，2010），共分有三個面向：(1) 對生活中的水資源的覺知，指學生能不能覺察到水資源與日常生活方式或健康有關，題目例如：我平常會去覺知水資源與個人身心

健康的關係、我平常會去覺知自己的生活方式對水資源的影響。(2) 對社會中的水資源的覺知，是指學生能否體認到水資源與人類活動、社會發展的關係，題目例如：我平常會去瞭解水資源與經濟發展間的關係、我具有好奇心去體認人類在水資源議題中的角色以及水資源與人的相互關係。(3) 個人水資源行動意向，指學生是否願意執行與水資源維護有關的行為，題目例如：我會關切人類行為對水資源環境的衝擊進而建立水資源環境友善的生活與消費觀念、我會依循環保簡樸與健康的理念於日常生活與消費行為。量表採用李克特式五點評估，學生依題目從非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意等五個選項中選擇最符合自身的選項。

3. 水資源習慣自評量表：用於評量學生對個人日常用水習慣的評估，題目參考水計算器（環境品質文教基金會，2011）。評估的內容有日常吃肉類與蔬菜類的習慣、洗澡用水的時間與習慣、家中省水裝置的擁有與使用、常用家電的用電時間等，例如：「對我而言：平均每天我習慣吃的肉類、蔬果類及穀類的比例」、「家中的水龍頭、馬桶是？」。

4. 訪談：遊戲結束後向學生提問他們對瘋水輪流轉的遊玩想法，也請他們說明遊戲是否能幫助學習日常水資源素養，以及是遊戲中的哪些部分幫助學習。

為了評估瘋水輪流轉的有效性，本研究採用了一種前測—體驗遊戲—後測的準設計，研究對象為 52 位國中生，實行時間與內容如表 48。資料的收集與分析方法如下：(1) 水資源永續知識測驗、水資源永續覺知量表與水資源習慣自評量表於遊戲前與遊戲後進行測驗，收集學生的計分，使用變異數分析與效果量分析，評估學生在後測的分數是否高於前測。由於受限課程時間，研究先於遊戲前進行初階版說明（重要因素之關係），然後學生玩基本版。

表 48 瘋水輪流轉的研究流程

時間	內容	工具
30 分鐘	遊戲前評量	水資源永續知識測驗、水資源永續覺知量表 水資源習慣自評量表
120 分鐘	桌遊遊玩（玩一場）	講解—初階版 桌遊—瘋水輪流轉（基本版）
30 分鐘	遊戲後評量	水資源永續知識測驗、水資源永續覺知量表 水資源習慣自評量表、訪談

(三) 生活水資源素養之學習

水資源知識部分，學生填寫 V 圖，以如何增加水資產為主題，學生的概念與方法的想法在玩完遊戲後較遊戲前有所增加，且效果量達高度效果 (1.03, 0.55)，如表 49。學生知道與增加水資產有關的概念是開源與節流，而他們能做到的即是節流—省水與防汙，也理解與省水相關的詞語例如：水資源、水源、用水、汙染等。學生填寫結果也顯示他們能理解節流的方法例如量測自己使用水的量、計算自己不同天所省下的水量、重複利用廢水（洗米水、洗菜水）、裝設省水裝置等。結果顯示學生在遊戲後獲得與日常增加水資源的概念與方法的知識，這些計算耗水量、省水措施等知識也與瘋水輪流轉的內容相符—水足跡與日常省水。

學生在水資源的覺知則是在生活中的水資源與水資源行動意向此兩個面向有顯著上升（表 50），顯示學生在遊玩水資源桌遊後，能覺察到日常的作為會影響到水資源的使用，且水資源也影響到個人健康；遊戲也促進了他們在日常中執行水資源相關行動的意向。然而社會中的水資源覺知卻沒上升，則可能是遊戲並非以社會層面做為主題的關係，以致學生並無對此議題的體認。

表 49 生活水資源概念測驗結果

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	t	效果量
概念	1.71	1.30	3.04	1.27	5.22**	1.03
方法	1.54	1.41	2.21	0.99	2.97**	0.55
知識總體表現	3.25	2.44	5.25	1.84	4.89**	0.93

** $p < .01$

表 50 生活水資源覺知結果

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	t	效果量
生活中的水資源	3.33	0.82	3.70	0.86	4.08*	0.44
社會中的水資源	3.18	1.58	3.58	0.82	1.76	0.31
水資源行動意向	3.15	0.86	3.67	0.89	5.00*	0.59

* $p < .05$

表 51 呈現學生在遊戲前後自評個人習慣的結果，學生在飲食習慣認為自己在每天吃肉的分配比例後測下降到 29.29%，較前測低 3.21%，效果量為低度效果量，顯示學生在玩完遊戲後，會稍微的願意降低吃肉的比例，由於肉類水足跡高，也代表學生改為較省水的飲食習慣；

洗澡習慣的後測，學生自評洗澡時間平均為 19.5 分鐘，較遊戲前減少的時間達顯著下降，願意耗費較少時間來淋浴，達到省水的效用；回收頻率後測也較前測高，但無顯著差異，可能原因是政策的宣導，以致於學生在前測時的回收頻率就偏高；省水設備則是有高度的意願將家裡的設備換成省水設備；最後，針對家裡常用電器（電燈、電腦）的使用時間，雖有減少但無顯著差異。基於研究結果，在遊玩瘋水輪流轉後，學生對於生活的自評普遍傾向省水的習慣。

表 51 生活水資源個人習慣差異

面向(單位)	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	<i>t</i>	效果量
肉食喜好 (100%)	32.50	13.84	29.29	14.82	1.79	0.22
淋浴時間 (分鐘)	24.75	18.94	19.51	16.14	2.50*	0.30
回收頻率 (程度)	4.69	2.02	5.04	1.78	-1.52	0.18
省水設備 (程度)	4.86	1.86	6.23	2.18	-4.02*	0.68
用電時間 (小時)	30.32	13.30	28.98	16.42	-1.04	0.09

* $p < .05$

遊戲後訪談 8 位學生，對於遊戲的安排，學生認為在課程前先理解重要因素（即遊戲的初階版），有助於了解生活水資源的相關議題，包含天氣對水的影響、水足跡、飲食習慣與耗水的關係，然後再藉由遊玩基本版，能較快速與全面地覺知與了解環境、生活習慣與水資源間的關係。在遊戲設計部分，能學會水足跡是因為卡牌有直接標明外，遊戲中玩家能直接相互用卡牌攻擊或防禦的互動，因為給予高耗水量的食物（攻擊）而導致水不夠用而健康下降，讓他們印象深刻，而低耗水量的食物（防禦）能吃飽且又省水，也能幫助記憶。他們也認為遊戲可以依自己需求調整生活習慣，能思考到真實生活的情境，此外，因自己或別人對自己使用行動卡或食物卡時，也會特別注意卡牌的效果，進而促使他們思考與水資源和健康有關的因素，從學生的訪談資訊中，也顯示行動卡稍微有鷹架的作用：給予提示以思考因素間的關係。整體而言，瘋水輪流轉營造了與生活相仿的環境，遊戲的內容能讓他們理解食物、活動的水足跡，也思考自身的生活習慣，也覺得因為能與其他人互動，玩起來很有趣快樂。學生也有對遊戲設計提出建議，認為可以再增加其他因素，例如：食物沒上限，反映人很愛吃；出牌可以更符合現實是即時一起出牌，而不是輪流出。這些建議也都能讓此遊戲有更多模組和難度，可以讓遊戲的適用性更廣。

(四) 小結

研究結果發現學生在玩完瘋水輪流轉後，在日常水資源的知識測驗、態度與習慣自評有提升，在後測也表現遊戲預計給的學習目標，例如：事件中的汙染會影響到用水、生活水足跡的因素與計算、省水設施與省水方法等知識，也能覺察生活中的水資源及相關因素，並自評自己的習慣開始偏向省水的生活。進一步探討瘋水輪流轉之設計對學生在知識、態度與技能的學習幫助，本研究依循 X 科學桌遊設計模式，依學習目標設計遊戲主題，營造與生活相仿的遊戲內容，將這些知識轉化為相對應的地圖圖表模型與概念過程模型，地圖圖表模型是在卡牌上列出各個食物、飲品與電器的種類、水足跡與相關效果，讓學生理解食物中有不同的種類及不同高低的水足跡，飲品與電器也是，而電器則還有附加的效果（例如：肉類水足跡相較蔬果類高，電器的冰箱可儲存食物但長時間的使用則會因用電而耗較多水）。概念過程模型使用手牌管理的機制，讓學生可以從手牌中自主挑選想要吃的食物、使用的電器、省水的方法，從而理解這些行為對水資源以及健康的影響，並建立對水資產的知識。基於設計程序安排符合系統知識的遊戲內容與科學模型後，X 科學桌遊設計模式擴展學習目標包含水資源覺知與水資源習慣，並以難度模組循序讓學生遊玩不同難度和因素的規則，得以循序漸進的學習與覺知在生活中的水資源；遊戲中的鷹架設計則讓學生能關注重要的因素，例如飲食差異、省水措施的差異，從訪談中也發現此設計讓學生可自主關注與安排自身的習慣，從而影響生活中習慣的覺知與改變。

此研究成果顯示 X 科學桌遊設計模式對科學桌遊的擴展設計具有參考的價值，若依循設計模式、分析項目與 X 擴展設計，依序確認欲培養的科學知識、態度與能力，然後安排規劃遊戲規則及擴展的設計，設計相符及有幫助的遊戲規則與機制，使得科學桌遊能擴展學習成效。

三、水資源調適桌遊—藍晶方舟

(一) 桌遊設計

本研究設計水資源調適桌遊，以傳達水資源調適概念為目標，依循設計程序的 4 個項目，設計如下表 52。加入的 X 科學桌遊延展設計有「陷阱目標」、「大型遊戲」與「記錄系統」。此遊戲的目標在培養公利的價值觀與同理心，以及水資源在社會運作的系統，皆是較高階的

表現，因此，本遊戲運用「陷阱目標」讓其在遊戲中可能因失敗而思考不適的作為（僅思考自身的利益），建立公利的價值觀，「大型遊戲」則讓學生在組內合作及組間競爭的情況下相互刺激學習，「記錄系統」則提供學生後設認知的機會，建立與反思自身的知識與行為。

表 52 水資源調適桌遊的項目與設計內容

設計項目	次項目	內容
學習資訊	教學對象	大學生
	培養知識	水資源調適素養，包含：概念、責任感、價值觀
科學系統	系統結構	天氣影響、社會系統、經濟系統、水資源流動
	成份關係	水足跡、天氣、社會組織、社會活動
規則結構	目標導向	陷阱目標*：綜合分數（經濟、水資源、人民健康）
	情境設置	角色扮演：四個水資源組織（政府、工業、農業、人民公會） 流程規則：天氣影響、社會系統、人民健康 大型遊戲*：20 人遊玩，分成四組，組內合作、組間競爭。
機制組成	機制運作	回饋機制：抽牌、手牌管理 玩家互動：競爭、卡牌干擾 記錄系統*：記錄玩家的每回合結束時的資訊
	配件表徵	社會運作圖板、食物卡、政策卡、電器卡、省水卡、水滴與金錢指示物

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

- 1. 學習資訊：**水資源調適桌遊培養的學習表現為科學概念（社會面向）、科學態度（價值），內容則為水資源調適素養，包含：概念、責任感、價值觀；教學對象為大學生。
- 2. 科學系統：**水資源調適教育的目標，是培養大學生具有水資源調適的系統知識（水資源的維護、水資源管理、水足跡、社會與經濟的運作，圖 21）((Taiwan), 2012; OECD, 2013; Salerno, 2017)、對水資源環境的責任感，以及對他人／公眾利益的價值觀與同理心 (Martin et al., 2007; Wessel, 1980; Yang & Hsu, 2012)。

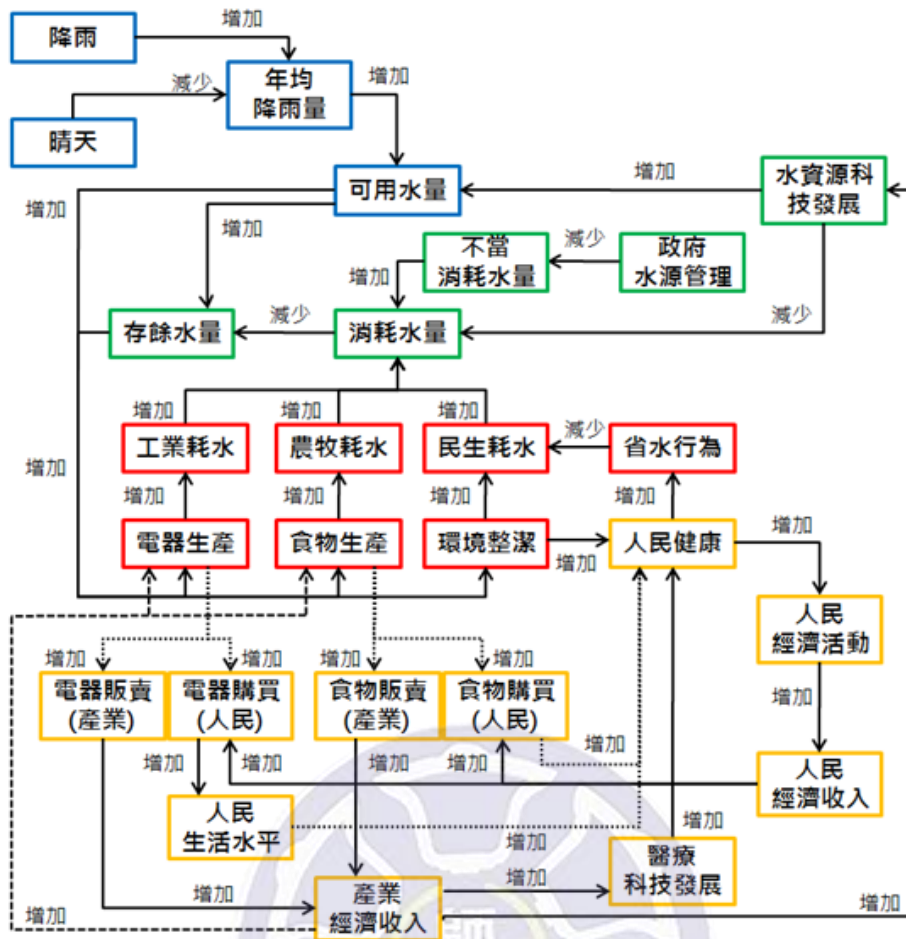


圖 21 水資源調適概念結構

每個方框代表一個與水資源調適有關的因素，箭頭代表兩個因素間的回饋關（正回饋或負回饋），箭頭尾部的因素會影響箭頭頭部的因素。例如：若每年平均降雨量越多，則可用水量越多。在圖中，藍色邊框為水資源的維護的面向。綠色邊框為水資源供給的面向。紅色邊框為水資源使用的面向。橘色邊框為社會與經濟對水資源的影響的知識的面向。所有成份都含有水足跡的知識。

