

Effects of Computer-based Modeling Learning Activities on Elementary School Students' Modeling Practices

電腦輔助建模學習活動對國小高年級學童 建模實務影響之研究

Yingchieh Lin

Department of Education
Taipei Municipal University of Education
Taipei, Taiwan
t92005@gmail.com

Mengping Tsuei

Graduate School of Education Communications and
Technology
National Taipei University of Education
Taipei, Taiwan
mptsuei@gmail.com

Abstract—This study was conducted to explore the effects of computer-based modeling learning activities on sixth graders' modeling practices. The subjects of this study were 33 sixth graders in Taipei Taiwan. The experimental group received an instruction which was based on Model-It, a computer-based modeling tool, and a set of computer-based modeling learning activities. Paper and pencil tests of modeling practices were used both before and after the study to evaluate students' development of specific modeling practices. Three pairs of sixth graders' conversations and computer activities during the modeling learning activities were video recorded when they created their models. The results of this study revealed that (1) the development of modeling practices were effectively enhanced through the computer-based modeling learning activities; and (2) One aspect of modeling practices, synthesizing, was significant than others (effect size =0.89); (3) Computer-based modeling tools allow students to express, test, and revise their models. This study suggested that science teacher should let students value the purpose and utility of models and design and implement of a sequence of computer-based modeling learning activities associated with a computer-based modeling tool to promote students' conceptual learning and modeling practices in the classroom.

Keywords- computer-based modeling; modeling practices

I. 研究背景與動機

十六世紀哥白尼（Copernicus Nicholas）提出以太陽為中心的模型，對天文學產生巨大的變革；近代華生（James Watson）和克里克（Francis Crick）於1953年提出DNA的雙股螺旋結構圖造成生物科技一日千里的發展。從科學歷史的一連串演變，我們不難發現，科學家經常透過模型來獲得對自然現象的瞭解。相同的，在科學教育中，教師應該要營造一個情境，讓學生也能學習科學家透過模型來了解現象進而促進科學概念的獲得。

模型是科學的產物、方法以及學習教學的主要工具，透過建構與操弄模型的過程容易讓人理解抽象的科學概念並對自然現象作出解釋與預測[6]。雖然模型與建模可有效促進學習者科學素養與概念，然而，如何建立複雜的自然現象模型，卻是一項困難任務[10]，尤其是中小學生[1]。

因此，隨著科技進步，運用電腦為輔助的建模（computer-based modeling）來模擬真實世界中現象的特性，以已成為一種有力的工具與方式促進學生進行建模活動[9]。

在建立模型歷程中，學習者並非有能力和專家一樣進行建模活動，因此教育者必須藉由學習活動的導入並進一步瞭解學習者在活動中所展的科學實務，例如對自然現象的分析、因果關係的建立及模型的測試等等，而這些在建模過程中所進行的科學實務，我們定義為建模實務（modeling practices）[10]。在電腦輔助建模實務相關研究方面，大多數是針對中學以上的學生為研究對象[17]，較少研究是針對國小學童[1]。根據文獻[20]指出，即使是年齡較小的學生（六至八年級），依然可以透過建模活動來學習科學概念與科學論證。因此，本研究目的是希望學生能在建模活動中，藉由教師的各種引導並搭配電腦工具來增進學生的建模實務。本研究的研究問題為：經過電腦輔助建模教學學習活動之後，國小高年級學生在建模實務成長上有何差異存在？國小高年級學生在電腦輔助建模學習活動過程中所進行的建模實務與歷程為何？

II. 文獻探討

A. 模型與建模在科學學習之重要性

近年來，教育研究者及教師等均認為模型與建模是學習科學、傳達科學與科學探究的重要工具[9]，更是一種重要的表徵方法[13]。研究者認為建模即人類對周遭事物透過感覺系統形成概念，並產生表徵的歷程[6]。而表徵形成的歷程和個體的心智模型（mental model）有關，心智模型是人類個體以簡化的方式創造內部表徵，以操作並解決複雜且抽象的問題[22]。個體在建立模型時，會藉由日常生活經驗所感知的現象來與心智模型交互作用，針對事件進行描述、歸因與預測，並建立起個體的內部知識結構，再透過表達模型呈現出來[6]（圖1）。綜合上述，本研究中模型代表的意義是對系統的簡單呈現，模型可以呈現、說明與預測自然現象。而建模就是建立、測試和修正模型的歷程。

