

運用視覺-言語影片分析法探討悅趣化學習中數學解謎及合作學習之歷程：以 密室逃脫為例

Using The Visual-Verbal Video Analysis Method to Examine Mathematical Puzzle-Solving and Collaborative Learning in Game-Based Learning: An Escape Room Case

黃鈺凱¹，沈明勳^{1*}

¹ 臺灣高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所

*t4033@mail.nknu.edu.tw

【摘要】 本研究以國中生參與「數學解謎密室逃脫」悅趣化活動課程為例，過程中用影片紀錄5個小組共24人之數學解謎與合作學習歷程。研究方法使用視覺-言語影片分析法，將影片重點內容擷取出來，建構出多模態特徵表，並依「編碼動作—學習行為—歷程分類」進行三層次編碼與行為次數統計。研究結果顯示，各組皆有呈現「計算—討論—再計算」數學解謎歷程，而組間差異來自有些組溝通互動較多、有些組分工合作較多等；此研究結果也指出，結合生成式AI工具輔助下，能有效提升質性分析編碼之效率，並且能補充測驗量表難以呈現之學習歷程證據。

【關鍵字】 合作學習；悅趣化學習；密室逃脫；視覺-言語影片分析法；數學解謎

Abstract: This study takes a game-based learning “mathematical puzzle-solving escape room” activity involving junior high school students as an example. Video data were collected to document the mathematical puzzle-solving and collaborative learning processes of five groups (N=24). Using The Visual-Verbal Video Analysis Method, key segments of the videos were extracted to construct a multimodal feature table. A three-level coding scheme—coding motions—learning behaviors—process categorization—was then applied, followed by frequency counts of coded behaviors. The results show that all groups demonstrated a recurring mathematical puzzle-solving cycle of “calculate—discuss—recalculate.” Between-group differences were mainly attributable to variations in interaction patterns, such as some groups engaging in more communicative exchanges while others relied more on division of labor and coordinated collaboration. The findings further indicate that, with the support of generative AI tools, the efficiency of qualitative coding can be substantially improved, while also providing additional evidence of learning processes that is difficult to capture through test-based questionnaires and scales.

Keywords: Collaborative Learning, Game-Based Learning, Escape Room, The Visual-Verbal Video Analysis Method, Mathematical Puzzle-Solving

1. 緒論

現今數位化世代，傳統的學習模式缺乏吸引力，導致學生學習動機低落，在數學科上尤為明顯，許多學生認為數學抽象且困難，如何提升其學習興趣成為教育現場之重要挑戰（Sharma et al., 2025）。在此背景下，本研究觀察到「密室逃脫」類型的活動深受歡迎，能吸引學生遠離 3C 並專注於活動之情境（Manojlovic, 2022）。因此，本研究運用悅趣化學習模式（Game-based learning, GBL），設計出將「數學解謎融入密室逃脫」之營隊課程，讓學生透過悅趣化歷程學習到數學學科知識，進而改善學習興趣與動機，以及培養數學素養。

然而，在此種「數學解謎密室逃脫」之悅趣化學習歷程，會呈現「學生高度互動、討論、溝通等」之特性，若單純實施問卷或前後測等量表，較難完整還原學生在數學解謎當下的討論溝通與合作分工脈絡（Derry et al., 2010）。而根據學習科學領域研究指出，影片資料能保留真實學習情境的複雜性與細節，並有助於研究者對教室或活動現場的互動行為進行細緻分析，但同時也必須面對取樣、分析與倫理等方法挑戰（Cowan, 2014）。基於上述研究需求，本研究以定點攝影機進行全程側錄，將學生在密室中的數學解謎歷程、溝通互動、學習行為動作、對話討論與合作學習模式等，作為質性分析的重要資料來源。

本研究旨在聚焦於悅趣化學習情境下，實施「數學解謎密室逃脫」之活動課程，搭配影片側錄方式，觀察國中學生的數學解謎歷程及合作學習互動歷程，藉此培養學生數學素養及合作學習的能力。其主要目的如下：