3. 規則結構：將抽象的學習內容轉變為具體的桌遊內容，包含有勝利目標、角色扮演、回合過程與初始設置。其中，X 科學桌遊的設計項目為「陷阱目標」及「大型遊戲」（表 53）。運用陷阱目標的作用在讓學生專注在金錢的獲得而忽略對水資源的分配及對人民的照顧，進而輸掉遊戲，藉由輸掉遊戲的衝擊感讓玩家反思贏得目標的真正關鍵-維持人民的照顧與利益。運用大型遊戲則是呈現社會組織的運作模式，大型遊戲可一套遊戲供多人遊玩，此時每個組織會由多人共組，組織內分有各職（例如：執行長、發言人、會計、秘書等）並有共同目標，組織間則要競出誰能達成目標而勝出。藉由大型化，呈現組織內部運作與外部競爭協商的模式，同時，多人遊玩也能促使玩家在人人互動中學習。

表 53 水資源調適桌遊的規則結構

水資源調適議題與表現	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
科學概念、科學態度：理解與體會與水資源調適有關的面向、影響各面向的因素與關係。	模擬	目標導向—勝利目標* (陷阱目標)	設定：設定為陷阱目標，分數是組織的經濟、水資源、調適措施與公眾人民生存的加總分數。組織間相互競爭，贏家是最高分的組織。另外，如果公眾人民都病危，則大家一起輸掉遊戲。 說明：分數是水資源調適的跨面向知識。玩家們可能僅專注在自我水資源及經濟的取得，而忽略公利的價值觀進而導致輸掉遊戲。
科學態度：理解與水資源調適有關的組織可能有不同的課題，以及立場的差異。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置—角色扮演* (大型化)	設定：政府、工業、農業、人民公會。遊戲大型化，每 4 人一組扮演一個組織，組內合作、組間競爭。 說明：玩家分別扮演現實生活中組織，體驗其立場與課題。
科學概念、科學態度：真實社會的運作規則與策略實施。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置—回合過程	設定：參考現實社會的運作模式，建立 7 個模擬真實的情境。 說明：模擬環境協助學生覺知水資源環境、建立系統知識並產生正向態度。
無。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置—初始設置	設定：設置社會運作面板、玩家拿取卡牌、分配金錢。 說明：遊戲初始設置。

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

4. 機制組成：在此步驟，我們規劃遊戲的細部運作內容，即是安排回機制饋與玩家互動這兩個桌遊特性（表 54），在一場遊玩中，參與者會重複進行數次相同的回合過程，在每一個回合會依序面臨七個需處理的情境，直到遊戲結束。總體遊戲時間大約 120 分鐘。其中，X 科學桌遊的設計項目為記錄系統，記錄玩家的每回合結束時的資訊。配件表徵則利用圖板、卡牌與指示物等實體物件，來呈現水資源調適的因素（表 55）。其中，在階段機制有 X 科學桌遊的延展項目為「記錄系統」，透過遊戲中各組的秘書一職，使用行動載具紀錄該組織及台灣總體每回合的活動與資源紀錄，效果是在遊戲後藉由每回合的紀錄引導學生思考遊戲決策與玩家互動歷程，從中建構系統思維。

表 54 水資源調適桌遊的回合過程與階段機制

水資源調適議題與表現	科學桌遊模型	回合過程與情境	回饋機制與玩家互動
科學概念：天氣的不確定性與對水資源的影響。	概念過程模型	天氣影響	機制回饋： 抽牌。玩家抽取天氣牌、擲天氣骰子，然後獲得本回合在天氣影響下的年均降雨量。呈現天氣無法掌控的特性。 玩家互動： 沒有參與的組織
科學概念：社會運作與經濟模式對水資源運作的影響。	模擬	制定制度	機制回饋： 手寫與繪畫。玩家手寫與選擇政策，得到遊戲中的水價、稅金與政策效果。 玩家互動： 由政府主導制度的發佈，聆聽其他組織的建議，思考經濟制度的制定。
科學概念：水資源是共有財的特性。	概念過程模型	獲取資源	機制回饋： 交易。寫下需要的人力與水資源量，獲得寫下的資源量。 玩家互動： 全部組織參與，各組獲得自己需要的資源。
科學概念：產品水足跡。	概念過程模型	生產產品	機制回饋： 手牌管理。產品規劃以及消耗水資源與使用人力，獲得生產出的產品。 玩家互動： 工業、農業與人民公會，各組織生產產品。
無（此部分為社會概念）。	概念過程模型	交易產品	機制回饋： 交易。交易產品，以取得產品或賺取金錢。呈現經濟運作模式。 玩家互動： 全部組織參與交易，產品與金錢在組織間流動。
科學概念：科技對水資源與人民的影響。	概念過程模型	發展科技	機制回饋： 投資。消耗水資源與使用人力，提升水資源科技、醫療科技的等級。 玩家互動： 政府、工業討論研發哪個科技，分配支付的成本。
科學概念、科學態度：影響人民健康的因素、人民對食物、飲水與用水的需求、人民健康對社會運作的影響、組織對人民健康的責任。	概念過程模型	國民生存	機制回饋： 計算。依遊戲規則，結算公眾人民健康狀況，確認人民維持健康或病倒。另外，如果人民病倒，每個組織要支付照護金。 玩家互動： 全部組織參與，人民病倒會影響所有組織的分數。
無。	無	記錄系統*	記錄每回合結束時的資訊。

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

表 55 水資源調適桌遊的配件

水資源調適議題與表現	科學桌遊模型	實體配件	圖示與說明
科學概念：水資源調適的執行與回饋、社會及經濟系統。	地圖、圖表與表格模型	社會運作圖板	    社會運作面板，每個面板選擇、執行與回饋社會及經濟系統
科學概念：政策對水資源運用的影響。	模擬	政策卡	  政策對社會系統、經濟系統、自然資訊的影響
科學概念：產品種類、功能與水足跡。	地圖、圖表與表格模型	食物、電器、省水卡	   名稱、種類、污染量、水足跡、賣價、效果、成本、材料

(二) 評量與分析

水資源調適桌遊的目標在提升參與者的水資源調適議題的素養，我們運用下列策略，評量參與者的表現，並評估桌遊的成效。

1. 水資源調適知識測驗：評量學生對水資源調適的概念。使用概念圖，請學生繪製與水資源調適有關的概念的關係。概念圖依據圖 21 之系統，評估學生是否了解概念間的關係，每個符合的關係計為 1 分，例如寫出政府水源管理可以減少不當消耗水量、食物生產會增加農牧耗

水；此外也將概念劃分成四個面向（水資源的維護、水資源管理、水足跡、社會與經濟的運作），評估學生是否在遊戲中理解與建構水資源的跨面向知識，每個跨面向的關係計為 1 分，例如寫出水資源科技發展可以增加可用水量、人民健康高可以增加省水與調適行為。

2. 水資源環境責任問卷：評估學生對水資源調適的覺知與責任感(Hsu, 2003)。題目例如：「水資源與經濟發展，相互之間有很大的關係」、「自己關心水資源環境大過於工作或物價?」。採用李克特式五點量表，學生在看完題目後，從非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意的五個選項中，選擇最符合自身的選項。

3. 價值觀之評估：分為遊戲行動問卷和學習反思單，前者詢問學生是否有表現出實際行動，例如：「在遊戲中，我有採取行動支持工科業組織生產省水電器/設備。」、「在遊戲中，當有組織不顧其他組織的需求而無限制地取水時，我有採取行動提出異議。」。後者則向學生提問他們在遊戲中與現實中，對於水資源調適的公眾利益的價值觀與同理心。

為了評估水資源調適桌遊的有效性，本研究採用了一種前測—體驗遊戲—後測的準設計，研究對象為 21 位大學生，實行時間與內容如表 56。資料的收集與分析方法如下：(1)水資源調適知識測驗、水資源環境責任問卷於遊戲前與遊戲後進行測驗，收集學生的計分，使用變異數分析與效果量分析，評估學生在後測的分數是否高於前測。(2) 遊戲行動問卷在第一次遊戲後與第二次遊戲後進行評估，收集學生的計分，使用變異數分析與效果量分析，評估學生在第二次遊玩的公利行為表現是否增多。(3) 藉由學習反思單以獲得學生之議題價值觀，另外也請他們說明遊戲是否能幫助學習水資源調適相關知能，以及是遊戲中的哪些部分幫助學習。(4) 參考記錄系統，評估學生在遊戲中的表現。

表 56 水資源調適桌遊的研究流程

時間	內容	工具
30 分鐘	遊戲前評量	水資源調適知識測驗 水資源環境責任問卷
150 分鐘	遊玩（第一場）	水資源調適桌遊 遊戲行動問卷
120 分鐘	遊玩（第二場）	水資源調適桌遊 遊戲行動問卷
30 分鐘	遊戲後評量	水資源調適知識測驗 水資源環境責任問卷 訪談

(三) 水資源調適知能的表現

調適知識結果顯示如表 57，學生在水資源調適知識測驗中的後測表現較前測成績高，雖然未達到顯著差異 ($t(20)=1.43, p=.16; t(20)=1.28, p=.21$)，但有低度至中度的效果量(0.31、0.33)。但從學習反思單中顯示學生在遊戲的過程學習到多個因素間的關係，例如：理解天氣、可用水、水價等跨面向的關係（農業與工業學生），以及深刻體認到水足跡與社會運作的系統知識（政府學生）。這歸因於藍晶方舟的遊戲設計：(1) 角色扮演讓他們可以投入在角色的課題中，例如：政府的學生會考量水價與稅金的制訂，以及社會與經濟制度對水資源的影響；或是各組織的學生在對遊戲中的目標做決策時，他們會同時建構該角色的情境與觀點。(2) 回合過程中的情境讓學生有實際探索和實踐的機會，這幫助他們能夠形成水資源調適的總體觀，包含：水資源管理與經濟發展的安排，依據實際的需求合理運用水資源，水足跡與水的利用率和實際效益（政府學生）。(3) 規則與機制呈現水資源問題與行為的回饋，適當地融入在遊戲中，讓學生感到投入與有趣，並能引起反思：

公會學生：遊戲不讓人覺得無趣或規則太複雜而無法投入於其中，反而能將瑣碎複雜的水資源與社會環境問題，趣味性的融入於遊戲中，藉由遊戲來建構觀念、學習觀念，並引起反思，都是相當難得的。

表 57 學生的水資源調適知識表現

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	<i>t</i>	效果量
水資源調適知識	12.29	3.31	13.46	4.03	1.43	0.31
跨面向的知識	4.21	2.18	4.87	1.87	1.28	0.33

反思單的結果顯示學生都認為自己確實學習到了跨面向的系統知識，但知識測驗卻未達到顯著差異，可能有兩個原因。第一，分析的樣本數少，當樣本數少時，宜採用效果量的結果而非顯著性分析的結果(Cohen, 1988)，我們的結果顯示，學習表現的提升具低度到中度的效果(Cohen, 1992)。第二，遊戲時間短。本研究的遊戲時間僅 4.5 小時，學生也提到一開始的遊戲時間用於了解遊戲規則而非理解學習內容，因此，本身具有學習難度的系統知識，由於學習時間不夠長而導致學生尚無法建構精細的結構 (Assaraf & Orion, 2005)。從結果來看，藍晶方舟對培養學生跨面向知識是有效果的，學生也認同遊戲環境能協助他們建立知識結構。

表 58 則顯示學生玩完遊戲後在水資源環境的覺察與責任感，結果表明學生在兩者皆呈現

正向態度(4.34, 高度同意), 相較遊戲前, 也提升了表現 ($t(20)=2.54, p < .05$; $t(20)=5.99, p < .01$), 且效果量達中度效果與高度效果 (0.49, 0.98)。學生也表明在遊戲後已能覺知到水資源議題具科學性及社會性、水資源往往直接或間接影響各個組織的各個方面 (政府學生、公會學生、工業學生); 也體會到水資源的重要性與必要性, 水資源會影響生產、生活與各類活動, 如果濫用水資源導致缺水, 最後將造成人民無法生存 (政府學生、農業學生)。

表 58 學生的水資源環境責任的表現

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	<i>t</i>	效果量
水資源調適環境的覺察	4.17	0.36	4.34	0.34	2.54*	0.49
水資源調適環境的責任感	3.56	0.38	3.99	0.44	5.99**	0.98

* $p < .05$, ** $p < .01$

藍晶方舟的學習目標在使參與者關注公眾利益與永續的行為, 學生在遊戲中, 表現出對這部分的關心與行動意願。學生在兩次的遊戲, 除了自己對公眾利益與水資源永續有作為, 也會支持其他組織的相同作為, 也會主動制止其他組織浪費水資源或無限制取水的行為。經由 *t* 檢定的分析結果, 學生在後測有 66% 的行動執行率, 也顯著高於前測的表現 ($t(20)=4.05, p < .01$), 效果量為高度效果 (1.10) (表 59)。在過去環境行為的研究中, 平均的效果量是 0.45 (0.0-0.8 佔 95%) (Osbaldiston & Schott, 2012), 這顯示藍晶方舟對於提升學生的環境行動有所幫助。從反思單中, 我們獲得學生遊玩遊戲時的想法, 他們在遊戲後期, 已能理解和嘗試做對公眾 (全體組織、公眾人民) 有利益的行為。例如:

政府學生: 我們政府的主要目標是為了公眾人民的幸福, 不會因為要獲得利益而圖利自己或特定一個組織。

公會學生: 努力的與政府合作無間的研發科技, 給予人民好的品質。

表 59 學生的大眾利益的表現

面向(單位)	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	<i>t</i>	效果量
遊戲中的行動 (類別數)	2.14	1.08	3.31	1.04	4.05*	1.10