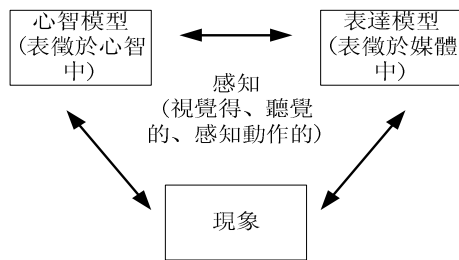


圖 1 心智模型、表達模型與現象交互關係[6]

B. 電腦輔助建模學習相關研究

「建模」是指建立模型的歷程，而「電腦輔助建模」則是強調使用電腦建模工具，將學習者心智模型利用電腦作為表徵介面以建立模型來模擬真實世界中的現象。電腦輔助建模不但具有可隨時儲存修改模型、簡化複雜與大尺度的系統、縮短的試驗時間的特性，更可由學習者主動建構與操弄模型，例如改變參數與變因，讓學生進行各種模型測試與預測的探究活動[6]。在過去的十年間，許多研究者利用出許多電腦建模工具（computer-based modeling tool）來支援學習，例如 STELLA[11]、Model-It[5]、BioLogicaTM[2]等。

綜合上述，電腦輔助建模學習在科學教育領域上扮演重要的角色，並已成為一種有效的方式來促進學生進行建模活動[9]。本研究以[2]所提出的模型導向學習架構（model-based learning framework）為基礎，並據此將學習架構分為四個階段（如圖 2）。Buckley 等人學習架構是以心智模型為出發點，透過模型的解釋、修正、評鑑來強化心智模型。此學習架構是一個動態循環學習過程，學習者會將先備知識和外來資訊結合而在心中形成表徵，即初步的心智模型，接著透過和建模工具為中介，如紙筆或電腦建模工具（computer-based modeling tool）的互動，將心智模型表達出來形成表達模型與人溝通。本研究學習架構分為四個階段：階段一為投入情境；階段二為建構心智模型；階段三為使用電腦建模工具呈現模型；階段四為模型反思。本研究依據上述學習架構階段，設計教學策略，以探討其有效性。

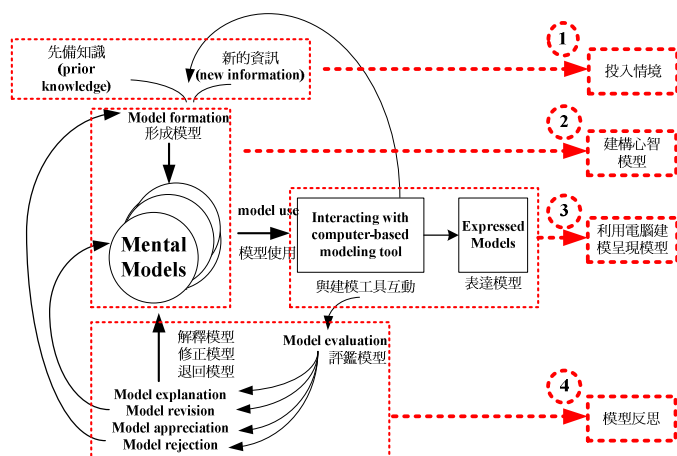


圖 2 電腦輔助建模學習架構（修改自[6]）

C. 建模實務

「建模實務」（modeling practices）從字義上看，「建模」（modeling）表示「建立一個模型」、「產生摘要的、概念的或圖形的模型之過程」；而「實務」（practices）意指「真實的表現或應用」。因此，建模實務有兩個重要組成：第一個是從自然現象中產生表徵，另一個則是如何將這些表徵組織與應用。Lave 和 Wenger 更

進一步定義，學習者沉浸在社會文化情境中，所產生的學習行為或結果稱為「實務」[16]，例如科學家在真實的情境中進行科學的學習與實驗，稱為科學實務。而本研究將學習者在建模過程中所進行的科學實務，我們定義為建模實務[10]。

