
模型化科學桌遊

鄭秉漢¹ 李文獻¹ 張俊彥^{1,2,3*}

¹ 國立臺灣師範大學 科學教育研究所

² 國立臺灣師範大學 地球科學系

³ 國立臺灣師範大學 科學教育中心

摘要

科學桌遊為科學教育的多元化提供了潛在的效用，建立分析桌遊的科學學習與設計的架構，相信能釐清科學桌遊在科學學習的運用，並對科學知識的傳遞帶來幫助。本研究基於對文獻的探討，將科學桌遊的組成、科學知識的結構與科學模型三者間建立聯結。其中，科學桌遊的組成與結構可與科學知識的結構相對應，若能適當地運用結構化的設計，應有助於呈現科學結構知識；而桌遊的組成可轉換成科學教學類比模型，藉由對應科學知識的本質、桌遊科學模型以及桌遊組成，應可釐清科學桌遊對學習科學知識的幫助，本科學桌遊模型化之架構預期能提供科學桌遊設計者及科學桌遊運用者可參考的觀點與視角。

關鍵詞：科學桌遊、知識結構、科學模型、模型化桌遊

壹、前言

科學桌遊意指將科學內容融入在遊戲中的桌上遊戲，運用科學桌遊在科學學習的目的之一，乃希望學習者在玩遊戲的過程中理解與學習科學知識。近年來，市面上有許多以科學知識為主題的桌上遊戲（例：演化論、Bios: Megafauna (Board GameGeek, 2017)），也有許多研究嘗試開發與運用科學桌遊來輔助學生學習科學知識(Anyanwu, 2014; Karbownik et al., 2016; Lennon & Coombs, 2006; Miralles, Moran, Dopico, & Garcia-Vazquez, 2013; Trevino

et al., 2016)，顯示科學桌遊已做為傳遞科學知識的工具之一，為科學教育的多元化提供潛在的效用。如果有一套描述科學桌遊中的科學學習之架構，相信能更為釐清科學桌遊在科學學習的運用與知識的傳遞。

以傳遞科學知識為目標的科學桌遊，其架構應考量科學學習的內涵與桌遊的內容，本研究認為可從兩個觀點討論：(1)科學桌遊的結構可與科學知識的結構相近：科學知識有系統、關係與成份之結構性的關聯(邱美虹, 2016; 邱美虹、劉俊庚, 2008)，桌遊也有具相似結構的運作系統。(2)科學桌遊與科學模型在科學學習的意義相似：科學模型做為物件、事件或現象的表徵，

* 為本文通訊作者

讓抽象的科學概念變得容易理解與學習 (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000; Justi & Van Driel, 2005)，科學桌遊則做為遊戲世界的物件或事件的表徵，並讓使用者從中學習科學。基於上述兩點，本文預期提供一個立基於桌遊內容、科學知識結構與科學模型的科學桌遊架構，以期供運用科學桌遊的推廣者可分析科學桌遊中科學學習的內涵。

貳、科學桌遊與科學知識的結構

一、科學桌上遊戲

(一) 科學桌上遊戲的內涵

具教育性的遊戲含有學科內容，試圖讓學習者在遊玩遊戲的過程中學習知識 (Garris, Ahlers, & Driskell, 2002; Kiili, 2005; Reese, 2009)；而以學習科學知識為目的的遊戲，即是將科學知識融入在遊戲世界中，讓學習者從中學習科學知識 (Cheng, Yeh, Tsai, Lin, & Chang, 2019; Eisenack, 2013)。教育型遊戲藉由各種媒介或載具讓學習者操作與投入遊戲，依使用的媒介或載具可略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。本文探討的桌上遊戲，意指許多人共同在桌子上面對面遊玩、不以電子設備或數位產品運作為主的遊戲。桌上遊戲具有情節性、挑戰性與互動性等遊戲特性，另外還有實體化的物件、人工操作的回饋過程等特徵 (Cheng, Yeh, & Chang, 2016; Engelstein, 2017; Ogershok & Cottrell, 2004)。因此，以科學學習為目標的科學桌上遊戲的內涵