** $p < .01$

藍晶方舟使用了「陷阱目標」、「大型遊戲」、「記錄系統」等延展項目, 學生在學思單中提到遊戲使得讓他們非常有感觸與幫助, 並促使他們反思和改進問題解決的策略, 這包括了

「陷阱目標」引發他們產生公眾利益的重要性：

政府學生：人民的病倒，讓我們各組的目標發生很大的轉變，從最開始的以自我為重，開始轉向互利共贏的方式。

農業學生：進行完第一回合後，病倒超多人民，這使得各組織不再以自己為主，而是為各組織及整個國家著想。之後我們成功將倒下的兩位人民救活。

工業學生：人民倒下時，讓我更清楚知道應該要珍惜水資源，並且有效的善用它，然後一起維護人民的健康安全，這才是雙方都獲利的好辦法。

公會學生：在人民快倒光時，我們已拋除利益及成績，一心只想救起人民。當我們不費心在救起病倒的人民，各自就會有更多的金錢，為自己的組織謀取利益。

此外，從學生的回應中也發現因「大型遊戲」設計而營造的玩家互動，學生感受到遊戲的環境與現實社會相近，遊戲的體驗以及與其他玩家間的互動讓他們可以反思現實生活的情況。例如：

政府學生：遊戲的角色可以套在現實社會中，它讓我知道，每個人都會因為水資源受影響，沒有人能完全置身於度外，所以我們不能只有消極的接受，必須積極的解決問題，

工業學生：透過角色扮演，讓關心水資源永續問題的人，可進一步去思考可能的解決方式，讓不曾關心水資源問題的人，開始反思每個用水行為背後的意義，建立正確的水資源使用行為！

農業學生：透過這次活動得到的寶貴觀念，也會落實到未來的行動及觀點裡。無論如何，不管身在什麼角色，遊戲也好現實也罷，為了環境的永續及社會的發展，我們都該承擔起自身的責任。

「記錄系統」則能反應學生的遊戲狀況，以及引導學生反思。記錄系統記錄每一回合結束時的遊戲資訊，以及遊戲後的各組綜合分數。從圖 22 呈現的資訊，顯示在第二次遊戲時，學生已會顧及水資源對公眾的影響，並採取公眾利益行動（見圖片說明），這些都促使學生在第二次的遊戲表現優於第一次。記錄系統除了能評估學生的表現時，也能做為反思引導，當遊戲目標與學習目標相同時，每一回合的記錄，呈現了學生在遊戲中的學習表現，也反應了他們達到遊戲目標／學習目標的差距，而每一場遊戲的記錄，則表現出學生的學習是進步或退步，可做為促進學生後設認知的工具。本研究在玩完第一次遊戲後將遊戲記錄展示給學生看，並請他們發表想法，學生能回想起在遊戲中，曾經成功（或失敗）解決問題的經驗與方法，並且以這些經驗，提出下一次遊戲時的行動與規劃。

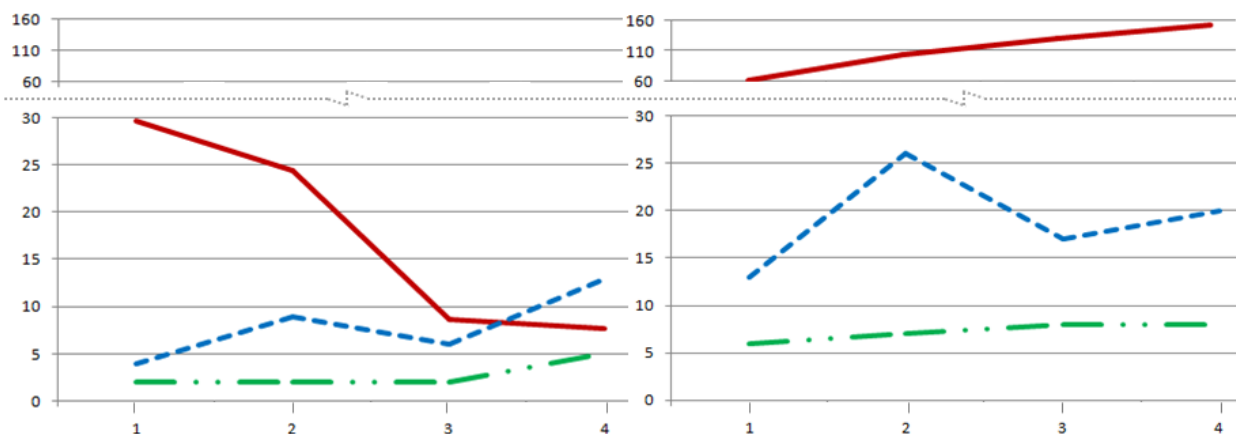


圖 22 遊戲表現記錄

橫座標為回合數，縱座標為數量。紅色實線為全體總金錢，藍色虛線為全體的剩餘水量，綠色實-虛線為公眾人民存活量。(a)第一次遊玩的各回合表現。(b)第二次遊玩的表現。學生在第一次遊玩的第一回合，未顧及公眾人民所需，以致人民病倒許多。第二、第三回合仍未救起人民，為了支付人民病倒的照護金，全國整體經濟不斷下降，連水庫的水都維持低度的存量。直到第四回合，大家開始救起人民，也增加了水庫儲水量，但已來不及解決水資源不足造成的各個問題。到了第二次遊戲，雖然第一回合仍有人民病倒，但在第二回合便陸續救起，水資源的存量也維持不少，全國整體經濟不斷上升。

(四) 小結

藍晶方舟對培養學生水資源調適的跨面向知識是有效果的，我們適當地運用桌遊的組成（規則、機制）呈現因素間的關係，學生也認同遊戲的環境能協助他們建立知識的結構。因此我們相信若長時間且持續遊玩，應會有相當好的學習成效。在此遊戲設計了「大型遊戲」以營造社會環境中的人人互動，學生投入在擬真的環境中，體驗社會中的水資源運作環境、執行水資源調適行為，促使他們覺知水資源的環境與運作，他們也認為水資源環境的責任，與自身有關，會願意去更了解或執行水資源調適的行動，也認為自己可以將遊戲所學的，運用到現實中，藍晶方舟設計運用了的適當的玩家互動的環境，讓學生相互激勵與學習，引發良好的遷移 (Johnson & Johnson, 2013)。另外，玩家在因「陷阱目標」而失敗時，促使他們反思其最初目標和改進問題解決的策略，從中引發他們產生公眾利益的重要性。「記錄系統」則記錄學生遊玩的每一回合的資訊，呈現學生在遊戲中的學習表現，在遊戲後的引導也可促進學生反思及後設認知。這些證據表明了學生在遊玩藍晶方舟後，達到了預期的學習目標與效果，發揮遊戲在水資源調適教育的幫助與功能。此桌遊以培養議題價值觀與行為為目標，思考適合運用的延展設計，配合情境融入至桌遊中，此研究成果顯示桌遊設計模式對於 X 科學桌遊的設計具有參考的價值：依循學習目的、延展設計的特性來設計遊戲規則與機制。

第四節 X 科學桌遊設計模式運用案例

為評估設計模式之運作性與推廣性，將以兩個案例進行探討，一為加入實驗機制與配件、科技媒材的實驗型桌遊，培養學生科學過程技能；二為融入大型遊戲、科技媒材與模擬模型的防災桌遊，培養學生的防災概念與調適策略。本研究運用設計模式的方式，是先讓學生理解設計程序之理念與內容，然後引導他們進行桌遊的設計與分析（即本研究所建立之設計模式），隨後建置此桌上遊戲之實體配件、實施遊戲測試與評鑑，並持續修正與精緻遊戲內容。

一、實驗型桌遊之設計—電流之戰

本案例以臺北某大學之 1 位研究生為對象，引導其依循設計模式完成 1 套科學桌遊（表 60）。此桌遊加入實驗機制與配件、科技媒材的實驗型桌遊，培養學生科學過程技能。研究者藉由觀察與審視桌遊製產的過程與成品，評估設計模式的運用性。以下將分設計分析、遊戲成品、遊戲評鑑三部分描述。

表 60 電流之戰之設計模式運用流程

引導流程	說明
設計模式之理解	設計模式包含四個項目：學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成，依「系統導向」及「回饋導向」的過程進行分析，說明延展設計功能。
學習資訊之分析	說明科學學習的內涵，為科學桌遊確認目標與定位。確認培養之學習表現為科學技能之實作—科學過程技能，教學對象為國中生。
科學系統之分析	為知識建立系統結構，以理化電池電路為主題，確認知識範圍與建立國中生能理解之概念，並建立概念圖與過程技能培養面向。
規則結構之分析	理解桌上遊戲的特徵，為遊戲設定環境。包含確認遊戲目標（促使不同發光電壓之 LED 發光）、情境設置（科學家或水電工）。
機制組成之分析	建立細部運作與配件，藉由機制呈現科學概念之特性與模型。分析內容包含遊戲的機制運作（模式組合、板塊放置、實驗*）、配件表徵（圖板、卡牌、科技媒材*、電路拼圖*）。
遊戲建置與測試	實體配件的設計與輸出、遊戲的遊戲性測試
遊戲評鑑與修正	遊戲評估量表的設計、遊戲內容的修正。

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

（一）桌遊設計分析

案例對象經由設計模式，對學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成進行分析，包含確定要培養的知識、態度與能力，建立科學知識系統結構、繪製概念圖／系統圖、設定遊戲環境及運用延展的桌遊設計，最後，建立細部運作與配件（表 61）。加入的 X 科學桌遊延展

設計有「實驗機制」、「實驗配件」、「科技媒材」，目標為提升學生的科學過程技能，並以國中電池電路的知識為背景（教育部，2018b），概念結構如圖 23。

表 61 實驗型桌遊的項目與設計內容

設計項目	次項目	內容
學習資訊	教學對象	國中生
	培養知識	科學過程技能
科學系統	系統結構	實驗-化學電池、物理電路
	成份關係	金屬、電解液、電路、發光源
規則結構	目標導向	勝利目標：讓燈光發亮最多
	情境設置	角色扮演：扮演科學家，嘗試讓電池與電路運作 流程規則：電池設計、電路擺放
機制組成	機制運作	回饋機制：模式組合、板塊放置、實驗* 玩家互動：競爭
	配件表徵	金屬卡、電解液卡、事件卡*、科技媒材*、可調電壓電池*、電路拼圖*、LED*

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計



圖 23 實驗型桌遊之電池電路概念圖

此桌遊的目標是玩家需要設法讓不同發光電壓條件的科學之光（LED 燈）發亮，遊戲中會面臨兩個情境：一個情境是事件，需要嘗試解決實驗可能有的突發狀況；另一個情境是嘗試讓 LED 燈發亮，此情境包含有兩個部分，分別是電池電壓輸出、電路連結拼接。電池電壓

輸出是調整電池中的金屬棒與電解液，設法輸出特定的電壓；電路連結則是拼接各種路線的電線，設法形成通路使得，必須同時符合電壓需求及通路，LED 燈才會亮。直到有玩家獲得指定的分數後遊戲結束，總體遊戲時間大約 90 分鐘，規則與機制如表 62 與表 63。

遊戲的階段機制具有 X 科學桌遊的設計項目，分別為「鷹架系統」、「科學過程」。鷹架系統使用隨機抽出的事件卡，讓全體玩家必需抽換或改變變因（例如：電路路徑的種類、電池的金屬、電池的電池液），並直接顯示改變後的結果，此時玩家會覺知到影響燈泡發亮的因素，且由於變因的改變將可能會離遊戲目標越近或越遠，因而促發其對變因的探討與修正。「科學過程」則營造科學家在進行電路實驗的過程，遊戲開放玩家任意執行兩種動作：製作電池與拼接電路，讓玩家自行探索與操作相關變因，從而體認與學習推理、分類、操縱變因等科學過程技能（甘漢銑、陳文典，2004）。本遊戲亦採由下而上的設計，在機制中加入「行動點規劃」，讓玩家在有限的行動下規畫行為，建構最有效的策略，因對目標的挑戰而投入在遊戲中。

表 62 實驗型桌遊的規則結構

電池電路之學習表現	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
科學概念、科學技能：使 LED 發亮的知識與因素操作，包含電路與電池的知識，以及電路種類與電壓因素的控制。	概念過程模型	目標導向—勝利目標	設定：讓 LED 發亮最多的是贏家。 結束條件：數值完成；勝利判定：最高數值。競爭。 說明：LED 有特定區間的電壓才能發亮，玩家需要設計電池，並安排電路以讓 LED 發亮。
科學概念：科學家	無法模型化至此桌遊組成	情境設置—角色扮演	設定：科學家。時間脈絡：現在；硬體環境：組構；角色種族：人類。 說明：玩家扮演科學家，試圖解決人民對光的需求。
科學技能：科學家實驗的過程 無。	無法模型化至此桌遊組成 無法模型化至此桌遊組成	情境設置—回合過程 情境設置—初始設置	設定：行動，製作電池與拼接電路 說明：自由安排行動。 設定：設置電池組件卡、電路拼圖、可調電壓電池。 說明：遊戲初始設置。

表 63 實驗型桌遊的回合過程與階段機制

電池電路之學習表現	科學桌遊模型	回合過程與情境	回饋機制與玩家互動
科學概念：電路種類與電壓因素的改變與結果。	無	事件	鷹架系統*：隨機抽出的事件卡，讓全體玩家必需抽換或改變變因，並直接顯示改變後的結果，引發對變因的覺知。
科學技能：電路與電池的知識，以及電路種類與電壓因素的控制。	地圖、圖表與表格模型 概念過程模型	行動-製作電池、拼接電路	機制回饋*：採科學探究與實驗的過程，包含有：(1)模式組合。玩家自行選擇放置金屬卡與電解液卡，藉由科技媒材呈現輸出結果，並調整電池輸出電壓。(2)拼圖、板塊放置。玩家拼接電路板塊，嘗試讓燈泡發亮。(3)行動點規畫，在有限的行動點規畫行為，建構最有效的策略。 玩家互動：合作與競爭中拼接電路。