建模實務可以讓學生體驗動態和持續不間斷的科學本質[9]。學生在建模學習過程中，會將問題情境形成實體或表徵而發展模型[15]，再由建立、測試、修正與使用模型，將思考視覺化，對於概念的架構會有更清楚的瞭解，甚至將建模與探究的知識遷移至新的學科知識內容 [8]。本研究所探討的焦點為學生在電腦輔助建模活動下之建模實務，整理電腦輔助建模相關文獻[2] [5] [10] [17] [18] [19]，發現這些相關文獻所提出之建模實務型式不盡相同。綜合上述，本研究認為建模實務大致可分為下列幾種型式：1) 計畫（planning）：產生想法以及決定因子和變數；2) 分析（analyzing）：現象分解和抽取出適合模型的因子；3) 合成（synthesizing）：因子關係聯結以及討論因子與因子連結的關係；4) 測試與解釋（testing and explaining）：對模型提出解釋和學生提出證據說明；5) 評鑑（evaluating）：對模型提出看法和對整個模型提出修正。本研究目的在於探討國小高年級學生在建模活動過程中所建行的建模實務型式，因此，為深入瞭解學生在建模活動中所實行的建模實務，本研究依上述文獻，定義出五種建模實務，分別為計畫、分析、合成、測試與解釋、評鑑作為本研究建模實務分析的基礎架構。

III. 研究方法

A. 研究設計與對象

本研究採前後測準實驗研究設計，進行 4 週的教學，每週 3 小時。實驗組進行電腦輔助建模學習活動。本研究對象為臺灣臺北市某國小六年級學生共 33 人，並選取六位共三組為個案學生以探索與特徵化國小高年級學生使用電腦建模工具時的建模實務與建模歷程。

B. 教學活動設計

本研究實驗組教學活動係依據上述文獻探討所提之電腦輔助建模學習架構設計，教材內容來源為臺灣自然教科書牛頓版國小六年級下學期自然科第八冊第三單元之「生物和環境」下之子單元「溫室效應與全球暖化」。溫室效應是屬於跨學科環境科學議題，內容包含溫室效應的成因、影響與防制。瞭解溫室效應所引起之全球氣候變遷之相關機制將有助於理解不同型式的因果關係與樣式。[3]。

C. 電腦輔助建模工具

本研究所使用的電腦輔助建模工具為 Model-It。Model-It 是由美國密西根大學高互動電腦教育中心所研發（<http://hice.org>）[24]。Model-It 是以學習者中心為設計理念，其不需熟練的數學或操作技能，可以容易地建立動態的模型，對於小學六年級的學童而言較容易操作。Model-It 模型建構軟體包含三個階段（圖 3）：在規劃階段（plan），學生要定義物件與描述物件，在建立階段（build），學生要建立物件與物件的因果關係，在測試階段（test），可以使用量測器與圖表來觀察模型，並可以改變參數來測試模型。