應包含：(1) 桌上遊戲的特徵，即遊戲的特性以及供玩家在遊戲中操作的實體媒介。(2) 科學知識學習的特性。

(二) 科學桌遊的遊戲特性與組成

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)。一些學者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)。教育型遊戲則通常會依據學習目標安排玩家在遊戲中面臨到的、與學科內容有關的情境，以及在各情境下可選擇的策略與執行的行動，也會規劃各種行動所提供的回饋，以利於使用者在遊戲建構知識 (Kiili, 2005) (表 1)。桌遊也具有相似表 1 的遊戲特徵，除此之外，為了讓遊戲可以描述故事背景、運作遊戲，大部份的桌遊設計者說明桌遊主要由「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 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，從而取得更大的勝利
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	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
Starks (2014) (教育遊戲)	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
	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	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
Garris et al. (2002) (教育遊戲)	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，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
	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)，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
	輸出	遊戲後的學習表現

表 2、桌遊的組成與描述

主要組成	次要組成	描述與文獻
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	物體與物體間的相互作用。玩家執行動作後，藉由規則回饋，給出輸出(Burgun, 2012; Garris et al., 2002; 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)。

依循文獻，桌遊包含有「背景主題」、「流程規則」及「實體配件」等主要組成，而「流程規則」中包含有「勝利目標」、「初始設置」、「回合過程」、「階段機制」、「物件單元」等次要組成。

1. 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, Danish, and Phelps (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。

2. 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)。

(1) **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。

- (2) **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。
- (3) **回合過程**：通常在一次遊戲歷程中會經歷數個回合，回合過程即是每一個回合中玩家依序面臨的多個情境或待處理的問題事項。
- (4) **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。桌遊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)。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，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, Moseley, and Cigdemoglu (2011)設計的環境桌遊。在每一個回合過程，玩家將面臨

「角色前進」、「環境議題認識」、「答案結算」這三個情境。在「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」，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）。

- (5) **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。

3. 實體配件

玩家在桌上遊戲中操作的配件，通常是實體的、可觸摸的，例如：卡牌、骰子、圖板、棋子與指示物、說明書等。主要用來描述「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、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，下一步需思考桌遊的組成如何呈現科學知

識。

二、基於知識結構的桌遊結構

(一) 科學知識的結構

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 1a)。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，成份／論點通常藉由動詞，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），這些成份通過力量，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; Mayer, 1995)。在微觀的系統上：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 1b)。系統性的知識結構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。

(二) 科學桌遊的結構

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 2 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；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

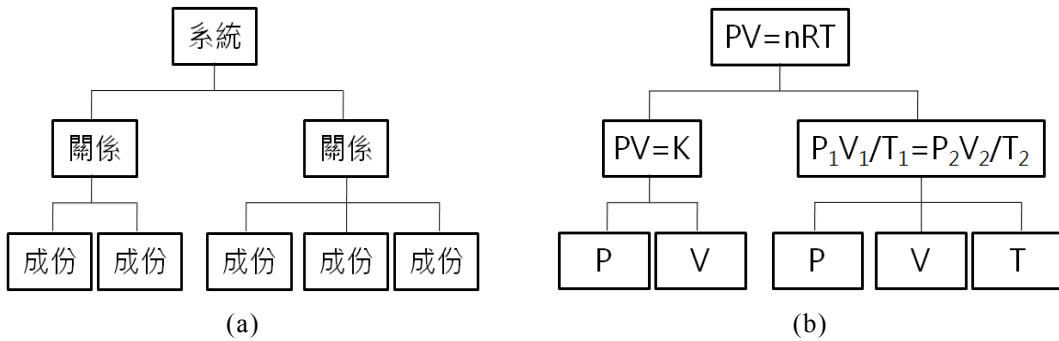


圖 1、科學系統中，成份、關係和系統間的關係。(a)科學知識的結構。(b)氣體動力論系統 (參考自邱美虹 (2016))。

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。

(三) 科學桌遊結構分析之示例

依循圖 2 分析桌上遊戲「演化論」(BoardGameGeek, 2010)，其桌遊組成與結構如下：

1. 實體配件

遊戲說明書描述遊戲的背景與規則，玩家操作實體卡牌體驗生物的演化。

2. 背景主題

遊戲的背景是生物科學-演化論，玩家扮演上帝，培育自己的物種使其具能適應環境的性狀，讓自己的物種能在競爭中活的長久。

3. 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：一個回合有四個情境（演化、食物供給、進食、生存），各情境之階段機制與物件單元的關係如下述。遊戲進行數個回合直到遊戲結束。