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

(二) 桌遊成品與成效

在此桌遊，配件表徵除了有圖板與卡牌外，加入了「實驗配件」與「科技媒材」，以配合與營造科學探索過程的情境與機制，以呈現電池電路實驗的因素。「實驗配件」包含可調電壓電池、電路拼圖與 LED，讓玩家可藉由動手組裝與操作，透過這些配件實際呈現實驗結果；「科技媒材」則將桌遊通常為顯見的結果加以隱藏，玩家需思考要使用的金屬與電解液，然後透過程式給予電池組合後的輸出電壓，讓玩家在逐步地探索下建構變因間的關係(表 64)。

表 64 實驗型桌遊的配件

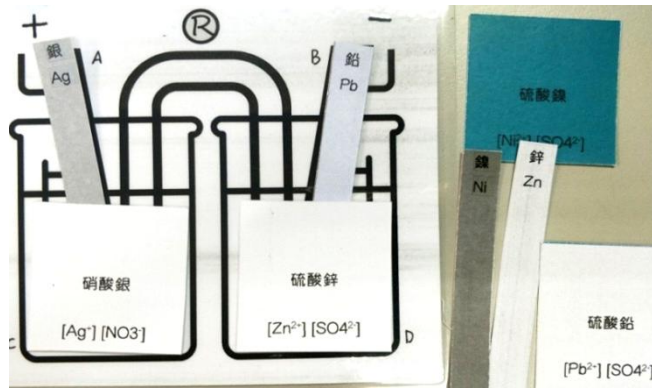
電池電路之學習表現	科學桌遊模型	實體配件	圖示與說明
科學概念：電路、電壓的影響的變因。	無	事件卡*	

鷹架，全體玩家必須抽換或改變變因，並直接顯示改變後的結果

科學概念：電池的組程包含金屬與電池液。

尺度模型

金屬卡、電解液卡



各種活性的金屬卡與電池液卡，用來組合電池

科學技能：金屬與電池液不同的組合會產生不同的電池輸出電壓。

概念過程模型

科技媒材*

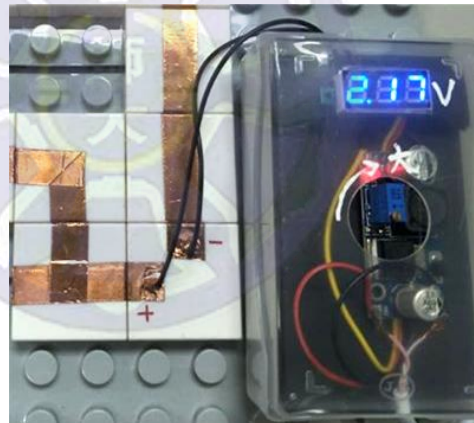


科技媒材回饋電池組合後的輸出電壓

科學概念：電池。

尺度模型

可調電壓電池*

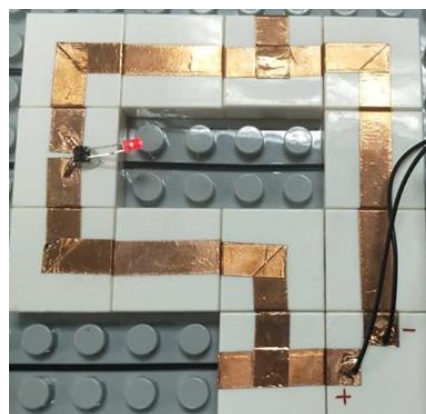


藉由 Arduino 調整電池輸出的電壓

科學概念：電路、發光燈泡。

地圖、圖表與表格模型；尺度模型

電路拼圖*；LED*



貼有金屬條的拼圖，拼接出各種電路；LED 燈泡

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

桌遊設計後進行遊戲運用的評估，評估方式為至高中進行遊玩，並使用科學過程技能量表與遊戲回饋單探討學生表現與對遊戲的想法。其中科學過程技能量表參考有關科學過程技能之文獻 (Finley, 1983；甘漢銑、陳文典，2004)，自編情境題並計算學生填寫狀況與表現，並使用效果量分析；遊戲回饋單則以開放式問題詢問學生是遊戲的哪些部分讓他們學習到科學過程技能。科學過程技能結果如表 65，顯示學生在遊玩遊戲後，對於科學過程技能的推論、分類與預測有所提升，效果量為高度效果量。遊戲回饋結果如圖 24，學生說明透過拼接（電路）能了解到電路通路的形成，透過在遊戲中直接操作和顯示 LED 發亮與否，能給予思考的機會，找出問題並調整方式。此外學生也能理解電池電壓輸出受電池溶液和金屬棒的影響，需適當地搭配才能輸出需要的電壓，也能知道 LED 燈不亮時需要同時思考是電路還是電壓的問題。圖 25 為遊戲推廣的照片。

表 65 學生科學過程技能的表現

面向	前測		後測		後測-前測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	<i>t</i>	效果量
科學過程技能-推理	3.03	1.93	4.21	1.38	5.97**	0.70
科學過程技能-分類	2.34	1.41	3.32	1.28	6.33**	0.73
科學過程技能-操縱變因	0.09	0.41	1.84	1.70	8.75**	1.42

** $p < .01$

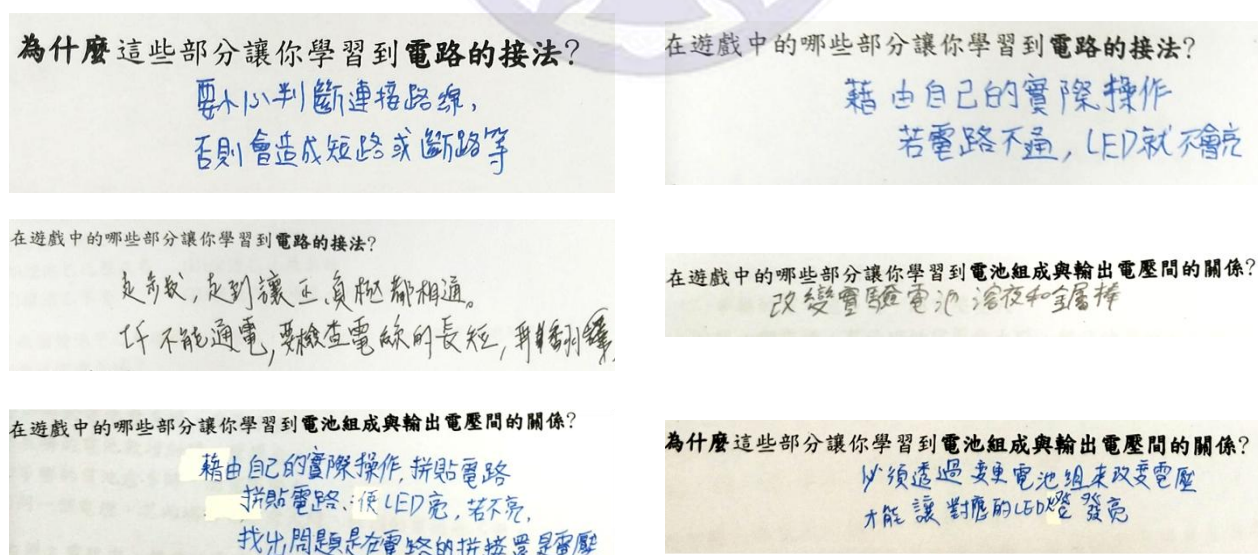


圖 24 學生對實驗型桌遊之回饋

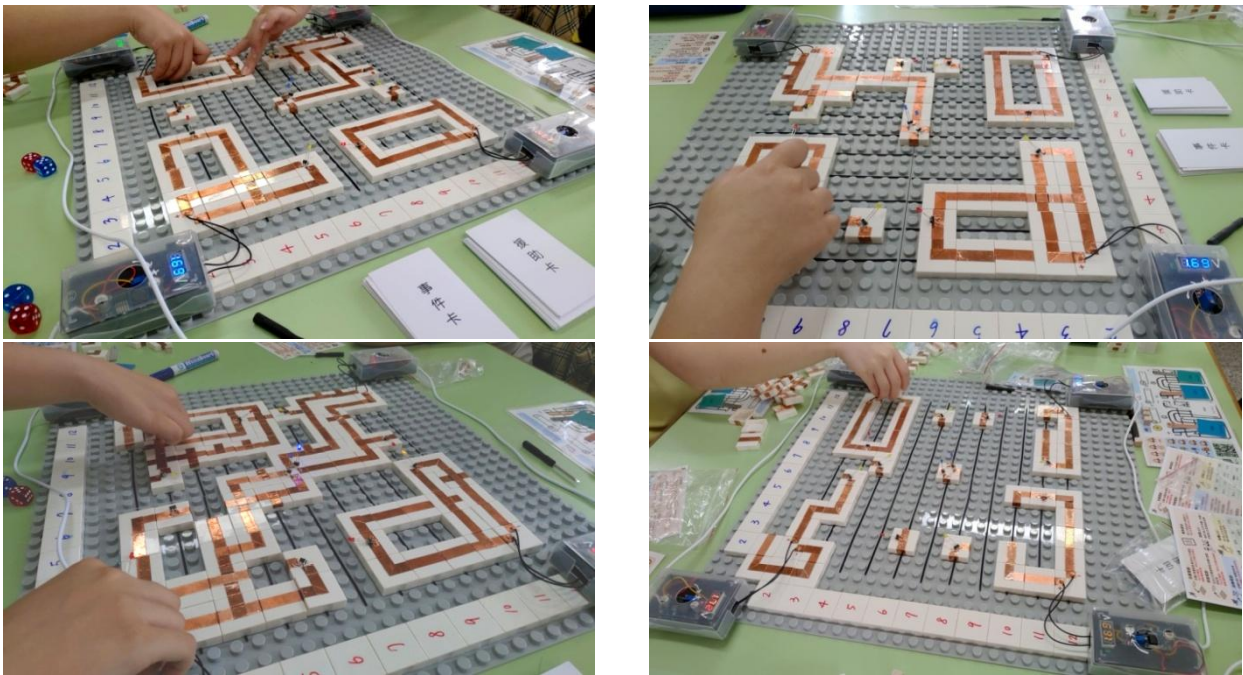


圖 25 實驗型桌遊的遊玩過程

(三) 小結

此案例提供了 X 科學桌遊設計模式能實施與運用的支持，案例中的碩士生能依循設計模式設計出具學習目標、能培養學生科學過程技能的實驗型桌遊，除了能規畫遊戲的內容，也能產出實體並進行評估。評估結果也顯示遊玩者能從中體驗欲傳達的知識與素養，學生的回饋也能指明桌遊中的機制是遊戲具學習效果的原因之一。案例對象也針對實施結果提出反思，本研究基於科學探究為目標進行設計，但案例反應若只給予遊戲規則，學生不一定能順利操作並達成目標，主要因為並非全部的學生皆具有遊戲中的基礎知識。例如，講解遊戲時有說明遊戲目標為讓 LED 燈發光，解釋玩家在拼接電路、組合電池、用特定電壓讓特定 LED 發光的規則與方法，然而，若學生並不知道 LED 的長短腳各為正負極、電路的通路形成、或電池的組成規則等知識，將無法進行遊戲或建構策略。解決方式是不預設學生應已了解相關知識，而是應如同進行探究教學一樣，給予參與者足夠的資訊，使其運用這些資訊進行探究並建構出新的發現或解決方法。

二、調適策略桌遊—SAVIOURS

本案例以臺北某大學之 3 位研究生為對象，引導其依循設計模式完成 1 套科學桌遊（表 66），該桌遊以災害與防災調適策略之培養為目標（行政院，2013；林海珍、黃屏綸、吳悅、羅良慧、賴允政，2103；謝承憲、蘇昭郎、吳佳容，2010）。研究者藉由觀察與審視桌遊製產的過程與成品，評估設計模式的運用性。以下分設計分析、遊戲成品、遊戲評鑑三部分描述。

表 66 SAVIOURS 之設計模式運用流程

引導流程	說明
設計模式之理解	設計模式包含四個項目：學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成，依「系統導向」及「回饋導向」的過程進行分析，說明延展設計功能。
學習資訊之分析	說明科學學習的內涵，為科學桌遊確認目標與定位。確認培養之學習表現為防災概念與調適策略，教學對象為大學生。
科學系統之分析	為知識建立系統結構，以山區災害及調適策略為主題，確認知識範圍與建立大學生能理解之概念，並建立概念圖與調適策略步驟。
規則結構之分析	理解桌上遊戲的特徵，為遊戲設定環境。包含確認遊戲目標（合作維持村莊人口）、情境設置（政府專業小組）。
機制組成之分析	建立細部運作與配件，藉由機制呈現科學概念之特性與模型。分析內容包含遊戲的機制運作（工人放置、複雜計算*）、配件表徵（圖板、卡牌、科技媒材*、模擬模型*）。
遊戲建置與測試	實體配件的設計與輸出、遊戲的遊戲性測試
遊戲評鑑與修正	遊戲評估量表的設計、遊戲內容的修正。

（一）桌遊設計分析

案例對象經由設計模式，對學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成進行分析，包含確定要培養的知識、態度與能力，建立科學知識系統結構、繪製概念圖／系統圖、設定遊戲環境及運用延展的桌遊設計，最後，建立細部運作與配件（表 67）。此桌遊預期培養的學習表現為災害調適策略，包含：防災概念、調適策略；教學對象為大學生；遊戲內容以防災／災害調適之概念為背景，學習調適策略六大步驟（行政院，2013）（圖 26）；加入的 X 科學桌遊延展設計有「大型遊戲」、「科技媒材」與「模擬模型」。

影響與防災措施效果，以呈現科學環境的擬真性，給予玩家執行災害調適後的回饋結果。參與者將面臨兩個情境直到遊戲結束 12 回合，總體遊戲時間大約 120 分鐘，規則與機制如表 68 與表 69。

表 68 防災桌遊的規則結構

防災議題與表現	科學桌遊模型	設計項目與桌遊組成	遊戲設定
科學概念：理解與體會與人口維持有關的面向、影響各面向的因素與關係。	模擬	目標導向—勝利目標	設定：玩家一起維持山區村莊人口，依積分計算大家的表現。 說明：依臺灣山區做為遊戲環境，模擬防災的目標。
科學概念：理解和體認與防災有關的組織及其特性，及議題之跨部門性。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置—角色扮演	設定：四個社會組織（科學家、企業主、研發員、建設師），為合作遊戲。 說明：玩家分別扮演現實生活中與防災有關的組織。
科學概念、科學技能：社會的運作規則與防災調適策略	無法模型化至此桌遊組成	情境設置—回合過程	設定：自由的行動環境，行動後面臨天氣危害。 說明：模擬真實社會的運作規則與防災調適策略。
無。	無法模型化至此桌遊組成	情境設置—初始設置	設定：設置社會運作面板、設置模型。 說明：遊戲初始設置。