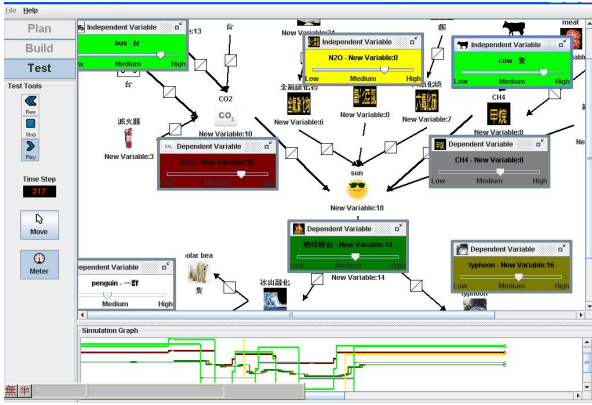


圖 3 Model-It 電腦建模工具操作介面

D. 資料收集與分析

本研究多方蒐集資料，包含建模實務前後測以及個案學生錄影。建模實務前後測為參考[19]所發展的建模實務評量作為研究工具並加以修正。共有五項建模實務評量任務來比較實驗組實驗前後之建模實務成長，評分者信度為 0.92。學生模型評量方面，本研究參考[6]以及[5]所提出之模型評量架構，將學生之概念模型成效量化。本研究請二位自然學習領域教師協助概念模型的評分者間信度，評分者間信度為 0.96。個案學生錄影方面則是擷取學生操作之電腦畫面與放聲思考資料後，轉錄為文字稿，再將文字稿進行編碼分析。編碼分析架構是以計畫、分析、合成、測試與解釋、評鑑等五項編碼類別。另外，本研究利用電腦擷取軟體所錄製影音檔，分析時逐一對照學生操作所點選畫面與動作，遇到難以辨識的問題，則請個案學生說明作資料三角校正，以提高本研究資料分析的信度。

IV. 研究結果與討論

A. 學生建模實務量化分析比較

整體而言，學生在前後測的表現達到顯著差異（表 2），顯示電腦輔助建模學習能顯著提升學生之建模實務。在學生建模實務成長方面，各分項實務均有成長，而且以合成建模實務成長效果最為顯著（effect size = 0.89），換言之，學生首先會對情境或問題開始理解，並將所提取因子或因素連結，即學生會將因素之間關係進行「因果關係」的解釋[23]。另外，建模實務成長以評鑑建模實務成長顯著最低（effect size = 0.46），根據 Bloom 認知目標分類[4]，評鑑在認知能力中屬於較高階認知能力，國小高年級學生在此階段之認知與經驗尚未完全發展成熟，因此仍不善於評鑑他人所提出之模型品質。

表 2 全體學生建模實務前後測結果

建模實務	前測 (n=33)		後測 (n=33)		t	Effect size (η^2)
	Mean	SD	Mean	SD		
計畫	2.12	0.49	3.00	0.56	16.30***	0.64
分析	2.00	0.71	3.09	0.99	-8.65***	0.53
合成	2.09	0.46	3.84	0.36	23.20***	0.89
解釋與測試	1.76	0.61	3.42	0.50	14.83***	0.83
評鑑	2.09	0.52	2.78	0.78	-6.29***	0.46

效果值 η^2 表示實際顯著程度， $\eta^2 > 0.35$ 表示實際顯著程度為高； $0.2 < \eta^2 < 0.35$ 表示實際顯著程度為中； $\eta^2 < 0.2$ 表示實際顯著程度為低。***p < 0.001

B. 個案學生建模實務頻率與模型分析

本研究進一步分析個案小組在建模歷程中建模實務的次數變化與模型內容（表 3）。整體而言，建模實務之比例以分析（60.00%）最高，評鑑（2.93%）最低。而個案組 A 的模型分數為 9 分，由表 3 充分反應出個案組 A 學生投入建模歷程中的品質。總建模實務共 81 次，其中比例最高者為分析實務 46 次（56.79%），合成實務（19.75%）。解釋與評鑑之次數是三組個案中最高共 10 次（12.35%）。

表 3 Model-It 各階段建模實務頻率分析

Model-It 階段									
規劃階段 (plan mode)			建立階段 (build mode)		測試階段 (test mode)		總次 數	模 型 分 數	
個案組 A	P : 9	EX : 0	P : 0	EX : 0	P : 0	EX : 7	81	9	
	A : 46	EV : 0	A : 0	EV : 0	A : 0	EV : 3			
	S : 0		S : 16		S : 0				
個案組 B	P : 6	EX : 0	P : 0	EX : 0	P : 0	EX : 4	66	7.5	
	A : 41	EV : 0	A : 0	EV : 0	A : 0	EV : 3			
	S : 0		S : 12		S : 0				
個案組 C	P : 3	EX : 0	P : 0	EX : 0	P : 0	EX : 2	58	5	
	A : 36	EV : 0	A : 0	EV : 0	A : 0	EV : 0			
	S : 0		S : 17		S : 0				
總次數	141 (68.78%)		45 (21.95%)		19 (9.27%)		205		