- 培養學生的數學素養：透過密室逃脫的悅趣化情境，將數學概念融入謎題，讓學生體驗到數學的應用性及數學素養之重要性。
- 培養學生合作學習的能力：密室逃脫是團隊挑戰，此過程能訓練學生觀察力、邏輯思考與問題分析，並培養溝通協調與合作素養。
- 影片分析悅趣化學習歷程：運用影片內容分析相關方法將學生解謎過程進行質性分析，以系統化的多模態編碼方式，來呈現學生在悅趣化學習中的解謎互動學習歷程。

2. 文獻探討

2.1. 悅趣化學習

悅趣化學習（Game-Based Learning, GBL）是一種透過遊戲方式進行學習的教學方法，強調把學習目標、規則、情境敘事與回饋機制整合在遊戲歷程中，讓學生在解任務與反覆嘗試的過程中建構知識與技能（Plass et al., 2015）。在數學科教育現場常面臨之挑戰為，學生容認為數學抽象且缺乏吸引力，導致學習動機與投入不足，而悅趣化學習以情境任務與挑戰目標引發學習投入，被視為提升學習動機與投入程度之可行策略（Hui & Mahmud, 2023）。

就教學現場而言，國中數學相關悅趣化設計仍常偏向解題導向之元素，較缺乏合作解謎互動之學習歷程設計元素，雖悅趣化在學習知識保留上已呈現優勢，但仍是教育現場常面臨的挑戰之一，而故事、隊友等元素則較能強化合作經驗，提醒設計者必須「以學習目標為主軸」來配置元素，而非把元素當作萬用工具（Sailer et al., 2017）。因此，若將悅趣化學習模式導入「數學解謎密室逃脫」，關鍵不僅在於營造趣味，更在於能否把數學概念與推理需求「嵌入任務結構與解謎規則」，並以適切回饋與合作機制引導學生的策略生成與概念精緻化，才能把投入轉化為可觀察、可累積的學習成果。

2.2. 數學解謎與密室逃脫

密室逃脫原屬實境娛樂，其核心元素是「限時、線索、謎題與團隊目標」：參與者在有限時間內蒐集線索、連續解謎並完成逃脫任務，而就數學領域而言，將課堂知識、數學推理與

策略性解題設計成關卡，可促使學生在「為了過關」的驅動下反覆驗證、修正與表徵轉換，讓知識活用變成一種數學素養（Fuentes-Cabrera et al., 2020）。

Fuentes-Cabrera et al. (2020) 研究也指出，此類活動對認知與情意面向具有正向效果，如在國中數學脈絡下，採用密室逃脫的教學相較傳統方法可提升學習成就、動機與自主性，並降低學習焦慮。然而，文獻也提醒「感覺學到很多」與「實際知識增長」可能存在落差，關鍵在於遊戲機制與課程目標是否對標，以及活動後是否安排復盤與知識概念統整（Sanchez & Plumettaz-Sieber, 2019）。

合作學習是密室逃脫過程中學生必須培養的能力：因線索分散、資訊不對稱與時間壓力，學生必須分工、溝通與協商，形成正向互賴與共同責任（Johnson & Johnson, 2009; Veldkamp et al., 2020）。因此，近年研究開始以學習分析或影片過程記錄分析（如行為序列、互動紀錄）補強僅靠問卷與測驗量表的評估，如此才能更精準解釋「合作如何支持解謎與學習」的機制，並回應密室逃脫研究長期存在的證據落差問題（López-Pernas et al., 2023; Makri et al., 2021）。

2.3. 影片內容分析

承前論述之悅趣化數學解謎活動的研究脈絡，影片分析以可重複檢視的證據，解析學習歷程與學習行為如何在真實情境中展開，進而把原本難以觀察的學習歷程具體化（吳心楷等，2010）。相較問卷量表或回憶式訪談，影片紀錄可同時保留語言與非語言行為、物件操作與情境脈絡，並支持研究者反覆回看與跨案例的細緻比較，降低單次現場觀察的遺漏與主觀偏差（Derry et al., 2010）。