(i) 演化：物種演化的情境。階段機制屬於「手牌管理」，玩家打出手牌得到新的物種或新的性狀。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。

(ii) 食物供給：決定此回合的食物量的情境。階段機制屬於「擲骰」，玩家擲骰並依骰子點數出現食物量。此機制建構了骰子點數與食物量的關係。呈現食物量無法控制的概念。

(iii) 進食：面臨物種尋求吃飽的情境。

機制為「行動選擇」，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。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。

- (iv) 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 3a、3b）。參考關於演化的知識架構，物種演化由變化產生及對物種影響此兩種關係描述，關係下的成份是牽涉的面向，次成份則是各面向下所組成的因素 (Demastes, Good, & Peebles, 1996; Rutledge & Mitchell, 2002)。雖然這裡舉出的例子的各組成的內容，不完全一致對應，但確實顯示了結構的相似性。

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。

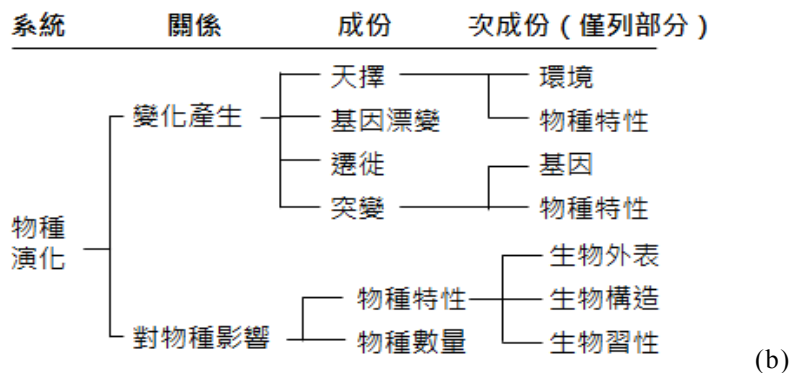
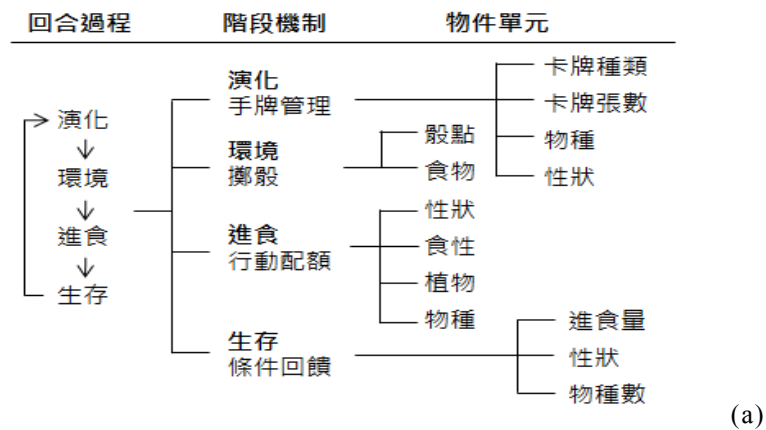


圖 3、演化論的結構。(a) 演化論桌遊結構。(b) 演化論知識結構。

參、模型化科學桌遊

一、科學模型

(一) 模型的觀點

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。

(二) 模型的分類

以下列出各研究者對模型本體地位的分類，以表達和描述模型間的差異與共同的特徵。

1. 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)。

2. 陳瑞麟 (2004)的分類

陳瑞麟從模型的存有狀態探討分類，它提出「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」。他認為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 為他所分類的模型類別。

表 3、Gilbert、Boulter 和 Elmer 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。