表 69 防災桌遊的回合過程與階段機制

防災議題與表現	科學桌遊模型	回合過程與情境	回饋機制與玩家互動
科學概念、科學技能：與防災有關的行動，例如：研發科技、建設設施、地區調查、社區調查、任務處理、災後復原。	模擬	行動	機制回饋：工人放置。玩家放置自己的人力到各個行動，然後結算各個行動的效果。 玩家互動：合作討論與執行動作。
科學概念：事件對設施與人民的影響、防災設施的效果。	模擬	事件	機制回饋*：抽牌。抽取事件卡，處理防災應變措施，結算事件下是否對村莊的影響，以及防災設施的效果。 玩家互動：無。

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

(二) 桌遊成品與成效

在此桌遊，配件表徵除了有圖板、卡牌與指示物外，加入了「科技媒材」與「模擬模型」。「科技媒材」配合與營造天氣情境與機制，以呈現危害、防災措施與災害之關係。「模擬模型」則是藉由立體化的地形模型，讓參與者直接觀察與判斷地區災害潛勢與風險（表 70）。

表 70 防災桌遊的配件

防災議題與表現	科學桌遊模型	實體配件	圖示與說明
科學概念、科學技能： 與防災有關的行動，例如：研發科技、建設設施、地區調查、社區調查、任務處理、災後復原	模擬	社會運作圖板	
科學概念： 事件對設施與人民的影響、防災設施的效果	模擬	科技媒材*	
科學概念： 理解和體認與防災有關的組織及其特性，及議題之跨部門性。	概念過程模型	角色、事件卡	

社會運作面板，每個面板選擇、執行與回饋社會、經濟、防災系統

科學計算、資訊隱藏、資訊延伸

名稱、類型、影響與效果、處理方式等

科學概念： 地圖、 模擬模
地形與風險因 圖表與 型*
子的關聯 表格模
型



高度、地形、地貌、建築、維生基礎設施等相互關聯的模型

* 為加入的 X 科學桌遊延展設計

本案例已針對提升參與者的災害調適策略的素養此一目標，設計相對應的評估量表以驗證遊戲成效。評估方式為至高中或大學進行遊玩，並於遊戲前後實施測驗。量表如下：

1. **防災概念素養檢測問卷**：用於評量學生對防災概念與調適策略概念。題庫來源為防災與氣候變遷調適素養問卷（教育部，2018c）。題型為選擇題，正確答案計一分。
2. **防災行動量表**：參考自「防災素養檢測手冊」（教育部，2009）。以情境題為題幹，題型為行動方法選擇題，依選擇排序給予分數。
3. **調適策略量表**：設計情境題，學生依情境回答調適策略思考，依學生的答題給予分數。
4. **訪談**：向學生提問他們在遊戲中與現實中，對於防災與災害調適策略的思維。

（三）預期未來研究與小結

此遊戲於近期開發完成，處於議題推廣階段，尚未進行深入地學習成效之施測與評估。雖未深入評估，但就推廣的參與者之回饋與研究者之觀察，此遊戲已能完整運作，並激發參與者在遊戲中之科學思考及調適策略之建構。預期未來將依上述的四個評估問卷與方式，對學生在遊戲中進行過程性評量，在遊戲後進行總結性評量，並從中觀察學生的思考過程及行為過程，分析決策過程如何在遊戲中達成。為能符合以科學知能素養學習為主的擴展型桌遊，此防災桌遊將評估知識外，包含防災中的科學觀察與推理、防災思維與態度、虛實整合的科學決策，以及科學問題解決方法等。此案例提供了 X 科學桌遊設計的概念，表明 X 科學桌遊設計模式是可行的，它能將擴展設計項目加入至科學桌遊中，發展出完整的桌遊結構。



圖 27 防災桌遊的遊玩過程

三、設計模式案例小結

兩個案例提示了當運用 X 科學設計模式時，需考量設計者對參與者背景知能的評估，以分析和設計遊戲。因為當科學桌遊欲培養相對較高階的素養（例如：科學過程技能）或是規則開放的遊戲（例如：具探究的機制），要先確定對象的背景能力，或是給予足夠的內含科學意義的遊戲資訊，讓參與者可以自主進行遊戲、從中探究並培養科學技能，這些都是在運用 X 科學桌遊設計模式時，開發者需注意的事項。因此，設計時不宜預設學生應已了解相關知識、應給予參與者足夠的資訊以運用資訊進行探究、引導參與者建構出新的發現或解決方法。

第六章、科學桌遊與它們的 Future

第一節 設計與運用

一、科學桌遊的成效與運用

依循科學知識結構與科學模型而建立科學桌遊的設計項目與設計程序，能透過桌遊組成與結構來呈現科學知識結構，並利用科學模型將知識之本質特徵轉變成桌遊組成，以利學生學習知識，例如在卡牌上寫出與畫出太陽系中的星球與其外表以呈現尺度模型，地圖圖表模型則是在遊戲中讓學生操作模式組合的機制，藉由模式對應的方式學習太陽系的成員與其種類、空間分佈和星球特性；又或者以食農知識為遊戲背景，採地圖圖表模型將作物依生長季節分類繪製卡牌；採用概念過程模型將季節對作物影響、肥料對作物影響、運輸對環境影響、作物與需求的關係等概念，轉換成手牌管理、工人放置的機制，讓玩家在操作中理解動作後的結果，連結因素間的因果關係，進而建構整體概念。兩篇的研究成果前者以「The utility of the board game for structural concept of solar system and learning motivation : An astronomy board game for elementary school student」論文發表在 2016 東亞科學教育年會上 (Cheng et al., 2016)，並已與教科書出版社製成學習產品；另一個則亦已將遊戲成品製成商品，運用在科技部培龍計畫及綠色生態學校計畫(結案中)。系統導向的依科學桌遊設計程序及分析項目將科學知識結構設計成遊戲規則，並依學習概念的特性設計相符的遊戲機制，對概念的學習有所幫助；而回饋導向的分析則提供了引發參與者興趣的遊戲玩法，遊戲的操作讓大部分的參與者對遊戲感到高度喜愛和投入。

運用案例探討設計程序運用在實務的可能，在研究者引導案例對象依循設計程序分析設計項目並製成後，能依循設計程序製作出具學習目標、符合科學系統知識、具遊戲主題能運作的科學桌遊，除了能規畫遊戲的內容，也能產出實體並進行評估。然而，當遊戲系統過於龐大時，需注意遊戲整體架構的分析與建構、配件之間的遊戲相互作用與科學系統中的關係未有足夠結構化的系統，以及遊戲中事件發生的設定(科學學習情境的學習)而可能導致無法感受與學習，或是玩家互動較少而缺乏模擬現實的社會互助。案例的遊戲成品為教育部大專生永續校園計畫(黃悅筑、王齡慶、蔡宗霖, 2019)，另一遊戲作品則受邀至氣象局參展(2019

年6月)。兩個運用案例除了顯示傳達知識的正向成效外，也提供了設計程序可再精緻化的內容：遊戲機制的調節，尤其是對遊戲節奏與遊戲平衡的影響；此外，在推廣設計程序時也應考量設計者的背景，以思考需在遊戲設計概念或科學結構知識哪些面向加強引導。

二、X 科學桌遊的成效與運用

X 科學桌遊設計模式基於設計程序，擴展科學學習之效用及遊戲組成，整合科學知識結構、科學模型與桌遊延展設計（難度模組、鷹架設計、陷阱目標、記錄系統等）的 X 科學桌遊，依學習目標設計遊戲主題，營造科學或社會擬真的環境。以日常水資源為主題的桌遊之卡牌使用地圖圖表模型列出各個食物、飲品與電器的種類、水足跡與相關效果，手牌管理機制為概念過程模型讓學生理解日常行為對水資源以及健康的影響，讓學生關注到日常水資源的重要因素、關注與安排自身的習慣。具社會性科學議題性質的水資源調適之桌遊，運用「大型遊戲」營造社會環境中的人人互動、因「陷阱目標」而失敗時促使反思目標的設定和改進問題解決的策略、「記錄系統」則記錄參與者的學習表現，強化其反思及後設認知，因此得以建立科學議題的跨面向知識，覺知其責任及公眾利益的重要性。此兩個遊戲分別於2015年得獎環保署「第三屆『節』出綠桌遊第一名」（台灣環境資訊協會，016）；於2016年得獎教育部「第一屆氣候變遷調適創意實作競賽第一名」（教育部，2018a），同時也以論文名稱「Development of an issue-situation-based board game: A systemic learning environment for water resource adaptation education」發表於sustainability期刊第11卷第5期上（Cheng, Yeh, et al., 2019），並獲得中華民國新型專利：基於資源分配的桌遊系統（證書號：M576900）。兩個研究成果顯示 X 科學桌遊設計模式對科學桌遊的擴展設計具有參考的價值，若依循設計模式、分析項目與 X 擴展設計，依序確認欲培養的科學知識結構、態度與能力，然後安排對應科學概念的特性的科學模型，設計相符及有幫助的 X 設計項目，規劃遊戲規則及擴展的設計，使得科學桌遊能擴展學習成效。

X 科學設計模式的案例運用提供了設計模式能實施與運用的支持，案例對象的碩士生能依循設計模式設計出能培養學生科學過程技能的實驗型桌遊，透過桌遊中的機制（實驗機制、實驗配件）設計以達遊戲的學習效果；第二個案例運用大型遊戲、科技媒材、模擬模型等 X 科學設計項目營造出擬真的議題環境及科學回饋機制，讓參與者在遊戲中探究因素與回饋，

以培養防災概念與災害調適策略，於 2018 年得獎教育部「氣候變遷創意實作競賽第一名」(廖南瑛，2018)；也以論文名稱「情境模擬桌遊於環境災害與防災議題之推廣」發表於 2019 年中國地理學會年會上(鄭秉漢、蔡仁哲、葉庭光、張俊彥，2019)。案例對象也針對實施結果提出反思，X 科學桌遊基於科學系統概念與探究技能為目標、探究過程為遊戲內容，以培養學生科學技能(過程技能、調適策略)為目標，是屬於相對較高階的素養，遊戲規則也較開放，因此需先確定對象的背景能力，或是給予足夠的內含科學意義的遊戲資訊，讓參與者可以自主進行遊戲、從中探究並培養科學技能，是 X 科學桌遊設計時需注意的事。案例運用也表明 X 科學桌遊設計模式是可行的，應用擴展設計項目發展出完整的桌遊結構。

三、X 科學桌遊設計模式

(一) 科學桌遊設計項目

本研究以桌遊組成、科學知識結構、科學模型為理論基礎，架構科學桌遊的設計項目。依據科學知識內容，在「勝利目標」、「階段機制」、「實體配件」等桌遊組成以十種科學教學類比模型之類別呈現這些組成對應的科學模型，建構出科學桌遊模型化的脈絡，此理論概念以論文名稱「模型化科學桌遊」發表於科教月刊第 419 期(鄭秉漢，2019)。而將模型化桌遊的結構建立的一套科學桌上遊戲分析表，則可供桌遊的設計者或使用者分析桌遊的組成與結構，以釐清桌遊的設計及科學桌遊在知識學習上的效用。

科學桌遊設計程序案例運用的結果顯示案例對象在設計科學桌遊時，會因為其背景的不同致使關注的設計項目不同，或是忽略的設計項目有所不同。為能協助設計者分析科學桌遊的屬性或傾向，本研究進一步地分析以科學學習為目的之科學桌遊設計項目的意義與特性，使用教育遊戲常使用的遊戲性質、遊玩結構兩個類別來畫分兩個軸四個象限，以分析科學桌遊的特性(Kiili et al., 2012; Starks, 2014; 孫春在，2013)。遊戲性質分析該遊戲在教育性及娛樂性的比重，說明遊戲給予玩家在科學學習與遊戲樂趣的覺知與感受；遊玩結構分為使用經驗與內容系統，是指遊戲遊玩建立在玩家使用/遊玩遊戲的經驗與操作或是遊戲內容和系統的理解與體驗。圖 28 即為科學桌遊屬性圖，首先，將屬性圖分為右方與左方，右方是學習資訊與科學系統，描述科學桌遊在學習科學知識的目標與內容，因此，橫軸的右側指向桌遊的教育性；模式圖的左方為機制組成與規則結構，為科學桌遊的遊戲設計，橫軸的左側指向為娛

樂性。而將模式圖分為上方和下方，上方是學習資訊與機制組成，分析玩家的遊戲背景，以及玩家在遊戲中直接操作的遊戲機制，因此，縱軸的上側指向遊戲內容屬於使用者的經驗；模式圖的下方為科學系統與規則結構，呈現科學知識的結構，以及依循科學知識內含所發展的遊戲規則，使得縱軸的下側指向為內容系統。

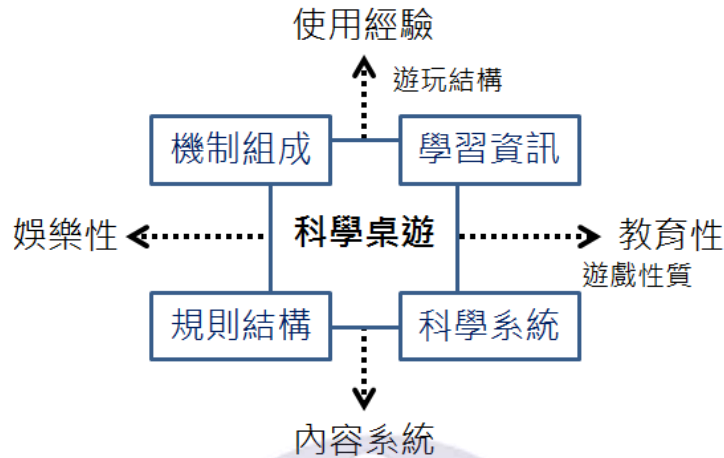


圖 28 科學桌遊 CSSC 設計項目屬性圖

更進一步地說，各項目的特性也有所不同，位於第一象限的學習資訊，即較注重教育性與使用經驗；第三象限的規則結構，則以內容系統與娛樂性為重。科學桌遊的特性會因為在各項目的內容注重的程度／比重不同，而使得桌遊有不同的屬性或傾向。本研究初步嘗試使用設計項目屬性圖分析開發的桌遊，應各項目（學習資訊、科學系統、規則結構、機制組成）與屬性（教育性、娛樂性、使用經驗、內容系統）並非互斥的關係，因此適宜用雷達圖的形式評估各項目的比重以呈現科學桌遊的屬性，圖 29 顯示本研究自評「漫遊太陽系」及「藍晶方舟」的桌遊屬性，前者有較高的使用經驗與娛樂性（遊戲機制的設定具知識關係的回饋及玩家操作體驗），後者則是內容系統（社會系統的呈現）。