但在密室逃脫式數學解謎中，手勢、視線、移動與道具操作常是推理與協作的載體，若僅聚焦言語或單一模式容易遺漏關鍵互動，因此需採多模式轉錄並留意轉錄慣例對分析可見度的影響（Cowan, 2014）。在此脈絡下，Fazeli 等人（2023）提出「視覺-言語影片分析（VVVA）」方法，透過系統化的質性內容分析流程擷取視覺—對話—文字訊息，並以切分影片片段來選取、編碼與詮釋以提升透明度與可檢核性（Fazeli et al., 2023）。因此，本研究後續將以 VVVA 為主要研究方法論並結合行為編碼，將側錄的數學解謎密室逃脫歷程轉為「解謎行為—合作互動」時間序列，並在確保知情同意、去識別化與資料治理前提下，連結悅趣化情境中的參與、學習興趣與合作學習之生成機制（Gaudin & Chaliès, 2015; López-Pernas et al., 2023; Veldkamp et al., 2020）。

綜上所述，悅趣化學習強調以遊戲情境與回饋機制促進動機與投入，並在適切教學支援下有助於學習與知識保留。教育性密室逃脫則以限時解謎與團隊任務驅動學生進行策略推理與合作互賴，但其成效仍仰賴遊戲機制與課程目標的對標，以及復盤與概念統整以避免知覺學習落差。因此，本研究將以視覺-言語影片分析法為核心方法論，結合行為編碼，將側錄之解謎歷程轉化為可分析之「解謎行為—合作互動」序列資料，以補足過去研究較少觸及的歷程證據與機制解釋，進而深化悅趣化數學學習的實證基礎。

3. 研究方法

3.1. 研究對象與資料背景說明

本研究的影片資料來自於 2025 年 8 月 17 日在臺灣科學工藝博物館所舉辦的國中營隊活動課程。參與對象為 24 位國中 7-8 年級學生男生 12 人女生 12 人，隨機分成 4 至 5 人一組，總共 5 組參與挑戰，這群學生未接觸過數學解謎密室逃脫之相關活動。活動情境以「埃及古墓」為主題，本研究聚焦的關卡名為「荷魯斯之眼」，這是一項結合了數學解謎與密室逃脫的挑戰任務，要求學生在約 30-40 分鐘內完成一系列以分數運算、幾何與邏輯推理為核心的謎題。此活動設計不僅考驗學生的數學計算與推理能力，亦期望培養其系統思考與解決問題

以及符號運用與表達等關鍵素養。本研究在現場佈置攝影機台進行側錄，完整記錄各組學生挑戰關卡的過程，透過在真實情境中蒐集的這些影音資料，得以及時、深入地觀察學生的解謎行為和合作互動過程，為後續分析提供了豐富而真實的依據。

3.2. 研究方法說明

本研究使用視覺-言語影片分析法(Visual-Verbal Video Analysis, VVVA, 以下簡稱VVVA)作為主要研究方法，此方法由 Fazeli 等人 (2023) 提出，專為視覺與語言混合的影音資料分析而設計。選擇 VVVA 的考量在於，本研究關注的國中生團隊解謎活動包含豐富的語言互動與非語言行為，屬於典型的多模態資料。相較傳統只分析逐字稿文本的作法，VVVA 能夠同時聚焦參與者的多種溝通模態（語言、動作、影像等）以及情境中的視覺元素。因此，VVVA 契合本研究旨趣，能更全面地捕捉學生在解謎過程中的行為與意義建構。

VVVA 之理論基礎源自多模態理論 (Multimodality Theory) 與視覺扎根理論 (Visual Grounded Theory)。多模態理論主張社會互動中的意義建構並非僅由文字/書寫承載，而是透過言語、手勢、眼神與其他肢體形式等多種「模式 (modes)」共同組構而成，需要統一的理論框架來理解各模態如何共同傳達意義 (Kress, 2010)。而視覺扎根理論則是紮根理論在視覺資料上的延伸，將影像等視覺資料納入編碼與理論發現的過程，該取向結合了文字與影像資料的分析，以開放編碼、分類、寫備忘等步驟，從視覺資料中歸納出概念與範疇 (Konecki, 2011)。