表 4、陳瑞麟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

3. 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 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)	用來描述指定物件的顏色、外部形狀和結構。並非以材料、內部結構，功能和用途為主。例如：動物模型、汽車玩具。
	教學類比模型 (Pedagogical analogical models)	老師解釋與分享資訊的教學方式，通常會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： $k = PV$ 。
描述多重概念和過程	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。
	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。
實體、理論和過程的個人模型	模擬 (Simulations)	多種動態的模型，一個複雜的過程。例如：全球暖化。
	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。
	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，乃將科學知識建構成一個遊戲世界與具體運作規則，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，並非所有的分類方式都可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；陳瑞麟的分類以哲學觀

點出發，基於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 的分類類別也較詳細，應能將科學桌遊的組成更為精確地模型化。

二、模型化桌遊組成

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，本研究認為，設計科學桌上遊戲時，能／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（本文命名為桌遊科學模型），建構出科學桌遊模型化的脈絡（圖 4）。

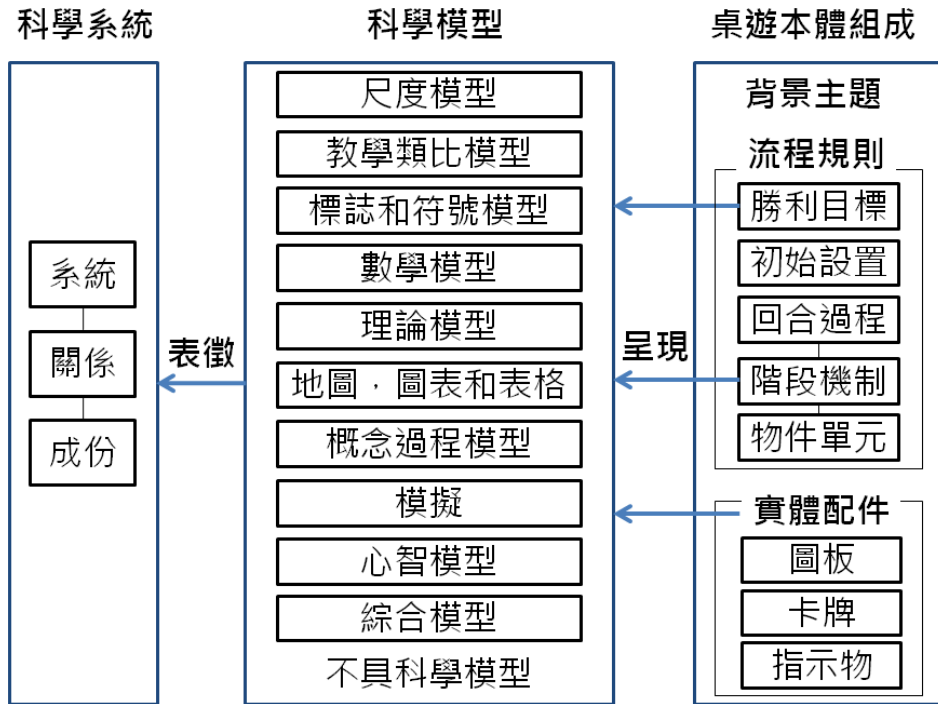


圖 4、模型化科學桌遊：科學知識系統、科學模型與桌遊組成的關係。

三、模型化之架構使用示例與討論

本文嘗試以圖 4 之脈絡，分析一款現行的科學桌遊以及 5 篇科學桌遊實徵研究的文章，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 et al., 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。

表 6、科學桌遊模型化之使用與分析示例。

桌遊主題	桌遊組成	組成與說明	桌遊科學模型與說明
蜜蜂行為 (Pepler 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已獲得蜂蜜
	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／無決策的進行
	實體配件	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
		板塊：蜜蜂的各種行為	概念過程模型：行為之間的因果關係
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
	實體配件	手牌管理：基因突變影響／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
		卡牌：基因突變	概念過程模型：影響 DAN 連結的因素
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
	實體配件	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
		板塊：繞圈的格子	沒有科學模型：板塊與太陽系無關