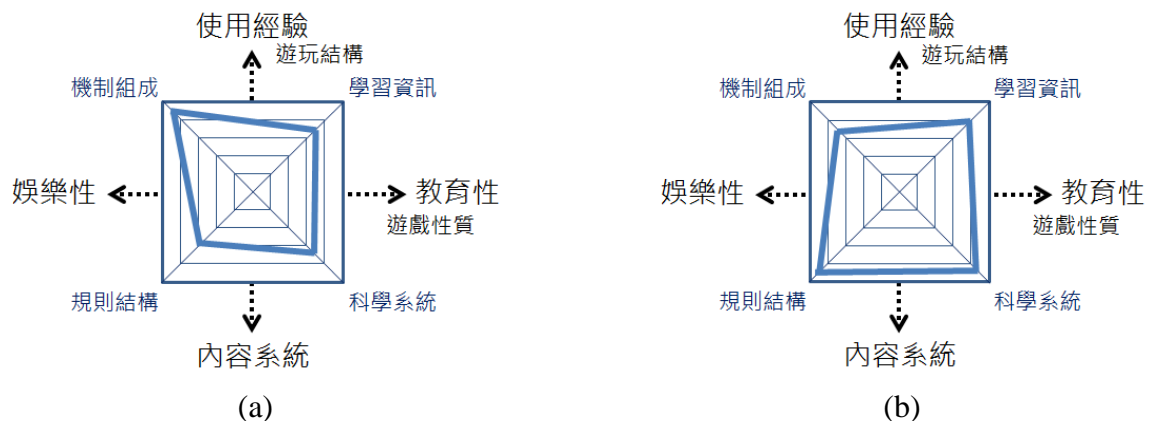


圖 29 科學桌遊 CSSC 設計項目之分析示意。(a) 漫遊太陽系。(b) 藍晶方舟。

圖 28、圖 29 並非說明科學桌遊要怎樣設計較佳，僅是給予科學桌遊設計項目與遊戲特性的相關資訊。此外，此分析圖也可使用於設計科學桌遊時對推廣對象的適性運用：依推廣對象的背景，強化特定項目的引導，例如：案例對象的桌遊經驗較少，應注意特別引導遊戲娛樂性的設計概念，包含機制組成與規則結構；若案例對象的科學學習之概念較少，則需特別引導學習資訊與科學系統。

本研究也透過實徵研究與案例運用的結果，精緻化 CSSC 設計程序的使用方式，發展設計項目思考單（圖 30a），以強化項目間的關係與連結，使運用設計程序的桌遊設計者，能確保依系統導向的過程從目標、知識與模型設計出教學導向的桌遊，也能依回饋導向的過程確保遊戲樂趣，連結遊戲動作及對科學學習的影響。我們也有將設計程序推廣至教師培訓，引導他們思考並設計科學桌遊（圖 30b）。

Figure 30 consists of two parts, (a) and (b). Part (a) is a template for a design project thinking sheet, structured as follows:

- 由上而下：基於素養 (Top-down: Based on Competency):**
 - 學習目標 (Learning Objectives):** 領域改單元 (Domain/Unit), 對象 (Target).
 - 科學系統 (Science System):** 系統 (System), 關係 (Relationship), 成份 (Component).
 - 規則結構 (Rules Structure):**
 - 目標 (Objectives): 互動 (Interaction), 勝利判定 (Victory Conditions), 結束條件 (End Conditions).
 - 背景主題 (Background Theme): 時間 (Time: 史前時代, 上古時代, 中世紀, 現代, 未來, 其他), 空間 (Space: 微粒, 組件, 組構, 領域, 星球, 太空, 其他), 身份 (Identity: 人類, 動物, 外星生命, 奇幻種族, 其他).
 - 情境 (Context): 情境一, 情境二.
 - 階段機制 (Phase Mechanism):** 遊戲: 機制 (科學: 關係), 遊戲: 玩家(動作、能力、成本) (科學: 成份), 遊戲: 系統(回饋) (科學: 成份).
 - 配件表征 (Component Characteristics):** 卡牌一, 卡牌二, 圖板.
- 由下而上：基於遊樂 (Bottom-up: Based on Fun):** 設計: 鄭秉漢

Part (b) shows two examples of completed thinking sheets for board games, with handwritten text and checkboxes. The first example is for a game titled "史前時代" (Prehistoric Era) and the second is for "史前時代" (Prehistoric Era) as well. Both sheets follow the structure of the template in part (a).

(a)

(b)

圖 30 設計項目思考單。(a) 思考單的內容。(b)教師培訓填寫設計項目思考單。

本文繪製了科學桌上遊戲 CSSC 設計程序，供欲投入設計科學桌遊工作者，有依循的設計思維。在使用上有幾點建議：(1)科學桌遊設計的限制性：桌上遊戲因為要讓玩家能自行操作與計算回饋，會將數值概略化，並將重要概念的階段機制突顯，簡化其他機制運算，這與科學模型用在教學時的情況相同：使用類比模型而簡化或誇大部分屬性，這可能會讓玩家對於被簡化的部分感到不解甚至有錯誤想法；但是，太複雜的階段機制／科學模型會造成玩家極大的負荷，因此，桌遊的機制運用有其限制性。是故，在設計時，應理解桌遊的限制性，適當地運用合適程度、數量的階段機制與科學模型，以同時滿足遊戲性以及科學擬真性。(2)科學桌遊運用的適用性：科學桌遊可模型化成桌遊應用模型，但模型具有有效性和限制性，並不是任意地使用模型就能達到學習效果，所以桌遊在設計時，還需配合概念的特性，使用適當的科學模型。從回顧分析時也能發現部份設計者有依此設計，例如：醫學桌遊以案例討論為學習重點，故使用教學類比模型來類比一個病例，請學生回答，以觀看學生的心智模型是否正確。化學桌遊欲傳達化學式與化學結構的概念，故卡牌以符號模型呈現，遊戲階段機制也採用模式組合的機制來進行符號對應玩法。因此，每個桌遊僅適合用來學習預期傳達的學習內容，不宜過度運用到其他概念。

總體而言，若要培養參與者的科學知識，可依設計程序來設計科學桌遊。若要培養高階著系統知識、科學態度與價值觀、科學技能與行動，則應依循 X 科學設計模式。

(二) X 科學桌遊設計模式

X 科學桌遊設計模式擴展了科學桌遊的設計與學習效用，它基於設計程序的學習資訊、科學系統、規則結構、機制組成四個項目及兩種導向的設計過程地達到了桌遊對知識學習的成效；在規則結構與機制組成兩個項目加入延展的設計內容，藉由多媒體、軟體程式、遊戲目標與遊戲系統，建構模擬真實情境與輔助自主學習的桌遊環境，以強化資訊連結、角色體驗、適性挑戰、後設反思等效用，於本研究也顯示 X 科學桌遊的桌遊環境能提升科學態度與責任、科學技能與行動。過去的教育型桌遊的研究，在桌遊項目運用與知能學習的擴展有限，本研究透過遊戲環境的設定，整合桌遊組成與多個桌遊研展設計，將科學內容與議題融入在遊戲中，讓學生在遊玩過程中學習。本研究所規劃的設計模式，在科學教育桌遊的設計上是有效的方法，也表明利用 X 科學桌上遊戲作為科學教育的工具具有潛力，這使得 X 科學桌遊

可符合素養導向概念之設計，不只在知識，包含科學推理、思辨、態度、生活應用、問題解決等知能。

透過實徵研究與案例探討，X 科學桌遊設計模式也為科學桌遊的設計與運用提供一種分析方式：以遊戲功能與科學素養做分類，歸屬可用的延展設計，於表 71。表 71 的橫列欄位代表遊戲功能，分有學習輔助、情境模擬、遊戲實施，學習輔助指能協助學生學習與培養科學知能的功能，情境模擬是能建構與強化遊戲環境與情境的功能，遊戲實施是能提供遊戲遊玩的相關功能；縱列欄位代表欲培養的科學知能，分有科學概念、科學態度與科學技能之培養，中間欄位則是對應上述兩者學習目標與桌遊功能可使用的延展設計。本研究也盡量地釐清每個延展設計的實證基礎，例如：目標是培養科學概念，可使用難度模組、遊戲鷹架與記錄系統來輔助參與者在遊戲中的學習，可使用科技媒材來增強情境模擬，可使用存檔系統與記錄系統來讓遊戲實施更為延續與順暢；或是在設計科學桌遊時，想要增強桌遊中情境的模擬，可使用空間應用和科技媒材。此表可供設計科學桌遊時，欲投入與運用的延展設計及比重，以定位此科學桌遊之科學學習與遊戲遊玩的意義與特性。此外，在運用 X 科學設計模式至設計推廣時，也能依據設計者的專長，在引導設計時加強說明設計者可能忽略的設計。

表 71 X 科學桌遊延展設計之運用

	學習輔助	情境模擬	遊戲實施
科學概念	難度模組 (瘋水輪流轉) 遊戲鷹架 (瘋水輪流轉) 記錄系統 (藍晶方舟) 空間應用	科技媒材 (藍晶方舟)	存檔系統 (藍晶方舟) 記錄系統 (藍晶方舟)
科學態度	科技媒材 (藍晶方舟) 同境劇本 陷阱目標 (藍晶方舟) 大型遊戲	空間應用 科技媒材	科技媒材
科學技能	難度模組 (瘋水輪流轉) 遊戲鷹架 (實驗桌遊) 同境劇本 科學過程 (實驗桌遊)	空間應用 科技媒材 (實驗桌遊)	存檔系統 (藍晶方舟) 記錄系統

註：延展設計的括號 () 內為本論文的研究支持

本研究將實徵研究、案例運用之成果與探討結果綜整成圖 31，繪製出 X 科學桌遊設計模式思維圖。以系統導向的程序，先安排學習資訊，依欲達成和培養的學習表現（概念、態度、探究技能），建構科學系統並運用對應的延展設計，然後思考這些延展設計的遊戲功能並融入至遊戲的規則結構與機制組成中。

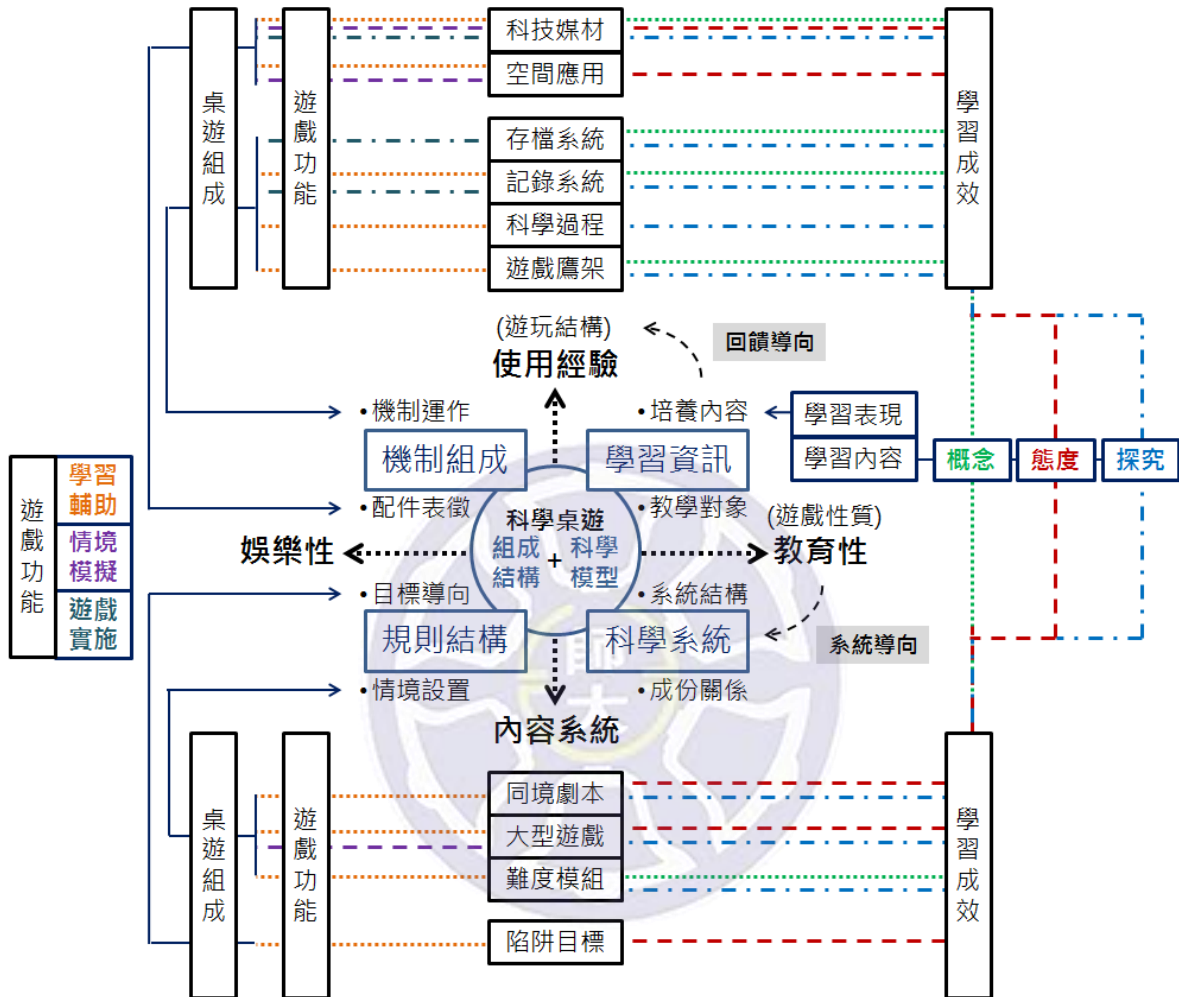


圖 31 X 科學桌遊設計模式思維圖

第二節 未來發展

本研究基於認知知識學習，從科學知識結構與科學模型的本體論來分析科學桌遊組成與學習，為完整建構 X 科學桌遊設計模式之設計與桌遊學習，可朝七個面向發展，讓 X 科學桌遊設計模式具更為完整的學習理論與實證基礎：