3.3. 研究步驟與影片特徵說明

根據 Fazeli 等人 (2023) 所制定的指南，VVVA 分析法包含六個有系統的步驟。本研究將依序說明並應用這六個步驟如下：

1. **資料蒐集與整理：**首先蒐集、儲存並整理好待分析的影片資料，包括為影片檔案之記錄來源與拍攝日期等資訊，確保研究者對影片有充分理解，並為後續分析做好準備。
2. **影片逐字稿撰寫：**在充分瀏覽影片後，研究者需將影片中的對話內容轉寫成逐字稿。可採人工聽寫或輔以語音轉錄工具，但都須確保逐字稿的正確性與完整性。逐字稿不僅包含對話文字，還可以記錄動作、表情、行為等訊息，以利彙整各種層面之訊息。
3. **分析單位的選擇：**第三步驟在於決定影片分析的單位，即確定影片資料是整體作為一個單位分析，或切分為多個較小片段進行分析。分析單位的選取應視研究目的與資料性質而定，務求在單位內涵蓋充分且適量的資訊，既能細緻編碼又不致遺漏關鍵脈絡。
4. **資料擷取與編碼：**步驟是進入關鍵的資料擷取與編碼步驟。要求對影片中言語及視覺訊息加以分類編碼，而 VVVA 分析方法將影片特徵劃分為五大類進行編碼分析：(1)一般特徵、(2)多模態特徵、(3)視覺特徵、(4)角色特徵，以及(5)內容與組成特徵。例如，一段影片可能包含多位角色對話（言語層面）與肢體動作（視覺層面），則需同時編碼對話內容所傳達的訊息，以及角色動作所呈現的意涵，分別歸入相應的特徵類別矩陣中。完成此步驟後，即獲得經過結構化處理的大量編碼資料，為後續的詮釋與分析奠定基礎。
5. **資料組織與詮釋：**第五步驟旨在將前一步取得的編碼資料加以組織、描述並深入詮釋。研究者首先對編碼結果進行彙整，透過反覆比較將相關的編碼歸類成更高層次的類別或主題，這涉及將初始編碼進一步分組、分類、歸納出潛在的概念架構。
6. **研究結果呈現：**最後一步是將分析結果彙整成研究報告或論文的形式對外呈現。研究者需要撰寫完整的研究結果章節，內容包括以文字闡述主要發現，搭配適當的表格、圖像或模型來展示分析流程與結果之間的關係。

如上所述，VVVA 在編碼過程中關注影片的五大特徵，針對特徵分類進行說明如下：

- **一般特徵 (General characteristics)：**指影片的基本資料與背景屬性，包括影片的標題或來源、製作或上傳日期、影片長度、使用語言、影片來源...等原數據。

- **多模態特徵 (Multimodal characteristics)**：指影片中涉及的各種溝通模態或符號系統。這包含聽覺模態如背景音樂，視覺文字如畫面中的書寫或字幕，口說語言（對話或獨白的口語內容），以及非語言行為如肢體動作、手勢、面部表情等。
- **視覺特徵 (Visual characteristics)**：指影片畫面本身的構成元素與攝影手法相關特性。這類特徵涵蓋畫面場景佈置與背景環境，以及畫面中出現的重要物件道具等。
- **角色特徵 (Characters)**：指影片中出現的主要與次要人物之屬性與行為特點。這些資訊包括角色的基本身份、性別、生理性別、年齡或特色描述、種族或文化背景...等。
- **內容與組成特徵 (Content and compositional characteristics)**：指影片所傳達之訊息內容及其編排組構方式。主要聚焦主題概念、情節脈絡，以及影片試圖傳遞的情感與價值。

綜上所述，本研究採用的 VVVA 方法為影音資料的分析提供了一套扎實的理論基礎與實施步驟。透過六大步驟的系統執行以及對五類影片特徵的細緻編碼，得以全面剖析國中生在情境式數學挑戰中的解謎行為與互動模式，此研究方法不僅確保了分析過程的透明與可信，也使得研究結果有跡可循。