P: 計畫; A: 分析; S: 合成; EX: 測試與解釋; EV: 評鑑

再由模型品質而言，個案組 A 學生所呈現的模型具有結構性與完整性，分析其模型內容（圖 4），在整個溫室效應導致氣候變遷模型中，該組完整地呈現溫室效應的三大向度：溫室效應的起因（例如殺蟲劑的使用產生氟氯碳化物）、溫室效應造成的影響（如氣候異常）以及如何防制溫室效應（多種樹及節能減碳）。個案組 B 的模型分數得到 7.5 分（圖 5），學生投入建模歷程中之建模實務總數為 66 次，比例最高者為分析實務（62.12%），次之為合成實務（18.18%）。個案組 C 的模型分數得到 5 分（圖 6），相較於個案組 A 與 B 其建模實務呈現的次數為最少（58 次），而 B 與 C 溫室效應模型只包含溫室效應的起因和影響二個向度，而且大部分因子集中在溫室效應的起因向度，防制溫室效應的因子無呈現。

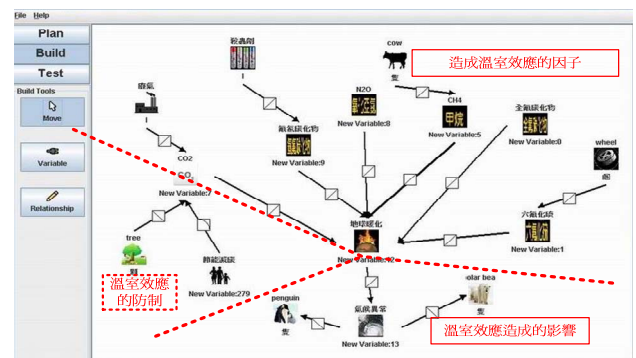


圖 4 個案組 A 學生模型

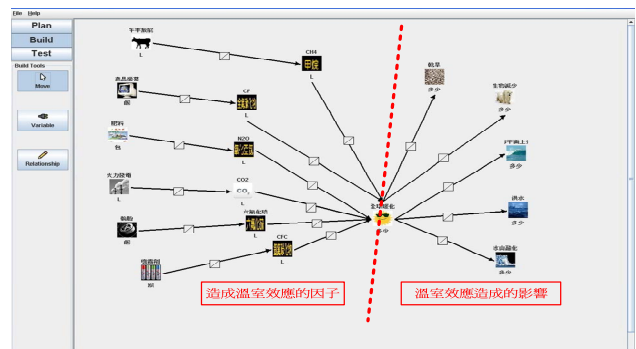


圖 5 個案組 B 學生模型

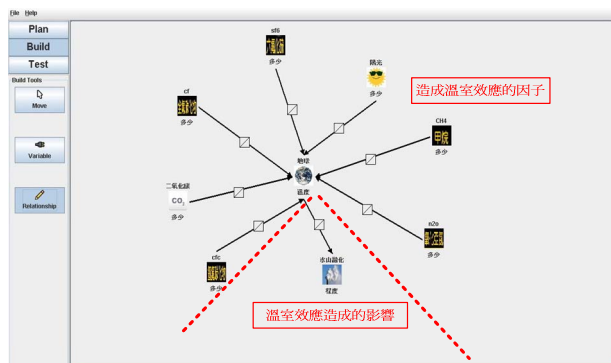


圖 6 個案組 C 學生模型

進一步分析學生在 Model-It 各階段建模實務分佈情形發現，在整個建模歷程以規劃階段中之建模實務使用比例最高（68.78%），原因是規劃階段是學生建立模型的第一步，學生需要考慮與討論因子與因子關係並使用不同的策略來建立模型[5]。規劃階段中又以計畫與分析實務最多，原因在於學生欲從無結構到有結構的建模過程，首先會遭遇到如何決定組合模型的因子的問題，亦即[12]之 SOLO 分類架構所稱之前結構或單一結構的能力層次。建立階段比例為 21.95%，以合成實務最多，亦即當學生對某一特定情境或問題開始理解時，會將所提取的因子或因素連結，亦即學生會將因素之間的關係進行「因果關係」的解釋[23]，並在建模的過程中針對蒐集資料以從中歸納出規則，並根據一個或數個判斷推演出另一個新的判斷[12]，以解決問題。測試階段比例為 9.27%，是三個階段中建模實務比例最少的階段。學生在初步的模型建立好之後，學生就會進行測試模型的階段[23]，根據[7]的科學理論結構觀點，學習者在此時會處於「理論系統」的層次，亦即學生會根據某項的標準進行推理判斷，以對模型中的因果關係做出量化的適切性[17]，並針對模型來作修正與改善，以達模型的完整性，並提高模型的解釋力。然而科學解釋本身是一種形式上的運作，較為抽象[14]，而評鑑在認知能力中是屬於較高階的認知能力，因此國小高年級學生的解釋與評鑑實務比例較低。