(1) 科學桌遊的科學模型設計與功能：模型觀點的另外兩個面向：認識論（建模過程）與方法論（建模能力）（邱美虹，2008）在科學實務面的問題解決、學生建模歷程也相當重要（Halloun, 1996），值得依據本研究模型化後的桌遊科學模型進一步分析與探討桌遊對學生建模

的幫助與設計。此外，本研究提出科學桌遊設計模式，也應可從科學模型評估的七個標準（例如：完整、清晰、審慎）(R. E. Mayer, 1989) 來評估科學桌遊設計的標準，未來可以此標準加上更多的文獻探討與實徵研究，以設計出科學桌遊評估標準（包含 X 科學桌遊設計模式）。

(2) X 科學桌遊的學習因素：本研究建構 X 科學設計模式，並進行桌遊成效實徵研究與案例運用的描述，研究結果已初步驗證 X 科學設計模式的成效及設計運用（表 71），但為能完整的描繪其功能與效用，還需進一步地探討桌遊組成之因素對學習之因素的連接，釐清桌上遊戲的環境設定與玩家互動包含哪些因素，而這些因素又對學習環境或科學議題有什麼交互作用，例如：各種桌遊機制的學習作用、桌遊遊玩心理、桌遊遊玩行為、認知行為、後設認知作用等 (Abdul Jabbar & Felicia, 2015; Sun, Kuo, Hou, & Lin, 2017)。

(3) 科學桌遊的學習評量：目前研究多偏紙筆評量的態度量表或測驗量表做為評估方式，桌遊做為一個新興的科學學習方式，需考量發展適當且符合科學桌遊特性或結構的研究方式與評量方式，例如：運用桌遊本身、科技分析等評估方式，直接評估學生在遊玩與決策過程中如何建構科學知能、X 科學桌遊組成的成效以及遊戲後的總結性評量，以確認和驗證符合素養導向概念之桌遊，在科學知識、推理與思辨、生活應用與態度、問題解決與決策等知能之學習驗證，是未來研究的重要項目。

(4) 科學桌遊運用於教學：案例推廣顯示科學桌遊需考量教學模式，科學桌遊的設計者通常會以特定的概念做為學習目標，安排遊戲的設計方向，例如：符合科學概念的遊戲時空背景、對應概念特性或常規學習方法的設計，因此桌遊具概念有效性與使用者限制性。教師在使用桌遊時，應先了解與認同桌遊的這些特性，不宜過度運用到其他概念的學習，也應先了解學生的背景程度，選擇適當難度的遊戲。教師應思考適當地運用方式，做為遊戲主持人和鷹架提供者 (Kirriemuir & McFarlane, 2006)，強化學生角色扮演之投入、增加對議題的連結性與情境代入感、讓學生清楚規則與自主進行遊戲，並在遊戲後引導學生反思及建構知能。

(5) 遊戲內容與配件設計：本研究從遊戲內容討論科學內容的融入與建構，從延展設計探討桌遊設計的可能。內容基於科學知識設計科學桌遊，未來還可參考各類科學學習理論與教學策略，規劃對應的遊戲規則與機制，深入學習與遊玩。另外，現今資訊科技與美術技法的發展日新月異，例如：擴增實境(AR)、延展實境(XR)、立體書模型、STEM 手動機關等概念，將之融入在桌遊中，創作出符合科學內容及科學學習的遊戲世界及遊戲實施與操作，是未來

桌遊設計可思考的方向。

(6) 遊戲屬性與模式的完善與推廣：本文歸結與建立科學桌遊屬性的觀點，就遊戲性質與遊玩結構兩面向分析科學桌遊的屬性，然而目前僅是提出此概念，未有詳細的評估方式，可進一步思考各項目（學習資訊、科學系統、規則結構與機制組成）的評估內容，配合科學模型的評估，更具體與全面的分析與發展科學桌遊設計思維。此外，X 科學桌遊設計模式已實際運用至案例開發，為能更擴展設計模式的推廣效用，未來應發展基於研習與推廣的學習單或思考單，以及評估量表，以達到其作用。

(7) 桌遊模擬世界的評估：X 科學桌遊提示了桌遊模擬出真實環境的可能性，藉由融入延展設計，在短時回饋、小尺度空間下便可擬真社會性與科學性，形成一個模擬環境。當參與者在此環境下將會與遊戲或玩家間產生怎樣的態度思維、個人行為、社會互動與學習效能，在遊戲環境下這些表現間又具有何種交互作用，值得做為研究議題。

這些想法都提供了我們未來在設計桌遊及驗證桌遊成效的方向，強化描繪科學桌遊的未來發展與未來研究。



參考文獻

- (Taiwan), C. f. E. P. a. D. (2012). *Adaptation Strategy to Climate Change in Taiwan*. Taipei: Council for Economic Planning and Development.
- Abdul Jabbar, A. I., & Felicia, P. (2015). Gameplay engagement and learning in game-based learning: A systematic review. *Review of educational research*, 85(4), 740-779.
- Abt, C. C. (1987). *Serious games*: University press of America.
- Alexander, S. V., Sevcik, R. S., Hicks, O. D., & Schultz, L. D. (2008). Elements—a card game of chemical names and symbols. *Journal of Chemical Education*, 85(4), 514.
- Anderson, J. R. (1985). *A series of books in psychology. Cognitive psychology and its implications (2nd ed.)*: New York, NY, US: W H Freeman/Times Books/ Henry Holt & Co.
- Anyanwu, E. G. (2014). Anatomy adventure: A board game for enhancing understanding of anatomy. *Anatomical sciences education*, 7(2), 153-160.
- Arslan, H. O., Moseley, C., & Cigdemoglu, C. (2011). Taking attention on environmental issues by an attractive educational game: Enviropoly. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 28, 801-806.
- Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of research in science teaching*, 42(5), 518-560.
- Azevedo, R., & Hadwin, A. F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition—Implications for the design of computer-based scaffolds. *Instructional Science*, 33, 367–379.
- Bailey, J. M., Prather, E. E., & Slater, T. F. (2004). Reflecting on the history of astronomy education research to plan for the future. *Advances in space research*, 34(10), 2136-2144.
- Barnes, T., Peck, J., Sheppard, E., & Tickell, A. (2007). Methods matter: transformations in economic geography. *Politics and practice in economic geography*, 1-24.
- Bawden, R. (1997). *Leadership for systemic development*: University of Western Sydney: Hawkesbury.
- Bergkamp, G. J. J., Orlando, B., & Burton, I. (2003). *Change: adaptation of water resources management to climate change*: IUCN.
- Beylefeld, A. A., & Struwig, M. C. (2007). A gaming approach to learning medical microbiology: students' experiences of flow. *Medical teacher*, 29(9-10), 933-940.
- BoardGameGeek. (2010). Evolution: The Origin of Species. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/boardgame/71021/evolution-origin-species>
- BoardGameGeek. (2014). Alchemists. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/boardgame/161970/alchemists>
- BoardGameGeek. (2018a). Board Game Categories. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/browse/boardgamecategory>
- BoardGameGeek. (2018b). Board Game Mechanics. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/browse/boardgamemechanic>

- Bruner, J. S. (2009). *The process of education*: Harvard University Press.
- Burgun, K. (2012). *Game design theory: A new philosophy for understanding games*: AK Peters/CRC Press.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2003). *Biology, (6th ed.)*. San Francisco: Benjamin Cummings Company Press.
- Carnevale, A. P., Smith, N., & Melton, M. (2011). *STEM: Science Technology Engineering Mathematics*. Washington, US: Georgetown University Center on Education the Workforce.
- Carney, J. M. (2014). Retrosynthetic Rummy: A Synthetic Organic Chemistry Card Game. *Journal of Chemical Education*, 92(2), 328-331.
- Chen, P. G., Liu, E. Z. F., Lin, C. H., Chang, W. L., Hsin, T. H., & Shih, R. C. (2012). *Developing an education card game for science learning in primary education*. Paper presented at the Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL), 2012 IEEE Fourth International Conference on.
- Cheng, P. H., Tsai, J. C., Chang, C. Y., & Chien, Y. H. (2019). *Issue-problem based board game: Systemic learning environment for water resources sustainability*. Paper presented at the 2nd Eurasian Conference on Educational Innovation 2019(ECEI 2019), Kent Ridge, Singapore.
- Cheng, P. H., Yeh, T. K., & Chang, C. Y. (2016). *The utility of the board game for structural concept of solar system and learning motivation : An astronomy board game for elementary school students*. Paper presented at the 2016 EASE conference, Japan: Tokyo.
- Cheng, P. H., Yeh, T. K., Tsai, J. C., Lin, C. R., & Chang, C. Y. (2019). Development of an Issue-Situation-Based Board Game: A Systemic Learning Environment for Water Resource Adaptation Education. *Sustainability*, 11(5), 1341.
- Ciavarro, C. (2006). *The design, development and assessment of an educational sports-action video game: Implicitly changing player behaviour*. School of Interactive Arts and Technology-Simon Fraser University.
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioural sciences. In: Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155.
- Coil, D. A., Ettinger, C. L., & Eisen, J. A. (2017). Gut Check: The evolution of an educational board game. *PLoS biology*, 15(4), e2001984.
- Connolly, T. M. (2013). *Psychology, pedagogy, and assessment in serious games*. Pennsylvania: IGI Global.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York: Harper & Row.
- Csikszentmihalyi, M. (2000). Happiness, flow, and economic equality. *American Psychologist*, 55, 1163–1164.
- Demastes, S. S., Good, R. G., & Peebles, P. (1996). Patterns of conceptual change in evolution. *Journal of research in science teaching*, 33(4), 407-431.

- Eisenack, K. (2013). A climate change board game for interdisciplinary communication and education. *Simulation & Gaming, 44*(2-3), 328-348.
- Engelstein, G. (2017). *Gametek: The math and science of gaming*. New Jersey: BookBaby.
- Farmer, S. C., & Schuman, M. K. (2016). A simple card game to teach synthesis in organic chemistry courses. *Journal of Chemical Education, 93*(4), 695-698.
- Finley, F. N. (1983). Science processes. *Journal of research in science teaching, 20*(1), 47-54.
- Ford, J. D., Berrang-Ford, L., & Paterson, J. (2011). A systematic review of observed climate change adaptation in developed nations. *Climatic change, 106*(2), 327-336.
- Fox, R. (2007). Gowin's knowledge vee and the integration of philosophy and methodology: A case study. *Journal of Geography in Higher Education, 31*(2), 269-284.
- Fullagar, C. J., & Kelloway, E. K. (2009). Flow at work: An experience sampling approach. *Journal of occupational and organizational psychology, 82*(3), 595-615.
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming, 33*(4), 441-467.
- Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in Entertainment, 1*(1), 20-20.
- Gee, J. P. (2005). What would a state of the art instructional video game look like? *Innovate: Journal of online education, 1*(6).
- Gibson, J. P., & Cooper, J. T. (2017). Botanical Phylo-Cards: A Tree-Thinking Game to Teach Plant Evolution. *The American Biology Teacher, 79*(3), 241-244.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In *Developing models in science education* (pp. 3-17): Springer.
- Guley-Dilger, L. (1992). Gowin's Vee. *The science teacher, 59*(3), 50.
- Gutierrez, A. F. (2014). Development and effectiveness of an educational card game as supplementary material in understanding selected topics in biology. *CBE—Life Sciences Education, 13*(1), 76-82.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of research in science teaching, 33*(9), 1019-1041.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1011-1026.
- Hinebaugh, J. P. (2009). *A board game education*: R&L Education.
- Hou, H.-T., & Li, M.-C. (2014). Evaluating multiple aspects of a digital educational problem-solving-based adventure game. *Computers in Human Behavior, 30*, 29-38.
- Hsieh, Y.-H., Lin, Y.-C., & Hou, H.-T. (2016). Exploring the role of flow experience, learning performance and potential behavior clusters in elementary students' game-based learning. *Interactive Learning Environments, 24*(1), 178-193.
- Hsu, S. (2003). The effects of an undergraduate environmental education course on environmental action and associated environmental literacy variables. *Chinese Journal of Science Education, 11*(1), 97-119.