4. 研究分析與結果

本研究在執行 VVVA 分析法時，採用生成式 AI 工具 GEMINI 3 PRO 與 NOTEBOOKLM PRO 作為輔助，以提升影片資料處理之效率與一致性。具體而言，本研究以 AI 協助完成 VVVA 前四個步驟之初步作業，包括資料整理與多次觀看、逐字稿建立、分析單位切分，以及資料擷取與初步編碼，並由研究者同步進行交叉檢核、回看比對與必要修正，以確保 AI 產出內容能忠實對應影片中實際出現之語言互動、行為動作與情境線索，降低自動化處理可能造成之誤判與脈絡遺漏。此外，為使分析更貼近本研究之情境任務與資料特性，本研究在採用 VVVA 所提出之影片特徵架構時，取其適用之四類特徵作為本章呈現與分析主軸，包含：(1)一般特徵、(2)多模態特徵、(3)視覺特徵，以及(4)角色特徵，以建構影片內容分析基礎，並為後續結果之行為序列與互動模式詮釋提供依據 (Fazeli et al., 2023)。

4.1. 研究分析之基本資料彙整

本研究依循 VVVA 分析法之步驟一「資料蒐集與整理」，首先針對研究場域之基本背景與影片資料的「一般特徵」及「角色特徵」進行系統化彙整，如下表 1 所示：

表 1

一般特徵及角色特徵彙整表

項目	一般特徵	人物特徵(其中 1 組為範例)
關卡名稱	荷魯斯之眼	B1 (男同學 1): 身穿淺藍灰色上衣, 短髮戴口罩, 深色短褲。
錄製日期	2025 年 8 月 17 日	B2 (男同學 2): 身穿白色上衣, 短髮沒戴口罩, 深綠短褲。
影片時長	30-40 分鐘	G1 (女同學 1): 身穿淺色上衣外套, 綁馬尾戴口罩, 深色短褲。
語言	繁體中文	G2 (女同學 2): 身穿深色上衣, 長髮放下戴眼鏡口罩, 淺色短褲。
來源	高師大研究團隊	G3 (女同學 3): 身穿深色上衣, 戴口罩夾頭髮身形較高, 深色長褲。
影片數量	每組 1 部共 5 部	

4.2. 影片內容之視覺言語分析

接著，本研究依循步驟二及三，解析學生於「荷魯斯之眼」關卡中的解謎歷程與合作互動，搭配生成式 AI 工具輔助進行影片內容的細部分析與初步轉錄，而在分析單位之設定上，

本研究以每 5 分鐘作為一個分析單位，逐段進行影片內容解析，如此生成式 AI 能更細緻化解析影片內容與解謎歷程之完整性。因篇幅有限，本研究將「多模態特徵」部分呈現，整理成多模態特徵表（如下表 2）以時間戳記、人物 ID 與多模態特徵作為主要欄位來呈現，將學生在同一時間點的動作與溝通互動內容綜合呈現，以捕捉數學解謎與合作學習之即時歷程脈絡。由於篇幅限制，僅節錄部分片段作為示例如下。

表 2

多模態特徵表(部分節錄呈現)

時間戳記	人物 ID	多模態特徵	
		手勢/身體動作	對話內容
06:45-06:50	All	五位同學開始移動位置，將手中的石牌卡、荷魯斯拼圖全部平鋪在桌面上。	(整理道具)
06:50-06:55	B2G1	從這堆石牌卡中挑出一塊，遞給 G1 開始溝通討論。	B2:那你跟我手上的不同。G1:你把你不同的那一個分出來，相同擺一起。
06:55-07:00	B1G2G3	雙手撐在桌緣，看著排列好的石牌卡、荷魯斯拼圖思考。	(思考中) G3:分合的，每種圖案都有兩個是反的。G2:這個圖案也有，這個有這個也是，我剛剛擺出來的。B1:這個也反的，反的都給我一下
07:00-07:05	B1G3	拿著石牌卡去對照 B1 指的荷魯斯拼圖，確認圖案之間關係。	G3:那這個圖案好像對應八分之一，另一個是四分之一？B1:好像有關聯，阿是什麼意思？
07:05-07:10	B2	站直身子，手抓著後腦勺，表情顯得困惑。	B2:然後這個是八，這個我不知道其它有沒有意義