進一步由上述資料及學生錄影資料轉譯整理發現，學生在建立模型後，會依據新資訊或新概念來修正模型，此時所使用的建模實務就不會是線性方式呈現（圖 8），且有不同的變化，此結果正符合先前[18]的研究。Ergazaki 等人更指出學生的建模行為或策略會合併成為不同型式的建模單位（modeling units）[18]。再者，電腦建模工具 Model-It 在不同階段扮演中介（medium）以及支持（support）的角色，協助學生建立、測試以及修正模型，Model-It 不僅支持事物的心智表徵，更可提供個體操作心智時所進行的質性推理（qualitative reasoning）[21]。因此，電腦輔助工具可以幫助克服在表徵複雜系統時之概念與推理的困難，而且讓抽象的概念視覺化來建立模型。

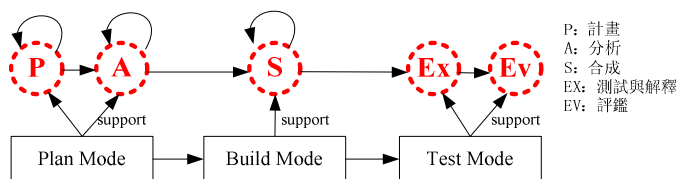


圖 8 學生建模歷程圖

V. 結論與建議

本研究結論有二：1) 實驗組學生在接受電腦輔助建模學習活動之後，對於其建模實務成長有顯著的成效。2) Model-It 電腦建模工具能夠支援學生模型的建立、測試、修正與模擬，並有效地支持學生參與在建立模型之循環中。根據上述結論，本研究建議如下：1) 教師在教學上應提早並重視學生的建模實務，讓學生自行建立、修改、測試模型，對學生的科學素養有很大助益。建議教師依據本研究所提之教學架構，並從教科書或相關議題的教學活動改編，使教學活動具有建立模型的特性。2) 電腦建模工具有助於學生概念發展與建立模型的學習。本研究所使用的電腦工具是 Model-It，優點在於容易學習且介面清楚，在學生建模過程中給予科技的支持，使學生易建立起動態模型。因此，在教學活動設計中搭配電腦工具，對學生之建立模型的學習將更為有效。3) 本研究因研究限制只實施一個單元，對於實施二個單元甚至以上之電腦輔助建模學習活動對學生的建模實務的學習影響變化可進一步探討。