- Huang, C.-C., Yeh, T.-K., Li, T.-Y., & Chang, C.-Y. (2010). The idea storming cube: Evaluating the effects of using game and computer agent to support divergent thinking. *Journal of Educational Technology and Society*, 13(4), 180.
- Huizinga, J. (1938). *Home iudens: study of the play-element in culture*. Boston, MA: Beacon.
- Huynh, D.-N. T., Raveendran, K., Xu, Y., Spreen, K., & MacIntyre, B. (2009). *Art of defense: a collaborative handheld augmented reality board game*. Paper presented at the Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH symposium on video games.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2013). Cooperative, competitive, and individualistic learning environments. *International guide to student achievement*, 372-375.
- Joyce, B. R., Weil, M., & Calhoun, E. (1986). Models of teaching (Vol. 499). In: Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Justi, R., & Van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- Karbownik, M. S., Wiktorowska-Owczarek, A., Kowalczyk, E., Kwarta, P., Mokros, Ł., & Pietras, T. (2016). Board game versus lecture-based seminar in the teaching of pharmacology of antimicrobial drugs—a randomized controlled trial. *FEMS microbiology letters*, 363(7).
- Kiili, K. (2005). *Educational game design: Experiential gaming model revised*. Retrieved from Tampere, Finland.
- Kiili, K., De Freitas, S., Arnab, S., & Lainema, T. (2012). The design principles for flow experience in educational games. *Procedia Computer Science*, 15, 78-91.
- Kirikkaya, E. B., Iseri, S., & Vurkaya, G. (2010). A Board Game about Space and Solar System for Primary School Students. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(2), 1-13.
- Kirriemuir, J., & McFarlane, A. (2006). *Report 8. Literature review in games and learning*. Bristol, UK: Futurelab.
- Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental Detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56(2), 203-228.
- Knudtson, C. A. (2015). ChemKarta: A card game for teaching functional groups in undergraduate organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(9), 1514-1517.
- Kolstø, S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85(3), 291-310.
- Lauren, H., Lutz, C., Wallon, R. C., & Hug, B. (2016). Integrating the Dimensions of NGSS within a Collaborative Board Game about Honey Bees. *The American Biology Teacher*, 78(9), 755-763.
- Lawton. (2001). Earth System Science. *science*, 292(5524), 1965.
- Lennon, J. L., & Coombs, D. W. (2006). Child-invented health education games: A case study for dengue fever. *Simulation & Gaming*, 37(1), 88-97.
- Liou, W.-K., Bhagat, K. K., & Chang, C.-Y. (2016). Beyond the flipped classroom: A highly

- interactive cloud-classroom (HIC) embedded into basic materials science courses. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 460-473.
- Lopes, G., & Kuhnen, R. (Producer). (2007). Game Design Cognition: The Bottom-Up And Top-Down Approaches. *Gamasutra. Gamasutra: The Art & Business of Making Games*.
- Maier, H. R., & McLaughlan, R. G. (2001). *Use of a roleplay/simulation in environmental engineering education*. Paper presented at the Towards Excellence in Engineering Education: Proceedings of the 12th Australasian Conference on Engineering Education, 7th Australasian Women in Engineering Forum.
- Mann, S., Furness, T., Yuan, Y., Iorio, J., & Wang, Z. (2018). All reality: Virtual, augmented, mixed (x), mediated (x, y), and multimediated reality. *arXiv:1804.08386*.
- Martin, D., Bélanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C., & Déry, S. (2007). Drinking water and potential threats to human health in Nunavik: adaptation strategies under climate change conditions. *Arctic*, 60, 195-202.
- Mayer, R. E. (1989). Models for understanding. *Review of educational research*, 59(1), 43-64.
- Mayer, V. J. (1995). Using the earth system for integrating the science curriculum. *Science Education*, 79(4), 375-391.
- Miralles, L., Moran, P., Dopico, E., & Garcia-Vazquez, E. (2013). DNA Re-Evolution: A game for learning molecular genetics and evolution. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(6), 396-401.
- Morris, T. A. (2011). Go chemistry: a card game to help students learn chemical formulas. *Journal of Chemical Education*, 88(10), 1397-1399.
- NGSS. (2013). The Next Generation Science Standards-Executive Summary. Retrieved from <http://www.nextgenscience.org/sites/ngss/files/Final%20Release%20NGSS%20Front%20Matter%20.pdf>
- Novak, J. D., Bob Gowin, D., & Johansen, G. T. (1983). The use of concept mapping and knowledge vee mapping with junior high school science students. *Science Education*, 67(5), 625-645.
- Nuetzman, A. L., & Abdullaev, Y. (2012). Teaching Medical Terminology Using Word-Matching Games. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 43(7), 297-298.
- Nussbaum, M., Alvarez, C., McFarlane, A., Gomez, F., Claro, S., & Radovic, D. (2009). Technology as small group face-to-face Collaborative Scaffolding. *Computers & Education*, 52(1), 147-153.
- OECD. (2013). *OECD Studies on Water Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters*: OECD Publishing.
- Ogershok, P. R., & Cottrell, S. (2004). The pediatric board game. *Medical teacher*, 26(6), 514-517.
- Osbaldiston, R., & Schott, J. P. (2012). Environmental sustainability and behavioral science: Meta-analysis of proenvironmental behavior experiments. *Environment and Behavior*, 44(2), 257-299.
- Passey, D. (2010). Mobile learning in school contexts: can teachers alone make it happen? *IEEE*

- Transactions on Learning Technologies*, 3(1), 68-81.
- Peppler, K., Danish, J. A., & Phelps, D. (2013). Collaborative gaming: Teaching children about complex systems and collective behavior. *Simulation & Gaming*, 44(5), 683-705.
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. *International encyclopedia of education*, 2, 6452-6457.
- Pippins, T., Anderson, C. M., Poindexter, E. F., Sultemeier, S. W., & Schultz, L. D. (2011). Element Cycles: An environmental chemistry board game. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1112-1115.
- Prensky, M. (2003). Digital game-based learning. *Computers in Entertainment*, 1(1), 21-21.
- Reese, D. D. (2009). *Structure mapping theory as a formalism for instructional game design and assessment*. Paper presented at the New frontiers in analogy research: Proceedings of the 2nd international conference on analogy (Analogy '09).
- Rose, T. M. (2011). A board game to assist pharmacy students in learning metabolic pathways. *American journal of pharmaceutical education*, 75(9), 183-189.
- Rutledge, M. L., & Mitchell, M. A. (2002). High school biology teachers' knowledge structure, acceptance & teaching of evolution. *The American Biology Teacher*, 64(1), 21-28.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of research in science teaching*, 41(5), 513-536.
- Salen, K., Tekinbaş, K. S., & Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*: MIT press.
- Salerno, F. (2017). Adaptation Strategies for Water Resources: Criteria for Research. *Water*, 9(10).
- Shaftel, F. R., & Shaftel, G. A. (1967). *Role-playing for social values: Decision-making in the social studies*: Prentice-Hall.
- Skinner, B. F. (1958). Teaching machines. *science*, 128(3330), 969-977.
- Smith, D. R. (2003). Voyager': an educational card game. *Physics Education*, 38(1), 47-50.
- Spandler, C. (2016). Mineral supertrumps: a new card game to assist learning of mineralogy. *Journal of Geoscience Education*, 64(2), 108-114.
- Spiegel, C. N., Alves, G. G., Cardona, T. d. S., Melim, L. M., Luz, M. R., Araújo-Jorge, T. C., & Henriques-Pons, A. (2008). Discovering the cell: an educational game about cell and molecular biology. *Journal of Biological Education*, 43(1), 27-36.
- Standards, N. G. S. (2013). Next generation science standards. Retrieved from <http://www.nextgenscience.org/>
- Starks, K. (2014). Cognitive behavioral game design: a unified model for designing serious games. *Frontiers in psychology*, 5, 28.
- Steinman, R. A., & Blastos, M. T. (2002). A trading-card game teaching about host defence. *Medical education*, 36(12), 1201-1208.
- Sterling, S. (2004). Higher education, sustainability, and the role of systemic learning. In *Higher education and the challenge of sustainability* (pp. 49-70): Springer.
- Sun, J. C.-Y., Kuo, C.-Y., Hou, H.-T., & Lin, Y.-Y. (2017). Exploring learners' sequential

- behavioral patterns, flow experience, and learning performance in an anti-phishing educational game. *Journal of Educational Technology Society*, 20(1), 45-60.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instructional*, 4(4), 295-312.
- Taylor, I., Barker, M., & Jones, A. (2003). Promoting mental model building in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1205-1225.
- Trevino, R., Majcher, C., Rabin, J., Kent, T., Maki, Y., & Wingert, T. (2016). The Effectiveness of an Educational Game for Teaching Optometry Students Basic and Applied Science. *PloS one*, 11(5), e0156389.
- Tsai, C.-C., & Huang, C.-M. (2001). Development of cognitive structures and information processing strategies of elementary school students learning about biological reproduction. *Journal of Biological Education*, 36(1), 21-26.
- Tuan, H. L., Chin, C. C., & Shieh, S. H. (2005). The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International Journal of Science Education*, 27(6), 639-654.
- Valente, P., Lora, P. S., Landell, M. F., Schiefelbein, C. S., Girardi, F. M., Souza, L. D. R., . . . Scroferneker, M. L. (2009). A game for teaching antimicrobial mechanisms of action. *Medical teacher*, 31(9), e383-e392.
- van der Stege, H. A., van Staa, A., Hilberink, S. R., & Visser, A. P. (2010). Using the new board game SeCZ TaLK to stimulate the communication on sexual health for adolescents with chronic conditions. *Patient education and counseling*, 81(3), 324-331.
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543-568.
- Viggiano, A., Viggiano, E., Di Costanzo, A., Viggiano, A., Andreozzi, E., Romano, V., . . . Incarnato, L. (2015). Kaledo, a board game for nutrition education of children and adolescents at school: cluster randomized controlled trial of healthy lifestyle promotion. *European journal of pediatrics*, 174(2), 217-228.
- Wang, M. C. (1980). Adaptive instruction: Building on diversity. *Theory into practice*, 19(2), 122-128.
- Wessel, M. R. (1980). *Science and conscience*: New York: Columbia University Press.
- Whalen, T. (2003). *Playing well with others: Applying board game design to tabletop display interfaces*. Paper presented at the ACM symposium on user interface software and technology.
- Yachina, N. P., Zeynalov, G. G., & Dyushebekova, G. Z. (2016). Mixed objective-virtual reality: Theoretical analysis of basic characteristics of modern education. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 11(1), 271-278.
- Yang, Y., & Hsu, M. (2012). Perception and communication of environmental risk: A case study of situational publics regarding global warming. *Chinese Journal of Communication Research*, 22, 169-210.

- Yoon, B., Rodriguez, L., Faselis, C. J., & Liappis, A. P. (2014). Using a board game to reinforce learning. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 45(3), 110-111.
- 台灣農業推廣學會 (2016)：我們為何要推廣食農教育。Retrieved from <http://www.extension.org.tw/education/index.html>
- 台灣環境資訊協會 (2016)：【第三屆十大節出綠遊戲·得獎開箱文】第一名：《水。求生。永續》。Retrieved from <https://e-info.org.tw/node/203623>
- 甘漢銑、陳文典 (2004)：「科學過程」技能。臺北市：教育部。
- 行政院 (2012)：氣候變遷調適政策綱領。臺北：行政院。
- 行政院農業委員會 (2018)。食農教育教學資源平台。Retrieved from https://kids.coa.gov.tw/food_agri/index.php
- 林海珍、黃屏綸、吳悅、羅良慧、賴允政 (2103)：我國氣候變遷調適策略之政策評估研究報告。臺北：行政院。
- 林樹聲 (2005)：通識教育中科學課程之環境議題單元設計與教學建議-以全球暖化議題為例。 *南華通識教育研究*，2(2)，27-42。
- 邱美虹 (2008)：模型與建模能力之理論架構。 *科學教育月刊*，306，2-9。
- 邱美虹 (2016)：科學模型與建模：科學模型、科學建模與建模能力。Retrieved from <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=13898>
- 邱美虹、劉俊庚 (2008)：從科學學習的觀點探討模型與建模能力。 *科學教育月刊*，314，1-19。
- 孫春在 (2013)：遊戲式數位學習。臺北：高等教育。
- 國家教育研究院 (2013)。十二年國民基本教育自然科學領域綱要內容之前導研究。臺北：國教院。
- 張春興、林清山 (2009)。 *教育心理學 (第 22 版)*。臺北：東華。
- 教育部 (2009)：防災素養檢測手冊。臺北：教育部。
- 教育部 (2010)：環境教育 - 九年一貫課程與教學網。Retrieved from <http://teach.eje.edu.tw/9CC/discuss/discuss3.php>
- 教育部 (2018a)：105 年度氣候變遷調適創意實作競賽計畫執行成果摘要。Retrieved from <https://climatechange.tw/Creative/SummaryOfResult>
- 教育部 (2018b)：十二年國民基本教育課程綱要自然科學領域。臺北：教育部。
- 教育部 (2018c)：防減災及氣候變遷調適教育資訊網。Retrieved from <https://disaster.moe.edu.tw/WebMoeInfo/>
- 莊志彥、蘇育任 (1999)。國小學童知覺選擇與動物分類概念之研究。 *科學教育學刊*，7(2)，135-156。
- 莊英慧、熊召弟、耿筱曾、甘漢銑 (2007)：台北縣國小六年級學童水的知識理解，水資源保育態度與行為之相關研究。 *環境教育學刊*，7，55-80。
- 許一珍、范丙林、巫宗翰、蕭文祥 (2015)：心流經驗於遊戲使用者介面之研究。 *數位學習科技期刊*，7(2)，73-93。
- 陳可恭 (2002)：系統思維在科學探究與學習上的意涵及應用。 *科學教育月刊*，252，2-13。
- 陳瑞麟 (2004)：科學理論版本的結構與發展。臺北：國立臺灣大學出版中心。
- 黃政傑、張嘉育 (2010)：讓學生成功學習：適性課程與教學之理念與策略。 *課程與教學*，

13(3), 1-22。

黃悅筑、王齡慶、蔡宗霖 (2019)：都市森林與氣候變遷桌遊開發。Retrieved from <http://www.esdtaiwan.edu.tw/collegestudent/netconnect.html>

黃桂芝、曾憲雄、翁瑞鋒、何筱婷 (2008)。採遊戲式學習教育平台之科學教育活動設計。
數位學習科技期刊，1(1)，56-71。

黃運忠、盧秀琴 (2004)：環境教育融入國小四年級自然與生活科技之研究。**環境教育學刊**，
3，87-112。

經濟部水利署 (2017)：各項用水統計資料。Retrieved from <http://wuss.wra.gov.tw/annuals.aspx>

廖南瑛 (2018)：青年展創意因應氣候變遷的衝擊－教育部 107 年度氣候變遷人才培育暨學生
創意實作競賽成果發表。Retrieved from

<https://www.ner.gov.tw/news/5bb094b372b049000b31e0cd>

劉湘瑤、張俊彥 (2018)：論自然科學課程綱要中的「素養」內涵。**科學教育月刊**，413，
2-9。

鄭秉漢、李文獻、張俊彥 (2019)：模型化科學桌遊。**科學教育月刊**，419，20-37。

鄭秉漢、蔡仁哲、葉庭光、張俊彥 (2019)：情境模擬桌遊於環境災害與防災議題之推廣。
2019 中國地理學會年會暨地理學術研討會，台灣：臺北。

環境品質文教基金會 (2011)：水計算器。Retrieved from

<http://www.eqpf.org/WaterCalculator.aspx>

謝承憲、蘇昭郎、吳佳容。(2010)：災害風險評估－災害風險管理與減災之工具。**災害防救
電子報**，59，1-7。

謝雯凱 (2011)：食物里程與畜牧業的溫室氣體排放。**中國飲食文化基金會會訊**，17(4)，
21-25。

顏建賢、曾宇良、張瑋琦、陳美芬、謝亞庭 (2015)：我國食農教育推動策略之研究。**農業
推廣文彙**，69-86。