4.3. 資料編碼、組織與詮釋

承接本研究步驟四之分析結果，已取得每部影片的「多模態特徵表」（含時間戳記、人物識別、手勢/身體動作、對話與關鍵物件操作等），因此進一步採取系統化影片資料編碼，將原本龐雜且不易量化的歷程證據轉譯為能追溯、比較、統整的分析資料結構。此作法符合影片研究強調的「可重複檢視」與「以明確程序保留分析軌跡」之基本要求，可降低僅依賴回憶式訪談或問卷自陳所造成的遺漏與偏差，並使研究者能回到同一段影像證據反覆核對推論與分類一致性。同時，本研究亦依循 VVVA 所主張的透明化資料治理精神，將「影片切分—資料擷取—編碼—詮釋」以矩陣化方式留存，確保後續能對照原始片段進行檢核與再分析。

本研究執行步驟五採用三層次編碼架構來完成資料組織與詮釋，第一層次為「編碼動作（coding motions）」：先將影片中反覆出現且具辨識性的外顯動作/手勢/物件操作加以命名與歸納編號（例如觀看、查看道具、拿筆計算、使用白板、圍繞討論等），其目的在於先彙整出能觀察的行為動作，避免過早去推論取代可觀察之證據（Derry et al., 2010）。第二層次為「學習行為（learning behaviors）」：本研究再依據既有學習與互動理論，將多個 Motions 聚合為有意義之行為類別（如觀察、尋找線索、思考、數學計算、互動對話、討論等），界定出這些行為不僅是描述動作外觀，而是能對應「學習如何發生」的機制（Järvelä & Hadwin, 2013; Chi & Wylie, 2014）。第三層次為「歷程分類（process categorization）」：本研究將學習行為依其功能進一步對應為「數學解謎歷程」與「合作學習歷程」兩大主軸，用以回應本研究核心問題：學生在數學解謎密室逃脫過程中，究竟如何透過可觀察行為展現數學解謎推理與合作學習之歷程機制（Johnson & Johnson, 2009; Schoenfeld, 2016）。另外，本研究於分類上新增「其他」類別，針對「躺下、進入自己世界、不知所措」等行為。

4.4. 研究分析結果

最後，步驟六結果呈現，依據本研究建立之「編碼動作—學習行為—歷程分類」三層次編碼表，將各學習行為依「個別學生」進行發生次數統計，以呈現學生在數學解謎密室逃脫歷程中的行為分布與互動輪廓。下表 3 為其中一組之部分分析結果，顯示在所有行為類別中，以 LB05、LB06、LB0、LB09 這四項學習行為出現次數明顯較高（相較其他行為具更高的總次數），因此在相對程度標示上均被歸為「高」程度。此結果反映出學生在悅趣化過程中，並非僅個別進行計算或操作，而是頻繁伴隨「討論、合作、共同推理與計算中溝通探討」等合作學習外顯行為，與本研究於實際觀察到的活動歷程相互呼應與印證。而另就個體差異而言，各個學生之總次數分布並不一致（例如 G3、G1 的行為總次數較高），顯示在同一合作任務情境下，學生可能呈現不同程度的參與強度與互動角色樣貌。

表 3

學習行為次數統計表(其中 1 組部分編碼結果呈現)

歷程分類	學習行為	B1	B2	G1	G2	G3	總次數	相對程度
數學解謎	LB01.觀察行為	8	4	7	5	11	35	中
歷程	LB03.思考行為	4	2	10	9	8	33	中
	LB05.數學解謎計算行為	14	8	25	11	29	87	高
合作學習	LB06.互動對話行為	17	19	31	20	35	122	高
歷程	LB08.深入討論行為	16	15	28	19	30	108	高
	LB09.計算中討論行為	17	17	17	17	24	92	高
	LB12.不知所措	0	4	0	1	0	5	低
綜合	個人學習行為總次數	86	86	147	100	164		