致謝

感謝美國密西根大學教授 Elliot Soloway 和 Joseph Krajcik 提供本研究所使用之電腦建模工具 Model-It，謹此敬致謝忱。

REFERENCES

- [1] A. Acher, M. Arcà, and N. Sanmartí, "Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education," *Science Education*, vol. 91, pp. 398-418, 2007.
- [2] B. C. Buckley, J. D. Gobert, A. C. H. Kindfield, P. Horwitz, R. F. Tinker, B. Gerlits, U. Wilensky, C. Dede, and J. Willett, "Model-based teaching and learning with BioLogicaTM: What do they learn? How do they learn? How do we know?," *Journal of Science Education and Technology*, vol. 13, pp. 23 - 41, 2004.
- [3] B. S. Bell-Basca, T. A. Grotzer, K. Donis, and S. Shaw, "Using Domino and Relational Causality to Analyze Ecosystems: Realizing What Goes Around Comes Around.," in *National Association of Research in Science Teaching*, New Orleans, 2000, April.
- [4] B. S. Bloom, M. D. Englehart, E. J. Furst, W. H. Hill, and D. R. Krathwohl, *Taxonomy of Educational Objectives, the classification of educational goals - Handbook 1: Cognitive Domain* New York: McKay 1956.
- [5] B. Zhang, X. Liu, and J. S. Krajcik, "Expert models and modeling processes associated with a computer-modeling tool," *Science Education*, vol. 90, pp. 579-604, 2006.
- [6] Buckley and C. Boulter, "Investigating the role of representations and expressed models in building mental models," in *Developing models in science education*, J. K. Gilbert and C. Boulter, Eds. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 2000, pp. 119 - 135.
- [7] C. G. Hempel, "Fundamentals of concept formation in empirical science. In C. G. Hempel (Ed.),," in *International encyclopedia of unified science: Foundations of the unity of science, volume 2* (pp. 88-93) Chicago: University of Chicago Press, 1958.
- [8] C. V. Schwarz and B. Y. White, "Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling," *Cognition and Instruction*, vol. 23, pp. 165 - 205, 2005.
- [9] D. E. Penner, "Cognition, computers, and synthetic science: Building knowledge and meaning through modeling," *Review of Research in Education*, vol. 25, pp. 1-36, 2001.
- [10] E. B. Fretz, H.-K. Wu, B. Zhang, E. A. Davis, and J. S. Krajcik, "An investigation of software scaffolds supporting modeling practices," *Research in Science Education*, vol. 32, pp. 567-589, 2002.
- [11] E. B. Mandinach, "Model-building and the use of computer simulation of dynamic systems," *Journal of Educational Computing Research*, vol. 5, pp. 221 - 243, 1989.
- [12] J. B. Biggs and K. F. Collis, *Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy*: New York: Academic Press, 1982.
- [13] J. D. Gobert and B. C. Buckley, "Introduction to model-based teaching and learning in science education," *International Journal of Science Education*, vol. 22, pp. 891-894, 2000.

- [14] J. E. Bass and C. D. Maddux, "Scientific explanations and Piagetian operational levels," *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 19, pp. 533-541, 1982.
- [15] J. K. Gilbert, C. Boulter, and R. Elmer, "Positioning models in science education and in design and technology education," in *Developing models in science education (pp. 3 – 18)*, J. K. Gilbert and C. Boulter, Eds. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 2000.
- [16] J. Lave and E. Wenger, *Situated Learning: legitimate peripheral participation*: Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [17] K. Hogan and D. Thomas, "Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology," *Journal of Science Education and Technology*, vol. 10, pp. 319-345, 2001.
- [18] M. Ergazaki, V. Zogza, and V. Komis, "Analysing students' shared activity while modeling a biological process in a computer-supported educational environment," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 23, pp. 158-168, 2007.
- [19] M. Papaevripidou, C. P. Constantinou, and Z. C. Zacharia, "Modeling complex marine ecosystems: an investigation of two teaching approaches with fifth graders," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 23, pp. 145-157, 2007a.
- [20] M. W. Spitulnik, S. Stratford, J. Krajcik, and E. Soloway, "Using technology to support students' artifact construction in science," in *International handbook of science education*, B. J. Fraser and K. G. Tobin, Eds. London: Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 363-381.
- [21] N. M. Seel and P. Blumschein, "Modeling and Simulation in Learning and Instruction: A Theoretical Perspective. In P. Blumschein, W. Hung & D. Jonassen (Eds.),," in *Model-based approaches to learning: using systems models and simulations to improve understanding and problem solving in complex domains (pp. 3-16)* Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers, 2009.
- [22] P. N. Johnson-Laird, *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*: Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- [23] S. J. Stratford, J. Krajcik, and E. Soloway, "Secondary students' dynamic modeling processes: Analyzing, reasoning about, synthesizing, and testing models of stream ecosystems," *Journal of Science Education and Technology*, vol. 7, pp. 215-234, 1998.
- [24] S. L. Jackson, S. J. Stratford, J. Krajcik, and E. Soloway, "Making dynamic modeling accessible to precollege science students," *Interactive Learning Environments*, vol. 4, pp. 233-257, 1996.