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

肆、結論與建議

一、結論

經由分析和建構科學桌遊的組成（回合過程、階段機制、物件單元），顯示桌遊的結構可與科學知識的結構相近，這提示科學桌遊若能適當地運用結構化的設計，應有助於呈現科學結構知識。此外，桌遊的組成（勝利目標、階段機制、實體配件）可轉換成科學教學類比模型（桌遊科學模型），藉由對應科學知識的本質、科學模型以及桌遊組成，釐清科學桌遊中的知識（模型）內涵。透過建立桌遊組成、科學知識結構與科學模型之關聯與轉換，科學桌遊模型化之脈絡預期能提供科學桌遊設計者參考的觀點，也可讓運用桌遊於科學學習的教育者有分析的依據。本研究未來分析實徵研究之文獻，獲得充足資訊與證據以詳細地探討科學桌遊的特性，以及科學桌遊組成與桌遊科學模型的運用。

二、建議

桌上遊戲為能讓玩家能自行操作與計算回饋，會將數值概略化，並突顯重要的核心機制，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桌遊科學模型，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(邱美虹、劉俊庚，2008)。是故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，不宜過度運用至其他概念。

致謝

本研究得到了國立臺灣師範大學－教育部高等教育深耕計畫－學習科學跨國頂尖研究中心的經費補助，特此致謝。

參考文獻

- Abt, C. C. (1987). *Serious games*: University press of America.
- 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.
- BoardGameGeek. (2010). Evolution: *The Origin of Species*. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/boardgame/71021/evolution-origin-species>
- BoardGameGeek. (2017). *Bios: Megafauna (Second Edition)*. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/boardgame/221769/bios-megafauna-second->

- edition
- BoardGameGeek. (2018a). *Board Game Categories*. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/browse/boardgamecategory>
- BoardGameGeek. (2018b). *Board Game Mechanics*. Retrieved from <https://boardgamegeek.com/browse/boardgamemechanic>
- Burgun, K. (2012). *Game design theory: A new philosophy for understanding games*: AK Peters/CRC Press.
- 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.
- 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.
- 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. (2005). What would a state of the art instructional video game look like? Innovate: *Journal of online education, 1*(6). <http://www.innovateonline.info/index.php?view=article&id=80>
- 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.
- 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.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1011-1026.
- 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). fnw045.
- Kiili, K. (2005). *Educational game design: Experiential gaming model revised*. Retrieved from Tampere, Finland.
- 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.
- 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.

- Lopes, G., & Kuhnen, R. (Producer). (2007). *Game Design Cognition: The Bottom-Up And Top-Down Approaches*. Gamasutra. Gamasutra: *The Art & Business of Making Games*.
- 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.
- Ogershok, P. R., & Cottrell, S. (2004). The pediatric board game. *Medical teacher*, 26(6), 514-517.
- Peppler, K., Danish, J. A., & Phelps, D. (2013). Collaborative gaming: Teaching children about complex systems and collective behavior. *Simulation & Gaming*, 44(5), 683-705.
- 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).
- 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.
- Salen, K., Tekinbaş, K. S., & Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. Cambridge, USA: MIT press.
- Starks, K. (2014). Cognitive behavioral game design: a unified model for designing serious games. *Frontiers in psychology*, 5, 28.
- 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.
- 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。
- 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。臺北市；國立臺灣大學出版中心。
- 投稿日期：108年03月27日
接受日期：108年05月20日

Modeling Science Board Games

Ping-Han Cheng¹, Wen-Shian Lee¹, and Chun-Yen Chang^{1,2,3*}

¹Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

²Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

³Science Education Center, National Taiwan Normal University

Abstract

There is potential utility for the diversification of science education through the use of board games. To promote the transmission of science knowledge and to clarify the usage in science learning, one needs to construct the analysis framework of science board games. Based on literature reviews, this study establishes the connection between the composition of science board games, the structure of science knowledge and the science model. First, the structure of science board games is similar to the structure of science knowledge. If we design the board game structurally, it may help to present science structural knowledge. Second, by corresponding the nature of science knowledge, the composition of science board games can be converted into analogical models of science teaching. In this way, it should be possible to clarify the utility of the board game for the learning of science knowledge. We hope that the modeling framework of science board games can provide a reference for designers, and also allow educators who use board games for science learning to have an analytical foundation.

Keywords: science board game, the structure of science knowledge, science model, modeling board game

* corresponding author