在另外四組的行為次數統計上，得到與範例組相近之結果：LB05、LB06、LB08 與 LB09 仍呈現出高頻之行為，顯示多數小組在此悅趣化學習過程中會反覆出現「計算—討論—再計算」的迴圈，合作學習行為並非零星發生，而是支持數學解謎推進的主要互動形式。其中各組之還是有些微差異：例如其中一組呈現計算導向型，LB05 明顯偏高但 LB08 相對較低，代表數學解題主要由少數成員主導、其他人以跟隨或觀察、搜尋為主；此外，也有一組呈現疲乏或低投入較明顯的樣態，其 LB12（不知所措等）雖整體仍屬低頻，但相較其他組略高，且 LB08 及 LB09 相對偏低，顯示合作討論在後段可能受到挫折、習得無助影響而下降。

綜上所述，本研究在不同小組間觀察到一致的高頻「數學計算」與「合作討論」行為組合，支持「數學解謎密室逃脫」之悅趣化學習模式能同時提升數學解謎與合作學習；而組間差異則反映團隊分工、主導權與任務調節能力的不同，為後續結論與建議中提供詮釋方向。

5.結論與建議

本研究以悅趣化學習模式之「數學解謎密室逃脫」活動歷程為研究主軸，透過 VVVA 分析法將數學解謎與合作學習互動歷程轉譯為多模態特徵證據，並進一步建構三層次編碼，據以呈現學生學習行為、學習歷程與各組間之差異。綜整研究結果，提出以下結論與建議。

5.1. 結論

數學解謎密室逃脫之悅趣化學習模式，能同時培養「數學計算」與「合作學習」的能力，並提供明確學習歷程證據。在五組資料的行為次數統計中，LB05（數學解謎計算）、LB06（互動對話）、LB08（深入討論）與 LB09（計算中討論）皆呈現相對程度高，顯示學生多以「計算—討論—再計算」迴圈進行悅趣化學習，合作互動是支撐數學解謎歷程的核心機制。

其次，VVVA 分析法能補足過去常用的問卷量表難以呈現的「歷程黑箱」，使數學解謎行為與合作學習行為如何發生變得可觀察、可編碼。本研究以每 5 分鐘為分析單位，將視覺特徵（場景與道具）與多模態特徵（動作＋對話）拆解並矩陣化保存，能回到同一段影片內容反覆比對、檢核編碼一致性，此研究結果呈現出學習歷程、素養能力、非語言之動作行為的解釋力。

最後，生成式 AI 工具之使用（GEMINI 3 PRO、NOTEBOOKLM PRO）可有效提升影片內容分析之處理效率，但研究可信度仍需建立在研究者校正與檢驗之上。本研究以生成式 AI 工具輔助完成 VVVA 前四步驟之初步作業，並由研究者反覆回看修正（如道具辨識前後對照），此流程一方面提高一致性與效率，另一方面也顯示 AI 能取代過去花費大量人力與時間才能完成質性分析歷程，但仍可能受 AI 幻覺之影響，故需以「研究者校正與檢驗」確保分析結果之信度與效度。

5.2. 建議

本研究在執行中發現，參與學生之數學能力差異性大，此現象跟在同一個班級內，學生的數學先備知識與能力存在落差相符。因為在活動中是 7-8 年級混年級進行組隊，很明顯發現「數學計算」都在少數學生負責，這確實反映出課室中學習程度落差之現象。因此，建議未來在設計悅趣化活動時，需考量如何讓所有學生都獲得參與感與成就感，避免部分學生跟不上而感到挫折，此為悅趣化學習模式設計上之挑戰，也是教育現場很實務之問題。

本研究也發現單次的悅趣化營隊活動雖然能帶來短期的激勵效果，但若無後續的類似學校課程銜接，這份熱情可能很快消退。因此，如何將活動的影響力擴展推廣出去，是所有短期活動課程共同面臨的挑戰。建議未來應將重心轉向推廣「教師增能工作坊」、「教具包開發及推廣」、甚至辦理「AI 工具分析應用講座」等，唯有將此悅趣化學習模式交給第一線的教育工作者，讓悅趣化學習能融入日常課室教學，其效益方能真正地延續與深化。

參考文獻

- 吳心楷、宋曜廷、簡馨瑩（2010）。錄影分析在教育研究的應用。*教育科學研究期刊*, 55(4), 1-37. <https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=2073753X-201012-201307090011-201307090011-1-37>
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- Cowan, K. (2014). Multimodal transcription of video: Examining interaction in early years classrooms. *Classroom Discourse*, 5(1), 6-21. <https://doi.org/10.1080/19463014.2013.859846>
- Derry, S. J., Pea, R. D., Barron, B., Engle, R. A., Erickson, F., Goldman, R., Hall, R., Koschmann, T., Lemke, J. L., Sherin, M. G., & Sherin, B. L. (2010). Conducting video research in the learning sciences: Guidance on selection, analysis, technology, and ethics. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 3-53. <https://doi.org/10.1080/10508400903452884>
- Fazeli, S., Sabetti, J., & Ferrari, M. (2023). Performing qualitative content analysis of video data in social sciences and medicine: The visual-verbal video analysis method. *International Journal of Qualitative Methods*, 22, 1-17. <https://doi.org/10.1177/16094069231185452>
- Fuentes-Cabrera, A., Parra-González, M. E., López-Belmonte, J., & Segura-Robles, A. (2020). Learning mathematics with emerging methodologies: The escape room as a case study. *Mathematics*, 8(9), 1586. <https://doi.org/10.3390/math8091586>

- Gaudin, C., & Chaliès, S. (2015). Video viewing in teacher education and professional development: A literature review. *Educational Research Review*, 16, 41–67. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.06.001>
- Hui, H. B., & Mahmud, M. S. (2023). Influence of game-based learning in mathematics education on the students' cognitive and affective domain: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 14, 1105806. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1105806>
- Järvelä, S., & Hadwin, A. F. (2013). New frontiers: Regulating learning in CSCL. *Educational Psychologist*, 48(1), 25–39. <https://doi.org/10.1080/00461520.2012.748006>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Konecki, K. T. (2011). Visual grounded theory: A methodological outline and examples from empirical work. *Revija za sociologiju*, 41(2), 131–160. <https://doi.org/10.5613/rzs.41.2.1>
- Kress, G. (2010). *Multimodality: A social semiotic approach to contemporary communication*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203970034>
- López-Pernas, S., Saqr, M., Gordillo, A., & Barra, E. (2023). A learning analytics perspective on educational escape rooms. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 6509–6525. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2041045>
- Makri, A., Vlachopoulos, D., & Martina, R. A. (2021). Digital escape rooms as innovative pedagogical tools in education: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(8), 4587. <https://doi.org/10.3390/su13084587>
- Manojlovic, H. (2022). Escape room as a teaching method. *Opus et Educatio*, 9(2), 178–188. <https://doi.org/10.3311/ope.504>
- Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational Psychologist*, 50(4), 258–283. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>
- Sanchez, E., & Plumettaz-Sieber, M. (2019). Teaching and learning with escape games from debriefing to institutionalization of knowledge. In M. Gentile, M. Allegra, & H. Söbke (Eds.), *Games and learning alliance (GALA 2018)* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11385, pp. 242–253). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11548-7_23
- Sailer, M., Hense, J. U., Mayr, S. K., & Mandl, H. (2017). How gamification motivates: An experimental study of the effects of specific game design elements on psychological need satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 69, 371–380. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.12.033>
- Schoenfeld, A. H. (2016). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense making in mathematics. *Journal of Education*, 196(2), 1–38. <https://doi.org/10.1177/002205741619600202>
- Sharma, R., Tan, C., Gomez, D., Xu, C., & Dubé, A. K. (2025). Guiding teachers' game-based learning: How user experience of a digital curriculum guide impacts teachers' self-efficacy and acceptance of educational games. *Teaching and Teacher Education*, 155, 104915. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104915>

Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, 31, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>